

**STUDI ALTERASI HIDROTERMAL DAN MINERALISASI ENDAPAN PORFIRI Cu-Au  
BERDASARKAN ANALISIS DATA CORE PADA SECTION 040 DAERAH TAMBANG TERBUKA  
BATU HIJAU, KABUPATEN SUMBAWA BARAT, NUSA TENGGARA BARAT**

Septian Aldrin, Joko Soesilo, Jatmiko Setiawan  
Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta  
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283  
Telp. (0274) 486403, 486733 ; Fax. (0274) 487816 ; Email: [geoupn@indosat.net.id](mailto:geoupn@indosat.net.id)  
Corresponding author : [septian.aldrin@yahoo.com](mailto:septian.aldrin@yahoo.com) No.Hp: 082227396123

**Sari** - Daerah penelitian berada di Batu Hijau, yang merupakan salah satu lokasi tambang terbuka yang di kelola oleh PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. Secara administratif Batu Hijau berada di Kecamatan Sekongkang, Kabupaten Sumbawa Barat, NTB. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kondisi geologi, penyebaran zona alterasi, zona mineralisasi dan korelasi hubungannya dengan persebaran kadar Cu-Au pada Section 040 (timurlaut-baratdaya) tambang terbuka Batu Hijau. Penelitian dilakukan menggunakan data pemboran inti batuan dari 10 sumur bor yaitu, SBD293, SBD654, SBD257, SBD229, SBD183, SBD566, SBD002, SBD270, SBD009, dan SBD467. Metode penelitian yang dilakukan berupa *detail core logging*, analisa petrografi, analisa mineragrafi, dan melakukan analisis statistik untuk mengetahui hubungannya dengan sebaran *grade* Cu-Au. Stratigrafi pada daerah penelitian terdiri atas 4 satuan berurutan dari tua ke muda, antara lain, Satuan breksi vulkanik; intrusi diorit kuarsa; intrusi tonalit porfir 1; dan intrusi tonalit porfir 2. Alterasi pada daerah penelitian di bagi menjadi 4 zona alterasi yaitu, zona biotit + magnetit + k-feldspar (tipe potasik); zona biotit + k-feldspar + klorit (tipe potasik); zona klorit + epidot + kuarsa (tipe propilitik); dan zona serisit + klorit + kuarsa (tipe filik). Sedangkan zona mineralisasi dibagi berdasarkan banyaknya kandungan mineral sulfida dominan antara lain, zona bornit (bornit ± kalkopirit ± pirit); zona kalkopirit (kalkopirit ± bornit ± pirit); zona pirit (pirit ± kalkopirit ± bornit). Berdasarkan analisis statistik diagram *Boxplot* sebaran kadar Cu-Au dibagi menjadi 3 zonasi yaitu, zona *low grade*; zona *medium grade*; dan zona *high grade*. Hasil analisis menunjukkan zona alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian dikontrol oleh kemunculan intrusi tonalit porfir 1. Zona *low grade* Cu (0,01-0,5%) berasosiasi dengan semua zona alterasi, mineralisasi zona kalkopirit dan pirit. *Medium grade* Cu (0,5-1%) berasosiasi dengan zona alterasi biotit+magnetit dan zona serisit+klorit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit. *High grade* Cu (>1%) berasosiasi dengan zona alterasi biotit+magnetit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit. *Low grade* Au (0,00-0,5g/t) berasosiasi dengan semua zona alterasi, mineralisasi zona kalkopirit dan zona pirit. *Medium grade* Au (0,5-1g/t); zona alterasi biotit+magnetit, zona alterasi serisit+klorit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit. *High grade* Au (>1g/t); zona biotit+magnetit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit.

**Kata-kata kunci:** Alterasi, Mineralisasi, Zonasi *Grade* Cu-Au, Section 040.

## PENDAHULUAN

Salah satu sumber daya mineral yang menjadi komoditas utama dalam industri mineral di Indonesia adalah kelompok mineral logam seperti tembaga (Cu) dan emas (Au). Sebagian besar endapan Cu dan Au terakumulasi pada jalur busur magmatik tersier. Pulau Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, termasuk dalam busur kepulauan gunungapi utama di Indonesia yaitu Area Timur Paparan Sunda dalam Sistem Busur Kepulauan Sunda-Banda (Sjoekri, 1997). Daerah Sumbawa merupakan salah satu daerah yang memiliki sistem endapan porfiri yang membawa mineral tembaga (Cu) dan emas (Au) (Garwin, 2000). Sistem endapan ini merupakan salah satu endapan porfiri Cu-Au terbesar di Indonesia yang berhasil dijadikan daerah tambang. Lokasi endapan porfiri ini berada di kawasan Batu Hijau yang berlokasi di bagian baratdaya Pulau Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. Batu Hijau diketahui memiliki cadangan sejumlah 914 juta ton bijih dengan kadar rata-rata tembaga 0,53% (4,8 juta ton tembaga) dan 0,4 g/t emas (366 ton emas) dengan cut off grade 0,3% tembaga (Clode et al., 1999; dalam Garwin, 2002). PT Amman Mineral Nusa Tenggara merupakan perusahaan tambang Indonesia yang mengoperasikan tambang Batu Hijau pada saat ini.

Daerah tambang Batu Hijau sudah mencapai tahapan eksploitasi, dengan melakukan metode penambangan tambang terbuka (*open pit*), diameter bukaan lubang tambang ±2,5 km dan kedalaman lubang tambang ±-315 m. Dalam proses kegiatan penambangan tembaga dan emas, kondisi geologi bawah permukaan merupakan hal yang penting untuk diketahui dan dapat memudahkan dalam menentukan persebaran dan membuat suatu model endapan secara berkala. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan melakukan pemboran, yang dimana pemboran ini ditujukan untuk memperoleh data bawah permukaan, yaitu berupa data inti bor (*core*).

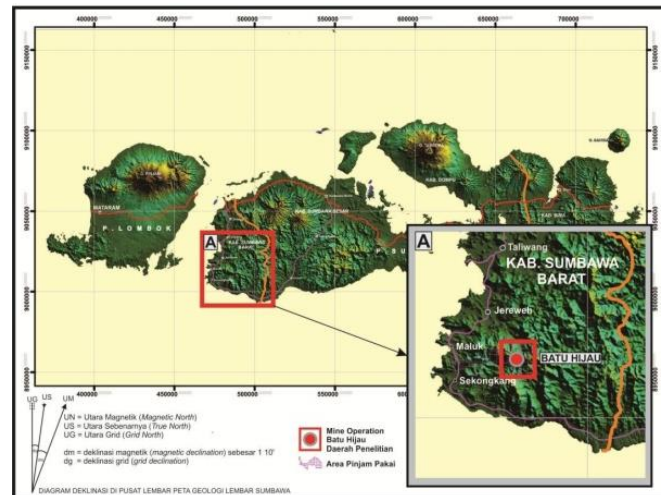
*Core Logging* adalah salah satu metode dalam pemetaan detail di bawah permukaan yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Metode ini digunakan dalam menginterpretasi pola penyebaran litologi, penyebaran zona

alterasi dan zona mineralisasi yang kemudian dipakai untuk membuat model sistem porfiri yang ada di bawah permukaan dalam suatu penampang timur laut – barat daya (*section 040*). Oleh karena itu, maka dilakukan penelitian dan studi lebih lanjut tentang studi alterasi-mineralisasi endapan porfiri Cu-Au berdasarkan analisis data *core* pada *section 040* daerah tambang terbuka Batu Hijau, Kabupaten Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat.

### Lokasi Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di wilayah tambang terbuka Batu Hijau yang secara administratif berada pada Kecamatan Sekongkang, Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Secara koordinat dengan sistem proyeksi *Universal Transverse Mercator (UTM)*, pit Batu Hijau terletak pada koordinat 484600 – 487000 mE dan 9007800 – 9010200 mN. Sedangkan area penelitian penulis yaitu pada *section 040* Pit Batu Hijau. Daerah ini merupakan area penambangan utama wilayah kontrak kerja PT Amman Mineral Nusa Tenggara (Gambar 1).

Daerah Batu Hijau dapat ditempuh dari Yogyakarta menggunakan pesawat menuju bandara Internasional Lombok, yang terletak di Praya Kabupaten Lombok Tengah dengan waktu tempuh  $\pm 1,45$  jam. Kemudian dari bandara Internasional Lombok, menggunakan travel dengan menempuh jalur darat menuju pelabuhan Kayangan di Lombok timur dengan waktu tempuh sekitar 2 jam. Dari pelabuhan Kayangan, selanjutnya menuju pelabuhan Benete menggunakan *speedboat* perusahaan dengan waktu tempuh 1,5 jam. Kemudian dari pelabuhan Benete, kita dapat menggunakan bis perusahaan menuju lokasi area tambang dengan waktu tempuh  $\pm 30$  menit, dan tiba di *Townsite* Batu Hijau.



**Gambar 1.** Peta Lokasi daerah Batu Hijau dan sekitarnya yang berada di Kabupaten Sumbawa Barat.

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif analitik yang terdiri dari empat tahapan, yaitu tahapan pendahuluan yang meliputi studi pustaka, tahapan pengumpulan data meliputi data sekunder dan data primer, tahapan analisis data meliputi analisis laboratorium dan analisis statistik, serta tahapan pengolahan dan penyajian data. Adapun *output* yang akan dihasilkan dari penelitian ini antara lain, peta geologi *section 040*, peta zona alterasi *section 040*, peta zona mineralisasi *section 040*, peta sebaran *grade* Cu dan sebaran *grade* Au *section 040*.

### Kondisi Geologi Regional

#### Fisiografi

Pulau Sumbawa merupakan salah satu dari gugusan Kepulauan Nusa Tenggara yang terletak pada Busur Kepulauan Banda dan merupakan kelanjutan dari Zona Solo (Van Bemmelen, 1949). Secara Umum, morfologi Pulau Sumbawa dibagi menjadi dua kelompok, yaitu morfologi kompleks vulkanik dengan ketinggian mencapai 1500 mdpl pada bagian utara dan morfologi yang didominasi oleh perbukitan intrusi serta perbukitan curam pada bagian selatan.

Pada bagian utara, kompleks vulkanik muda ini terdiri atas Gunung Sekadet dan Gunung Bulupasak (1735 mdpl) dibarat serta Gunung Tambora (2851 mdpl) dan Gunung Sangiang (1923 mdpl) di timur. Gunung-gunung ini memiliki tipe gunung api strato dengan pola aliran sungai radial. Pada bagian selatan, kompleks morfologi

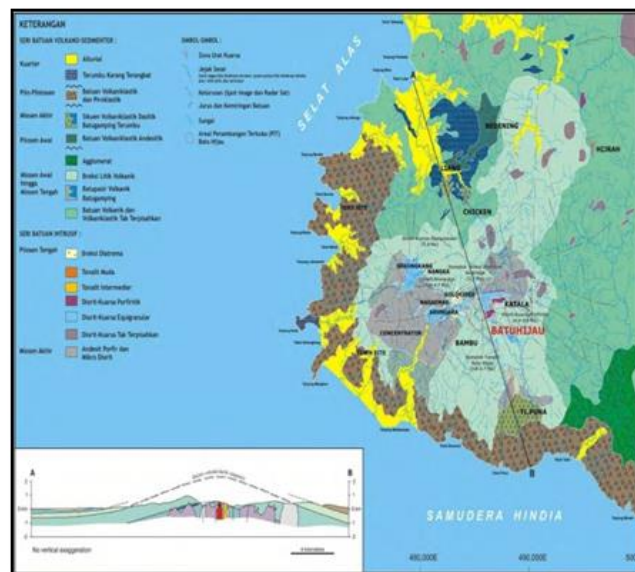
tersusun atas perbukitan intrusi dan perbukitan-perbukitan curam yang terbentuk akibat aktivitas tektonik di bagian selatan. Pola aliran sungai pada daerah ini adalah radial yang berpusat di bukit-bukit intrusi dan sebagian menampakkan pola aliran sungai radial yang di kontrol oleh kelurusan-kelurusan strukturnya.

**Stratigrafi**

Secara stratigrafi, Pulau Sumbawa bagian baratdaya tersusun atas kompleks batuan vulkanik-plutonik berumur Tersier, yang ditutupi oleh produk vulkanik berumur Kuartar-Resen. Batuan tertua yang tersingkap berupa batuan vulkanik-sedimenter yang terdiri dari batuan piroklastik halus-kasar, dan perlapisan batugamping. Berdasarkan kelimpahan fosil foraminifera pada lapisan batugamping, unit batuan ini berumur Miosen Awal hingga Miosen Tengah (Sudrajat dkk., 1998). Batuan ini memiliki ketebalan hingga 1500 m (Garwin, 2000). Batuan termuda di daerah ini adalah produk dari vulkanisme Kuartar dan Resen, yang secara umum bersumber dari sebelah utara Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa. Aliran debris menutupi sebagian besar dataran tengah Pulau Lombok, dan memisahkan batuan Kuartar di utara dengan busur vulkanik tererosi di selatan.

Batuan aglomerat - breksi dan piroklastik halus muncul di daerah pesisir di bagian barat dan tengah Pulau Sumbawa. Batuan vulkanik ini umumnya berlapis dan pada beberapa daerah batuan ini berinterkalasi dengan lapisan batupasir kasar (Sudrajat dkk., 1998). Sikuen batuan vulkaniklastik ini menutupi secara tidak selaras unit batuan volkano-sedimenter dan satuan batuan terobosan.

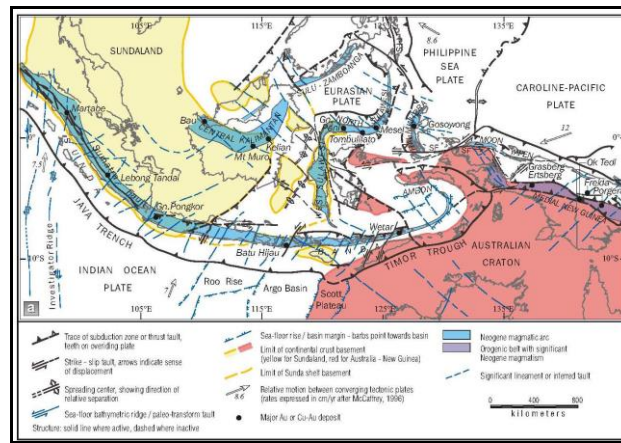
Seri batuan vulkaniklastik di daerah Sumbawa diterobos oleh unit batuan intrusif. Pada Pulau Sumbawa bagian baratdaya, batuan intrusi ini umumnya memiliki afinitas kalk-alkali dengan komposisi batuan diorit, andesit-basalt, diorit kuarsa, tonalit hingga granodiorit. Batuan intrusi ini diperkirakan berumur Miosen Tengah-Pliosen berdasarkan hubungan potong-memotong dan perajahan radiometrik (Garwin, 2000). Geometri dari batuan intrusi ini berupa dike dan stock dengan arah umum timur-barat dan baratlaut. Batuan intrusi ini berasosiasi dengan aktifitas vulkanik, dengan litologi yang terdiri dari diorit hornblende, tonalit porfiri, diorit kuarsa, dan breksi instrusif (breksi diaterma). Unit batuan intrusi ini memiliki hubungan dengan proses mineralisasi bijih ekonomis di beberapa tempat di Pulau Sumbawa, termasuk Batu Hijau. Kubah breksi berkomposisi dasitik yang terletak sekitar 2,5 km dari Batu Hijau, diduga sebagai bagian akhir dari rangkaian intrusi. Mineralisasi bijih logam ekonomis di daerah ini dominan berasosiasi dengan stock tonalit porfiri (Gambar 2).



**Gambar 2.** Peta Geologi Pulau Sumbawa Baratdaya (Garwin, 2000).

**Tektonik**

Pulau Sumbawa merupakan bagian dari sebelah timur Paparan Sunda di dalam sistem Busur Kepulauan Sunda-Banda (Sjoekri, 1997). Busur kepulauan ini dihasilkan dari tumbukan antara tiga Lempeng Hindia-Australia, Eurasia dan Lempeng Pasifik (Hamilton, 1980 dalam Clode, et al., 1999). Kepulauan Sunda- Banda merupakan gabungan dari beberapa sistem jalur subduksi atau busur magmatik, yaitu Busur Sunda dengan arah pergerakan ke barat dan Busur Banda ke timur. Pulau Sumbawa yang berada di Kepulauan Nusa Tenggara terletak di zona transisi antara kedua busur tersebut (Sjoekri, 1997). Bagian selatan dari kepulauan Sumbawa bagian baratdaya dibatasi oleh kerak samudera yang berumur Tersier Awal, bersifat kalium kalk-alkali rendah sampai andesit vulkanik yang alkali lemah dan batuan vulkaniklastik berlapis, berasosiasi dengan intrusi intermediet dan sedikit sedimen laut dan batugamping (Hamilton, 1980 dalam Clode, et al., 1999).



**Gambar 3.** Peta yang menggambarkan tatanan tektonik Indonesia dan lokasi Batu Hijau serta terjadinya deposit Cu-Au porfiri utama lainnya di Asia Tenggara (Garwin *et al.*, 2005)

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Stratigrafi

Dalam menyusun stratigrafi daerah telitian, penulis mengacu pada sistem penamaan stratigrafi tak resmi, dengan mengacu pada ciri-ciri fisik litologi yang diamati secara megaskopis pada saat deskripsi batuan inti (*core logging*). Berdasarkan deskripsi batuan inti (*core logging*) yang dilakukan, penulis membagi beberapa satuan batuan mulai dari yang tua hingga yang muda sebagai berikut.

### Satuan Breksi Vulkanik

Penyebaran satuan breksi vulkanik ini memiliki sebaran yang luas  $\pm 60\%$  dari tambang Batu Hijau, dan menempati luasan  $40\%$  pada peta geologi *section 040*.

Secara megaskopis breksi vulkanik ini memiliki ciri-ciri berwarna abu-abu hingga coklat lapuk, masif, ukuran butir  $0,5 - 54$  mm, derajat pemilahan buruk, derajat pembundarang menyudut tanggung, kemas terbuka. Mengandung fragmen batuan beku (*lithic*), matriks berukuran pasir sedang hingga debu halus  $0,1 - 0,3$  mm, semen silika. Breksi vulkanik yang berada dekat intrusi seperti pada lubang bor SBD654 pada kedalaman 147 meter, menunjukkan perubahan mineral mafik menjadi klorit dan kehadiran magnetit, karena pengaruh fluida hidrotermal dan temperatur, sehingga teralterasi menjadi (potasik).

Satuan breksi vulkanik ini termasuk dalam unit atas suskesi batuan vulkaniklastik yang terdiri dari breksi vulkanik, batupasir, dan konglomerat (Garwin, 2000). Satuan ini didapatkan pada lingkungan darat (gununapi) yaitu *proximal volcanogenic facies*, pada kala Miosen Awal-Miosen Tengah (Garwin, 2000).

### Intrusi Diorit Kuarsa

Penyebaran dari intrusi diorit kuarsa ini menempati bagian utara – timur dari sistem porfiri Batu Hijau, dan menempati luasan  $\pm 30\%$  pada peta geologi *section 040*. Intrusi diorit kuarsa merupakan batuan intrusi yang menerobos batuan yang lebih tua yaitu Satuan breksi vulkanik. Pengamatan secara megaskopis menunjukkan ciri-ciri warna abu-abu gelap hingga terang, struktur masif, tekstur: derajat kristalisasi holokristalin, derajat granularitas fenerik sedang ( $1 - 3$ mm), bentuk kristal subhedral – anhedral, inekuigranular porfiritik, fenokris berupa mineral mafik, kuarsa dan plagioklas dengan dikelilingi masa dasar kristal yang lebih kecil.

Umur relatif dari intrusi diorit kuarsa ini adalah Miosen Akhir ( $5,9$  Ma) – Pliosen Awal ( $4,4-3,8$  Ma) berdasarkan hasil radiometrik menggunakan metoda U-Pb SHRIMP Zircon (Garwin, 2000).

### Intrusi Tonalit Porfir 1

Penyebaran dari intrusi tonalit porfir 1 ini menempati bagian tengah dari Pit Batu Hijau yang merupakan sistem kompleks tonalit porfiri, dan menempati luasan  $\pm 20\%$  pada peta geologi *section 040*. Intrusi porfiri 1 ini secara ekstensif mengalami alterasi dan banyak dijumpai *vein-veinlets* kuarsa (*stockwork*) pada intrusi tonalit porfir 1 di sekitaran kontak dengan batuan samping. Secara megaskopis litologi ini dicirikan dengan warna abu-abu keputihan, struktur masif, tekstur; derajat kristalisasi holokristalin, derajat granularitas fenerik sedang ( $1 - 4,2$  mm), bentuk kristal subhedral-anhedral, relasi inekuigranular porfiritik, dengan fenokris terdiri dari kuarsa, hornblende, biotit, dan plagioklas yang di kelilingi oleh masa dasar plagioklas dan kuarsa yang lebih kecil. Umur relatif dari intrusi tonalit porfir ini adalah kala Pliosen Awal ( $3,76$  Ma) berdasarkan hasil radiometrik menggunakan metoda U-Pb SHRIMP Zircon (Garwin, 2000).

### Intrusi Tonalit Porfir 2

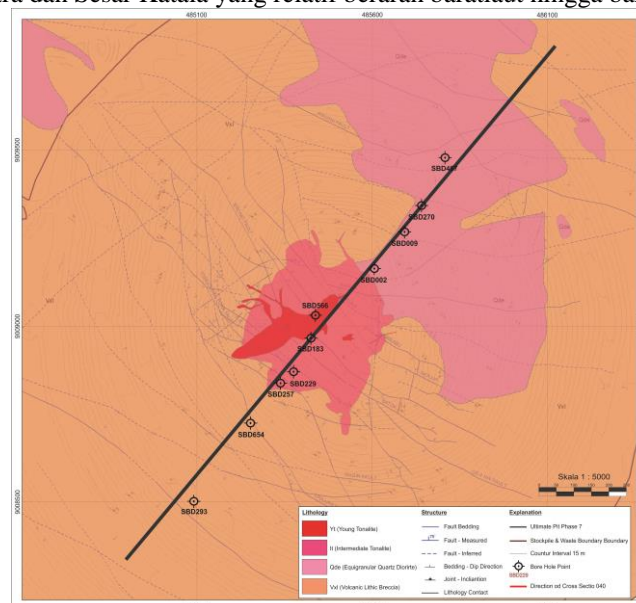
Penyebaran dari intrusi tonalit porfir 2 ini menempati bagian tengah dari Pit Batu Hijau berupa *dyke* yang merupakan sistem kompleks tonalit porfiri, dan menempati luasan  $\pm 10\%$  pada peta geologi *section 040*. Intrusi tonalit porfir 2 secara megaskopis memiliki ciri warna putih keabu-abuan, struktur masif, tekstur; derajat kristalisasi holokristalin, derajat granularitas fanerik sedang hingga kasar (2 - 10 mm), bentuk kristal subhedral-euhedral, relasi inekuigranular porfiritik, dengan fenokris terdiri dari kuarsa, hornblende, biotit, dan plagioklas yang di kelilingi oleh masa dasar plagioklas, kuarsa dan biotit yang lebih kecil. Umur relatif dari intrusi tonalit porfir ini adalah kala Pliosen Awal (3,74 Ma) berdasarkan hasil radiometrik menggunakan metoda U-Pb SHRIMP Zircon (Garwin, 2000).

### Struktur Geologi

Priowasono (2002), menyebutkan beberapa arah umum yang terdapat pada Pit Batu Hijau yang umur relatifnya dari awal – akhir (*early – late*), yaitu utara-selatan (N-S), timur laut (NE), barat laut (NW) dan barat-timur (W-E). Struktur yang berarah N-S dan NE-SW di interpretasikan sebagai struktur yang terbentuk lebih awal. Struktur yang berarah NE-SW dipotong oleh arah struktur yang berarah NW-SE. Reaktivasi akhir dari struktur berarah W-E yang merupakan struktur yang paling muda.

Mineralisasi pada Batu Hijau berasosiasi dengan arah N-S dan NE. Tubuh utama intrusi tonalit porfir 1 secara struktur dikontrol oleh struktur yang relatif berarah N-S. Kemudian distribusi dari intrusi tonalit porfir 2 dibatasi oleh struktur berarah NE. Struktur yang berarah NW merupakan struktur yang paling dominan dan merupakan struktur yang paling muda. Struktur ini memotong seluruh struktur dan batuan yang ada pada Pit Batu Hijau.

Kemudian dari data yang ada berupa peta geologi yang di buat oleh tim geologi PT. Amman Mineral edisi pertama tahun 2018, dapat di lihat struktur geologi yang berkembang pada daerah Pit Batu Hijau yaitu struktur kekar yang relatif berarah baratlaut-tenggara dan timurlaut baratdaya dan struktur sesar. Berikut beberapa struktur sesar yang terdapat di Pit Batu Hijau diantaranya; Sesar Nagin berarah baratlaut hingga barat-timur, Sesar Uka-Uka berarah baratlaut-tenggara, Sesar Tonggoloka-Puna berarah baratlaut – tenggara, Sesar Bromo berarah baratlaut - tenggara dan Sesar Katala yang relatif berarah baratlaut hingga barat – timur (Gambar 4).



Gambar 4. Peta geologi daerah Pit Batu Hijau dan lokasi borehole pada *section 040* (PT. AMNT, 2018)

### Zona Alterasi Hidrotermal

Dalam penentuan zona alterasi hidrotermal pada daerah penelitian yaitu pada *section 040* Pit Batu Hijau yang berarah timur laut – barat daya dibagi berdasarkan kesamaan himpunan mineral alterasi menurut klasifikasi Corbett dan Leach (1998). Pembagian ini berdasarkan pengamatan megaskopis dan mikroskopis terhadap sampel batuan inti dari tujuh sumur bor pada *section 040*.

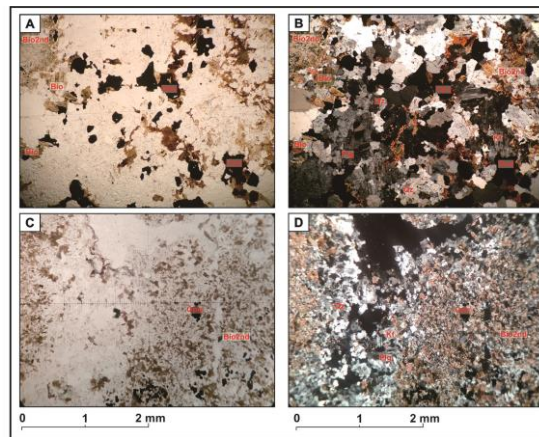
### Zona Biotit + Magnetit + K-Feldspar (Tipe Potasik)

Zona alterasi ini menempati bagian pusat dari sistem porfiri Batu Hijau, dan zona alterasi ini berkembang pada tubuh intrusi tonalit porfir 1 dan di sekitar kontak dengan Satuan breksi vulkanik dan intrusi diorit kuarsa, yang teralterasi sedang-kuat dan memiliki pola alterasi *selectively pervasive - pervasive*.

Secara mikroskopis pada sayatan SBD002 kedalaman 186 meter, zona ini dicirikan dengan kehadiran biotit sekunder berwarna coklat, berukuran 0,1 hingga 0,5 mm, pleokroik sedang-lemah, bentuk kristal anhedral, hadir bersama mineral opak dan menyebar menggantikan mineral hornblende. Kehadiran biotit sekunder dapat di lihat

bahwa pada sayatan meng-*overprint* mineral-mineral primer (menindih). Terdapat juga mineral k-feldspar yang menggantikan mineral feldspar primer yang dicirikan dengan menindih plagioklas secara setempat dan kuarsa yang memiliki ukuran bervariasi serta kontak antar bidang kristalnya tidak jelas.

Berdasarkan temperatur pembentukan mineral oleh Morrison (1997), zona biotit + Magnetit + k-feldspar terbentuk pada salinitas tinggi dan karakter magmatik yang kuat dengan kisaran temperatur 300° – 360° C.



**Gambar 5.** (A & B) Sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang tipe alterasi potasik pada SBD002 kedalaman 186 meter, (C & D) Sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang pada SBD654 kedalaman 147 meter, menunjukkan adanya urat terisi kuarsa dan mineral opak.

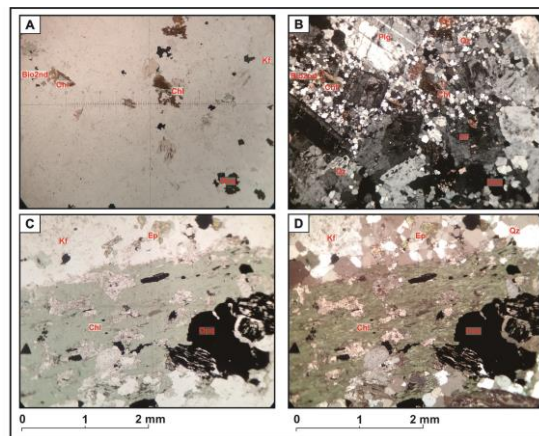
#### Zona Biotit + K-Feldspar + Klorit (Tipe Potasik)

Zona alterasi ini berkembang pada tubuh intrusi tonalit porfiri 2. Pada bagian tepi intrusi tonalit porfiri 2 yang dekat dengan kontak intrusi tonalit porfiri 1 mengalami alterasi dengan intensitas sedang dan semakin ke arah dalam intensitas alterasi menjadi lemah.

Dari hasil pengamatan *core*, pola alterasi pada zona ini yaitu menunjukkan pola alterasi *selectively pervasive*.

Zona ini dicirikan dengan kehadiran mineral biotit sekunder yang menggantikan mineral mafik (mineral-mineral yang mengandung Fe dan Mg) dan mineral klorit yang menggantikan hornblende secara keseluruhan (*replacement*) maupun sebagian (*partly*). Mineral klorit dapat terbentuk diduga karena adanya proses retrograde karena kemunculan dari tonalit porfiri 2 yang memiliki suhu lebih rendah dari tonalit porfiri 1.

Berdasarkan temperatur pembentukan mineral oleh Morrison (1997), zona biotit + k-feldspar + klorit terbentuk pada kisaran temperatur 300° – 320° C.

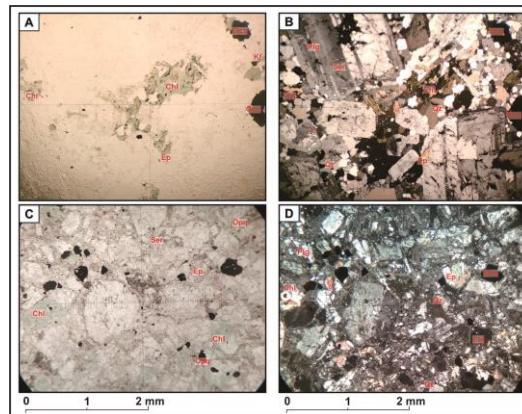


**Gambar 6.** (A & B) Sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang yang menunjukkan hadirnya mineral biotit sekunder dan klorit mencetak tindih (*overprint*) biotit, (C & D) Sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang yang menunjukkan mineral klorit dan epidot hadir, klorit menggantikan secara keseluruhan (*replacement*) mineral hornblende.

#### Zona Klorit + Epidot + Kuarsa (Tipe Propilitik)

Zona alterasi ini umumnya berkembang pada Intrusi diorit kuarsa dan Satuan breksi vulkanik dengan intensitas alterasi lemah-kuat. Zona alterasi ini dicirikan dengan melimpahnya mineral klorit dan epidot yang merupakan

hasil ubahan dari mineral mafik dan dapat juga berasal dari ubahan mineral feldspar. Secara megaskopis mineral epidot hadir sebagai butir kristal berwarna hijau muda, berukuran 0,5-1,0 mm, hadir mengganti mineral mafik. Mineral klorit berwarna hijau tua, berukuran 0,6-2,5 mm, hadir mengganti hornblende dan biotit. Zona alterasi ini berada di bagian luar dari zona biotit+magnetit, yang terbentuk terutama karena reaksi hidrasi, yaitu adanya penambahan H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> dan secara lokal juga terjadi penambahan S dengan sedikit terjadi metasomatisme H<sup>+</sup>. Dicirikan oleh kehadiran klorit disertai dengan mineral epidot, dan beberapa mineral serisit. Berdasarkan temperatur pembentukan mineral oleh Morrison (1997), zona klorit + epidot + kuarsa ± serisit terbentuk pada kisaran temperatur 280° – 320° C.



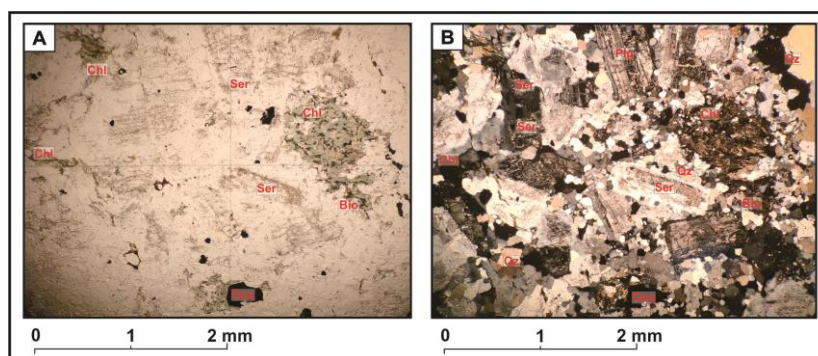
**Gambar 7.** (A & B) Kenampakan sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang alterasi klorit+epidot pada SBD467 kedalaman 193 meter, (C & D) Sayatan tipis nikola sejajar dan nikol silang alterasi klorit+epidot pada SBD293 kedalaman 436 meter.

**Zona Serisit + Klorit + Kuarsa (Tipe Filik)**

Zona alterasi ini umumnya berkembang pada intrusi diorit kuarsa di bagian timur laut pada *section 040*, dengan tingkat alterasi sedang-kuat. Zona ini dicirikan dengan melimpahnya mineral sekunder berupa serisit, klorit, dan kuarsa yang merupakan mineral ubahan dari mineral feldspar dan mineral ferromagnesian berupa hornblende dan biotit.

Secara megaskopis serisit berwarna putih hingga tak berwarna dan bentukannya memipih (mineral mika) serta ukurannya yang halus, namun dapat diidentifikasi dengan melihat kilapnya dan kekerasan serta asosiasinya dengan dengan klorit serta urat kuarsa.

Zona alterasi ini pada dasarnya disebabkan oleh tidak stabilnya (destabilisasi) mineral feldspar dengan kehadiran unsur H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>, K<sup>+</sup> dan S untuk merubah menjadi kuarsa, muskovit (serisit), klorit dan pirit. Berdasarkan temperatur pembentukan mineral oleh Morrison (1997), zona serisit + klorit + kuarsa terbentuk pada kisaran temperatur 278° – 320° C.



**Gambar 8.** (A) Sayatan tipis nikola sejajar menunjukkan serisit berwarna putih keruh dan klorit berwarna hijau menggantikan biotit, (B) Sayatan tipis nikol silang ang menunjukkan serisit berwarna pelangi yang berukuran halus menggantikan plagioklas pada bidang dan belahannya, serta kuarsa sekunder yang terisi pada vein di bagian pojok kanan atas.

**Zona Mineralisasi**

Pengamatan dilakukan terhadap kehadiran mineral bijih terutama sulfida pada *section 040* (timur laut – barat daya). Kehadiran mineral sulfida secara megaskopis melimpah dengan persentase ±1% - 10% setempat hingga tersebar dalam tubuh batuan (*disseminated*), kemudian mengisi dan berasosiasi dengan urat-urat kuarsa. Mineral

sulfida yang hadir di daerah telitian antara lain pirit, kalkopirit, bornit, kalkosit, dan kovelit, serta mineral oksida magnetit dan hematit. Diantara mineral tersebut beberapa merupakan mineral sulfida utama yang lebih sering hadir dan mudah diidentifikasi secara megaskopis, sehingga dijadikan sebagai petunjuk pada kegiatan penambangan di Batu Hijau yakni pirit, kalkopirit, dan bornit. Mineralisasi pada daerah telitian merupakan mineralisasi zona primer atau zona *hypogen*, yaitu mineralisasi yang terbentuk dan berhubungan dengan proses dari dalam atau dari proses intrusi yang membawa mineral-mineral bijih.

Emas dan Tembaga merupakan komoditas utama yang diproduksi di daerah penelitian. Melalui perhitungan secara empirik pada setiap zona yang telah dibuat terhadap kadar Cu dan Au setiap interval kedalaman, diketahui bahwa bornit dan kalkopirit membawa unsur tembaga dan emas dalam jumlah lebih banyak dibandingkan pirit. Secara empirik bornit memberikan kontribusi hingga 63,33 % Cu, sedangkan kalkopirit 34,64%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada 699 butir emas melalui mineragrafi oleh Arif dan Baker (2004), 65% emas pada daerah penelitian berasosiasi bornit, 14% berasosiasi dengan kalkopirit, dan sisanya hadir sebagai butiran bebas di dalam urat. Keterdapatn emas (Au) dalam mineral sulfida terdapat dalam bentuk inklusi maupun antar batas mineral sulfida, serta dalam bentuk *invisible gold* yaitu kehadiran kadar emas berada pada struktur kimia mineral sulfida (Arief, 2002).

#### **Zona Bornit (Bornit ± Kalkopirit ± Pirit)**

Zona bornit (bornit ± kalkopirit ± pirit) ini pada *section 040* berasosiasi dengan tubuh intrusi diorit kuarsa bagian timur laut, yang berda dekat kontak dengan tonalit porfir 1.

#### **Zona Kalkopirit (Kalkopirit ± Bornit ± Pirit)**

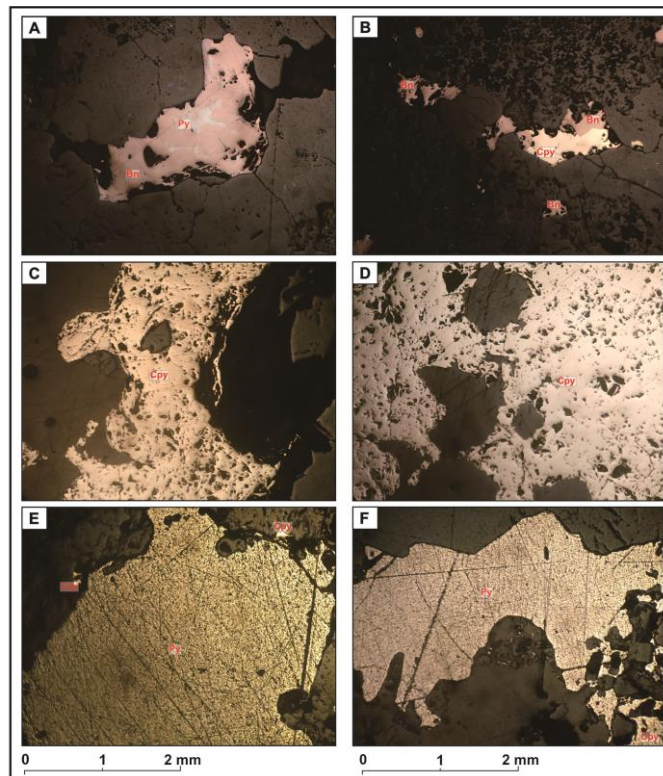
Zona kalkopirit (kalkopirit ± bornit ± pirit) hadir melingkupi zona bornit, zona ini berada dan tersebar di sekitar kontak intrusi tonalit porfir 1 dan intrusi diorit kuarsa, serta antara intrusi tonalit porfir 1 dan Satuan breksi vulkanik. Pola sebara dari zona mineralisasi ini relatif mengikuti pola intrusi tonalit porfir 1.

#### **Zona Pirit (Pirit ± Kalkopirit ± Bornit)**

Sedangkan zona pirit (pirit ± kalkopirit ± bornit) dibagi menjadi 2 yaitu zona yang berada di dalam zona selubung kalkopirit dan yang berada di luar zona kalkopirit. Zona yang berada di dalam selubung kalkopirit berasosiasi dengan tubuh intrusi tonalit porfir 2 sedangkan yang berada di luar zona kalkopirit berasosiasi dengan Satuan breksi vulkanik dan intrusi diorit kuarsa.

Dari hasil pengamatan mikroskopis melalui metode mineragrafi dapat diidentifikasi hanya beberapa mineral saja, salah satu contohnya pada sampel SB-002-(P2) diantaranya bornit, kalkopirit dan pirit. Bornit berwarna merah muda-keunguan, anisotrop sangat lemah, kilap logam, bentuk kristal subhedral-anhedral, berukuran 0,1 – 2,5mm, hadir disseminated dan mengisih pada urat, serta hadir lebih dominan dalam sayatan. Kalkopirit berwarna kuning loyang dengan anisotrop lemah, kilap logam, bentuk kristal subhedral-anhedral, berukuran ±1,2mm, hadir menggantikan mineral bornit hampir secara keseluruhan. Pirit Berwarna kuning pucat isotrop, kilap logam, bentuk kristal anhedral, berukuran 0,2 – 0,6mm, hadir menindih mineral bornit pada bagian tengah.





**Gambar 9.** Kenampakan fotomikrograf mineral bijih pada sayatan poles, (A) Mineral bornit pada urat dengan terdapat inklusi mineral pirit di tengah, (B) Mineral Bornit *disseminated* sebagian di *replace* oleh mineral kalkopirit, (C) Mineral Kalkopirit yang terdapat pada urat, (D) Mineral kalkopirit tersebar (*disseminated*) sebagai masadasar, (E) Mineral pirit menggantikan kalkopirit yang terdapat pada masadasar, (F) *Disseminated* mineral pirit dan kakopirit, dimana kalkopirit di *replace* oleh pirit.

### Tipe Vein

Pada umumnya hampir semua endapan bijih hidrotermal mempunyai sistem urat (*vein system*). Dimana pada urat ini dapat menjadi jebakan atau perangkap mineralisasi yang mengandung endapan bijih logam bernilai ekonomis. Maka dari itu pemahaman mengenai kriteria dan tipe urat (*vein type*) / urat halus (*veinlets*) dalam sistem porfiri sangatlah penting, terutama pada endapan porfiri Cu – Au, karena sebagian besar mineralisasi dikaitkan dengan kehadiran urat dan urat halus (*stockwork*). Tipe urat pada sistem porfiri sebelumnya sudah di sampaikan oleh beberapa ahli terdahulu seperti: (Gustafson dan Hunt, 1975; Corbett, 2008; Sillitoe, 2010), diantaranya yaitu tipe EB atau EDM, Tipe M, tipe A, tipe AB, tipe B, tipe C dan tipe D.

### Kuarsa ± Magnetit ± Pirit-kalkopirit (Urat Tipe A)

Urat tipe ini memiliki ciri urat kuarsa dengan tekstur masif – granular dengan bentuk yang tidak teratur, terkadang tidak menerus dan kontaknya yang bergelombang dengan batuan sampling. Biasanya urat tipe ini di jumpai berupa kuarsa transparan masif dan umumnya hadir membentuk (*stockwork*), terkadang terisi mineral sulfida seperti pirit-kalkopirit-bornit dan mineral magnetit yang hadir tersebar (*disseminated*) pada urat. Pada umumnya urat tipe ini berasosiasi dengan zona alterasi tipe potasik.

### Kuarsa + Bornit + Kalkopirit (Urat Tipe AB)

Urat tipe ini merupakan tipe urat transisi antara urat tipe A dan B dengan ciri membentuk kontak yang masih terlihat bergelombang dengan batuan sampling. Pada urat tipe ini mineral sulfida berupa bornit dan kalkopirit yang hadir pada bagian tengah urat kuarsa dan membentuk pola garis putus-putus. Tipe urat ini umumnya berasosiasi dengan zona alterasi tipe potasik.

### Kuarsa + Kalkopirit + Bornit (Urat Tipe B)

Urat tipe ini merupakan urat kuarsa yang memiliki ciri membentuk garis kontak yang tegas dan jelas dengan batuan sampling. Pada urat tipe ini mulai menunjukkan garis tengah yang menerus pada urat (*center line*) yang terisi oleh kalkopirit, bornit dan terkadang sedikit pirit. Tipe urat ini berasosiasi dengan zona alterasi tipe potasik.

**Kalkopirit ± Kuarsa (Urat Tipe C)**

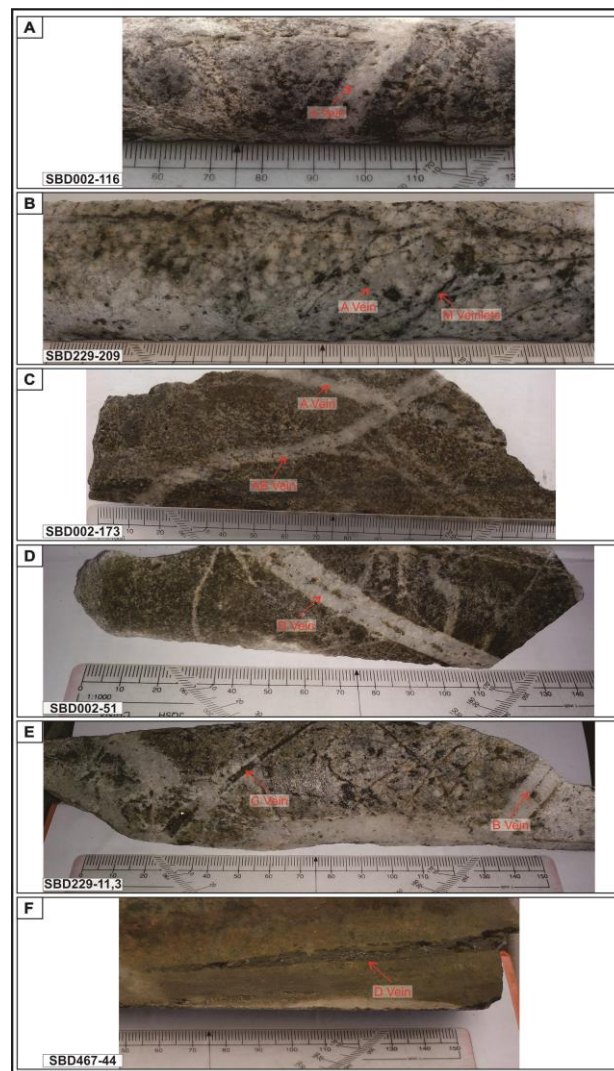
Urat ini merupakan urat yang dicirikan hampir seluruhnya terisi oleh kalkopirit dan sedikit kuarsa, serta memiliki kontak yang jelas dengan batuan sampling serta memiliki ukuran lebih kecil. Urat tipe ini berasosiasi dengan zona alterasi tipe potasik ke arah luar dan tipe filik.

**Kuarsa + Pirit ± Kalkopirit (Urat Tipe D)**

Urat ini merupakan urat kuarsa yang terisi oleh pirit dan kalkopirit dengan kandungan pirit yang lebih dominan atau dapat seluruhnya mengandung pirit dengan kuarsa yang sedikit. Biasanya pada bagian tepi dari urat ini umumnya membentuk *salvage / halos*. Urat tipe ini berasosiasi dengan zona alterasi tipe filik dan propilitik.

**Magnetit + Kuarsa (Urat Tipe M)**

Urat tipe ini merupakan urat yang memiliki komposisi mineral berupa magnetit-kuarsa. Magnetit hadir dengan pola desiminasi atau urat halus (*veinlets*). Urat tipe ini melimpah pada zona alterasi tipe potasik dan berasosiasi dengan urat tipe A.



**Gambar 10.** Kenampakan urat-urat pada endapan bijih porfiri Cu-Au di Daerah Batu Hijau, (A) Urat tipe A, (B) Urat Tipe M, (C) Urat tipe AB memotong urat tipe A, (D) Urat tipe B, (E) Urat tipe C, (F) Urat tipe D.

**Hubungan Satuan Batuan, Zona Alteras Dan Mineralisasi Dengan Sebaran *Grade* Cu-Au Pada *Section 040***

Dalam pembuatan zonasi Cu – Au, data yang diperoleh berasal dari data *assay* yang diambil dari data batuan inti (*coring*) di wilayah penelitian.

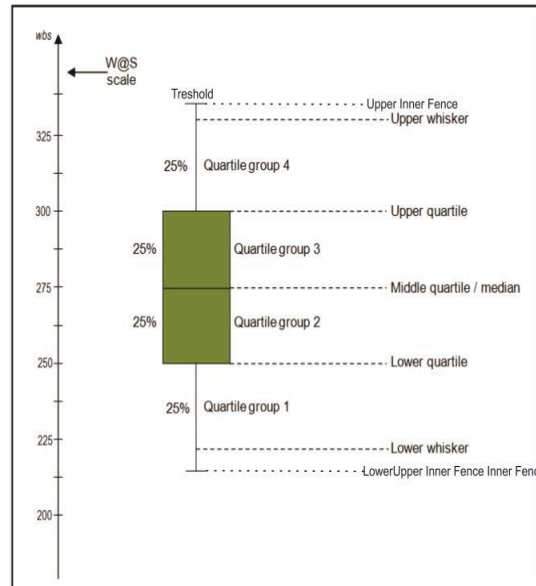
Data *assay* merupakan data sekunder yang diambil setiap interval tiga meter pada batuan inti. Karena jumlah data yang diperoleh cukup banyak (1600 data) diperlukan metode untuk mengolah dan memilah data tersebut sesuai dengan kelas/kelompok data. Hal ini diperlukan untuk mempermudah melakukan interpretasi karena

besar kecilnya nilai pada data sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi serta proses geologi yang terjadi. Metode yang digunakan penulis dalam mengelompokkan data mengacu pada diagram *Boxplot*, sedangkan untuk membuat zonasi Cu - Au penulis menggunakan *conturing* dengan metode *freehand*.

Pembuatan diagram *Boxplot* pada penelitian ini dibantu oleh *software Tableau Public 32 (trial)*.

Terdapat lima ukuran statistik yang dapat kita lihat di *Boxplot*, yaitu:

1. Nilai minimum
2. Kuartil terendah Q1
3. Median / Q2
4. Kuartil tertinggi Q3
5. Nilai maksimum

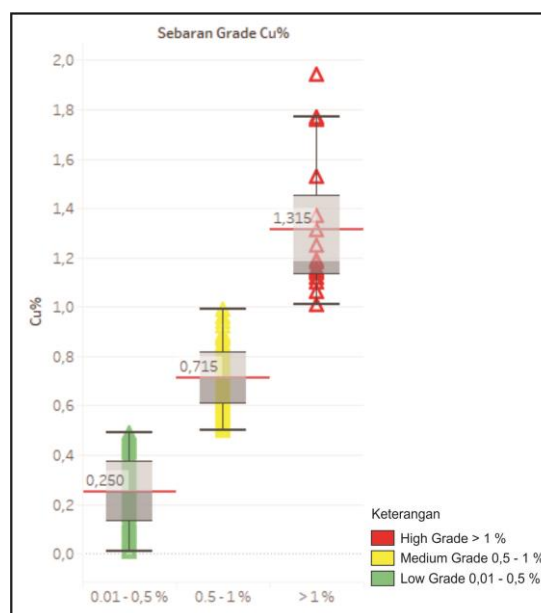


Gambar 11. Contoh diagram *Boxplot*

**Zonasi Grade Cu-Au**

Zonasi *grade* tembaga (Cu) dibagi menjadi 3 kelompok berdasarkan pembagian kelompok dengan menggunakan metode diagram *Boxplot*, diantaranya zona *low grade* (0,01 – 0,5%), *medium grade* (0,5 – 1%), *high grade* (> 1%).

Pada zona *low grade* memiliki nilai rata-rata (*average*) sebesar 0,250% Cu, pada zona *medium grade* memiliki nilai rata-rata 0,715% Cu dan pada zona *high grade* memiliki nilai rata-rata sebesar 1,315% Cu. Nilai latar dari zonasi tembaga (Cu) adalah *low grade* (0,01 – 0,5%).



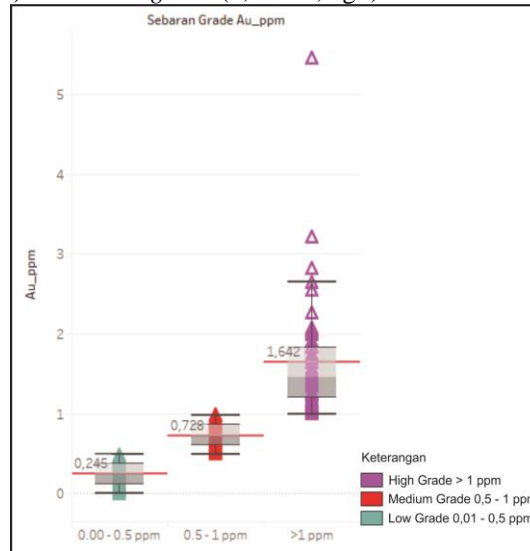
Gambar 12. Diagram *Boxplot* sebaran *grade* Cu pada *Section 04*

**Zonasi Grade Cu-Au**

Zonasi *grade* emas (Au) memiliki pola yang mirip dengan zonasi *grade* tembaga. Mengacu pada pengelompokan dengan diagram *Boxplot*, zona sebaran *grade* emas dibagi menjadi 3 kelompok. Berikut di antaranya, zona *low grade* (0,00 – 0,5 g/t), *medium grade* (0,5 – 1 g/t), *high grade* (> 1 g/t).

Pada zona *low grade* memiliki nilai rata-rata (*average*) sebesar 0,245 g/t Au, pada zona *medium grade* memiliki nilai rata-rata 0,728 ppm Au dan pada zona *high grade* memiliki nilai rata-rata sebesar 1,642 ppm Au. Pada umumnya, pola sebaran zona *high grade* hingga *medium grade* Au memiliki pola yang mirip dengan sebaran zona *high grade* dan *medium grade* Cu.

Hal tersebut dapat diinterpretasikan bahwa keterdapatan emas (Au) berasosiasi dengan mineral sulfida. Kemudian dapat dilihat dari data *assay* kadar Cu – Au, dimana kadar dari pada keduanya saling berhubungan. Nilai latar dari zonasi emas (Au) adalah *low grade* (0,00 – 0,5 g/t).



**Gambar 13.** Diagram *Boxplot* sebaran *grade* Au pada *Section 040*

**Tabel 1.** Hubungan satuan batuan, zona alterasi dan mineralisasi dengan sebaran *grade* Cu

Grade Cu%	Satuan Batuan	Zona Alterasi	Zona Mineralisasi
0,01 – 0,5 %	Breksi vulkanik (0,267%), diorit kuarsa (0,310%), tonalit porfir 1 (0,211%), tonalit porfir 2 (0,106%).	Biotit+magnetit+k.feldspar (0,259%), biotit+k.feldspar+klorit (0,079%), klorit+epidot+kuarsa (0,277%), serisit+klorit+kuarsa (0,357%).	Kalkopirit (cpy±bn±py) (0,284%), Pirit (py±cpy±bn) (0,220%).
0,5 – 1 %	Breksi vulkanik (0,671%), diorit kuarsa (0,708%), tonalit porfir 1 (0,646%).	Biotit+magnetit+k.feldspar (0,715%), serisit+klorit+kuarsa (0,612%).	Bornit (bn±cpy±py) (0,749%), Kalkopirit (cpy±bn±py) (0,677%).
> 1 %	Breksi vulkanik (1,123%), diorit kuarsa (1,291%).	Biotit+magnetit+k.feldspar (1,315%).	Bornit (bn±cpy±py) (1,335%), Kalkopirit (cpy±bn±py) (1,313%).

**Tabel 2.** Hubungan satuan batuan, zona alterasi dan mineralisasi dengan sebaran *grade* Au

Grade Au g/t	Satuan Batuan	Zona Alterasi	Zona Mineralisasi
0,00 – 0,5 g/t	Breksi vulkanik (0,240g/t), diorit kuarsa (0,248g/t), tonalit porfir 1 (0,252g/t), tonalit porfir 2 (0,127g/t).	Biotit+magnetit+k.feldspar (0,250g/t), biotit+k.feldspar+klorit (0,127g/t), klorit+epidot+kuarsa (0,151g/t), serisit+klorit+kuarsa (0,095g/t).	Kalkopirit (cpy±bn±py) 0,259g/t, Pirit (py±cpy±bn) 0,228g/t.
0,5 – 1 g/t	Breksi vulkanik (0,715g/t), diorit kuarsa (0,709g/t), tonalit porfir 1 (0,711g/t).	Biotit+magnetit+k.feldspar (0,728g/t).	Bornit (bn±cpy±py) 0,782g/t, Kalkopirit (cpy±bn±py) 0,711g/t, Pirit (py±cpy±bn) 0,654g/t.
> 1 g/t	Breksi vulkanik (1,667g/t), diorit kuarsa (1,430g/t), tonalit porfir 1 (1,774g/t).	Biotit+magnetit+k.feldspar (1,642g/t).	Bornit (bn±cpy±py) (1,403g/t), Kalkopirit (cpy±bn±py) (1,706g/t).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut yaitu:

- ❖ Berdasarkan pengamatan secara megaskopis dan analisa petrografi, litologi yang berada di daerah telitian dibagi menjadi 4 satuan batuan. Berurutan dari tua ke muda yaitu; Satuan breksi vulkanik, Intrusi Diorit Kuarsa, Intrusi Tonalit Porfir 1 dan Intrusi Tonalit Porfir 2. Kemudian struktur geologi yang terdapat pada daerah Pit Batu Hijau yaitu struktur kekar dan sesar, diantaranya Sesar Nagin berarah baratlaut hingga barat-timur, Sesar Uka-Uka berarah baratlaut-tenggara, Sesar Tonggoloka-Puna berarah baratlaut – tenggara, Sesar Bromo berarah baratlaut - tenggara dan Sesar Katala yang relatif berarah baratlaut hingga barat – timur.
- ❖ Alterasi pada daerah telitian dibedakan berdasarkan dominasi himpunan mineral menjadi empat (4) zona alterasi yaitu; 1). Zona alterasi biotit + magnetit + k-feldspar (tipe alterasi potasik), 2). Zona alterasi biotit + k-feldspar + klorit (tipe alterasi potasik), 3). Zona alterasi klorit + epidot + kuarsa (tipe alterasi propilitik), dan 4). Zona alterasi serisit + klorit + kuarsa (tipe alterasi filik).
- ❖ Mineralisasi pada daerah telitian dibagi menjadi tiga (3) zona berdasarkan rasio kehadiran mineral sulfida dominan yaitu; 1). Zona bornit (bornit ± kalkopirit ± pirit), 2). Zona kalkopirit (kalkopirit ± bornit ± pirit), 3). Zona pirit (pirit ± kalkopirit ± bornit).
- ❖ Karakteristik endapan porfiri pada daerah telitian didapatkan sebagai berikut:
  - a. Adanya kehadiran urat (*vein*) dan urat-urat halus (*veinlets*) yang membentuk *stockworks*. Dari pengamatan inti batuan (*core logging*), terdapat setidaknya enam (6) tipe urat yang dapat diidentifikasi yaitu; urat tipe A, urat tipe M, urat tipe AB, urat tipe B, urat tipe C, dan urat tipe D,
  - b. Mineralisasi yang berhubungan dengan kompleks tubuh intrusi batuan beku berkomposisi intermediet, umumnya terkait beberapa episode aktifitas intrusif, berasosiasi dengan *stock* dan *dyke*. Batuan yang terkena efek alterasi–mineralisasi hidrotermal berada di sekitar tubuh intrusi dengan dimensi yang luas membentuk pola yang simetris mengikuti pola tubuh intrusi.
  - c. Berdasarkan hasil pengamatan pada pemboran inti batuan (*core logging*), didapatkan pola mineralisasi sulfida pada daerah telitian yaitu; pola mineralisasi pada *vein-veinlets* dan pola *disseminated* (menyebar).
- ❖ Zona *low grade* Cu (0,01-0,5%) berasosiasi dengan semua zona alterasi, mineralisasi zona kalkopirit dan pirit. *Medium grade* Cu (0,5-1%) berasosiasi dengan zona alterasi biotit+magnetit dan zona serisit+klorit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit. *High grade* Cu (>1%) berasosiasi dengan zona alterasi biotit+magnetit, mineralisasi zona bornit dan zona pirit. *Low grade* Au (0,00-0,5g/t) berasosiasi dengan semua zona alterasi, mineralisasi zona kalkopirit dan zona pirit. *Medium grade* Au (0,5-1g/t); zona alterasi biotit+magnetit, zona alterasi serisit+klorit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit. *High grade* Au (>1g/t); zona biotit+magnetit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit.

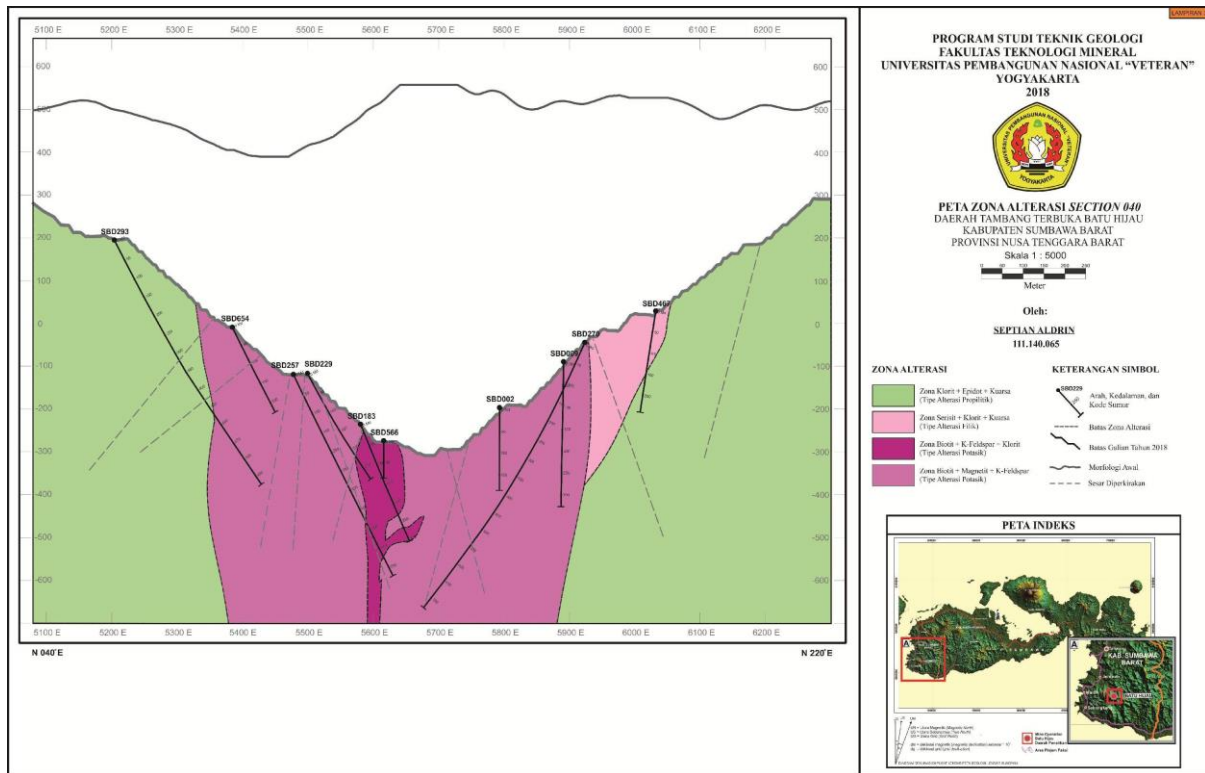
## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada PT. Amman Mineral Nusa Tenggara atas dukungan, sarana dan prasarana selama penelitian. Serta seluruh tim geologi yang meluangkan waktu di sela – sela pekerjaan untuk melakukan diskusi dan bimbingan selama proses pengambilan data hingga pengolahan data.

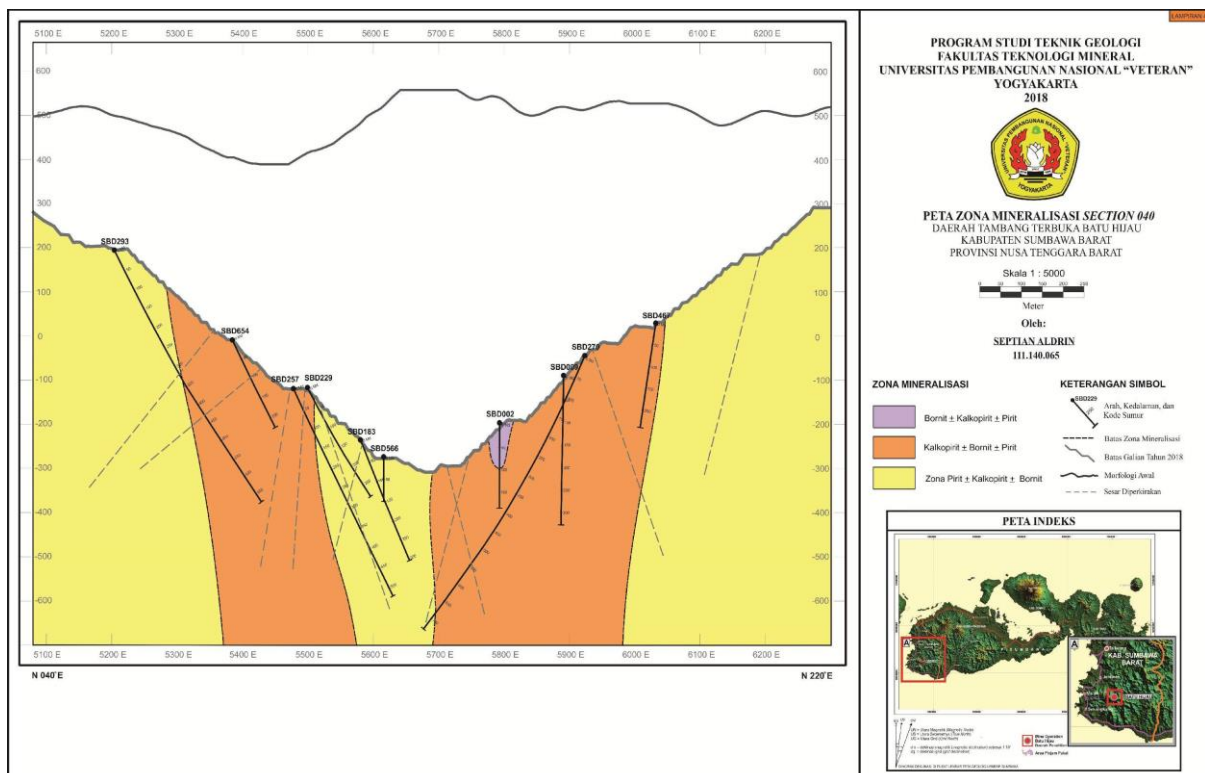
## DAFTAR PUSTAKA

- Arif, J., 2002. Gold Distribution at the Batu Hijau Pophyry Copper–Gold Deposit, Sumbawa Island, Indonesia: *Thesis Msc*, University James Cook: Australia.
- Arif, J dan Baker, T., 2004. Gold Paragenesis and Chemistry at Batu Hijau, Indonesia: *Implications for Gold-rich Porphyry Copper Deposit*. Mineralium Deposita, 39, 523 – 535.
- Arancibia, O.N., dan Clark, A.H., (1996) : Early Magnetite – Amphibole – Plagioclase Alteration – Mineralization in The Island Copper Porphyry Copper – Gold – Molybdenum Deposit, British Columbia. *Economic Geology*, Vol. 91, 402 – 438 p.
- Bateman, A.M., Jansen, M.L., 1981. *Economic Mineral Deposit 3rd Edition*. John Wiley and Sons Inc, New York, 600-621.
- Camuti, K., 2008. Clay Minerals, Alteration and Terry’s pH-Temperature Table. Lantana Exploration Pty Ltd. *Terry Leach Symposium, Australian Institute of Geoscientists, Bulletin 48*, 13 – 18 p.
- Cooke, D.R., Hollings, P., dan Walshe, J.L., 2005. Giants Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls. *Bulletin of The Society Economic Geologists*, Vol. 100, No. 5, 801 – 818 p.
- Clode, C., Proffett, J., Mitchell, P., and Munajat, I., 1999. Relationship of Intrusion, Wallrock Alteration and Mineralization in The Batu Hijau Copper-Gold Porphyry Deposit. *Australian Institute of Mining and Metallurgy Pacrim Conference*.
- Corbett, G.J. and Leach, T.M., 1998. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization: *Special Publication 6, Society of Economic Geologist*, 238 p.

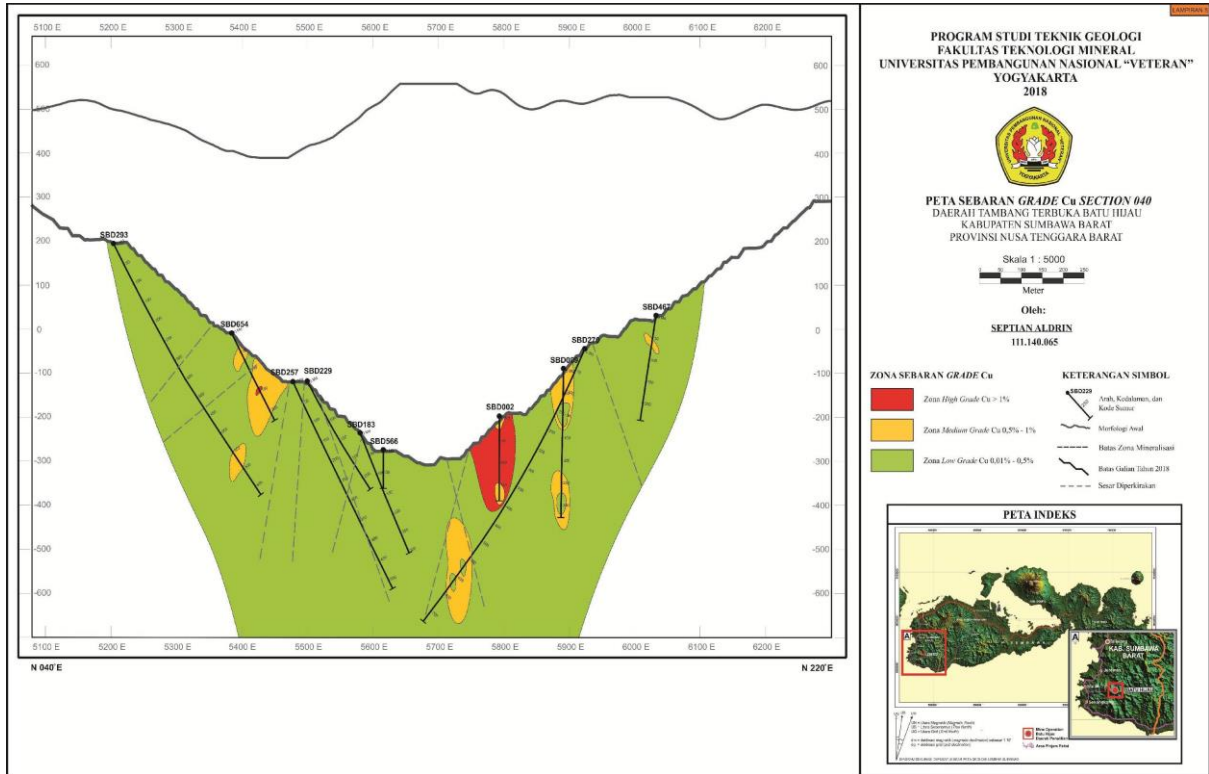
- Corbett, G., 2008. Influence of Magmatic Arc Geothermal Systems on Porphyry – Epithermal Au – Cu – Ag Exploration Models. *Paper Presented at The Terry Leach Symposium*, Sydney.
- Garwin, S.L., 2000. The Setting, Geometry and Timing of Intrusion-Related Hydrothermal Systems in The Vicinity of Batu Hijau Porphyry Copper-Gold Deposits, Sumbawa, Indonesia: *Thesis Ph.D*, University of Western Australia, Nedlands, 320 pp.
- Garwin, S., (2002): The Geologic Setting of Intrusion-Related Hydrothermal Systems near the Batu Hijau Porphyry Copper-Gold Deposit, Sumbawa, Indonesia, *Economic Geology, Special Publication 9*, 333-366.
- Garwin, S., Hall, R., and Watanabe, Y., 2005. Tectonic Setting, Geology, and Gold and Copper Mineralization in Cenozoic Magmatic Arcs of Southeast Asia and the West Pacific. *Economic Geology 100th Anniversary Volume* pp. 891–930.
- Guilbert, J.M., dan Lowell, J.D., 1974. Variations in Zoning Patterns in Porphyry Ore Deposits. *Canadian Inst. Mining and Metallurgy Bull*, 67, 290–295 p.
- Gustafson, L.B., dan Hunt, J.P., 1975. The Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile. *Bulletin of The Society of Economic Geologist*, Vol. 70, No. 5, 857 – 912 p.
- Idrus, A., 2005. Petrology Geochemistry and Compositional Changes of Diagnostic Hydrothermal Mineral within The Batu Hijau Porphyry Copper–Gold Deposits, Sumbawa Island, Indonesia. *Doctor Dissertation*, RWTH Aachen University Germany, Unpublished, 352 p.
- Lowell, J.D., Guilbert, J.M., 1970. Lateral and Vertical Alteration–Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits. *Bulletin of The Society of Economic Geologists*, Vol. 65, No. 4, 373 – 108 p.
- Maryono, A., 2008. Porphyry Veining Types and Characteristics. *Porphyry Deposit Workshop*, Batu Hijau.
- Mitchell, P.A., Proffett, J.M., and Dilles, J.H. 1998. Geological review of the Batu Hijau porphyry copper-gold deposit, Sumbawa, Indonesia: *Internal Report*, PT. Newmont Nusa Tenggara. Unpublished.
- Morisson, K., 1997. *Important Hydrothermal and their Significance*. Geothermal and Mineral Service Division, New Zealand. 76 pp.
- Pirajno, F., 1992. *Hydrothermal mineral deposits principles and fundamental concepts for the exploration geologist*: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris. 709 p.
- Pirajno, F., 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer Geological Survey of Western Australia. 1250 p.
- Priowasono, E. dan Maryono, A. 2002. Structural Relationship and Their Impact on Mining at The Batu Hijau Mine, Sumbawa, Indonesia. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan IAGI ke-31*.
- Reimann, C., Flizmoser, P., dan Garret., R., 2005. *Background and Threshold: Critical Comparison of Method of Determination*, Science of The Total Environment, Elsevier.
- Sillitoe, R.H., 1979. Some Thoughts on Gold – Rich Porphyry Copper Deposits. *Mineral Deposits*, Vol. 14, 161 – 174 p.
- Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry Copper Systems. *Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology*, v. 105, pp. 3–41.
- Sjoekri, A.A., 1997. Application of Geographic Information Systems for mineral exploration in southwestern Sumbawa, Indonesia: *Thesis Master*, Colorado School of Mines, Golden, Colorado. Unpublished.
- Streckeisen, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, 12, 1-33 p.
- Sudradjat, A. Andi Mangga, dan S., Suwarna, N., 1998. Peta Geologi Lembar Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. Vol. 1 A, Government Printing Office, Nijhoff, The Hague.
- Williams, H., Turner, F. J., and Gilbert, C.M., 1954, *PETROGRAPHY. An Introduction to Study of Rocks in Thin Sections*. W.H. Freeman and Company Inc., San Francis



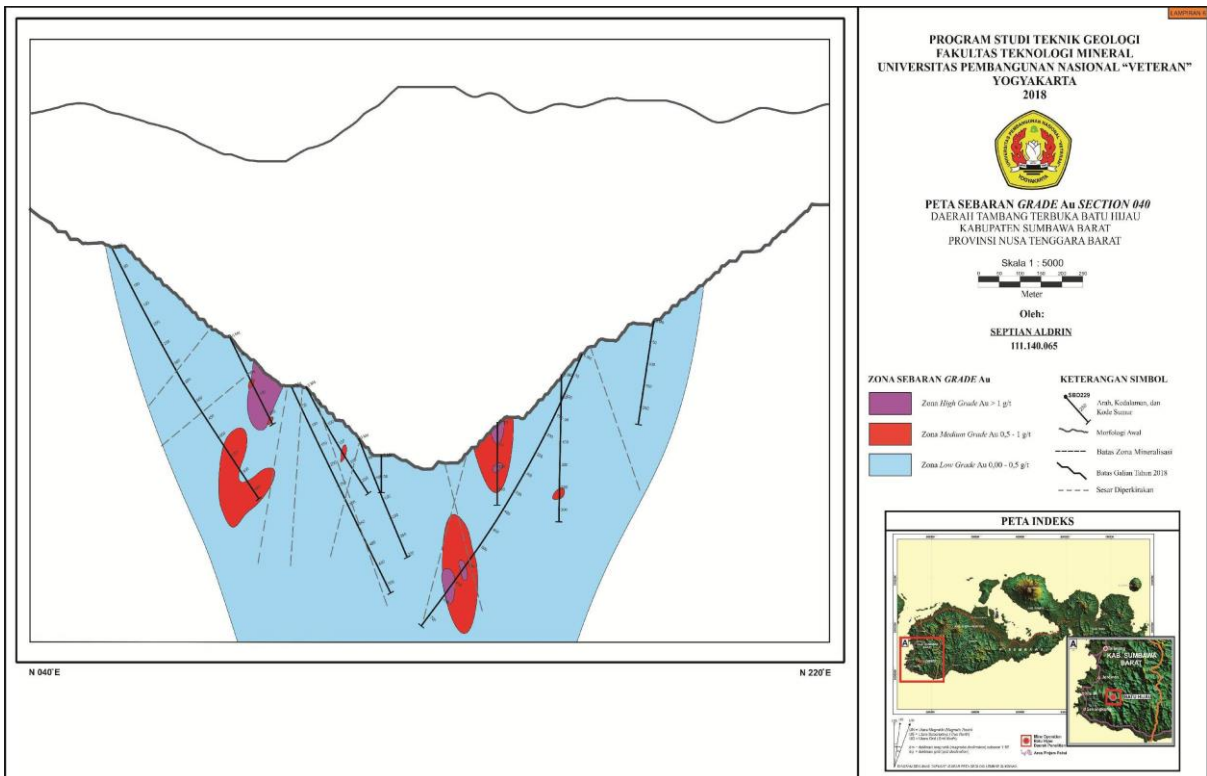
Gambar 14. Peta Zona Alterasi Section 040



Gambar 15. Peta Zona Mineralisasi Section 040



Gambar 16. Peta Sebaran Grade Cu Section 040



Gambar 17. Peta Sebaran Grade Au Section 040