

MINERALISASI PADA BREKSI HIDROTERMAL, DAERAH TEPU, TAMBANG EMAS TERBUKA KELIAN, KECAMATAN LINGGANG BIGUNG, KABUPATEN KUTAI BARAT, PROPINSI KALIMANTAN TIMUR

Antonius Bambang Yuniarto & Ildrem Syafri
Laboratorium Geofisika, Fakultas Teknik Geologi, UNPAD

ABSTRACT

This research was carried out at the southern pit wall in the open gold mining area of PT. Kelian Equatorial Mining, located at 00 00 '32, 56 "S - 00 05 '09, 14" South Latitude and 115⁰ 23' 29,02" - 115⁰ 28' 04,73" East Longitude. Administratively, it located in the Tepu area, Subdistrict of Linggang Bigung, West Kutai, East Kalimantan province. Physiographically that area is a part of Central Kalimantan volcanic arc.

Rocks exposed in this area can be divided into 4 (four) rock units, i.e. The Eocene Sandstone Unit; The Lower Miocene Andesitic Pluton Unit; The Middle Miocene Hydrothermal Breccia Unit; and The Early Miocene Diatreme Breccia Unit.

Geological structures that developed in this area were joints and faults. The faults are dilational structures types, in the form of sinistral- and dextral normal faults. These geological structures facilitated the penetration of andesite, followed by the appearance of hydrothermal fluids which produced the formation of hydrothermal breccia, and diatreme breccia. Hydrothermal breccia fragment consisting of andesite and sandstone, usually in jigsaw textured which are arranged in a matrix rock flour (Sillitoe, 1985), i.e. very fine grained material that came from milling process of breccia fragments. The carbonate minerals in the form of bladed texture are dominant minerals that filled the interfragments and matrix cavities. Partially, apart of carbonate minerals, the bladed silica was also present in cavity filling. The cavity filling minerals are associated with the appearance of metallic minerals.

The alteration zones in the research area can be grouped into three zones, namely: 1.) Zone containing chlorite + clay + sericite + adularia + carbonate 2.) Zone containing sericite + carbonate + clay + adularia ± quartz and 3.) Zone containing carbonate + clay + sericite + adularia + quartz / silica. These alterations are classified as subpropylitic - until phyllic zones (Corbett & Leach, 1996). Metal mineralization such as sphalerite, galena, pyrite, covellite, arsenopyrite and chalcopyrite are associated with carbonate alteration ± adularia ± quartz ± sericite ± clay were primarily formed as a cavity filling and veins in hydrothermal breccia. The analysis results of Au and Ag contents in some rocks samples of hydrothermal breccia ranged from 0.04 grams / ton to 8.96 grams / ton Ag and 0.55 to 11.8 grams / ton, while the recovery of Au ranged between 16.08% up to 85.12%. The highest content and % recovery value of Au was founded in hydrothermal breccia.

The mineralization stages can be divided into three stages: 1). The pre-brecciation stage that associated with the occurrence of chlorite, sericite, adularia, clay and pyrite dissemination as well as the formation of carbonate veinlets and quartzs in direction of the Northwest - Southeast, 2) The syn-brecciation stage, it related to the formation of hydrothermal breccia, i.e. the occurrence of carbonate and silica enrichment and the alteration minerals such as sericite, adularia, clay that related to the deposition of base metals as cavity filling and as veinlets in the direction of Southwest-Northeast. 3) Post-breccia stage was related to the occurrence of carbonate veinlets ± base metals which associated with the clay minerals. Those cut the fragments, rock flour matrix, cavities filling minerals in hydrothermal breccia after the their formation in the direction of Southwest-Northeast.

Mineralization in the area of study occurred as ore deposits in hydrothermal breccia and in the veins as well as the veinlets. Hydrothermal breccia formed by two processes, i.e.; structural control and high-pressure hydrothermal fluids, at the temperature more than 200° - 250° C, with the acidity condition of (pH) 6, 6-8, 3. This condition is classified as a system of low sulphidation that related to porphyry with gold-carbonate base metal deposits (Corbett & Leach, 1996).

Keywords: mineralization

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan pada dinding pit bagian selatan, areal tambang emas terbuka PT. Kelian Equatorial Mining yang terletak pada 0° 00' 32,56" LS - 0° 05' 09,14" LS dan 115° 23' 29,02" BT - 115° 28' 04,73" BT dan secara administratif berada di daerah Tepu, Kecamatan Linggang Bigung, Kabupaten Kutai Barat, Propinsi Kalimantan Timur. Sesuai dengan fisiografi regional, daerah tersebut termasuk dalam jalur Busur Pegunungan Kalimantan Bagian Tengah.

Batuan yang tersingkap di daerah penelitian ini dapat dibagi menjadi 4 (empat) satuan batuan, yang terdiri dari satuan batupasir yang berumur Eosen Akhir; satuan intrusi andesit berumur Miosen Bawah;

satuan breksi hidrotermal yang berumur Miosen Tengah; dan satuan breksi diatrem yang berumur Miosen Awal.

Struktur geologi yang berkembang adalah berupa struktur kekar dan sesar. Struktur sesar yang dijumpai adalah struktur dilasional yakni sesar dekstral naik, dan sesar sinistral normal. Struktur geologi ini memfasilitasi penerobosan andesit, diikuti oleh munculnya fluida hidrotermal yang mengakibatkan terbentuknya breksi hidrotermal, dan breksi diatrem. Breksi hidrotermal tersusun oleh fragmen andesit dan batupasir, umumnya bertekstur *jigsaw*, yang tersusun dalam matriks *rock flour* (Sillitoe, 1985) yaitu material berbutir sangat halus hasil proses penggilingan (*milling*) fragmen breksi selama proses breksiasi. *Cavity filling* yang dominan mengisi rongga antar fragmen serta matriks adalah mineral karbonat dan setempat ditemukan silika yang keduanya bertekstur *bladed*. Mineral *Cavity* ini berasosiasi dengan munculnya mineral logam dasar.

Alterasi daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi tiga zona mineral ubahan yaitu : 1.) Zona klorit + lempung + serisit + adularia + karbonat, 2.) Zona serisit + karbonat + lempung + adularia ± kuarsa dan 3.) Zona karbonat + lempung + serisit + adularia + kuarsa/silika. Alterasi ini diklasifikasikan sebagai zona alterasi subpropilitik, hingga filik (Corbett & Leach, 1996).

Mineralisasi logam yang dijumpai terdiri atas sphalerit, galena, pirit, kovelit, arsenopirit dan kalkopirit berasosiasi dengan alterasi karbonat ± kuarsa +serisit + adularia + lempung yang terbentuk secara dominan sebagai *cavity* dalam breksi hidrotermal dan sebagian sebagai urat.

Hasil analisis kadar Au dan Ag pada beberapa sampel batuan breksi hidrotermal berkisar dari 0.04 gr/ton hingga 8.96 gr/ton dan kadar Ag 0.55 hingga 11.8 gr/ton, sedangkan *recovery* Au berkisar 16.08% hingga 85.12%. Kadar dan % *recovery* Au tertinggi terdapat pada *cavity* karbonat/silika pada breksi hidrotermal.

Tahapan pembentukan mineralisasi tersebut dapat dibagi menjadi tiga tahap: tahap pertama yakni tahap pre-breksiasi yang berkaitan dengan pembentukan mineral ubahan klorit, serisit, adularia, lempung dan diseminasi pirit serta pembentukan veinlet-veinlet karbonat dan kuarsa berarah baratlaut – tenggara; tahap kedua yaitu tahap syn-breksiasi berkaitan dengan pembentukan tubuh breksi hidrotermal itu sendiri yaitu terjadinya pengayaan karbonat dan sejumlah silika, alterasi serisit, adularia, dan lempung yang berkaitan dengan pengendapan mineral logam dasar sebagai *cavity* dan urat yang berarah baratdaya-timurlaut. Tahap ketiga yaitu post-breksiasi berkaitan dengan pembentukan veinlet-veinlet karbonat ± logam dasar yang berasosiasi dengan alterasi lempung. Veinlet-veinlet tersebut memotong fragmen, matriks *rock flour*, dan mineral *cavity* pada breksi hidrotermal setelah pembentukan breksi yang berarah baratdaya-timurlaut.

Mineralisasi di daerah penelitian terbentuk sebagai endapan bijih pada breksi hidrotermal dan urat-urat veinlet. Breksi hidrotermal terbentuk karena dua proses yakni kontrol struktur dan dibantu oleh fluida hidrotermal bertekanan tinggi, pada temperatur > 200°-250°C, dengan kondisi keasaman (ph) 6.6-8.3. Kondisi ini diklasifikasikan sebagai sistem sulfida rendah yang berkaitan dengan porfiri dengan tipe endapan emas karbonat-logam dasar (Corbett & Leach, 1996).

Kata kunci: mineralisasi

PENDAHULUAN

Di kepulauan Indonesia telah diketahui terdapat 15 jalur mineralisasi logam dasar, 5 diantaranya terbukti mengandung mineral secara ekonomis (Carlille & Mitchell, 1994). Dua jalur, masing-masing Sabuk Sumatera – Meratus dan Sabuk Kalimantan Tengah hadir di Pulau Kalimantan. Sabuk yang pertama berumur Kapur Akhir memanjang dari Aceh di Utara, menerus ke selatan menyusur Pulau Sumatera hingga sampai ke Lampung, dan kemudian membelok memasuki jalur utara laut Jawa serta menerus menuju Kalimantan Selatan, sedangkan Sabuk yang kedua berumur Paleosen – Tersier Tengah terdapat di bagian utara sabuk Sumatera – Meratus, membentang dari Gunung Ba-

wang di bagian barat, melengkung ke arah Kalimantan Tengah serta menerus ke bagian utara. Sabuk ini dikenal sebagai sabuk Central Kalimantan yang juga telah terbukti mengandung mineralisasi. Beberapa tempat; daerah Mirah, Gunung Mas, Muro, Kelian, dan Muyup, merupakan daerah-daerah yang terletak pada sabuk yang kedua ini dan merupakan tempat-tempat yang sangat menarik bagi para ahli geologi, berkaitan dengan di-temukannya sejumlah cebakan emas yang sangat prospektif.

Cebakan emas Kelian merupakan tipe cebakan emas yang menyebar (*disseminated gold deposit*), yang terbesar di Indonesia dan beroperasi dari tahun 1992 hingga 2003 dengan cadangan sebesar >97 Mt bijih dengan kadar rata-rata 1,85 g/t Au,

termasuk >53,5 Mt bijih dengan kadar g/t Au (Van Leeuwen, 1994). Suatu hal yang menarik bahwa cebakan mineral logam di Kelian memiliki tipe endapan yang relatif lengkap yakni berupa breksi, urat dan *stock-work* urat. Breksi hidrotermal yang terbentuk di daerah Tepu, bagian selatan areal tambang emas Kelian misalnya, sangat menarik untuk dikaji lebih jauh karena telah diketahui bahwa breksi dalam kaitannya dengan endapan bijih telah lama dikenal sebagai tipe endapan yang sangat potensial, karakteristik sebagai batuan klastik sangat mendukung sebagai media terakumulasinya fluida hidrotermal yang mengandung mineral-mineral terutama bijih.

Penelitian ini ditujukan lebih khusus tentang proses mineralisasi hidrotermal yang berkaitan dengan breksi, yakni breksi hidrotermal di daerah Tepu, dinding selatan tambang emas Kelian. Sehubungan dengan tujuan tersebut, beberapa permasalahan yang akan dijawab adalah sbb.: a. Bagaimana karakteristik batuan breksi hidrotermal?; b. Bagaimana faktor-faktor pengontrol terbentuknya breksi hidrotermal, yaitu geologi daerah Kelian seperti faktor litologi, stratigrafi, struktur geologi daerah penelitian?; c. Bagaimana mekanisme atau genesis pembentukan breksi hidrotermal?; d. Bagaimana pengaruh keberadaan breksi hidrotermal terhadap litologi di sekitarnya?; e. Berapa kadar mineralisasi Au dan Ag pada litologi daerah penelitian?; f. Bagaimana proses mineralisasi dan alterasi pada breksi hidrotermal, yang meliputi zonasi alterasi, fase-fase alterasi, pengisian rongga yang terbuka (*open space filling*) oleh mineral dan paragenesis mineralisasi?.

Pendekatan yang dipakai dalam mencapai tujuan penelitian adalah sebagai berikut: Pengamatan dan pengambilan sampel batuan di lapangan, terutama dilakukan pada dinding tambang. Data yang dikumpulkan berupa karakteristik litologi, pengukuran unsur-unsur struktur geologi,

mineralisasi dan alterasi yang terbentuk. Analisis petrografi dan mineralografi, pengamatan sampel inti bor, pengukuran konsentrasi pH, kadar Au, Ag serta penentuan kadar mineralisasi (Assay).

Pengambilan sampel batuan telah dilakukan pada 27 titik lokasi (23 breksi & 4 andesit), sampel yang diambil berupa: sampel breksi secara keseluruhan (matriks dan komponen); sampel fragmen breksi, sampel massa dasar breksi, sampel andesit pada kontakannya dengan breksi hidrotermal, sedangkan untuk analisis laboratorium assay telah dipersiapkan sebanyak 43 sampel. Sampel batuan inti bor berasal dari sumur eksplorasi yang terpilih. Korelasi antar sampel batuan inti bor dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik secara vertikal, baik bentuk tubuh breksi hidrotermal, alterasi dan mineralisasi.

Tambang emas Kelian, terletak pada 0°00'32.56"LS - 0°05'09.14"LS dan 115°23'29.02"BT - 115°28'04.73"BT. Di dinding pit, bagian selatan areal tambang PT. Kelian Equatorial Mining tersebut, yang dikenal dengan daerah Tepu penelitian ini telah dilakukannya. Daerah Tepu berada dalam wilayah Kecamatan Linggang Bigung, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur, terletak di tepi sungai Kelian, anak sungai Mahakam (Gambar 1). Lokasi tersebut dapat dicapai, dengan menggunakan *speed-boat* dari Samarinda sejauh ± 450 km atau sekitar 8 jam ke arah hulu Sungai Mahakam sampai daerah Jelemuq. Dari Jelemuq hingga daerah Prampus yang masih berada dalam kecamatan yang sama, perjalanan kemudian dilanjutkan dengan kendaraan darat selama ± 1 jam.

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Stratigrafi

Berdasarkan hasil korelasi data pemetaan dinding pit tambang dan pengamatan sampel batuan inti bor pada K-291, K-292, dan K-397, dapat

diketahui litologi penyusun daerah penelitian dari yang paling tua hingga paling muda yakni satuan batupasir, satuan andesit, satuan breksi hidrotermal, dan satuan breksi diatrem. Sebagai komparasi lihat Gambar 2.

Satuan batupasir

Berdasarkan karakteristiknya di lapangan, satuan ini disebut sebagai batupasir, tersusun oleh batupasir berbutir kasar bersisipan batupasir berbutir halus, tersingkap di barat laut dan barat daya daerah penelitian dengan karakteristik berwarna putih keabuan hingga abu-abu, berlapis. Struktur sedimen yang tampak adalah *graded bedding* dan paralel laminasi. Bentuk butir membundar tanggung hingga membundar, pemilahan baik, kemas terbuka sampai tertutup, kompak, setempat ditemukan kandungan kuarsa berbutir kasar dan karbon, Kuarsa berbentuk agak membundar hingga sangat membundar. Pada percontohan bor K-291, litologi ini dapat diamati pada kedalaman 3.10 hingga 15.70m. dalam hal ini struktur sedimen paralel laminasi berada di bagian atas, sedangkan struktur sedimen *graded bedding* berada di bagian bawah, mengandung pirit berbutir halus. *Stockwork veinlet* (urat-urat berbutir halus) terdiri dari kalsit, pirit, galena, dan sphalerit terdapat pada batupasir ini. Sayatan tipis batuan memperlihatkan butiran kasar hingga halus, agak membundar sampai membundar, terpilah baik, komposisi mineral tersusun oleh plagioklas, kuarsa, fragmen batuan, mikrokristalin, gelas vulkanik sebagai massa dasar, dan mineral bijih. Mineral ubahan yang hadir adalah serisit, karbonat, dan kuarsa. Berdasarkan data kesebandingan, satuan batupasir ini diendapkan pada subkala Eosen Akhir (van Leeuwen, 1990).

Satuan andesit

Batuan ini tersebar di sekitar satuan breksi hidrotermal dengan karakteristik berwarna hijau keku-

ningan hingga abu-abu kecoklatan, bertekstur porfiritik, komposisi mineral felsik, mineral mafik, diameter fenokris felspar dapat mencapai 5mm, tersusun dalam massa dasar mikrokristalin, mengandung diseminasi pirit, kekompakan sangat keras sampai agak keras. Mengandung *stockwork* urat *vein-veinlet* karbonat $\pm$ kuarsa $\pm$ pirit $\pm$ logam dasar (sphalerit dan galena) terutama pada zona dekat breksi hidrotermal, sedangkan pada zona yang lebih jauh lebih umum ditemukan sebagian *single vein-veinlet* yang mengisi rekahan-rekahan. Di beberapa tempat ditemukan breksi hidrotermal berskala kecil, mengisi rongga rekahan-rekahan akibat struktur.

Mikroskopis, batuan ini bertekstur porfiritik, hipidiomorf, holokristalin, dengan komposisi mineral bersifat andesitis yang terdiri plagioklas, ampibol, k-felspar, fenokris tersusun dalam massa dasar mikrokristalin, mineral bijih dan mineral lempung. Pada umumnya mineral penyusun tersebut telah berubah menjadi klorit, serisit, adularia, karbonat dan mineral bijih. Di beberapa tempat ditemukan kandungan batupasir sebagai *xenolith* atau material asing dalam tubuh batuan andesit tersebut, kandungan *xenolith* ini menunjukkan bahwa satuan andesit ini menerobos satuan batupasir yang lebih tua.

Berdasarkan kesebandingan penelitian terdahulu (van Leeuwen, 1990), penerobosan batuan andesit terjadi pada subkala Miosen Bawah (K-Ar dating: $22,9 \pm 0,5$ m.y).

Satuan breksi hidrotermal

Breksi Hidrothermal adalah jenis breksi yang terbentuk akibat pengkekanan hidrolik (*hydraulic fracturing*) yang berkaitan dengan sistem hidrotermal (Hedenquist dan Henley, 1985). Menurut Taylor dan Pollard (1993, dalam Corbett & Leach, 1996) breksi adalah batuan klastik yang tersusun oleh fragmen-fragmen yang disatukan oleh matriks dan termasuk

di dalamnya pengisian rong-ga (*cavity filling*) oleh mineral-mineral hidrotermal. Di daerah selatan areal tambang terdapat 2 (dua) jenis sistem endapan mineralisasi yaitu breksi hidrotermal dan *stockwork vein-veinlet*. Batuan asal yang menyusun fragmen breksi hidrotermal didominasi oleh andesit dan batupasir yang mengalami fragmentasi akibat proses deformasi yang dikontrol struktur daerah yang dibantu injeksi larutan hidrotermal bertekanan dan temperatur tinggi mengikuti jalur struktur sehingga terbentuklah satuan breksi hidrotermal. Gradasi tingkat fragmentasi mulai dari suatu tubuh batuan andesit yang masif, kemudian terstrukturkan hingga terbentuk kekar-kekar intensif yang berlembar hingga menjadi suatu breksi, di sini batuan andesit dan batupasir yang terkekarkan telah menjadi fragmen-fragmen breksi. Pada breksi hidrotermal bagian kontak dengan andesit memiliki karakteristik fragmen yang sangat menyudut, bertekstur *crackle* hingga *jigsaw* yang menunjukkan bahwa fragmen-fragmen penyusunnya mengalami sedikit sekali perubahan posisi, sehingga fragmen-fragmen tersebut dapat direkonstruksikan kembali ke bentuk asalnya. Berdasarkan pengamatan mikroskopis pada sayatan tipis, mineral penyusun fragmen breksi telah berubah menjadi serisit, karbonat, adularia, lempung serta mengandung mineral pirit *disseminated* (tersebar)

Dari pengamatan di lapangan dan pengamatan pada sampel inti bor, ditemukan bahwa proses breksiasi hidrotermal ini terjadi beberapa kali (rebreksiasi). Proses fragmentasi breksi oleh larutan hidrotermal terjadi berkali-kali yang mengakibatkan fragmen yang berukuran lebih besar (bongkah), di bagian sampingnya terdapat fragmen-fragmen yang berukuran lebih kecil (kerikil-kerakal) bertekstur *jigsaw* sampai *crackle* yang bila direkonstruksikan kembali, berasal dari fragmen yang berukuran lebih besar tersebut.

Fragmen batupasir berwarna hijau keabuan hingga abu-abu kemerahan yang diakibatkan proses oksidasi. Fragmen berukuran kerikil hingga kerakal, menyudut hingga agak menyudut, *clasts supported*, dengan tekstur *rubble* dalam hal ini fragmen-fragmennya relatif sangat rapat dan bersentuhan namun tidak menunjukkan kelurusan-kelurusan asal bidang belahannya. Di beberapa tempat ditemukan breksi bertekstur *jigsaw* dan *crackle*, yang menunjukkan proses rebreksiasi terhadap fragmen tuf ini.

Karakteristik breksi hidrotermal lainnya adalah adanya matriks atau massa dasar breksi oleh *rock flour* dan pengisian rongga (*cavity filling*) oleh mineral karbonat yang berasosiasi dengan terbentuknya mineral logam dasar yaitu sphalerit, galena, kalkopirit dan pirit.

Mayoritas dari komponen mineralisasi pada breksi yang berasal dari fluida hidrotermal umumnya terdapat bersamaan dengan matriks. Matriks ini disebut *milled matrix* (Baker et al, 1986) atau *rock flour* (Sillitoe, 1985). Pada pengamatan mikroskopis sayatan tipis, matriks *rock flour* disusun oleh mikrokristalin yang telah berubah menjadi serisit, karbonat, lempung, dan adularia.

Berdasarkan interpretasi data pengamatan tersebut di atas, jenis breksi hidrotermal ini diklasifikasikan sebagai breksi magmatik-hidrotermal (Sillitoe, 1985). Proses yang mengontrol dalam pembentukan breksi ini menurut Jebrak (1997) adalah tektonik (*Tectonic Comminution*) dan dibantu oleh fluida (*Critical Fluid-assisted brecciation*).

Satuan breksi diatrem

Litologi ini didominasi oleh matriks *rock flour* (Sillitoe, 1985). Secara lokal breksi diatrem disebut sebagai "*Tepu muddy breccia*" (van Leuween, 1990). Di daerah penelitian Breksi diatrem terdiri dari subsatuan breksi diatrem masif dan subsatuan breksi diatrem berlapis. Breksi diatrem masif me-

ngandung karbon, sehingga breksi berwarna abu-abu hingga abu-abu kehitaman, *matrix supported*, kemas terbuka, terpilah buruk, fragmen polimik, agak menyudut hingga membundar, berukuran kerikil hingga kerakal mencapai 6cm terdiri dari batulanau, batupasir, dan andesit, tersusun dalam matiks *rock flour* berwarna abu-abu kehitaman, berbutir sedang sampai halus, dan mineral karbonat pirit *disseminated*.

Breksi diatrem masif menindih satuan breksi hidrotermal dan satuan andesit. Berdasarkan karakteristik tersebut, breksi diatrem ini diklasifikasikan sebagai breksi diatrem fasies PB-S : *massive unstratified polymict breccia* (Davis, A. 1999).

Breksi diatrem berlapis berwarna abu-abu-sampai abu-abu kecoklatan, fragmen polimik terdiri dari batupasir, batulanau, dan andesit;; *matrix supported*; mengandung lapisan-lapisan pirit; fragmen memiliki arah orientasi (imbrikasi), dan gradasi besar butir (stratifikasi) dari yang paling besar (kerakal) pada bagian sisi hingga yang paling halus (matriks) pada bagian tengah tubuh breksi *fluidised*. Lebar tubuh breksi mencapai 200 cm. Pengamatan mikroskopis terhadap sayatan tipis terlihat bahwa mineral penyusun breksi ini telah berubah menjadi karbonat, serisit, dan lempung. Breksi ini terbentuk sebagai sisa-sisa larutan hidrotermal yang membawa material-material di sekitarnya, berdasarkan karakteristik yang ditemukan serta di-sebandingkan dengan peneliti terdahulu breksi jenis ini dapat diasosiasikan dengan breksi diatrem fasies PB-S : *Stratified polymict breccia and microbreccia* (Davis, 1999).

Breksi diatrem di daerah penelitian berdasarkan karakteristik yang dimilikinya diklasifikasikan sebagai breksi phreatomagmatik (Sillitoe, 1985) yang terbentuk sebagai akibat erupsi phreatomagmatik yang menembus ke permukaan. Jenis litologi ini mengandung mineralisasi yang relatif sedikit dibandingkan dengan litologi

breksi hidrotermal. Proses erupsi phreatomagmatik yang membentuk satuan ini terjadi pada subkala Miosen Awal (van Leeuwen, 1990).

Singkapan batupasir, andesit dan *xenolith* batupasirnya, breksi bertekstur *crackle-jigsaw* serta breksi diatrem di daerah penelitian terlihat pada Gambar 3.

Struktur Geologi

Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian adalah struktur sesar naik dekstral Prampus Timur, Sesar Normal dan Kekar.

Struktur sesar dekstral naik berkembang di bagian barat laut satuan breksi hidrotermal dengan arah relatif baratdaya-timurlaut. Indikasi-indikasinya di lapangan berupa cermin sesar dan breksi sesar.

Struktur sesar normal berkembang di bagian baratdaya satuan breksi hidrotermal, berarah relatif barat laut-tenggara. Indikasi-indikasi yang ditemukan antara lain cermin sesar.

Struktur kekar atau rekahan-rekahan banyak ditemukan di daerah penelitian. Pada umumnya telah terisi kalsit dan pirit. Dari hasil analisis proyeksi stereogram data pengukuran kekar di lapangan, struktur kekar di daerah penelitian dapat dibagi menjadi 2 jenis, yakni : a) Kekar gerus (*shear joints*) berarah relatif baratdaya selatan – timurlaut utara, pada umumnya terisi oleh mineral kalsit dan pirit. Berdasarkan proyeksi stereogram hasil kompilasi data-data kekar, didapatkan arah orientasi bidang dip/ dip direction : 47°/ N 171° E; b) Kekar bukaan (tension joints), berarah relatif barat barat laut – timur tenggara, pada umumnya barren (tidak ada mineral pengisi), beberapa terisi oleh lempung. Berdasarkan proyeksi stereogram hasil kompilasi data-data kekar didapatkan arah orientasi bidang dip/ dip direction : 63°/ N 016° E, trend/plunge : N 196° E/ 27°.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Alterasi

Dalam arti yang sederhana, alterasi adalah perubahan mineralogi batuan, dalam hal ini mineral-mineral yang lama berubah menjadi mineral yang baru. Zonasi alterasi hidrotermal sangat penting bagi penentuan zona prospek endapan bijih, karenanya alterasi dan mineralisasi bijih merupakan dua hal penting dan saling berkaitan. Suatu tipe endapan bijih memiliki karakteristik zonasi himpunan mineral alterasi tertentu yang khas, sehingga alterasi sangat penting sebagai aspek penunjuk di dalam suatu eksplorasi endapan mineral bijih.

Mineral Ubahan

Karbonat

Karbonat bertekstur *bladed*, *vuggy*, merupakan mineral utama yang dominan mengisi rongga-rongga antar fragmen breksi hidrotermal. Selain itu mineral karbonat juga hadir sebagai mineral dominan penyusun urat-urat tipis (*veinlet*) pada fragmen breksi serta pada *stockwork veinlets* yang terbentuk di batuan andesit sekitar breksi hidrotermal. Kontrol utama pengendapan mineral karbonat adalah terjadinya peningkatan temperatur (Corbett & Leach, 1996). Jika fluida hidrotermal yang mengandung konsentrasi larutan CO_2 mendidih (*boiling*) dengan sangat cepat, kemudian akan melepaskan CO_2 sehingga terjadi pengendapan mineral karbonat bertekstur *bladed* (Simmons & Christenson, 1994; dalam Corbett & Leach, 1996).

Silika

Silika juga hadir sebagai mineral *gangue* pada beberapa tempat, berwarna putih bertekstur *bladed*, *vuggy*. Pada silika bertekstur *bladed vuggy*, secara megaskopis terlihat pada permukaannya terjadi *over-growth* silika berwarna kekuningan dengan tekstur *bladed* yang lebih kecil. Silika pseudo-morf yang terbentuk merupakan efek

sekunder ketika terjadi peningkatan pH fluida dalam proses pengendapan mineral karbonat sehingga terjadi pengendapan silika.

Silika amorf terbentuk akibat proses pendinginan yang cepat, mengindikasikan proses pendidihan (*boiling*) fluida hidrotermal $100^\circ\text{--}190^\circ\text{C}$ pada kedalaman $< 100\text{m}$ di bawah permukaan tanah (Corbett & Leach, 1996).

Kuarsa

Mineral kuarsa kristalin sangat sedikit ditemukan di daerah penelitian. Sebagai mineral *gangue* pada *cavity filling* breksi, serta sebagai penyusun utama urat *veinlet*. Setempat ditemukan sebagai kuarsa ametis berwarna ungu. Dalam lingkungan epitermal hingga mesotermal ($<300^\circ\text{--}350^\circ\text{C}$), kuarsa akan terbentuk pada saat proses pendinginan fluida, dengan kondisi temperatur fluida sekitar 350°C .

Serisit

Serisit merupakan ubahan dari mineral pembentuk batuan, berupa mika putih berbutir halus. Serisit terbentuk akibat dekomposisi feldspar. Di lapangan keberadaan mineral ini dalam batuan diindikasikan dengan kekompakan batuan yang agak lunak, sehingga mudah dipukul dengan palu. Bila disentuh terasa berminyak, serta warnanya yang putih sampai kuning kecoklatan mengakibatkan batuan andesit dan fragmen breksi menjadi berwarna putih hingga kuning kecoklatan. Serisit menunjukkan kondisi pH fluida yang rendah, netral hingga agak asam, dengan temperatur pembentukan di atas 220°C .

Adularia

Secara megaskopis adularia dapat dikenali sebagai mineral berwarna merah muda, bentuk kristal monoklinal, pada umumnya banyak ditemukan pada bagian samping fragmen breksi dekat dengan *cavity filling* yang mengisi rongga-rongga antar fragmen (zonal), serta bagian batuan dekat dengan urat *veinlet*. Adularia merupakan variasi dari ortoklas.

Merupakan indikator yang baik dari adanya suatu proses *boiling* dan temperatur pembentukan yang tepat bagi terbentuknya emas epitermal (Lawless et al, 1997).

Klorit

Alterasi mineralogi penyusun batuan menjadi klorit mengakibatkan batuan menjadi berwarna hijau. Pada umumnya terbentuk akibat dekomposisi mineral-mineral pembawa Fe-Mg, seperti amfibol dan piroksen. Alterasi klorit terjadi pada temperatur yang relatif rendah. Secara umum terbentuk pada tatanan zona alterasi relatif jauh (*distal*) dibandingkan dengan tipe alterasi lainnya.

Mineral lempung

Pada beberapa tempat pada tubuh breksi hidrotermal ditemukan kandungan mineral lempung berwarna putih kehijauan. Kehadiran mineral lempung disebabkan oleh pH larutan yang mengalami penurunan serta pengayaan CO₂ pada uap air ke dalam larutan hidrotermal yaitu dari asam sulfat, uap air permukaan, atau dari kondensasi zat-zat volatil magmatik pada temperatur 150-200°C (Corbett & Leach, 1996).

Zonasi Alterasi

Penentuan zonasi mineral ubahan daerah penelitian menggunakan klasifikasi Corbett & Leach (1996) yang didasarkan pada kontrol derajat keasaman dan temperatur pembentukan. Jenis alterasi di daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi 3 zona mineral ubahan (alterasi) yakni :

Zona Klorit+Lempung+Serisit+Adularia+Karbonat

Zona ini tersebar pada satuan andesit di sekitar breksi hidrotermal bagian luar, dicirikan oleh himpunan mineral klorit-serisit-adularia-lempung karbonat serta pirit. Karakteristik yang dapat diamati di lapangan, bahwa batuan yang berubah menjadi

hijau muda-hijau kekuningan, tekstur asli masih dapat diamati.

Pada pengamatan mikroskopis sayatan tipis RL910-4, terlihat mineral ubahan berupa klorit, karbonat, serisit, adularia, dan mineral lempung yang mencapai 40% dari keseluruhan mineralogi penyusun batuan. Tekstur batuan porfiritik masih terlihat sangat jelas, struktur pilotaktik (tekstur aliran), holokristalin, hipidiomorf. Klorit (16%), serisit (6%), mineral karbonat (4%), adularia (3%), mineral lempung (14%). Selain itu batuan mengandung mineral pirit (1%) yang tersebar (*disseminated*) berbutir halus pada umumnya sebagai massa dasar.

Zona Serisit+Karbonat+Lempung+Adularia±Kuarsa

Himpunan mineral alterasi ini terdapat pada bagian kontak satuan andesit dengan breksi hidrotermal. Karakteristik fisik batuan yang telah mengalami ubahan ini adalah litologi batuan yang berwarna putih kehijauan hingga putih keabuan akibat mineral feldspar sebagian besar telah mengalami ubahan menjadi serisit. Karakter lain adalah munculnya urat-urat *veinlet* karbonat ± kuarsa ± mineral bijih pirit/sphalerit/galena, berukuran < 2mm yang hadir sangat ekstensif, terutama pada kontak dengan breksi hidrotermal.

Mineral kuarsa sangat jarang dijumpai pada daerah penelitian, namun pada sayatan RL910/2 dapat diamati hadirnya mineral kuarsa dengan kandungan 15% sebagai mineral gangue pada urat, bertekstur menyerupai sisir, mengisi urat bagian samping, sedangkan bagian tengah terisi oleh mineral karbonat. Pada sayatan itu juga dapat diamati mineral amfibol yang telah berubah sebagian menjadi mineral bijih dengan komposisi kurang dari 1%.

Zona Karbonat+Lempung+Serisit+Adularia±Kuarsa/Silika

Zona ini terbentuk pada seluruh satuan breksi hidrotermal yang ber-

kembang di daerah penelitian. Fragmen-fragmennya telah mengalami alterasi kuat menjadi karbonat, serisit, adularia, dan lempung (illite). Mineral kuarsa sangat sedikit ditemukan di zona ubahan ini (setempat) sebagai silika pseudomorf, bertekstur *bladed*, kemudian sebagai kuarsa ametis sebagai mineral gangue ditemukan pada breksi hidrotermal berskala kecil.

Berdasarkan analisis petrografi terlihat bahwa alterasi pada mineral pembentuk batuan breksi hidrotermal sangat kuat, persentase mineral ubahan berkisar dari 60% hingga 78%, terdiri dari mineral karbonat 25-26%, serisit 10-20%, adularia 11-12%, dan lempung 14-20 %. Berdasarkan klasifikasi Corbett & Leach (1996), kelompok-kelompok mineral ubahan di daerah penelitian yang telah disebutkan di atas digolongkan ke dalam zona ubahan sub-propilitik hingga filik, yang terbentuk pada kondisi pH netral dan temperatur pembentukan >200-250°C.

Berdasarkan kesebandingan peneliti terdahulu dengan melakukan dating K-Ar terhadap konsentrat mineral adularia dari sampel batuan riolit yang telah teralterasi sangat kuat, memberikan umur radiometrik 20.2 ± 0.3 Ma, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses alterasi ini terjadi pada subkala Miosen Awal (van Leeuwen, 1990)

Derajat Keasaman (pH)

Untuk mengetahui derajat keasaman batuan di daerah penelitian, telah dilakukan analisis assay di laboratorium milik PT. KEM, dengan metode CIL. Sampel yang dipakai berjumlah 16 buah, berasal dari dinding tambang dan mewakili berbagai karakteristik batuanannya. Dari 16 sampel tersebut, dua sampel (AN-02 dan AN-03) diambil pada satuan andesit bagian kontak dengan breksi hidrotermal, sedangkan 14 titik (Kode : BX), diambil pada satuan breksi hidrotermal. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa batuan di daerah

penelitian yang telah mengalami proses alterasi hidrotermal memiliki derajat keasaman (pH) berkisar dari 6,6 hingga 8,3.

MINERALISASI

Analisis Mineragrafi

Analisis mineragrafi telah dilakukan terhadap 8 (delapan) sayatan poles sampel batuan yang berasal dari fragmen-fragmen breksi dan urat-urat serta isiannya. Dari hasil mineragrafi ini dapat diketahui mineral – mineral bijih, sebagai berikut:

1. Pirit (FeS_2)

Berdasarkan hasil pengamatan analisis mineragrafi sayatan poles, kehadiran pirit sangat banyak, hadir sebagai massa dasar batuan yang tersebar (*disseminated*) berbentuk euhedral, kubik dan hadir bersama mineral gangue dalam *cavity filling* dan urat, berbentuk planar, granular, *interlocking*, tekstur *exsolution* bersama mineral gangue. Tekstur *overgrowth* oleh kovelit. Pada umumnya terdapat tekstur replacement pada bidang belahan dan rekahannya maupun sebagai inklusi oleh galena, sphalerit, dan kalkopirit. Tekstur penetrasi oleh arsenopirit, dan *overgrowth* oleh kovelit.

2. Galena (PbS)

Galena berwarna abu-abu muda hingga putih, hadir sebagai inklusi pada rekahan dan mereplacement (interpenetrasi) mineral pirit, sphalerit dan kalkopirit.

3. Sphalerit (Zn, Fe)S

Sphalerit berwarna abu-abu, mereplacement interpenetrasi terhadap pirit dan galena. Terdapat tekstur *exsolution*, *interlocking*, *overgrowth*, inklusi dan rekahan terisi mineral kalkopirit dan arsenopirit.

4. Kalkopirit (CuFeS_2)

Kalkopirit berwarna kuning tua hingga kuning muda; hadir sebagai inklusi pada pirit. Tekstur *exsolution*,

spotted, lamellae dalam sphalerit, tekstur penggantian oleh sphalerit dan galena, overgrowth pada sphalerit. Terdapat inklusi pada rekahan oleh arsenopirit.

5. Kovelit (CuS)

Mineral kovelit berwarna biru; hadir sebagai mineral minor dengan tekstur overgrowth pada rekahan, dan bidang belahan mineral pirit.

6. Arsenopirit (FeAs)

Arsenopirit merupakan mineral minor berwarna putih; tekstur intergrowth dan replacement mineral pirit, kalkopirit dan sphalerit.

Keberadaan Emas-Perak

Analisis assay untuk kedua logam mulia tersebut telah dilakukan pada 43 sampel batuan yang berasal dari 30 titik di lintasan pengamatan pemetaan dinding pit. Analisis dilakukan untuk mengetahui kandungan elemen-elemen penyusun batuan terutama Au / % recovery Au (tingkat kemampuan kandungan Au yang dapat diambil), kandungan Ag, dan derajat keasaman (pH) batuan.

Pengambilan sampel batuan dilakukan pada 4 titik pada andesit di bagian kontak dengan breksi hidrotermal dan 23 titik pada breksi hidrotermal. Setiap titik pengambilan sampel pada breksi dibagi menjadi 2 bagian yakni sampel fragmen dan sampel matriks breksi. Pada breksi diatrem diambil 3 sampel. Kandungan Au pada sampel andesit bagian kontak dengan breksi hidrotermal berkisar dari 0.12 hingga 0.69 gr/ton, kandungan Ag berkisar 2.15 hingga 2.02 gr/ton, sedangkan derajat keasaman (pH) batuan berkisar 7.3 hingga 8. Persentase (%) recovery Au berkisar antara 38.52% s.d. 81.82%.

Pada sampel breksi diatrem kandungan Au berkisar dari 0.13 gr/ton hingga 1.21 gr/ton dengan recovery Au yang sangat rendah yakni 0.13% hingga 1.21%, kandungan Ag berkisar 0.55 gr/ton hingga 0.97

gr/ton. Dengan persentase recovery Au yang sangat rendah produk emas dari breksi *fluidised* sangat tidak ekonomis. Untuk sampel breksi hidrotermal analisis assay terhadap bagian fragmen dan matriks telah dipisahkan. Pada fragmen breksi, kandungan Au dan Ag memiliki perbedaan yang sangat signifikan dibandingkan dengan kandungan pada matriksnya.

Kandungan Au pada fragmen breksi berkisar pada 0,04 gr/ton hingga 0,72 gr/ton, dengan persentase recovery Au 10,53% hingga 82,8%, sedangkan pada matriks dan cavity filling breksi hidrotermal berkisar pada 0,04 hingga 8,96 gr/Au dengan persentase recovery Au 16,08% hingga 85,12%. Perbedaan yang juga cukup signifikan adalah kadar Au pada matriks *rock flour* dengan kadar Au pada *cavity filling* karbonat/silika. Pada matriks *rock flour* kadar Au berkisar pada 0,04 gr/ton hingga 0,9 gr/ton, sedangkan pada *cavity filling* karbonat/silika berkisar pada 0,11 gr/ton hingga 8,96 gr/ton. Dari hasil analisis assay tersebut dapat diinterpretasikan bahwa kandungan Au yang tinggi terbentuk pada *cavity filling* yang mengisi rongga-rongga antar fragmen breksi hidrotermal.

PARAGENESIS MINERAL UBAHAN DAN MINERALISASI BIJIH

Berdasarkan analisis laboratorium petrografi sayatan tipis dan sayatan poles, paragenesis atau orde pembentukan mineral daerah penelitian dibagi menjadi 3 (tiga) periode pembentukan, yakni periode pembentukan mineral sebelum pembentukan breksi hidrotermal (Pre-Breksiasi), periode kedua yakni tahap pembentukan mineral pada saat pembentukan breksi hidrotermal (Syn-Breksiasi), dan periode ketiga yakni tahap pembentukan mineral pasca pembentukan breksi hidrotermal (Post-Breksiasi).

Periode Mineralisasi Pre-Breksiasi

Pada periode ini terbentuk mineral-mineral ubahan yakni klorit, serisit, adularia, karbonat, pirit *disseminated*, *veinlet-veinlet* kuarsa dan kalsit.

Pada tubuh breksi hidrotermal indikasi adanya tahapan mineralisasi pre-breksiasi (sebelum terbentuknya breksi hidrotermal) dapat diamati berupa *veinlet* karbonat+pirit $\pm$ kuarsa bertekstur *comb* berdiameter < 5mm dalam fragmen breksi namun tidak menerus memotong matriks breksi. *Veinlet-veinlet* karbonat $\pm$ kuarsa ini juga ditemukan pada tubuh batuan andesit bagian kontak dengan breksi hidrotermal yang telah terpotong oleh *veinlet-veinlet* karbonat $\pm$ kuarsa+logam dasar (sphalerit, galena, kalkopirit) yang terbentuk pada periode ketiga. Berdasarkan hasil interpretasi proyeksi stereonet pengukuran terhadap *veinlet-veinlet* yang telah terpotong oleh *veinlet* yang berasosiasi dengan logam dasar tersebut didapatkan arah umum tahapan mineralisasi ini yakni berarah relatif baratlaut – tenggara.

Periode Mineralisasi Syn-Breksiasi

Pada periode mineralisasi ini muncul mineral serisit, adularia, pirit, lempung, karbonat, kuarsa, galena, sphalerit, kalkopirit. Tahap mineralisasi ini berkaitan erat dengan tahap pembentukan breksi hidrotermal. Dalam tahap ini terjadi pengayaan mineral karbonat $\pm$ silika/ kuarsa bertekstur *bladed* sehingga terjadi pengisian rongga (*cavity*) breksi hidrotermal serta pembentukan *veinlet-veinlet* pada fragmen breksi oleh karbonat bertekstur *bladed* yang berasosiasi dengan mineral logam dasar yakni galena, sphalerit, pirit, dan kalkopirit., arsenopirit, serta electrum (Au,Ag) berupa inklusi-inklusi kecil dalam kalkopirit dan pirit. *Veinlet-veinlet* yang terbentuk memiliki karakteristik hanya terbentuk dalam fragmen breksi saja, dan berhubungan dengan *cavity filling*. Proses pem-

bentukan *cavity* dan *veinlet-veinlet* tersebut mengakibatkan terjadinya pengayaan mineral adularia dan lempung/illite terutama di bagian luar fragmen breksi dan pada batuan andesit bagian kontak dengan breksi hidrotermal. Berdasarkan interpretasi proyeksi streogram hasil data pengukuran arah *veinlet-veinlet* tersebut didapatkan arah umum tahapan mineralisasi ini relatif berarah baratdaya-timurlaut, sehingga pola penyebaran tubuh breksi hidrotermal mengikuti arah tegasan tersebut.

Periode Mineralisasi Post-Breksiasi

Mineralisasi post-breksiasi diindikasikan dengan terbentuknya *vein-veinlet* dalam tubuh breksi hidrotermal yang memotong fragmen, matriks *rock flour* dan *cavity filling* yang menyusun breksi hidrotermal. Urat *vein-veinlet* tersebut disusun oleh mineral *gangue* karbonat dan silika bertekstur *bladed* yang berasosiasi dengan mineral logam dasar sphalerit, galena, pirit dan kalkopirit, arsenopirit, dan kovelit. Berdasarkan interpretasi proyeksi stereogram data pengukuran *veinlet-veinlet* tersebut, didapatkan arah umum tahapan mineralisasi post breksiasi ini relatif berarah barat daya timur laut.

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasannya di atas, maka karakteristik mineralisasi daerah penelitian, dimulai dengan hadirnya fluida hidrotermal sebagai sisa proses magmatik melalui permeabilitas sekunder yang terbentuk akibat kontrol struktur daerah penelitian maupun permeabilitas primer (pori antar butir). Fluida hidrotermal tersebut sebagian mengisi rekahan-rekahan akibat struktur berarah baratlaut-tenggara dan permeabilitas primer membentuk urat-urat karbonat dan sejumlah kuarsa. Sebagian fluida mengalami reaksi dengan batuan sampling, sehingga terbentuk alterasi propilitik berupa kehadiran klorit,

serisit, adularia, lempung dan diseminasi pirit.

Pada tahap 3 (tiga), proses deformasi yang dikontrol struktur berarah relatif baratdaya-timurlaut terus berlangsung bersamaan dengan migrasi fluida hidrotermal sisa magmatik bertekanan dan temperatur tinggi, mengakibatkan terjadinya proses breksiasi yakni fragmentasi andesit dan batupasir menjadi fragmen dan matriks *rock flour*. Pada daerah penelitian terjadi proses pelepasan gas terutama CO₂ yang bercampur air meteorik sehingga terjadi kondisi pH yang netral. Kenaikan temperatur mengakibatkan diendapkannya fluida hidrotermal yang kaya akan karbonat pada rongga-rongga antar fragmen dan matriks *rock flour* yang telah terbentuk. Mineral karbonat terbentuk sebagai *cavity* bertekstur *bladed* pada rongga-rongga antar fragmen breksi dan urat-urat karbonat serta produk alterasi dari mineral penyusun batuan sampling. Pada bagian akhir tahapan ini terjadi penurunan temperatur hingga diendapkan mineral silika dan kuarsa yang mengisi rongga antar fragmen breksi serta mineral lempung. Pembentukan mineral-mineral tersebut berasosiasi dengan pengendapan mineral logam yakni pirit, kalkopirit, sphalerit, arsenopirit, dan galena.

Setelah selesainya proses breksiasi, kembali terjadi penerobosan fluida hidrotermal kenaikan temperatur membentuk urat-urat karbonat yang juga berasosiasi dengan mineral logam sphalerit, pirit, dan kalkopirit (Tahap 3). Urat-urat ini terbentuk pada rekahan-rekahan dan pori-pori sekunder, memotong fragmen, matriks, dan mineral *cavity* yang menyusun breksi, serta urat-urat karbonat + kuarsa yang terbentuk pada tahap 1 dan 2. Reaksi fluida dengan batuan sampling membentuk alterasi mineral lempung.

Mineralisasi daerah penelitian termasuk dalam sistem sulfida rendah yang berkaitan dengan porfiri (*Porfiri-*

related low sulphidation gold system) menurut Hedenquist (1987) dengan tipe alterasi subpropilitik hingga filik (Tabel 4) pada endapan emas karbonat-logam dasar (*Carbonate-base metal gold system*, Corbett & Leach, 1996).

KESIMPULAN

Berdasarkan data pengamatan di lapangan, pengamatan sampel inti bor, hasil analisis laboratorium, hasil interpretasi data dan pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yakni :

1. Geometri tubuh breksi hidrotermal merupakan suatu pipa dengan sudut kemiringan tinggi, yang relatif berarah barat daya-timurlaut akibat kontrol struktur geologi berarah tersebut. Breksi *crackle* pada umumnya terbentuk pada bagian samping dari tubuh breksi yang semakin ke bagian tengah berkembang menjadi breksi *jigsaw*, sedangkan pada bagian tengah tubuh breksi berkembang breksi *rubble*.
2. Dari hasil pengamatan karakteristik breksi hidrotermal di daerah penelitian, satuan breksi hidrotermal diklasifikasikan sebagai breksi hidrotermal-magmatik (Sillitoe, 1985). Jenis batuan ini terbentuk akibat proses fragmen-mentasi batuan yang dikontrol oleh tektonik (*Tectonic Commintion*) dan dibantu oleh injeksi fluida (Jebrak, 1997) yakni fluida hidrotermal yang mengakibatkan suatu breksi bertekstur *crackle* dan *jigsaw* yang hanya sedikit atau belum mengalami perpindahan dari tempat asalnya, sehingga fragmen-fragmennya masih dapat direkonstruksikan ke bentuk semula. Tekanan tinggi dari fluida hidrotermal membantu proses pengerosian fragmen-fragmen menjadi material yang halus membentuk matriks *rock flour*, yang terbentuk diantara fragmen-

- fragmen breksi (*Critical Fluid-assisted brecciation*).
3. Berkembangnya breksi hidrotermal di daerah penelitian mengakibatkan pada batuan andesit terutama di sekitar kontak tubuh breksi terbentuk kekar-kekar berlembar (*sheeting joints*), mengalami alterasi serisit + karbonat + lempung + adularia ± kuarsa, dan terbentuknya *stocworks veinlets* karbonat ± kuarsa yang berasosiasi dengan pirit, galena, sphalerit, kalkopirit, dan arsenopirit.
 4. Berdasarkan himpunan mineral-mineral penunjuk hasil pengamatan di lapangan dan pengamatan di laboratorium petrologi jenis alterasi dapat dikelompokkan menjadi tiga zona mineral ubahan yaitu : zona klorit+lempung+serisit+adularia+karbonat; zona serisit+karbonat+lempung+adularia±kuarsa dan zona karbonat+lempung+serisit+adularia+kuarsa/silika yang diklasifikasikan sebagai zona alterasi subpropilitik, hingga filik (Corbett & Leach, 1996).
 5. Mineralisasi logam sphalerit, galena, pirit, kovelit, arsenopirit dan kalkopirit berasosiasi dengan alterasi karbonat±kuarsa/silika +serisit+adularia+illite yang terbentuk secara dominan sebagai *cavity* dalam breksi hidrotermal dan sebagian sebagai urat/ veinlet.
 6. Dari hasil analisis kadar Au dan Ag pada beberapa sampel batuan breksi hidrotermal berkisar pada 0,04 gr/ton hingga 8,96 gr/ton, kadar Ag 0,55 hingga 11,8 gr/ton, recovery Au berkisar 16,08% hingga 85,12%. Kadar dan % recovery Au tertinggi terdapat pada *cavity* karbonat/silika pada breksi hidrotermal.
 7. Orde pembentukan mineralisasi pada daerah penelitian dibagi menjadi tiga tahap: tahap pertama berkaitan dengan pembentukan mineral ubahan sebelum proses breksiasi hidrotermal (pre-breksiasi) yakni klorit, serisit, adularia, lempung dan diseminasi pirit, serta pembentukan *veinlet-veinlet* karbonat dan kuarsa berarah baratlaut-tenggara. Tahap kedua berkaitan dengan pembentukan tubuh breksi hidrotermal itu sendiri (syn-breksiasi) yaitu terjadinya pengayaan karbonat dan sejumlah silika, serta mineral serisit, adularia dan lempung serta munculnya mineral logam dasar dalam *cavity* dan urat yang berarah relatif baratdaya-timurlaut mengakibatkan penyebaran breksi hidrotermal mengikuti arah relatif tegasan utama tersebut. Tahap ketiga berkaitan dengan mineralisasi setelah breksiasi (post breksiasi) yakni pembentukan veinlet-veinlet karbonat±kuarsa+lempung+kalkopirit+sphalerit±kovelit yang memotong komponen penyusun breksi hidrotermal yakni fragmen, matriks *rock flour*, dan mineral *cavity* serta vein yang terbentuk pada tahap 2 yang berarah relatif baratdaya-timurlaut.
 8. Mineralisasi di daerah penelitian terbentuk pada temperatur > 200-250°C, dengan kondisi keasaman (ph) 6,6-8,3. Diklasifikasikan sebagai sistem sulfida rendah yang berkaitan dengan porfiri (*Porfiri-related low sulphidation gold system*) dengan tipe endapan emas karbonat-logam dasar (*Carbonate-base metal gold system*, Corbett & Leach, 1996).

UCAPAN TERIMA KASIH

Pelaksanaan penelitian lapangan dan analisis laboratorium dapat terlaksana atas bantuan berbagai pihak di PT. Kelian Equatorial Mining, terutama manajemen perusahaan ini, beserta para stafnya. Untuk itu, kami mengucapkan banyak terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

Baker, E.M., Kirwin, D.J., Taylor, R.G., 1986, *Hydrothermal Breccia Pipes*, Geology Department., James Cook University of North Queensland.

Corbett, G.J., 2002, *Epithermal Gold for Explorationists*, Australian Institute of Geoscientists, AIG Paper 2002-1, 26 h.

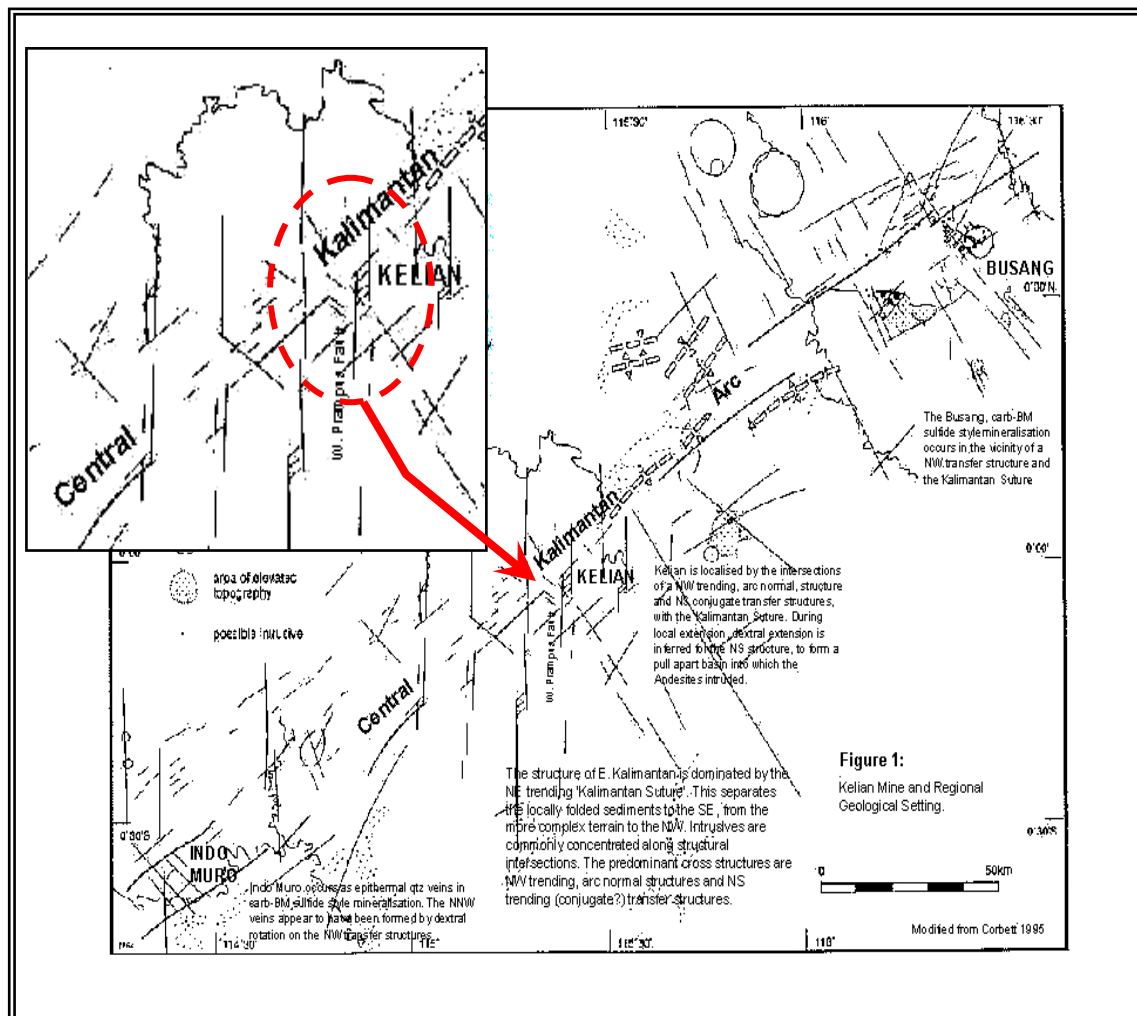
Corbett, G.J., & Leach, T.M., 1996, *Southwest Pacific Rim Gold Copper System: Structure, Alteration, and Mineralization*, Manual for an Exploration Workshop, Jakarta

Jebrak, M., 1997. *Ore Geology Reviews*, volume 12., hal 111-134

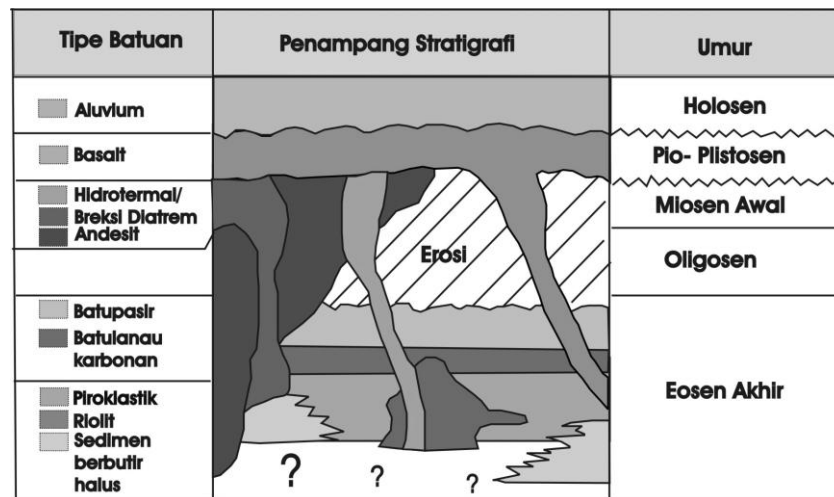
Lawless, J.V., White, P.J., Bogie, I., Peterson, L.A., dan Cartwright, A.J., 1997, *Epigenetic Magmatic-Related Mineral Deposits: Exploration based on Mineralization Models*, Kingston Morrison.

Sillitoe, Richard. M., 1985, *Ore Related Breccia in Volcanoplutonic Arcs*, *Economic Geology*., Vol 80., hal 1467-1514

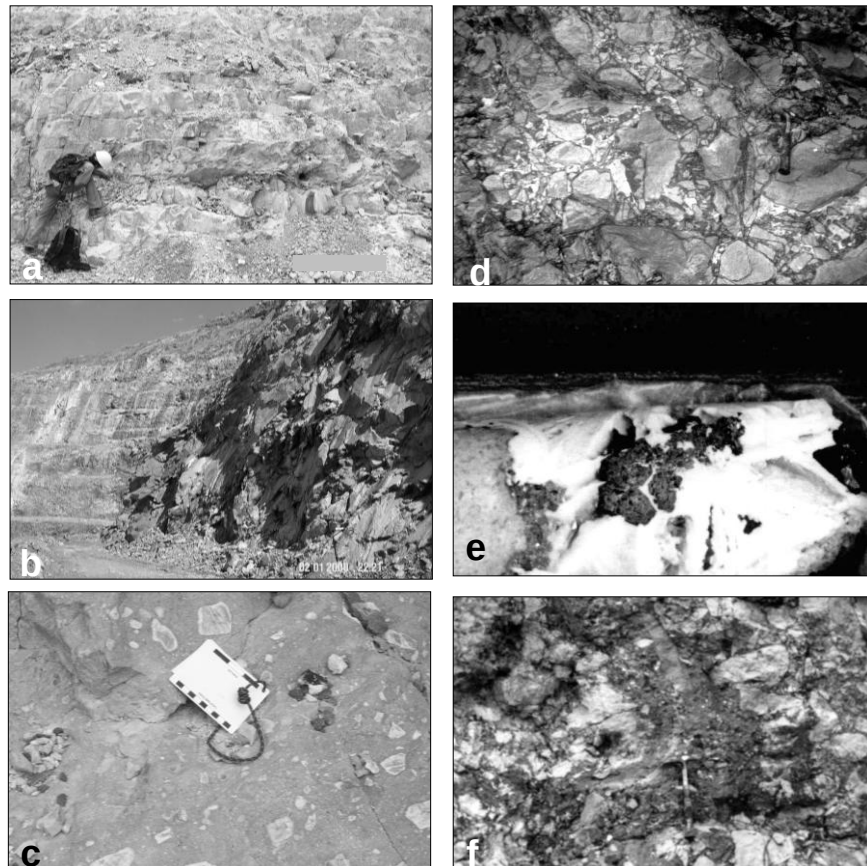
Van Leeuwen, Th. M., Leach, T., Hawke, A.A., & Hawke, M.M., 1990, *The Kelian Disseminated Gold Deposit, East Kalimantan, Indonesia*, *Journal of Geochemical Exploration*., volume 35., Elsevier Science Publisher B.V. 61 hal



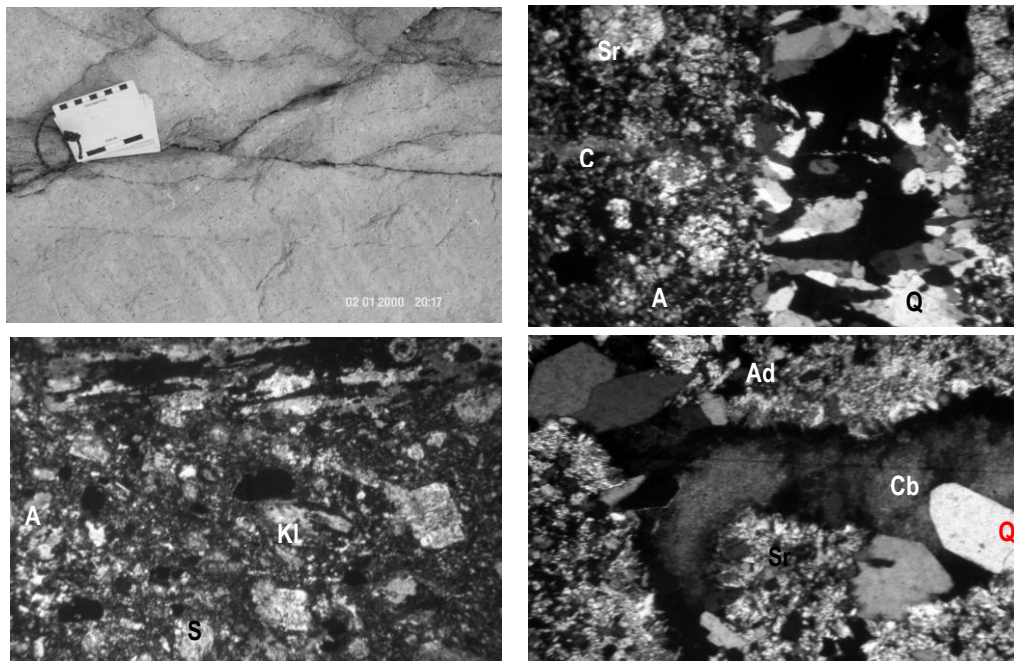
Gambar 1. Cebakan Kelian yang dikontrol suatu sesar conjugate baratdaya-timurlaut dan utara-selatan, Busur Pegunungan Kalimantan Bagian Tengah (Modifikasi dari Corbett, 1995).



Gambar 2. Stratigrafi Daerah Kelian (Van Leeuwen, 1990)



Gambar 3. (a) Singkapan batupasir kasar (coklat) sisipan batupasir halus (abu-abu) pada bench 940 mRL. (b) Satuan andesit pada bench 970 mRL. latar belakang adalah breksi hidrotermal. (c) xenolith batupasir yang ditemukan pada satuan andesit pada bench 910 mRL. (d).Breksi bertekstur crackle-jigsaw yang tersusun dalam *cavity* karbonat dan matriks *rock flour* pada bench 910 mRL (e)*Cavity* karbonat bertekstur bladed, mengandung sphalerit, pirit dan kalkopirit. (K-397, 241m) (f).Breksi diatrem berlapis yang menerobos breksi hidrotermal pada bench 970.



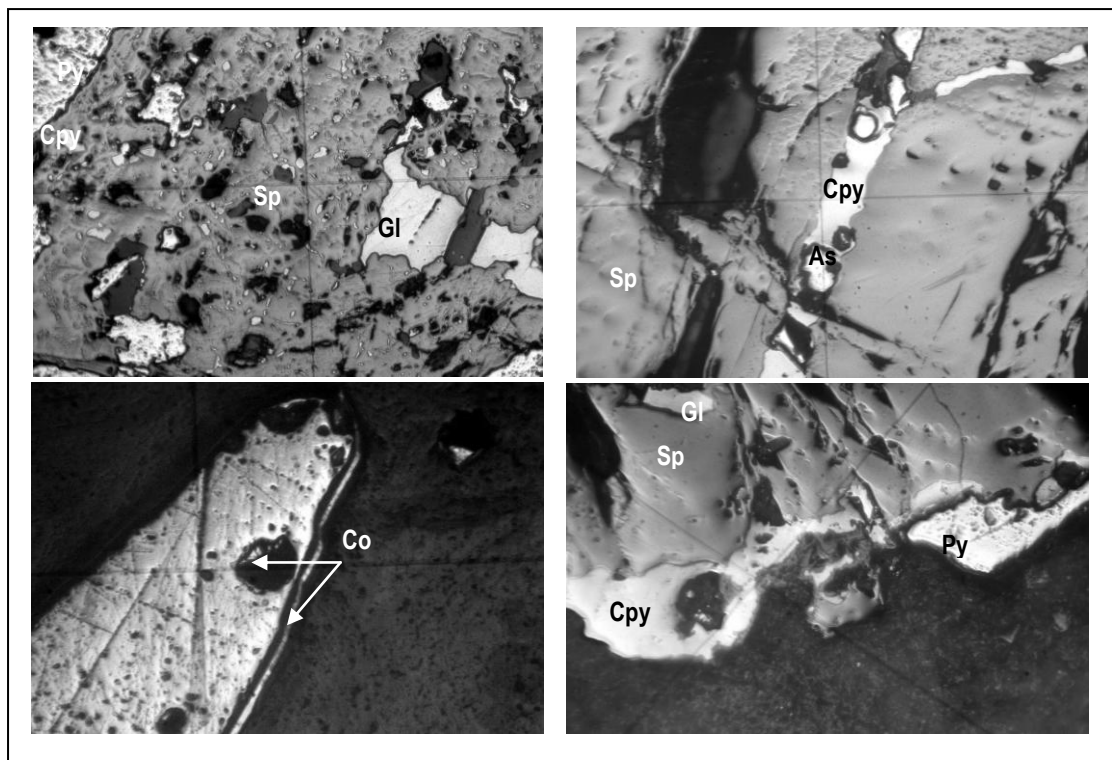
Gambar 4. (a) Alterasi *overprinted* zona klorit + lempung + serisit karbonat dan zona serisit + karbonat + lempung + adularia $\pm$ kuarsa. (b) Sayatan tipis yang didominasi alterasi klorit (Kl), serisit (Sr), adularia (Ad). Pada sayatan no RL910/4. (c) Vein kuarsa (Q) bertekstur comb yang terpotong vein karbonat (Ct), alterasi serisit (Sr), dan adularia (Ad), pada sayatan no. RL910/2. (d) Sayatan K397/257.10 pada breksi hidrotermal, cavity karbonat (Cb) dan kuarsa (Q), ubahan serisit (Sr) dan adularia (Ad).

Tabel 1. Persentase Mineral Ubahan Sampel Sayatan Tipis

No sayatan	Jenis Batuan	Kuarsa (%)	Karbonat (%)	Serisit (%)	Klorit (%)	Adularia (%)	Lempung (%)	Total Ubahan (%)
K291/60	Andesit	-	12	24	-	5	8	49
K-291/93	Breksi	-	36	20	-	11	5	72
K-291/ 152	Breksi	-	25	5	-	12	36	78
K-292/30	Andesit	-	25	36	-	12	8	81
K-292/152	Breksi	-	38	6	-	-	25	69
K292/192	Breksi	-	33	12	-	10	18	73
K397/172.9	Breksi	-	28	8	-	12	15	63
K397/199.4	Breksi	-	30	12	-	10	10	62
K397/257.1	Breksi	7	23	15	-	10	20	75
K397/280.6	Andesit	-	4	25	-	14	9	52
RL910/1	Breksi	3	26	10	-	8	13	60
RL910/2	Andesit	15	10	30	-	10	15	80
RL910/3	Breksi	-	15	25	-	-	15	55
RL910/4	Andesit	-	4	6	16	3	14	43

Tabel 2. Kelimpahan Mineral Opak Pada Sampel Sayatan Poles

Jenis Mineral No. Sayatan	Pirit	Galena	Sphalerit	Kalkopirit	Kovelit	Arsenopirit
K397/257.10	26%	-	3%	-	-	-
RL880/1	15%	-	5%	-	-	3%
RL880/2	26%	-	18%	5%	<1%	-
RL910/1	15%	-	-	-	-	-
RL910/2	40%	25%	20%	8%	-	3%
K397/199.4	30%	3%	10%	2%	-	-
K292/192	48%	5%	15%	3%	-	-
K291/93	15%	20%	31%	5%	-	1%



Gambar 9.

(a) Mineral sphalerit (Sp) bertekstur exsolution dengan kalkopirit (Cpy), mengganti mineral pirit, dan tekstur replacement oleh galena (Gl). **(b)** Tekstur *overgrowth* dan inklusi pada rekahan pleh kovelit (Co) pada pirit (Py). **(c)** Inklusi arsenopirit (Arr) dalam veinlet kalkopirit yang memotong sphalerit. **(d)** tekstur *overgrowth* kalkopirit dan sphalerit.

Tabel 3. Tahapan mineralisasi daerah penelitian

Jenis Mineral	Tahap 1 Pre-Breksiasi	Tahap 2 Syn-Breksiasi	Tahap 3 Post-Breksiasi
Kuarsa/silika	— — —	— — —	— — —
Klorit	—————		
Serisit	—————		
Adularia	—————	—————	
lempung	— — —	—————	— — —
Karbonat	— — —	—————	— — —
Pirit	— — —	—————	— — —
Kalkopirit		— — —	— — —
Sphalerit		—————	
Galena		—————	—————
Arsenopirit		— — —	
Kovelit			— — —

Tabel 4.

Karakteristik mineralisasi sulfidasi rendah-berkaitan dengan sistem porfiri, endapan emas karbonat-logam dasar.

Perkiraan Temperatur	> 200-250°
Derajat Keasaman (pH)	6.6 - 8.3
Batuan sampling	Andesit dan tuf
Pola Mineralisasi	<i>Cavity filling</i> dan urat veinlet pada breksi
Kontrol Mineralisasi bijih	Struktur Geologi berarah baratdaya-timurlaut, serta permeabilitas primer dan sekunder.
Tipe Alterasi	Subpropilitik, filik (Corbett & Leach, 1993)
Mineral ubahan	Karbonat, kuarsa, klorit, serisit, adularia, dan lempung
Mineral bijih	Pirit, galena, sphalerit, arsenopirit, kalkopirit, dan kovelit
Tekstur Urat	Bladed, vuggy, stockwork, crosscutting, comb