



## **Pemetaan dan Survei Geokimia Batuan untuk Prospeksi Mineralisasi Bijih pada Daerah Tolangohula, Kabupaten Limboto, Provinsi Gorontalo**

**Arifudin Idrus**

Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia  
E-mail: arifidrus@ugm.ac.id

### **SARI**

Tolangohula merupakan prospek yang berada dalam sabuk mineralisasi emas dan logam dasar di Sulawesi Utara, secara administratif terletak di Kabupaten Limboto, Provinsi Gorontalo. Sementara itu data eksplorasi atau penelitian mineralisasi masih terbatas. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi, sebaran zona alterasi dan mineralisasi bijih, serta geokimia batuan/bijih untuk mendeliniasi daerah-daerah target yang direkomendasi pada kegiatan eksplorasi lanjutan yang lebih rinci. Metoda penelitian yang diterapkan antara lain pemetaan geologi dan alterasi rinci, pengambilan sampel, analisis sampel dengan petrografi, mikroskopi bijih dan geokimia bijih dengan menggunakan FA-AAS dan ICP-MS. Data geokimia dianalisis secara univariat dan multivariat. Daerah penelitian tersusun oleh satuan andesit yang diterobos oleh satuan diorit-granodiorit yang merupakan bagian dari Intrusi Diorit Boliohuto (Tmbo) yang berumur Miosen Tengah-Akhir. Struktur yang berkembang relatif timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara. Alterasi hidrotermal diidentifikasi berupa filik, argillik dan propilitik. Zona filik memiliki intensitas alterasi yang pervasif, kuat dan berasosiasi dengan kehadiran urat-uratan dengan struktur *stockwork*. Mineralisasi bijih dalam bentuk tersebar dalam batuan (*disseminated*) dan mengisi urat/uratan dicirikan dengan kehadiran bornit, kalkopirit, pirit, magnetit dan free gold. Kadar emas berkisar dari < 0,005 ppm hingga 0,363 ppm dan rerata 0,028 ppm. Kadar tembaga berkisar dari < 2 ppm sampai 1.830 ppm (0,183%), dengan rerata 189,5 ppm. Nilai kadar Cu dan Au berkorelasi positif dan berasosiasi dengan zona mineralisasi dan alterasi yang kuat berupa filik. Berdasarkan karakteristik endapan tersebut, kemungkinan tipe endapan yang hadir di daerah penelitian adalah tipe endapan Cu-Au porfiri. Studi ini juga merekomendasi 3 daerah target eksplorasi lanjut yaitu Daerah Target 1 (Blok Timur), Daerah Target 2 (Blok Tengah) dan Daerah Target 3 (Blok Barat). Metoda eksplorasi lanjut yang direkomendasi meliputi geokimia tanah (*soil geochemistry*) serta survei geofisika IP dan/atau *ground magnetics*.

**Kata kunci:** Diorit-granodiorit, andesit, filik, porfiri, Tolangohula.

**How to Cite:** Idrus A., 2021. Pemetaan dan Survei Geokimia Batuan untuk Prospeksi Mineralisasi Bijih pada Daerah Tolangohula, Kabupaten Limboto, Provinsi Gorontalo. Jurnal Geomine, 9 (2): 111-129.

---

#### **Published By:**

Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Muslim Indonesia

#### **Address:**

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05  
Makassar, Sulawesi Selatan

#### **Email:**

[geomine@umi.ac.id](mailto:geomine@umi.ac.id)

#### **Article History:**

Submited 01 Juli 2021

Received in from 03 Juli 2021

Accepted 31 Agustus 2021

#### **Lisensec By:**

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



**ABSTRACT**

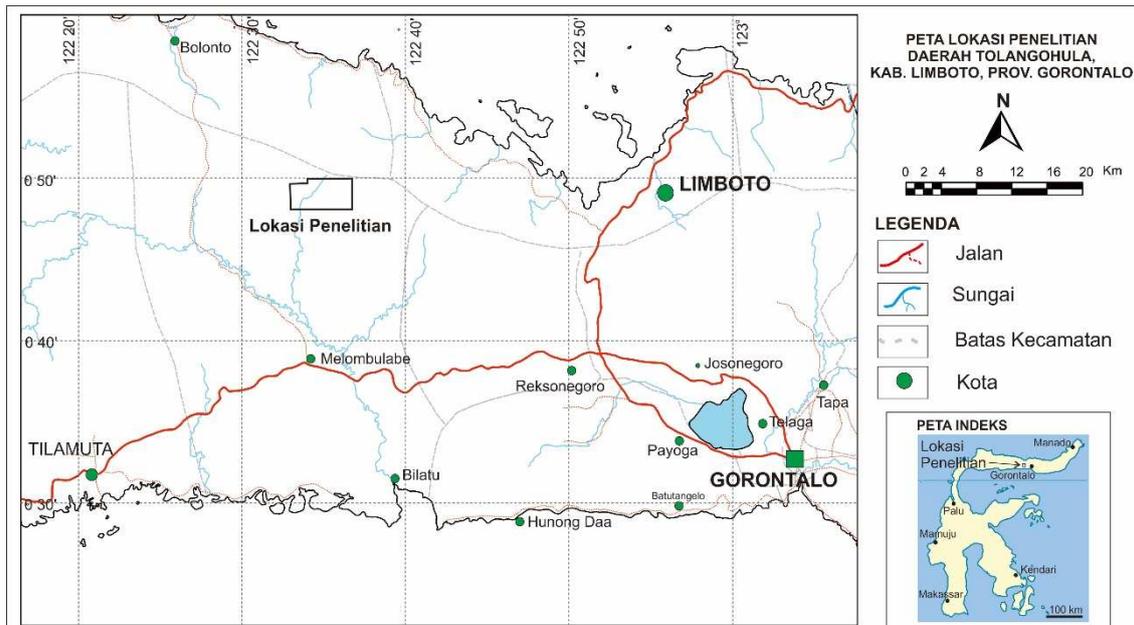
*Tolangohula is one of the prospects situated within gold and base metal mineralization belt of North Sulawesi, which is administratively a part of Limboto Regency, Gorontalo Province. Exploration data or studies within the prospect is scarce, therefore, this study was conducted aiming at understanding of the geological conditions, the distribution of the alteration zone and ore mineralization, as well as the rock / ore geochemistry to delineate the recommended target areas for further detailed exploration. Research methods include surface mapping of detailed geology and alteration zone, sampling and sample analyses by petrography, ore microscopy and ore geochemistry using FA-AAS and ICP-MS. Geochemical data were treated using univariate and multivariate analyses. The study area is occupied by andesite, which is intruded by diorite-granodiorite, a member of Middle-Late Miocene Boliohuto Diorite (Tmbo). Geological structures are developed in relatively northeast-southwest and northwest-southeast direction. Hydrothermal alteration is identified as phyllic, argillic and propylitic types. Phyllic zone reveals a pervasive alteration, which is closely associated with the occurrences of vein/veinlet stockwork. Ore mineralization is mostly in form of disseminated and vein/veinlet, which is characterized by bornite, chalcopyrite, pyrite, magnetite and free gold. Gold content ranges from <0.005 ppm to 0.363 ppm with an average of 0.028 ppm. Copper content varies from <2 ppm to 1,830 ppm (0.183%), with an average of 189.5 ppm. Cu and Au grade has a positive correlation. High Au and Cu is associated with strong mineralization/alteration zone (i.e phyllic alteration). Based on those characteristics, the deposit in the study area is possibly of porphyry Cu-Au type. Moreover, three target areas are recommended for next follow-up exploration including Target Area 1 (East Block), Target Area 2 (Middle Block) and Target Area 3 (West Block). Soil geochemistry as well as IP and/or ground magnetics surveys are recommended for the target areas.*

**Keywords:** Diorite-granodiorite, andesite, phyllic, porphyry, Tolangohula

**PENDAHULUAN**

Provinsi Gorontalo merupakan bagian dari busur vulkanik Pulau Sulawesi bagian utara dengan tatanan geologi yang kompleks (Sukamto, 1975; Hamilton, 1979; Katili, 1978; Hutchison, 1989; Hall, 2002). Tatanan geologi tersebut menunjang terjadinya proses mineralisasi unsur-unsur logam bernilai ekonomis sehingga menjadikan daerah Gorontalo dan sekitarnya sebagai daerah yang kaya akan sumberdaya mineral logam khususnya emas dan mineral ikutan lainnya (Kavalieris dkk., 1992; Carlile dan Mitchell, 1994; Garwin dkk., 2005; van Leeuwen dan Pieters, 2011; Idrus dkk., 2011). Hal tersebut menarik minat investor baik dari dalam maupun dari luar negeri. Salah satu daerah atau prospek yang menarik daerah Tolangohula, Kabupaten Limboto, Provinsi Gorontalo. Daerah penelitian merupakan daerah prospek hasil kegiatan penelitian sebelumnya dengan luas 1.500 Ha (Gambar 1).

Pada daerah ini sudah dilakukan studi pendahuluan berupa survei geokimia dengan metode sedimen sungai (*stream sediment*) (Anonim, 2012). Hasil survei tersebut menunjukkan hasil yang cukup memuaskan di mana dijumpai beberapa lokasi target yang memiliki anomali geokimia untuk unsur emas dan tembaga. Menindaklanjuti hasil penelitian umum yang telah dilakukan di wilayah tersebut, peneliti bekerjasama dengan salah satu perusahaan swasta nasional, melakukan penelitian detail mengenai geologi lokal, alterasi dan mineralisasi serta survei geokimia batuan/bijih yang mengantung emas dan logam ikutan lainnya pada daerah prospek tersebut. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kondisi geologi, sebaran zona alterasi dan mineralisasi bijih, serta geokimia batuan/bijih untuk mendeliniasi daerah-daerah target yang direkomendasi pada kegiatan eksplorasi lanjutan yang lebih rinci.



**Gambar 1.** Peta lokasi penelitian yang terletak di daerah Tolangohula, Kabupaten Limboto, Provinsi Gorontalo

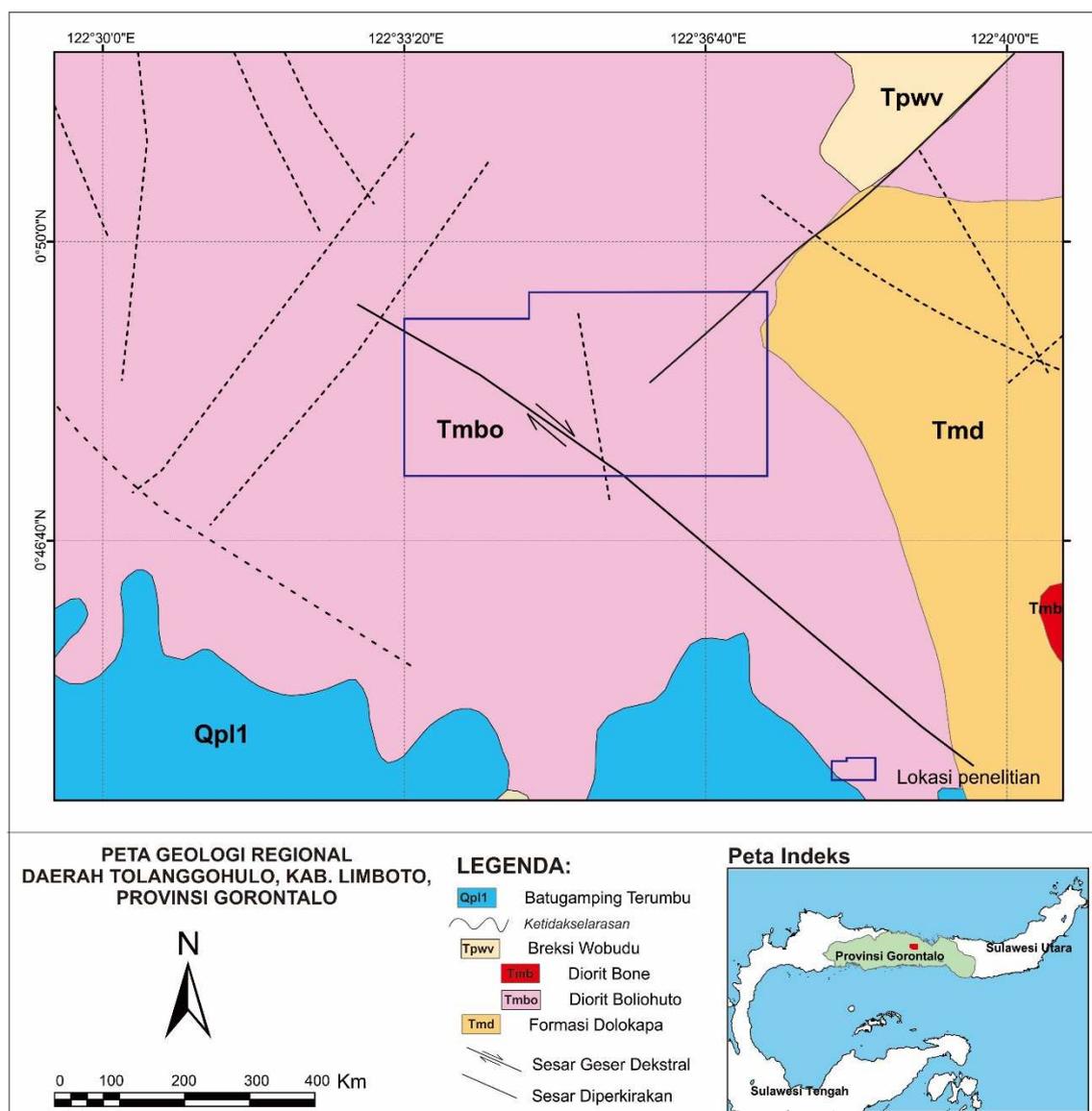
## GEOLOGI REGIONAL

Daerah penelitian berada di lengan utara Pulau Sulawesi yang merupakan wilayah Kabupaten Limboto. Fisiografi wilayah penelitian merupakan wilayah pegunungan bergelombang kuat dengan elevasi ketinggian antara 500 – 2.000 meter di atas permukaan laut dengan kerapatan kontur topografi yang tinggi. Pada daerah Limboto, terdapat beberapa pegunungan yang memiliki ketinggian mencapai 2.000 meter yaitu Gunung Baliohuto, Gunung Tambulilato, dan Gunung Lemuli. Morfologi bagian utara merupakan perbukitan bergelombang hingga terjal termasuk pegunungan di Boliohutu (2.070 m). Pada bagian selatan merupakan dataran berbukit landai, bagian timur daerah dengan daerah mineralisasi Cu – Au porfiri yaitu Gorontalo, Tapadaa dan Tombulilato. Bagian barat berbatasan dengan pegunungan tinggi Boliohutu (2.070 m), bagian utara berbatasan dengan mineralisasi Cu – Au Porfiri Bulagidun dan bagian selatan merupakan dataran hingga ke teluk Tomini.

Secara stratigrafi, sekuen batuan yang menyusun bagian utara Pulau Sulawesi dapat dibagi menjadi tiga kelompok yang dipisahkan oleh ketidakselarasan regional yaitu: kelompok batuan Kenozoik Awal, Kenozoik Tengah, dan Kenozoik Akhir (van Leeuwen dan Pieters, 2011). Kelompok batuan tertua yaitu kelompok Kenozoik Awal merupakan batuan vulkanik bawah laut yang dikenal dengan nama batuan vulkanik Papayato (van Leeuwen dan Muhardjo, 2005; Advokaat et al., 2017) yang tersebar pada bagian barat daya Gorontalo. Kelompok batuan ini terdiri dari batuan vulkanik basaltis yang miskin akan batuan felsik. Batuan sedimen dijumpai dalam jumlah yang sangat kecil yang mencakup batulempung gampingan, baturijang, dan batupasir yang diintrusi oleh dike basalt pada sejumlah tempat. Kelompok berikutnya adalah kelompok batuan Kenozoik Tengah yang menempati sebagian besar daerah Gorontalo. Kelompok ini tersusun oleh batuan vulkanik Bilungala, batuan *mix-sedimentary volcanics* dari Formasi Dolokopa dan sejumlah batuan sedimen seperti batugamping Ratatotok. Batuan vulkanik tersusun oleh aliran lava andesit, aliran piroklastik, *debris flow* dan volkaniklastik. Batuan beku asam dijumpai pada sejumlah area seperti di daerah Tambulilato (Parello, 1994). Kelompok batuan ini diintrusi oleh diorit, diorit kuarsa, dan granodiorit dengan ukuran bervariasi dari dike dan stok sampai batolit (van Leeuwen dan Muhardjo, 2005; Advokaat dkk., 2017). Intrusi diorit pada daerah penelitian merupakan batolit yang dikenal dengan Diorit Boliohuto, berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir (Bachri dkk., 1993; Bachri, 2006). Endapan porfiri Cu-Au-Mo pada daerah ini umumnya dijumpai

berasosiasi dengan intrusi yang berumur Miosen Tengah – Akhir. Kelompok batuan termuda yaitu Kelompok Batuan Kenozoik Akhir merupakan kelompok batuan yang memiliki mineralisasi paling tinggi. Kelompok batuan ini berumur Pliosen yang tersusun oleh Breksi Wobudu pada sepanjang pantai utara Gorontalo dan Batuan Vulkanik Pani pada sepanjang pantai selatannya. Breksi Wobudu tersusun oleh aglomerat, breksi, batuan piroklastik, dan aliran lava yang bersifat basaltik sampai andesitik. Sedangkan Batuan Vulkanik Pani tersusun oleh batuan intrusi, breksi, aglomerat dan tuff yang bersifat dasitik serta andesit (van Leeuwen dan Muhardjo, 2005; Advokaat dkk., 2017).

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Talamuta (Bachri dkk., 1993) (Gambar 2), lokasi penelitian merupakan bagian dari Formasi Diorit Baliohuto yang tersusun oleh diorit dan granodiorit. Diorit Baliohuto merupakan batuan intrusi yang diperkirakan berumur Miosen Tengah sampai Miosen Akhir. Daerah penelitian didominasi oleh kelurusan berarah relatif timur laut – barat daya dan barat laut – tenggara (NE-SW dan NW – SE) (Gambar 2).



**Gambar 2.** Peta geologi regional daerah penelitian (modifikasi dari Bachri dkk., 1993)

Daerah lengan utara Pulau Sulawesi memiliki sumberdaya mineral yang melimpah. Pada daerah gorontalo khususnya, terdapat sejumlah daerah prospek endapan mineral logam

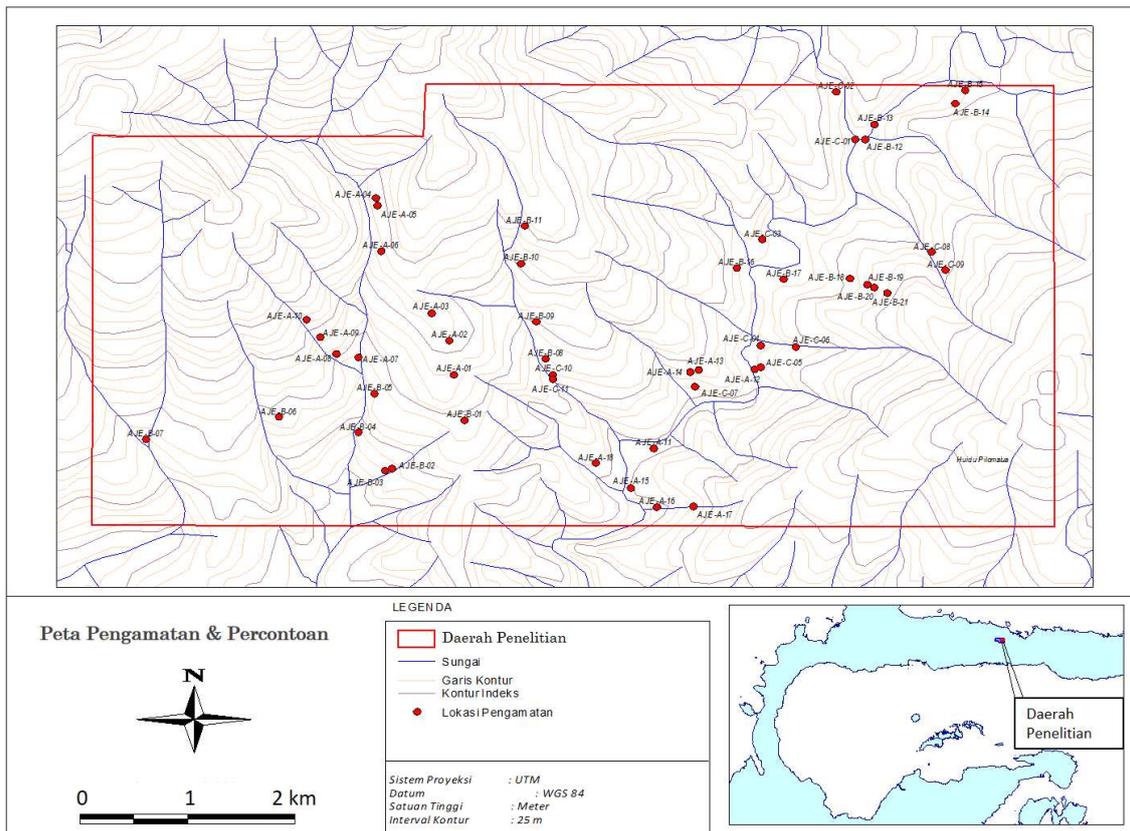
yang bernilai ekonomis. Beberapa diantaranya adalah endapan porfiri seperti di Cabang Kiri dengan jumlah cadangan 24 Mt @0,7% Cu dan 0,75 g/t Au; Prospek Kayubulan dengan jumlah cadangan 200 Mt @0,5% Cu dan 0.35 g/t Au; Daerah Cabang Kanan dan Sungai Mak dengan jumlah cadangan 0,57% Cu dan 0,47g/t Au; Daerah Bulangidun dengan estimasi cadangan 37 Mt @0,61% Cu dan 0,6 g/t Au; Daerah Tapadaa dengan kadar 0.39% Cu dan 0.13 g/t Au (van Leeuwen dan Pieters, 2011). Mineralisasi pada endapan porfiri umumnya berkaitan dengan intrusi batuan porfiritik seperti diorit dan granodiorit yang berumur Miosen Tengah sampai Pliosen Awal dan berasosiasi dengan struktur geologi yang berarah relatif NW dan NE – NNE. Selain endapan porfiri, pada daerah Gorontalo juga dijumpai sejumlah endapan epitermal baik sulfidasi tinggi maupun rendah, endapan *volcanogenic massif sulphide* (VMS) dan sejumlah endapan *intrusion related*. Endapan epitermal sulfidasi rendah dijumpai di daerah Totopo dengan estimasi cadangan sekitar 5,4 Mt @3 g/t Au. Endapan epitermal sulfidasi tinggi dijumpai di daerah Motomboto dengan estimasi cadangan 51Mt @ 1.6% Cu, 11.2 g/t Au, 75.6 g/t Ag (van Leeuwen dan Pieters, 2011).

## **METODA PENELITIAN**

Metoda penelitian meliputi pemetaan, pengambilan sampel batuan/bijih dan analisis sampel di laboratorium yang meliputi analisis petrografi, mikroskopi bijih dan analisis geokimia batuan/bijih. Pemetaan meliputi pemetaan geologi, zona alterasi dan mineralisasi bijih. Kegiatan pemetaan dilakukan dengan meneliti setiap singkapan yang dijumpai pada tebing-tebing maupun sepanjang alur sungai. Pada setiap singkapan diteliti secara detail sejumlah aspek seperti jenis litologi, struktur geologi, dimensi singkapan, serta kehadiran alterasi maupun mineralisasi. Pada setiap lokasi pengamatan juga dilakukan pemplotan pada GPS, dokumentasi foto serta pengambilan sampel batuan. Untuk setiap singkapan batuan yang dianggap memiliki indikasi kehadiran alterasi maupun mineralisasi yang menarik dilakukan percontohan batuan secara sistematis dengan jumlah sampel yang representatif. Total lokasi pengamatan di lapangan adalah sekitar 50 titik (Gambar 3). Jumlah sampel batuan/bijih yang dianalisis secara petrografi dan mikroskopi bijih adalah masing-masing 10 sampel batuan, sedangkan untuk analisis geokimia sejumlah 30 sampel batuan. Analisis petrografi dan mikroskopi bijih dilakukan di Laboratorium Bahan Galian, Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Analisis geokimia batuan/bijih dilakukan dengan menggunakan metoda *Fire Assay* (FA) dan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) dengan kode FA50 untuk emas (Au). Kadar paling rendah yang dapat terdeteksi oleh analisis ini adalah sekitar 0,05 ppm untuk unsur emas (Au) dan 1 ppm untuk unsur perak (Ag). *Fire Assay* adalah suatu metode untuk mengisolasi logam mulia (Au, Pd, Pt, Ir, Ru, Os) dari matriks melalui teknik peleburan (100 °C) menggunakan campuran bahan-bahan imbuhan kimia (*fluks*). selanjutnya hasil isolasi ini ditentukan jumlahnya melalui penimbangan (kadar tinggi) atau dengan analisis menggunakan AAS untuk yang berkadar lebih rendah. Selain itu, untuk unsur-unsur utama seperti Al, Fe, K, dan lain-lain dan beberapa unsur minor termasuk beberapa logam lain seperti Ag, Cu, Mo dan sebagainya menggunakan analisis metoda ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*) dengan kode IC01. Unsur utama diukur dengan satuan persen (%), sedangkan unsur minor dengan satuan ppm (*part per million*) dengan DL (*detection limit*) yang berbeda. Analisis geokimia dilakukan di laboratorium Intertek, Jakarta.

Semua data yang diperoleh dari kegiatan lapangan baik berupa data hasil penelitian terdahulu, data hasil pemetaan geologi, alterasi hidrotermal dan mineralisasi, petrografi dan mikroskopi bijih, serta geokimia batuan diintegrasikan dan dianalisis. Data hasil penelitian diolah dengan menggunakan berbagai perangkat lunak untuk memperoleh hasil yang maksimal. Sebagai contoh, untuk mengolah data hasil pemetaan geologi dilakukan dengan menggunakan software Garmin, Global Mapper dan Map Info, data geokimia sampel batuan/bijih diolah dengan menggunakan metode statistik univariat dan multivariat (Levinson, 1973, Rose dkk., 1979, Joice, 1984, Eggo, 1997).

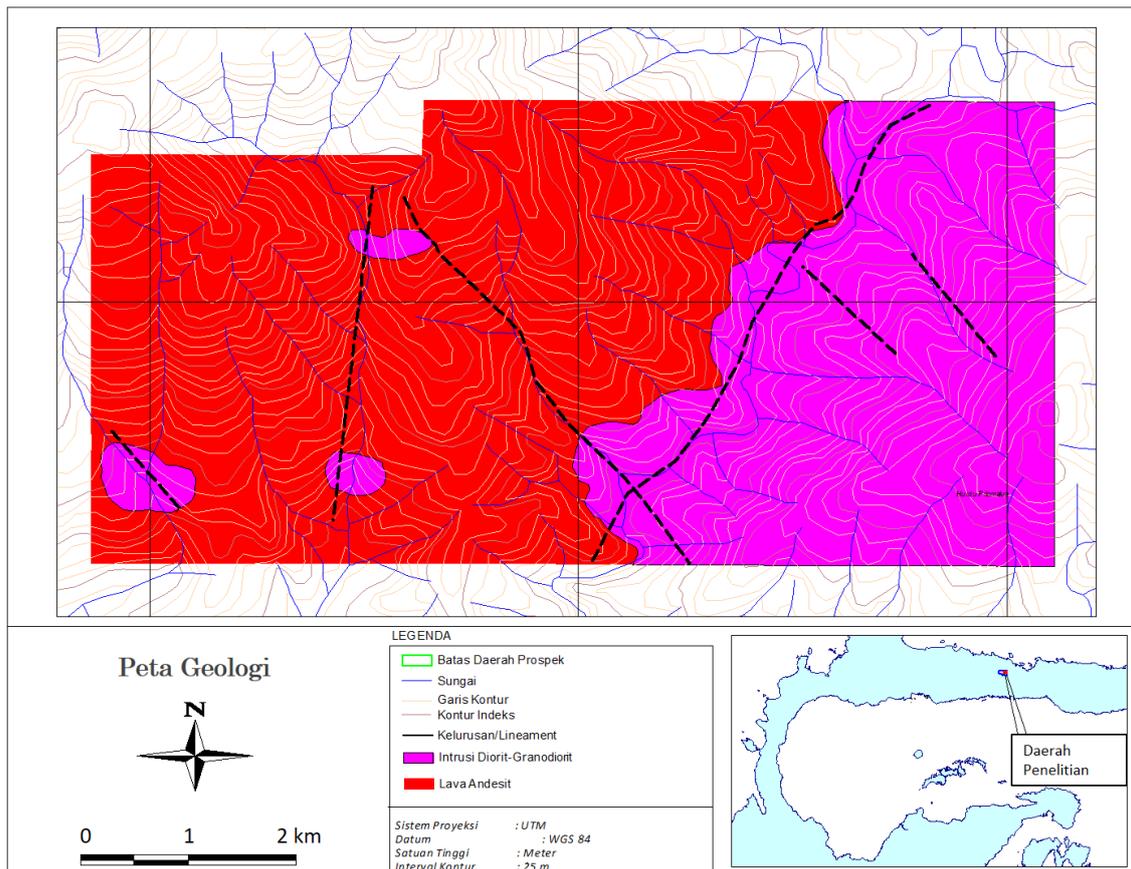


**Gambar 8.** Peta pengamatan dan pengambilan sampel

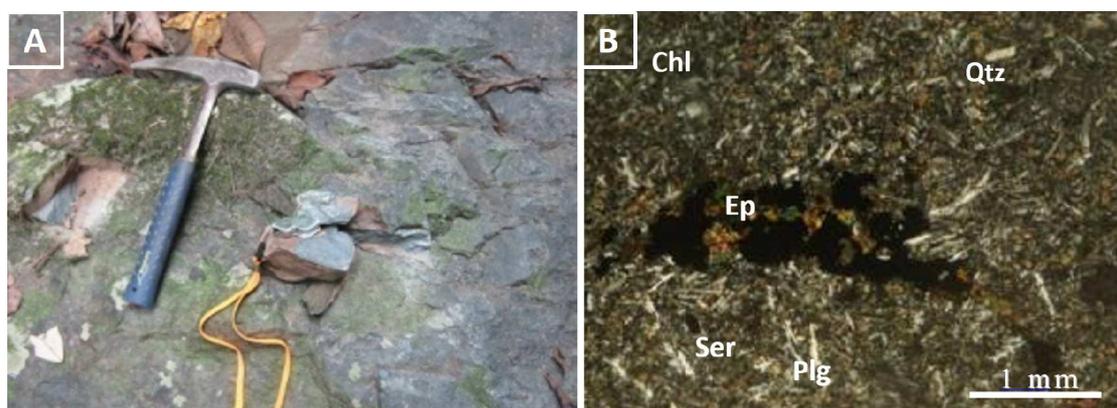
## HASIL PENELITIAN

### Geologi Daerah Penelitian

Secara litologi, daerah penelitian tersusun oleh dua satuan batuan yaitu satuan diorit-granodiorit dan satuan andesit (Gambar 4). Satuan andesit merupakan anggota vulkanik dari Formasi Dolokapa yang tersusun oleh lava andesit sampai basalt. Berdasarkan kolom stratigrafi regional, lava andesit dari Formasi Dolokapa merupakan batuan tertua di daerah penelitian yang berumur Miosen Awal – Tengah (Bachri dkk., 1993; Bachri, 2006). Formasi Dolokapa tersebut diterobos oleh Intrusi Diorit-Granodiorit Baliohuto yang berumur Miosen Tengah – Akhir (Bachri dkk., 1993; Bachri, 2006). Andesit memiliki ciri umum di lapangan berwarna abu-abu gelap cenderung ke arah basaltik, tekstur afanitik, sebagian terpotong oleh *fracture-fracture* halus yang kemudian terisi oleh urat kuarsa maupun pirit halus terutama pada daerah di sekitar kontak dengan intrusi diorit-granodiorit (Gambar 5A-B). Pada daerah sekitar kontak tersebut, batuan andesit umumnya berubah/teralterasi dengan derajat alterasi yang bervariasi dari rendah sampai tinggi. Mineralisasi yang dominan pada daerah penelitian umumnya dijumpai pada andesit yang berada pada kontak dengan batuan intrusi diorit-granodiorit. Pengkayaan unsur bijih kemungkinan besar dipengaruhi oleh kehadiran intrusi dimana andesit pada daerah ini bertindak sebagai batuan samping dari intrusi tersebut.



**Gambar 4.** Peta geologi daerah penelitian



**Gambar 5.** (A.) Singkapan andesit, dan (B) Kenampakan mikroskopis andesit teralterasi kuat (sampel AJE-A-05), dengan komposisi mineral berupa kuarsa (Qtz), plagioklas (Plg), serisit (Ser), klorit (Chl) dan epidot (Ep).

Berdasarkan pengamatan petrografi, satuan andesit umumnya mengalami alterasi lemah sampai kuat. Pada sebagian sampel, tekstur asli batuan sudah tidak dapat dikenali lagi, namun keadaan di lapangan menunjukkan bahwa kuantitas andesit teralterasi dan termineralisasi relatif lebih sedikit dibandingkan dengan andesit yang masih segar atau teralterasi lemah (Gambar 5A-B). Batuan andesit tersusun atas mineral primer berupa plagioklas, serta mineral sekunder berupa, mineral opak, serisit, epidot, mineral lempung,

klorit dan kuarsa dengan ukuran kristal  $<0,03-2\text{mm}$ . Satuan ini menunjukkan gejala mineralisasi yang menarik pada pengamatan bijih dimana dijumpai sejumlah mineral bijih pembawa tembaga baik primer seperti kalkopirit maupun sekunder seperti kovelit.

Satuan diorit-granodiorit diperkirakan sebagai bagian dari Formasi Diorit Baliohuto yang menerobos satuan lava andesit basaltik. Diorit Baliohuto merupakan batuan intrusi yang berumur Miosen Tengah – Akhir, tersusun oleh diorit dan granodiorite (Gambar 6 dan 7). Satuan ini menempati bagian timur daerah penelitian dan terdapat sebagai intrusi-intrusi kecil pada bagian tengah dan barat lokasi penelitian dengan pelamparan sekitar 35%. Batas antara diorit dan granodiorit di lapangan sangat sulit ditentukan karena singkapan batuan tersebut tidak dijumpai pada setiap tempat dan sebagian besar sudah lapuk serta tertutup oleh soil maupun vegetasi.

Diorit memiliki ciri umum di lapangan yaitu berwarna abu-abu kehitaman, tekstur porfiritik, memiliki komposisi mineral primer yaitu plagioklas, biotit, piroksen, mineral sekunder terdiri dari kuarsa, biotit, mika, hornblende dan kadang dijumpai piroksen. Sedangkan granodiorit memiliki ciri umum di lapangan yaitu berwarna putih keabu-abuan, tekstur porfiritik, komposisi mineral utama yaitu kuarsa dan plagioklas, mineral sekunder berupa biotit, hornblende dan alkali feldspar. Pada satuan ini dijumpai kehadiran alterasi dan mineralisasi terutama pada daerah yang berada di sekitar zona sesar atau kelurusan. Diorit maupun granodiorit di daerah penelitian sebagian mengandung pirit yang tersebar secara *disseminated* pada tubuh batuan dan dijumpai juga rekahan-rekahan yang terisi urat kuarsa dan mineral bijih.



**Gambar 6.** (A) Singkapan diorit pada lokasi penelitian, dan (B). Kenampakan mikroskopis diorit teralterasi kuat (sampel AJE-A-17). Catatan: *Qtz*: kuarsa, *Chl*: klorit, *Plg*: plagioklas, *Cal*: kalsit



**Gambar 7.** (A) Singkapan granodiorit pada daerah penelitian, dan (B). Kenampakan mikroskopis granodiorit teralterasi kuat (sampel AJE-C-08). Catatan: *Qtz*: kuarsa, *Chl*: klorit, *Plg*: plagioklas, *Cal*: kalsit, *Or*: Ortoklas.

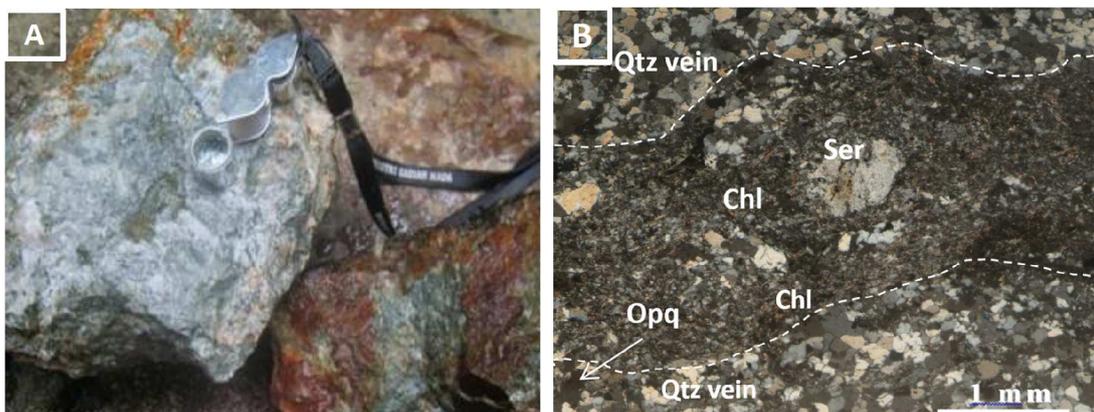
Pada pengamatan petrografi, sebagian besar sampel batuan diorit menunjukkan alterasi sedang sampai kuat, terutama pada daerah yang berada di sekitar zona sesar. Walaupun mengalami alterasi intensif, umumnya diorit pada daerah penelitian masih memperlihatkan sedikit tekstur asli batuan sehingga masih dapat dikenali pada pengamatan petrografi. Diorit tersusun atas mineral primer berupa plagioklas, mineral sekunder berupa mineral lempung, mineral opak, serisit, epidot, klorit, dan kuarsa dengan ukuran kristal <math><0,03-3\text{ mm}</math>. Urat kuarsa berpotongan dengan urat serisit dengan ukuran kristal <math>0,2-0,4\text{ mm}</math>. Mineralisasi pada batuan diorit cukup intensif pada beberapa tempat, namun masih di bawah tingkat mineralisasi andesit.

Batuan granodiorit pada daerah penelitian umumnya mengalami alterasi sedang serta masih memperlihatkan tekstur asli batuan. Batuan ini tersusun atas mineral primer berupa plagioklas, ortoklas, kuarsa, sedangkan mineral sekunder berupa mineral lempung, mineral opak, klorit, epidot, dan kuarsa dengan ukuran kristal <math><0,03-6\text{ mm}</math> (Foto 4.7). Pada pengamatan petrografi sering dan mineragrafi sering dijumpai urat kuarsa + bijih dengan tebal bervariasi dari <math>0,5\text{ mm} - 1\text{ mm}</math>, kondisi urat sebagian saling berpotongan.

### Alterasi Hidrotermal

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, daerah penelitian menunjukkan indikasi kehadiran proses alterasi dan mineralisasi pada bagian tengah dan timur. Pada bagian barat sangat jarang dijumpai adanya alterasi dan mineralisasi. Beberapa tipe alterasi hidrotermal yang dijumpai yaitu alterasi filik, argillik dan propilitik. Alterasi filik (kuarsa – serisit – pirit) disebut juga alterasi serisitisasi. Alterasi ini terbentuk akibat *leaching* dari sodium, kalsium dan magnesium dari batuan aluminosilikat. Alterasi ini terbentuk pada temperatur sedang-tinggi (<math>230^{\circ}-400^{\circ}\text{C}</math>), fluida asam-netral, salinitas beragam pada zona permeabel (Beane dan Titley, 1981). Pada daerah penelitian, tipe alterasi ini dikenali dari tingkat alterasi yang pervasif dan kuat serta kehadiran *stockwork* yang terisi oleh mineral bijih. Mineral penciri yang mengindikasikan kehadiran alterasi filik adalah kuarsa, serisit, sedikit klorit dan pirit yang sangat melimpah (Gambar 8). Pengkayaan bijih dijumpai pada zona ini dengan mineral bijih berupa pirit, kalkopirit dan bornit.

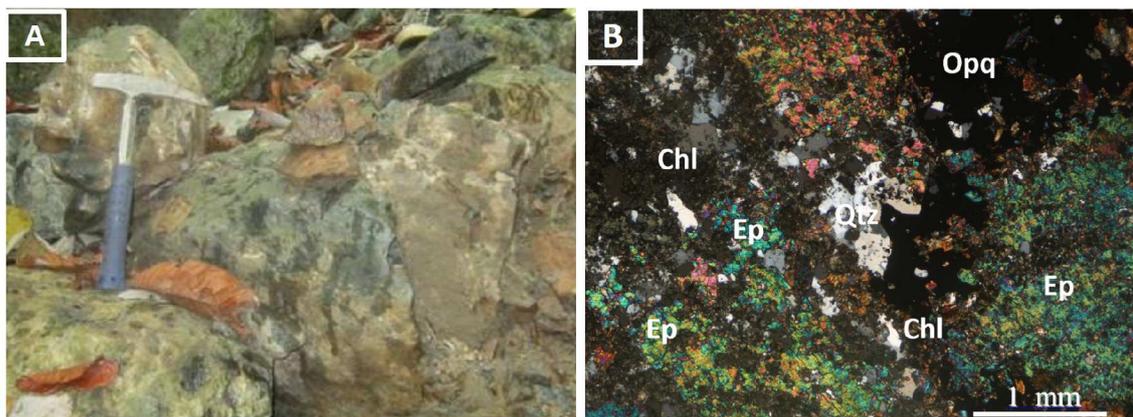
Analisis petrografi maupun mikroskopi bijih menunjukkan bahwa batuan teralterasi filik memiliki indikasi alterasi dan mineralisasi cukup intensif. Pada pengamatan petrografi, batuan teralterasi filik umumnya menunjukkan gejala teralterasi pervasif dan kuat, sehingga sangat sulit untuk melakukan identifikasi tekstur asli batuan, terutama pada andesit teralterasi. Secara umum tersusun atas mineral sekunder berupa mineral opak, epidot, klorit, serisit dan kuarsa dengan ukuran kristal <math><0,03-1\text{ mm}</math>. Pada sebagian sampel batuan yang dianalisis, batuan teralterasi filik banyak yang terpotong oleh urat, klorit dan bijih dengan ukuran <math>0,1-2\text{ mm}</math>, sebagian ada yang pula yang saling berpotongan.



**Gambar 8.** (A) Andesit yang teralterasi filik, dan (B) Kenampakan mikroskopis andesit teralterasi filik yang terpotong oleh sejumlah urat kuarsa berukuran <math>0,6-0,7\text{ mm}</math> (Sampel AJE-B-20). Catatan: *Qtz*: kuarsa, *Chl*: klorit, *Opq*: mineral opak, *Ser*: serisit

Zona alterasi argilik tidak berkembang secara luas pada daerah penelitian. Kehadiran alterasi argilik dikenali dengan kelimpahan mineral lempung yang merupakan ubahan mineral-mineral primer seperti feldspar. Alterasi argilik dicirikan oleh variasi dari mineral lempung seperti kaolinit, smektit and illit. Mineral-mineral lempung tersebut menggantikan mineral feldspar yang melimpah di dalam batuan diorit maupun granodiorit. Alterasi argilik hanya berkembang secara intensif pada zona *fracture* ataupun struktur geologi yang intensif karena alterasi ini sangat dipengaruhi oleh *meteoric water*. Logam sulfida yang biasanya terbentuk pada zona ini berupa pirit namun kehadirannya tidak seintensif pada zona serisit dimana bentuk veinlet ini hadir pada bagian luar dalam suatu sistem alterasi hidrotermal.

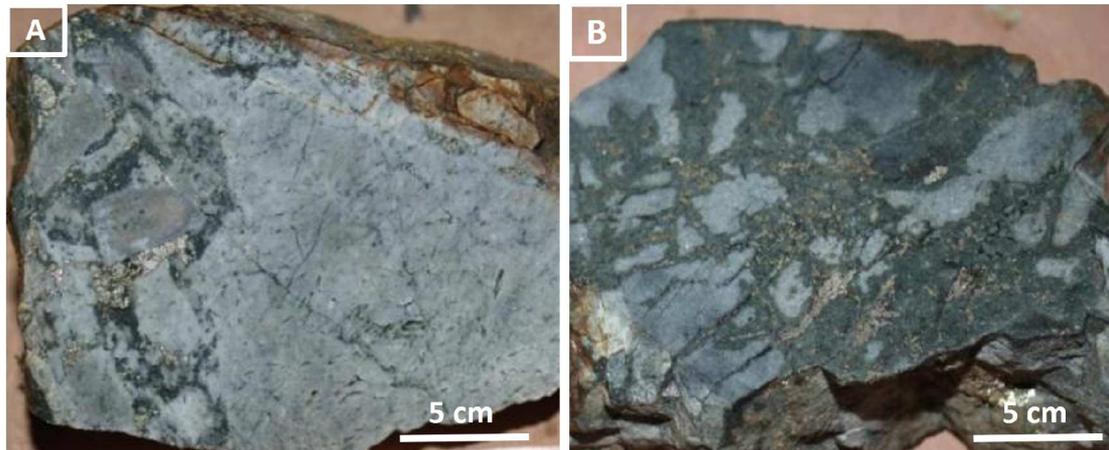
Zona alterasi propilitik berkembang cukup luas pada daerah penelitian yang dicirikan oleh tingkat alterasi yang rendah, kelimpahan mineral bijih sangat rendah. Mineral penciri antara lain klorit, epidot, sedikit pirit dan serisit. Alterasi propilitik terbentuk pada temperatur 200°-300°C pada pH mendekati netral, umumnya pada daerah yang mempunyai permeabilitas rendah (Norman dkk., 1991; White, 1996). Pada *fracture* batuan sering diisi oleh kuarsa dan pirit berukuran halus. Alterasi ini berkembang di luar zona filik dan merupakan zona alterasi terluar. Mineral bijih sangat jarang dijumpai pada zona alterasi ini, namun pirit dijumpai cukup dominan. Zona alterasi propilitik berbatasan langsung dengan zona alterasi filik. Secara megaskopis di lapangan batas kedua zona ini ditandai dengan perubahan atau perbedaan intensitas alterasi, mineral penciri, kehadiran mineral bijih serta batuan yang teralterasi propilitik menunjukkan kenampakan yang lebih *least-altered* dibanding batuan yang teralterasi filik dan argilik. Pengamatan petrografi menunjukkan batuan teralterasi sedang-lemah dan selektif, serta batuan masih memperlihatkan tekstur asli. Zona alterasi ini dicirikan oleh kumpulan mineral sekunder berupa mineral opak, epidot, klorit, serisit, kalsit, dan kuarsa dengan ukuran kristal <0,03-4 mm (Gambar 9).



**Gambar 9.** (A) Andesit teralterasi propilitik, dan (B) Kenampakan mikroskopis andesit teralterasi propilitik (sampel AJE-A-08). Catatan: Catatan: *Qtz*: kuarsa, *Chl*: klorit, *Opq*: mineral opak, dan *Ep*: epidot

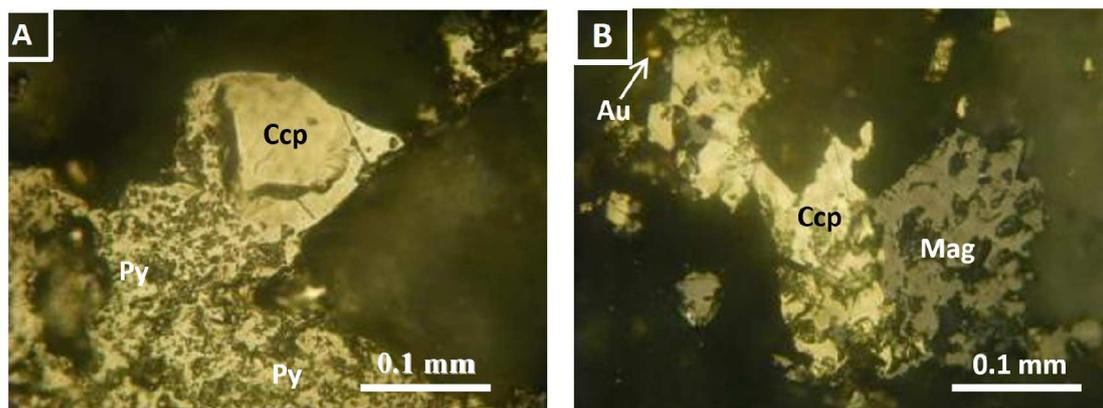
### Mineralisasi Bijih

Berdasarkan pengamatan megaskopis dari sampel batuan dan singkapan, pada daerah penelitian tidak dijumpai adanya kehadiran butiran emas secara megaskopis, akan tetapi indikasi mineralisasi yang menarik ditunjukkan oleh kehadiran mineral bijih seperti pirit, kalkopirit, sedikit magnetit dan bornit. Mineralisasi yang cukup tinggi dijumpai pada zona filik, sedangkan pada zona argilik maupun propilitik, tingkat mineralisasi relatif rendah. Pada batuan samping berupa andesit, intrusi diorit dan granodiorit teramati veinlet yang terisi kuarsa-pirit dengan struktur jejaring (*stockwork*) (Gambar 10).

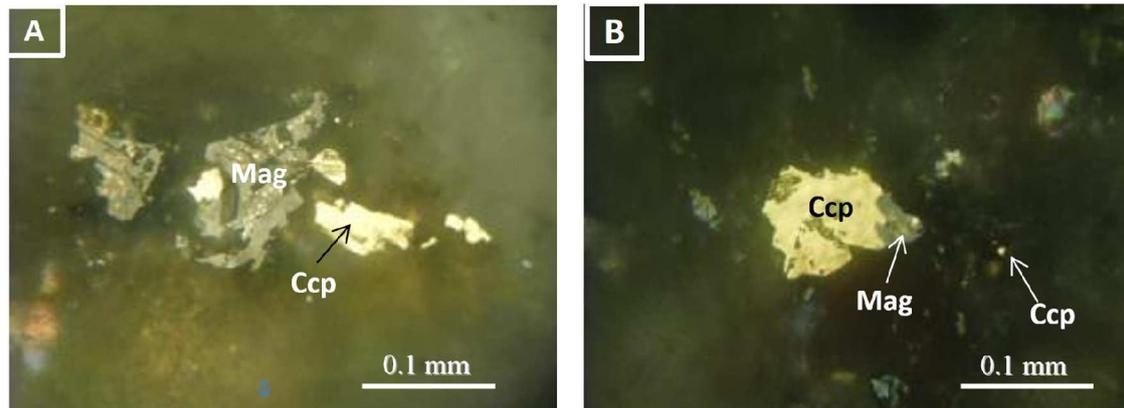


**Gambar 10.** (A) Granodiorit dan (B) andesit yang terpotong vein/veinlet kuarsa-pirit membentuk struktur jejaring (*stockwork*).

Kehadiran dan ciri-ciri dari mineral-mineral bijih yang lebih detail diperoleh dari hasil pengamatan mikroskopi bijih terhadap sayatan poles. Kalkopirit sebagai mineral bijih primer pembawa unsur tembaga sangat umum dijumpai yang berasosiasi dengan pirit dan magnetit (Gambar 11A-B), sedangkan mineral-mineral bijih sekunder pembawa unsur tembaga seperti kovelit dan krisokola dijumpai hanya pada beberapa sampel. Pada beberapa sampel dijumpai kehadiran bijih emas sebagai *free gold* dengan ukuran yang sangat kecil (<0,02 mm) (Gambar 11B). Kehadiran *free gold* tersebut merupakan indikasi bahwa pada daerah penelitian memiliki prospek emas. Umumnya mineral-mineral sulfida dan butiran emas hadir pada zona transisi propilitik-filik. Mineral-mineral lainnya seperti pirit, magnetit dan hematit hadir pada hampir setiap sampel batuan.



**Gambar 11.** Fotomikrograf mikroskopi bijih: (A) kalkopirit (Ccp) berasosiasi dengan pirit (Py), dan (B) Kalkopirit (Ccp) berasosiasi dengan magnetit (Mag) dan emas (Au) pada Sampel AJE-B-20.



**Gambar 11.** Fotomikrograf mikroskopi bijih: (A) dan (B) Kalkopirit (Ccp) berasosiasi dengan magnetit (Mag) pada Sampel AJE-C-05.

### Geokimia Batuan

#### Analisis Statistik Univariat

Sebanyak 30 sampel batuan diseleksi untuk dilakukan uji laboratorium. Sampel batuan tersebut merupakan batuan teralterasi dengan tingkat alterasi yang bervariasi dan jenis alterasi yang berbeda-beda. Semua jenis alterasi yang dijumpai di lokasi penelitian diambil contohnya dan dianalisis kadar unsur logam bernilai ekonomis (Tabel 1). Untuk menentukan ada atau tidaknya anomali serta hubungan kekerabatan antar unsur sehingga memudahkan untuk menentukan asosiasi unsur terkait dengan tipe endapannya maka dilakukanlah analisis statistik terhadap data kimia batuan tersebut.

**Tabel 1.** Data assay geokimia batuan/bijih di daerah penelitian (dalam g/t atau ppm)

No.	Kode Sampel	Au1	Ag	As	Cu	Mo	Pb	Sb	Zn
1	AJE-A-04A	0.011	0.6	2	351	1	14	1	31
2	AJE-A-05	0.01	0.6	4	806	<1	9	<1	29
3	AJE-A-06	<0.005	0.2	3	37	<1	6	<1	13
4	AJE-A-08	<0.005	0.1	<2	29	<1	6	<1	20
5	AJE-A-10	0.124	0.3	2	27	72	9	3	16
6	AJE-A-11B	<0.005	0.3	3	48	1	6	<1	36
7	AJE-A-12	<0.005	0.1	<2	6	3	3	1	37
8	AJE-A-16	<0.005	0.1	<2	9	<1	5	<1	41
9	AJE-A-17	0.007	0.1	<2	32	<1	4	<1	36
10	AJE-A-18	0.022	0.4	<2	7	12	4	1	5
11	AJE-B-01	<0.005	0.4	5	3	3	7	<1	11
12	AJE-B-02	<0.005	0.2	<2	2	1	4	<1	31
13	AJE-B-05B	<0.005	0.2	3	34	<1	3	1	13
14	AJE-B-06	<0.005	0.1	<2	168	<1	8	<1	33
15	AJE-B-10	<0.005	0.1	<2	37	<1	7	<1	30
16	AJE-B-13A	0.079	1	2	768	<1	12	2	47
17	AJE-B-13C	<0.005	0.1	<2	65	2	4	<1	30
18	AJE-B-15A	0.006	0.1	<2	145	<1	4	1	42
19	AJE-B-17A	0.016	0.5	3	462	1	4	<1	20
20	AJE-B-18	0.017	0.1	<2	21	<1	4	<1	14
21	AJE-B-20	0.03	0.3	<2	187	1	9	2	41
22	AJE-B-21	0.369	0.1	<2	28	11	5	1	17
23	AJE-C-03	0.007	<0.1	<2	270	<1	7	1	97
24	AJE-C-04	0.015	0.1	<2	20	<1	3	<1	16
25	AJE-C-05	0.014	0.3	<2	216	<1	7	<1	52

No.	Kode Sampel	Au1	Ag	As	Cu	Mo	Pb	Sb	Zn
26	AJE-C-06	0.107	1.4	2	1830	5	5	1	64
27	AJE-C-07	0.037	0.6	5	50	<1	13	2	37
28	AJE-C-08	<0.005	0.1	<2	4	<1	5	<1	17
29	AJE-C-10	<0.005	0.1	<2	10	<1	8	<1	36
30	AJE-C-11	<0.005	0.2	<2	9	<1	2	<1	14

Lanjutan Tabel 1

Analisis univariat dilakukan pada masing-masing unsur logam di dalam batuan (Tabel 2). Adapun tujuan analisis ini adalah untuk menentukan nilai latar atau nilai *background* unsur-unsur logam tersebut. Batuan yang memiliki kadar unsur di atas nilai *background* dianggap memiliki prospek yang menarik, dan sebaliknya batuan dengan kadar unsur di bawah *background* dianggap kurang menarik. Untuk memperoleh nilai *background* dapat dihitung dengan rumus berikut:  $Background = Mean + Standar Deviasi$  (Rose dkk., 1979, Joice, 1984, Eggo, 1997). Kehadiran kadar yang melebihi nilai *background* tersebut dipakai sebagai salah satu pertimbangan dalam menentukan daerah anomali dan daerah prospek. Berikut ini dibahas mengenai unsur-unsur dengan kadar yang menunjukkan indikasi mineralisasi yang prospek.

**Tabel 2.** Nilai statistik univariat unsur logam pada sampel batuan/bijih di daerah penelitian

Unsur	Au	Ag	As	Cu	Mo	Pb	Sb	Zn
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Jumlah Sampel	30	30	30	30	30	30	30	30
Minimum	0,005	0,1	2	2	1	2	1	5
Maksimum	0,363	1,4	5	1830	72	130	3	236
Mean	0,028	0,312	2,382	189,500	4,706	10,000	1,147	40,029
SD	0,065	0,117	2,764	184,534	4,404	9,103	0,711	18,724
Background	0,093	0,429	5,146	374,034	9,110	19,103	1,858	58,754

- Unsur Au  
Kandungan unsur Au berkisar dari < 0,005 ppm hingga 0,363 ppm, nilai rata-rata 0,028 ppm, nilai simpangan baku 0,065 ppm dan nilai latar belakang yaitu 0,0651 ppm (Tabel 2). Penyebaran anomali geokimia unsur Au pada sampel batuan dapat dilihat pada Lampiran Peta Anomali Unsur Au. Nilai anomali Au dijumpai pada 3 titik sampling yaitu pada titik AJE-A-10, AJE-B-21, dan AJE-C-06. Nilai anomali tertinggi yaitu AJE-B-21 terdapat pada zona alterasi filik. Berdasarkan ketiga anomali tersebut dapat dilihat bahwa adanya asosiasi atau keterkaitan antara zona alterasi filik dengan anomali kadar unsur Au dalam batuan, walaupun dari hasil pengamatan petrografi menunjukkan bahwa zona alterasi filik pada daerah penelitian masih merupakan transisi dari zona propilitik.
- Unsur Cu  
Kandungan unsur tembaga berkisar dari < 2 ppm sampai 1.830 ppm, nilai rata-rata aritmatiknya adalah 189,5 ppm, dan nilai simpangan baku 184,5 ppm dan nilai anomalnya adalah 374,034 ppm (Tabel 2). Penyebaran anomali geokimia unsur Cu dilihat pada Lampiran Peta Anomali Unsur Cu. Nilai anomali unsur tembaga dijumpai pada 3 titik percontaan yaitu AJE-A-05, AJE B-13A, dan AJE-C-06. Pola penyebaran titik anomali unsur Cu tersebut secara umum masih berada satu zona dengan unsur Au walaupun tidak dijumpai pada sampel batuan yang sama. Kehadiran anomali kedua unsur tersebut merupakan suatu indikasi yang sangat menarik karena dapat dipakai sebagai salah satu dasar untuk menentukan keberadaan endapan bijih yang bernilai lebih tinggi.

#### Analisis Statistik Multivariat

Pengolahan data multivariat (unsur majemuk) sangat penting dilakukan dalam eksplorasi geokimia. Hal tersebut perlu dilakukan karena setiap fenomena geologi, baik

litologi, alterasi dan mineralisasi mempunyai karakteristik asosiasi unsur tertentu yang dapat dijadikan sebagai panduan untuk menafsirkannya. Oleh karena itu, untuk mengetahui asosiasi antar unsur di daerah penelitian maka digunakan metode perhitungan koefisien korelasi ( $r$ ) (Rose dkk., 1979, Joice, 1984, Eggo, 1997). Apabila koefisien korelasi memiliki nilai ( $r \geq 0,5$ ) maka kedua unsur tersebut dianggap memiliki korelasi positif atau saling keterkaitan (Tabel 3).

**Tabel 3.** Nilai koefisien korelasi ( $r$ ) antara pasangan unsur

Ag	As	Cu	Mo	Pb	Sb	Zn	
0.16	-0.12	<b>0.76</b>	0.38	0.06	0.25	-0.07	<b>Au</b>
	0.25	<b>0.87</b>	0.03	0.42	0.25	-0.07	<b>Ag</b>
		0.01	-0.11	0.30	0.09	-0.19	<b>As</b>
			-0.07	0.21	0.02	0.45	<b>Cu</b>
				0.13	<b>0.72</b>	-0.20	<b>Mo</b>
					<b>0.52</b>	0.25	<b>Pb</b>
						0.01	<b>Sb</b>

Berdasarkan Tabel 3 terlihat nilai koefisien korelasi tinggi ( $r \geq 0,5$ ), ditunjukkan oleh pasangan Cu-Au dan Cu-Ag, namun pasangan unsur Au-Ag menunjukkan nilai  $r$  yang rendah (0,16). Nilai korelasi yang tinggi juga terlihat pada pasangan unsur Sb-Mo dan Pb-Sb. Korelasi antara kedua pasangan unsur terakhir dapat diabaikan mengingat kadar unsur-unsur tersebut sangat rendah di dalam batuan. Sedikitnya data serta banyaknya kadar sejumlah unsur yang berada di bawah *detection limit* kemungkinan menyebabkan kehadiran nilai korelasi yang cenderung tidak representatif.

## DISKUSI

### Tipe Endapan

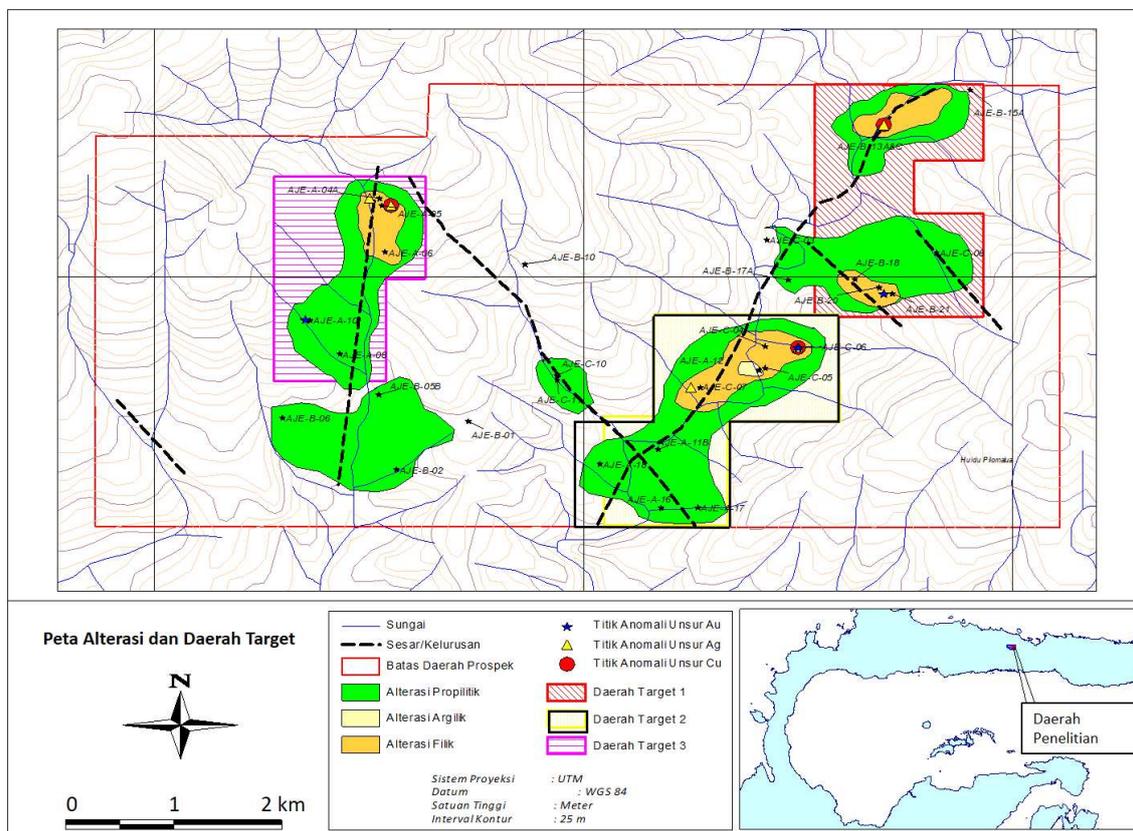
Secara litologi, daerah penelitian tersusun oleh andesit yang diintrusi oleh diorit dan granodiorit. Batuan-batuan tersebut mengalami alterasi hidrotermal dengan intensitas bervariasi, dari least-altered, argillik, propilitik sampai filik. Batuan sampling dan intrusi tersebut terpotong oleh berbagai ukuran urat/uratan yang termineralisasi, membentuk struktur jejaring (*stockwork*). Mineralisasi bijih juga terjadi dalam wujud tersebar (*disseminated*) dalam batuan sampling (andesit) dan intrusi. Mineral bijih hipogen yang teridentifikasi antara lain pirit, kalkopirit, sedikit magnetit dan bornit, dengan mineral sekunder (supergen) antara lain kovelit dan krisokola. Emas berbutir bebas (*free grained gold*) dalam ukuran sangat halus juga teridentifikasi di beberapa sampel. Pada sisi yang lain, geokimia batuan/bijih menunjukkan kadar tembaga, emas dan perak yang relatif rendah, namun analisis koefisien korelasi menunjukkan keterkaitan/hubungan yang kuat antara Cu-Au dan Cu-Ag, namun Au-Ag menunjukkan korelasi yang lemah. Berdasarkan data dan karakteristik di atas, maka tipe endapan bijih hidrotermal di daerah penelitian cenderung dekat dengan tipe endapan Cu-Au porfiri (cf. Lowell dan Guilbert, 1970; Gustafson dan Hunt, 1975; Kesler dkk., 1975; Sillitoe, 1979; Beane dan Bodnar, 1995). Indikasi endapan porfiri tersebut mirip yang dikemukakan oleh Lowder dan Dow (1978), Lubis dkk. (1994) dan Proffett (2003).

Endapan porfiri adalah endapan mineral yang mengandung sebaran tembaga (kadang berasosiasi dengan Au) yang terdapat pada batuan beku plutonik yang terbentuk pada kedalaman dan temperatur yang lebih tinggi (Evans, 1993; Robb, 2005; Ridley, 2013). Endapan porfiri memiliki ciri khas yaitu kadar yang rendah namun jumlah cadangan yang sangat tinggi. Sedangkan menurut Beane dan Titley (1981), endapan porfiri merupakan hasil intrusi *pluton* yang berasosiasi dengan sistem hidrotermal, akibat pendinginan dari batuan intrusi

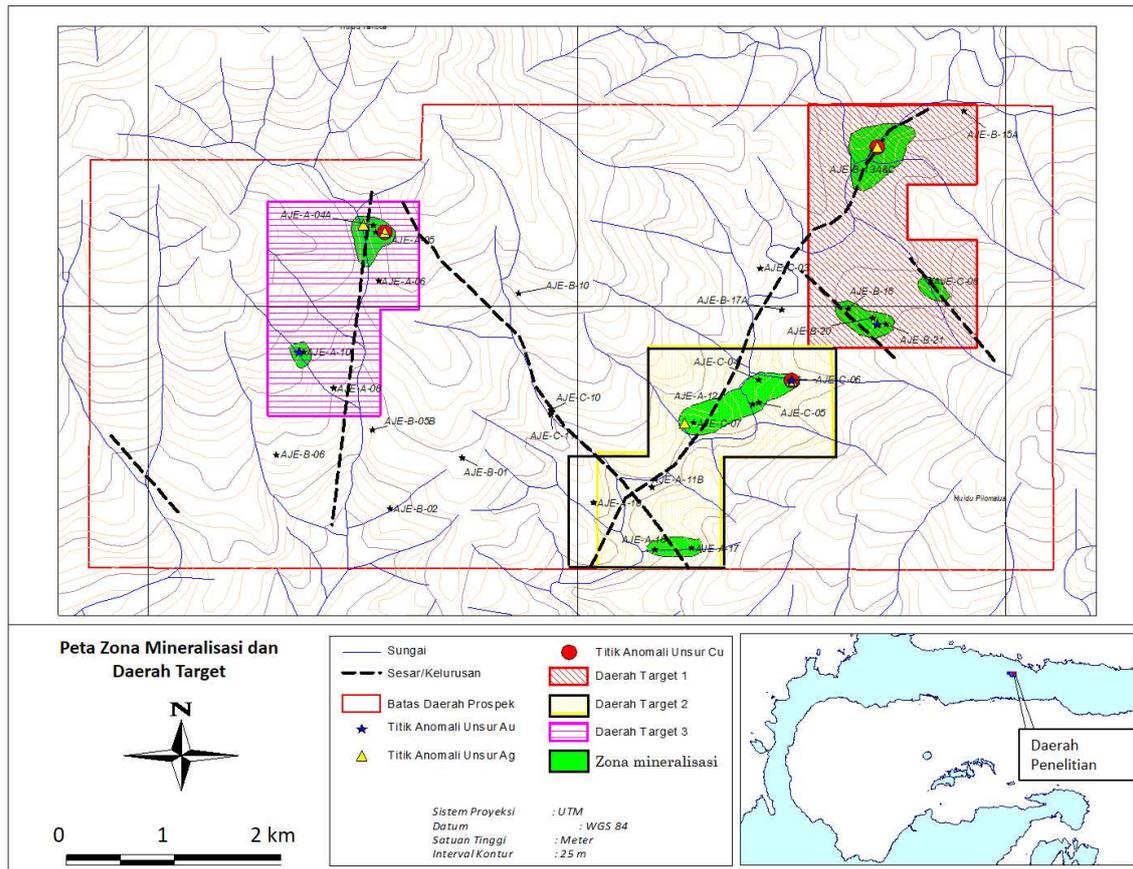
tersebut maka akan terbentuk permeabilitas sekunder (*fracture*) yang menjadi tempat sirkulasi larutan hidrotermal pada batuan *pluton* maupun pada batuan samping (*wall rock*). Mineralisasi terjadi akibat adanya intrusi diorit-granodiorit yang berumur Miosen Tengah – Akhir (Bachri dkk., 1993; Bachri, 2006). Intrusi tersebut membawa mineralisasi yang ikut mengubah batuan sampingnya yaitu andesit, sehingga andesit ikut mengalami mineralisasi. Geokimia batuan menunjukkan kadar unsur emas maksimal mencapai kadar maksimal 0,36 g/t Au, dengan kadar tembaga yang mencapai 1.830 ppm Cu atau 0,18 % Cu.

### Penentuan Daerah Target

Salah satu tujuan eksplorasi adalah semakin menyempitkan daerah eksplorasi yang disebut daerah target. Penyempitan lokasi target eksplorasi detail tersebut dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas pelaksanaan kegiatan eksplorasi mengingat daerah prospek saat ini masih cukup luas dan mencakup lokasi-lokasi yang dari segi keberadaan mineral bijih yang kurang menarik. Penentuan daerah tersebut dilakukan dengan dasar kehadiran zona mineralisasi dan alterasi yang dianggap potensial. Adapun rekomendasi daerah target untuk kegiatan eksplorasi berikutnya terlihat pada Gambar 12 dan 13.



**Gambar 12.** Peta daerah target 1, 2 dan 3 yang terplot pada peta zona alterasi hidrotermal



**Gambar 13.** Peta daerah target 1, 2 dan 3 yang terplot pada peta zona mineralisasi bijih

#### *Daerah Target 1 (Blok Timur)*

Daerah target 1 terletak pada bagian timur laut daerah penelitian (Gambar 12 dan 13) dan memiliki tingkat alterasi dan mineralisasi yang intensif. Selain itu daerah Target 1 banyak dijumpai kegiatan penambangan tradisional baik dengan cara mendulang di sungai atau membuat lubang rayapan. Jenis alterasi yang berkembang pada daerah ini adalah alterasi filik dan propilitik, sedangkan zona alterasi potasik dan argilik hanya bersifat setempat-setempat dan tidak terpetakan. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, intensitas mineralisasi cukup tinggi yang ditunjukkan oleh kehadiran mineral-mineral logam dan bijih seperti pirit, kalkopirit, dan bornit. Luas daerah Target 1 adalah 211 Ha. Mineral bijih yang terlihat pada pengamatan mikroskopi bijih menunjukkan kehadiran kalkopirit serta kehadiran bijih emas dalam bentuk *free gold*. Nilai anomali unsur emas tertinggi yaitu AJE-B-21 terdapat pada zona alterasi filik di Daerah Target 1 dengan kadar @ 0,363 g/t Au. Sedangkan untuk unsur tembaga, nilai anomali yang dijumpai pada Daerah Target 1 adalah pada sampel AJE-B-13A @ 768 ppm Cu.

#### *Daerah Target 2 (Blok Tengah)*

Daerah target ini berada pada bagian tengah daerah penelitian dan memiliki tingkat alterasi maupun mineralisasi yang intensif (Gambar 12 dan 13). Struktur geologi yang berkembang adalah kelurusan utama yang berarah relatif NE – SW serta sejumlah kelurusan minor berarah NW – SE. Jenis alterasi pada daerah target ini adalah filik, propilitik dan argilik yang berkembang secara intensif pada satuan diorit-granodiorit serta pada satuan andesit. Mineralisasi cukup tinggi yang ditunjukkan oleh kehadiran mineral-mineral bijih seperti pirit, kalkopirit, hematit dan bornit. Mineral bijih tersebut dijumpai sebagai pengisi *stockwork*

maupun rekahan pada batuan. Sistem *stockwork* berkembang cukup intensif pada daerah ini terutama pada zona alterasi filik dan transisi propilitik-filik. Luas daerah Target 2 adalah 205 Ha. Kadar kimia batuan yang dianalisis menunjukkan kehadiran beberapa titik anomali baik untuk unsur Cu maupun unsur Au. Batuan yang menunjukkan anomali unsur Au adalah sampel batuan AJE-C-06 @ 0,101 ppm Au dan 1.830 ppm Cu (0,183% Cu). Kehadiran anomali tersebut dijumpai dalam satu sampel batuan yang sama. Hal tersebut menunjukkan korelasi antara unsur Au dan Cu pada batuan yang mengindikasikan kehadiran zona bijih pada daerah tersebut. Selain itu, daerah target ini dipotong oleh struktur geologi utama yang berarah NE – SW serta beberapa struktur minor berarah relatif NW – SW.

#### *Daerah Target 3 (Blok Barat)*

Daerah target ini berada pada bagian tengah agak ke barat dari daerah penelitian (Gambar 12 dan 13). Tingkat alterasi dan mineralisasi pada daerah ini cukup tinggi, namun mineral bijih cukup jarang, hanya pirit dan kalkopirit yang umum dijumpai. Jenis alterasi yang berkembang adalah propilitik dan filik namun tidak terlalu luas pelamparannya. Sistem *stockwork* maupun rekahan yang terisi pirit cukup banyak dijumpai. Batuan utama penyusun daerah target ini adalah andesit dan dijumpai juga intrusi diorit-granodiorit. Luas daerah Target 3 adalah 138,7 Ha. Anomali kadar Au dijumpai pada sampel AJE-A-10 @ 0,124 ppm Au, sedangkan anomali kadar Cu dijumpai pada sampel AJE-A-05 @ 806 ppm Cu.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

1. Daerah penelitian menunjukkan indikasi kehadiran alterasi dan mineralisasi yang sangat menarik. Satuan batuan yaitu satuan lava andesit dari Formasi Dolokapa yang diterobos oleh satuan diorit-granodiorit dari Formasi Diorit Baliohuto, kedua satuan tersebut menunjukkan indikasi alterasi dan mineralisasi yang menarik.
2. Alterasi hidrotermal sebagian besar berkembang pada satuan diorit-granodiorit dan sebagian juga pada satuan andesit dengan tipe alterasi berupa propilitik, filik, dan sedikit argilik. Argilik hadir sebagai *overprinting* pada alterasi filik dengan pelamparan yang sangat kecil dan tidak signifikan.
3. Tingkat mineralisasi yang cukup tinggi dijumpai pada bagian timur dan tengah dari daerah penelitian yang ditunjukkan oleh kehadiran pirit, kalkopirit, magnetit, hematit dan bornit. Mineralisasi dijumpai pada *stockwork* maupun pada rekahan batuan dan *disseminated* pada batuan. Selain mineral primer pembawa unsur Cu, kovelit dan krisokola juga hadir sebagai mineral sekunder hasil ubahan sulfida primer.
4. Kadar unsur logam dalam batuan menunjukkan hasil yang cukup signifikan dimana kadar Au berkisar dari 0,005 – 0,363 g/t dan Cu berkisar antara 2 ppm sampai 0,183 % Cu. Nilai yang dianggap anomali tersebar pada zona alterasi filik dan transisi propilitik-filik.
5. Berdasarkan karakteristik endapan di lapangan dan hasil analisis di laboratorium, endapan bijih di daerah penelitian dikategorikan sebagai endapan porfiri Cu-Au. Berdasarkan kondisi alterasi, mineralisasi dan geokimia, kemungkinan besar daerah penelitian belum berada pada zona bijih atau pada zona transisi antara *low – medium ore zone*. Mineral yang terbentuk pada suhu tinggi seperti bornit sangat jarang dijumpai dengan zona alterasi masih didominasi oleh zona propilitik serta transisi propilitik – filik.
6. Daerah penelitian dapat dipersempit lagi menjadi 3 daerah target untuk memudahkan kegiatan eksplorasi selanjutnya yaitu daerah Target 1 (Blok Timur), daerah Target 2 (Blok Tengah) dan daerah Target 3 (Blok Barat). Ketiga daerah target tersebut dibagi berdasarkan kondisi alterasi, mineralisasi dan kehadiran anomali geokimia.

### **Saran**

1. Percontaan geokimia tanah dengan sistem grid (grid 50 x 50 m atau grid 100 x 100 m) pada daerah target untuk menentukan zona anomali sebagai petunjuk kegiatan eksplorasi selanjutnya. Kegiatan ini sebaiknya dibarengi dengan pemetaan alterasi dan mineralisasi

yang lebih detail lagi agar memperoleh data batas alterasi dan mineralisasi yang lebih akurat. Kelebihan dari metode soil sampling adalah memiliki tingkat efektivitas dan efisiensi tinggi karena dapat dilakukan secara cepat, detail dan menyeluruh pada daerah yang luas. Hasil dari metode ini cukup powerful untuk menentukan zona bijih yang tidak terlihat di permukaan (tertutup soil/vegetasi) berdasarkan kehadiran zona anomali geokimia tanah.

2. Survei geofisika dengan metode IP (*Induced Polarization*) dan atau *ground geomagnetic* pada daerah target.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada para geologist yang telah membantu dalam melakukan penelitian ini, antara lain Indra Sanjaya, Fauzi Susanto, Masyuddin dan Jose da Costa. Kepada camat dan masyarakat Tolangohula, kami juga sampaikan terimakasih atas penerimaan dan dukungannya dengan adanya kegiatan penelitian tersebut. Penelitian ini dibiayai sebagian oleh manajemen PT. AJE. Untuk itu, penulis juga menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya. Kepada reviewer, terimakasih atas kritikan dan masukan konstruktifnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2012. *Laporan Eksplorasi Endapan Emas Gorontalo*. Internal Report PT. Lambasta Cipalago, 112 hal.
- Bachri, S., Sukido dan Ratman, N., 1993. *Peta Geologi Regional Lembar Tilamuta*, Pusat Survei Geologi, Bandung
- Bachri, S., 2006, Stratigrafi Lajur Volkano-Plutonik Daerah Gorontalo, Sulawesi. *Jurnal Geologi Sumberdaya Geologi* 26, 94-106.
- Beane, R.E., Titley, S.R., 1981. Porphyry Copper Deposit, Part II: Hydrothermal Alteration and Mineralization. *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, 235-269.
- Beane, R. E., Bodnar, R. J., 1995. Hydrothermal fluids and hydrothermal alteration in porphyry copper deposits. in Pierce, F. W. and Bohm, J. G., *Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera, Arizona Geological Society Digest* 20, Tucson, 83-93.
- Carlile, J.C., Mitchell, A.H.G., 1994. Magmatic arcs and associated gold and copper mineralisation in Indonesia: in van Leeuwen, T.M., Hedenquist, J.W., James, L.P., and Dow, J.A.S., eds., *Mineral Deposits of Indonesia, Discoveries of the Past 25 Years. Journal of Geochemical Exploration*, 50, 91-142
- Eggo, A.J., 1997. *Exploration Geochemistry*. M.Sc Study Manual, James Cook University, Townsville.
- Garwin, S., Hall, R., Watanabe, Y., 2005. Tectonic Setting, Geology, and Gold and Copper Mineralization in Cenozoic Magmatic Arcs of Southeast Asia and the West Pacific, *Economic Geology 100<sup>th</sup> Anniversary Volume*, 891-930.
- Gustafson, L.B., Hunt, J.P., 1975. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology* 70, 857-912.
- Hamilton, W., 1979. Tectonics of the Indonesian region, U.S. Geological Survey, Professional Paper 1078.
- Hall, R., 2002. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20, 353-431.
- Hutchison, C.S., 1989. *Geological evolution of southeast Asia*, Monographs on Geology and Geophysics, Oxford.
- Idrus, A., Sufriadin, Nur, I., 2011. Hydrothermal ore mineralization in the Sulawesi: A view point of tectonic setting and metallogenesis. *Proceedings of 36th HAGI and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition*, Makassar, 298-310.
- Joyce, A.S., 1984. *Geochemical Exploration*. The Australia Mineral Foundation Inc., Sydney

- Katili, J.A., 1978. Past and present geotectonic position of Sulawesi, Indonesia". *Tectonophysics* 45, 289-322.
- Kavalieris, I., van Leeuwen, T.M., Wilson, M., 1992. Geologic setting and styles of mineralization, North Arm of Sulawesi, Indonesia. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 7, 113-129.
- Kesler, S.E., Jones, L.M., Walker, R.L., 1975. Intrusive rocks associated with porphyry copper mineralisation in island arc areas. *Economic Geology* 70, 515-526.
- Levinson, A.A., 1973. *Introduction to Exploration Geochemistry*. John Wiley dan Sons, New York
- Lubis, H., Prihatmoko, S., James, L.P., 1994. Bulagidun prospect: a copper, gold and tourmaline bearing porphyry and breccia system in northern Sulawesi, Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration* 50, 257-278.
- Lowell, J.D., Guilbert, J.M., 1970. Lateral and vertical alteration-mineralisation zoning in porphyry ore deposits. *Economic Geology* 65, 373-408.
- Lowder, G.G., Dow, J.A.S., 1978. Geology and exploration of porphyry copper deposits in North Sulawesi, Indonesia. *Economic Geology* 73, 628-644.
- Norman, D.K., Parry, W.T., Bowman, J.R., 1991. Petrology and geochemistry of propylitic alteration at Southwest Tintic, Utah, *Economic Geology* 86, 13-28.
- Perello, J., 1994. Geology, porphyry Cu-Au and epithermal Au-cu-Ag mineralization in the Tombulilato district, North Sulawesi, Indonesia. In: van Leeuwen, T.M., Hedenquist, J.W., James, L.P., Dow, J.A.S. (Eds.), *Mineral Deposits of Indonesia-Discoveries of the past 25 years*. *Journal of Geochemical Exploration*, 50, 221-256.
- Proffett, J.M., 2003. Geology of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Argentina. *Economic Geology* 98, 1535-1574.
- Rose, A.W., Hawks, H.E., Webb, J.H., 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press, New York
- Robb, R., 2005. *Introduction to Ore-forming Processes*. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Ridley, J., 2013. *Ore Deposit Geology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sillitoe, R.H., 1979. Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits. *Mineralium Deposita* 14, 161-174.
- Sukamto, R., 1975. The structure of Sulawesi in the light of plate tectonics. *Proceedings of Regional Conference on the Geology and Mineral Resources of SE Asia*, Jakarta, August 4-7, 1-25.
- van Leeuwen, T.M., Pieters, P.E., 2011. Mineral deposits of Sulawesi. *Proceedings of the Sulawesi Mineral Resources of MGEI Annual Convention*, Manado, 1-19.
- van Leeuwen, T.M., Muhardjo, 2005. Stratigraphy and tectonic setting of the Cretaceous and Paleogene volcanic-sedimentary successions in northwest Sulawesi, Indonesia: implications for the Cenozoic evolution of Western and Northern Sulawesi. *Journal of Asian Earth Sciences* 25, 481-511
- White, N.C., 1996. Hydrothermal alteration in porphyry copper systems. *Internal Note for the Batu Hijau Deposit*, Unpublished, 14 p.