



Studi Alterasi, Mineralisasi Dan Inklusi Fluida Prospek Hidrotermal (Pb-Zn-Cu±Au-Ag) Kubah Kulonprogo Bagian Selatan, Jawa Tengah

Alteration, Mineralization and Fluid Inclusion Studies of Hydrothermal Prospect (Pb-Zn-Cu±Au-Ag) In the Southern Part of Kulonprogo Dome, Central Java

Fadlin¹, Isnu Hajar Sulistyawan² dan Luthfi Adi Prasetyo³

¹Teknik Geologi, Universitas Jenderal Soedirman, Email: fadlin.unsoed@gmail.com

²Pusat Air tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Email: isnu.sulistyawan@esdm.go.id

³Exploration Geologist, Sumber Energi Jaya, Email: luthfi9295@gmail.com

Naskah diterima : 27 Oktober 2019, Revisi terakhir : 13 November 2019 Disetujui : 14 November 2019, Online : 14 November 2019

DOI: 10.33332/jgsm.2019.v20.4.211-223p

Abstrak-Potensi logam khususnya logam dasar, emas dan perak di pegunungan Kulonprogo sudah lama menjadi perbincangan ahli geologi Indonesia, hingga saat ini belum ditemukan prospek yang bernilai ekonomis, sehingga menjadi tantangan tersendiri untuk melakukan penelitian yang intensif dan rinci. Penelitian ini bertujuan memahami karakteristik alterasi-mineralisasi dan fluida endapan di daerah penelitian. Metode penelitian yang digunakan yaitu survei geologi permukaan, analisis laboratorium seperti mineragrafi, *X-ray Diffraction*, geokimia bijih (*Atomic Absorption Spectrometry-fire assay*) dan inklusi fluida. Zona alterasi daerah penelitian terbagi menjadi propilitik, argilik lanjut, argilik serta silisifikasi. Tekstur urat yang berkembang yaitu *massive quartz*, *stock work*, serta *vuggy quartz* yang berpola timurlaut-baratdaya, sedangkan kelimpahan mineral sulfida yang terdeteksi yaitu enargit, pirit, kalkopirit, sfalerit, malakit dan molibdenit, hadir di dalam urat kuarsa maupun *disseminated* di dalam batuan sampling. Geokimia bijih AAS-fire assay kelima sampel urat menunjukkan kadar Au dan Ag tertinggi hanya pada sampel 3 (Au:3.8. g/t, Ag:10 g/t). Hasil analisis inklusi fluida menunjukkan nilai temperatur homogenisasi (Th) yaitu 293,4-322,4° C, temperatur pelelehan (Tm) yaitu -5,22°C sampai -6,3° C, dengan nilai salinitas rata-rata 10,58-12,89 wt,%NaCl ekuivalen. Evolusi *fluida hidrotermal* daerah penelitian berada pada fase *mixing with cooler, less saline fluids*, fluida diperkirakan dari air magmatik yang berangsur bercampur dengan air meteorik yang ditunjukkan dengan penurunan temperatur dan nilai salinitas. Mengacu pada data alterasi, mineralisasi, tekstur vein, geokimia bijih, serta hasil studi inklusi fluida, maka tipe endapan pada daerah penelitian merupakan tipe epitermal sulfidasi menengah (IS).

Katakunci: alterasi-mineralisasi, epitermal sulfidasi menengah, inklusi fluida, Kubah Kulonprogo.

Abstract- Ore potential especially base metals, gold and silver in the Kulonprogo Mountains have been a discussion of Indonesian geologists for a long time, until now its prospects as economic value has not been found, which made it a challenge to conduct an intensive and detailed study. This study is conducted to understand the mineralization-alteration characteristics and the deposit fluid of the study area. The method used in this study is a surface geological mapping, laboratory analysis such as mineragraphy, X-ray diffraction, ore geochemistry (*Atomic Absorption Spectrometry-fire assay*) and fluid inclusion. Alteration zone of the study area is divided into propylitic, advanced argilic, argilic and silicification. Vein texture that develop in the study area is a massive quartz, stock work, and vuggy quartz which has NE-SW orientation, while the sulphide mineral abundance which found are enargite, pyrite, chalcopyrite, sphalerite, malachite, and molybdenite, occur in quartz veins or disseminated in gangue rock. Ore geochemistry AAS-fire assay of five vein samples show Au and the highest Ag content shown in sample 3 (Au:3.8. g/t, Ag:10 g/t). Fluid inclusion analysis results show homogenization temperature value (Th) which is 293,4-322,4° C, melting temperature (Tm) is -5,22° C until -6,3° C with average salinity value 10,58-12,89 wt,%NaCl equivalent. Hydrothermal fluid evolution of the study area is at the mixing with cooler phase and less saline fluids. Fluid is estimated from magmatic water that slowly mixed with meteoric water which is shown by the cooling temperature and salinity value. Based on alteration, mineralization, vein texture, ore geochemistry and fluid inclusion data results, therefore the deposit type at the study area is an intermediate epithermal sulphidation (IS).

Keyword: alteration-mineralization, intermediate epithermal sulphidation, fluid inclusion, Kulonprogo Dome.

PENDAHULUAN

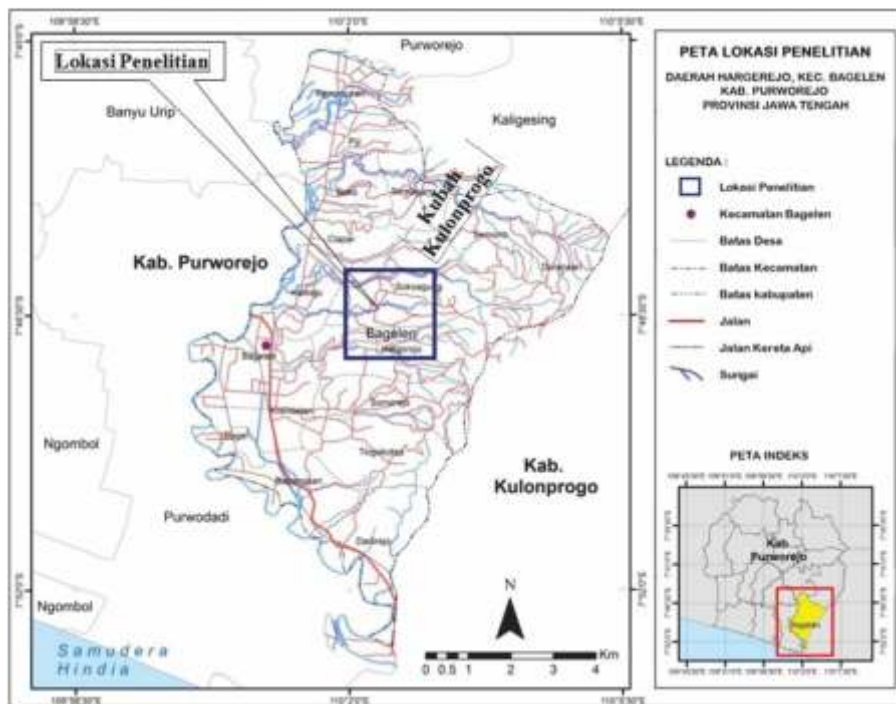
Kala Eosen (50-30 jt tahun lalu) merupakan awal dimulainya kegiatan magmatik di Pulau Jawa dan menghasilkan produk berupa jejak sumbu vulkanik berarah barat-timur. Produk himpunan batuan yang terbentuk bersifat andesitis dengan ciri afinitas kalk alkali dan sedikit toleit. Aktivitas magmatik selanjutnya terjadi antara 11-2 juta tahun yang lalu (Miosen Akhir-Pliosen) dengan himpunan batuan yang bersifat kalk alkali andesitis (Atmadja *et al.*, 1991). Perkembangan tektonik Pulau Jawa selama Tersier menunjukkan jalur subduksi yang menerus dari lempeng Hindia-Australia menyusup ke bawah Pulau Jawa (Hamilton, 1979; Katili, 1975). Busur magmatik Tersier sedikit bergeser ke arah utara dan busur magmatik Kuartar berimpit dengan busur magmatik Miosen Tengah (Atmadja *et al.*, 1991), dengan jalur subduksinya bergeser ke selatan.

Perkembangan tektonik yang lain adalah lajur subduksi Karangsembung-Meratus menjadi tidak aktif karena tersumbat oleh hadirnya material kontinen (Sribudiyani *et al.*, 2003), berdasarkan data seismik dan pemboran baru di Jawa Timur menafsirkan terdapatnya fragmen kontinen (yang disebut lempeng mikro Jawa Timur) sebagai penyebab berubahnya lajur subduksi arah baratdaya-timurlaut (pola Meratus) menjadi arah barat-timur (pola Jawa). Berdasarkan penanggalan radiometri K-Ar bahwa umur batuan vulkanik di daerah Kulonprogo $42,73 \pm 9,78$ sampai $15,30 \pm 0,88$ juta tahun yang lalu dengan penyebaran batuan vulkaniknya ke arah barat-timur (Atmadja *et al.*, 1991). Pulau Jawa Tengah dibagi menjadi enam zona fisiografi, yaitu Gunungapi Kuartar, Dataran Aluvial Utara Jawa, Antiklinorium Serayu Utara, Kubah dan Punggungan pada Zona Depresi Tengah, Zona Depresi Tengah dan Pegunungan Selatan (Bemmelen, 1949). Berdasarkan pembagian tersebut maka daerah Kulonprogo termasuk bagian dari Zona Depresi Tengah. Daerah Yogyakarta terutama bagian baratdaya Pegunungan Kulonprogo merupakan daerah tinggian yang terletak dalam zona poros pematang (Sujanto and Roskamil, 1975). Sejumlah tinggian dan rendahan dapat dibedakan pada poros ini yaitu: Tinggian Kulonprogo, Kebumen, Karangbolong, Tinggian Gabon dan Tinggian Besuki. Tinggian dan rendahan tersebut pada umumnya dibatasi oleh sesar-sesar bongkah dengan *throw* relatif besar. Secara regional satuan litostratigrafi dari umur tua ke muda adalah Formasi Nanggulan, Kaligesing, Dukuh, Jonggrangan, Formasi Sentolo serta endapan Gunungapi Kuartar dan

endapan aluvial. Endapan aluvial pasir pantai di Selatan Kulon Progo berasal dari batuan intrusi Andesit (Irjon, 2018).

Magmatisme yang berkembang di Pegunungan Kulonprogo terjadi pada Oligosen-Miosen (van Bemmelen, 1949), dengan penyebaran batuan vulkanik relatif barat-timur. Pegunungan Kulonprogo diperkirakan telah mengalami proses deformasi setidaknya dua kali periode fase tektonik (Atmadja *et al.*, 1991; Sopaheluwakan, 1976) yaitu pertama terjadi pada Oligosen Akhir-Miosen Awal dan kedua terjadi pada Miosen Tengah-Miosen Akhir yang menghasilkan busur magmatik. Aktivitas Magmatisme serta vulkanisme masa lampau inilah yang mengontrol kegiatan hidrotermal yang selanjutnya menghasilkan endapan logam berharga seperti emas, perak, tembaga, maupun *base metal* di kompleks Pegunungan Kulonprogo, melalui proses pengkayaan (*enrichment*) baik secara primer maupun sekunder. Keberadaan potensi endapan mineral non logam maupun logam, baik itu berupa logam dasar serta emas dan perak di daerah Pegunungan Kulonprogo sudah ditemukan sejak lama dan telah menjadi perbincangan para ahli geologi Indonesia sejak dulu. Sebagai contoh prospek *low sulphidation epithermal* Kokap yang terbentuk pada batuan induk dasit yang merupakan batuan pembawa mineralisasi, dengan kadar Au tertinggi 2,6 g/t dengan Ag 39 g/t (Anshori and Hastria, 2013). Contoh lain adalah *high sulphidation epithermal* Gunung Gupit, mineralisasi terbentuk pada batuan induk andesit dan dasit, dengan kadar Au tertinggi 40,2 g/t dan Ag 112 g/t (Idrus *et al.*, 2013) dalam hal ini semua menunjukkan kadar yang cukup nyata, akan tetapi dengan geometri kecil dan belum memiliki nilai keekonomisan yang layak tambang berskala nasional. Dengan demikian daerah ini menjadi sangat menarik untuk dilakukan penelitian yang lebih intensif dan lebih detil agar dapat menemukan prospek baru yang layak tambang skala nasional. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan memahami karakteristik alterasi-mineralisasi yang berkembang, geokimia bijih, serta karakter inklusi fluida endapan mineral.

Kubah Kulonprogo memiliki area yang cukup luas, namun daerah penelitian ini lebih difokuskan pada daerah Hargerejo, dalam hal ini daerah tersebut merupakan salah satu desa yang berada di Kubah Kulonprogo bagian selatan dan secara administrasi merupakan wilayah Kecamatan Begelen, Kabupaten Purworejo Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

a. Survei geologi permukaan

Survei geologi permukaan pada daerah penelitian menggunakan *basemap* dengan skala (1:25.000). Pengambilan sampel batuan dan urat dengan metode random, tetapi merepresentatifkan ciri geologi daerah penelitian.

b. Analisis laboratorium

Terdapat 4 (empat) metode analisis laboratorium yang digunakan yaitu mineragrafi, XRD (*X-Ray Diffraction*), geokimia AAS-*fire assay* dan inklusi fluida. Dalam hal ini, 4 (empat) sampel batuan ubahan untuk analisis mineralogi XRD (*X-Ray Diffraction*) serta 4 (empat) sampel urat kuarsa untuk analisis mineragrafi (sayatan poles). Kedua analisis tersebut di Laboratorium Departemen Teknik Geologi UGM. Lima sampel urat kuarsa maupun mineralisasi batuan dilakukan analisis kimia bijih dengan metode *Fire Assay* (FA), AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) di Laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung, analisis inklusi fluida juga dilakukan di Laboratorium Pusat Survei Geologi

Bandung sebanyak 2 (dua) sampel urat kuarsa yang dilakukan pengulangan sebanyak 9 kali.

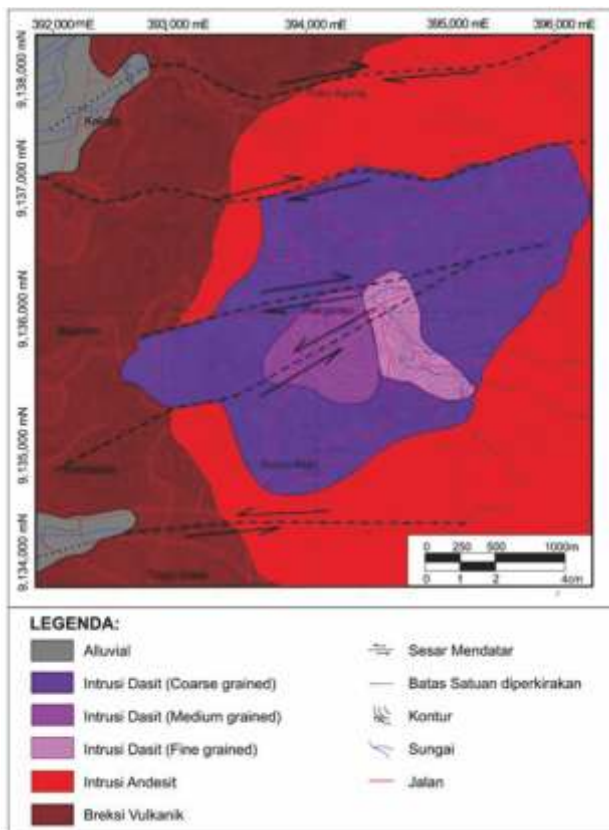
HASIL PENELITIAN

Geologi Lokal

Berdasarkan hasil pemetaan geologi permukaan di daerah penelitian, secara umum terdapat 3 (tiga) satuan batuan dari tua ke muda yaitu breksi vulkanik, intusi andesit dan intrusi dasit, serta endapan aluvial (Gambar 2).

a. Satuan breksi vulkanik, tersusun atas breksi andesit/breksi monomik, secara megaskopis berwarna abu-abu gelap, fragmen batu andesit berukuran kerikil-bongkah, bentuk butir fragmen menyudut, matriks berukuran pasir kasar hingga pasir halus, kemas terbuka, pemilahan buruk, non-karbonatan.

b. Satuan intrusi andesit, secara megaskopis memiliki warna abu-abu kehijauan, granularitas halus (*fine*), terkekarkan cukup intensif akibat struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian, merupakan salah satu *host rock* kegiatan mineralisasi di daerah penelitian.



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian.

c. Satuan intrusi dasit, secara megaskopis memiliki warna abu-abu cerah granularitas halus hingga kasar (*fine to-coarse*). Dalam hal ini, satuan intrusi dasit dibedakan lagi menjadi tiga tipe, yaitu *fine-grained dacite*, *medium-grained dacite* dan *coarse-grained dacite*. Keragaman bentuk butir litologi dasit tersebut terjadi karena kegiatan intrusi yang berulang-ulang dengan tingkat pendinginan yang berbeda-beda. Intrusi dasit merupakan *host rock* pembawa mineralisasi di daerah penelitian, umumnya sebagai *host rock* pada endapan epitermal tipe sulfida menengah (Hedenquist *et al.*, 2000; Sillitoe and Hedenquist, 2003).

Pola struktur yang berkembang di daerah penelitian memiliki pola yang umumnya relatif berarah barat-timur.

Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal merupakan proses ubahan pada batuan sampling (*wall rock*) maupun batuan pembawa (*host rock*) yang diakibatkan oleh pengaruh temperatur dan sifat kimia (pH) larutan hidrotermal. Keduanya dianggap sebagai dua faktor yang paling berpengaruh dalam proses ubahan hidrotermal (Corbett and Leach, 1998). Secara umum, suatu daerah yang

memperlihatkan penyebaran kesamaan himpunan mineral alterasi disebut sebagai zona alterasi (Guilbert and Park, 1986).

Mineral-mineral dalam batuan yang terkena fluida hidrotermal cenderung berubah menjadi mineral baru yang sesuai dengan perubahan kondisi pH dan temperatur. Karakter mineralnya sulit dibedakan dengan mata telanjang, karena umumnya berukuran lempung, sehingga perlu dilakukan analisis XRD maupun petrografis agar dapat membedakan mineral-mineral ubahan tersebut. Hasil analisis megaskopis, petrografi maupun XRD menunjukkan bahwa alterasi hidrotermal yang berkembang di daerah penelitian dibagi menjadi 4 zona tipe alterasi (Gambar 3).

a. Propilitik

Alterasi ini pada umumnya berkembang pada satuan intrusi andesit, dalam hal ini sampel intrusi andesit secara megaskopis menunjukkan gejala alterasi yang cukup kuat dengan ciri warna abu-abu kehijauan, massif, dan terdapat retakan yang intensif, memiliki komposisi mineral ubahan berupa klorit dan epidot. Sebagian besar retakan pada satuan ini terisi oleh kuarsa membentuk urat yang mengandung mineral sulfida pirit (Gambar 4A, 4B). Berdasarkan mineral penciri berupa klorit±epidot, maka mineralisasi ini dibandingkan dengan alterasi tipe propilitik. Berdasarkan tabel zonasi suhu kestabilan mineral alterasi, maka tipe ini terbentuk pada suhu 200-300°C (Reyes, 2000).

b. Argilik

Alterasi ini memiliki intensitas alterasi kuat yang dicirikan oleh kehadiran mineral sekunder berupa mineral lempung sangat intensif, sehingga cukup sulit menentukan batuan asal. Alterasi ini berwarna abu-abu keputih-putihan, sebagian teroksidasi besi berwarna merah, berkembang pada intrusi dasit dan andesit, (Gambar 4C, 4D). Berdasarkan mineral penciri berupa kuarsa±kaolin±monmorilonit, dapat alterasi ini dibandingkan dengan alterasi tipe argilik. Berdasarkan tabel zonasi suhu kestabilan mineral alterasi, maka tipe ini terbentuk suhu 220-300°C (Reyes, 2000).

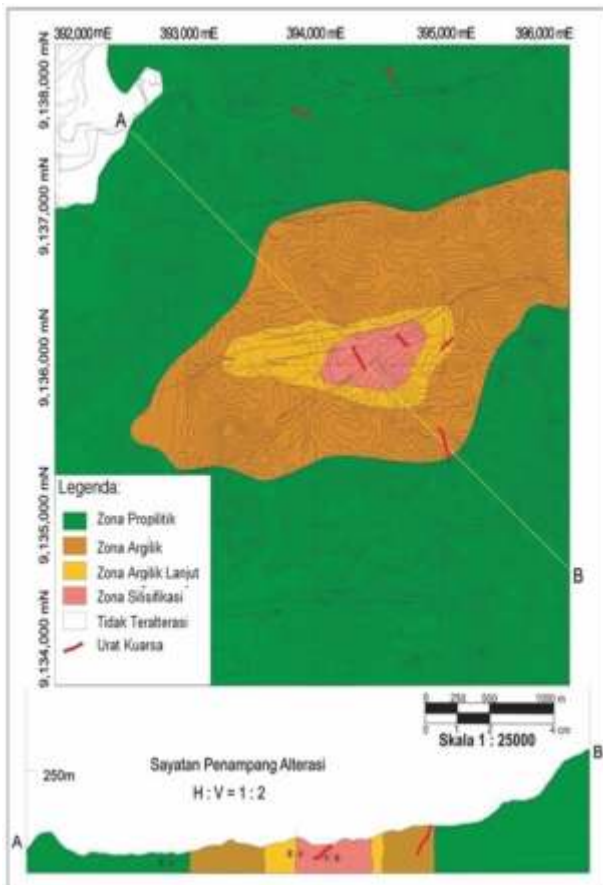
c. Argilik Lanjut

Zona alterasi ini memiliki kenampakan dengan warna abu-abu hingga putih dengan mineral penciri seperti kaolin±jarosit±alunit, serta terdapat kekar yang intensif dan terisi urat kuarsa (Gambar 4E, 4F). Berdasarkan mineral penciri tersebut, maka alterasi ini terbentuk pada kisaran suhu 210-240°C (Reyes, 2000). Alterasi tipe ini banyak tersebar pada endapan epitermal sulfida

tinggi maupun endapan epitermal sulfida menengah (Hedenquist *et al.*, 2000; Sillitoe and Hedenquist, 2003).

d. Silisifikasi

Alterasi ini berkembang pada intrusi dasit, warna abu-abu muda, cukup masif, tersusun atas kuarsa ataupun silika amorf yang hadir menggantikan mineral pada batuan asal (Gambar 4G, 4H). Dijumpai mineral sulfida pirit yang terdiseminasi. Alterasi silisifikasi merupakan alterasi yang paling asam dan paling terpengaruh oleh fluida hidrotermal karena dekat dengan sumber keluarnya fluida hidrotermal (Evans, 1993). Pada temperatur 330-200°C akan terendapkan kuarsa, jika temperatur kembali turun menjadi di bawah 180-200°C maka akan terendapkan kristobalit, dan jika temperatur kembali turun di bawah 140-130°C, maka akan terendapkan silika amorf (Hedenquist *et al.*, 1996). Alterasi tipe ini banyak tersebar pada endapan



Gambar 3. Peta alterasi-mineralisasi dan sebaran urat kuarsa IS (Intermediate Sulphidation).

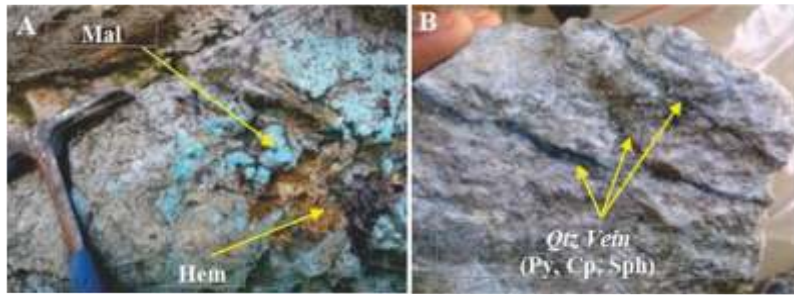


Gambar 4. (A) Singkapan andesit terpropilitisasi, (B) Megaskopis andesit terpropilitisasi dan urat kuarsa. (C) Singkapan alterasi argilik, (D) Megaskopis alterasi argilik (Kao+Mnt) (E) Kenampakan alterasi argilik lanjut (Qtz, Kao dan S), (F) Megaskopis alterasi argilik dengan mineral alterasi (Alu, Jt dan Enr). (G) Singkapan *Silicified rock*. (H) Megaskopis *Silicified rock* dengan *disseminated* sulfida pirit (Py). *Abbreviations:* Qtz=Kuarsa, Ep=Epidot, Chl=Klorit, Kao=Kaolin, Mnt=Montmorilonit, Hem=Hematit, S=Sulfur, Enr=Enargit, Jt=Jarosit, Alu=Alunit, Py=Pirit).

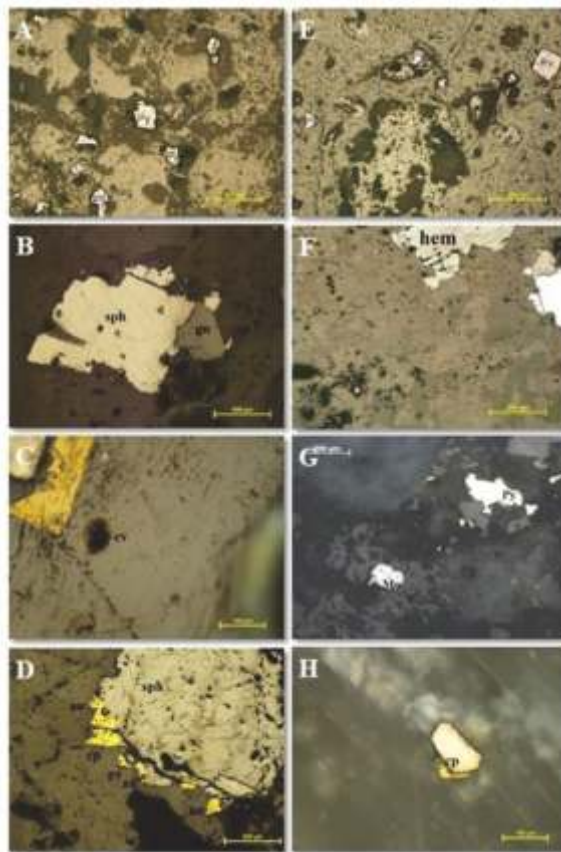
epitermal sulfida tinggi maupun pada endapan epitermal sulfida menengah (Hedenquist *et al.*, 2000; Sillitoe and Hedenquist, 2003).

Mineralisasi

Mineralisasi yang berkembang yaitu mineral sulfida, pirit, kalkopirit, sfalerit, galena, molibdenit, malakit serta kovelit. Mineral tersebut tersebar (*disseminated*) pada batuan samping (*wall rock*) hingga mengisi urat kuarsa yang teramati secara jelas pada megaskopis di



Gambar 5. A.) Singkapan dasit teralterasi yang tersusun oleh malakit dan hematit. B.) Megaskopis *stock work* yang terisi sulfida pirit, kalkopirit dan sfalerit. Abbreviations: Qtz=Kuarsa, Hem=Hematit, Mal=Malakit, Py=Pirit, Cp=Kalkopirit, Sph:Sfalerit).



Gambar 6. A.) Foto mikrograf sebaran magnetit (mag), hematit (hem) dan pirit (Py) pada massa mineral bukan-logam. B.) Foto mikrograf sfalerit (Sph), kalkopirit (Cp), dan galena (Gn) sebagai butiran saling mengikat. C.) Foto mikrograf sebaran kovelit (Cv), merupakan hasil ubahan kalkopirit. D.) Foto mikrograf spalerit (sph), mineral pirit (Py) yang menginklusi kalkopirit (Cp), terdapat inklusi emas (Au) pada mineral kalkopirit (Cp). E.) Foto mikrograf pirit (Py) berikatan dalam massa mineral bukan logam. F.) Foto mikrograf mineral hematit (hem) pada massa mineral bukan-logam. G.) Foto mikrograf kalkopirit (Cp) dan molibdenit (Mo) sebagai butiran tunggal dalam massa mineral bukan-logam. H.) Foto mikrograf kalkopirit (Cp) pada massa mineral bukan logam.

lapangan (Gambar 5), maupun pada analisis mineragrafi. Selain mineral sulfida tersebut, terdapat juga mineral oksida (hematit-magnetit), serta *native gold* (Gambar 6).

a. Pirit (FeS_2), memiliki warna kuning keemasan dengan kilap logam, tidak tembus cahaya atau opak,

belahan tidak jelas, isometrik. Secara mikroskopis pirit berwarna krem pucat hingga kuning, relief tinggi, isotropik, berbutir halus, tersebar dalam massa mineral bukan-logam sebagai mineral tunggal maupun berikatan dengan sulfida lain.

b. Kalkopirit (CuFeS_2), berwarna kuning gelap dengan

kilap logam, tidak tembus cahaya atau opak, belahan tidak ada, pecahan tidak jelas. Secara mikroskopis mineral kalkopirit berwarna kuning, relief rendah, isotropik, berbutir halus sampai sangat halus, dijumpai setempat dan tidak melimpah, serta sebagai inklusi dalam kristal sfalerit.

c. Sfalerit ((Zn,Fe)S), berwarna hitam dengan kilap logam hingga tanah, tidak tembus cahaya atau opak, tidak ada belahan dan pecahan tidak jelas. Secara mikroskopis mineral sfalerit memiliki warna abu-abu, relief sedang, isotropik, dijumpai inklusi kalkopirit dalam massa sfalerit.

d. Galena (PbS), tidak tampak jelas secara megaskopis, hanya ditemukan pada sayatan mineragrafi, berwarna putih, tidak menunjukkan pleokroisme, bentuk euhedral, tidak menunjukkan adanya belahan, menunjukkan kenampakan *triangular pits*, ukuran 1-6 mm, warna interferensi gelap, isotropik.

e. Molibdenit (MoS₂), mineral ini hanya ditemukan pada sayatan mineragrafi, warna abu-abu terang, pleokroik, refleksi ganda, anisotropik kuat, dijumpai sebagai butiran tunggal dalam massa mineral bukan-logam.

f. Malakit (Cu₂CO₃(OH)₂), mineral ini hanya ditemukan secara megaskopis, warna hijau kebiruan dengan kilap tanah, cerat hijau, kondisi rapuh dan belahan tidak jelas.

g. Kovelit (CuS), mineral ini tidak tampak dengan jelas secara megaskopis, hanya ditemukan pada sayatan mineragrafi, berwarna biru gelap, tidak menunjukkan pleokroisme, bentuk anedral, tidak ada belahan, ukuran 0,02 mm, warna interferensi merah, anisotropik kuat (merah-biru), merupakan ubahan dari kalkopirit.

h. Hematit (Fe₂O₃), berwarna agak kemerah-merahan dengan kilap tanah, tidak tembus cahaya atau opak, tidak ada belahan. Secara mikroskopis mineral hematit berwarna abu-abu terang, anisotropik, refleksi ganda lemah, refleksi dalam warna merah, berbutir halus, dijumpai sebagai ubahan pada magnetit maupun sebagai butiran tunggal.

i. Magnetit (Fe₃O₄), mineral ini juga hanya ditemukan pada sayatan mineragrafi, warna abu-abu kecoklatan, relief tinggi, isotropik, dijumpai sebagai mineral tunggal, sebagian berubah menjadi hematit.

j. Emas (Au), pada sayatan poles terlihat berwarna kuning kecoklatan, relief tinggi, isotropik, tidak terdapat bireflektansi, hadir sebagai mineral yang menginklusi ke dalam mineral kalkopirit dan sebagai mineral yang tersebar dalam massa mineral bukan logam.

Tekstur Urat

Tekstur urat atau bijih yang berkembang pada daerah penelitian yaitu; tekstur *massive quartz*, *stock work mineralization* dan *vuggy quartz* (Gambar 7).

a. *Massive Quartz*, tekstur ini memiliki kenampakan yang homogen, urat kuarsa dengan tekstur masif ini memiliki geometri berpola barat daya-timur laut dengan ketebalan ±30 cm, terisi oleh mineral bijih seperti kalkopirit, pirit, galena dan sfalerit yang cukup dominan.

b. *Stock work mineralization*, kenampakan tekstur urat ini memiliki geometri yang mirip seperti jaring laba-laba, tekstur ini disusun oleh beberapa vein halus (*veinlet*), dalam hal ini secara megaskopis terlihat terisi oleh kuarsa maupun mineral-mineral sulfida seperti pirit, kalkopirit, galena, dan sfalerit. Penyebaran tekstur urat berupa *stock work mineralization* ini dapat ditemukan di beberapa tempat terutama pada alterasi argilik maupun propilitik.

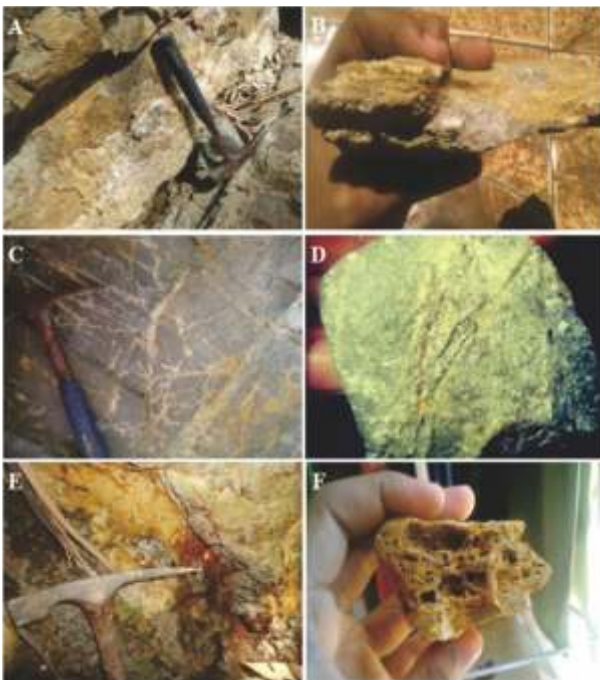
c. *Vuggy Quartz*, kenampakan urat ini memiliki lubang atau berongga, secara geometri memiliki ketebalan ± 5-10 cm dengan pola relatif berarah baratdaya-timurlaut. Pada umumnya urat tipe ini terbentuk dari akibat proses pengisian rongga yang tidak selesai oleh larutan hidrotermal pembawa mineral bijih. Berdasarkan pengamatan megaskopis, analisis mineragrafi pada sayatan poles serta hasil analisis geokimia *AAS-fire assay* pada tekstur urat ini dijumpai mineral sulfida yang melimpah seperti pirit, kalkopirit, galena, sfalerit, molibdenit, kovelit maupun logam mulia seperti emas (Au). Kehadiran urat dengan tekstur *vuggy quartz* merupakan karakteristik endapan epitermal sulfida menengah-tinggi (Hedenquist *et al.*, 2000; Sillitoe and Hedenquist, 2003).

Geokimia Bijih

Dari hasil AAS (*atomic absorption spectroscopy*) metode *fire-assay* kelima sampel urat kuarsa pada laboratorium Pusat Survei Geologi Bandung. Kelima sampel urat tersebut menunjukkan adanya kandungan logam dasar (*base metal*) yang cukup bervariasi, yaitu 30-1710 ppm Cu (tembaga), 19-269 ppm Pb (galena), 32-7609 ppm Zn (seng). Selain kandungan unsur logam dasar tersebut, pada kelima sampel urat kuarsa tersebut menunjukkan kehadiran logam mulia seperti emas dan perak yang cukup nyata, dalam hal ini yaitu sekitar 2,4-10 ppm Ag dan 0,05-3,8 ppm Au. Kadar emas (Au) dan perak (Ag) yang tertinggi terlihat pada sampel 3, yaitu 3,8 g/t Au dan 10 g/t Ag (Tabel 1). Kehadiran logam dasar (*base metal*) bersama dengan logam mulia emas

(Au) maupun perak (Ag) pada tipe endapan epitermal seperti ini merupakan karakter yang mencirikan endapan epitermal sulfida menengah (Hedenquist *et al.*, 2000; Sillitoe and Hedenquist, 2003).

Hasil analisis yang dilakukan dengan Diagram Harker, dengan cara membandingkan kadar unsur Au dengan empat unsur logam lainnya seperti Au terhadap Ag, Au terhadap Pb, Au terhadap Zn serta Au terhadap Cu. Hasil persamaan diagram tersebut memperlihatkan pola hubungan kehadiran Au terhadap Ag, maupun Au terhadap Pb, cenderung saling berhubungan atau relatif berasosiasi satu sama lain. Kadar Au akan cenderung memiliki pola atau tren meningkat seiring atau paralel dengan peningkatan nilai kadar pada unsur Pb atau Ag, maupun sebaliknya pola unsur Pb, Ag terhadap Au. Pada persamaan dari diagram harker terhadap pola sebaran atau kehadiran Au terhadap Zn maupun Au terhadap Cu memperlihatkan pola yang tidak saling berhubungan atau relatif bertolak belakang. Nilai kadar Zn dan Cu memperlihatkan pola meningkat apabila nilai kadar Au cenderung menurun atau sebaliknya ketika kadar Au meningkat maka kadar Cu dan Zn cenderung menurun (Gambar 7).



Gambar 7. A) Singkapan *massive quartz* (tebal ± 30 cm), orientasi timur-baratdaya, B) Megaskopis *massive quartz* terisi sulfida pirit dan kalkopirit. C) Singkapan *Stock work mineralization* yang terisi mineral sulfida dan native sulphur, D) *Veinlet* yang terisi mineral pirit dan kalkopirit E) Singkapan urat dengan tekstur *vuggy quartz*, F) Megaskopis sampel urat bertekstur *vuggy quartz*.

Tabel-1. Hasil analisis geokima bijih metode AAS-fire assay pada 5 (lima) sampel urat dari daerah penelitian

No	Kode Sampel	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppb
1	sampel 1	1710	19	42	2.8	41
2	sampel 2	38	105	736	2.4	5
3	sampel 3	30	269	266	10	3842
4	sampel 4	48	82	32	4.8	29
5	sampel 5	101	253	7609	3,7	42

Inklusi Fluida

Dari hasil analisis terhadap 2 (dua) sampel (STV 2.1 dan STV 2.2), menunjukkan bahwa temperatur homogenisasi (Th) sampel STV 2.1 dengan kelimpahan rata-rata adalah $293,4^{\circ}\text{C}$, temperatur pelelehan (Tm) $-5,2^{\circ}\text{C}$ serta salinitas rata-rata adalah 10,58 wt% NaCl ekuivalen. Pada Sampel STV 2.2, temperatur homogenisasi (Th) rata-rata $289,21^{\circ}\text{C}$, temperatur pelelehan (Tm) $-6,3^{\circ}\text{C}$, dengan salinitas rata-rata 12,89 wt % NaCl ekuivalen (nilai salinitas dihitung dari nilai Tm dan Th dengan menggunakan *software* BULK versi 01/03 (Bakker, 2003; Tabel 2).

Pada hasil foto mikrografi kedua sampel inklusi fluida tersebut (STV 2.1 dan STV 2.2) memperlihatkan bentuk kristal yang cukup jelas, dengan batas-batas kristal yang juga jelas, sehingga dapat diukur dengan baik juga, namun memiliki ukuran kristal yang beragam mulai dari yang berukuran kecil ($3-23\ \mu\text{m}$) hingga ukuran yang relatif besar ($5-40\ \mu\text{m}$), terdapat fluida yang terperangkap, baik berupa satu fase *liquid* (L) atau *vapour* (V), serta dua fase (L+V). Dalam hal ini juga pada sayatan dijumpai inklusi gas karbondioksida (CO_2), tetapi dalam jumlah yang minor (Gambar 8 & Gambar 9).

Hasil pengukuran dan perhitungan data inklusi fluida tersebut, menunjukkan perbandingan antara nilai temperatur homogenisasi (Th), temperatur pelelehan (Tm) serta salinitas dari kedua sampel urat tersebut. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa sampel urat STV 2.2 merupakan urat generasi pertama memiliki nilai temperatur homogenisasi (Th), temperatur pelelehan (Tm) serta salinitas yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan urat sampel STV 2.1. Dengan demikian urat sampel STV 2.1 dapat juga disebut sebagai urat generasi ke-2 karena memiliki nilai temperatur homogenisasi (Th), Suhu pelelehan (Tm) serta salinitas yang relatif lebih rendah dibanding urat kuarsa pada STV 2.2. seperti yang terlihat pada Gambar 10.

Tabel 2. Hasil analisis inklusi fluida 2 (dua) sampel urat kuarsa, dengan pengulangan sebanyak 9 kali (Th: temperatur homogenesis, Tm: temperatur pelelehan)

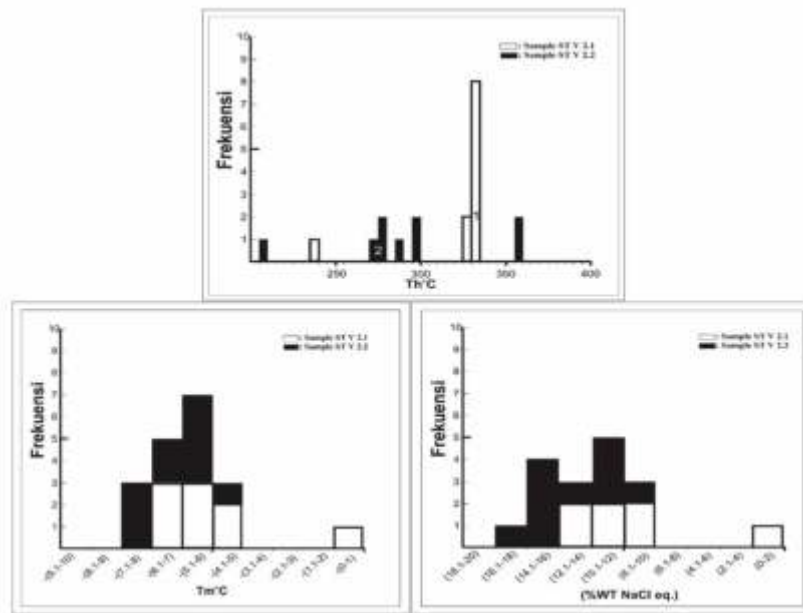
No	Kode Sampel	Hasil Pengukuran		
		Tm °C	Th °C	Salinitas (%Wt.NaCl) Ekuiv.
1	STV 2.1	-1	207,9	1,784
2	STV 2.1	-6,2	270,8	12,698
3	STV 2.1	-4,4	276,5	8,624
4	STV 2.1	-5	277,3	9,945
5	STV 2.1	-6,6	285,5	13,649
6	STV 2.1	-6	295,3	12,229
7	STV 2.1	-7	299,0	14,617
8	STV 2.1	-5,5	364,3	11,075
9	STV 2.1	-5,3	364,4	10,620
10	STV 2.2	-6,8	330,0	14,131
11	STV 2.2	-6,0	331,9	12,299
12	STV 2.2	-5,8	330,2	11,764
13	STV 2.2	-5,5	239,2	11,075
14	STV 2.2	-5,2	329,8	10,394
15	STV 2.2	-5	331,9	9,945
16	STV 2.2	-7,7	332,3	16,352
17	STV 2.2	-7,4	332,2	15,602
18	STV 2.2	-7,1	334,6	14,861



Gambar 8. Fotomikrograf sampel STV 2.1, A.) Kenampakan dua fase (L+V), B.) Kenampakan saat Th (*temperature of homogenization*), dan C.) Kenampakan fluida saat menuju Tf (*temperature of frezzing*) dan terdapat gelembung CO₂.



Gambar 9. Foto mikrograf sampel urat kuarsa STV 2.2, dalam hal ini A.) Memperlihatkan *necking down*, B.) Kenampakan dua fase (L+V), dan C.) Kenampakan saat kondisi Th (*temperature of homogenization*).



Gambar 10. Hubungan nilai (Th) rata-rata dari kedua sampel urat (a), Hubungan nilai (Tm) rata-rata dari kedua sampel urat (b), dan hubungan nilai salinitas rata-rata dari kedua sampel urat (c).

DISKUSI

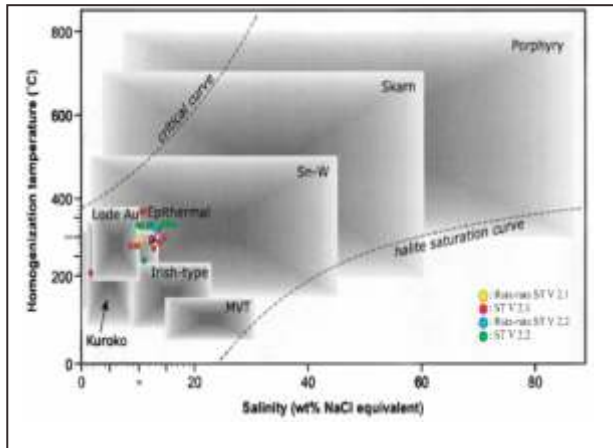
Berdasarkan asosiasi litologi terhadap keberadaan endapan mineral di daerah penelitian, Intrusi Dasit merupakan *host rock* yang membawa mineralisasi, serta umumnya berkembang pada endapan epitermal sulfida menengah (Hedenquist *et al.*, 2000; Sillitoe and Hedenquist, 2003). Alterasi hidrotermal tipe alterasi argilik lanjut dan silisifikasi di daerah penelitian secara khusus merupakan penciri endapan epitermal sulfida tinggi maupun endapan epitermal sulfida menengah (Hedenquist *et al.*, 2000; Sillitoe and Hedenquist, 2003). Kehadiran logam emas (Au) yang berasosiasi dengan kemunculan mineral sulfida golongan logam dasar (*base metal*) pada daerah penelitian seperti kalkopirit, kovelit, galena, serta zing merupakan salah satu bukti atau penciri dari endapan epitermal sulfida menengah.

Karakter tekstur urat kuarsa yang terdapat di lokasi penelitian seperti *stock work mineralization* dan *massive*. Pada umumnya tekstur tersebut dapat hadir di endapan epitermal tipe sulfidasi rendah, menengah maupun tinggi (Hedenquist *et al.*, 1996), namun khusus tekstur urat *vuggy quartz* hanya dapat hadir pada tipe sulfidasi menengah-tinggi (Corbett and Leach, 1998); (Hedenquist *et al.*, 2000; Sillitoe and Hedenquist, 2003). Sebagian besar tekstur ini terisi oleh mineral sulfida pirit maupun kalkopirit yang sangat intensif serta *native sulphur* yang cukup dominan.

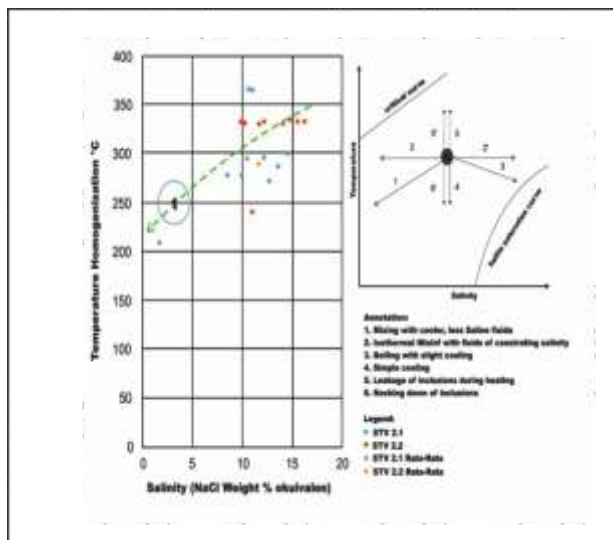
Orientasi urat-urat yang berkembang di daerah penelitian ini relatif berarah timur-baratdaya, dengan ketebalan yang bervariasi 5-40 cm, dimana pola urat-urat tersebut kemungkinan besar dikontrol oleh struktur patahan geser. Secara perbandingan unsur hasil geokimia yang telah dilakukan, memperlihatkan kehadiran yang konsisten terhadap unsur Au dengan kehadiran unsur Ag dan unsur Pb, dan sebaliknya tidak konsisten terhadap unsur Zn dan unsur Cu, sehingga unsur Ag dan Au dapat dijadikan *path finder* dalam pencarian potensi emas (Au) yang terdapat di lokasi penelitian.

Berdasarkan studi inklusi fluida yang telah dilakukan, serta hasil korelasi hubungan nilai Th (*temperature homogenization*) dengan salinitas untuk penentuan tipe endapan mineral (Wilkinson, 2001), dapat diinterpretasikan bahwa secara umum termasuk ke dalam tipe endapan epitermal (Gambar 11). Diagram evolusi fluida dari hasil perbandingan nilai Th (*temperature homogenization*) dan salinitas (Hepherd *et al.*, 1985), memperlihatkan bahwa evolusi fluida pada penelitian yaitu fase *mixing with cooler, less saline fluids*. Sumber fluida tersebut diperkirakan dari air magmatik karena tingkat salinitasnya relatif tinggi ± 16 wt% NaCl ekuivalen, kemudian secara berangsur mengalami pencampuran dengan air meteorik yang di tunjukkan dengan menurunnya nilai salinitas menjadi ± 8 wt% NaCl ekuivalen (Gambar 12).

Berdasarkan hasil integrasi data secara komperensif, baik berupa studi lapangan maupun hasil analisis laboratorium, dapat disimpulkan beberapa karakter penting dari endapan daerah hidrotermal yang ada di daerah penelitian (Tabel 3), dalam hal ini karakter tersebut dapat di interpretasikan sebagai karakteristik endapan mineral tipe epitermal sulfida menengah (*Epithermal Intermediate Sulphidation*).



Gambar 11. Diagram tipe endapan mineral dari hasil *ploting* data Th (temperatur homogenesis) dan salinitas dari sampel urat STV 2.1 dan STV 2.2 (modifikasi Wilkinson, 2001).



Gambar 12. Hubungan antara temperatur homogenisasi (T_h °C) dan salinitas dari dua sampel urat STV 2.1 dan STV 2.2, dengan pola evolusi fluida *fase mixing with cooler, less saline fluids*, sumber fluida tersebut diperkirakan dari air magmatik karena tingkat salinitasnya relatif tinggi ±16 wt.%NaCl ekuivalen, kemudian secara berangsur mengalami pencampuran dengan air meteorik yang di tunjukkan dengan menurunnya nilai salinitas menjadi ±8 wt%NaCl ekuivalen (modifikasi dari Shepherd *et al.*, 1985).

Tabel 3. Karakteristik tipe epitermal sulfida menengah di lokasi penelitian (*epithermal intermediate sulphidation*)

Karakteristik	Epitermal Sulfida Menengah
Tatanan Tektonik	Magmatic arc (Oligo-Miosen)
Hostrock	Dasit (<i>Old Andesite Formation</i>)
Alterasi	Propilitik, argilik, argilik lanjut dan silisifikasi
Mineralisasi	Pirit, kalkopirit, hematit, sfalerit, galena, molibdenit, magnetit malakit, kovelit maupun <i>native gold</i> .
Geokimia bijih	Cu, Pb, Zn, Ag, Au dan Mo
Tekstur urat	<i>Massive quartz, vuggy silica dan stock work mineralization</i>
Suhu	suhu rata-rata ±293, 4-322,4°C
Salinitas	nilai salinitas rata-rata ±10,58-12,89 wt,%NaCl ekuivalen

KESIMPULAN

Tipe endapan mineral bijih yang ada di daerah penelitian merupakan endapan epitermal sulfida menengah (*epithermal intermediate sulfidation*) dengan *host rock* berupa batuan beku dasit-andesit. Terdapat 4 tipe alterasi yaitu propilitik, argilik lanjut, argilik dan silisifikasi. Tekstur urat yang berkembang yaitu *vuggy silica, massive vein, stock work mineralization* yang terisi oleh mineral-mineral sulfida seperti pirit, kalkopirit, sfalerit, galena, malakit, enargit, dan molibdenit,. Mineral tersebut sebagai pembawa unsur logam seperti Cu, Pb, Zn, Ag, Au dan Mo. Selain hadir dalam bentuk urat, mineralisasi bijih juga tersebar (*disseminated*) dalam tubuh batuan samping (*wall rock*). Suhu pembentukan endapan ini yaitu ±293-322° C dengan salinitas 10,58 wt% NaCl ekuivalen hingga 12,89 wt% NaCl ekuivalen. Evolusi fluida endapan

secara umum berada pada fase *mixing with cooler, less saline fluids*. Sumber fluida tersebut merupakan campuran air magmatik dan meteorik, dalam hal ini ditunjukkan dengan menurunnya nilai salinitas.

Daerah penelitian memiliki potensi yang cukup baik untuk dikembangkan, sehingga disarankan agar melakukan eksplorasi yang lebih detail, dengan melakukan studi geofisika dan pengeboran dalam pada titik-titik tertentu untuk mengetahui keadaan geologi secara vertikal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih buat Dr. Arifudin Idrus (Teknik Geologi UGM) atas saran dan diskusinya tentang kondisi geologi daerah penelitian.

KONTRIBUTOR TULISAN

Fadlin dan Isnu Hajar Sulistyawan masing-masing adalah kontributor utama karya tulis ilmiah ini, sedangkan Luthfi Adi Prasetyo sebagai kontributor anggota.

ACUAN

- Anshori, C., Hastria, D., 2013. Studi Alterasi Mineralisasi Di Sekitar Gunung Agung, Kabupaten Kulonprogo-Purworejo. *Buletin Sumberdaya Geologi* 8: 75-86.
- Atmadja, S., Maury, R.C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M., Priadi, B., 1991. The Tertiary Magmatic Belts in Java. *Proc Symp. On Dynamics of Subduction and its products. The silver Jubilee Indom. Inst. Of Sci (LIPI)* 98-121
- Bakker, R.J., 2003. Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. *Chemical Geology* 194: 3-23.
- Bemmelen, R.W. van, 1949. *The Geology of Indonesia*. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes, First. ed. Government Printing Office, Hague.
- Corbett, G.J., Leach, T.M., 1998. *SW Pasific Rim Gold and Cooper System (Structure, Alteration, and Mineralization)*. CMS New Zealand Ltd, Auckland.
- Evans, A.M., 1993. *Ore Geology and Industrial Minerals, 3rd ed.* Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Guilbert, G.M., Park, C.F., 1986. *The Geology of Ore Deposits*. W.H. Freeman and Company., New York.
- Hamilton, W., 1979. *Tectonic of the Indonesian Regions*. US Geological Survey Proffesion, 18-42.
- Hedenquist, J.W., Izawa, E., Arribas, A., White, N.C., 1996. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristic, and Exploration. *Society of Economic Geologists* 1: 165-182.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A., Gonzalez, U.E., 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits. *Rev. Economic Geology* 13: 245-278.
- Hepherd, T.J., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985. *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*. Blackie and Sons, Glasgow.
- Idrus, A., Warmada, I., Putri, R.I., 2013. Mineralisasi Emas Di Gunung Gupit Jawa Tengah: Sebuah Penemuan Baru Prospek Emas Tipe Epitermal Sulfida Tinggi Pada Rangkaian Pegunungan Kulonprogo. *Proceeding Annual Engineering Seminar 2013. Towards Sustainable Engineering*. p. D.1-7.
- Irjon, R., 2018. Komposisi Kimia Pasir Pantai di Selatan Kulon Progo dan Implikasi terhadap Provenance. *Jurnal Geol. dan Sumberdaya Mineral*. V19(1), 31-45.
- Katili, J.A., 1975. Volcanism and plate tectonic in Indonesian Island Arc. *Tectonophysics* 26: 165-188.
- Reyes, A.G., 2000. *Petrology and Mineral Alteration in Hydrothermal Systems: From Diagenesis to Volcanic Catastrophes*. Institute of Geological and Nuclear Sciences, New Zealand.
- Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W., 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore fluid composition, and epithermal precious metal deposits. *Society of Economic Geologists* 10: 315-343.

- Sopaheluwakan, J., 1976. Critiques and a new perspective on basement tectonic studies in Indonesia? a review of current results and their significance in geological exploration. *Proceedings of the 30th Anniversary Symposium, Research and Development Centre for Geotechnology. Research and development Centre for Geotechnology*, pp. 163-175.
- Sribudiyani, Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetyo, I., Sapiie, B., Asikin, S., Harsolumaksono, A.H., Yulianto, I., 2003. The Collision of The East Java Microplate and Its Implication For Hydrocarbon Occurrences in the East Java Basin. *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, pp. 1-12.
- Sujanto, F.X., Roskamil, 1975. The Geology and Hydrocarbon Aspects of the South Central Jawa. *4th Annual Convention of the Indonesian Petroleum Association 1974*, Bandung.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits. *Lithos* 55: 229-272
-