

Himpunan Mineral dan Geokimia Breksi Hidrotermal Endapan
Epitermal Sulfidasi Tinggi Au-Ag, Pit A dan Pit C, Tumpang Pitu,
Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia.

Thesis



Oleh :

Dedy Indrawan Daulay

211.212.002

**PROGRAM STUDI PASCA SARJANA TEKNIK GEOLOGI
JURUSAN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2023**

Himpunan Mineral dan Geokimia Breksi Hidrotermal Endapan
Epitermal Sulfidasi Tinggi Au-Ag, Pit A dan Pit C, Tumpang
Pitu, Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia.

TESIS

Oleh :

Dedy Indrawan Daulay

211.212.002

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Magister Teknik Geologi

Yogyakarta, 11 Desember 2023

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Agus Harjanto, S.T., M.T.
NIP : 19690824202121 1 005

Dr. Ir. Sutarto, M.T.
NIP: 19650301199103 1 001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi

Dr. Agus Harjanto, S.T., M.T.
NIP : 19690824202121 1 005

Himpunan Mineral dan Geokimia Breksi Hidrotermal Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi Au-Ag, Pit A dan Pit C, Tumpang Pitu, Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia.

Dedy Indrawan Daulay

211.212.002

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji Pada Tanggal 11 Desember 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Susunan Dewan Penguji

Dosen Pembimbing I

Dr. Agus Harjanto, S.T., M.T.
NIP : 19690824202121 1 005

Dosen Penguji I

Dr. Ir. Joko Soesilo, M.T.
NIP : 19620518 198603 1 001

Dekan

Dr. Ir. Sutarto, M.T.
NIP: 19650301 199103 1 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Sutarto, M.T.
NIP: 19650301199103 1 001

Dosen Penguji II

Dr. Ir. Sapto Kis Daryonono, M.T.
NIP : 19630624 199003 1 002

Koordinator Program Studi

Dr. Agus Harjanto, S.T., M.T.
NIP : 19690824 202121 1 005

Mengetahui,

KATA PENGANTAR

Pertama penulis panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas begitu banyak karunia melalui rezeki, kesehatan dan kesempatan untuk dapat menyelesaikan tesis dengan judul "Himpunan Mineral dan Geokimia Breksi Hidrotermal Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi Au-Ag, Pit A dan Pit C, Tumpang Pitu, Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia.". Kegiatan tesis ini disusun sebagai bentuk tanggung jawab penulis untuk melakukan dan membandingkan teori yang didapatkan selama perkuliahan terhadap studi kasus yang ditemukan secara langsung di lapangan yang kemudian diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar pendidikan Magister Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.

Ucapan terima kasih dan apresiasi kepada berbagai pihak yang telah mendukung segala proses penyusunan tesis ini, antara lain:

1. Bapak Dr. Agus Harjanto, S.T., M.T selaku Koordinator Program Studi Magister Teknik Geologi atas segala kebijakan yang mendukung kelancaran selama proses studi ini.
2. Bapak Dr. Agus Harjanto, S.T., M.T. selaku pembimbing I dan Dr. Ir. Sutarto, M.T. selaku pembimbing II yang telah berkenan meluangkan waktu dengan ikhlas dan selalu memberikan motivasi, arahan, bimbingan dan menyempurnakan proses pembuatan tesis ini hingga dapat selesai.
3. Bapak Dr. Ir. Joko Soesilo M.T. selaku pembahas I dan Dr. Ir. Sapto Kis Daryono, M.T. selaku pembahas II yang telah berkenan meluangkan waktu dengan ikhlas dan memberikan masukan dan bimbingan untuk menyempurnakan proses pembuatan tesis ini hingga dapat selesai.
4. tak lupa orang tua (almarhum Dafary Daulay) dan Ibu saya yang selalu mendoakan saya dimana pun berada, dan juga keluarga kecil saya istri (Cut Anggi Dwi Geubrina) dan 3 anak saya selalu memberi support dan mendoakan saya, terima kasih untuk semuanya.

Penulis menyadari dalam penyusunan tesis ini masih jauh dari sempurna karena berbagai keterbatasan dalam mengalokasikan segala daya. Penulis berharap tesis ini dapat menginspirasi semua pihak khususnya bagi pengembangan ilmu pengetahuan geologi. Yogyakarta, 11 Desember 2023 Penulis Dedy Indrawan Daulay 211.212.002

Yogyakarta 11 Desember 2023

Penulis

Dedy Indrawan Daulay

211.212.002

ABSTRAK

Daerah penelitian secara administrasi berada di Pit Site Tumpang Pitu, Desa Sumberagung, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur yang termasuk dalam koordinat sistem Universal Transfer Mercator (UTM) WGS 84 zona 50S. Latar belakang penelitian yaitu Breksi Hidrotermal merupakan pembawa mineralisasi dan pembawa mineral bernilai ekonomis.

Adapun tujuan penelitian ini untuk mengetahui peranan Breksi Hidrotermal terhadap mineralisasi di daerah tersebut berdasarkan data lapangan dan hasil analisis yang dilakukan. Metode penelitian menggunakan data Analisa *Fire Assay dan Aqua Regia*, ICP – OES & MS, XRF, XRD.

Dari hasil analisa *Fire Assay dan Aqua Regia* pada Breksi Hidrothermal daerah penelitian didapatkan bahwa metode *Fire Assay* rata - rata kandungan Au lebih tinggi dari pada menggunakan metode *Aqua Regia* untuk Analisa kandungan Au pada Breksi Hidrothermal. Untuk Analisa ICP – OES & MS juga didapatkan kandungan Ag dan Cu pada Pit A lebih tinggi dari pada Pit C. Selain itu berdasarkan plot kandungan Cu terhadap S - Ba dalam diagram *Copper Sulphide Minerals* didapatkan mineral covellite, chalcopyrite, dan cubanite pada daerah penelitian. Pada Analisa XRD juga terdapat kandungan Quartz High 48.4–60.4% serta iron oxide chloride 0.2-0.4% pada batuan Breksi Hidrothermal daerah penelitian.

Tipe Breksi Hidrothermal pada daerah penelitian termasuk ke dalam breksi injeksi magmatik dan juga penyebaran kandungan mineral Au di Pit A dan di Pit C mengikuti pola arah umum Breksi Hidrothermal yang relative ke arah Utara dan Selatan dan timur laut – Barat daya.

Kata Kunci :Breksi Hidrothermal, XRF, XRD, *Fire Assay*, ICP- EOS & MS.

Daftar Isi

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGSAHAN	ii
KATA PENGATAR	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.5 Asumsi	4
1.6 Hipotesis	4
1.7 Lokasi Penelitian.....	4
1.8 Hasil yang Diharapkan.....	6
1.9 Manfaat Penelitian	6
BAB 2 METODOLOGI PENELITIAN	7
2.1 Akuisisi Data.....	8
2.1.1 Studi Pustaka.....	8
2.2. Metode Pengambilan Sampling Geologi	9
2.2.1 <i>Grab Sample</i>	9
2.2.2 <i>Channel Sample</i>	9
2.3 Analisis Data.....	9
2.3.1 <i>Fire Assay</i>	9
2.3.1.1 Persiapan Sampel.....	9
2.3.1.2 <i>Fusion</i> (Peleburan).....	10
2.3.1.3 <i>Cupelation</i> (Pemisahan Pb).....	10
2.3.1.4 <i>Digestion</i> (Pelarutan)	11
2.3.2 <i>Aqua Regia</i>	11

2.3.3 Analisa XRF (<i>X-ray Fluorescence</i>)	11
2.3.4 Analisa XRD (X-Ray Diffraction).....	12
2.3.4.1 Penerapan Metode XRD	13
2.3.5 Analisa <i>Inductively Coupled Plasma</i> (ICP)	14
2.3.5.1 Analisa ICP-AES / ICP-OES	14
2.3.5.2 Analisa ICP-MS	15
BAB 3 DASAR TEORI	17
3.1 Fluida Hidrothermal.....	17
3.2 Endapan Hidrothermal	17
3.3 Alterasi Hidrothermal	18
3.4 Sistem Tipe Endapan Porfiri.....	21
3.5 Sistem Tipe Endapan Epitermal.....	24
3.6 Breksi Hidrothermal.....	26
3.6.1 <i>Magmatic Hydrothermal Breccias</i>	27
3.6.2 <i>Phreatomagmatic Breccias</i>	29
3.6.3 <i>Phreatic Breccias</i>	30
3.6.4 <i>Magmatic Hydrothermal Injection Breccias</i>	32
3.6.5 <i>Hydrothermal Collapse Breccias</i>	32
3.6.6 <i>Dilational Breccias</i>	32
3.6.7 <i>Dissolutionl Breccias</i>	32
3.7 Identifikasi Mineral Pada Batuan.....	33
3.7.1 Berdasarkan Sifat Fisik Mineral	33
3.7.2 Berdasarkan Sifat Kimia Mineral	33
3.7.3 Berdasarkan Sifat Optik Mineral	34
3.8 Tabel Periodik.....	34
3.8.1 Golongan.....	34
3.8.2 Periode	36
3.8.3 Blok f (Lantanida dan Aktinida).....	36
3.8.4 Jenis – Jenis Unsur Pada Tabel Periodik	36
3.8.4.1 Unsur Logam	37
3.8.4.1.1 Logam Utama.....	37

3.8.4.1.2 Logam Transisi	37
3.8.4.1.3 Logam Post Transisi	37
3.8.4.1.4 Deret Lantanida dan Aktinida.....	37
3.8.4.2 Unsur Semi Logam	37
3.8.4.3 Unsur Non Logam.....	38
BAB 4 GEOLOGI REGIONAL	39
4.1 Geologi Regional	39
4.2 Fisiografi Regional.....	40
4.3 Stratigrafi Regional.....	40
4.4 Tektonik dan Struktur Regional.....	42
BAB 5 GEOLOGI DAERAH PENELITIAN.....	46
5.1 Geologi Daerah Penelitian	46
5.2 Alterasi dan Hidrothermal daerah Penelitian.....	46
5.3 Penyebaran Satuan Breksi Hidrothermal	50
5.4 Kontrol Struktur Geologi Terhadap Mineralisasi	53
5.5 Himpunan Mineral dan Geokimia Breksi Hidrothermal Pit A dan Pit C.....	58
5.6 Analisa Geokimia.....	58
5.7 Analisa <i>Fire Assay</i> dan <i>Aqua Regia</i>	60
5.8 Analisa ICP – OES & MS.....	61
5.9 Analisa XRF (<i>X-ray Fluorescence</i>)	68
5.10 Analisa XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	72
BAB 6 KESIMPULAN	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77

Daftar Gambar

Gambar 1.1 Lokasi Penelitian di Tumpang Pitu, Provinsi Jawa Timur, Indonesia.....	5
Gambar 1.2 Busur Magmatik Sunda Bagian Timur dengan Tiga Kelas Dunia-Porfiri Cu Au Endapan yang Ditemukan di Sepanjang Sabuk, Menjadikannya Salah Satu Yang Terbesar Di Dunia pada Sabuk Magmatik Yang Aktif dan Prospektif. (Maryono, dkk. 2014).....	5
Gambar 2.1 Bagan Alir Metodologi Penelitian	7
Gambar 2.2 Peralatan <i>Fire Assay</i>	10
Gambar 2.3 Alat Analisa XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	13
Gambar 2.4 Analisa ICP-OES & MS multi element (Intertek)	16
Gambar 3.1 Pembagian Endapan Hidrotermal (Corbett & Leach, 1997, dalam Sutarto, 2010).....	18
Gambar 3.2 Himpunan Mineral Alterasi Berdasarkan pH dan Temperatur Pembentukannya (Digambar ulang dari Corbett & Leach, 1966)	21
Gambar 3.3 Model Konseptual Endapan Hidrothermal Sulfidasi Tinggi dan Sulfidasi Rendah serta Hubungan dengan Endapan Hidrothermal Porfiri (Corbett & Leach, 2018).....	24
Gambar 3.4 Skema Aliran Fluida Hidrothermal dalam Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah dan Sulfidasi Tinggi (Digambar Ulang dari White & Hedenquist, 1996).....	25
Gambar 3.5 Model endapan porfiri dan epitermal (Hedenquist., dkk, 1996).....	26
Gambar 3.6 Pembagian Breksi Secara Genetik (Corbett and Leach, 1998).....	27
Gambar 3.7 <i>Model Magmatic Hydrothermal Breccias</i>	28
Gambar 3.8 <i>Model Phreatomagmatic breccia</i> (Corbett and leach, 1997).....	30
Gambar 3.9 <i>Model Phreatic Breccias</i> (Corbett and Leach, 1998)	31
Gambar 3.10 Tabel Periodik Element Menurut Todd Hemenstine (2015).....	36
Gambar 4.1 Foto UAV Tumpang Pitu (BSI, 2023)	39
Gambar 4.2 Stratigrafi Regional Lembar Blambangan Jawa Timur (Digambar Ulang dari Achdan & Bahri 1993).....	42
Gambar 4.3 Regional Geologi : Hubungan Antara yang Lebih Tua, Umur Miosen, Pusat-Pusat Vulkanik yang Tererosi (cincin biru) yang Menampung	

Mineralisasi di Trenggalek (Sistem Epitermal Sulfidasi Rendah), Tumpang Pitu (Sistem Epitermal dan Porfiri Sulfidasi Tinggi), Selodong (Sistem Epitermal dan Porfiri), dan Batu Hijau (Sistem Porfiri), Relatif Lebih Muda, Busur Vulkanik Kuartar ke Utara Yang Secara Kolektif Membentuk Busur Sunda-Banda yang Berarah Timur-Barat Saat Ini. (Interpid, 2012).	44
Gambar 4.4 Lokasi Proyek Tumpang Pitu.....	44
Gambar 5.1 Model Endapan Eksplorasi Skala Distrik Konseptual Dalam Tampilan Bagian Menunjukkan Endapan Emas-Tembaga Porfiri Dengan Epitermal, Skarn, dan Endapan Sediment-Hosted. (Maryono, 2014)	47
Gambar 5.2 Model Endapan Eksplorasi Skala Distrik Konseptual Dalam Tampilan Rencana Menunjukkan Endapan Emas-Tembaga Porfiri Dengan Endapan Epitermal dan Tubuh Breksi Diatreme. (Maryono, 2014).....	48
Gambar 5.3 Rencana Permukaan Geologi Tumpang Pitu Menunjukkan Lokasi Pengambilan Sampel Lubang Bor Permukaan Dangkal Dengan Hasil Analisis Zirkon U-Pb (Harrison, et al., 2018).....	49
Gambar 5.4 Lokasi Pengambilan Sampel dan Hasil Analisis Zirkon U-Pb Pada Bagian Tipe 11060 mN di Tumpang Pitu. (Harrison, et al., 2018).....	50
Gambar 5.5 Breksi Hidrothermal Pit A dengan Tekstur Jigsaw.....	51
Gambar 5.6 Penampakan sayatan tipis Breksi Hidrothermal menurut Rigenaji (2021).....	52
Gambar 5.7 Breksi Hidrothermal Pit C.....	52
Gambar 5.8 Penampang Geology Tujuh Bukit menurut hafidz dkk (2020).....	54
Gambar 5.9 Penyebaran Alterasi dan Struktur Geologi Pit A	55
Gambar 5.10 Penyebaran Alterasi dan Struktur Geologi Pit C	56
Gambar 5.11 Penyebaran Grade Au Berdasarkan <i>Model Grade Control</i> pada Pit A.....	56
Gambar 5.12 Penyebaran Grade Au Berdasarkan <i>Model Grade Control</i> pada Pit C.....	56
Gambar 5.13 Lintasan Pengambilan Sample Pit A.....	57
Gambar 5.14 Lintasan Pengambilan Sample Pit C.....	57
Gambar 5.15 Plotting Kandungan Cu Terhadap S - Ba Dalam Diagram <i>Copper Sulphide Minerals</i>	65

Gambar 5.16 Pembentukan Mineral – Mineral Hasil Pesipitasi Air Bawah Permukaan Yang Membentuk Mineral Kaya Cu di Bawah Zona Pencucian (Pernicka & Weisgerber 2001 Dalam Ottaway, 2001)	66
Gambar 5.17 Diagram Perubahan Relatif Mineralogi Berdasarkan Nilai K-Mg-Al	67
Gambar 5.18 Diagram Au vs As <i>Gold Sulibity In Pyrite</i> Pada Daerah Penelitian Menurut Reich dkk (2005).....	68
Gambar 5.19 Diagram Sebaran Kandungan <i>Major Element</i> Breksi Hidrothermal Pit A...	70
Gambar 5.20 Diagram Sebaran Kandungan <i>Major Element</i> Breksi Hidrothermal Pit C...	70
Gambar 5.21 Diagram FeO vs SiO ₂ Pada Breksi Hidrothermal Daerah Penelitian.....	71
Gambar 5.22 Penampakan Breksi Hidrothermal Daerah Penelitian.....	72
Gambar 5.23 Hasil XRD Breksi Hidrothermal Pada Pit A.....	73
Gambar 5.24 Hasil XRD Breksi Hidrothermal Pada Pit C	73
Gambar 5.25 Hasil XRD Mineral Arsenik Pada Daerah Penelitian di Pit A.....	74

Daftar Tabel

Tabel 1.1 Peneliti Terdahulu.....	3
Tabel 3.1 Perkembangan Klasifikasi Modern Tipe Endapan Epitermal.....	25
Tabel 3.2 Tabel Klasifikasi <i>Breccia</i> (Ned Howard 2016)	32
Tabel 5.1 Hasil Analisis <i>Fire Asasy</i> dan <i>Aqua Regia</i> Pit A dan Pit C.....	61
Tabel 5.2 Hasil Analisa ICP – OES & MS Pit A.....	61
Tabel 5.3 Hasil Analisa ICP – OES & MS Pit C	62
Tabel 5.4 Mineral Pengotor Pada Breksi Hidrtothermal Pit A	64
Tabel 5.5 Mineral Pengotor Pada Breksi Hidrothermal Pit C	64
Tabel 5.6 Unsur Tanah Jarang Pada Breksi Hidrothermal Pit A	64
Tabel 5.7 Unsur Tanah Jarang Pada Breksi Hidrothermal Pit C	64
Tabel 5.8 Sifat-Sifat Fisik Dari Beberapa Mineral Sulfida Yang Sering dijumpai di Alam	66
Tabel 5.9 Hasil Analisa XRF pada Pit A	68
Tabel 5.10 Hasil Analisa XRF pada Pit C	69

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir ditemukannya endapan emas yang berlokasi di Banyuwangi Desa Sumberagung, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Beberapa ahli sering menyebutnya Tumpang Pitu. Endapan emas Tumpang Pitu memiliki Sumber daya endapan porfiri 1.9 billion tonnes 0.45% Cu and 0.45 g/t Au, for 28.1 Moz Au and 19 billion Cu. Mineralisasi epitermal sulfidasi tinggi teroksidasi memiliki kandungan sekitar 2.1 Moz Au and 72.9 Moz o Ag (Norris, 2011; Rohrlach, 2011 dalam Harrison dkk. 2018).

Penemuan tersebut membuktikan mineralisasi pada bagian Busur Sunda bernilai ekonomi. Busur Sunda-Banda berlokasi sepanjang zona tektonik aktif yang ditandai dengan 3 pergerakan konvergen lempeng tektonik aktif : Eurasian, Indo-Australian, dan Lempeng Pasifik (Hamilton, 1979). Busur ini tersusun oleh kerak benua yang tipis atau intermediate crust. Busur Sunda Banda ini terbentang dari Sumatera Jawa Bagian Timur sampai Damar. Pada lokasi Tumpang Pitu ini terletak pada busur sunda bagian timur. (Carlile and Mitchell, 1994).

Busur Sunda Bagian Timur yang mengalami mineralisasi yang berbeda dengan segmen bagian barat. Busur Sunda Bagian Timur ditandai dengan mineralisasi porphyry copper-gold deposit yang terjadi di Batu Hijau (Meldrum dkk, 1994 daam Carlile and Mitchell, 1994) dan mineralisasi sulfidasi tinggi di Lombok dan Sumbawa (S. Turner, pers. commun., 1992 daam Carlile and Mitchell, 1994). Pada Sumbu Bagian Timur ini dikenal dengan adanya *gold-silver-barite + base meta veins and stockworks* (Carlile and Mitchell, 1994).

Tumpang Pitu disusun oleh *low K calc alkaline-alkaline andesitic volcanic, interbedded volcaniclastic rock*, *low K intermediate intrusion, minor shallow water marine sedimentary rock* (Harrison, dkk. 2018). Tumpang Pitu berada di tubuh high sulfidasi terpusat dari tiga arah jalur2 mineralisasi yaitu NW dan N yang berada di Zona A,B,dan C (Harrison, dkk. 2018).

Breksi Hidrotermal merupakan breksi yang terbentuk pada *system hydrothermal*, umumnya pada kedalaman 200-300m dan jarang pada kedalaman 500-1000m (Sillitoe, 1985). Secara fisik antara breksi hidrotermal dengan breksi batuan sedimen hampir sama, yaitu sama-sama tersusun oleh material klastika (matriks dan fragmen). Perbedaan diantara keduanya berada pada genesanya dan komposisi dari matriksnya. Fragmen dari Breksi Hidrotermal ini berasal dari host rocknya. Kontak antara Breksi Hidrotermal dengan host rocknya memiliki bentuk yang tajam,

terkadang juga pada zona transisi antara tubuh Breksi Hidrotermal dengan host rocknya sering mengalami rekahan yang intens dan berubah menjadi daerah stockwork. Breksi Hidrothermal memiliki ukuran hingga ratusan meter atau sekitar 350m (Hedenquist & Henley 1985). Breksi Hidrotermal terbentuk oleh *over pressured fluida*, tetapi tidak berhubungan langsung dengan magmatic.

Breksi Hidrotermal ini, menunjukkan sifat fisik yang keras, kompak, dan tersilisifikasi kuat. Fragmen penyusunnya berupa batuan gunung api teralterasi silika kuat dan matrik berupa silika – kalsedoni +/- sulfida, memperlihatkan tekstur *crackel breccia – jigsaw fit* (yaitu ditunjukkan dengan fragmen yang berbentuk angular), sedangkan Breksi Hidrotermal yang memiliki fragmen berbentuk *subrounded* disebut dengan tekstur mill breccia. Breksi Hidrotermal erat kaitannya dengan *system hydrothermal*, sehingga berasosiasi dengan mineralisasi logam berharga dan base metal Au, Ag dan Cu.

Oleh karena perlunya untuk mengetahui peranan breksi hidrotermal terhadap mineralisasi di daerah tersebut berdasarkan data lapangan dan hasil analisis yang dilakukan. maka penulis mengangkat judul Himpunan Mineral dan Geokimia Breksi Hidrotermal Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi, Pit A dan Pit C, Tumpang Pitu, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan kajian pustaka dari beberapa peneliti terdahulu, maka tampak jelas Belum adanya pembahasan mengenai himpunan mineral dan geokimia Breksi Hidrotermal pada endapan epithermal sulfidasi tinggi Au-Ag, Pit A dan Pit C, Tumpang Pitu, Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia.

Permasalahan-permasalahan penting yang dapat dirumuskan dan perlu dikemukakan di dalam peneliti ini adalah:

- 1.2.1 Bagaimana himpunan mineral dan geokimia serta korelasi antar unsur mineral yang terdapat pada Breksi Hidrotermal pada daerah penelitian.
- 1.2.2 Bagaimana penyebaran dan arah mineralisasi Breksi Hidrotermal pada daerah penelitian.

Peneliti	Struktur Geologi	Alterasi	Mineral	Geokimia
Maryono, A., Setijadji, L.D., Arif, J., Harrison, R.L., and Soeriaatmadja, E., 2012, Gold, silver, and copper metallogeny of the Eastern Sunda magmatic arc, Indonesia				
Harrison, et al., 2018. Geochronology of the Tumpangpitu Porphyry Au-Cu-Mo and High- Sulfidation Epithermal Au-Ag-Cu Deposit: Evidence for Pre- and Postmineralization Diatremes in the Tujuh Bukit District, Southeast Java, Indonesia.				
Myaing, Y. Y., Idrus, A., dan Titisari, A. D. 2018. Fluid inclusion study of the Tumpangpitu high sulfidation epithermal gold deposit in Banyuwangi District, East Java, Indonesia				
Hamilton, W.B., 1979, Tectonics of the Indonesian region: U.S. Geological Survey Professional Paper				
G Corbett & T Leach, 1997. Short course manual: Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization.				
Sutopo, (2005), Geological and Geochemical Appraisal of Leached Capping above Andean Porphyry Deposits Centre of Excellence in Ore Deposits University of Tasmania, Australia				
Carlile J.C., and Mitchell A.H.G., 1994. Magmatic arcs and associated gold and copper mineralisation in Indonesia.				
Okki Verdiansyah, Arifudin Idrus, Lucas Donny Setijadji, Bronto Sutopo, I Gde Sukadana, 2021. Mineralogy of hydrothermal breccia cement of Humpa Leu East porphyry copper-gold prospect, Sumbawa Island, Indonesia				
F Yurniadi, E D Costa, 2022. Hydrothermal breccia-related mineralization at Pani gold project, Indonesia				
ARATÓ, R., KISS, G. & MOLNÁR, F. 2012. MINERALOGY, PETROGRAPHY AND ORIGIN OF A HYDROTHERMAL BRECCIA IN THE RECSK PORPHYRY-EPITHERMAL ORE COMPLEX, ILONA VALLEY, PARÁD (NE-HUNGARY)				
Sutarto, Sutanto, Khafarel Lauda .P., Kenny, L. Rigenaji P., Cicih, L., dan Hidayat, P, 2020. KARAKTERISTIK BREKSI HIDROTHERMAL PROSPEK TUMPANGPITU, KABUPATEN BANYUWANGI JAWA TIMUR				
Cici Larasati, 2020. Paragenesa Mineral supergen oksidasi sulfidasi tinggi Au-Ag Tumpang Pitu Indonesia.				
Ferenc Molnár, Péter Jung, László Kupi, Attila Pogány, Edina Vágó, Orsolya Viktorik, 2017. epithermal zones of the porphyry-skarn-epithermal ore complex at Recsk				

Tabel 1.1 Peneliti Terdahulu

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui himpunan mineral dan geokimia Breksi Hidrotermal yang berimplikasi terhadap mineralisasi Au–Ag di daerah penelitian.
2. Mengetahui proses geologi yang mengontrol terjadi Breksi Hidrotermal di daerah penelitian.
3. Mengetahui tipe dan sebaran Breksi Hidrotermal di daerah penelitian.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian pada daerah penelitian meliputi masalah geologi terhadap mineralisasi pada sistem endapan epitermal sulfidasi tinggi Tumpang Pitu, Jawa Timur, Indonesia. Kondisi mineral Breksi Hidrotermal di endapan Au, dan Ag, di prospek Tumpang Pitu, Jawa Timur, Indonesia. Permasalahan akan dijelaskan berupa himpunan mineral dan geokimia serta hubungan antar unsur mineral pada Breksi Hidrotermal endapan epitermal sulfidasi tinggi

1.5 Asumsi

1. Adanya fluida yang keluar dan menerobos ke permukaan melalui rekahan terbuka dan erat kaitannya terhadap berbagai tipe Breksi Hidrotermal, sehingga berasosiasi dengan mineralisasi logam berharga dan base metal.
2. Tekanan fluida yang kuat pada wilayah yang mengalami tektonik yang intens dapat memicu terbentuknya Breksi Hidrotermal
3. Komposisi fluida dan batuan sampling berpengaruh terhadap himpunan mineral dan geokimia pada Breksi Hidrotermal.

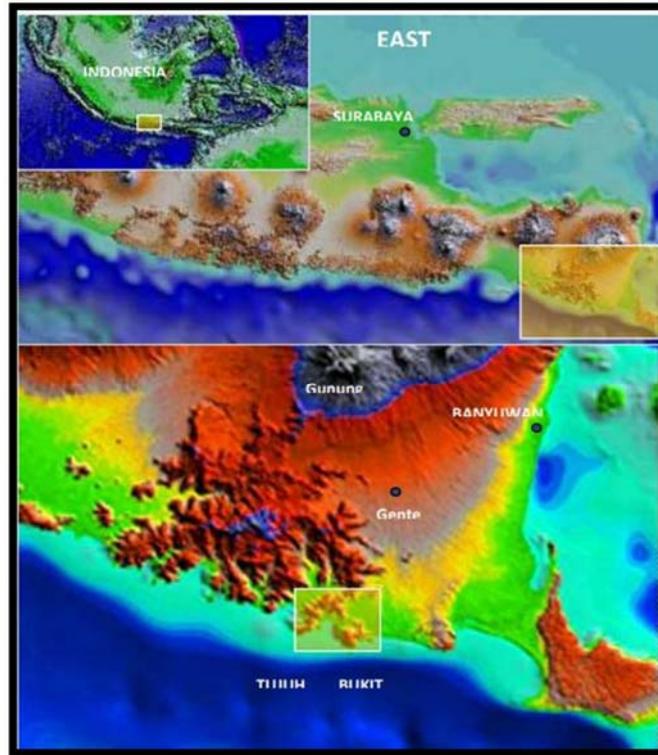
1.6 Hipotesis

Hipotesis yang dilakukan peneliti ditentukan sebagai berikut:

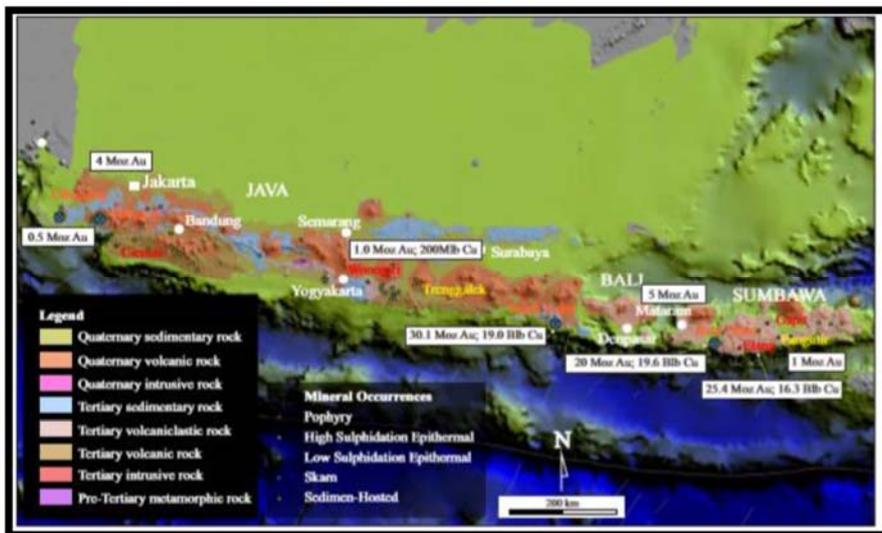
1. Karena himpunan mineral pada batuan Breksi Hidrotermal memberikan informasi tentang geokimia serta hubungan antar unsur mineral di daerah penelitian.
2. Adanya arah umum Breksi Hidrotermal menunjuk arah dan sebaran mineralisasi di daerah penelitian.
3. Pembentukan Breksi Hidrotermal berhubungan dengan naiknya Fluida Hidrotermal, yang mengakibatkan terbentuknya Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal.

1.7 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian secara administrasi berada di Pit Site Tumpang Pitu, Desa Sumberagung, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur yang termasuk dalam koordinat sistem Universal Transfer Mercator (UTM) WGS 84 zona 50S.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian di Tumpang Pitu, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. (Sutarto, dkk.2020)



Gambar 1.2 Busur Magmatik Sunda Bagian Timur dengan Tiga Kelas Dunia-Porfiri Cu Au Endapan yang Ditemukan di Sepanjang Sabuk, Menjadikannya Salah Satu yang Terbesar Di Dunia pada Sabuk Magmatik Yang Aktif dan Prospektif. (Maryono, dkk. 2014)

1.8 Hasil Yang Diharapkan

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model dan tipe Breksi Hidrotermal serta penyebaran pada daerah penelitian.
2. Himpunan mineral, geokimia, dan hubungan antar unsur mineral Breksi Hidrotermal pada daerah penelitian.

1.9 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat untuk instansi UPN Yogyakarta yaitu :
 - Mengembangkan materi pengajaran mengenai Breksi Hidrotermal.
 - Meningkatkan reputasi instansi melalui hasil dari penelitian yang berpengaruh pada masyarakat luas.
2. Manfaat untuk Perusahaan Bumi Suksesindo yaitu :
 - Menjadi data informasi dalam kegiatan eksplorasi di daerah penelitian
 - Menjadi data informasi peneliti selanjutnya di daerah penelitian.
 - Menjadi acuan dalam memodelkan geologi dan mineralisasi di daerah penelitian.
3. Manfaat untuk Mahasiswa yaitu :
 - Sebagai referensi mahasiswa yang ingin mempelajari dan membahas tentang Breksi Hidrotermal

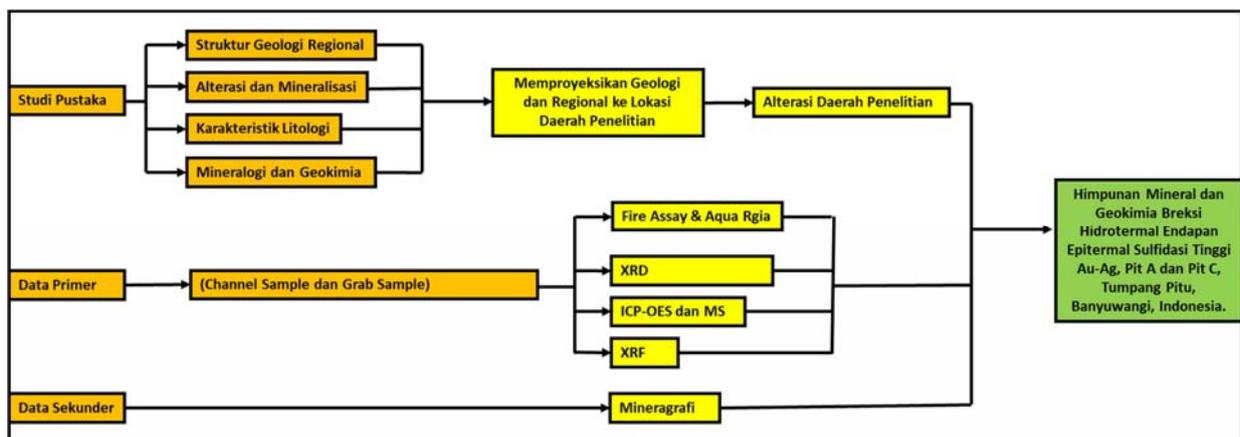
BAB 2

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bersifat deskriptif-observatif, sehingga sumber data bertumpu pada hasil pengamatan lapangan dan studi pustaka, kemudian didukung oleh analisis-analisis. Tahapan didalam penelitian ini terdiri atas akuisisi data, analisis, dan sintesis (Gambar3.1). Sintesis akhir berupa Karakteristik Mineralogi dan Geokimia breksi hydrothermal pada Endapan Epithermal Sulfidasi Tinggi Au-Ag yang Teroksidasi di Prospek Tumpang Pitu, Jawa Timur, Indonesia.

Alasan penelitian berupa Himpunan Mineral dan Geokimia Breksi Hidrothermal dalam Pada Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi Au-Ag yang Teroksidasi di Prospek Tumpang Pitu, Jawa Timur, Indonesia yaitu

1. Mengetahui model dan penyebaran Breksi Hidrothermal di endapan epithermal sulfidasi tinggi Au-Ag di Prospek Tumpang Pitu, Jawa Timur, Indonesia.
2. Mengetahui himpunan mineral, geokimia dan hubungan korelasi unsur mineral dengan unsur mineral lainnya pada Breksi Hidrothermal di endapan epithermal sulfidasi tinggi Au-Ag, Pit A dan Pit C di Prospek Tumpang Pitu, Jawa Timur,Indonesia



Gambar 2.1 Bagan Alir Metodologi Penelitian

2.1 Akuisisi Data

2.1.1 Studi Pustaka

Peneliti melakukan kajian pustaka untuk menunjang penelitian. Berdasarkan kajian pustaka, peneliti mengkaji dari beberapa kajian pustaka yang terpilih yaitu pengaruh proses himpunan mineral dan geokimia Breksi Hidrotermal endapan epithermal sulfidasi tinggi Au-Ag di Prospek Tumpang Pitu, Jawa Timur, Indonesia:

1. Chavez (2000), *Supergen Oxidation of Copper Sulfide Deposit; Minerals & Environmental Engineering Departement, Mexico.*
2. G Corbett & T Leach, 1997. *Short course manual: Southwest Pacific rim goldcopper systems: Structure, alteration and mineralization.*
3. Maryono, dkk. 2012. *Gold, silver, and copper metallogeny of the Eastern Sunda magmatic arc, Indonesia: Masyarakat Geologi Ekonomi Indonesia eastern Sunda- Banda arc resources seminar Malang, East Java, Indonesia.*
4. Hellman, P. L., 2011. *Intrepid Mines Limited, Tujuh Bukit Project, Report on Mineral Resources, Located in East Java, Indonesia, Technical Report for Intrepid Mines Limited.*
5. Harrison dkk., 2018. *Geochronology of the Tumpang pitu Porphyry Au-Cu-Mo and High-Sulfidation Epithermal Au-Ag-Cu Deposit: Evidence for Pre- and Postmineralization Diatremes in the Tujuh Bukit District, Southeast Java, Indonesia.*
6. Myaing dkk., 2018. *Fluid Inclusion Study of The Tumpangpitu High Sulfidation Epithermal Gold Deposit In Banyuwangi District, East Java, Indonesia.*
7. Hamilton., 1979. *Tectonics of the Indonesian region: U.S. Geological Survey Professional Paper.*
8. Hassan Z. Harraz, 2013. *Supergen Enrichment.*
9. Martin,C., 2004. *Establishing the Process Mineralogy of Gold Ores.*
10. Sillitoe., 1996. *Age of Supergen Oxidation and Enrichment in the Chilea PorphyryCopper Province.*
11. Sutopo., 2005. *Geological and Geochemical Appraisal of Leached Capping above Andean Porphyry Deposits*

2.2. Metode Pengambilan Sampling Geologi

2.2.1. Grab Sample

Secara umum, metode *grab sample* ini merupakan teknik sampling dengan cara mengambil bagian dari suatu material (baik di alam maupun dari suatu tumpukan) yang mengandung mineralisasi secara acak (tanpa seleksi yang khusus).

2.2.2. Channel Sample

Channel sample adalah suatu metode (cara) pengambilan contoh dengan membuat alur (channel) sepanjang permukaan yang memperlihatkan jejak bijih (mineralisasi). Alur tersebut dibuat secara teratur dan seragam (lebar 3-10 cm, kedalaman 3-5 cm) secara horizontal, vertikal, atau tegak lurus kemiringan lapisan. Ada beberapa cara atau pendekatan yang dapat dilakukan dalam mengumpulkan fragmen-fragmen batuan dalam satu contoh

2.3 Analisis Data

Analisis yang dilakukan terdiri atas

2.3.1 Fire Assay

Fire Assay Fire assay merupakan metode kuantitatif dalam kimia analitik untuk menentukan kadar logam mulia seperti emas, perak yang ditentukan melalui ekstraksi dengan cara peleburan (fusion) dan menggunakan pereaksi kimia kering (flux). Metode ini masih dipercaya sebagai metode pengujian kadar emas yang termurah dan terakurat hingga saat ini, bahkan kemampuan dari metode ini bisa menyamai pengujian kadar emas dengan menggunakan mesin sinar-x. Tingkat akurasi dari metode fire assay bisa mencapai 0,04%, dan sangat ideal jika dilakukan pada objek dengan kadar emas antara 33%-92% (Supriadidjaja, 2007). Metode fire assay lebih menekankan pada sifat-sifat logam pada kondisi tertentu terhadap suhu dan sifat kimianya. Secara garis besar metode fire assay dibagi menjadi 6 proses besar yaitu (Supriadidjaja, 2007).

2.3.1.1 Persiapan Sampel

Sampel konsentrat berbentuk hablur sehingga dalam preparasi hanya dilakukan tahapan “milling” untuk memastikan bahwa sampel tersebut berukuran 200 mesh. Fluxing (Penambahan Flux) Flux dapat diartikan sebagai suatu peraksi/reagen yang ditambahkan pada zat atau material yang tidak dapat atau susah melebur untuk membentuk suatu campuran yang dapat melebur dengan mudah. Campuran yang bisa melebur disebut slag (ampas bijih). Pereaksi dalam flux

terdapat berbagai macam komposisi bahan kimia diantaranya Na_2CO_3 , PbO , SiO_2 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, dan CaF_2 (Supriadjaja, 2007).

2.3.1.2 *Fusion* (Peleburan)

Peleburan sampel yang telah dicampur flux, KNO_3 dan perak dilebur pada suhu 1050°C didalam tungku pembakar (*fusion furnace*). waktu yang dibutuhkan berkisar 45-60 menit. Suhu tetap harus terjaga karena jika suhu yang terlalu rendah dapat mengakibatkan tidak sempurnanya emas dan perak yang terkumpul dalam cairan timbal dan juga akan menghasilkan *lead botton* yang kecil. Setelah proses pelelehan cairan timbal dituang ke dalam mortal yang berbentuk kerucut *lead botton* dan slag akan terpisah, setelah dingin *lead botton* dikeluarkan dengan cara memalu memcahkan slag dari cetakan (Supriadjaja, 2007).



Gambar 2.2 Peralatan *Fire Assay*

2.3.1.3 *Cupelation* (Pemisahan Pb)

Pemisahan emas dan perak dari *lead botton* dalam cupel dilakukan dengan cara pemanasan dimana, timbal akan terserap oleh cupel dan tersisa butiran emas dan perak. Suhu pemanasan berkisar $900-950^\circ\text{C}$ selama 1 jam. *Lead botton* yang teroksidasi menjadi Pb 98,5 % terserap ke dalam cupel dan 1,5 % menguap (Supriadjaja, 2007). Pemipihan Sebelum dilakukan proses penambahan asam, biji pril dipipihkan sampai berukuran $\pm 0,2$ mm. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan emas yang sempurna saat dilakukan pelarutan dengan asam (Supriadjaja, 2007).

2.3.1.4 Digestion (Pelarutan)

Pemisahan emas dan perak dilakukan dengan cara penambahan asam nitrat agar perak larut. Setelah perak larut sempurna lalu ditambahkan dengan HCl 65% untuk melarutkan mineral-mineral yang masih terkandung dalam emas dengan cara pemanasan (Supriadijaja, 2007).

2.3.2 Aqua Regia

Aqua Regia adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk memisahkan logam emas dari berbagai logam lain. *Aqua regia* digunakan karena larutan ini mampu melarutkan logam emas dan hampir semua logam. Untuk memisahkan emas dari logam lainnya, maka logam yang mengandung emas terlebih dahulu dilarutkan dalam *aqua regia*. Setelah semua larut, maka emas diendapkan menggunakan reduktor / pengendap khusus.

Aqua regia (air raja) terbentuk akibat bercampurnya larutan asam nitrat (HNO₃) dan asam klorida (HCl) dengan perbandingan 1 : 3. Pencampuran 2 jenis larutan ini menghasilkan peristiwa redoks, dimana pada akhirnya akan menghasilkan beberapa senyawa kimia baru, dan juga teroksidasinya ion klor menjadi gas klorin. Reaksi spontan yang terjadi sebagai berikut :



Hasil dari persamaan reaksi kimia di atas hanyalah salah satu dari banyaknya kemungkinan varian hasil lainnya. Dari reaksi terlihat bahwa pencampuran larutan HNO₃ dan HCl menghasilkan gas klor, dimana gas ini tercipta dari hasil oksidasi yang dilakukan oleh ion NO₃⁻ pada ion Cl⁻.

Aqua regia (air raja) mampu melarutkan logam emas, sehingga cairan ini sering digunakan untuk proses pemisahan dan pemurnian emas dari logam-logam ikutan lainnya.

2.3.3 Analisa XRF (X-ray Fluorescence)

XRF (X-Ray Fluorescence) adalah salah satu metode analisis untuk mengetahui komposisi unsur/element pada suatu bahan/sampel secara cepat. Prinsip yang digunakan dalam penentuan unsur/element berdasarkan interaksi sinar X dengan bahan atau sampel. Bahan atau sampel yang dianalisis dapat berbentuk serbuk atau bongkahan, berat minimal 2 gram. Aplikasi: Eksplorasi Geologi, Pertambangan, Metalurgi, Lingkungan, Kesehatan, dan lain sebagainya.

Kelebihan dari XRF

- Sampel cair dan padat dapat langsung di analisis : dengan berbagai macam pengaplikasian
- Persiapan sampel yang mudah

Kapabilitas XRF

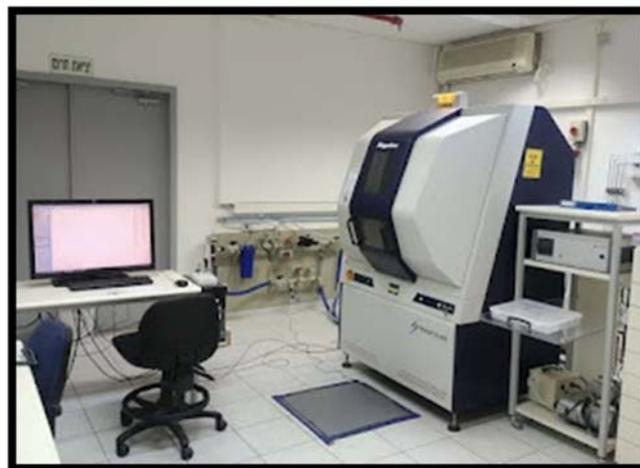
Sampel diukur sebagai:

- Bubuk

2.3.4 Analisa XRD (X-Ray Diffraction)

Metode XRD adalah teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi fase senyawa serta dapat memberikan informasi tentang dimensi sel kristal. Bahan yang dianalisis ditumbuk halus, dihomogenkan, serta komposisi curah rata-rata harus ditentukan.

Difraksi sinar-X didasarkan pada interferensi konstruktif sinar-X monokromatik dan sampel kristal. Sinar-X ini dihasilkan oleh tabung sinar katoda, disaring untuk menghasilkan radiasi monokromatik, dikolimasikan untuk berkonsentrasi, dan diarahkan ke sampel. Interaksi sinar datang dengan sampel menghasilkan interferensi konstruktif (dan sinar difraksi) ketika kondisi memenuhi Hukum Bragg ($n\lambda = 2d \sin\theta$).



Gambar 2.3 Alat Analisa XRD (X-Ray Diffraction)

Hukum ini menghubungkan panjang gelombang radiasi elektromagnetik dengan sudut difraksi dan jarak kisi dalam sampel kristal. Sinar-X yang terdifraksi ini kemudian dideteksi, diproses dan dihitung. Dengan memindai sampel melalui rentang 2 sudut, semua kemungkinan

arah difraksi kisi harus dicapai karena orientasi acak dari bahan bubuk. Konversi puncak difraksi ke jarak d memungkinkan identifikasi mineral karena setiap mineral memiliki satu set jarak d yang unik. Biasanya, ini dicapai dengan perbandingan jarak- d dengan pola referensi standar.

Semua metode difraksi didasarkan pada generasi sinar-X dalam tabung sinar-X. Sinar-X ini diarahkan pada sampel, dan sinar difraksi dikumpulkan. Komponen kunci dari semua difraksi adalah sudut antara datang dan sinar difraksi. Bubuk dan difraksi kristal tunggal bervariasi dalam instrumentasi di luar ini.

2.3.4.1 Penerapan Metode XRD

Difraksi serbuk sinar-X paling banyak digunakan untuk identifikasi bahan kristal yang tidak diketahui (misalnya mineral, senyawa anorganik). Penentuan padatan yang tidak diketahui sangat penting untuk studi di geologi, ilmu lingkungan, ilmu material, teknik dan biologi.

Aplikasi lain termasuk:

- Karakterisasi bahan kristal
- Identifikasi mineral berbutir halus seperti lempung serta lempung lapisan campuran yang sulit ditentukan secara optik
- Penentuan dimensi sel satuan
- Pengukuran kemurnian sampel

Dengan teknik khusus, XRD dapat digunakan untuk:

- Menentukan struktur kristal menggunakan penyempurnaan Rietveld atau biasa disebut *Rietveld Refinement*.
- Menentukan jumlah modal mineral (analisis kuantitatif)
- Mengkarakterisasi sampel film tipis dengan:
 - menentukan ketidakcocokan kisi antara film dan substrat dan untuk menyimpulkan tegangan dan regangan
 - menentukan kepadatan dislokasi dan kualitas film dengan pengukuran kurva goyang
 - mengukur superlattice dalam struktur epitaxial berlapis-lapis
 - menentukan ketebalan, kekasaran dan densitas film menggunakan pengukuran reflektifitas sinar-X insiden sekilas
- Membuat pengukuran tekstur, seperti orientasi butir, dalam sampel polikristalin

2.3.5 Analisa Inductively Coupled Plasma (ICP)

Inductively Coupled Plasma (ICP) adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk deteksi dari trace metals dalam sampel lingkungan pada umumnya. Prinsip utama ICP dalam

penentuan elemen adalah pengatomisasian elemen sehingga memancarkan cahaya panjang gelombang tertentu yang kemudian dapat diukur. Teknologi dengan metode ICP yang digunakan pertama kali pada awal tahun 1960 dengan tujuan meningkatkan perkembangan teknik analisis.

Sejak itu ICP telah disempurnakan dan digunakan bersama-sama dengan prosedur preparasi sampel untuk beragam matriks untuk analisis kuantitatif. Berikut adalah penjelasan komponen, fungsi, cara kerja hingga menghasilkan data dari instrumentasi ICP dan aplikasinya dalam analisis sampel lingkungan.

Induktif Coupled Plasma (ICP) yang termasuk ke dalam Spektroskopi Atomik adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk mendeteksi jejak logam dalam sampel dan untuk mendapatkan karakteristik unsur-unsur yang memancarkan gelombang tertentu. *Inductively Coupled Plasma (ICP)* merupakan instrumen yang digunakan untuk menganalisis kadar unsure unsur logam dari suatu sampel dengan menggunakan metode spektrofotometer emisi. Spektrofotometer emisi adalah metode analisis yang didasarkan pada pengukuran intensitas emisi pada panjang gelombang yang khas untuk setiap unsur. Bahan yang akan dianalisis untuk alat *ICP* ini harus berwujud larutan yang homogen. Ada sekitar 80 unsur yang dapat dianalisa dengan menggunakan alat ini.

2.3.5.1 Analisa ICP-AES / ICP-OES

Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES) adalah salah satu dari beberapa teknik analisa atomik spektroskopi. ICP-AES menggunakan plasma sebagai sumber atomisasi dan eksitasi dan kemudian pancaran yang di hasilkan unsur dengan mengukur intensitasnya . Plasma adalah suatu gas ionisasi yang terdiri dari ion, atom dan elektron.

ICP-AES telah banyak digunakan sejak tahun 1970-an untuk analisis multi-elemen secara simultan dan biologis sampel lingkungan setelah dilakukan pemisahan. Sensitivitas sangat baik dan jangkauan kerja yang luas untuk banyak jenis elemen yang digabungkan dengan rendahnya tingkat gangguan, membuat sebuah metode ICP-AES hampir sangat ideal. Laser sampling, dalam hubungannya dengan ICP adalah cara untuk menghindari prosedur pelarutan sampel padat sebelum penentuan elemen.

ICP-AES telah disetujui untuk penentuan logam. Metode ini telah disetujui untuk sejumlah besar logam dan limbah. Semua matriks, termasuk air tanah, sampel air, ekstrak EP, limbah industri, tanah, lumpur, sedimen, dan limbah padat lainnya, memerlukan proses sebelum analisis.

Limit deteksi, sensitivitas, dan kisaran optimum logam akan bervariasi dengan matriks dan model spektrometer. Data yang disajikan dalam tabel berikut ini memberikan rentang konsentrasi untuk sampel air bersih. Penggunaan metode ini dibatasi untuk spektroskopi yang berpengetahuan di analisis spektral, kimia, dan gangguan fisik.

Panjang gelombang yang terdaftar direkomendasikan karena kepekaan dan penerimaan keseluruhan. Panjang gelombang lain dapat diganti jika dapat memberikan sensitivitas yang diperlukan dan diperlakukan dengan teknik-teknik perbaikan yang sama untuk interferensi spektral.

Dalam waktu, unsur-unsur lain dapat ditambahkan sebagai informasi lebih lanjut tersedia dan diperlukan. Estimasi deteksi batas instrumental dapat ditampilkan sebagai panduan bagi batas instrumental. Batas-batas deteksi metode yang sebenarnya adalah tergantung sampel dan dapat berbeda-beda sebagai sampel matriks yang bervariasi.

2.3.5.2 Analisa ICP-MS

Instrumen ICP-MS mengukur sebagian besar unsur-unsur dalam tabel periodik. Unsur-unsur yang ditampilkan dalam warna dapat dianalisis dengan ICP-MS dengan deteksi limit pada atau di bawah kisaran ppb. Elemen putih yang baik tidak diukur dengan ICP-MS (sisi kanan atas) atau tidak memiliki isotop alami. Kebanyakan analisis dilakukan pada ICP-MS instrumentasi kuantitatif, namun juga dapat berfungsi sebagai instrument semi-kuantitatif yang sangat baik.

Dengan menggunakan paket perangkat lunak semi-kuantitatif, suatu sampel dapat dianalisis untuk 80 elemen dalam tiga menit, data semi-kuantitatif yang tersedia biasanya dalam $\pm 30\%$ dari nilai kuantitatif. Untuk alasan yang sering melibatkan kesehatan manusia, mengetahui komposisi isotop sampel dapat sangat penting.

Four Acid Standard ICP-OES & MS Package					
ELEMENT	RANGE PPM	ELEMENT	RANGE PPM	ELEMENT	RANGE PPM
Ag	0.1 - 500	In	0.05 - 2000	Se	2 - 1%
Al	50 - 15%	K	20 - 10%	Sn	0.1 - 2000
As	2 - 2000	Li	0.1 - 2000	Sr	0.5 - 1%
Ba	1 - 5000	Mg	20 - 40%	Ta	0.05 - 2000
Be	0.5 - 2000	Mn	1 - 1%	Te	0.1 - 2000
Bi	0.05 - 1%	Mo	0.1 - 1%	Th	0.05 - 5000
Ca	50 - 40%	Na	20 - 10%	Ti	5 - 1%
Cd	0.05 - 2000	Nb	0.1 - 2000	Tl	0.02 - 2000
Co	0.1 - 1%	Ni	1 - 1%	U	0.05 - 1%
Cr	5 - 1%	P	50 - 5%	V	1 - 5000
Cs	0.1 - 2000	Pb	1 - 1%	W	0.1 - 2000
Cu	1 - 1%	Rb	0.1 - 2000	Y	0.1 - 2000
Fe	100 - 50%	Re	0.05 - 2000	Zn	1 - 1%
Ga	0.1 - 2000	S	50 - 10%	Zr	0.5 - 2000
Ge	0.1 - 2000	Sb	0.1 - 1%		
Hf	0.1 - 2000	Sc	1 - 5000		
4A/OM10				\$40.00	
A selection of individual elements and customised packages are offered to suit your specific needs, or where only a few elements are required.					

Gambar 2.4 Analisa ICP-OES & MS multi element (Intertek)

BAB 3

DASAR TEORI

3.1 Fluida Hydrothermal

Fluida hydrothermal merupakan larutan encer panas dengan temperature 50°C hingga >500°C mengandung zat terlarut yang dapat diendapkan seiring perubahan sifat fluida tersebut terhadap ruang dan waktu (Pirajno, 2009). Fluida hydrothermal dapat terbentuk dari empat jenis air antara lain, (a) air meteorik yang dapat berasal dari air hujan, danau, sungai maupun air tanah, (b) air connate atau air formasi yang terperangkap pada suatu batuan selama proses diagenesa, (c) air metamorfik yang muncul akibat proses metamorfisme suatu batuan dan (d) air magmatic yang berasal dari pembentukan atau pembekuan magma. Umumnya, fluida hydrothermal, dapat diasumsikan, sebagai larutan cair ataupun air yang bertindak sebagai pelarut dimana sumber dapat berupa campuran satu atau lebih dari beberapa sumber fluida. Pada sistem endapan hydrothermal, fluida berfungsi sebagai media pembawa unsur bijih baik dalam bentuk larutan molecular ataupun koloid dan akan mengedapkannya pada lingkungan tertentu. Fluida hydrothermal didominasi oleh fasa cair dibandingkan dengan fluida magmatik dengan fasa gas, stadia hydrothermal terbentuk setelah stadia pegmatik-pneumatolitik dengan temperature antara 450° hingga 50°C dan konsentrasi komponen volatile lebih dominan serta tekanan lebih kecil dibandingkan stadia pegmatik-pneumatolitik akibat fasa gas telah berkurang dan berubah menjadi fasa cair membentuk fluida hydrothermal.

3.2 Endapan Hydrothermal

Endapan hydrothermal merupakan salah satu klasifikasi endapan mineral yang berasal dari proses sistem hydrothermal. Sistem hydrothermal dapat didefinisikan sebagai distribusi dari sirkulasi fluida panas (50° hingga >500°C) secara lateral dan vertikal pada temperature dan tekanan yang bervariasi dibawah permukaan bumi (Pirajno, 2009). Terdapat dua komponen utama yang dibutuhkan oleh sistem hydrothermal yaitu sumber panas dan fase fluida. Sumber panas diperlukan sebagai penyedia energi yang dibutuhkan (magmatik, gradien geothermal, peluruhan radiogenic dan metamorfisme), sedangkan fase fluida yang mencakup fluida magmatik atau juvenile, fluida metamorfisme atau meteorik serta air konate atau air laut diperlukan sebagai komponen yang harus terpenuhi dalam sistem hydrothermal. Sistem hidrotermal memerlukan zona permeable yang

berfungsi sebagai jalur fluida hidrotermal untuk menuju lokasi pengendapan seperti struktur kekar, struktur sesar dan batuan permeable.

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam pembentukan Endapan Hidrotermal adalah:

1. Adanya larutan hidrotermal
2. Adanya rongga batuan sebagai jalan Bergeraknya larutan
3. Adanya tempat untuk mengendapkan mineral
4. Adanya reaksi kimia yang menyebabkan terjadinya endapan mineral
5. Konsentrasi cukup tinggi dari larutan mineral sehingga menjadi deposit

	ENDAPAN MAGMATIK	ENDAPAN HIDROTERMAL					
	MAGMATIK	GREISSEN	PORFIRI	SKARN	EPITERMAL H.S	EPITERMAL L.S	M.S.V
Intrusi	subvulkanik granitik-andesitik	Pluton granitik	subvulkanik granitik-andesitik	subvulkanik granitik-andesitik	Andesitik	Andesitik	Dasitik/granitik
Host Rocks	granitik-andesitik	Pluton Granitik	granitik-andesitik	karbonat	Vulkanik, sedimen	Vulkanik, sedimen	Vulkanik klastik
Tipe Ubahan	Potasik, filik, argilik, profilitik, advanced argilik	Greisen	Potasik, filik, argilik, profilitik, advanced argilik	Potasik, skarn, profilitik	Advanced argilik, profilitik, argilik	Filik, argilik, profilitik, advanced argilik	Silicic, intermediete argilic
Mineral Ubahan	biotit, KF, Kuarsa, serisit, pirit, illit, epidot, klorit, kalsit, kaolini, alunit	Topas, kuarsa, muskovit, turmalin	biotit, KF, Kuarsa, serisit, pirit, illit, epidot, klorit, kalsit, kaolini, alunit	Garnet, Diopsid, magnetit, wolastonit, tremolit, biotit, klorit	Kaolinit, alunit, diaspor, pirofilit, illit	Serisit, illit, klorit, epidot, kalsit, adularia, kaolinit	Barit, gipsum, anhidrit, illit, kuarsa
Mineral Bijih utama	Kromit, pendlandit, magnetit	kasiterit, wolframit, scheelite	Bornit, kalkosit, kalkopirit, molibdenit	Bornit, kalkosit, kalkopirit, molibdenit	Enargir, luzonit, tenantit	Sfalerit, Galena, kalkopirit	Sfalerit, galena, kalkopirit
Komoditi logam	Cr, Ni, Pt	Sn, W	Cu, Mo, Au, Sn, W	Cu, Mo, Au, Sn, W	Au, Cu, Ag	Au, Ag	Zn, Pb, Cu, Au, As
Tekstur Utama	Diseminasi, Stockwork	Diseminasi-Stockwork, urat	Diseminasi-Stockwork, urat	Diseminasi-Stockwork, urat	Diseminasi-replacement masif	Urat, stockwork	Masif, berlapis
Keterangan Lain		Zona ubahan umumnya konsentris, tonase besar dengan kadar rendah	Zona ubahan umumnya konsentris, tonase besar dengan kadar rendah	Zona ubahan umumnya konsentris, tonase besar dengan kadar rendah	equivalen dengan sistem gunung api masif	equivalen dengan geothermal aktif	Berasosiasi dengan vulkanisme bawah laut

Gambar 3.1 Pembagian Endapan Hidrotermal (Corbett & Leach, 1997, dalam Sutarto, 2010)

3.3 Alterasi Hidrotermal

Interaksi antara fluida hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya (batuan dinding), akan menyebabkan terubahnya mineral-mineral primer menjadi mineral ubahan (alteration minerals) maupun fluida itu sendiri. Ubahan hidrotermal merupakan proses yang kompleks, melibatkan

perubahan mineralogi, kimiawi, dan tekstur, hasil interaksi fluida dengan batuan yang dilewatinya (Pirajno, 1992).

Larutan hidrotermal terbentuk pada bagian akhir dari siklus pembekuan magma dan pada umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau pada zona lemah. Interaksi pada larutan hidrotermal dengan batuan yang dilaluinya (*wallrock alteration*), akan menyebabkan terubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder (*alteration mineral*). Perubahan batuan dinding atau dikenal dengan istilah *wallrock alteration* adalah suatu proses kimia yang mengubah batuan asal oleh media larutan panas yang mengalir dan akan terendapkan mineral – mineral yang baru.

Definisi batuan dinding (*wall rock*) adalah batuan disekitar intrusi yang melingkupi urat dan umumnya mengalami ubahan hidrotermal. Derajat dan lamanya proses ubahan akan menyebabkan perbedaan intensitas ubahan (*total, sangat kuat, kuat, lemah hingga tak terubah*) dan derajat alterasi (*terkait dengan stabilitas pembentukan*). Stabilitas mineral primer yang mengalami ubahan sering membentuk pola ubahan (*style of alteration*) pada batuan. Secara umum dikenal adanya tiga pola ubahan yaitu *pervasive, selectively pervasive, dan non-pervasive* (Pirajno, 1992). Pada kesetimbangan tertentu, proses hidrotermal akan menghasilkan kumpulan mineral tertentu yang di kenal sebagai himpunan mineral (*mineral assemblage*) (Pirajno, 1992). Menurut (Corbett & Leach, 1998) ada beberapa faktor pembentuk alterasi hidrotermal sebagai berikut.

- Temperatur dan Tekanan

Peningkatan suhu dalam membentuk mineral yang terhidrasi lebih stabil, suhu juga berpengaruh terhadap tingkat kristalinitas mineral, pada suhu yang lebih tinggi akan membentuk suatu mineral menjadi lebih kristalin (Noel White, 1997). Kondisi suhu dengan tekanan dapat diterminasi berdasarkan tipe alterasi yang terbentuk. Temperatur dan tekanan juga berpengaruh terhadap kemampuan larutan hidrotermal untuk bergerak, bereaksi, berdifusi dan melarutkan serta membawa bahan-bahan yang akan bereaksi dengan batuan samping.

- Permeabilitas

Permeabilitas akan semakin menjadi lebih besar jika kondisi batuan yang mengalami rekahan dan batuan yang memiliki permeabilitas tinggi, dibandingkan dengan batuan massif kondisi permeabilitas ini akan mempermudah fluida untuk berinteraksi dengan batuan.

- Komposisi kimia dan konsentrasi fluida hidrotermal

Komposisi kimia dan larutan panas yang bergerak, bereaksi dan berdifusi memiliki pH yang berbeda-beda sehingga banyak mengandung klorida dan sulfida, konsentrasi encer sehingga sifatnya menjadi *mobile* atau mudah bergerak.

- Komposisi batuan sampling

Komposisi batuan sangat berpengaruh terhadap penerimaan bahan larutan hidrotermal sehingga berpengaruh terhadap tipe alterasi yang terbentuk

Suatu daerah yang memperlihatkan penyebaran kesamaan himpunan mineral alterasi dikenal sebagai zonasi alterasi (Guilbert & Park, 1986) . Berdasarkan pada himpunan mineral, pH dan temperature fluida hidrothermal maka zona alterasi dapat dibagi menjadi:

1. Zona Potasik

Zona alterasi potasik dicirikan dengan kehadiran mineral seperti k-feldspar, magnetit dan biotit. Zona alterasi potasik merupakan zona yang keberadaanya berdekatan dengan intrusi. Suhu fluida hidrothermal yang berada pada zona alterasi ini berkisar hingga 300°C dengan salinitas yang tinggi. Pada zona alterasi potasik dapat dijumpai dengan jumlah sedikit mineral-mineral seperti aktinolit, rutil, epidot dan anhidrit-rutil.

2. Zona Propilitik

Zona alterasi propilitik dicirikan dengan kehadiran mineral seperti klorit, kalsit dan epidot. Zona alterasi propilitik terbentuk oleh fluida hidrothermal yang memiliki temperature 200°C-300°C dengan pH netral hingga alkali dan salinitas yang beragam serta umumnya terbentuk pada daerah yang memiliki permeabilitas yang rendah. Pada zona alterasi ini, dijumpai mineral-mineral seperti serisit, anhidrit, kuarsa dan albit.

3. Zona Filik

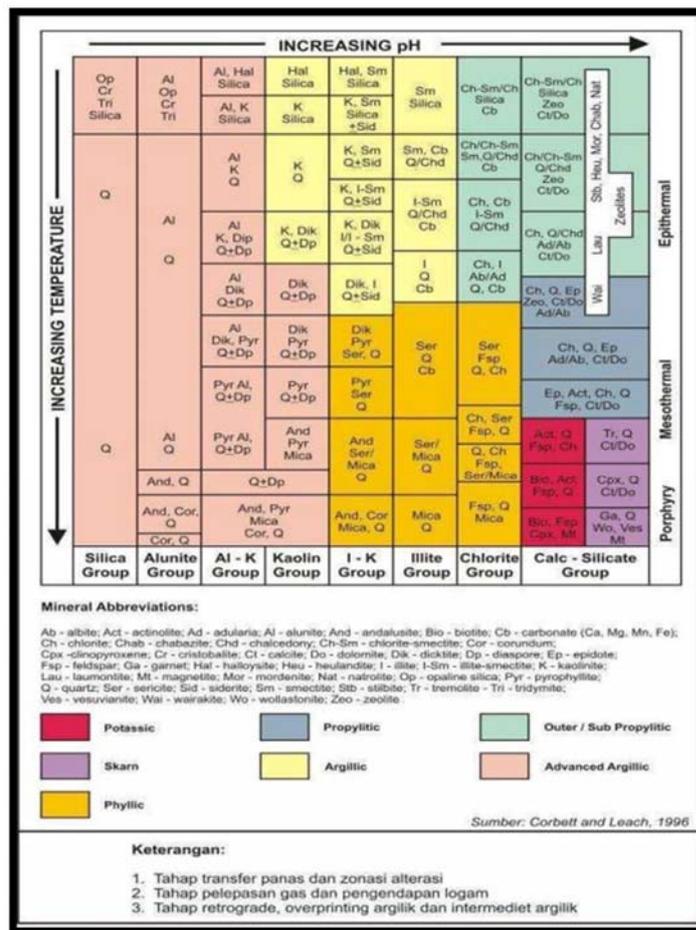
Zona alterasi filik dicirikan dengan kehadiran mineral seperti kuarsa, serisit dan pirit. Zona alterasi filik terbentuk oleh fluida hidrothermal yang memiliki temperature yang berkisar antara 200°C-400°C dengan pH netral hingga asam dan salinitas yang beragam. Zona alterasi ini umumnya terbentuk pada daerah yang memiliki permeabilitas dan terbentuk didekat vein

4. Zona Argilik

Zona alterasi argilik dicirikan dengan kehadiran mineral lempung seperti kaolin, ilit, smektit dan monmorilonit. Zona alterasi argilik terbentuk oleh fluida hidrothermal yang memiliki temperature antara 100°C-300°C dengan pH asam hingga netral (Pirajno, 2009).

5. Zona Argilik Lanjut

Zona alterasi argilik lanjut dicirikan dengan kehadiran mineral seperti pirofilit, andalusit, diaspor dan kuarsa dengan temperature tinggi antara 250°C-350°C. Sedangkan pada temperature rendah yang berkisar antara 180°C dicirikan dengan kehadiran mineral seperti kaolin, alunite, kalsedon, kuarsa dan pirit. Zona alterasi argilik lanjut terbentuk oleh fluida asam yang memiliki pH<4.



Gambar 3.2 Himpunan Mineral Alterasi berdasarkan pH dan Temperatur Pembentukannya (digambar ulang dari Corbett & Leach, 1996).

3.4 Sistem Tipe Endapan Porfiri

Endapan porfiri adalah endapan dengan tonase besar dan kadar rendah hingga sedang yang mineral bijih utamanya secara dominan terkontrol oleh struktur dan secara spasial dan pembentukan berhubungan dengan serial intrusi porfiri felsik hingga intermedier (Kirkham, 1972

dalam Sinclair, 2007). Endapan porfiri Cu-Au berkembang sebagai hasil pemfokusan fluida mineralisasi pada kedalaman 1-2 km pada pendinginan apophyse hingga sumber magmatik pada kedalaman yang lebih besar dan meluas dari batuan induk intrusi hingga batuan dinding. Beberapa sistem bijih yang lebih baik (Grasberg, Indonesia, Oyu Tolgoi, Mongolia, Ridgeway dan Goonumbla di Australia) dicirikan oleh terjadinya multi-fase intrusi didalam kompleks intrusi.

Overprinting intrusi menyediakan beberapa peristiwa mineralisasi dan mendaur ulang mineral bijih lokal dalam kondisi grade logam yang lebih tinggi tetapi juga dapat mengoverprinting dan melenyapkan mineralisasi terkait dengan intrusi porfiri Cu-Au sebelumnya karena itu menurunkan sistem bijih total. Kandungan metal dari endapan porfiri sangat beragam. Logam-logam seperti Cu, Au, Mo, Ag, Re, Sn, W, Bi, Zn, In, Pb, serta logam logam PGE bisa hadir dalam sebuah endapan porfiri.

Endapan porfiri terbentuk dalam beragam setting tektonik. Endapan porfiri Cu biasanya terdapat pada zona akar dari stratovolkano andesitik dalam seting busur-kepulauan (island arc) dan busur-benua (continental arc) yang berhubungan dengan subduksi (Mitchell dan Garson, 1972, Sillitoe, 1973, 1988a, Sillitoe dan Bonham, 1984 dalam Sinclair, 2007). Endapan porfiri umumnya terbentuk pada jalur orogenik contohnya pada lingkaran pasifik. Contoh endapan ini di Indonesia, terdapat di Grassberg, Selogiri Pacitan dan Batu Hijau.

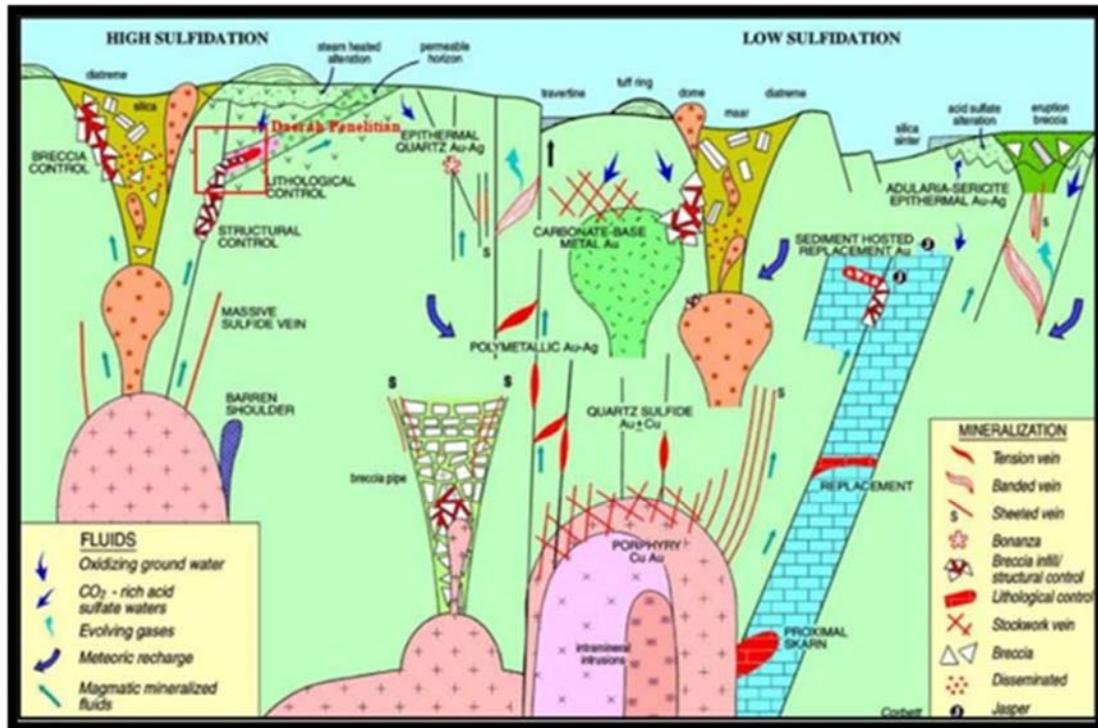
Pada skala endapan bijih, struktur yang berhubungan dapat menghasilkan variasi dari tipe mineralisasi, termasuk urat, set urat, stockwork, rekahan, crackled zones dan pipa breksi. Pada endapan porfiri yang besar dan ekonomis urat yang termineralisasi dan rekahan biasanya memiliki densitas yang sangat tinggi. Orientasi dari struktur mineralisasi dapat dihubungkan dengan lingkungan stress lokal disekitar bagian atas dari pluton atau dapat menunjukkan kondisi stress regional. Ketika struktur mineralisasi tumpang tindih satu-samainya dalam sebuah batuan bervolume besar, kombinasi dari struktur mineralisasi individual menghasilkan zona dengan kadar bijih yang lebih tinggi dan karakteristik dari endapan porfiri berukuran besar. Pembagian zona lokasi dari masing-masing struktur yang timbul dari tipe mineralisasi yang berbeda.

Umumnya busur magmatik subducted-related kompresional, perubahan sifat konvergensi dapat berperan sebagai pemicu untuk memfasilitasi penempatan intrusi yang dilemahkan secara vertikal dari batuan sumber magmatik pada kedalaman, menjadi pengaturan struktural dilasional tingkat kerak yang lebih tinggi (Corbett & Leach, 1998., Corbett, 2002b). Fluida bijih kemudian

terus berevolusi dari sumber magmatik menjadi seting bijih tingkat yang lebih tinggi menggunakan sistem fraktur dilasional seperti *sheeted quartz vein*.

Terjadinya intrusi awal ditandai dengan progradasi zona alterasi yang bergradasi keluar sebagai potasik (magnetit, biotit sekunder, dan K-feldspar) hingga propilitik dalam (aktinolit, epidot) dan propilitik luar (klorit, karbonat). Dalam batuan, alterasi albite dapat mendominasi pada kumpulan alterasi potasik-propilitik. Vein kuarsa *ptygmatic A-style quartz veins* suhu tinggi yang terputus-putus (dalam terminologi Gustafson dan Hunt, 1975) berkembang dalam intrusi yang mendingin, sedangkan vein kuarsa magnetit (tipe-M) mendominasi dalam prograde magnetite-bearing alteration, dan secara lokal mengandung mineralisasi kalkopirit-bornit-pirit.

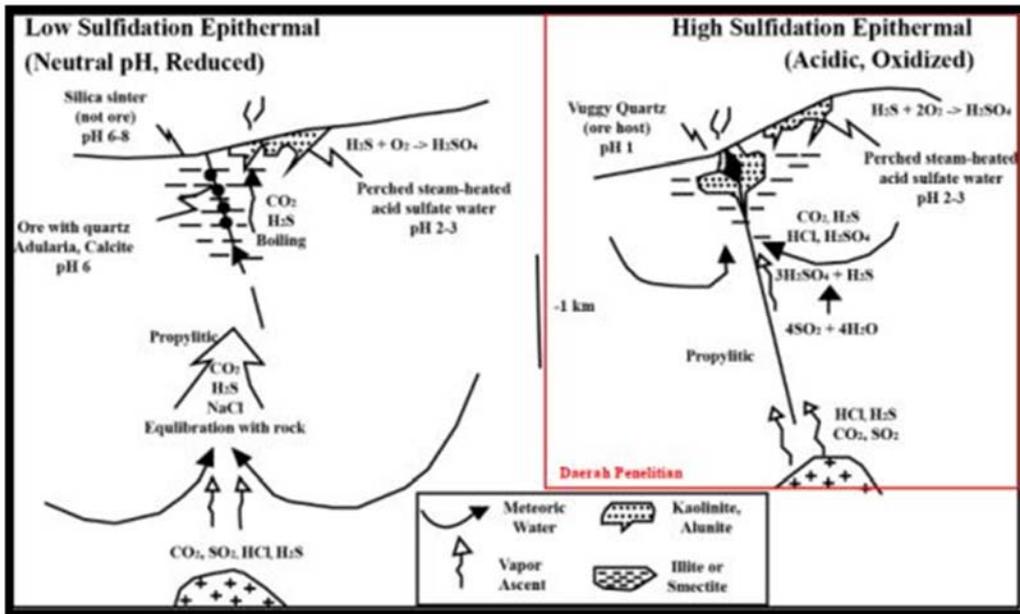
Sebagaimana juga diakui dalam sistem panas bumi aktif (Reyes dkk, 1993) volatil yang dikeluarkan dari intrusi pada awal sejarah pendinginan bereaksi dengan batuan induk untuk menghasilkan alterasi argilik lanjut yang barren, sering bermigrasi secara lateral sebagai *altered ledges*. Rekahan dihasilkan sebagai hasil akhir dari fluida hidrotermal yang menumpuk intrusi (apophyse) yang mendingin menjadi terlalu tertekan (hydraulic fracture), Pendinginan apophyse intrusi mendorong keruntuhan sistem hidrotermal dan masuknya kembali air tanah ke lingkungan porfiri dan pengembangan alterasi asam yang mengandung pirit yang ekstensif. Sedangkan model geologi tradisional memanfaatkan kelebihan tekanan fluida di atas kekuatan tarik batuan untuk mendorong pengembangan rekahan. Akibatnya, *sheeted (parallel) quartz veins* menampilkan hubungan daya tarik menarik fraktur / vein dilasional, dan karenanya dapat mengangkut fluida bijih dari sumber magmatik di kedalaman, ke *carapace* dingin, dan meluas ke batuan dinding tempat deposisi mineral terjadi.



Gambar 3.3 Model Konseptual Endapan Hidrotermal Sulfidasi Tinggi dan Sulfidasi Rendah serta Hubungan dengan Endapan Hidrotermal Porfiri (Corbett & Leach, 2018).

3.5 Sistem Tipe Endapan Epitermal

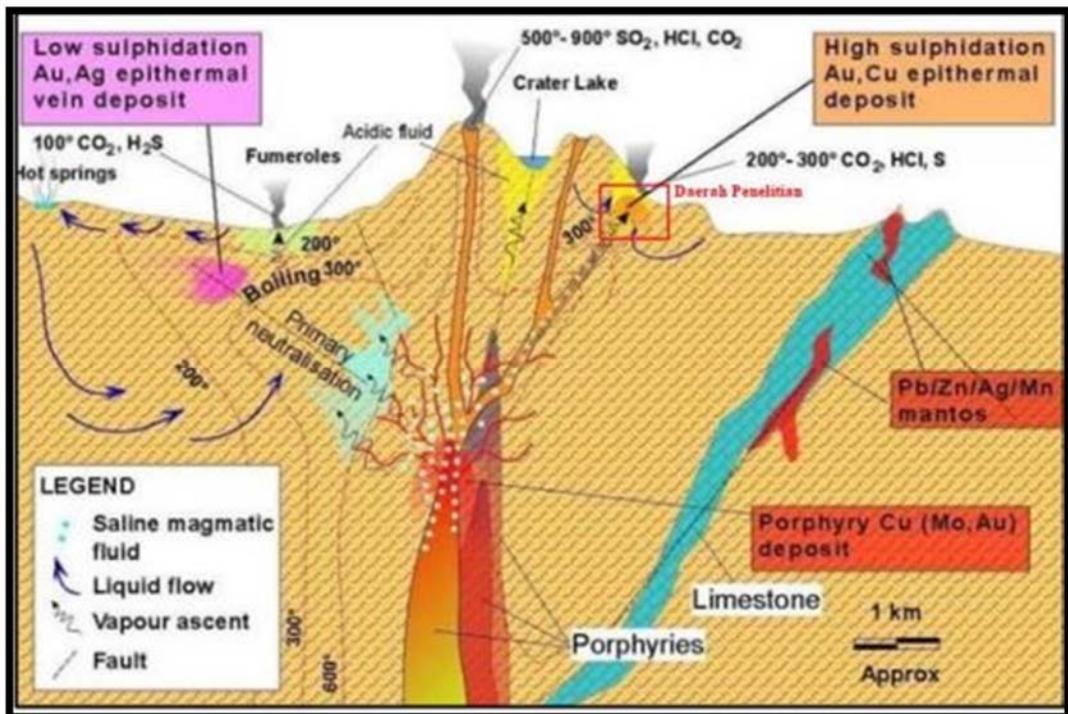
Endapan epitermal merupakan salah satu endapan mineral sistem hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman dangkal dan berada pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan (Simmons dkk, 2005). Endapan epitermal terbentuk pada kedalaman dangkal hingga 1000 m di bawah permukaan dengan suhu yang relatif rendah (50°C–200°C) dengan tekanan yang rendah atau kurang dari 100 atm dan dominan berasal dari fluida meteorik yang memiliki salinitas tinggi (Pirajno, 2009). Endapan epitermal pada umumnya dapat ditemukan sebagai zona lemah yang mengalami proses breksiasi dan alterasi dalam tingkat tinggi. Pada endapan ini banyak ditemukan vein yang tidak menerus di sepanjang zona sesar. Terdapat dua tipe endapan epitermal yaitu epitermal sulfidasi tinggi dan epitermal sulfidasi rendah yang dibedakan berdasarkan pada sifat kimia fluida, alterasi, dan mineraloginya (White & Hedenquist, 1996)



Gambar 3.4 Skema Aliran Fluida Hidrotermal dalam Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah dan Sulfidasi Tinggi (Digambar Ulang dari White & Hedenquist, 1996).

<i>Acid</i>	<i>Alkaline</i>	Sillitoe (1997)	
<i>High sulfidation</i>	<i>Low sulfidation</i>	Corbett dan Leach (1997)	
<i>Epithermal</i>		Buchanan (1981)	
<i>Enargite-gold</i>		Ashley (1982)	
		<i>Hotspring type</i>	Giles dan Nelson (1982)
<i>High sulfur</i>	<i>Low sulphur</i>	Bonham (1986, 1988)	
<i>Acid sulfur</i>	<i>Adularia-serisite</i>	Hayba dkk. (1985), Heald dkk. (1987)	
<i>High sulfidation</i>	<i>Low sulfidation</i>	Hedenquist (1987)	
<i>Alunite-kaolinite</i>	<i>Adularia-serisite</i>	Berger dan Henley (1989)	
	<i>Type 1 adularia-serisite</i>	<i>Type 2 adularia-serisite</i>	Albino dan Margolis (1991)
<i>High sulfidation</i>	<i>High sulfidation + basemetal, low sulfidation</i>	<i>Low sulphide + base metal, low sulfidation</i>	Sillitoe (1989,1993a)
<i>High sulfidation</i>	<i>Intermediet sulfidation</i>	<i>Low sulfidation</i>	Hedenquist dkk. (2000)

Tabel 3.1 Perkembangan Klasifikasi Modern Tipe Endapan Epitermal



Gambar 3.5 Model endapan porfiri dan epitermal (Hedenquist dkk, 1996)

3.6 Breksi Hidrotermal

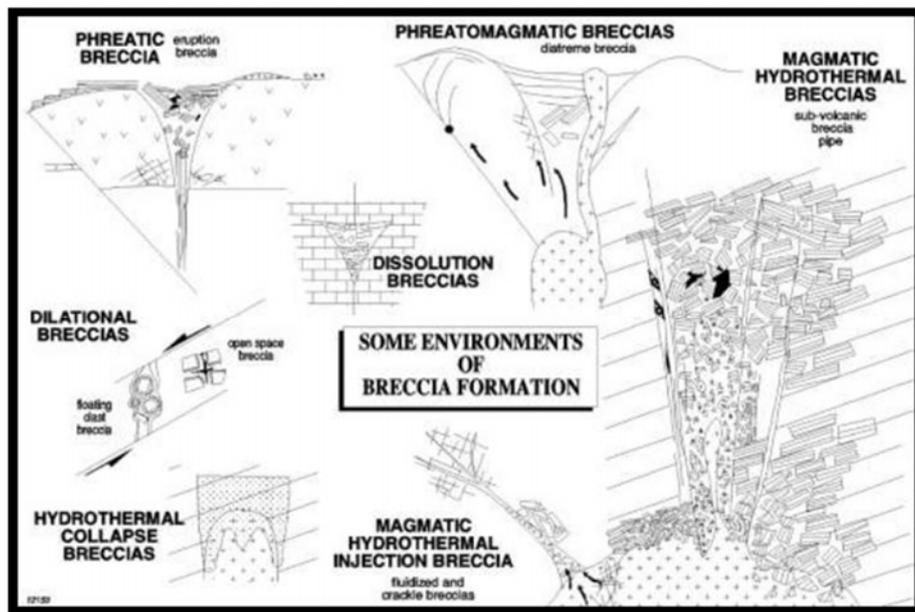
Breksi hidrotermal disebut juga sebagai breksi freatik. Beberapa penulis mengatakan breksi hidrotermal merupakan jenis lain dari breksi hidromagmatik (Lorenz, 1973, Nairn dan Wiradiradja, 1980, Sheridan dan Wohletz, 1981, 1983, Sillitoe, 1985, Baker dkk., 1986, McPhie dkk, 1993, Cas dan Wright, 1995, Corbett & Leach, 1996). Pembentukan breksi hidrotermal adalah hasil dari interaksi langsung antara tubuh magma dan sumber eksternal air, yaitu antara panas magmatik dan eksternal sumber air. Dibandingkan dengan aktivitas freatomagmatik, yang disebabkan oleh interaksi / langsung kontak antara tubuh magma dan air, aktivitas freatik melepaskan energi kurang, dan akibatnya dimensi breksi freatik yang lebih kecil. Breksi freatik atau breksi hidrotermal cukup sering disalahartikan sebagai struktur freatomagmatik. Breksi hidrotermal terbentuk pada sistem hidrotermal, umumnya pada kedalaman 200-300 m, dan jarang pada kedalaman 500-1.000 m (Sillitoe, 1985).

Breksi freatik memiliki dimensi variabel, yang berkisar dari ukuran kecil hingga beberapa ratusan meter, yaitu 350 m (Hedenquist dan Henley, 1985), atau 500 m (Sillitoe, 1985). Kontak pada pipa breksi freatik dengan host rock biasanya tajam, tetapi memiliki bentuk yang tidak teratur

(Baker dkk, 1986, Nelson dan Giles, 1985). Breksi hidrotermal erat kaitannya dengan dengan sistem hidrotermal, sehingga berasosiasi dengan mineralisasi logam berharga dan base metal.

Breksi berdasarkan genetik dikategorikan sebagai berikut:

1. *Magmatic hydrothermal breccias*
2. *Phreatomagmatic breccias*
3. *Phreatic breccias*
4. *Magmatic hydrothermal injection breccias*
5. *Hydrothermal collapse breccias*
6. *Dilational breccias*
7. *Dissolution breccias*

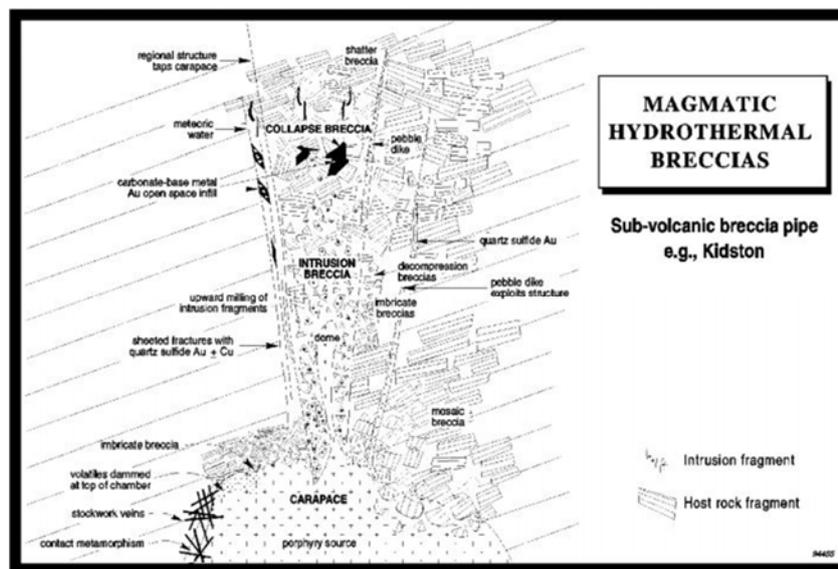


Gambar 3.6 Pembagian Breksi Secara Genetik (Corbett & Leach, 1998)

3.6.1 *Magmatic Hydrothermal Breccias*

Juga disebut sebagai "*carapace breccias*" ini adalah produk cairan hidrotermal juvenile yang dilepaskan dari magma yang terdapat di kedalaman level porfiri dan tidak keluar kepermukaan. Terkait secara spasial dengan intrusi porfiri dan dyke tetapi meluas secara sub-vertikal. Breksi hidrotermal magmatik dicirikan dengan keterlibatan magmatik yang nyata dalam proses breksiasi, alterasi dan komposisi fluida bijih. Breksi ini terbentuk akibat fraksinasi dari magma intrusi yang mungkin menyebabkan pelepasan (exsolution) dari suatu fase volatil yang

tidak dapat bercampur ('pendidihan kedua'), yang melebihi tekanan litostatik yang menghasilkan variasi derajat rekahan hidrolik. Volatile, mungkin berasal dari sumber magma besar di kedalaman, terkumpul dan menjadi terlalu tertekan dalam *apophyses* karena intrusi dingin. Pergerakan pada struktur pengendali dapat mematahkan carapace yang memungkinkan volatil terlepas secara eksplosif. Proses ini dapat terjadi beberapa kali karena fraksinasi magmatik dan eksolusi lebih lanjut terjadi. Fluida pembawa logam menggunakan sheeted fractures untuk keluar dari lelehan pada kedalaman serta breksiasi yang digerakan oleh volatile.



Gambar 3.7 Model Magmatic Hydrothermal Breccias

• **Karakteristik Magmatic Hydrothermal Breccias**

Umumnya tipe breksi ini bergeometri berupa pipa sub-vertikal hingga bodi tabular. Bodi dan fase tunggal atau ganda. Biasanya memiliki diameter 50-300 m, dan secara lokal > 1.000 m. Fragmen umumnya berasal dari magmatik dan lokal, berupa breksi shingle tabular dalam kondisi collapse, milled fragmen dalam kondisi injeksi. Matrik berupa rock flour dan openspace. Pada kondisi intrusi didominasi framen introduced intrusive, pada kondisi collapse didominasi fragmen lokal. Bentuk fragmen umumnya angular hingga sub-rounded (rounded secara lokal) yang berasal dari country rock atau intrusi dalam sebuah pengisian matriks hidrotermal dengan matrik klastik minor lokal. Mineral pengisi biasanya menunjukkan suhu dan salinitas tinggi (mis. Turmalin, feldspar). Mineral alterasi yang umum terkait adalah serisite-quartz, biotite, k-feldspar, actinolite, dan biotit.

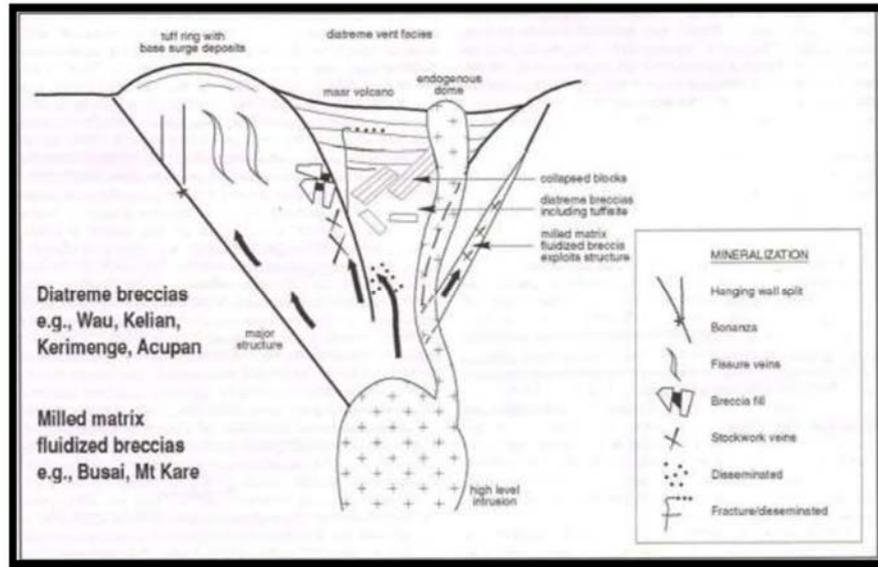
3.6.2 Phreatomagmatic Breccias

Breksi *Phreatomagmatic* terbentuk akibat interaksi langsung antara magma dan air eksternal. Juga dikenal sebagai breksi diatreme. Kontak antara magma yang naik dan air tanah menghasilkan flashing air menjadi uap dan fragmentasi eksplosif batuan host. Fluidisasi material dapat terjadi, menghasilkan pencampuran fragmen dan suatu milling derajat tinggi. Diatremes umumnya merupakan produk dari berbagai tahap interaksi magma dan air. Istilah diatreme digunakan untuk menggambarkan breccia-filled conduit (Sillitoe, 1985, Sillitoe dan Bonham, 1984) yang dapat terdiri dari *surficial maar volcano*, *endogenous domes* dan fitur-fitur lain, meskipun tidak semua breksi terbentuk oleh proses ini terlampaikan ke permukaan. Istilah lapangan non-genetik milled matrix fluidized breccia dapat digunakan selama pemetaan geologis untuk menggambarkan breksi freatomagmatik sebelum identifikasi hubungan lapangan yang cukup untuk menempatkannya dalam lingkungan geologi yang khas diatreme. Breksi Diatreme menampilkan hubungan yang kuat dengan intrusi porfiri tingkat tinggi, umumnya sebagai kompleks *flow dome*. Diatremes phreatomagmatic secara langsung melibatkan magma dan biasanya berakhir menjadi dike. Badan breksi memberikan jalan lateral hingga penurunan *fractured wallrock*, meskipun batas antara *milled breccia* dan *fractured wallrock* mungkin tajam. Dalam ekspresi permukaan, diatremes terlepas keluar pada gunung api maar atau tuff ring, maars di mana lantai vent floor telah tereskavasi di bawah sekitar permukaan tanah. Tuff ring terjadi di atas diatrem kecil yang tidak menembus secara signifikan pada *country rock*. Selain itu pada kondisi lingkungan geologinya breksi freatomagmatik pada pembentukannya terkait dengan *vent facies* di dalam diatreme, *tuff ring facies* keluar dari diatreme.

- **Karakteristik *Phreatomagmatic Breccias***

Biasanya fragmen polimik *subrounded* hingga round dari wallrock matrix supported dalam rock flour dengan atau tanpa semen hidrotermal. Fragmen umumnya mengalami alterasi hidrotermal. Fragmen dapat berupa fragmen juvenile intrusion, local accretionary lapili, dan tuffsite yang termilledkan baik serta matrik dapat berupa milled dan fluidasi claypirit yang teralterasi. Accretionary lapilli merupakan diagnostik keterlibatan air dalam pembentukan breksi. Di dekat base fragmen juvenile diatreme ‘whispy’ dapat terjadi dan merupakan indikasi keterlibatan magma. Menuju bagian atas diatreme, inklusi blok / fragmen sedimen permukaan berbutir halus dan kayu dapat terjadi di dalam breksi dan mensugestikan posisi dekat permukaan. Namun, fragmen batuan dinding dapat mengalami pengangkutan vertikal yang cukup besar dan blok besar

dari material dekat permukaan atau basement dapat terjadi di dalam tubuh breksi yang berjarak 100 m di bawah posisi mereka. Fragmen pirit masif yang bulat, jika ada, disimpulkan sebagai indikasi komponen volatil magmatik awal. Sebagian besar breksi supported oleh matriks dari material batuan yang pecah dan mengandung sedikit *open space*.



Gambar 3.8 Model Phreatomagmatic breccia (Corbett & leach, 1997)

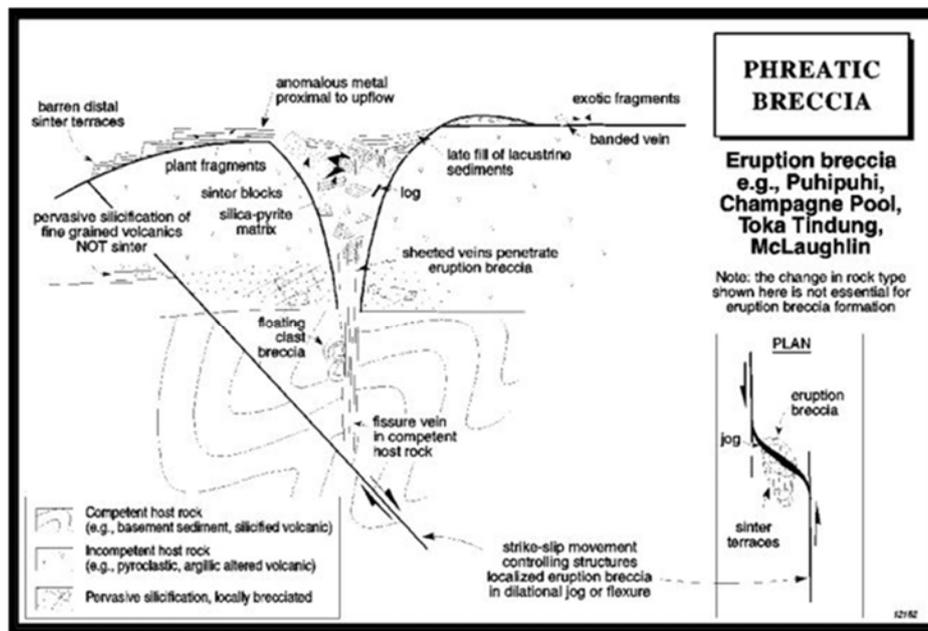
3.6.3 Phreatic Breccias

Phreatic breccias terbentuk akibat ekspansi uap dan gas dari air tanah yang bersirkulasi, tetapi digerakkan oleh panas magmatik. Keterlibatan volatile magmatik tidak penting. Breksi ini juga disebut sebagai hydrothermal eruption breccias. Sistem breksi phreatic (artinya air dikonversi menjadi uap) terjadi sebagai ledakan yang didorong oleh uap pada tingkat kerak dangkal, dan secara luas setara dengan breksi ledakan hidrotermal dari Baker dkk. (1986), dan breksi letusan dari Nelson & Giles (1985), dan Hedenquist & Henley (1985a). Air tanah yang bersirkulasi di atas magma yang mendingin terpanaskan dan memberi tekanan ke level *subsurface* dangkal dimana flashing dapat terjadi, menyebabkan perekahan dan breksiasi. Dapat terbentuk pada permukaan membentuk *sinter outflow* serta terjadi pula pada *cone-shaped pipe vent* dan *tuff ring facies*. Biasanya terjadi dekat dengan permukaan

- **Karakteristik Phreatic Breccias**

Umumnya memiliki geometri irregular tetapi biasanya seperti *pipe dike* atau juga *pebble dike* dan berdiameter hingga 500 m. Fragmen umumnya berasal dari lingkungan lokal yang umumnya berbentuk *angular*. Matrik umumnya berupa silika dan pirit. Derajat pencampuran clast,

pembulatan dan proporsi matriks tergantung pada umur panjang breksiasi. Biasanya breksi bawah permukaan bersifat monomik hingga polimik, clast-supported dengan clast angular hingga rounded. Produk breksi dekat permukaan dan permukaan (erupsi) cenderung mengandung lebih banyak matriks, dan lebih banyak polimik dan umumnya volume relatif tipis dan kecil pada produk letusan gunung berapi. Accretionary lapilli umumnya di dekat permukaan. *Clasts* dan *matrix* umumnya teralterasi kuat, umumnya untuk suhu rendah, mineral pH rendah, seperti silika, lempung dan sulphur. Umumnya alterasi hidrotermal suhu rendah, accretionary lapilli, berasosiasi dengan aktivitas mata air panas dan fumarolik. Fragmen terkelupas (Exfoliated) dan fragmen sinter juga dapat terjadi.



Gambar 3.9 Model Phreatic Breccias (Corbett & Leach, 1998)

3.6.4 Magmatic Hydrothermal Injection Breccias

Breksi ini terdiri dari fragmen *host rock* yang terdapat dalam matriks fluida magmatik hidrotermal dan *rock flour* yang terdapat pada fragmen. Breksi ini biasa disebut breksi hidrolis yang terbentuk oleh hancuran akibat tekanan fluida hidrotermal. Breksi ini dikontrol oleh struktur. Breksi ini dibagi lagi sesuai tahapan terobosannya yang berasosiasi dengan bentuk matriksnya, diantaranya *rotational*, *mosaic* (jigsaw), *fluidized*, *fluidized crackle*, dan *crackle breccia*.

3.6.5 Hydrothermal Collapse Breccias

Breksi ini terbentuk akibat fase retrograde pada lingkungan porfiri. Uap magmatik naik ke atas lingkungan porfiri, terkondensasi, dan bercampur dengan air tanah lalu runtuh pada pH fluida yang rendah.

3.6.6 Dilational Breccias

Breksi ini terbentuk akibat struktur dilational yang mengakibatkan open space yang biasanya terisi oleh mineral hidrotermal. Jenis struktur yang biasanya terdapat breksi ini adalah *fissure* dan *sheeted* yang dibentuk oleh sesar mendatar. Struktur *colloform/crustiform banded* biasanya terdapat pada struktur bukaan.

3.6.7 Dissolution Breccias

Breksi ini terbentuk pada batugamping atau batuan karbonat lainnya akibat hilangnya karbonat (kalsit) dan runtuh secara subsekuen. Biasanya terdapat pada slump atau lingkungan karst. Dolomitasi kalsit pada sediment hosted menggantikan deposit emas.

Diagram Code	Breccia Category	Energy Source	Mobile Phase	Geometry	Diameter (m)	Fragment form	Rock flour matrix	Juvenile component	Other features	Surface connection	Alteration (temporarily associated with brecciation)
1	Magmatic-hydrothermal	Magma (directly)	Magmatic volatiles	Single or multiple subvertical pipes	up to 2,000	Angular-subrounded, locally rounded	Local to common (<50%)	None	Sheeted contacts, shingle breccia, exfoliated fragments	None	Sericite, tourmaline, K-silicate
2	Phreatic	Magma (through circulating groundwaters)	Groundwater	Pipe-like, irregular, pebble dikes	up to ~500	Angular to rounded	Commonly present (<50%)	None	Exfoliated fragments, sinter fragments	Explosion crater, breccia apron, hydrothermal activity	Silicification, clay
3	Magmatic-phreatic	Magma (indirectly)	Groundwater	Diatreme	up to ~3,000	Subrounded to rounded	Present (<90%)	None	No juvenile clasts, wall-rock blocks, base surge deposits, accretionary lapilli	Maar, tuff ring, domes	Minor
4	Phreatomagmatic	Magma (directly)	Groundwater	Diatreme	1,000 - 3,000	Subrounded to rounded	Present (<90%)	Tuff matrix, cognate lithics	Wall-rock blocks, base surge deposits, locally exfoliated fragments, accretionary lapilli	Maar, tuff ring, domes	Minor
5	Magmatic	Magma (directly)	Magmatic volatiles	Diatreme, volcanic vent	500 - 5,000	Subrounded to rounded	Present	Tuff matrix, pumice, cognate lithics	Wall-rock blocks, locally exfoliated fragments	Pyroclastic fall & flow deposits, domes	Minor
6	Intrusion	Intrusion	Magma	Irregular patches	up to ~100	Angular	Absent	None	Intrusive rock matrix	None	Variable (minor)
7	Tectonic	Regional tectonism	N/A	Steep tabular bodies	up to ~50	Angular to subrounded	Present (<100%)	None	Slickensides, gouge	None	Variable (minor)

Tabel 3.2 Tabel Klasifikasi *Breccia* (Ned Howard, 2019)

3.7 Identifikasi Mineral Pada Batuan

Setiap jenis mineral terbentuk, terdapat dan dapat berasosiasi dengan mineral lain; ditentukan dari susunan, rumus bangun dan komposisi kimianya. Telah diketahui bahwa mineral dapat terbentuk dalam lima sistem/mechanisme kristalisasi; yaitu sistem magmatik, sistem air permukaan dan bawah permukaan, sistem hidrotermal, sistem pegmatik dan sistem metamorfik. Masing-masing sistem kristalisasi tersebut menentukan sifat-sifatnya, meliputi sifat fisik, sifat kimia dan sifat optis mineral. Sifat mineral digunakan untuk mengidentifikasi nama mineral. Sifat fisik dapat diaplikasikan untuk identifikasi mineral di lapangan dan utamanya untuk identifikasi mineral berukuran makro. Sifat kimia mineral menentukan komposisi kimianya. Sifat optis mineral digunakan untuk mengidentifikasi mineral yang berukuran mikro.

3.7.1 Berdasarkan Sifat Fisik Mineral

fisik mineral adalah kenampakan fisik mineral yang dapat diamati tanpa menggunakan bantuan alat. Sifat fisik mineral meliputi warna, cerat, perawakan, bentuk, kilap, kekerasan dan berat jenis. Sifat fisik mineral umumnya dapat dikenali pada tubuh mineral yang berukuran makro, sedangkan untuk mineral yang berukuran mikro akan lebih sulit dikenali, tanpa bantuan alat pembesar. Sifat fisik mineral mencerminkan pertumbuhan mineral, sifat-sifatnya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan geologi di mana mineral tersebut terbentuk (pada kondisi oksidasi atau reduksi), asosiasi mineral tersebut dengan mineral yang menyertainya, dan mekanisme pembentukannya.

3.7.2 Berdasarkan Sifat Kimia Mineral

Sifat kimia mineral ditujukan untuk mengetahui komposisi kimia mineral, meliputi unsur-unsur utama, unsur jejak dan unsur jarang (REE), sebagaimana yang juga menyusun bumi (dari inti bumi, mantel bumi dan kerak bumi). Komposisi kimia bumi juga dipengaruhi oleh faktor eksternal bumi, seperti jatuhnya meteorit, biokimia dan hidrokimia permukaan bumi. Di samping faktor-faktor tersebut, komposisi kimia mineral juga dipengaruhi oleh adanya perubahan volume, tekanan, energi, panas, daya, entropi dan suhu. Energi adalah kapasitas dalam menghasilkan suatu perubahan. Sedangkan panas, atau energi termal, hasil dari pergerakan secara acak dari masing-masing molekul atau atom-atom dalam suatu sistem, disebut sebagai energi kinetik. Daya dan panas adalah dua bentuk utama dari energi tersebut.

Sifat kimia mineral dipelajari melalui studi geokimia. Studi ini ditujukan untuk mengetahui sifat-sifat kimia yaitu komposisi unsur mayor (utama), jejak (trace elements), unsur jarang (rare

earth elements/REE) selama proses kristalisasi, metamorfisme, ubahan atau alterasi dan pelapukan. Unsur-unsur utama yang menyusun mineral tersebut, dikenal sebagai oksida mayor. Oksida mayor penyusun mineral dalam batuan terdiri atas SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, MgO, TiO₂, MnO, dan P₂O₅.

3.7.3 Berdasarkan Sifat Optik Mineral

Sifat optis mineral ditujukan untuk mineral-mineral yang menyusun batuan yang bertekstur halus, yaitu batuan sedimen klastika seperti batulanau, napal, batupasir dan matriks dan fragmen breksi dan konglomerat; pada batuan metamorf yang terfoliasi dan tak-terfoliasi; pada batuan beku bertekstur afanitik; dan batuan vulkaniklastika (piroklastika dan fragmen breksi piroklastika) dan vulkanik koheren (lava dan intrusi dangkal). Sifat optis mineral juga ditujukan untuk mengidentifikasi mineral-mineral seperti piroksen ortho dan olivin pada basalt; andesin, piroksen klino dan horeblendita pada andesit; dan feldspar, kuarsa dan muskovit pada riolit dan dasit; dan lain-lain.

Sifat optis mineral diamati di bawah mikroskop polarisasi, dengan media pengamatan dipreparasi dalam bentuk sayatan tipis seukuran 3x2 cm, dan tebal sayatan 0,003 mm.

3.8 Tabel Periodik

Tabel periodik adalah tabel yang berisi urutan unsur sesuai dengan golongan dan periodenya. Unsur-unsur yang tertulis di dalam tabel periodik dinyatakan dalam bentuk singkatan, seperti Cu (emas), Ag (perak), Fe (besi), H (hidrogen), dan sebagainya. Proses penamaan itu mengacu pada nama ilmiah setiap unsur, Cu = *cuprum*, Ag = *argentum*, Fe = *ferrum*, dan sebagainya. Di dalam tabel tersebut sudah memuat pengelompokan unsur berdasarkan sifat-sifat dan bentuknya. Misalnya, unsur logam dikelompokkan dengan unsur logam. Begitu juga dengan unsur nonlogam yang dikelompokkan dengan unsur nonlogam lain. Struktur tabel periodik dibagi menjadi 3 bagian Yaitu Golongan, Periodik, Blok f (Lantanida dan Aktinida).

3.8.1 Golongan

Golongan adalah pengelompokan unsur berdasarkan elektron valensi. Golongan bisa dilihat pada kolom vertikal di tabel periodik. Secara umum, golongan dibagi menjadi dua, yaitu golongan A dan golongan B. Golongan A biasa disebut golongan utama, sedangkan golongan B disebut golongan transisi. Jumlah seluruh golongan, baik A dan B, adalah 18. Dalam satu golongan, semakin ke bawah jari-jari atom semakin besar. Artinya, keelektronegatifan unsur semakin kecil.

Golongan A terdiri dari IA, IIA, IIIA, IVA, VA, VIA, VIIA, dan VIIIA. Adapun nama-nama IUPAC untuk setiap golongan itu adalah sebagai berikut.

Golongan I A (logam alkali) terdiri dari unsur-unsur yang memiliki elektron valensi 1. Unsur-unsur yang termasuk golongan ini adalah H, Li, Na, K, Rb, Cs, dan Fr. Unsur H bukan termasuk logam meskipun berada di golongan logam alkali. Golongan I A ini berada di blok s karena elektron valensinya berada di subkulit s.

Golongan II A (logam alkali tanah) terdiri dari unsur-unsur yang memiliki elektron valensi 2 dengan subkulit terakhir s. Unsur-unsur yang termasuk golongan ini adalah Be, Mg, Ca, Sr, Ba, dan Ra.

Golongan III A terdiri dari unsur-unsur yang memiliki elektron valensi 3 dengan subkulit terakhir p. Itulah mengapa, golongan ini diletakkan pada blok p. Unsur-unsur IIIA terdiri dari B, Al, Ga, In, Tl, dan Uut.

Golongan IV A terdiri dari unsur-unsur yang memiliki elektron valensi 4 dengan subkulit terakhir p. Itulah mengapa, golongan ini juga diletakkan pada blok p. Unsur-unsur golongan 4 terdiri dari C, Si, Ge, Sn, Pb, dan Fl.

Golongan V A terdiri dari unsur-unsur yang memiliki elektron valensinya 5 dengan subkulit terakhir p. Golongan ini terdiri dari N, P, As, Sb, Bi, dan Mc.

Golongan VI A terdiri dari unsur-unsur yang memiliki elektron valensi 6 dengan subkulit terakhir p. Itulah mengapa, unsur golongan ini diletakkan pada blok p. Unsur VI A terdiri dari O, S, Se, Te, Po, dan Lv.

Golongan VII A disebut juga golongan halogen. Unsur-unsur yang termasuk golongan halogen adalah F, Cl, Br, I, At, dan Ts.

Golongan VIII A disebut juga golongan gas mulia. Susunan elektron valensi golongan gas mulia sudah mencapai kondisi oktet, yaitu 8, sehingga sulit bereaksi dengan unsur lain. Unsur gas mulia terdiri dari He, Ne, Ar, Kr, Xe, dan Rn.

Golongan I – VIII B (golongan transisi) umumnya terdiri dari unsur-unsur logam transisi. Unsur-unsur yang termasuk golongan transisi memiliki elektron valensi yang terletak pada subkulit d.

3.8.2 Periode

Periode adalah pengelompokan unsur berdasarkan kulit atom terakhir (banyaknya kulit) atau tingkat energinya. Jika golongan dilihat dari kolom vertikal (atas ke bawah), maka periode dilihat dari kolom horizontal (dari kiri ke kanan). Jika kulit terakhirnya 2, maka unsur tersebut termasuk unsur periode 2. Dalam satu periode, semakin ke kanan jari-jari atom semakin kecil. Artinya, keelektronegatifan unsur semakin besar.

3.8.3 Blok f (Lantanida dan Aktinida)

Blok f atau biasa disebut deret lantanida dan aktinida berisi unsur-unsur yang memiliki subkulit terakhir f.

Deret lantanida tergolong sebagai logam tanah jarang. Bahkan, salah satu unsur pada deret ini bersifat radioaktif, yaitu prometium. Deret lantanida berisi 15 unsur yang memiliki nomor atom 57 – 71. Beberapa diantaranya adalah lantanum, serium, praseodimium, neodimium, prometium, dan masih banyak lainnya.

Deret aktinida terdiri dari 15 unsur yang memiliki nomor atom 89–103. Hampir semua unsur pada golongan ini bersifat radioaktif.

3.8.4 Jenis-Jenis Unsur Pada Tabel Periodik

Tabel periodik memuat berbagai jenis unsur, mulai unsur logam, semilogam, logam transisi, logam post transisi, hingga nonlogam.

The image shows a standard periodic table of elements. It includes the title 'Periodic Table of the Elements' at the top center. The table is organized into rows and columns, with atomic numbers, symbols, and names provided for each element. The elements are color-coded into groups: Alkali Metal (pink), Alkaline Earth (orange), Transition Metal (yellow), Basic Metal (green), Semimetal (light blue), Nonmetal (blue), Halogen (purple), Noble Gas (grey), Lanthanide (light orange), and Actinide (light red). The Lanthanide and Actinide series are shown as separate rows below the main table.

Gambar 3.10 Tabel Periodik Element Menurut Todd Hemenstine (2015)

3.8.4.1 Unsur logam

Unsur logam pada tabel periodik dibagi menjadi empat, yaitu logam utama, logam transisi, logam post transisi, dan deret aktinida-lantanida.

3.8.4.1.1 Logam Utama

Unsur logam utama berada di golongan A, yakni I A (logam alkali) dan II A (logam alkali tanah). Kedua logam ini bersifat reaktif karena memiliki elektron valensi yang relatif lebih sedikit dibandingkan logam transisi. Jika dibandingkan logam transisi, logam utama ini bersifat lebih lunak dengan titik leleh dan titik didih yang relatif lebih rendah.

3.8.4.1.2 Logam Transisi

Logam transisi (ditunjukkan oleh warna ungu) berada di golongan I B – VIII B. Salah satu unsur logam transisi yang umum Quipperian kenal adalah besi. Jika dibandingkan logam utama, logam transisi ini bersifat lebih keras namun sulit untuk bereaksi karena memiliki elektron valensi lebih banyak.

3.8.4.1.3 Logam Post Transisi

Logam post transisi ini berada di antara golongan unsur metaloid dan unsur logam transisi. Titik leleh dan titik didihnya relatif lebih rendah dari logam transisi dan bersifat lebih lunak. Contoh logam post transisi adalah Pb (timbal), Bi (bismuth), Al (aluminium), Ga (gallium), dan sebagainya.

3.8.4.1.4. Deret lantanida dan aktinida

Kedua deret tersebut termasuk logam, lho. Untuk lantanida cukup jarang ditemukan meskipun jumlahnya cukup melimpah di kerak Bumi. Tidak menutup kemungkinan, logam tanah jarang ini bisa dikembangkan di masa mendatang. Sementara itu, aktinida erat kaitannya dengan pengembangan nuklir, sehingga sulit dijangkau oleh kimia terapan.

3.8.4.2 Unsur semilogam

Unsur semilogam (ditunjukkan oleh warna kuning keemasan) juga biasa disebut metaloid. Karena sifat-sifat unturnya merupakan perpaduan antara logam dan nonlogam. Unsur-unsur ini biasa dimanfaatkan sebagai bahan semikonduktor. Contohnya, Si (silicon), Ge (germanium), B (boron), dan sebagainya.

3.8.4.3 Unsur Non Logam

Unsur nonlogam berada di golongan A, yaitu I A (hidrogen), IV A (karbon), V A (nitrogen dan fosfor), VI A (oksigen, sulfur, dan selenium), VII A (fluor, klor, brom, iodin), dan semua golongan VIII A. Semua unsur nonlogam, selain VIII A, bersifat reaktif atau mudah berikatan dengan unsur lain.

BAB 4

Geologi Regional

4.1 Geologi Regional

Daerah penelitian merupakan bagian dari Busur Sunda Bagian Timur. Busur Sunda Bagian Timur berlokasi sepanjang zona tektonik aktif yang ditandai dengan 3 pergerakan konvergen lempeng tektonik aktif : Eurasian, Indo-Australian, dan Lempeng Pasifik (Hamilton, 1979).

Busur Sunda Bagian Timur ditandai oleh urutan sedimen tipe gunung berapi busur kepulauan yang berumur Oligosen hingga Zaman Kuartar (Hamilton, 1979; Carlile dan Mitchell, 1994; Metcalfe, 1996; Garwin, 2002; Setijadji dkk., 2006). Batuan gunung berapi dari zaman Paleosen-Eosen diperkirakan ada secara lokal di sepanjang bagian selatan Jawa di kubah Bayah (Formasi Cikotok), dan Formasi Vulkanik Jatibarang (JVF) di Jawa Barat (Hutchison, 1982; Sujatmiko dan Santoso, 1992; Setijadji dkk. 2006).



Gambar 4.1 Foto UAV Tumpang Pitu (BSI, 2023)

4.2 Fisiografi Regional

Daerah penelitian terletak di Desa Sumberagung, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten, Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Area tersebut berada $8^{\circ}36'46.36''S$ $114^{\circ}02'30.21''E$. Berdasarkan posisi geografisnya daerah penelitian ke dalam zona fisiografi perbukitan. Zona ini dicirikan oleh morfologi perbukitan dengan elevasi > 1550 feet/489m di atas permukaan laut.

Sebelum dilakukan penambangan bentang alam daerah penelitian merupakan bukit bukit curam dan berbatu-batu dengan aliran sungai yang tidak cukup baik dikarenakan hanya memiliki debit musiman. Sungai berada disisi sungai bagian sisi utara Gunung Tumpang Pitu mengalir ke sungai Gede yang alirannya sangat aktif selama 8-10 bulan pertahun. (Intrepid, 2012).

Daerah Tujuh Bukit terletak di Kabupaten Banyuwangi, Jawa timur. Fisiografi Jawa Timur dapat dibedakan menjadi 7 zona dari selatan ke utara yaitu sebagai berikut:

- a. Pegunungan Selatan
- b. Zona Solo
- c. Zona kendang
- d. Zona Depresi Randublatung
- e. Zona Perbukitan Rembang
- f. Zona Depresi Semarang-Rembang
- g. Kompleks Gunung Muria

4.3 Stratigrafi Regional

Tumpang pitu, terletak pada sisi tenggara (± 50 km) dari pusat yang dindikasikan sebagai pusat stratovulkanik andesit Jawa Timur. Karakteristik topografi daerah tersebut memiliki kesamaan dengan sepanjang zona linear *WNW-ESE* yang menggambarkan daerah di Sumbawa Selatan yang menjadi asal muasal dari Batu Hijau dengan usia endapan kala Pliosen. Daerah penelitian termasuk ke dalam regional geologi Lembar Blambangan Jawa Timur (Achdan dan Bachri, 1993) (Gambar 4.2). Berdasarkan Peta Geologi Lembar Blambangan dilihat dari susunan stratigrafi, daerah penelitian memiliki susunan stratigrafi dari tua yang muda Formasi Batuampar, Batuan Intrusif, Formasi Jaten, Formasi Wuni, Formasi Punung, dan Formasi Kalibaru.

- Formasi Batuampar

Formasi Batuampar merupakan formasi yang terdiri dari litologi yang didominasi oleh batuan vulkanik seperti breksi vulkanik dan tuf. Kehadiran material vulkanik yang tinggi menjadi bukti bahwa daerah tersebut merupakan lingkungan gunungapi yang sudah mengalami proses erosional sangat tinggi hingga sampai ke bagian dasarnya. Litologi yang menyusun formasi ini sebagian besar sudah mengalami proses alterasi kuat sebagai indikasi terjadinya proses hidrotermal di daerah tersebut. Batuan ini menjadi host mineralisasi di prospek Tumpangpitu dan prospek Salakan. Formasi Batuampar berumur mulai dari Miosen Awal hingga akhir Miosen Tengah.

- Formasi Jaten

Formasi Jaten merupakan formasi yang terdiri dari litologi dominan batupasir dengan variasi berupa batupasir konglomeratan, batupasir tufan, batupasir gampingan. Formasi Jaten ini berumur awal Miosen Tengah. Beberapa tempat menunjukkan adanya hubungan kontak menjari antara Formasi Jaten dengan dengan Formasi Batuampar. Gambar 4.2 Stratigrafi Regional Lembar Blambangan Jawa Timur (Digambar ulang dari Achdan & Bachri, 1993).

- Formasi Wuni

Formasi Wuni merupakan satuan batuan yang terdiri dari litologi berupa breksi, konglomerat, batupasir, tuf, napal dan batu gamping. Formasi Wuni memiliki umur Miosen Tengah. Hubungan berupa kontak menjari antara Formasi Wuni dengan Formasi Batuampar dapat ditemukan di beberapa lokasi.

- Batuan Intrusif

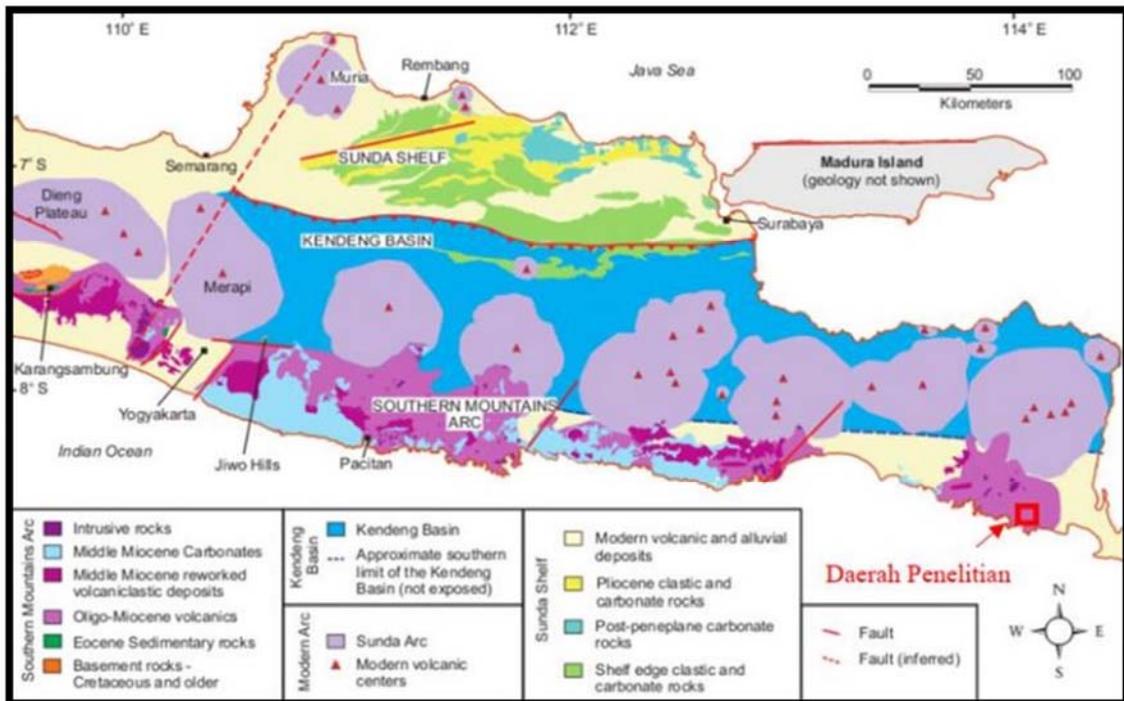
Pada saat Miosen Tengah terjadinya proses vulkanisme besar-besaran yang terjadi di sepanjang pantai Selatan pulau Jawa. Hal tersebut ditandai dengan ditemukan batuan intrusif berupa andesit porfiritik dan granodiorit. Intrusi batuan ini yang kemungkinan besar memicu terjadinya proses hidrotermal sehingga dapat menghasilkan berbagai macam batuan alterasi dan terjadi proses mineralisasi.

- Formasi Punung

Formasi Punung merupakan satuan batuan yang terdiri dari litologi berupa batugamping terumbu, batugamping berlapis dan napal. Keberadaan Formasi Punung menjadi penanda berakhirnya proses vulkanisme yang ditandai dengan kehadiran terumbu. Umur dari Formasi Punung adalah akhir Miosen Tengah dan menunjukkan hubungan kontak menjari dengan Formasi Batuampar di beberapa tempat.

- Formasi Kalibaru

Formasi Kalibaru merupakan satuan batuan yang terdiri dari litologi berupa breksi, konglomerat, tuf dan batupasir tufan. Formasi Kalibaru ini berumur Plistosen. Daerah Penelitian Persebarannya cukup luas di sebelah timur dari daerah penelitian di daerah Tumpang Pitu, Banyuwangi.



Gambar 4.2 Stratigrafi Regional Lembar Blambangan Jawa Timur (Digambar ulang dari Achdan & Bachri, 1993)

4.4 Tektonik dan Struktur Regional

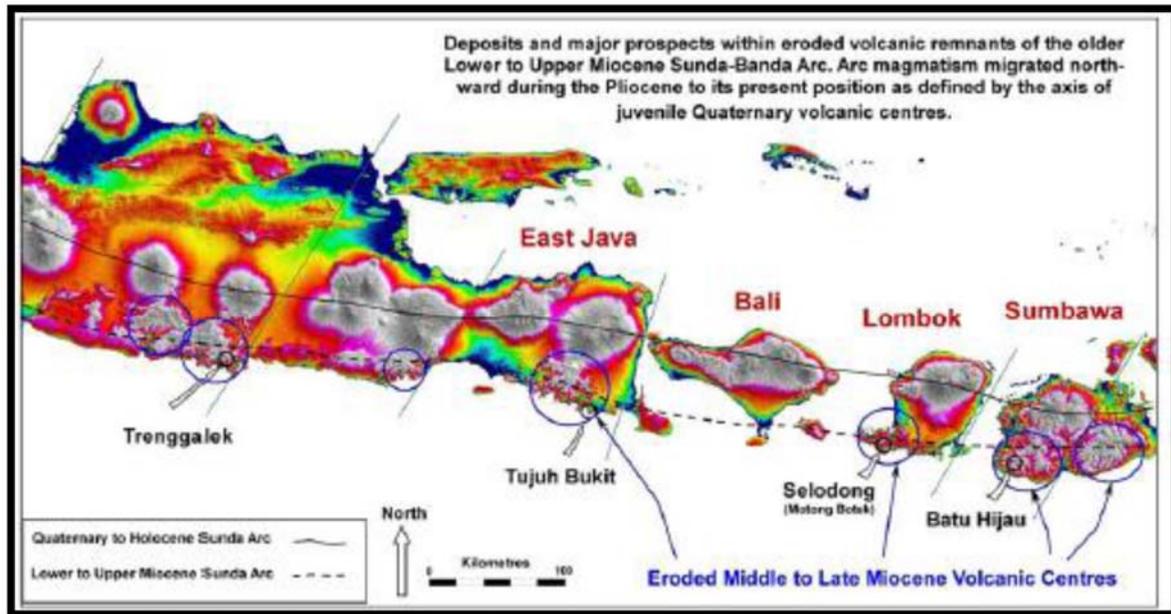
Sejarah struktur Jawa Timur, tidak dapat dipisahkan dari sejarah struktur bagian barat Pulau Jawa dan tektonik Asia Tenggara. Menurut Sribudiyani, dkk 2003, Jawa Timur mempunyai dua pola struktur utama, yaitu arah barat-timur atau arah Sakala dan arah timur laut-barat daya atau arah Meratus. Menurut Darman & Sidi (2000), Jawa Timur dapat dikelompokkan ke dalam empat provinsi tektonik dari utara-selatan, yaitu: a. Lereng Utara b. Zona Kendeng c. Busur Vulkanik Modern d. Lereng Selatan Tatanan tektonik Pulau Jawa dijelaskan dengan sistem active margin dengan pembagian dari selatan hingga utara yaitu zona subduksi dan akresi selatan jawa, busur magmatik jawa, serta busur belakang jawa. Smyth (2008) & Husein (2015) menjelaskan bahwa terdapat dua busur gunungapi yang berkembang di Pulau Jawa, yaitu busur gunungapi

Tersier berumur Oligo-Miosen yang membentuk Zona Pegunungan Selatan dan busur gunungapi modern atau Kuarter yang berkembang sejak Miosen Akhir hingga saat ini dan menempati bagian tengah dari Pulau Jawa tepatnya pada sisi selatan Zona Kendeng. Daerah penelitian termasuk dalam Zona Pegunungan Selatan. Zona Pegunungan Selatan merupakan jalur gunungapi purba yang berumur Oligosen-Miosen berasosiasi dengan keberadaan endapan-endapan mineral ekonomis yang mengandur emas, perak dan tembaga. Proses subduksi yang aktif mendorong terjadinya perkembangan struktur geologi di Pulau Jawa. Pulunggono dan Martdjojo (1994) menyebutkan bahwa pola struktur yang dominan berkembang di Pulau Jawa adalah pola Meratus dengan arah timur laut-barat daya yang berumur Kapur Akhir - Eosen Awal, pola Sunda dengan arah utara-selatan yang berumur Eosen Awal - Oligosen Awal dan pola Jawa yang berarah barat-timur yang terbentuk sejak 32 juta tahun yang lalu.

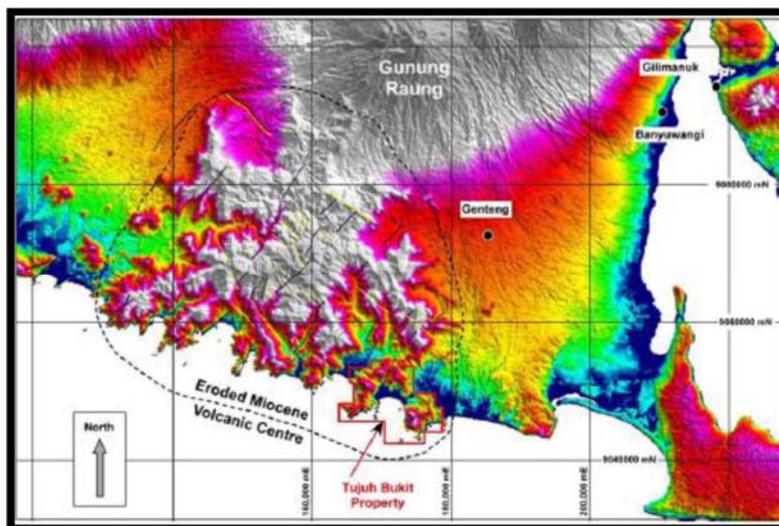
Aktivitas magmatik yang paling awal dapat dilacak, tersebar ke arah timur Jawa hingga Pacitan, bagian Barat Jawa Timur (JICAJOGMEC, 2004; Setijadji dkk. 2006). Sementara pusat vulkanik Paleosen-Eosen tidak didefinisikan dengan baik dan dibatasi di daerah tersebut, batuan magmatik Oligosen Akhir hingga Miosen Tengah tersebar luas dan terus-menerus didistribusikan di sepanjang sabuk. Batuan vulkanik dari Zaman Miosen Akhir ke Pliosen lebih banyak daripada batuan vulkanik yang lebih tua, mengikuti batas selatan sabuk dengan pergeseran relatif ke utara dari waktu ke waktu. Tumpang Pitu disusun oleh *low K calc alkaline-alkaline andesitic volcanic, interbedded volcaniclastic rock*, *low K intermediate intrusion*, *minor shallow water marine sedimentary rock*. (Harrison, dkk. 2018).

Pulau-pulau ini menunjukkan kompleks vulkanik Pleistosen yang semakin muda hingga zaman Kuarter ke arah utara, dengan gunung berapi yang baru-baru ini aktif, Mt. Krakatau di Jawa paling barat, Mt. Agung di Bali, Mt. Rinjani di Lombok, dan Mt. Tambora dan Mt. Sangeangapi di Kepulauan Sumbawa. Total ada lebih dari lima puluh enam gunung berapi Kuarter di sepanjang sabuk dari Jawa ke Sumbawa (Harrison, dkk. 2018).

Pola umum tektonik Pulau Jawa dihubungkan dengan konsep tektonik wrench fault (Moody dan Hill, 1956) yang disebabkan oleh gaya lateral utara-selatan, menghasilkan dua patahan berarah barat-laut-tenggara dan timurlaut-baratdaya.



Gambar 4.3 Regional Geologi : Hubungan Antara yang Lebih Tua, Umur Miosen, Pusat-Pusat Vulkanik yang Tererosi (cincin biru) yang Menampung Mineralisasi di Trenggalek (Sistem Epitermal Sulfidasi Rendah),Tumpang Pitu (Sistem Epitermal dan Porfiri Sulfidasi Tinggi), Selodong (Sistem Epitermal dan Porfiri), dan Batu Hijau (Sistem Porfiri),Relatif Lebih Muda, Busur Vulkanik Kuarter ke Utara Yang Secara Kolektif Membentuk Busur Sunda-Banda yang Berarah Timur-Barat Saat Ini. (Interpid, 2012).



Gambar 4.4 Lokasi proyek Tumpang Pitu. (Intrepid, 2012)

Proyek ini terjadi di sisi tenggara pusat vulkanik berumur Miosen yang menorehkan dalam dengan diameter ~50 km (titik hitam garis besar). Pusat vulkanik yang tererosi ini terletak SSW dari gunung berapi Kuartar Gunung Raung yang merupakan bagian dari *stratovolcano* komposit yang lebih besar di Jawa Timur (Intrepid, 2012).

BAB 5

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

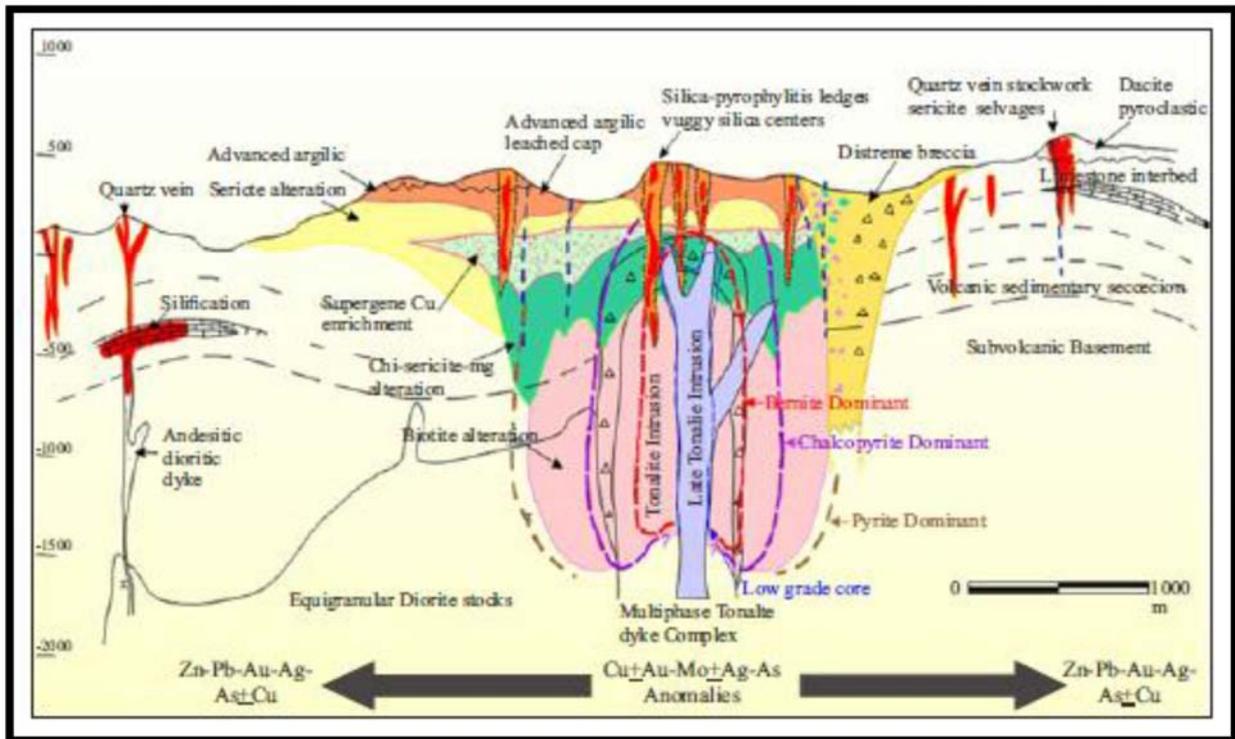
5.1 Geologi Daerah Penelitian

Secara fisiografi wilayah Bukit Tumpang Pitu dan sekitarnya merupakan bagian dari Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur, yang sebagian besar disusun oleh batuan-batuan beku plutonik dan vulkanik, batuan klastik vulkanik, maupun batugamping. Sejarah geologi singkat pada Daerah Tumpang Pitu dimulai dengan intrusi ke arah rangkaian batuan sedimen gunung api oleh dasit vulkanik dan batolit diorit awal co-magmatic -nya, yang kemudian menghasilkan breksi freatomagmatik secara genetik. Tonalit awal dan tonalit akhir kemudian mengganggu sistem, memulai mineralisasi porfiri dan memperkenalkan Cu-Au-Mo. Breksi freatomagmatik dan dasit menginterupsi dan menutup sistem. Fluida jenis epitermal sulfidasi tinggi menghasilkan tipe alterasi argilik lanjut menuju permukaan melalui struktur yang sangat dalam dan menghasilkan Au-Ag. Dalam kasus epitermal sulfidasi tinggi di Tumpang Pitu struktur geologi, baik struktur primer maupun struktur sekunder, berperan besar dalam mengendalikan proses alterasi dan mineralisasi. Keduanya mencerminkan kondisi paleo-permeabilitas sesuai dengan terjadinya kontak litologi dan patahan yang merupakan zona yang relatif lemah di mana cairan hidrotermal pembawa emas dilepaskan dari sumber kemudian menganugerahi logam.

5.2 Alterasi dan Hidrothermal Daerah Penelitian

Pada bagian Sunda Bagian Timur terdapat 3 kelas dunia deposit porfiri pada kerak busur kepulauan yang tipis. Selain itu juga busur Sunda Bagian Timur memiliki prospek high sulfidation epithermal yang dibatasi segmen bagian timur yaitu Empang, Sane/Rinti, Pangulir, Ladam/Elang, Sabalong/Lantung di Sumbawa, Pelangan and Mencanggah in Lombok, and Zone A, B, C (Tumpangpitu) di Jawa Timur. Karakteristik dari sistem mineralisasi *Gold-Silver-Copper* sepanjang busur sunda bagian timur terlihat dari regional dan lokal area tersebut. Secara regional Cu-Au dan *Epithermal* Au-Ag Deposit terletak disepanjang lempeng tektonik konvergen aktif. (Maryono, 2014)

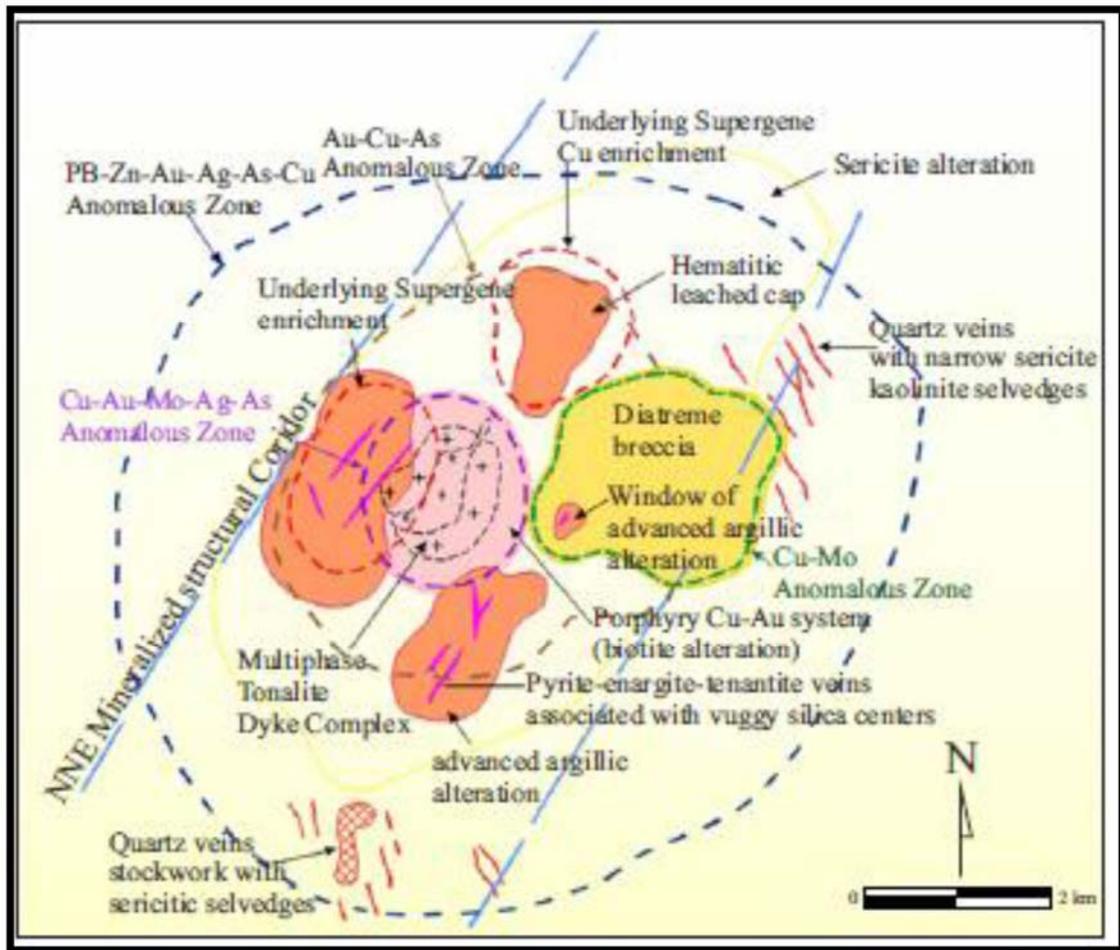
Deposit dihubungkan dengan tubuh intrusi neogene dengan Low-K calc-alkaline sampai alkaline lemah, komposisi dioritik-tonalitik. (Garwin, 2002; Maryono dkk, 2005; Setijadji, 2006; Roe, per comm., 2012 dalam Maryono, 2014)



Gambar 5.1 Model Endapan Eksplorasi Skala Distrik Konseptual Dalam Tampilan Bagian Menunjukkan Endapan Emas-Tembaga Porfiri Dengan Epitermal, Skarn, dan Endapan Sediment-Hosted. (Maryono, 2014)

Host stratigrafi umumnya dicirikan oleh batuan vulkanik Miosen dan dihubungkan dengan batuan vulkaniklastik sebagai volcanic edifice. Batuan Vulkaniklastik mengandung batuan sedimen karbonat yang tipis dan batugamping, mineralisasi skarn yang tipis Elang, Batu Hijau, dan Tumpang Pitu (Gambar 2.4). *Ore-bearing quartz ledges* dengan ciri-ciri mineralisasi epitermal sulfidasi menengah-tinggi dengan orientasi NW-NNW yang berkembang di Pelangan, Mencanggah, dan Tumpangpitu. Kelurusan NW dipusat mineralisasi porfiri yang terlihat di Brambang dan Tumpang Pitu. (Maryono, 2014)

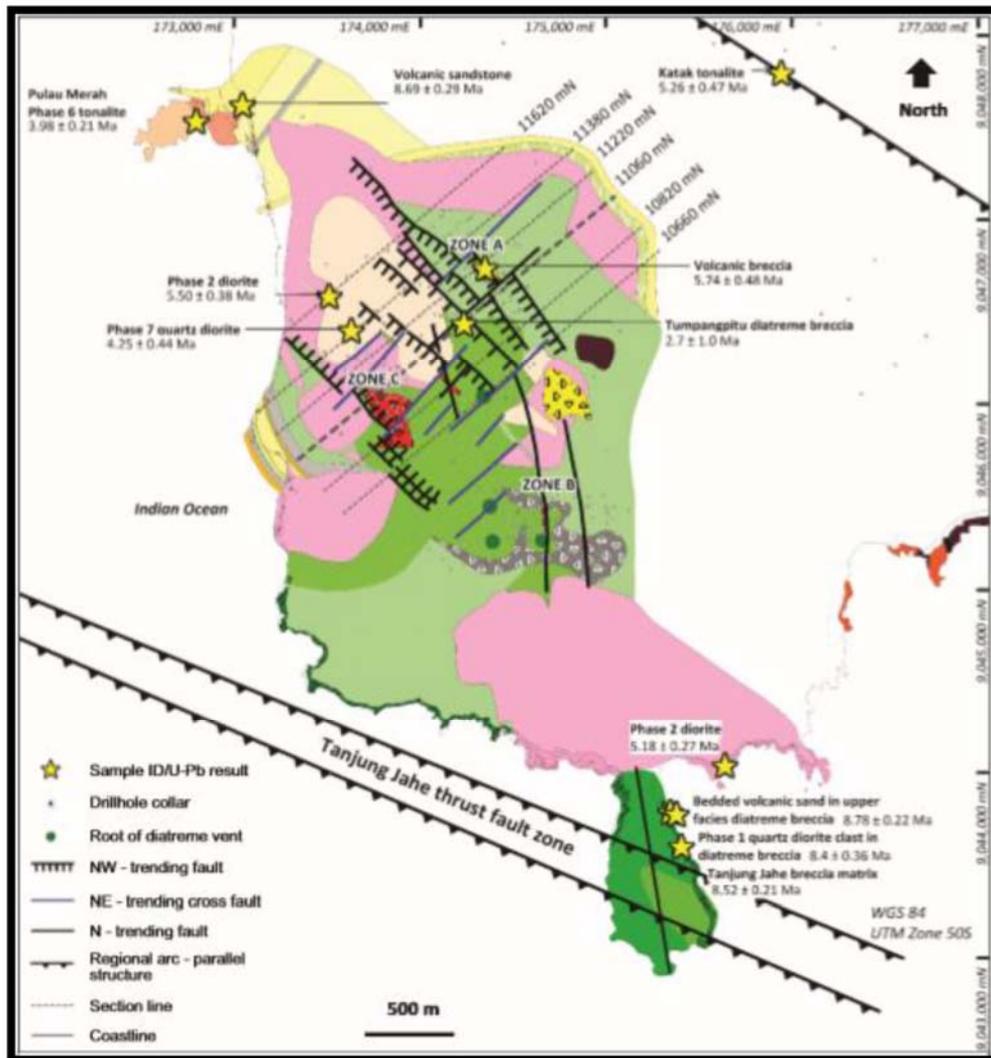
Sistem alterasi di skala deposit dengan sistem porfiri Au-Ag yang mendasarinya dan dilingkupi sistem sulfidasi menengah-tinggi yang umumnya dimanifestasikan dipermukaan oleh tubuh alterasi lithocap yang besar. Sistem sulfidasi yang rendah mengalami alterasi yang terbatas dipermukaan, dibatasi *quartz vein selvages* (A.Maryono, 2014).



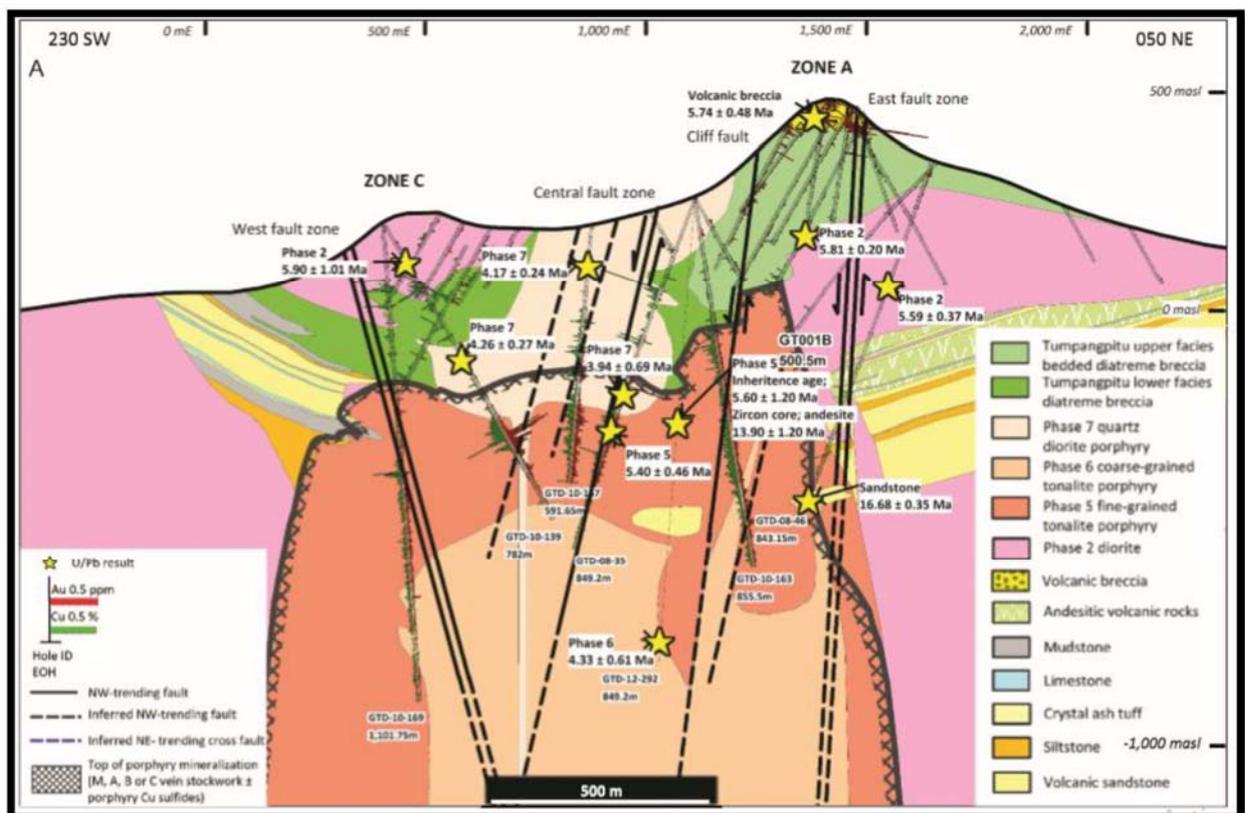
Gambar 5.2 Model Endapan Eksplorasi Skala Distrik Konseptual Dalam Tampilan Rencana Menunjukkan Endapan Emas-Tembaga Porfiri Dengan Endapan Epitermal dan Tubuh Breksi Diatreme. (Maryono, 2014)

Tubuh lithocap yang mengalami mineralisasi dengan proses geokimia dipermukaan terjadi Tumpang Pitu (Zones A, B and C) dan Elang (Ladam) dimana epithermal sulfidasi tinggi mineralisasi Au-Ag menghasilkan sistem porfiri Au-Cu di kedalaman. Hal itu dikategorikan ke lingkup *advanced argilic*, *argilic*, dan zona alterasi porfiritik. Alterasi *advanced argilic* tersusun mineral clay yang asam, didominasi kaolinite-dickite di shallow level dan phyrophyllite- diaspore-

topaz di kedalaman. zona alterasi argilik terbentuk mineral clay yang lebih netral illite, and montmorillonite dengan kaolinite yang sedikit (Maryono, 2014).



Gambar 5.3 Rencana Permukaan Geologi Tumpang Pitu Menunjukkan Lokasi Pengambilan Sampel Lubang Bor Permukaan Dangkal Dengan Hasil Analisis Zirkon U-Pb (Harrison dkk, 2018).



Gambar 5.4 Lokasi Pengambilan Sampel dan Hasil Analisis Zirkon U-Pb Pada Bagian tipe 11060 mN di Tumpang Pitu. (Harrison dkk, 2018)

5.3 Penyebaran Satuan Breksi Hidrotermal Daerah Penelitian

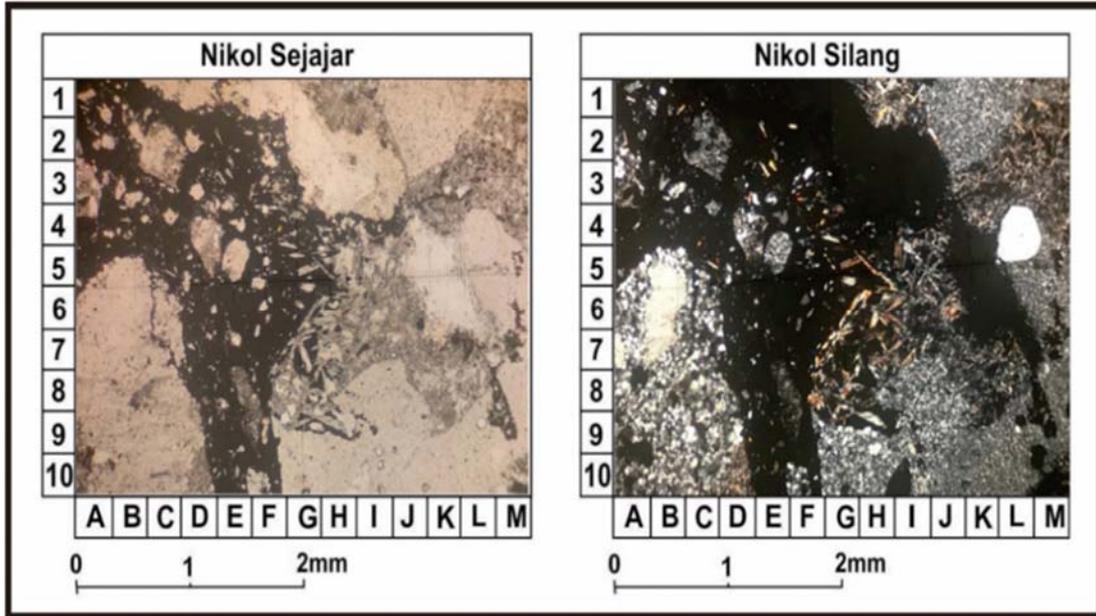
Satuan Breksi Hidrotermal berada di lokasi penelitian di Pit A dan Pit C mempunyai arah relative ke utara dan timur laut mengikuti pola struktur yang berkembang di daerah penelitian. Secara umum Breksi Hidrotermal daerah penelitian mempunyai ciri litologi yang sama yaitu *dacite* secara megaskopis sebagai clast dan diamati menunjukkan susunan monomik, dengan clast supported. Komponen berupa clast vuggy silika dan massif silika dengan bentuk menyudut hingga menyudut tanggung dengan tekstur jigsaw puzzle, matriks berupa mineral – mineral sulfida, dan semen berupa silika. Geometri berupa diskordan yang memotong satuan batuan yang lebih tua di atasnya dengan kontak yang terlihat cukup tegas. Akibat proses pelindian/leaching pada breksi hidrotermal menyisakan tekstur rongga/vuggy di beberapa tempat.



Gambar 5.5 Breksi Hidrothermal Pit A dengan Tekstur Jigsaw

Breksi hidrothermal di Tumpang pitu terbentuk akibat adanya interaksi antara injeksi fluida magmatik dengan air meteoric yang menyebabkan terjadinya pelepasan uap dan runtuhnya dinding yang telah mengalami proses silifikasi sebelumnya sehingga proses tersebut disebut breksi injeksi hidrothermal. Breksi injeksi hidrothermal magmatik pada daerah penelitian mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Harrison (2017) berdasarkan pada metode radiometrik dating K-Ar memiliki umur 2,7 juta tahun (Pliosen Akhir). Batuan ini mengalami alterasi kuat vuggy massif \pm alunit \pm pirofilit dan silika + alunit \pm dickit.

Mineral oksida umumnya berupa hematit dan goetit. Pengisian larutan hidrothermal secara multifase diinterpretasi terjadi pada satuan ini, hal ini dibuktikan melalui adanya dua tekstur yang berbeda yaitu vuggy silika dan masif silika. Terlihat pada Sayatan tipis batuan breksi hidrothermal dengan warna netral sampai kecoklatan. Memiliki tekstur berupa ukuran butir $<0,1$ mm- $0,3$ mm serta bentuk butir agak membundar hingga agak menyudut dan terpilah buruk. Didukung oleh matriks dengan kontak antar butiran float contact. Batuan ini disusun oleh mineral Kuarsa (Qtz) (50%), Mineral Opak (Op) (20%), Alunite (Alu) (20%), Mineral Oksida (Ox) (10%).



Gambar 5.6 Penampakan sayatan tipis Breksi Hidrothermal menurut Rigenaji (2021)



Gambar 5.7. Breksi Hidrothermal Pit C

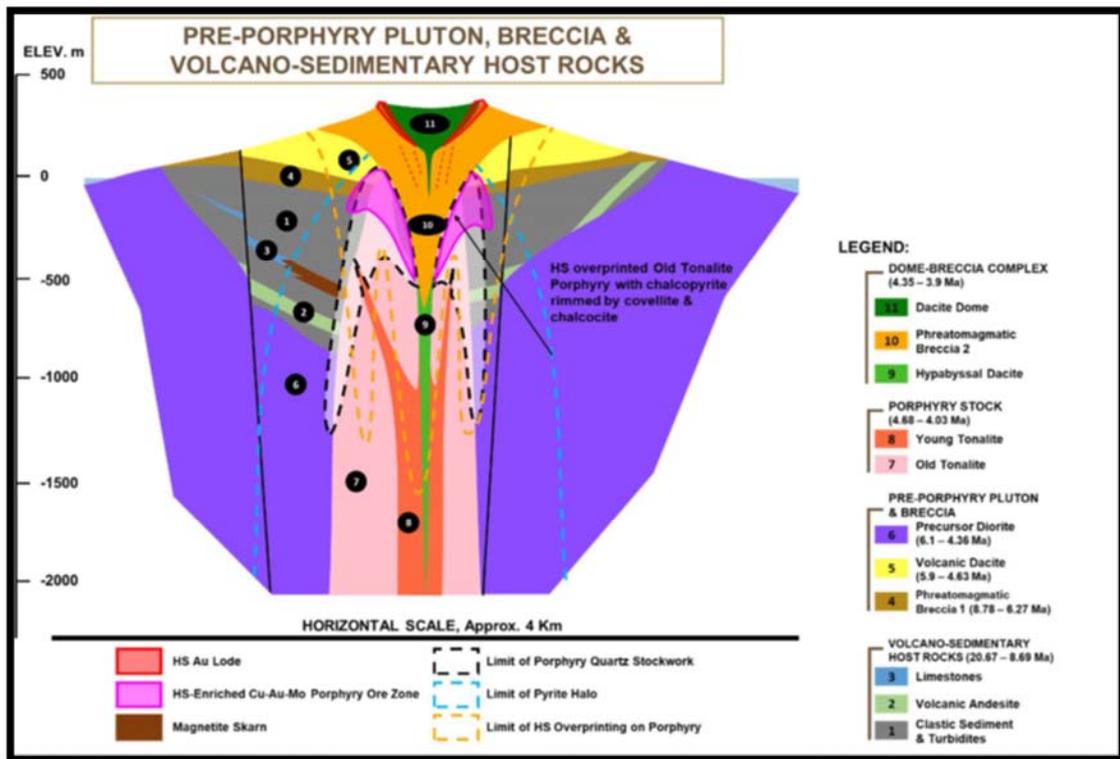
5.4 Kontrol Struktur Geologi Terhadap Mineralisasi

Struktur geologi yang terbentuk pada daerah penelitian merupakan faktor pendukung dalam pembentukan mineralisasi. Struktur geologi memberikan jalannya intrusi untuk menerobos batuan samping, dan memberikan ruang untuk larutan hidrotermal mengisi celah (open-space filling) dan membentuk alterasi dan presipitasi mineral mineral bijih.

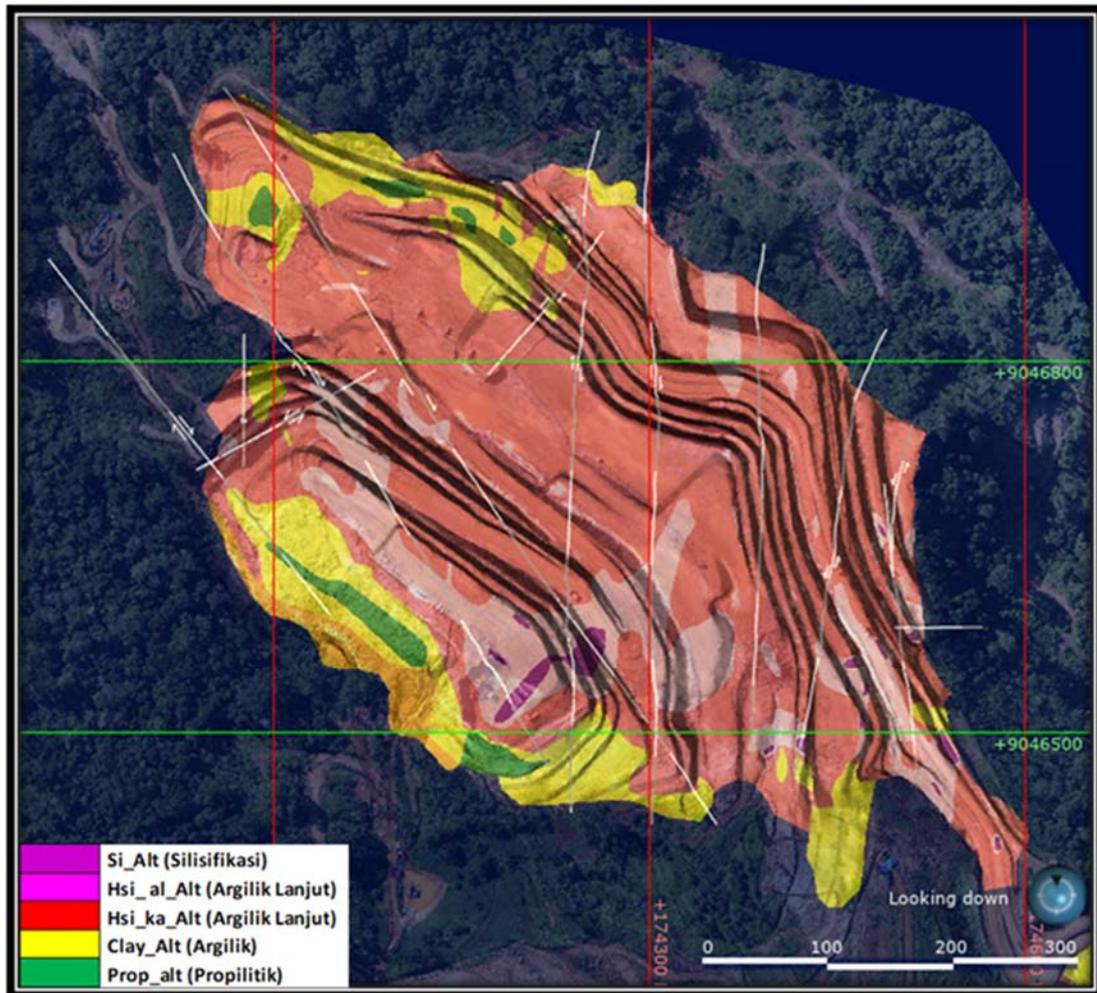
Mineralisasi pada daerah penelitian dikontrol oleh dua faktor yaitu faktor litologi dan struktur geologi. Litologi breksi pada satuan Breksi-freatomagmatik Tumpangpitu memiliki permeabilitas yang baik. Hal tersebut dikarenakan litologi breksi memiliki perbedaan ukuran fragmen dan matriks yang signifikan. Mineralisasi akan mudah untuk hadir pada matriks batuan breksi freatomagmatik, sehingga kehadiran breksi memiliki peran yang sangat penting untuk terjadinya mineralisasi. Kehadiran struktur geologi akan menambah nilai permeabilitas pada batuan karena dapat menjadi jalur permeabilitas yang baik sehingga fluida hidrothermal dapat masuk melalui celah batuan. Kehadiran tipe alterasi vugy masif silika ± alunit, silika ± alunit ± dickit, dan kaolin + dickit ± silika ± alunit pada litologi dasit dan breksi freatomagmatik menunjukkan bahwa litologi memiliki pengaruh terhadap alterasi. Hal tersebut menunjukkan di daerah penelitian terdapat faktor kontrol litologi. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian yang berupa kekar dan sesar memiliki hubungan erat dengan pembentukan zonasi tipe alterasi. Struktur geologi memiliki peran sebagai channel way atau zona lemah sebagai jalur untuk dapat dilalui fluida hidrothermal. Proses tersebut menyebabkan terjadinya proses alterasi.

Kontrol mineralisasi saat ini dari mineralisasi permukaan didaerah penelitian adalah

- Mineralisasi supergen hadir dalam bentuk emas bebas berbutir halus ($Au > 10\mu m$), elektum dan trace mineral telurida Au-Ag yang berasosiasi dengan mineral oksida Fe.
- PIT A: mineralisasi yang terjadi di sepanjang kontak antara Breksi Freatomagmatik (BXG2) dan Dasit Vulkanik serta mempunyai struktur berarah berarah relative ke arah utara, dan berarah Barat Laut-Tenggara.
- PIT C: mineralisasi yang terdapat pada Breksi Freatomagmatik (BXG2), Dasit Vulkanik, dan Kubah Dasit yang berpotongan dengan struktur berarah Barat Laut-Tenggara, dan struktur berarah Utara - Selatan.

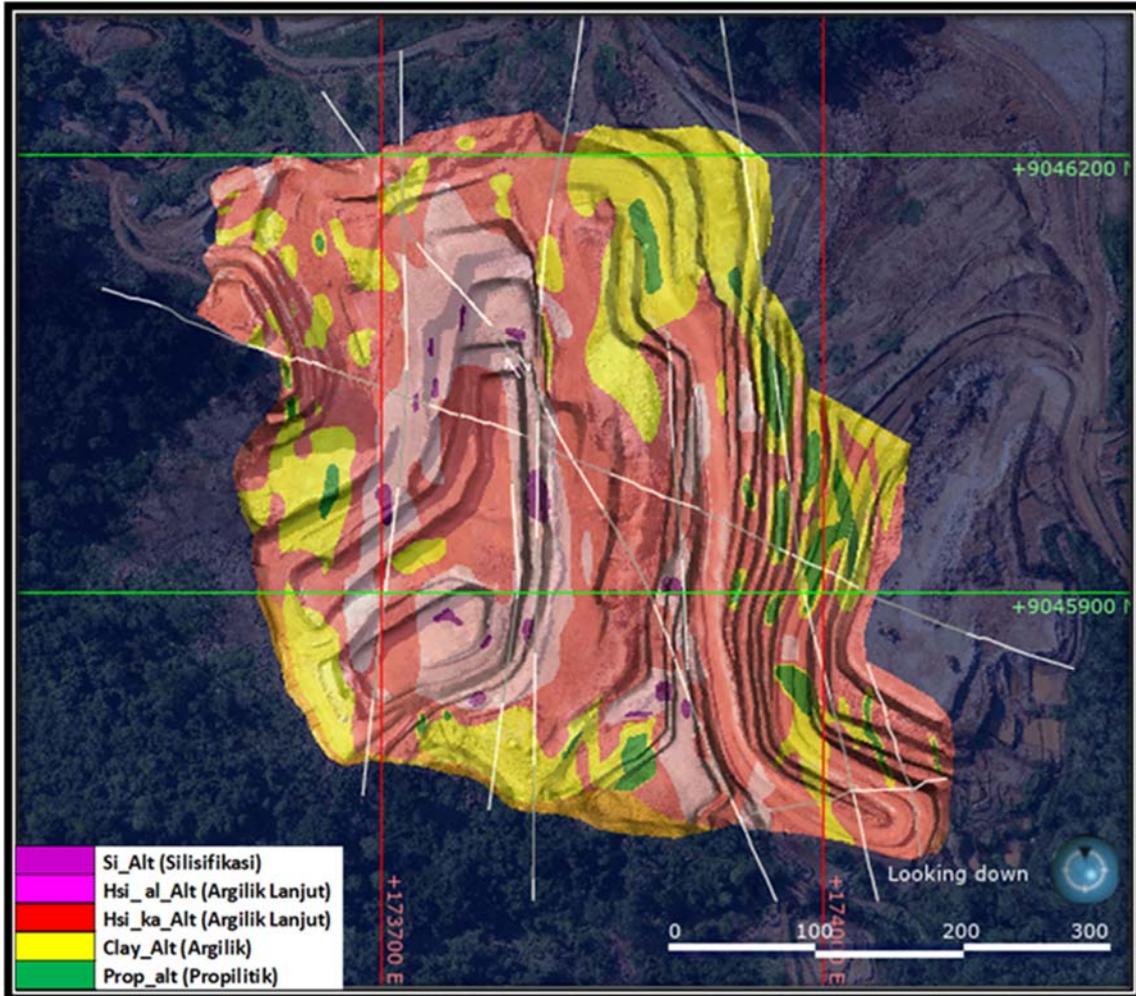


Gambar 5.8 Penampang Geology Tujuh Bukit (hafidz dkk, 2020)



Gambar 5.9 Penyebaran Alterasi dan Struktur Geologi Pit A

Pembagian zona alterasi pada daerah penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan intensitas alterasi yang terjadi di daerah penelitian. Tipe alterasi yang berdekatan dengan *channel way* akan memiliki intensitas yang sangat kuat dengan dicirikan dari tekstur batuan asal yang sangat sulit untuk diketahui, sedangkan tipe alterasi yang berada jauh dengan *channel way* akan memiliki intensitas yang sangat lemah sehingga tekstur batuan asal masih mudah untuk diidentifikasi. Terjadinya proses alterasi memiliki hubungan dengan struktur geologi. Alterasi pembawa mineralisasi pada daerah penelitian seperti tipe alterasi *vugy* masif silika ± alunit dan silika ± alunit ± dickit berkembang sangat baik pada lokasi yang dengan instensitas struktur geologi yang dominan.

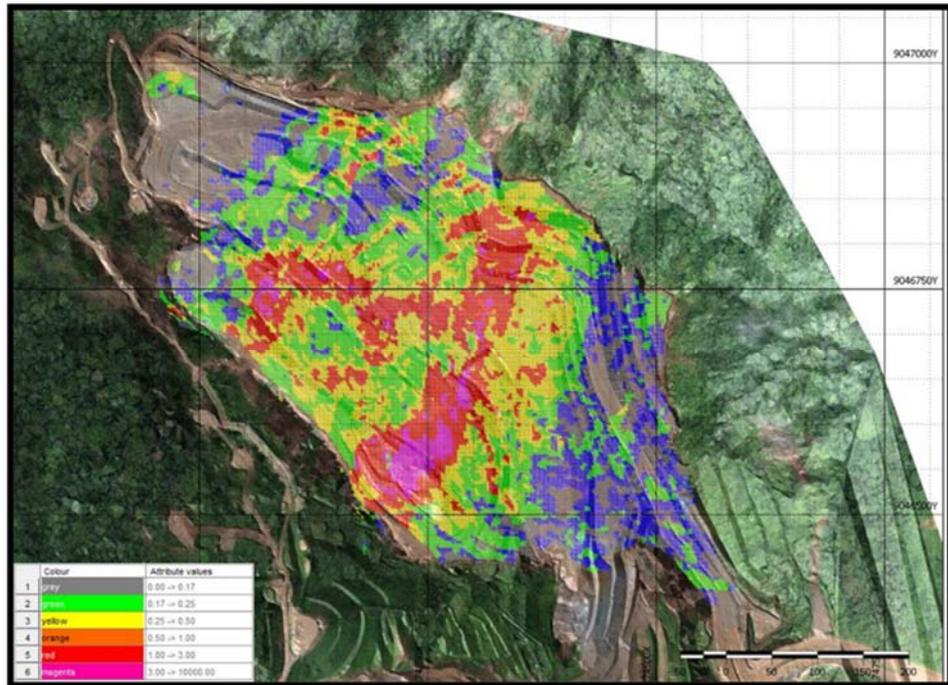


Gambar 5.10 Penyebaran Alterasi dan Struktur Geologi Pit C

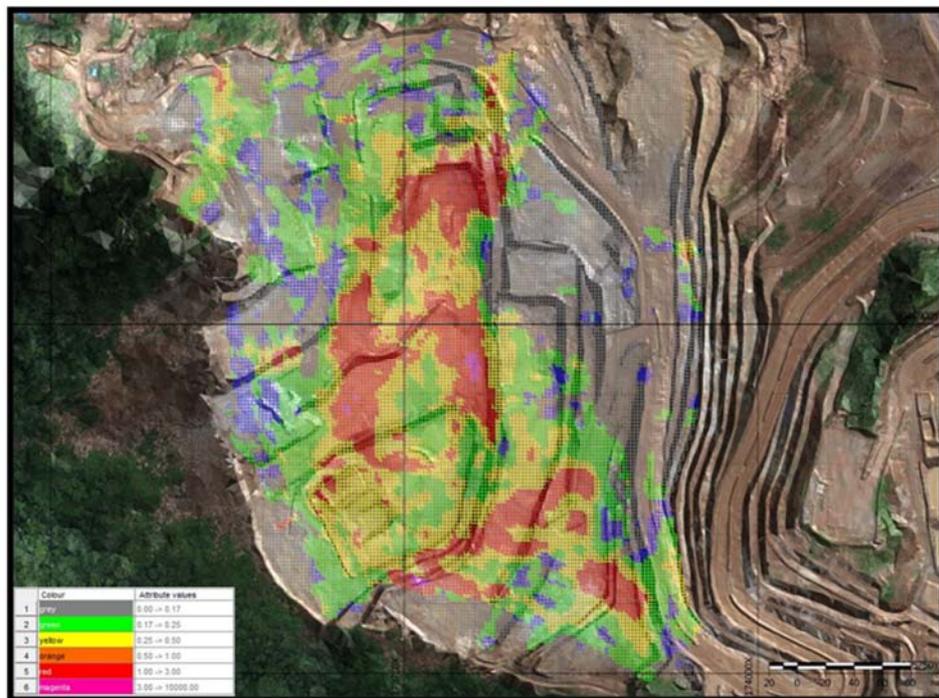
Zonasi alterasi yang berkembang di daerah penelitian dari bagian luar hingga bagian inti antara lain, zonasi argilik, zonasi argilik lanjut dan zonasi silisik. Zonasi tersebut apabila dihubungkan dengan model penampang (Hedenquist, 2000) sesuai dengan model penampang tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi.

Adanya pola struktur berkembang dengan baik membuat mineralisasi berkembang sangat baik di daerah penelitian, sehingga penyebaran distribusi Au mengikuti pola struktur dan alterasi di daerah penelitian. Ini dibuktikan dengan dari *model grade control* pit A dan pit C dapat dilihat arah penyebaran mengikuti arah struktur dan arah mineralisasi yang berkaitan dengan keberadaan breksi hidrothermal. Pola arah penyebaran Au di daerah penelitian relative ke arah utara – Selatan

dan timur laut - barat daya. Berdasarkan pola penyebaran mineralisasi dapat disimpulkan breksi hidrotermal sebagai pembawa mineral – mineral yang bernilai ekonomis.



Gambar 5.11 Penyebaran Grade Au Berdasarkan *Model Grade Control* Pada Pit A



Gambar 5.12 Penyebaran Grade Au Berdasarkan *Model Grade Control* Pada Pit C

5.5 Himpunan Mineral dan Geokimia Breksi Hidrothermal Pit A dan Pit C

Sifat kimia mineral ditunjukkan untuk mengetahui komposisi kimia mineral, meliputi unsur-unsur utama, unsur jejak dan unsur jarang (REE), sebagaimana yang juga menyusun bumi (dari inti bumi, mantel bumi dan kerak bumi). Komposisi kimia bumi juga dipengaruhi oleh faktor eksternal bumi, seperti jatuhnya meteorit, biokimia dan hidrokimia permukaan bumi. Di samping faktor-faktor tersebut, komposisi kimia mineral juga dipengaruhi oleh adanya perubahan volume, tekanan, energi, panas, daya, entropi dan suhu.

Energi adalah kapasitas dalam menghasilkan suatu perubahan. Sedangkan panas, atau energi termal, hasil dari pergerakan secara acak dari masing-masing molekul atau atom-atom dalam suatu sistem, disebut sebagai energi kinetik. Daya dan panas adalah dua bentuk utama dari energi tersebut. Sifat kimia mineral dipelajari melalui studi geokimia. Studi ini ditujukan untuk mengetahui sifat-sifat kimia yaitu komposisi unsur mayor (utama), jejak (trace elements), unsur jarang (rare earth elements/REE) selama proses kristalisasi, metamorfisme, ubahan atau alterasi dan pelapukan. Unsur-unsur utama yang menyusun mineral tersebut, dikenal sebagai oksida mayor. Oksida mayor penyusun mineral dalam batuan terdiri atas SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , MgO , TiO_2 , MnO , and P_2O_5 .

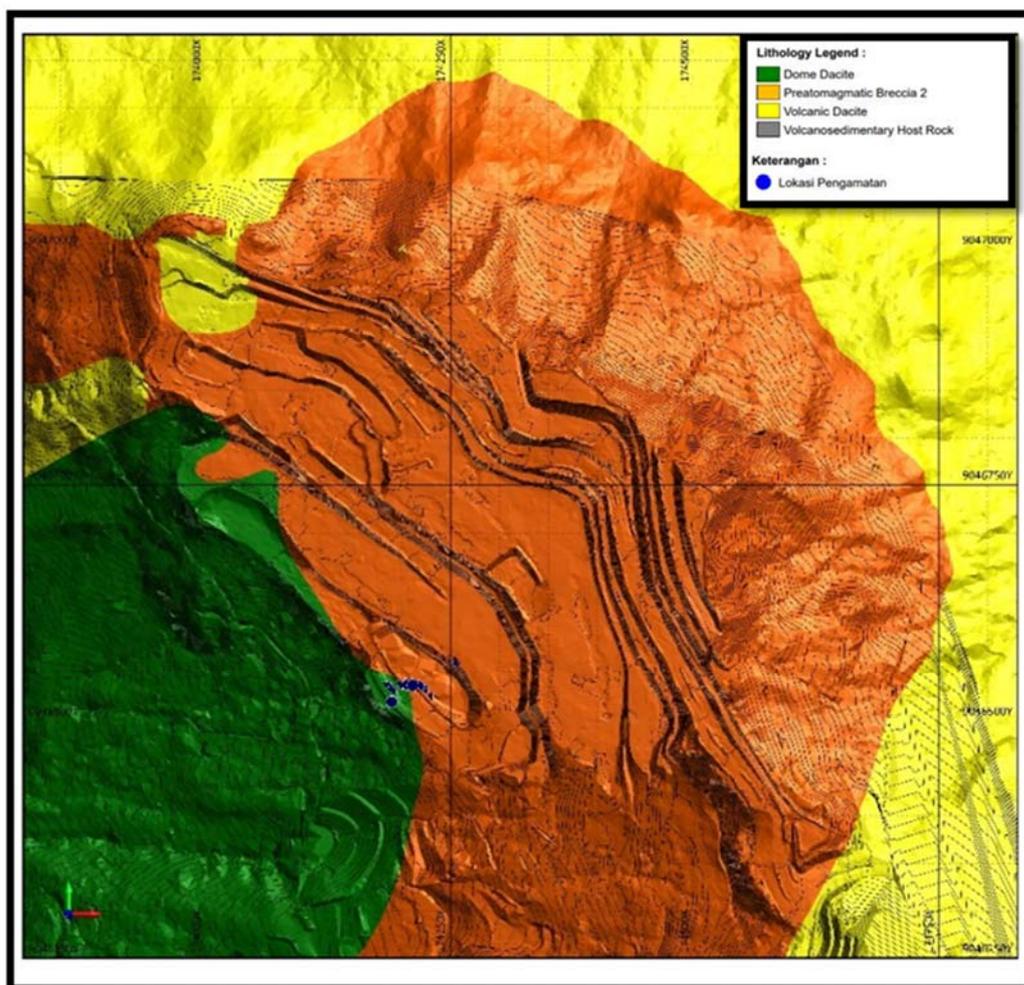
5.6 Analisa Geokimia

Pengambilan sample telah dilakukan di daerah penelitan, pengambilan sample dengan cara channel sampling dan grab sampling pada daerah titik yang diyakini merupakan penyebaran breksi hidrothermal pada daerah penelitian. Adapun sample diambil berjumlah 20 sample yang mana 10 sample batuan breksi hidrothermal dari pit A dan 10 sample batuan breksi hidrothermal dari pit C. Ada 5 analisa geokimia yang dilakukan pada sample tersebut yaitu Analisa *Fire Assay* dan *Aqua Reggia* untuk Au, *Four Acid Standard ICP-OES & MS* untuk unsur jejak (Trace Element) dan analisa XRF (X-ray Fluorescence) untuk Analisa Major Element dan Analisa XRD (X-Ray Diffraction) untuk mineral pada sample tersebut. Tujuan Analisa Geokimia pada breksi hidrothermal dilakukan untuk mendapatkan karakter unsur kimia batuan breksi hidrothermal baik dari pit A maupun pit C.

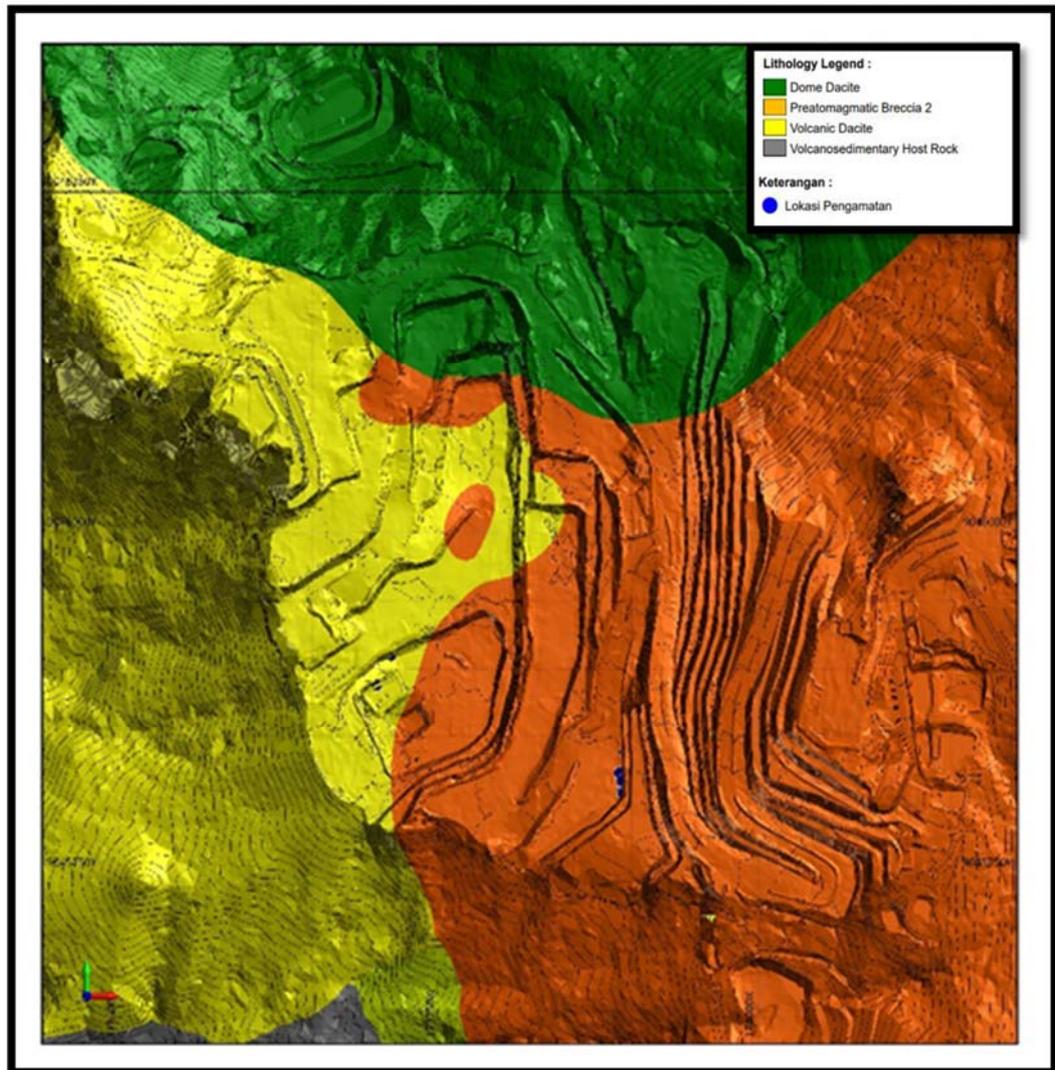
Analisis kimia dilakukan di Laboratorium Intertek Jakarta terhadap semua sample dengan beberapa metode meliputi :

- *Fire Assay* dan *Aqua Reggia* untuk analisis unsur Au.

- *Four Acid Standard ICP-OES & MS* untuk analisis unsur *Trace Element*
Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Sc, Ti, V, Zn, Ag, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cs, Ga, Ge, Hf, In, Li, Mo, Nb, Pb, Rb, Re, Sb, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Tl, U, W, Y, Zr.
- XRF untuk analisis unsur *Major Element* pada Breksi Hidrothermal meliputi :
Al₂O₃, CaO, Cr₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, MgO, MnO, Na₂O, P₂O₅, SiO₂, TiO₂, S, Total, LOI
Sedangkan untuk Analisa XRD di lakukan di laboratorium Brin Yogyakarta dan Geoservice Jakarta.



Gambar 5.13 Lintasan Pengambilan Sample Pit A



Gambar 5.14 Lintasan Pengambilan Sample Pit C

5.7 Analisa *Fire Assay* dan *Aqua Regia*

Sample *Fire Assay* dan *Aqua Regia* diambil dari channel Sample dan grab sample pada pit A (Gambar 5.13) dan pit C (Gambar 5.14) yang akan dianalisa AAS dengan metode *Fire Assay* dan *Aqua Regia*. Sample ini diambil dan dimasukkan kedalam kantong sample kemudian dianalisa di Laboratorium Intertek di Jakarta.

Dari hasil Analisa dihasilkan pada lokasi Pit A didapatkan perbandingan kandungan rata - rata Au metode *Fire Assay* 1.02 ppm lebih tinggi dari kandungan rata - rata Au metode *Aqua Regia* 0.99 ppm, sedangkan pada lokasi Pit C didapatkan perbandingan kandungan rata - rata Au

metode *Fire Assay* 1.13 ppm lebih tinggi dari kandungan rata - rata Au metode *Aqua Regia* 0.97 ppm.

Tabel 5.1 Hasil Analisa *Fire Assay* dan *Aqua Regia* Pit A dan Pit C

Fire Assay Pit A

Unsur	Satuan	LP01	LP02	LP03	LP04	LP05	LP06	LP07	LP08	LP09	LP10	Pit A
Au	ppm	0.773	1.13	1.54	0.95	1.43	1.48	0.92	0.74	0.48	0.83	

Aqua Regia Pit A

Unsur	Satuan	LP01	LP02	LP03	LP04	LP05	LP06	LP07	LP08	LP09	LP10	Pit A
Au	ppm	NA	1.11	1.43	0.91	1.33	1.39	0.82	0.65	0.46	0.81	

Fire Assay Pit C

Unsur	Satuan	LP11	LP12	LP13	LP14	LP15	LP16	LP17	LP18	LP19	LP20	Pit C
Au	ppm	1.09	0.49	0.46	0.26	0.92	0.21	2.7	1.65	1.75	1.79	

Aqua Regia Pit C

Unsur	Satuan	LP11	LP12	LP13	LP14	LP15	LP16	LP17	LP18	LP19	LP20	Pit C
Au	ppm	NA	0.42	0.4	0.21	0.84	0.18	2.52	1.51	1.71	NA	

5.8 Analisa ICP - OES & MS

Sampel ICP - OES & MS diambil dari channel sampel dan grab sampel bersamaan dengan sampel yang akan dianalisa *Fire Assay* dan *Aqua Regia*. Metode yang digunakan pada Analisa ICP – OES & MS yaitu *Four Acid Digestion*. Berdasarkan hasil Analisa ICP - OES & MS pada pit A (Tabel 5.2) dan pit C (Tabel 5.3) didapatkan kandungan rata - rata Ag pada Pit A sedikit lebih tinggi 34.76 ppm dari rata - rata kandungan Ag pada Pit C 34.74 ppm. Sedangkan pada kandungan rata - rata Cu pada pit A lebih tinggi 1475 ppm dari rata - rata kandungan Cu pada Pit C 880 ppm.

Tabel 5.2 Hasil Analisa ICP - OES & MS Pit A

Unsur	Satuan	LP01	LP02	LP03	LP04	LP05	LP06	LP07	LP08	LP09	LP10	Pit A
Al	ppm	6990	5130	7010	4940	5670	9290	4000	3660	3400	5440	
Ca	ppm	530	410	470	560	580	430	290	300	310	310	
Cr	ppm	586	200	139	184	114	230	171	188	231	325	
Cu	ppm	548	1240	1490	902	1330	4340	1350	1270	1100	1180	
Fe	ppm	10.3	20.4	26.6	21.6	24.6	21.6	24.1	23.9	20.4	20.6	
K	ppm	420	120	450	80	190	60	<20	<20	<20	90	

Mg	ppm	170	80	70	80	90	60	50	50	50	60
Mn	ppm	148	59	70	88	103	76	50	38	32	54
Na	ppm	90	60	60	60	50	40	60	70	70	50
Ni	ppm	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
P	ppm	170	270	970	290	330	390	240	200	170	260
S	ppm	1370	1250	3010	1340	1780	4360	1250	1260	1110	1250
Sc	ppm	4	1	1	1	1	1	1	<1	<1	1
Ti	ppm	2540	480	226	448	299	315	216	178	200	502
V	ppm	34	49	91	88	87	58	33	31	28	41
Zn	ppm	17	74	97	73	83	112	55	53	49	76
Ag	ppm	20.5	34.8	44.4	65.5	44.7	72.7	12.1	11.4	14.6	26.9
As	ppm	4710	3610	6240	6180	7130	4240	2600	2160	1540	2070
Ba	ppm	543	231	199	159	161	217	66	53	56	76
Be	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Bi	ppm	12.2	58.9	103	242	178	92.1	176	93.8	36.9	51.8
Cd	ppm	0.18	0.22	0.42	0.24	0.34	0.48	0.17	0.11	0.11	0.17
Co	ppm	1	2	2	3	3	3	1	1	<1	1
Cs	ppm	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ga	ppm	10.4	17.5	39.9	11.9	18.1	23.9	17.2	16.8	16.3	17.4
Ge	ppm	1.6	2.8	3	3.2	4	3.5	3.4	3.3	2.3	2.4
Hf	ppm	0.6	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1
In	ppm	0.23	0.61	1.97	0.55	1.21	0.68	1.06	0.82	0.48	0.8
Li	ppm	3.1	2.4	1.7	2	2	4.2	1.8	1.6	1.7	2.1
Mo	ppm	1	3.3	3.6	2.8	3	2	1.6	1.3	1.1	1.3
Nb	ppm	1.5	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2
Pb	ppm	1040	474	6720	1370	2030	669	238	166	136	565
Rb	ppm	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5
Re	ppm	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Sb	ppm	96.2	95.4	208	155	168	92.9	150	74.1	30.5	64.8
Se	ppm	3	10	14	12	12	8	10	6	3	6
Sn	ppm	50.5	24.2	21.1	32.7	68	14.2	70.3	42.1	24.1	19.9
Sr	ppm	206	168	313	169	166	228	79.4	67.5	68.6	121
Ta	ppm	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Te	ppm	65.6	20.8	29.5	39.8	26.1	8.6	9.2	6.6	2.5	6.2
Th	ppm	0.94	0.32	0.49	0.36	0.4	0.33	0.26	0.24	0.26	0.25
Tl	ppm	0.36	0.45	0.58	0.67	1.42	0.19	0.08	0.05	0.07	0.14
U	ppm	0.33	0.08	0.1	0.07	0.09	0.12	0.07	0.07	0.07	0.07
W	ppm	5.7	1.7	2	1.7	1.8	1.7	2.9	2	2.4	1.8
Y	ppm	4.1	3.4	4.6	1.8	2.6	4.2	2.4	1.9	1.5	2.5
Zr	ppm	18.8	3.2	3.6	3.4	4.7	3.7	2.9	2.7	19.2	3.7

Tabel 5.3 Hasil Analisa ICP - OES & MS Pit C

Unsur	Satuan	LP11	LP12	LP13	LP14	LP15	LP16	LP17	LP18	LP19	LP20	Pit C
Al	ppm	4980	4530	5370	3980	15900	17000	11600	9590	13200	10300	
Ca	ppm	170	340	190	330	1080	750	400	310	540	380	
Cr	ppm	53	273	216	701	588	212	348	372	446	259	
Cu	ppm	1150	1070	989	360	595	855	1200	875	1050	663	

Fe	ppm	28.3	27.7	25.7	11.5	16.1	19.2	26.2	22	20.2	16.7
K	ppm	70	170	110	270	1030	610	260	410	1010	520
Mg	ppm	70	90	50	100	110	130	220	170	210	140
Mn	ppm	50	80	152	60	78	63	96	32	47	48
Na	ppm	40	<20	<20	<20	<20	<20	<20	40	<20	140
Ni	ppm	<1	6	6	6	6	5	6	7	6	4
P	ppm	210	200	140	<50	850	400	190	260	480	260
S	ppm	1130	2280	2600	2920	5830	3090	2160	2390	5120	1840
Sc	ppm	2	1	1	1	3	2	3	3	3	3
Ti	ppm	233	962	653	2670	590	591	1590	2070	2160	2180
V	ppm	55	50	38	21	225	205	99	91	102	80
Zn	ppm	25	39	40	17	38	30	30	20	19	19
Ag	ppm	3.7	2.1	11.8	18.3	32.2	8.9	132	47.5	69	21.9
As	ppm	7100	2340	520	44	7750	6250	3780	3700	4680	2860
Ba	ppm	62	854	1490	647	>5000	1830	1500	1330	2080	334
Be	ppm	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Bi	ppm	13.4	14.3	6.57	0.9	14.5	5.35	16.3	14.9	19.8	6.61
Cd	ppm	0.08	0.11	<0.05	<0.05	0.54	0.33	0.13	0.15	0.33	0.09
Co	ppm	3	1	2	2	2	1	2	1	2	<1
Cs	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
Ga	ppm	26.7	9.1	12.1	3.5	79.8	67.9	34.7	32.9	38.1	30.4
Ge	ppm	1.8	3.6	4.8	2.4	1.9	3.3	3.9	3.2	3.5	3.5
Hf	ppm	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.5	0.4	0.6	0.5
In	ppm	0.79	0.34	0.58	0.33	1.8	1.9	1.31	0.42	0.82	0.44
Li	ppm	0.9	0.4	0.8	0.7	5.7	5.9	1.3	1.3	1.5	1.4
Mo	ppm	1.6	1.3	0.6	0.3	4.8	3.1	1.4	0.9	0.9	0.7
Nb	ppm	0.2	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5	1.2	1.4	2.1	1.3
Pb	ppm	180	94	39	23	1480	634	100	845	704	99
Rb	ppm	0.2	0.4	0.2	0.4	0.6	0.9	1.7	1.2	1.7	1.4
Re	ppm	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Sb	ppm	51.8	25.2	14.3	1.4	137	94.6	106	45.1	92.5	40.1
Se	ppm	7	34	12	1	6	6	4	11	12	4
Sn	ppm	64.2	2.6	6.4	1	22.4	24	219	40.6	119	48.3
Sr	ppm	125	225	239	59.1	1390	612	227	279	774	287
Ta	ppm	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	0.09	0.13	0.07
Te	ppm	12.3	11.5	3.5	0.4	32.1	9	18.7	11.3	27.1	7.3
Th	ppm	0.25	0.44	0.27	0.2	1.38	0.98	0.68	0.84	1.15	0.73
Tl	ppm	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	0.04	0.02	0.07	0.06	0.08	0.05
U	ppm	0.09	0.27	0.17	0.19	0.23	0.13	0.22	0.25	0.24	0.21
W	ppm	2.2	1.2	3.3	0.7	2.5	1.6	5	4.6	4.7	3.9
Y	ppm	9.5	1.1	0.6	0.5	9.6	7.6	2.8	2.6	3.5	2.8
Zr	ppm	4	6.2	6.8	4.5	7	7.2	15.5	15.8	19.1	15

Mineral Pengotor pada Breksi Hidrothermal pada daerah penelitian cukup signifikan, ini dapat berdasarkan Analisa ICP - OES & MS pada Pit A kandungan rata - rata As (Arsenic) 4048 ppm, Sb (Antimon) 113 ppm, Bi (Bismut) 104.7 ppm, Cd (Cadmium) 0.24 ppm, Pb (Timbal)

1340 ppm (Tabel 5.4) sedangkan pada pit C kandungan rata - rata As (Arsenic) 3092 ppm, Sb (Antimon) 60.8 ppm, Bi (Bismut) 11.23 ppm, Cd (cadmium) 0.22 ppm, Pb (Timbal) 419 ppm (Tabel 5.5).

Tabel 5.4 Mineral Pengotor Pada Breksi Hidrothermal Pit A

Unsur	Satuan	LP01	LP02	LP03	LP04	LP05	LP06	LP07	LP08	LP09	LP10	Pit A
As	ppm	4710	3610	6240	6180	7130	4240	2600	2160	1540	2070	
Sb	ppm	96.2	95.4	208	155	168	92.9	150	74.1	30.5	64.8	
Bi	ppm	12.2	58.9	103	242	178	92.1	176	93.8	36.9	51.8	
Cd	ppm	0.18	0.22	0.42	0.24	0.34	0.48	0.17	0.11	0.11	0.17	
Pb	ppm	1040	474	6720	1370	2030	669	238	166	136	565	

Tabel 5.5 Mineral Pengotor Pada Breksi Hidrothermal Pit C

Unsur	Satuan	LP11	LP12	LP13	LP14	LP15	LP16	LP17	LP18	LP19	LP20	Pit C
As	ppm	7100	2340	520	44	7750	6250	3780	3700	4680	2860	
Sb	ppm	51.8	25.2	14.3	1.4	137	94.6	106	45.1	92.5	40.1	
Bi	ppm	13.4	14.3	6.57	0.9	14.5	5.35	16.3	14.9	19.8	6.61	
Cd	ppm	0.08	0.11	<0.05	<0.05	0.54	0.33	0.13	0.15	0.33	0.09	
Pb	ppm	180	94	39	23	1480	634	100	845	704	99	

Selain itu berdasarkan Analisa ICP – OES & MS didapatkan mineral unsur tanah jarang di daerah penelitian pada Breksi Hidrothermal. Pada Pit A kandungan rata - rata Sc (Scandium) sekitar 1.37 ppm dan kandungan Y (Itrium) 2.9 ppm sedangkan pada Pit C kandungan rata - rata Sc (Scandium) 2.2 ppm dan Y (Itrium) 4.06 ppm

Tabel 5.6 Unsur Tanah Jarang Pada Breksi Hidrothermal Pit A

Unsur	Satuan	LP01	LP02	LP03	LP04	LP05	LP06	LP07	LP08	LP09	LP10	Pit A
Sc	ppm	4	1	1	1	1	1	1	<1	<1	1	
Y	ppm	4.1	3.4	4.6	1.8	2.6	4.2	2.4	1.9	1.5	2.5	

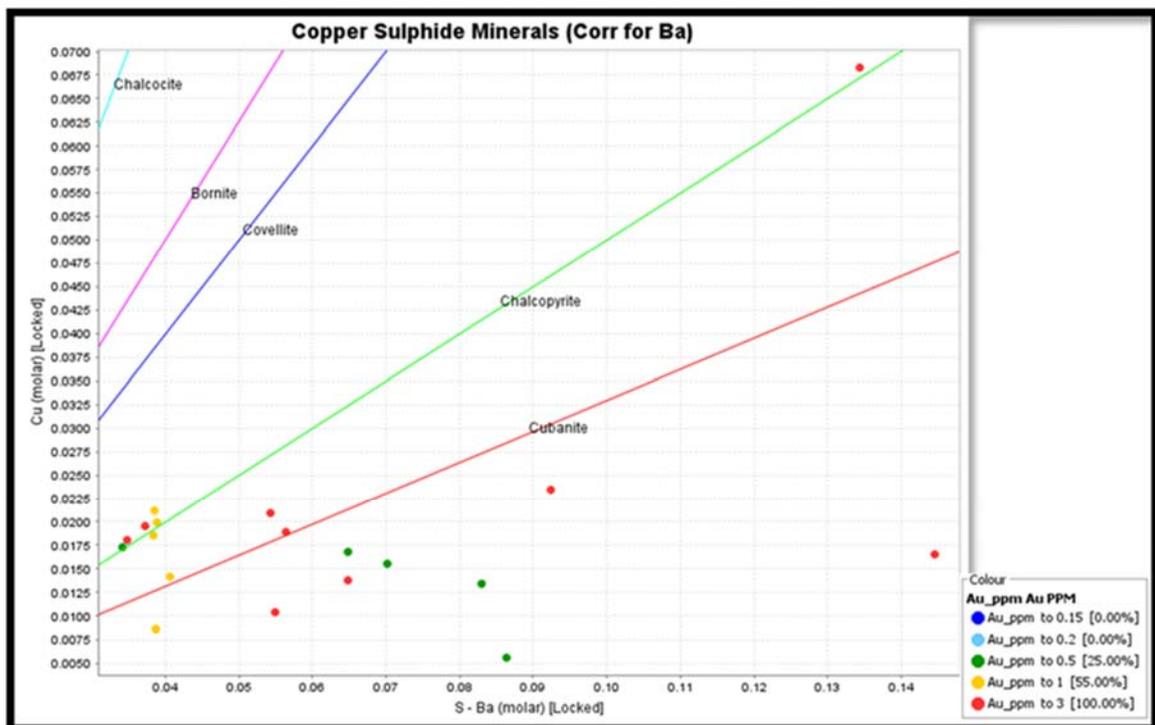
Tabel 5.7 Unsur Tanah Jarang Pada Breksi Hidrothermal Pit C

Unsur	Satuan	LP11	LP12	LP13	LP14	LP15	LP16	LP17	LP18	LP19	LP20	Pit C
Sc	ppm	2	1	1	1	3	2	3	3	3	3	
Y	ppm	9.5	1.1	0.6	0.5	9.6	7.6	2.8	2.6	3.5	2.8	

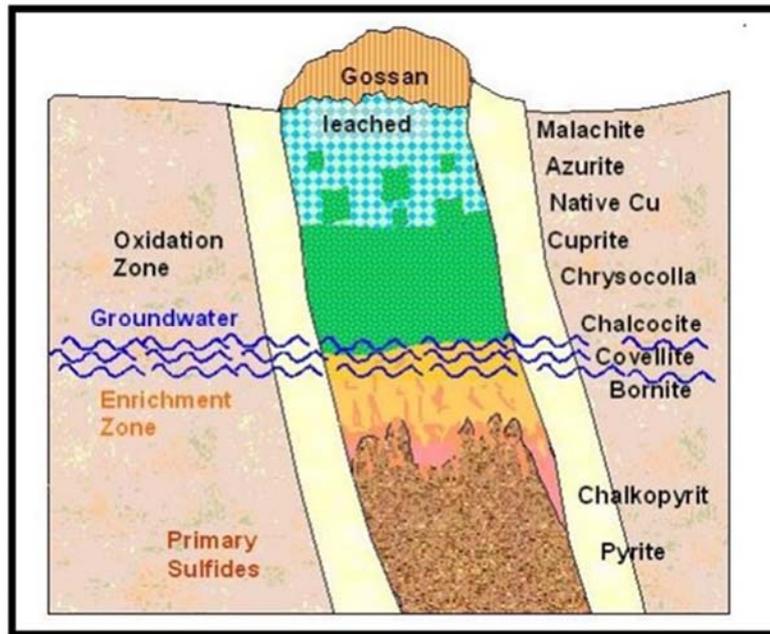
Berdasarkan hasil ICP - OES & MS peneliti juga mengamati kandungan Cu, S, Ba pada Breksi Hidrothermal pada pit A dan pit C. kemudian di plotkan ke dalam diagram *Copper Sulphide*

Minerals dan didapatkan mineral covellite , chalcopyrite dan cubanite (Gambar 5.15) pada daerah penelitian.

Pembentukan mineral Cu pada daerah penelitian diperkirakan berada pada enrichment zone dan berada pada ground water. Pembentukan kristalisasi mineral tersebut berkaitan dengan mekanisme sistem air permukaan dan air bawah permukaan sangat berhubungan dengan air bersalinitas atau tingkat keasaman yang tinggi.



Gambar 5.15 Plotting Kandungan Cu Terhadap S - Ba Dalam Diagram *Copper Sulphide Minerals* (Iogas, 2023).

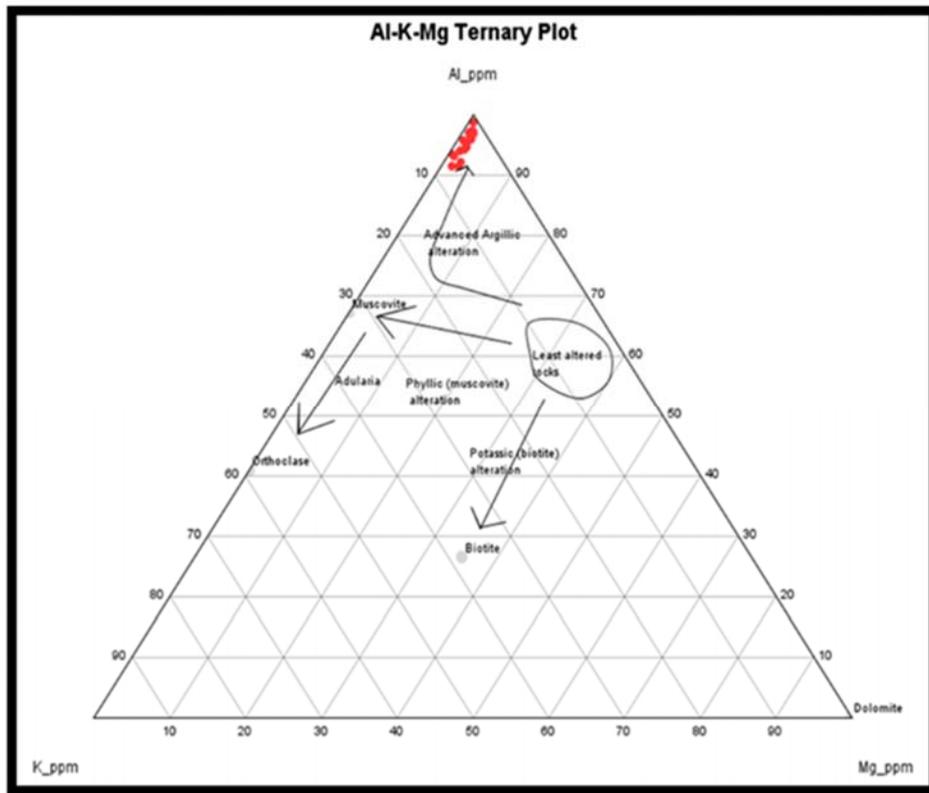


Gambar 5.16 Pembentukan Mineral-Mineral Hasil Pesipitasi Air Bawah Permukaan Yang Membentuk Mineral Kaya Cu di Bawah Zona Pencucian (Pernicka & Weisgerber 2001 dalam Ottaway, 2001)

Tabel 5.8 Sifat-Sifat Fisik Dari Beberapa Mineral Sulfida Yang Sering dijumpai di Alam

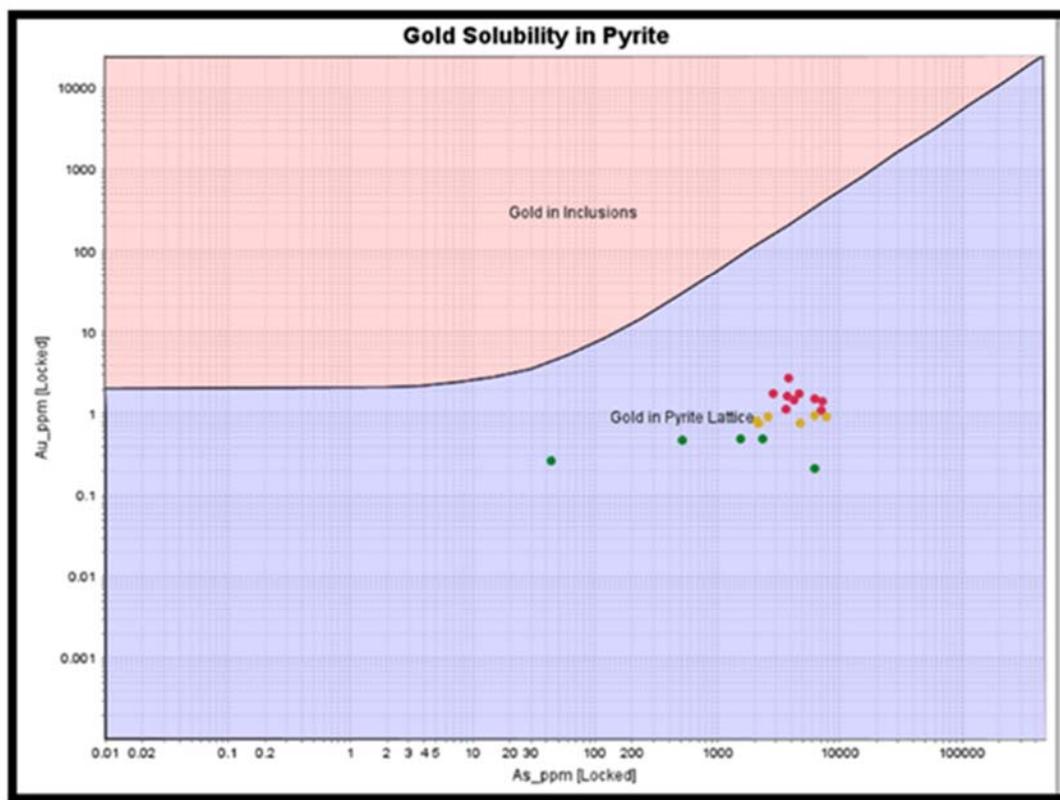
Nama	Warna	Kilap	Kekerasan Mohs	Berat jenis	Perawakan	Pecahan dan belahan	Indeks bias	Sistem kristal
Covellit	Biru nila; warna-warni; kekuningan, merah tua	Kristal: submetalik - resin; masif: subresindull	1 1/2 - 2	4,6-4,8	Masif jarang dalam bentuk kristal heksagonal	Belahan searah sangat sempurna	Anisotropik kuat	Heksagonal
Kalkopirit	Kekuningan, biasanya noda warnawarni	Metalik	3 1/2 - 4	4,1-4,3	Masif kompak kristal tetragonal	Pecahan tidak ada	Anisotropik lemah; sering menunjukkan kembaran lamellar dan polisintetik	Tetragonal
Cubanit	Kekuningan atau kuning perunggu	Metalik	3 1/2	4,0-4,2	Kristal tabular tebal, masif	Pecahan konkoidal	Anisotropik	Ortorombik

Peneliti juga mengamati kandungan unsur nilai K (Kalium), Al (Aluminium) dan Mg (Magnesium) Pada Breksi Hidrothermal daerah penelitian, kemudian juga dilakukan plot untuk unsur – unsur tersebut. berdasarkan hasil geokima pada Al-K-Mg Ternary Plot, dan didapatkan bahwa Breksi Hidrothermal termasuk kedalam alterasi *Advance Argilic* menurut Corbett (Gambar 5.17)



Gambar 5.17 Diagram Perubahan Relatif Mineralogi Berdasarkan Nilai Al-K-Mg (Cobertt, 1997).

Dari hasil Analisa *Fire Assay* dan ICP - EOS & MS terhadap kandungan Au dan As pada Pit A dan Pit C, peneliti juga melakukan plot diagram menurut Reich dkk (2005). Pada diagram tersebut didapatkan bahwa mineral Au pada daerah penelitian berasosiasi pada mineral pyrite (Gambar 5.18). Mineral pyrite merupakan salah satu jenis mineral berat serta konduktif. Kehadiran mineral ini didalam batuan menyebabkan harga resisitivity batuan menjadi rendah dan di daerah penelitian pyrite terbentuk bersamaan mineralisasi yang berkembang pada daerah penelitian. Adanya pyrite berasosiasi dengan Au akan berdampak pada *recovery gold* pada batuan Breksi Hidrothermal pada daerah penelitian.



Gambar 5.18 Diagram Au vs As *Gold Solubilty In Pyrite* Pada Daerah Penelitian (Reich dkk, 2005).

5.9 Analisa XRF (X-ray Fluorescence)

Sampel XRF diambil dari channel sampel dan grab sampel bersamaan dengan sampel yang akan dianalisa dengan metode lainnya. Berdasarkan hasil analisa XRF pada pit A (Tabel 5.9) dan pit C (Tabel 5.10) didapatkan kandungan rata - rata LOI (Loss On Ignation) pada Pit A dan Pit C lebih besar 2.5%, ini dapat disimpulkan bahwa breksi hidrothermal pada Pit A dan Pit C telah mengalami alterasi kuat.

Tabel 5.9 Hasil Analisa XRF pada Pit A

Unsur	Satuan	LP01	LP02	LP03	LP04	LP05	LP06	LP07	LP08	LP09	LP10	Pit A
Al ₂ O ₃	%	1.34	0.95	1.34	0.9	1.01	1.78	0.74	0.63	0.61	1.03	
CaO	%	0.08	0.05	0.06	0.07	0.07	0.05	0.03	0.03	0.03	0.04	
Cr ₂ O ₃	%	0.09	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.05	
Fe ₂ O ₃	%	14.53	29.92	39.39	31.33	35.09	32.46	35.62	33.74	29.98	29.97	

K ₂ O	%	0.05	0.02	0.06	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
MgO	%	0.2	0.12	0.31	0.24	0.29	0.17	0.09	0.06	0.05	0.08
MnO	%	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Na ₂ O	%	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
P ₂ O ₅	%	0.042	0.063	0.23	0.065	0.072	0.092	0.055	0.044	0.036	0.061
SiO ₂	%	80.13	62.61	49.45	60.41	55.55	58.04	56.51	58.82	63.24	62.8
TiO ₂	%	0.44	0.52	0.47	0.48	0.49	0.45	0.5	0.47	0.53	0.5
Total	%	99.7	99.4	98.7	98.9	98.7	99.4	99.3	99.4	99.4	99.5
LOI	%	2.63	4.94	7.05	5.22	5.85	5.82	5.58	5.42	4.81	4.86

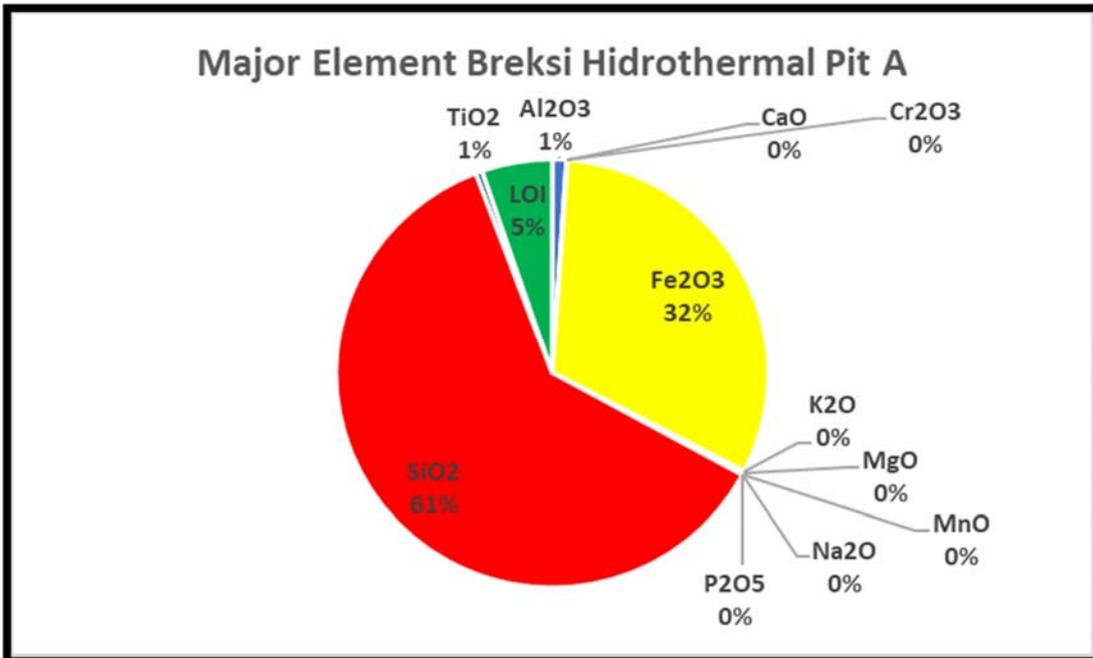
Tabel 5.10 Hasil Analisa XRF pada Pit C

Unsur	Satuan	LP11	LP12	LP13	LP14	LP15	LP16	LP17	LP18	LP19	LP20	Pit C
Al ₂ O ₃	%	0.93	0.87	1.02	0.69	2.95	3.23	2.13	1.82	2.7	2	
CaO	%	0.02	0.04	0.02	0.04	0.15	0.1	0.04	0.05	0.07	0.05	
Cr ₂ O ₃	%	0.01	0.04	0.03	0.1	0.08	0.03	0.04	0.07	0.07	0.04	
Fe ₂ O ₃	%	41.47	40.1	37.69	16.31	21.97	27.43	36.89	33.37	29.43	24.81	
K ₂ O	%	0.01	0.03	0.02	0.04	0.13	0.09	0.04	0.06	0.14	0.07	
MgO	%	0.28	0.08	0.01	0.01	0.3	0.24	0.16	0.15	0.25	0.11	
MnO	%	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Na ₂ O	%	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
P ₂ O ₅	%	0.049	0.053	0.033	0.007	0.215	0.099	0.047	0.063	0.124	0.065	
SiO ₂	%	51.17	51.14	54.6	80.38	66.37	61.86	54.34	58.1	60.75	68.2	
TiO ₂	%	0.25	0.6	0.75	0.48	0.73	0.58	0.38	0.5	0.54	0.48	
Total	%	99.4	99.5	99.4	100	98.6	99.1	99.1	99	99.6	99.7	
LOI	%	5.05	6.28	5	1.81	5.1	5.13	4.8	4.55	4.96	3.66	

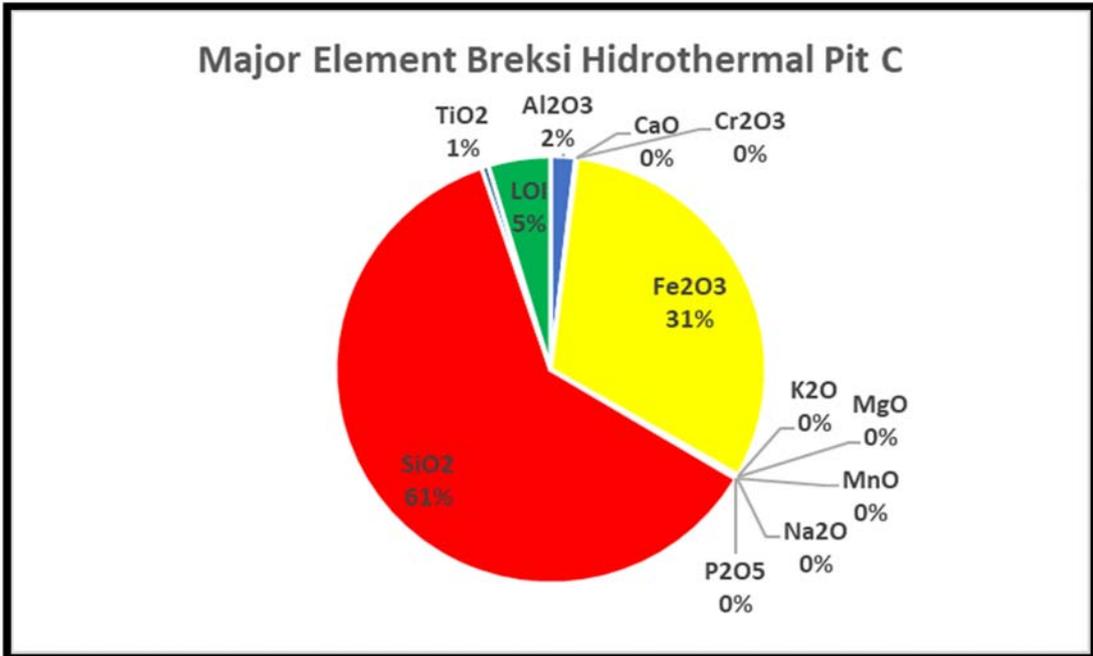
Pada Analisa XRF pada pit A (Tabel 5.9) dan Pit C (Tabel 510) didapatkan kandungan rata – rata SiO₂ sebesar 61%, yang mana hasil tersebut menunjukkan batuan breksi hidrothermal pada Pit A dan Pit C bersifat asam.

Adapun penyebaran kandungan major element Breksi Hidrothermal pada pit A (Gambar 5.19) adalah SiO₂ 61%, Fe₂O₃ 32%, LOI 5%, Al₂O₃ 1%, TiO₂ 1 % dan sisa kandungan unsur-unsur lainnya baik P₂O₅, Na₂O, K₂O, MgO, MnO yang mana kurang dari 1 % untuk unsur tersebut.

Sedangkan pada penyebaran kandungan major element Breksi Hidrothermal pada pit C (Gambar 5.20) adalah SiO₂ 61%, Fe₂O₃ 31%, LOI 5%, Al₂O₃ 2%, TiO₂ 1% dan sisa kandungan unsur – unsur lainnya baik P₂O₅, Na₂O, K₂O, MgO, MnO yang mana kurang dari 1% untuk unsur tersebut.

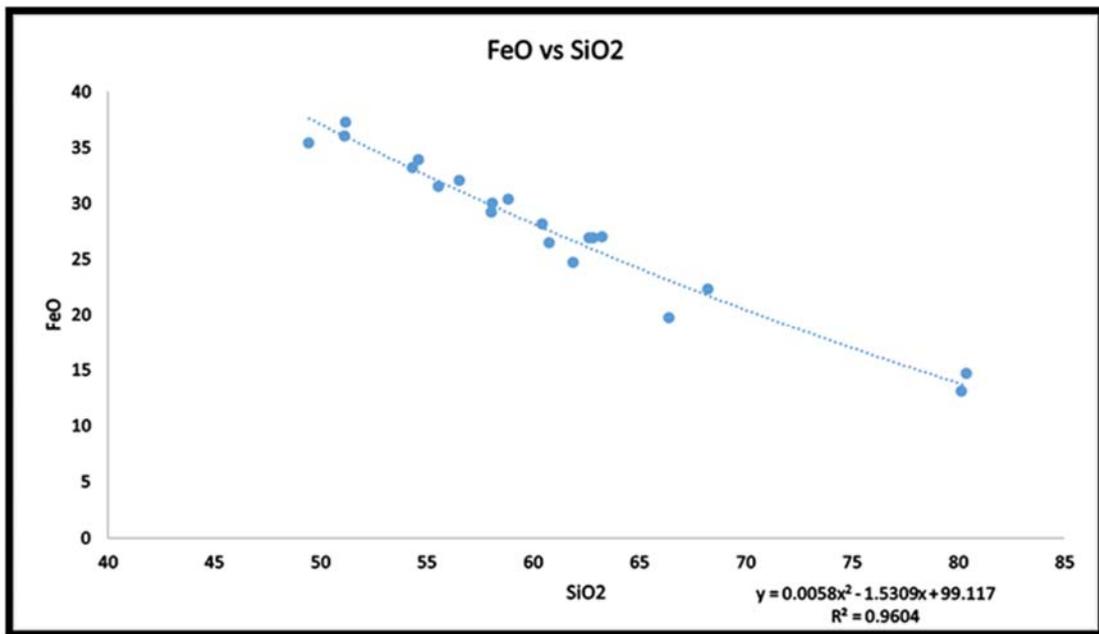


Gambar 5.19 Diagram Sebaran Kandungan *Major Element* Breksi Hidrothermal Pit A.



Gambar 5.20 Diagram Sebaran Kandungan *Major Element* Breksi Hidrothermal Pit C.

Peneliti juga mengamati kandungan FeO dan SiO₂ berdasarkan analisa XRF pada breksi hidrothermal pada daerah penelitian, dan diplotkan kedalam diagram FeO vs SiO₂ (Gambar 5.21), berdasarkan diagram tersebut breksi hidrothermal telah mengalami oksida yang signifikan. Ini dapat dilihat juga dengan rata-rata kandungan FeO pada pit A dan Pit C sekitar 15-38 ppm pada breksi hidrothermal.



Gambar 5.21 Diagram FeO vs SiO₂ Pada Breksi Hidrothermal Daerah Penelitian.

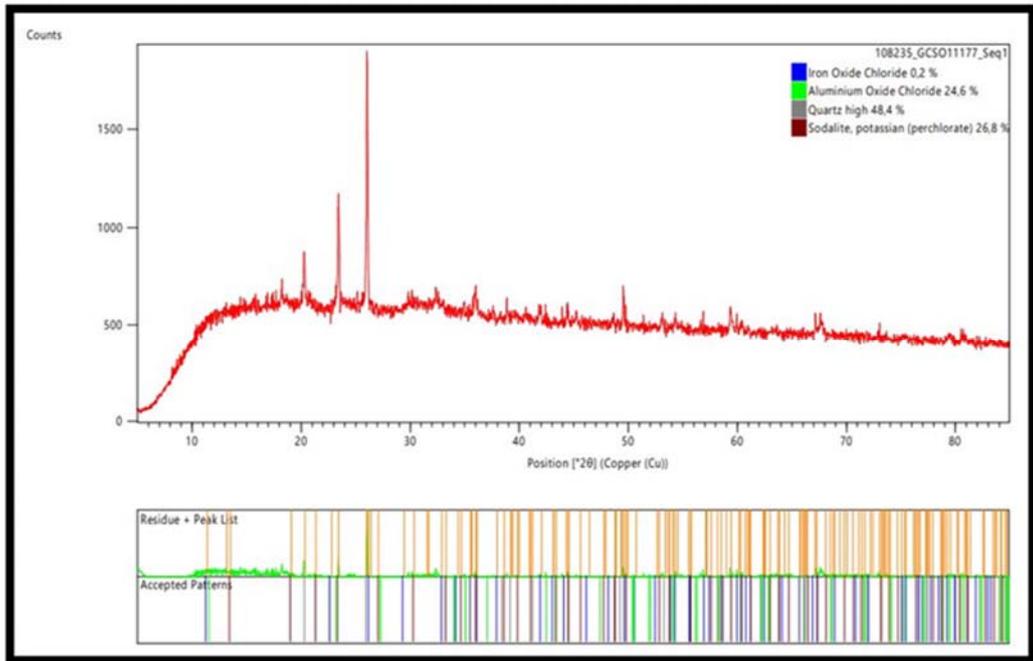


Gambar 5.22 Penampakan Breksi Hidrothermal Daerah Penelitian.

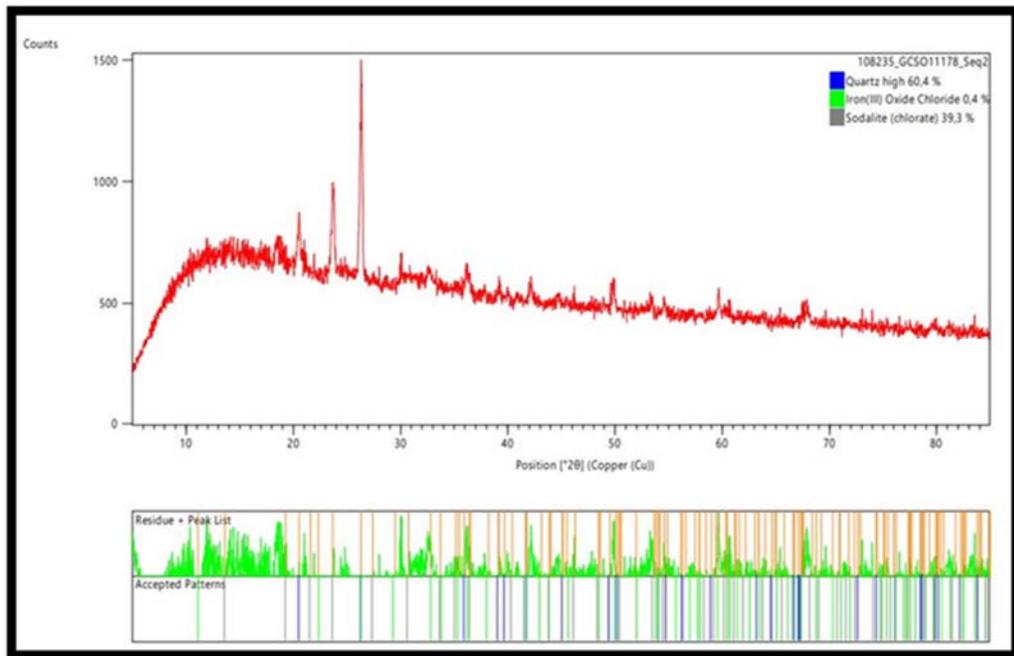
5.10 Analisa XRD (X-Ray Diffraction)

Pada Breksi Hidrothermal daerah penelitian juga dilakukan analisa XRD untuk identifikasi keberadaan atau kandungan bahan oksida yang diharapkan (SiO_2) sebagai bahan dasar untuk penelitian selanjutnya. Dari hasil pengujian 2 sample didaerah penelitan yaitu sample GCS011177 dari pit A didapatkan komposisi iron oxide chloride 0.2%, *aluminium oxide chloride* (AlClO) 24.6%, *quartz high* 48.4% dan sodalite potassian (perchlorate) 26.8% sedangkan sample GCS011178 dari pit C didapatkan komposisi quartz high 60.4%, *iron oxide chloride* 0.4% dan sodalite (chloride) 39.3%.

Adanya kandungan *quartz high* pada kedua sampel tersebut menandakan tingginya kandungan silika pada breksi hidrothermal daerah penelitian. Kemudian Adanya *aluminium oxide* yang tinggi pada sample GCS011177 dari pit A menandakan adanya tambahan unsur Al (Aluminium).

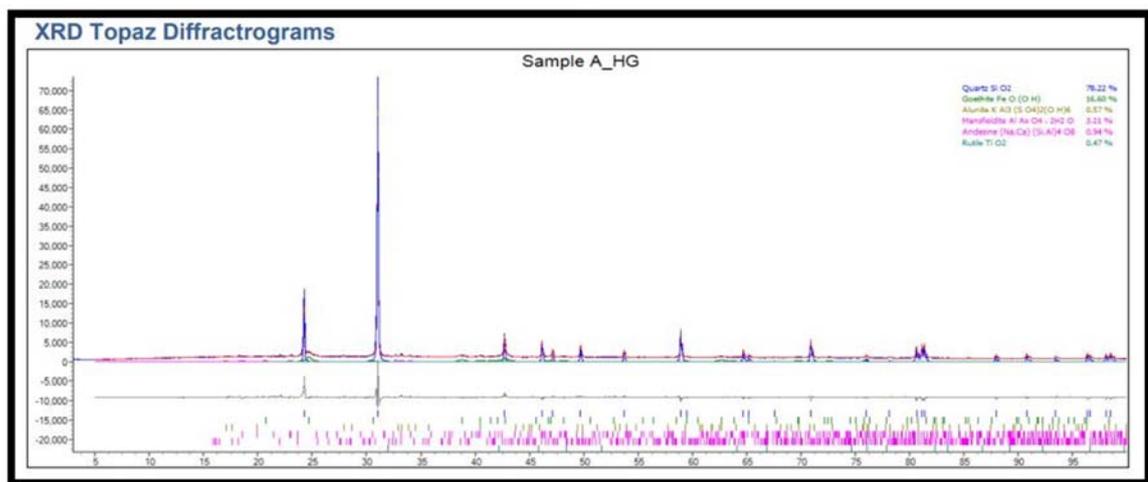


Gambar 5.23 Hasil XRD Breksi Hydrothermal Pit A (Brin, 2023).



Gambar 5.24 Hasil XRD Breksi Hydrothermal Pit C (Brin, 2023).

Adanya mineral Arsenic yang cukup tinggi pada daerah penelitian berdasarkan hasil ICP – EOS & MS, maka peneliti mencoba untuk menganalisa mineral Arsenic pada Pit A. Sample dikirim ke Laboratorium Geoservice Jakarta untuk dianalisa XRD. Dari hasil analisa XRD tersebut didapatkan berupa didominasi oleh *silicate mineral dominan quartz*, dan *minor Plagioclase* (Andesine) dan diikuti Mineral - mineral *Fe-Hydroxides* (Goethite), dan *Arsenates Minerals* (Mansfieldite), dengan sedikit *Sulfates Minerals* (Alunite), dan *Ti-Oxides* (Rutile). Mineral Arsenic terindikasi sebagai Mansfieldite. dimana mineral *Mansfieldite* $Al As O_4 \cdot 2H_2 O$ sebesar 3.21% dimana unsur arsenic cukup tinggi pada sample tersebut (Gambar 5.25).



Gambar 5.25 Hasil XRD Mineral Arsenik Pada Daerah Penelitian di Pit A (Geoservice, 2023).

BAB 6 KESIMPULAN

- Karakteristik fluida hidrotermal pembawa mineralisasi daerah tujuh bukit merupakan fluida yang berasal dari epitermal sulfidasi tinggi berdasarkan data perhitungan mikrotermometrik dan salinitas yang rendah yaitu 2.16 sampai 4.52 wt% NaCl equivalent.
- Penyebaran arah breksi hidrothermal pada daerah penelitian mengikuti arah struktur yang berkembang yang relative ke utara – Selatan dan timur laut – Barat daya.
- Adanya kandungan As (Arsenic) yang cukup tinggi pada breksi hidrothermal di daerah penelitian dan juga Hasil XRD menunjukkan mineral *Arsenic* tersebut berupa mineral *Mansfieldite*.
- Adanya Kandungan unsur mineral tanah jarang Sc (Scandium) sekitar 1–4 ppm dan Unsur mineral tanah jarang Y (Iltrium) sekitar 0.5–9.5 ppm pada Breksi Hidrothermal di daerah penelitian.
- Adanya kandungan Mineral pengotor As (Arsenic) sekitar 44–7750 ppm, Sb (Antimon) sekitar 1.4–208 ppm, Bi (Bismut) sekitar 0.9–242 ppm, Cd (cadmium) sekitar 0.01–0.48 ppm dan Pb (Timbal) sekitar 23–6720 ppm pada breksi hidrothermal di daerah penelitian.
- Mineral Cu pada Breksi Hidrothermal di daerah peneltian berdasarkan diagram *Copper Sulphide Minerals* didapatkan covellite, chalcopyrite dan cubanite.
- Kandungan SiO₂ pada breksi hidrothermal di daerah penelitian sekitar 61%.
- Berdasarkan analisa geokima pada breksi hidrothermal didapatkan kandungan FeO cukup signifikasi sehingga breksi hidrothermal mengalami fase oksidasi kuat.
- Breksi hidrothermal pada daerah penelitian termasuk ke dalam breksi injeksi magmatik.

DAFTAR PUSTAKA

- Achdan dan Bachri. 1993. *Peta Geologi Lembar Blambangan, Jawa Timur*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Baker, E.M., Kirwin, D.J., Taylor, R.G., 1986, *Hydrothermal Breccia Pipes*, Geology Department., James Cook University of North Queensland.
- Barton, C.D. dan Karathanasis A.D. 2002. *Clay Minerals*. Encyclopedia of Soil Science.
- Bemmelen, R.W. Van. 1949. *The Geology of Indonesia*. Amsterdam : Vol. 1 A. Government Printing Office. The Hauge.
- Bias, J.L., 2018. *Geologi Dan Studi Alterasi Di Pit B East, Pit B West Dan Pit E Daerah Tumpangpitu, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur: Skripsi* (Tidak dipublikasikan).
- Browne, P.R.L. 1991. *Hydrothermal Alteration and Geothermal Systems*. New Zealand :Geology Lecture Course, University of Auckland.
- Buchanan, L.J. 1981. *Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest, Relations of Tectonics to Ore Deposits in the Southern Cordillera*: Arizona Geological Society Digest, v. 14.
- Carlile dan Mitchell. 1994. *Magmatic Arcs and Associated Gold and Copper Mineralization in Indonesia*. Journal of Geochemical Exploration 50 (1-3) : 91-142.
- Corbett, G.J. dan Leach T.M. 1997. *Southwest Pacific Rim Gold-copper Systems : Structure, Alteration, and Mineralization*. Townville : A Workshop Presented for the Society of Exploration Geochemists.
- Corbett, G.J. 2002. *Epithermal Gold For Explorationists*. Australia : AIG Journal-Applied Geoscientific Practice and Research.
- Davies, A.G.S., 2008, *Diatreme breccias at the Kelian gold mine, Kalimantan, Indonesia: Precursors to epithermal gold mineralization*: Economic Geology, v.103, p. 689-716.
- Guilbert, J.M. dan Park C.F.Jr. 1986. *The Geology of Ore Deposits*. New York : W.H. Freeman and Company.
- Hadyan, D. 2019. *Geologi, Alterasi Dan Kontrol Struktur Geologi Terhadap Prospeksi Mineralisasi Au, Cu Dan Ag Di Pit B East Dan Pit B West, PT BumiSuksesindo, Tujuh Bukit, Banyuwangi, Jawa Timur: Skripsi* (Tidak dipublikasikan).
- Hall, R., Clements, B., & Smyth, H. R. (2009). *Sundaland : Basement Character, Structure and Plate Tectonic Development*. Indonesian Petroleum Association. 33. Jakarta: Indonesian Petroleum Association

- Harrison, R.L., Maryono, A., Norris, M.S., Rohrlach, B.D., Cooke, D.R., Thompson, J.M., Creaser, R.A., and Thiede, D.S., 2017, *Geochronology of the Tumpangpitu porphyry gold-copper-molybdenum and high-sulfidation epithermal gold-silver-copper deposit - Evidence for pre and post-mineralization diatremes in the Tujuh Bukit district, Southeast Java, Indonesia*: Economic Geology (in press).
- Hedenquist, J.W. et al. 1997. *Evolution of an Intrusion-Centered Hydrothermal System: Far Southeast-Lepanto Porphyry and Epithermal Cu-Au Deposits, Philippin*. Economic Geology, v. 93, pp. 373-404.
- Hedenquist, J.W. et al. 2000. *Exploration for Epithermal Gold Deposit*. SEG Reviews Vol. 13, 2000, p. 245-277.
- Kretz, R. 1983. *Symbols for rock-forming minerals*. Am. Mineral., 68, 277 - 279.
- Moody, J.D., dan Hill, M.J. 1956. *Wrench Fault Tectonics*. Bulletin of the Geological Society of America.
- Morrison, K. 1996. *Magmatic-related Hydrothermal System*. Australia : Short Course Manual.
- Pirajno, F. 1992. *Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris.
- Pirajno. 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*: Springer Science + Business Media B.V. 2009.
- Pulunggono dan Martodjojo, S. 1994. *Perubahan Tektonik Paleogene – Neogene Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa*. Yogyakarta : Proceeding Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa, Percetakan NAFIRI.
- Rickard, M.J., 1972. *Fault classification – discussion*. Geological Society of America Bulletin, v.83, p.2545-2546.
- Rohrlach, Bruce. 2011. *The Geology of the Tujuh Bukit Copper-Gold Project East Java, Indonesia*. Intrepid Mines Ltd (SMEDG16 June 2011).
- Schmid, R. 1981. *Descriptive Nomenclature and Classification of Pyroclastic Deposits and Fragments: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. The Geological Society of America. Boulder. Vol. 9, 41-43.
- Sillitoe, Richard. M., 1985, *Ore Related Breccia in Volcanoplutonic Arcs*, Economic Geology., Vol 80., hal 1467-1514
- Sillitoe, R.H. et al. 2003. *Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits*. Society of Economic Geologist Special Publication 10, 2003, p. 315-343.

- Sutarto. 2001. "*Buku Petunjuk Praktikum Endapan Mineral*" Edisi 2, Laboratorium Endapan Mineral, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Sutarto, Idrus, A., Putranto, S., Harijoko, A., Setijadji, L.D., Meyer, F.M., and Danny, R. 2015. *Veins And Hydrothermal Breccias Of The Randu Kuning Porphyry Cu-Au And Epithermal Au Deposits At Selogiri Area, Central Java Indonesia*. *J. SE Asian Appl. Geol.*, 2015, Vol. 7(2), pp. 80–99.
- Travis, Russel B. 1955. *Classification of Rocks*. Colorado : Colorado School of Mines, 4th edition.
- Van Zuidam, R. A.. 1983. *Guide to Geomorphology Ariel Photographic Interpretation and Mapping*, ITC Enschede The Nederland.
- Verstappen, H. Th. 1985. *Applied Geomorphological Survey and Natural Hazard Zoning*. Enschede: ITC
- White, N.C. dan Hedenquist, J.W. 1990. *Epithermal Environments and Styles of Mineralization: Variations and their Causes, and Guidelines for Exploration*. *Journal of Geochemical Exploration*, 36: 445-474.
- White, N. C. dan Hedenquist, J. W. 1995. *Epithermal Gold Deposits: Styles, Charecteristics and Exploration*, *Society of Economic Geology* 25, hal 1,9-13.
- White, N. 2009. *Ephithermal Gold Deposit, in SEG-MGEI Gold Deposit Workshop 2009, Gold Deposits*. Yogyakarta : New Development and Exploration, Gadjah Mada University