

KENDALI STRUKTUR GEOLOGI DAN IMPLIKASI BREKSI DIATREMA TERHADAP PEMBENTUKAN SISTEM ENDAPAN EPITERMAL-PORFIRI DAERAH KARANGGEDE DAN SEKITARNYA, KABUPATEN WONOGIRI DAN PACITAN PROVINSI JAWA TENGAH DAN JAWA TIMUR

Atras Nito Putra*, Sutarto, Jatmika Setiawan

Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Jl. Padjajaran 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, D.I. Yogyakarta 55283
*E-mail: aldinofadlie@gmail.com

ABSTRAK

Daerah penelitian secara administratif berada pada perbatasan Jawa Tengah dan Jawa Timur tepatnya pada koordinat x: 511500--517750 dan y: 9107150—9111250 (UTM zona 49S). Daerah penelitian mencakup tiga kecamatan, yakni Kecamatan Karangtengah, termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah dan dua Kecamatan lain meliputi Kecamatan Arjosari dan Kecamatan Punung termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi, struktur geologi, dan implikasi breksi diatrema terhadap alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian dengan analisis laboratorium meliputi analisis petrografis, analisis mineragrafi, analisis stereografis, dan analisis XRD. Pola pengaliran daerah penelitian terdiri atas 3 pola pengaliran dasar meliputi pola pengaliran radial, *rectangular*, paralel dan 3 pola pengaliran ubahan meliputi pola pengaliran subparalel, subdendritik, dan *fault trellis*. Geomorfologi daerah penelitian terdiri atas 4 satuan bentuk asal meliputi bentuk asal vulkanik, struktural, fluvial, dan antropogenik yang terbagi menjadi 7 satuan bentuk lahan, yakni bentuk lahan bukit lava, perbukitan sisa vulkanik, lereng homoklin, perbukitan struktural, lembah struktural, tubuh sungai, dan bendungan. Stratigrafi daerah penelitian dari tua ke muda tersusun oleh satuan breksi-tuf Arjosari (Oligosen Akhir-Miosen Awal), satuan breksi-lava basalt Mandalika (Oligosen Akhir-Miosen Awal), Intrusi Dasit (Miosen Awal), satuan breksi diatrema Karangtengah (Miosen Tengah), dan satuan breksi hidrotermal Karangtengah (Miosen Tengah). Struktur geologi daerah penelitian terdiri atas, kekar, sesar mendatar dan sesar naik. Hasil analisis kekar gerus mendapatkan 2 pola tegasan purba yaitu berarah baratlaut-tenggara dengan 2σ , N142oE sebagai pola tegasan purba pertama dan utara timurlaut-selatan baratdaya 60, N26oE sebagai pola tegasan purba kedua. Tegasan tersebut menghasilkan 21 sesar di daerah penelitian. Sesar berarah baratlaut-tenggara dan berarah timurlaut-baratdaya mengontrol dalam pembentukan *jog dilatational*. Terdapat 2 jenis urat yang berkembang, yakni *extension vein* dan *oblique extension--fault vein*. Alterasi daerah penelitian terbagi menjadi 6 zona tipe alterasi, yakni zona alterasi argilik lanjut, zona alterasi argilik intermediet, zona alterasi argilik, zona alterasi propilitik dalam, zona alterasi propilitik luar, dan zona alterasi silisik (sistem urat). Tipe alterasi yang berkembang mencirikan identitas keterdapatan endapan epitermal sulfidasi tinggi-rendah, dan terdapatnya indikasi keberadaan spekularit sebagai salah satu penciri fluida hidrotermal produk magma *oxidized* yang hadir meng-*overprint* mineralisasi logam dasar yang diindikasikan berhubungan dengan sistem porfiri. Mineralisasi daerah penelitian meliputi Cu, Au, As, Pb, Zn, Mn, dan Fe. Persebaran alterasi dan mineralisasi daerah penelitian dikendalikan oleh 2 faktor pengontrol. Faktor pertama yaitu struktur geologi berupa sesar dan kekar dengan jenis struktur berupa *jog dilatational*, *extension vein*, dan *oblique extension-fault vein*. Sedangkan faktor kedua yaitu kontrol mekanisme erupitif produk pembentukan breksi diatrema yang telah menyebabkan pendangkalan dari sebuah sistem magmatisme-hidrotermal sehingga dapat mempertemukan beberapa fitur mineralisasi dalam bentuk breksi hidrotermal. Kehadiran spekularit dalam bentuk nodul, *veinlet*, dan bongkah mengindikasikan adanya keterdapatan peran dari mekanisme erupitif dalam proses pembentukannya.

Kata Kunci: alterasi, breksi diatrema, breksi hidrotermal, *jog dilatational*, mineralisasi, struktur geologi

PENDAHULUAN

Keberadaan aktivitas tektonik bawah permukaan menjadi salah satu suksesor penting dalam pembentukan konfigurasi sistem busur magmatik penghasil aktivitas vulkanisme dan magmatisme. Subduksi lempeng samudera Indo-Australia yang menunjam ke dalam bagian tenggara lempeng kontinen Eurasia ditengarai bertanggung Jawab terhadap pembentukan busur kepulauan di sepanjang pulau Jawa (Hamilton, 1979). Pulau Jawa termasuk ke dalam bagian dari busur kepulauan Sunda-Banda. Busur ini berposisi sebagai busur kepulauan terpanjang di Indonesia yang membentang mulai dari utara Sumatera hingga melewati pulau Jawa dan berujung sampai pulau Damar, Maluku (Carlile dan Mitchell, 1994). Busur Sunda-Banda diyakini menjadi busur penghasil sistem magmatisme di pulau Jawa yang dipercaya bertanggung Jawab terhadap skema pembentukan alterasi dan mineralisasi hidrotermal yang tersebar mulai dari Jawa bagian barat hingga Jawa bagian timur.

Ekspresi topografi berupa *high terraine* dapat dikaitkan sebagai fitur refleksi *remnant* paleotopografi suatu gunungapi, dimana keberadaannya erat berhubungan sebagai daerah potensi penghasil dan penyimpan sumber daya bahan galian

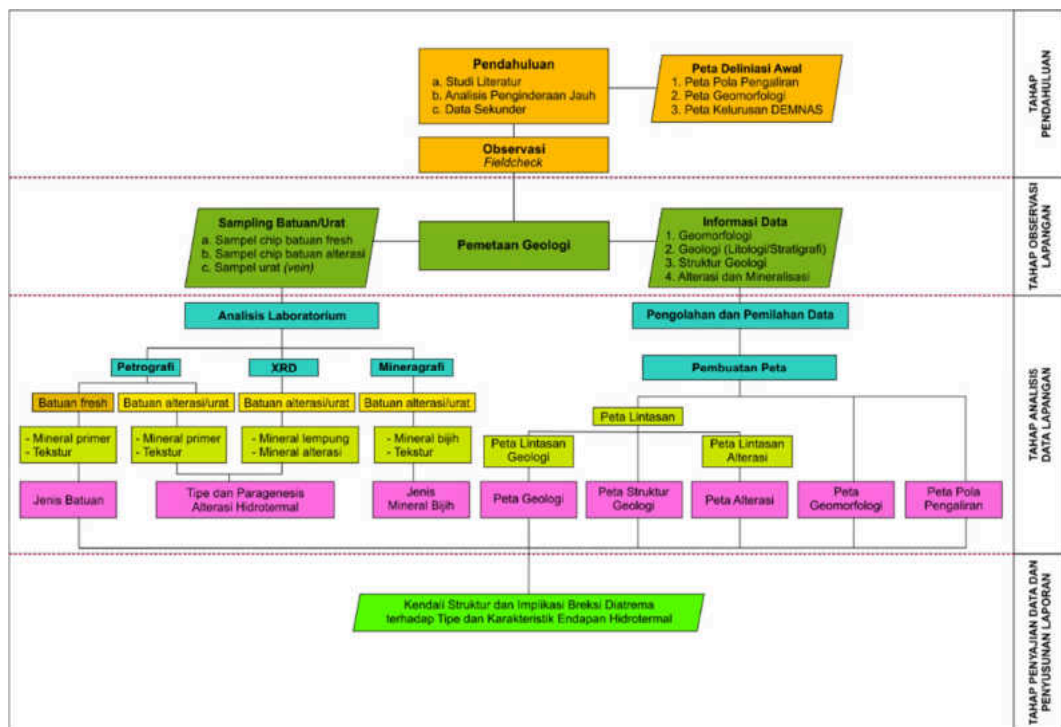
ekonomis. Daerah penelitian merupakan salah satu daerah yang termasuk ke dalam daerah sabuk metalogeni busur Sunda-Banda yang berada di pulau Jawa bagian tengah. Menurut beberapa investigasi penelitian terdahulu busur magmatik Jawa bagian timur telah menunjukkan eksistensinya sebagai busur penghasil endapan hidrotermal bernilai ekonomis tinggi, hal tersebut terbukti dengan adanya aktivitas eksploitasi penambangan baik yang dilakukan oleh *artisanal mining* maupun *legal company mining*, tiga di antaranya, endapan porfiri Selogiri pada daerah Wonogiri sebagai kemunculan endapan porfiri pertama di bagian paling barat (Sutarto, dkk., 2016), populasi endapan epitermal terkonfirmasi berasosiasi dengan endapan porfiri pada daerah Trenggalek sebagai kemunculan di bagian tengah (*Anglo American Indonesia*, 2014; *Japan Oil, Gas and Metal National Corporation*, 2014 dalam Ediwana, 2017), dan populasi endapan epitermal terkonfirmasi berasosiasi dengan porfiri-Cu pada daerah Tumpang Pitu, Banyuwangi sebagai kemunculan di bagian paling timur (Hellman, 2010; Maryono, dkk., 2012; Harrison dkk., 2018). Skema *trend* mineralisasi *world class* telah ditunjukkan sebagaimana eksistensi keterdapatan ketiga daerah prospek tersebut. Daerah penelitian yang terletak pada salah satu di antara kedua lokasi dari ketiga daerah ini dihipotesiskan sebagai lokasi eksklusif yang menyimpan misteri keterdapatan sumber daya mineral logam yang potensial sehingga diperlukan investigasi pemetaan geologi lebih lanjut.

Struktur geologi merupakan salah satu ruang rekah yang membentuk permeabilitas sekunder pada batuan (Corbett dan Leach, 1997). Struktur geologi sendiri menjadi *pathway trajectory* yang berperan penting sebagai agen mobilisator bagi fluida hidrotermal dan agen fasilitator pembentuk cebakan dalam proses mineralisasi. Berdasarkan kajian dinamika struktur geologi oleh peneliti terdahulu, aktivitas tektonik daerah penelitian terjadi dalam 3 periode waktu secara berurutan, Miosen Awal, Miosen Tengah, dan Pliosen-Pleistosen (Abdullah dkk., 2003). Berdasarkan hasil analisis penginderaan jauh pada tahap kajian pendahuluan menggunakan citra DEMNAS, telah dijumpai beberapa keterdapatan fitur frakturasi dan fitur *high terraine* yang diindikasikan menjadi kerangka kombinasi yang sempurna, dimana kombinasi tersebut nantinya akan berimplikasi terhadap keterdapatan suatu hal menarik berkaitan dengan sistem hidrotermal pembentuk endapan ekonomis. Setelah dilakukan serangkaian pemetaan, telah dijumpai beberapa sesar-sesar yang diindikasikan berpengaruh terhadap skema alterasi-mineralisasi hidrotermal dan keterdapatan breksi yang diindikasikan berhubungan dengan gejala erupktivitas bawah permukaan akibat aktivitas sirkulasi fluida hidrotermal. Keidentikan fitur-fitur ini menjadi kerangka dinamika yang dapat memberikan arti penting bagi keterbentukan sistem endapan hidrotermal daerah penelitian.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian berbasis pendekatan berdasarkan hasil temuan di lapangan agar sesuai dengan tujuan yang diharapkan. Penelitian ini menggunakan 3 metode penelitian, yakni metode pemetaan geologi, metode pengambilan sampel batuan, dan metode analisis laboratorium. Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan-tahapan, yakni:

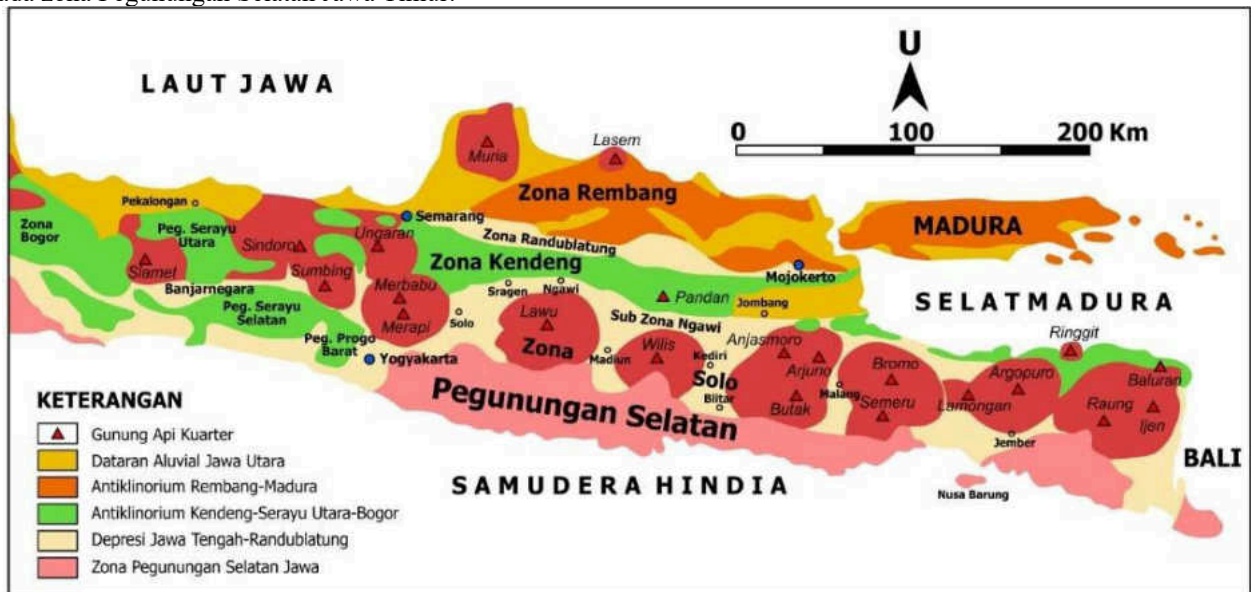
1. Tahapan pendahuluan
2. Tahapan observasi lapangan
3. Tahapan analisis data lapangan
4. Tahapan penyajian data dan penyusunan laporan



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

GEOLOGI PEGUNUNGAN SELATAN JAWA TIMUR

Secara fisiografis, Pulau Jawa terbagi menjadi beberapa bagian, salah satunya pada bagian tenggara dibangun oleh Pegunungan Selatan Jawa Timur (Husein, dkk., 2015). Menurut Van Bemmelen (1949), zona fisiografis Jawa Timur dibagi menjadi lima bagian yang dimulai dari timur Semarang-Yogyakarta meliputi Zona Perbukitan Rembang, Zona Depresi Randublatung, Zona Punggungan Kendeng, Zona Solo, dan Zona Pegunungan Selatan. Daerah penelitian berada pada zona Pegunungan Selatan Jawa Timur.



Gambar 2. Peta Fisiografi Jawa Timur dan Madura (modifikasi Van Bemmelen, 1949)

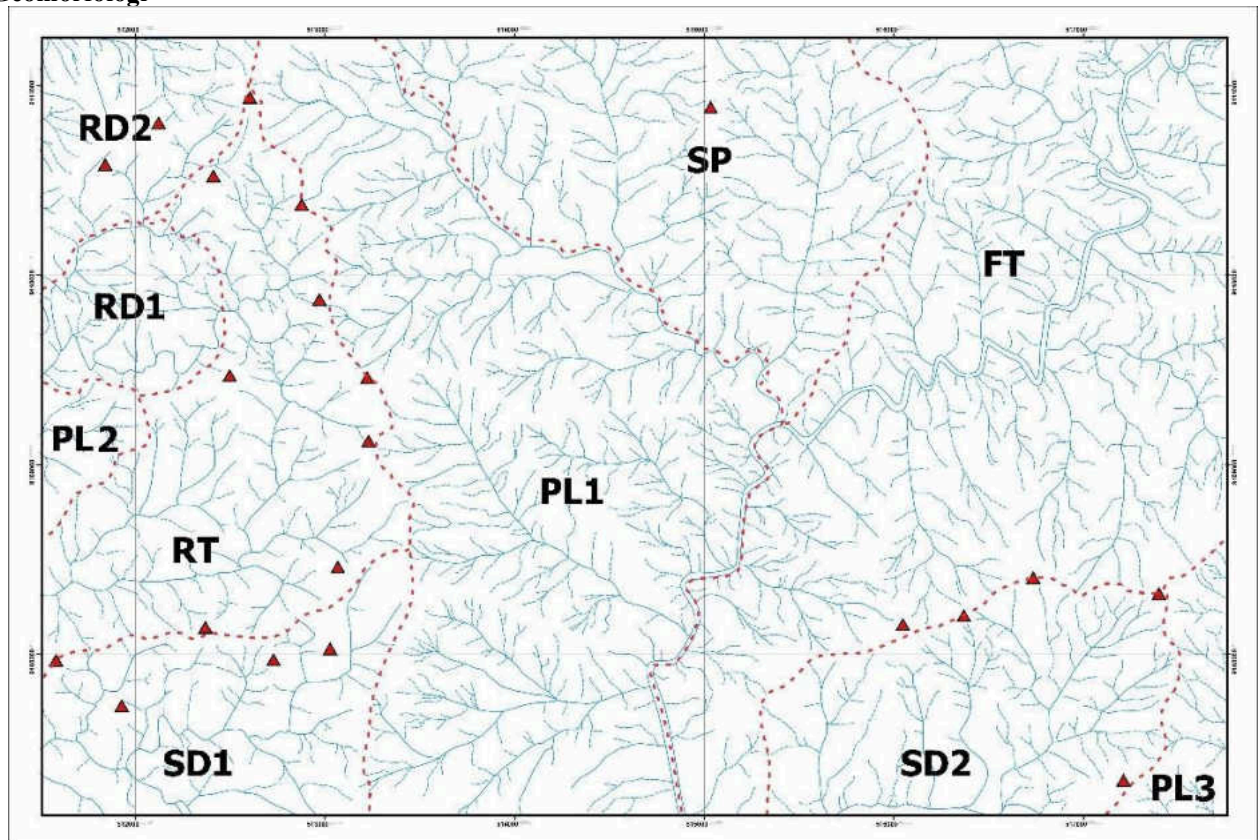
Menurut Samodra, dkk. (1992), tatanan stratigrafi regional termasuk di sekitar daerah penelitian dari tua-muda tersusun oleh Formasi Arjosari dan Formasi Mandalika, merupakan bagian dari sistem vulkanisme purba berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal, Formasi Jatén, Formasi Wuni, dan Formasi Nampol berumur Miosen Tengah-Miosen Akhir (Gambar 3).

K A L A	UMUR (J.T.L.)	SATUAN BATUAN	PEMERIAN	LINGKUNGAN PENGENDAPAN
Holosen		ALUVIAL	Kerakal, kerikil, pasir, tanah (soil)	DARAT
Miosen Akhir	1-6.5	NAMPOL	Batupasir selang seling batulempung, dan sisipan tufa, lignit, konglomerat & breksi	LAUT DANGKAL
Miosen Tengah	10.2	WUNI	Breksi vulkanik, batupasir tufaan, batulempung dan batugamping	LAUT DANGKAL
Miosen Awal	16.2	JATEN	Batupasir tufaan, konglomerat, batupasir kuarsa, batulempung bitumen dan sisipan lignit.	LAUT DANGKAL
Oligosen Akhir	25.2	MANDALIKA	Batupasir, lava andesit-basalt breksi, lava berstruktur bantal, tufa dositik.	DARAT LAUT DANGKAL
Oligosen Awal	30	ARJOSARI	Intrusi dasit (Ds), Andesit (An), Andesit-basalt, Diorit (Dr)	LAUT DALAM
	36		Breksi, batupasir, lava andesit, tufa, konglomerat, sisipan batulempung	

Gambar 3. Stratigrafi Regional Pegunungan Selatan Jawa Timur (Samodra dkk., 1992)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Geomorfologi



Gambar 4. Peta Pola Pengaliran Daerah Penelitian

Pola pengaliran daerah penelitian meliputi pola pengaliran radial, pola pengaliran *rectangular*, pola pengaliran paralel, pola pengaliran subparalel, pola pengaliran subdendritik, dan pola pengaliran *fault trellis* (Gambar 4). Geomorfologi daerah penelitian tersusun oleh empat macam bentuk asal meliputi bentuk asal Vulkanik, bentuk asal Struktural, bentuk asal Fluvial, dan bentuk asal Antropogenik yang dibagi menjadi tujuh bentuk lahan meliputi bentuk lahan Bukit Lava, bentuk lahan Perbukitan Sisa Vulkanik, bentuk lahan Lereng Homoklin, bentuk lahan Perbukitan Struktural, bentuk lahan Lembah Struktural, bentuk lahan Tubuh Sungai, dan bentuk lahan Bendungan (Gambar 5).

Stratigrafi

Berdasarkan observasi pengamatan kondisi lapangan, pengambilan data sampel batuan, dan analisis laboratorium yang telah dilakukan, stratigrafi daerah penelitian terdiri atas beberapa satuan stratigrafi mengacu sistem satuan stratigrafi tidak resmi pada Sandi Stratigrafi Indonesia (1996) yang didasarkan pada karakteristik fisik batuan yang diamati di lapangan. Satuan batuan daerah penelitian secara berurutan dari tua-muda meliputi satuan breksi-tuf Arjosari, satuan lava basalt Mandalika, intrusi dasit, satuan breksi-diatrema Karangtengah, satuan breksi-hidrotermal Karangtengah, dan endapan aluvial (Gambar 7).

1. Satuan breksi-tuf Arjosari

Satuan ini tersusun oleh litologi perselingan breksi polimik dan breksi-tuf, bersisipkan tuf berstruktur masif--perlapisan dan batupasir tufan berstruktur masif. Litologi breksi pada satuan ini mempunyai struktur masif yang tidak memperlihatkan arah kedudukannya. Satuan breksi-tuf Arjosari menempati sisi barat dan sebagian berada di sisi tenggara daerah penelitian dengan daerah luasan mencapai 32%. Menurut Samodra, dkk., (1992) satuan batuan ini berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal. Satuan breksi-tuf Arjosari merupakan satuan tertua yang dijumpai pada daerah penelitian dan mempunyai hubungan stratigrafi menjemari (*interfingering*) dengan satuan lava-basalt Mandalika.

2. Satuan lava-basalt Mandalika

Satuan ini tersusun oleh litologi dominan berupa lava berjenis basalt dengan kenampakan struktur vesikuler, *columnar joint*, dan *sheeting joint* yang membentuk perselingan dengan breksi polimik dan bersisipkan oleh breksi tuf serta perselingan tuf dan lanau. Satuan lava-basalt Mandalika terdapat setempat di bagian sisi barat laut dan dominan berada di sisi timur daerah penelitian dengan daerah luasan mencapai 41%. Menurut Samodra, dkk., (1992) satuan batuan ini berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal. Satuan lava-basalt Mandalika merupakan satuan yang mempunyai hubungan beda fasies dengan hubungan stratigrafi menjemari (*interfingering*) dengan satuan breksi-tuf Arjosari.

3. Intrusi Dasit

Intrusi dasit belum terpetakan pada peta lembar geologi regional Pacitan (Samodra, dkk., 1992). Batuan dasit pada intrusi ini mempunyai struktur masif dengan kenampakan *inequigranular porfiritik*, komposisi mineral khas berupa kuarsa hadir dalam bentuk *quartz eyes*. Intrusi ini menempati setempat-setempat pada daerah penelitian dengan daerah luasan mencapai 18%. Mengacu pada Samodra dkk., (1992) batuan beku berjenis dasit ini merupakan salah satu batuan terobosan produk aktivitas gunung api yang kemunculannya diperkirakan terbentuk pada kala Miosen Awal.

4. Satuan Breksi-Diatrema Karangtengah

Satuan ini tersusun oleh litologi breksi dengan fragmen beraneka macam, berukuran bongkah/bom/blok hingga debu halus. Breksi ini masih termasuk ke dalam lingkup breksi hidrotermal dan masih sama berada pada bagian zona *feeder* utama, namun meninjau dari aspek parameter deskriptif meliputi keberlimpahan jenis fragmen batuan samping (*abundance of rock fragments*). Mengacu pada Tamaş dan Milesi (2003), satuan ini memperlihatkan perbedaan berupa batuan-batuan vulkanoklastik dan di beberapa lokasi pengamatan memperlihatkan material produk hidrotermal serta material kayu dari pohon yang tumbuh di permukaan, tingkat pembundaran menyudut-membundar, dan hubungan antar komposisi (fragmen, matriks, dan semen), sehingga dapat dibedakan dari satuan breksi-hidrotermal Karangtengah. Kemunculannya satuan ini mempunyai arti penting karena diproyeksikan berkembang pada *feeder* utama sisi bagian samping dekat dengan batuan dinding secara spasial dan berada pada sisi/level kedalaman menengah-tepi atas secara subvertikal-vertikal. Komponen identik fragmen penyusun breksi ini di antaranya terdapat fragmen kayu terbatukan (*silicified wood*), *carbonized wood*, dan sejumlah batuan bertekstur *vuggy* produk hidrotermal yang menandakan secara relatif terbentuk sebelum pembentukan breksi diatrema. Hubungan antar fragmen pada breksi yang berkembang terdiri atas *mosaic, rotated-milled, dan chaotic*. Satuan breksi diatrema terdapat secara eksklusif di bagian sisi barat laut daerah penelitian dengan daerah luasan mencapai 9%. Dapat dipastikan breksi ini berperan sebagai indikator bagi *feeder* dalam sebuah sistem gunung api serta kemungkinan *feeder* tersebut merupakan sumber panas fluida hidrotermal. Umur kemunculan satuan ini diperkirakan berada pada Miosen Tengah.

5. Satuan breksi-hidrotermal Karangtengah

Satuan ini tersusun oleh litologi breksi dengan fragmen beraneka macam dengan komponen identik fragmen breksi berupa mineral-mineral hidrotermal pembawa unsur ekonomis seperti emas, bornit, kalkopirit, kalkosit, kovelit, tenantit, enargit, pirit, malakit, dll. Breksi hidrotermal ini merupakan feeder utama keluarnya fluida hidrotermal yang diinterpretasikan berkembang pada bagian sentral/tengah dari breksi diatrema dan diproyeksikan sebagai kerangka episentrum dalam zona mineralisasi. Apabila meninjau dari aspek parameter deskriptif meliputi keterdapatannya populasi fragmen batuan beku dasit (intrusif), andesit, basalt, dan beberapa tempat terdapat batuan vulkanoklastik yang berkembang dengan matriks berupa mineral silika lempung serta mineral oksida pada sejumlah tempat, breksi ini merupakan breksi hidrotermal yang diindikasikan berkembang karena adanya proses hidrotermal lanjutan yang diinterpretasi terjadi pada tahap *syn-post-breksiasi* diatrema berupa tahap pengisian kembali (*fracture infilling*) oleh fluida hidrotermal yang menyebabkan pembentukan alterasi dan mineralisasi baru. Breksi hidrotermal ini berkembang pada zona-zona lemah batuan yang dibentuk oleh rekahan struktur geologi maupun porositas batuan dan secara spekulatif diproyeksikan berada di bagian atas-tengah dari zona breksi freatomagmatik. Uraian di atas menjadi dasar untuk membedakan dengan satuan breksi-diatrema Karangtengah dan mengelompokkannya ke dalam jenis satuan yang baru, yaitu satuan breksi-hidrotermal Karangtengah. Hubungan antar fragmen pada breksi yang berkembang terdiri atas *mosaic, rotated-milled, dan chaotic*. Satuan breksi diatrema terdapat secara eksklusif di bagian sisi barat laut kavling daerah penelitian dengan daerah luasan mencapai 4%. Penulis menduga bahwa dapat dipastikan breksi ini berperan sebagai *natural drilling* dan *feeder* bagi sumber panas fluida hidrotermal yang kemunculannya hadir menjadi zona bagi proses mineralisasi. Umur kemunculan satuan ini diperkirakan berada pada Miosen Tengah.

6. Endapan Aluvial

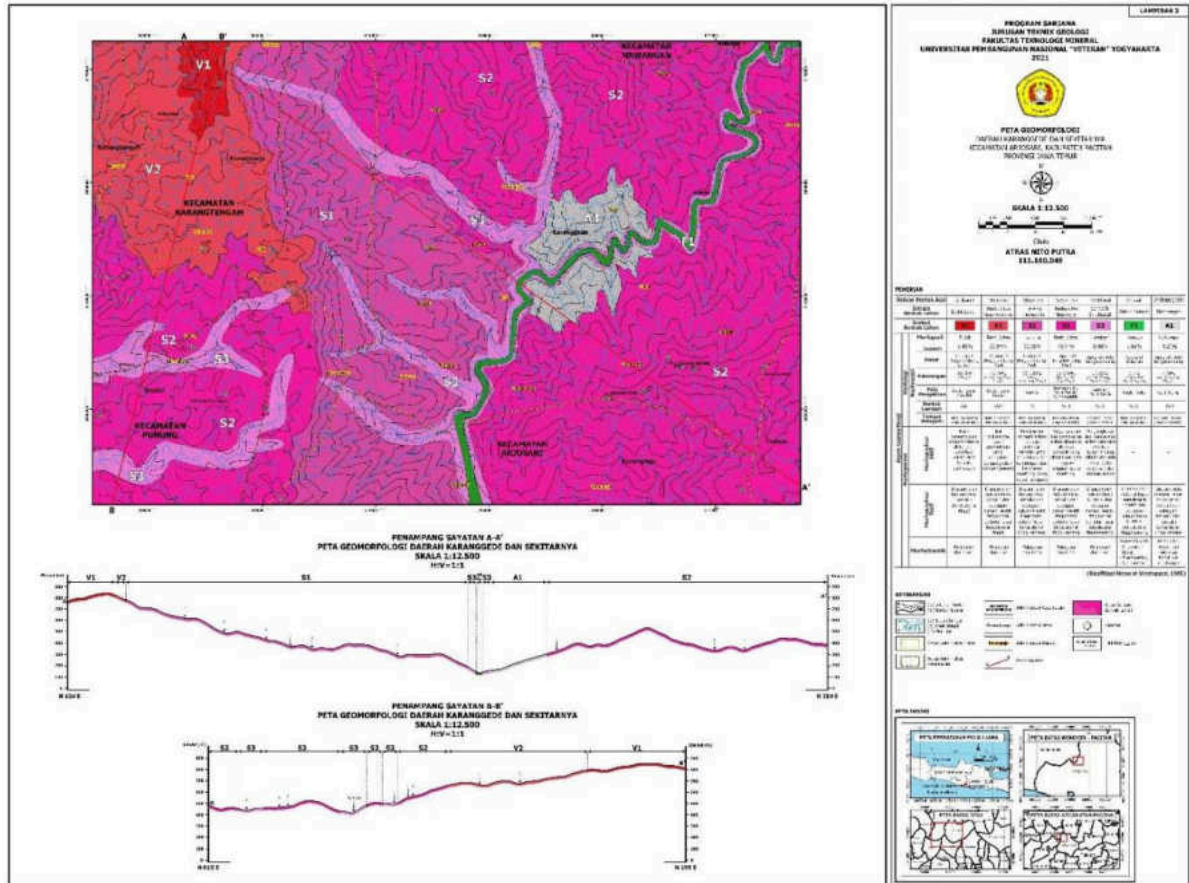
Satuan endapan aluvial tersusun oleh material-material lepas berukuran bongkah-pasir yang antara lain terdiri atas rombakan andesit, dasit, dan batuan sedimen berukuran pasir. Endapan ini hanya menempati 1% secara setempat pada luasan peta daerah penelitian, dan tersebar pada satuan geomorfologi tubuh sungai bagian selatan. Secara tidak selaras keberadaan satuan endapan aluvial menumpang di atas satuan batuan lain yang berumur lebih tua. Umur satuan ini merupakan satuan termuda yang dijumpai di daerah penelitian, yang pembentukannya masih terus berlangsung sampai sekarang.

Struktur Geologi

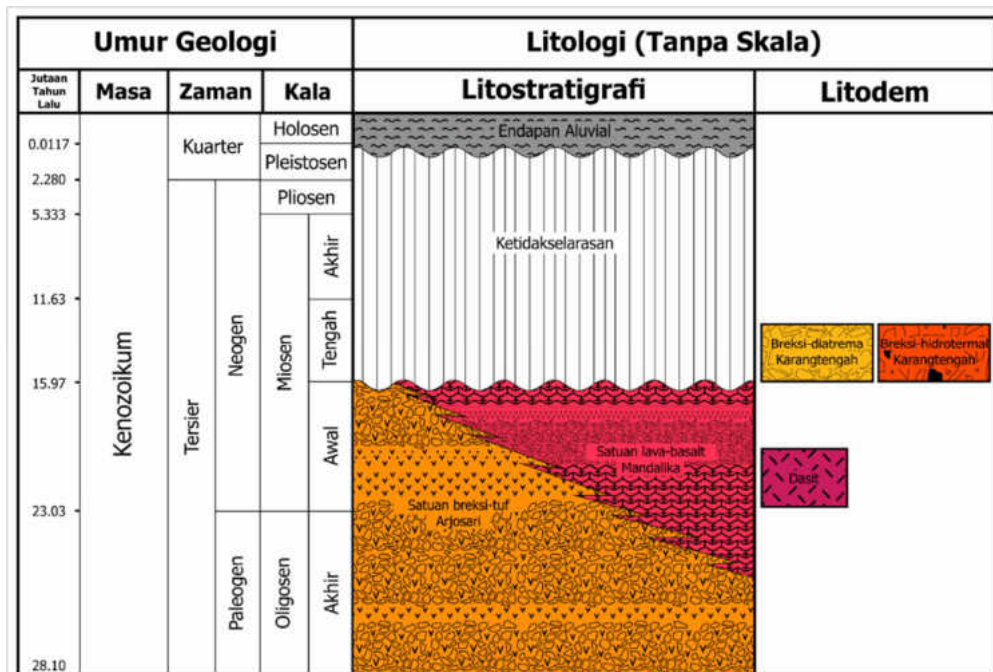
Struktur geologi yang dijumpai di daerah penelitian berupa kekar dan sesar. Berdasarkan analisis stereografis kekar berpasangan dijumpai dua domain arah umum tegasan purba, yakni tegasan purba periode 1 berarah relatif barat laut-tenggara diinterpretasikan berumur Miosen Awal dan tegasan purba periode 2 berarah relatif utara timurlaut-selatan baratdaya diinterpretasikan berumur Miosen Tengah. Pola tegasan yang terjadi pada keseluruhan kala telah menghasilkan 21 sesar.

Tegasan periode 1 terjadi pada kala Miosen Awal dengan arah tenggara-barat laut menghasilkan sesar mendatar kanan berarah barat laut-tenggara dan sesar naik berarah timurlaut-baratdaya. Keterdapatannya sesar-sesar mendatar kanan produk tegasan ini bertanggung jawab sebagai pembentuk rekahan ekstensi yang akan ditempati oleh aktivitas fluida hidrotermal pada kala sesudahnya. Tegasan kedua terjadi pada kala Miosen Tengah dengan arah utara timurlaut-selatan baratdaya

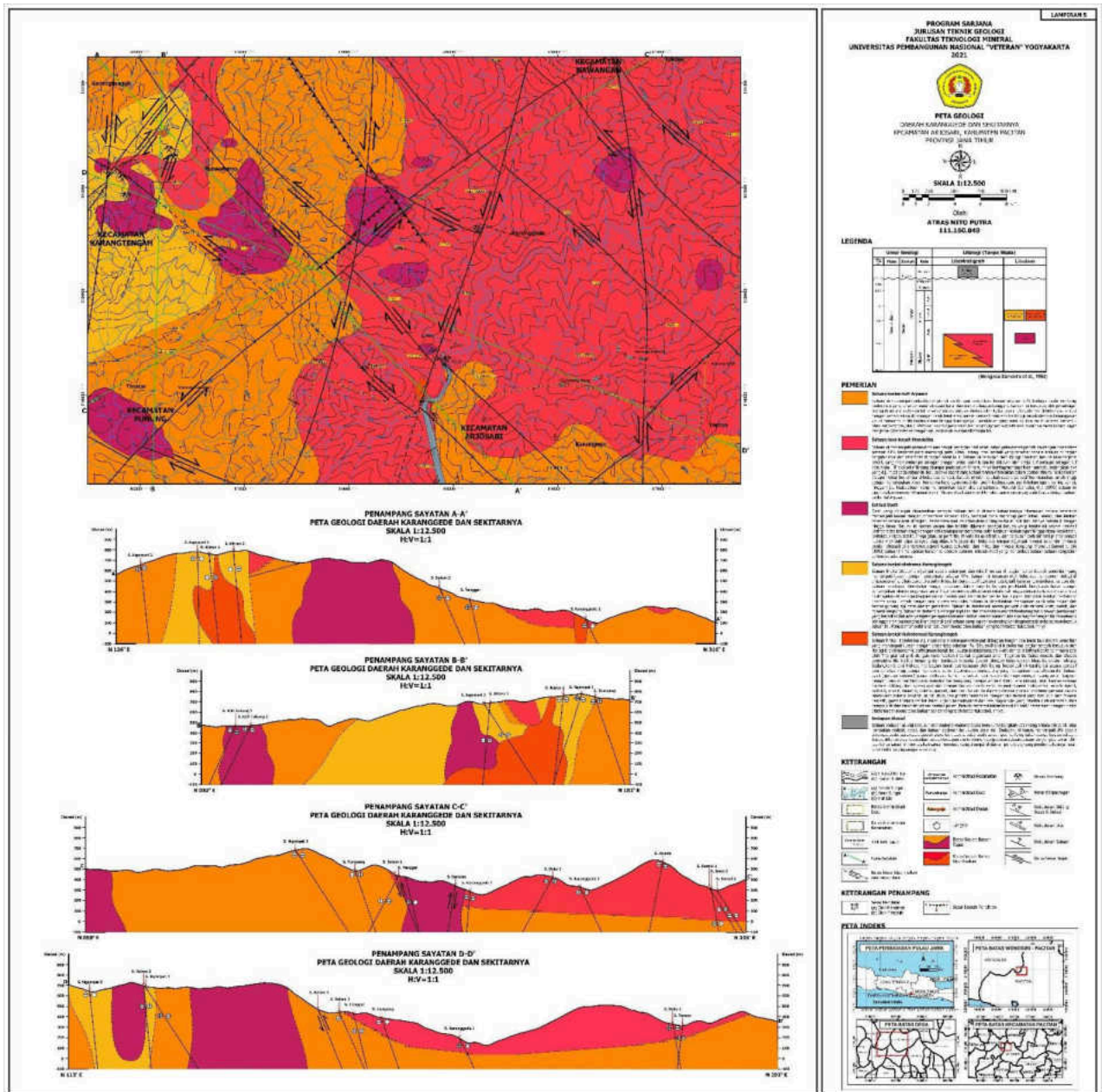
menghasilkan sesar-sesar mendatar kiri berarah utara baratlaut-selatan tenggara, timurlaut-baratdaya, dan sesar naik baratlaut-tenggara yang secara berurutan kehadirannya memotong sesar produk sebelumnya. Sesar-sesar mendatar kiri berarah timurlaut-baratdaya merupakan sesar-sesar yang menyebabkan pembentukan sesar mendatar kiri naik berarah baratlaut-tenggara yang nantinya akan menyebabkan perkembangan dua sesar mendatar kanan turun pada daerah baratlaut kavling penelitian. Bukti data sesar-sesar tersebut berupa bidang sesar, *shear fracture*, *gash fracture*, breksiasi, dan *slickensides*.



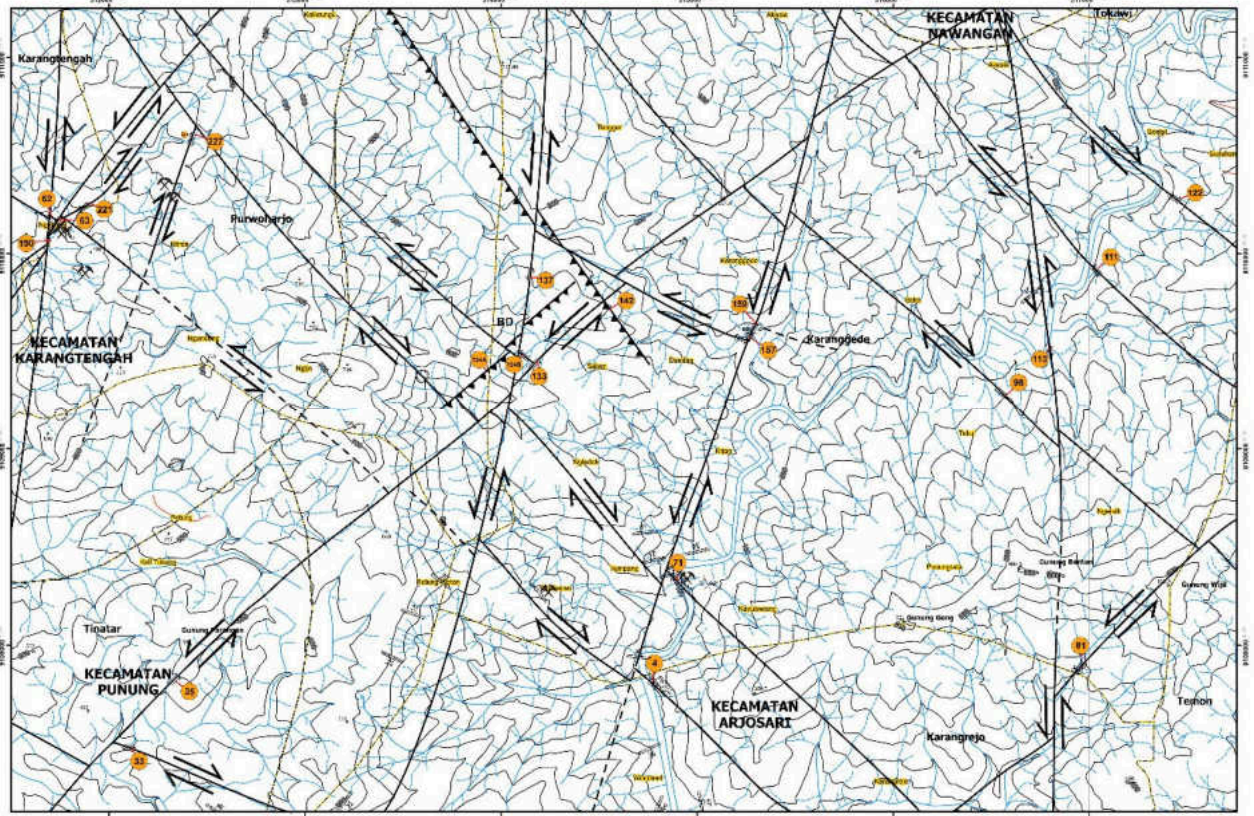
Gambar 5. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian



Gambar 6. Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian

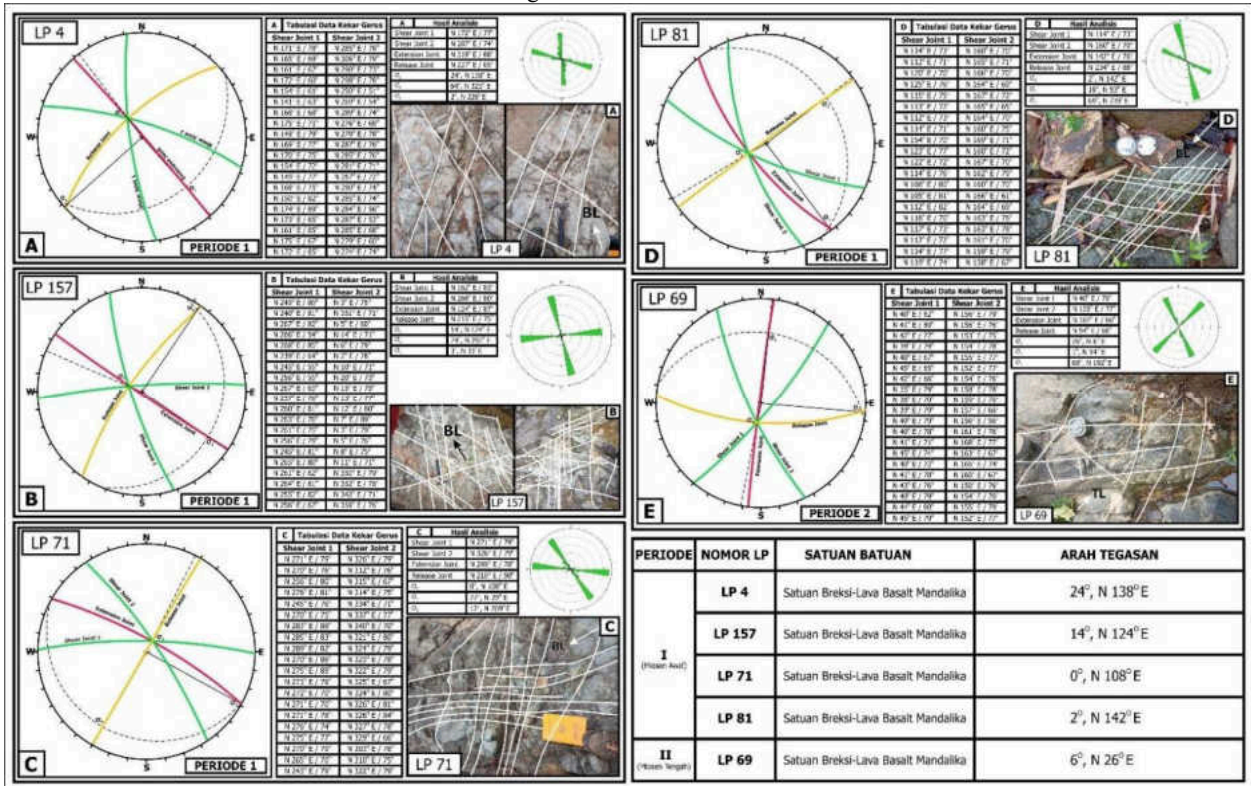


Gambar 7. Peta Geologi Daerah Penelitian



Gambar 8. Peta Struktur Geologi Daerah Penelitian

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kekar Gerus Daerah Penelitian



Tabel 2. Keterdapatn 21 Sesar Daerah Penelitian

UMUR	NAMA SESAR	JENIS SESAR KLASIFIKASI RICKARD (1972)	ARAH	TEGASAN
Miosen Awal (Periode 1)	Sesar Kali Tukung 1	Reverse Right Slip Fault	BL-TG	2 ^o , N 142 ^o E
	Sesar Ngubaran	Normal Right Slip Fault	BL-TG	2 ^o , N 142 ^o E
	Sesar Tumpang	Reverse Right Slip Fault	BL-TG	2 ^o , N 142 ^o E
	Sesar Soko 1	Normal Right Slip Fault	BL-TG	2 ^o , N 142 ^o E
	Sesar Sentul	Reverse Right Slip Fault	BL-TG	2 ^o , N 142 ^o E
	Sesar Salam 1	Right Reverse Slip Fault	BL-TG	2 ^o , N 142 ^o E
Miosen Tengah (Periode 2)	Sesar Temon	Reverse Left Slip Fault	TL-BD	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Salam 2	Left Slip Fault	TL-BD	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Kali Tukung 2	Normal Left Slip Fault	TL-BD	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Ngampel 1	Left Slip Fault	TL-BD	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Dandan	Reverse Slip Fault	BL-TG	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Salam 3	Reverse Left Slip Fault	BL-TG	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Akasia	Left Slip Fault	BL-TG	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Ngampel 2	Reverse Right Slip Fault	BBL-TTG	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Kitren 1	Normal Right Slip Fault	TL-BD	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Kitren 2	Normal Right Slip Fault	TL-BD	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Soko 2	Left Slip Fault	UBL-STG	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Karanggede 1	Left Slip Fault	UTL-SBD	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Tenggar	Reverse Left Slip Fault	UTL-SBD	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Ngampel 3	Left Slip Fault	UTL-SBD	6 ^o , N 26 ^o E
	Sesar Karanggede 2	Reverse Left Slip Fault	BBL-TTG	6 ^o , N 26 ^o E



Gambar 9. Bukti Keterdapatn dan Hasil Analisis 21 Sesar Daerah Penelitian

Alterasi dan Mineralisasi

Alterasi

Berdasarkan hasil dari pemetaan dan pengamatan yang telah dilakukan terhadap batuan teralterasi pada sejumlah 246 titik observasi, kemudian dilakukan kajian analisis lebih lanjut pada beberapa titik pengujian sampel di laboratorium. Didapatkan beberapa pola persebaran zona alterasi yang berkembang di daerah penelitian. Pembagian zonasi alterasi ini akan merefleksikan keterdapatannya identitas dari sebuah tipe endapan. Masing-masing zona alterasi yang berkembang pada daerah penelitian dicirikan dengan kehadiran mineral tertentu, perkembangannya secara umum dikontrol oleh kombinasi antara struktur geologi dan permeabilitas litologi. Zona alterasi tersebut terbagi menjadi enam zona alterasi, yakni sebagai berikut:

1. Zona alterasi argilik lanjut (kuarsa+pirofilit±alunit±kaolinit±dikit±diaspor±K-feldspar)

Zona tipe alterasi argilik lanjut tersusun oleh himpunan mineral ubahan didominasi mineral-mineral identik berupa kuarsa, pirofilit, alunit, kaolinit, dikit, dan diaspor namun pada beberapa tempat dijumpai mineral K-feldspar, zunit, anhidrit, ilit, paragonit. Zona tipe alterasi ini menempati intrusi dasit, satuan breksi-diatrema Karangtengah, dan satuan breksi-hidrotermal Karangtengah. Kenampakan ciri alterasi di lapangan umumnya diindikasikan hadir sebagai mineral lempung yang keberadaannya berasosiasi dengan keterdapatannya tekstur vuggy.

2. Zona alterasi argilik intermediet (serisit+klorit+mineral lempung±kuarsa)

Zona tipe alterasi argilik intermediet tersusun oleh himpunan mineral ubahan yang didominasi oleh mineral-mineral identik antara lain: serisit, klorit, mineral lempung, dan beberapa dijumpai kuarsa. Zona tipe alterasi ini menempati satuan breksi-diatrema Karangtengah, dan satuan breksi-hidrotermal Karangtengah. Kenampakan ciri alterasi ini di lapangan umumnya diindikasikan hadir sebagai mineral klorit, serisit, dan mineral lempung yang keberadaannya berasosiasi dengan keterdapatannya spekulat. Kehadiran veinlet, nodul, dan bongkah spekulat dijumpai sebagai indikasi dari keterdapatannya fluida magma yang bersifat oxidized dimana keberadaannya berhubungan dengan sistem endapan porfiri.

3. Zona alterasi propilitik dalam (aktinolit+tremolit+epidot+klorit±serisit±kuarsa)

Zona tipe alterasi propilitik dalam tersusun oleh himpunan mineral ubahan yang didominasi oleh mineral-mineral identik antara lain: aktinolit, tremolit, epidot, klorit dan beberapa dijumpai serisit yang bersinggungan dengan alterasi argilik intermediet dan kuarsa hadir sebagai produk silisifikasi. Zona tipe alterasi ini menempati satuan breksi-diatrema Karangtengah, dan satuan breksi-hidrotermal Karangtengah. Ciri kenampakan alterasi di lapangan umumnya diindikasikan hadir sebagai mineral klorit dengan warna hijau yang kontras. Alterasi ini menjadi salah satu bagian anatomi dari sistem alterasi endapan porfiri.

4. Zona alterasi propilitik luar (klorit±epidot±kuarsa±kalsit),

Zona tipe alterasi propilitik luar tersusun oleh himpunan mineral ubahan yang didominasi oleh mineral-mineral identik berupa klorit, epidot, kalsit dan kalsit. Zona tipe alterasi ini menempati satuan lava-basalt Mandalika, intrusi dasit, dan satuan breksi-tuf Arjosari. Ciri kenampakan alterasi di lapangan umumnya diindikasikan dengan kehadiran mineral klorit, epidot, dan kuarsa melalui pengamatan megaskopis dan teridentifikasi kalsit dalam pengamatan mikroskopis. Alterasi ini merupakan alterasi yang berkembang di bagian tepi dalam satu paket halo alteration yang terjadi pada sistem urat.

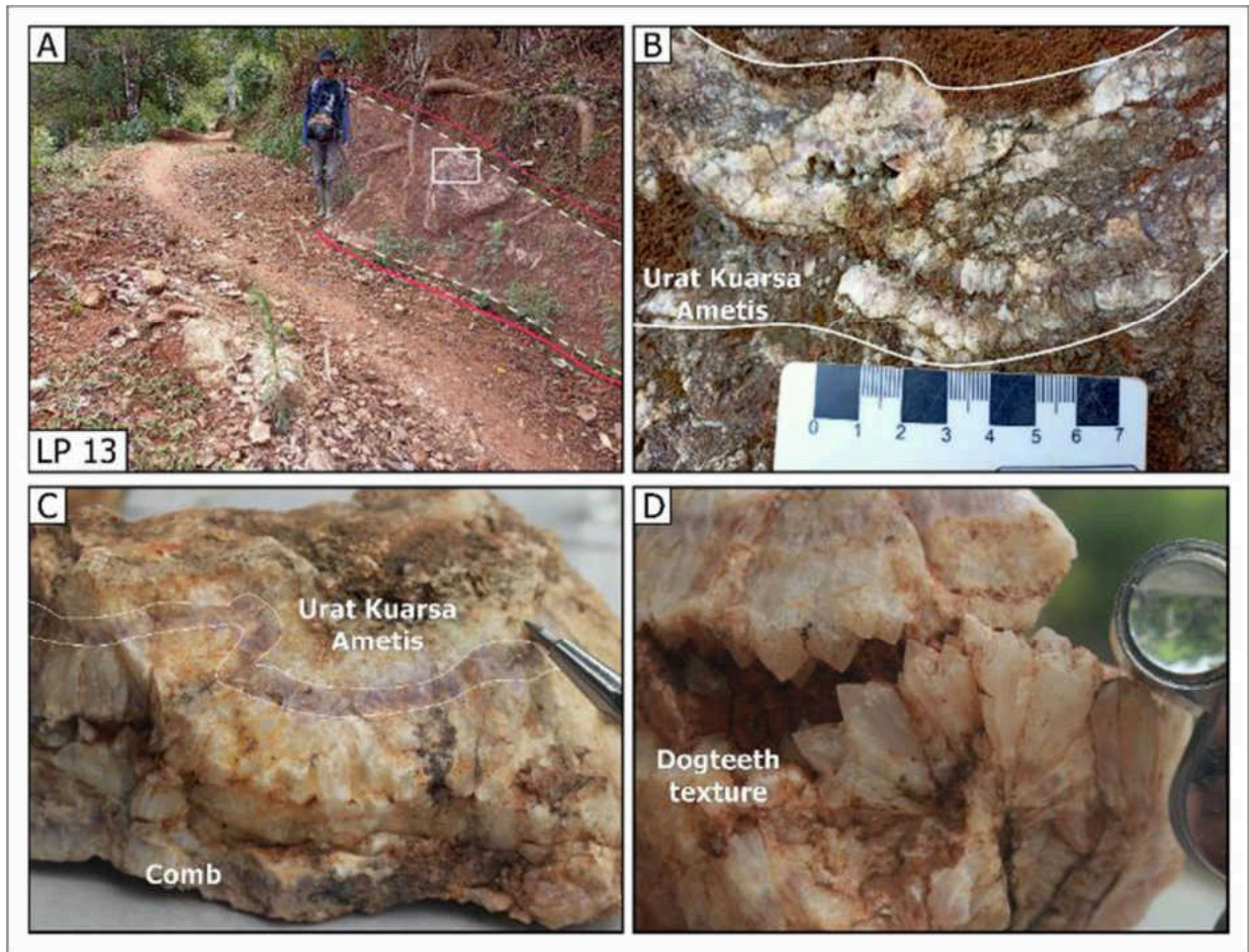
5. Zona alterasi argilik (mineral lempung±ilit±kuarsa)

Zona tipe alterasi argilik tersusun oleh himpunan mineral ubahan yang didominasi oleh mineral-mineral identik berupa mineral lempung, ilit, dan kuarsa. Zona tipe alterasi ini menempati umumnya dijumpai seluruh di satuan batuan. Ciri kenampakan alterasi ini di lapangan umumnya diindikasikan dengan kehadiran mineral lempung yang disertai dengan mineral oksida tanpa remnant sulfida. Alterasi ini menjadi alterasi yang mempunyai perkembangan cukup luas.

6. Zona alterasi silisik (kuarsa±kalsedon±pirit)

Zona tipe alterasi silisik tersusun oleh himpunan mineral ubahan yang didominasi oleh mineral-mineral identik berupa kuarsa, kalsedon, dan pirit. Zona tipe alterasi ini menempati umumnya dijumpai satuan breksi-tuf Arjosari, dan satuan lava-basalt Mandalika. Zona alterasi ini diinterpretasi berkembang menyempit pada koridor batuan dinding dengan zona urat dan dikendalikan oleh struktur geologi.

Berdasarkan tipe rekahan yang dikemukakan oleh Robert dan Poulsen (2000), urat di daerah penelitian terbagi menjadi dua macam, yakni *extension vein* dan *oblique extension-fault vein*. *Extension vein* merupakan domain urat yang secara identik keterbentukannya dikendalikan oleh rekahan pengontrol berjenis *extensional fracture*. Struktur regangan berupa rekahan-rekahan ekstensi akan menghasilkan bidang rekahan dengan jarak spasi antar bidang cukup besar. Hal ini kemudian turut memengaruhi perkembangan dari sifat tekstur urat kuarsa yang akan terjadi ketika fluida hidrotermal hadir mengisi. Tekstur urat yang berkembang pada domain rekahan ekstensi umumnya memperlihatkan perkembangan yang baik pada perawakan kristal mineralnya dan juga menunjukkan hubungan batas bidang kristal (*fiber*) yang perpendikular terhadap bidang rekahannya. Hal tersebut disebabkan karena kondisi pembentukan pada domain jenis rekahan ini lebih tenang dan preservatif sehingga mampu menghasilkan perkembangan kristal mineral dengan tekstur yang bervariasi. Adapun tekstur urat kuarsa yang teridentifikasi berkembang pada daerah penelitian di antaranya *saccharoidal*, *dogteeth facies*, *chalcedony*, *comb*, dan *drushy cavities infilling*.



Gambar 10. Kenampakan *Extension Vein*

Oblique extension-fault vein, merupakan domain urat yang secara identik keterbentukannya dikendalikan oleh rekahan pengontrol berjenis *compressive fracture*. Struktur gerus berupa rekahan-rekahan kompresif akan berkecenderungan membentuk bidang rekahan dengan jarak spasi antar bidang rekahan lebih sempit bila dibandingkan dengan *extensional fracture*. Hal ini kemudian turut memengaruhi perkembangan dari sifat tekstur yang akan terjadi ketika fluida hidrotermal hadir mengisi. Tekstur urat yang berkembang pada domain rekahan kompresif umumnya hanya membentuk *sheeted vein* paralel mengikuti arah kemenerusan strukturnya dengan (*fiber*) mineral yang relatif sejajar terhadap bidang rekahan dan mempunyai dimensi lebar kecil. Kenampakan pada urat ini tidak begitu memperlihatkan secara signifikan perkembangan tekstur urat maupun perawakan kristal mineralnya. Hal tersebut disebabkan oleh kondisi pembentukan pada domain jenis rekahan ini tidak cukup baik untuk mempreservasi perkembangan bagi tekstur maupun perawakan kristal mineral yang hadir karena cenderung destruktif masih terpengaruhi oleh mekanisme tegasan yang bekerja.

Mineralisasi

Berdasarkan lokasi keterdapatannya endapan dan parameter karakteristik yang ditemukan, daerah mineralisasi dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Mineralisasi Daerah Purwoharjo

Mineralisasi daerah Purwoharjo penulis indikasikan sebagai mineralisasi yang mempunyai sistem endapan HSE-ISE dan hubungan dengan keterdapatannya endapan porfiri. Terdapat beberapa kemunculan fitur mineralisasi yang dapat ditemukan di daerah purwoharjo, di antaranya sebagai berikut:

- a. Breksi hidrotermal teroksidasi membawa mineralisasi Au yang dilingkupi oleh mineral oksida *pitch limonite*, goethite, dan hematit dengan tekstur berupa botryoidal dan pseudogranular.
- b. Batuan dengan tekstur *vuggy quartz* diindikasikan membawa mineralisasi logam berharga ekonomis (Au?).
- c. Batuan termineralisasi spekulatit hadir sebagai *veinlet*, nodul, dan bongkah. Mineralisasi spekulatit ini dalam hasil mineragrafi memperlihatkan 3 fase mineralisasi secara berurutan dari tua-muda, yakni sebagai berikut. Fase 1 merupakan mineralisasi logam dasar Cu, Pb, dan Zn yang dibawa oleh mineral galena, sfalerit, dan kalkopirit, kemudian fase 2 merupakan mineralisasi supergen berupa kalkosit yang memakan tubuh mineral kalkopirit, dan fase 3 merupakan mineralisasi spekulatit. Mineralisasi spekulatit merupakan mineralisasi yang berkembang paling terakhir tumbuh/muda. Hal ini memunculkan keterdugaan penulis bahwa keberadaan endapan penghasil

mineralisasi spekulat yang penulis kaitkan dengan keberadaan sistem porfiri merupakan produk dari sistem endapan yang kemunculannya paling muda.

- d. Breksi hidrotermal membawa mineralisasi logam dasar Cu, Pb, Zn, dan Fe yang dibawa oleh mineral kalkosit, kovelit, kalkopirit, enargit, tenantit, galena, sfalerit, dan pirit. Mineral-mineral ini hadir sebagai fragmen dalam breksi hidrotermal yang terlindungi oleh mineral lempung. Mineral lempung ini diindikasikan berhubungan dengan alterasi argilik lanjut, argilik intermediet, dan propilitik dalam.
- e. Breksi hidrotermal membawa mineralisasi pirit berukuran 1-3cm terlindungi dalam mineral lempung yang diinterpretasikan berhubungan dengan produk alterasi argilik intermediet dan alterasi propilitik dalam. Keterdapatan mineral lempung pada zona breksi hidrotermal ini diindikasikan berkembang pada bagian *hanging wall*, kemudian intensifikasi fluida hidrotermal yang bersifat destruktif akan mengenai bagian ini.

2. Mineralisasi Daerah Tinatar

Mineralisasi daerah Tinatar diindikasikan sebagai mineralisasi yang mempunyai sistem endapan LSE, yang dicirikan dengan keterdapatan sistem urat pembawa mineralisasi unsur Fe dalam mineral pirit yang hadir dalam bentuk urat kuarsa dan urat breksi dan diindikasikan juga membawa mineralisasi logam ekonomis (Au?). Hampir di keseluruhan tempat observasi urat yang dijumpai, kondisi batuan/urat termineralisasi telah mengalami oksidasi menjadi mineral oksida berupa mineral hematit dan goethit.

3. Mineralisasi Daerah Karanggede

Mineralisasi daerah Karanggede diindikasikan sebagai mineralisasi yang mempunyai sistem endapan LSE, yang dicirikan dengan keterdapatan sistem urat pembawa mineralisasi unsur Fe dalam mineral pirit yang hadir dalam bentuk urat kuarsa, urat breksi, *stockworking* dan diindikasikan juga membawa mineralisasi logam ekonomis (Au?). Selain itu mineralisasi *fine--very fine grained pyrite* juga dijumpai hadir secara diseminasi dalam fragmen dan matriks breksi hidrotermal. Sejumlah tempat observasi urat kondisi batuan yang termineralisasi telah mengalami oksidasi menjadi mineral oksida berupa mineral hematit dan goethit.

Kendali Struktur Geologi

Secara umum, keterdapatan struktur geologi yang berkembang berperan sebagai salah satu faktor pengontrol dari pola persebaran alterasi dan pembentukan cebakan mineralisasi di daerah penelitian. Persebaran alterasi yang dijumpai pada daerah Karanggede dan Tinatar memperlihatkan pola mengikuti dari trend keberadaan struktur geologi yang berkembang. Keberadaan dua struktur sesar mendatar yang saling terhubung turut berperan sebagai inisiator dari pembentukan jalur rekahan ekstensi yang nantinya akan menjadi embrio cebakan-cebakan mineralisasi di daerah penelitian. Berdasarkan analisis DEMNAS yang didukung dengan sejumlah keterdapatan data sesar yang dijumpai di daerah penelitian, rekahan ekstensi yang membentuk cebakan bagi perkembangan fitur mineralisasi mempunyai beberapa geometri salah satunya berupa *jog dilatational*. Manifestasi dari fitur keberadaan *jog dilatational* dapat dijumpai di sejumlah tempat di antaranya sebagai berikut:

1. Keterdapatan breksi hidrotermal LP 8 merupakan manifestasi dari suksesi pembentukan rekahan ekstensi yang disebabkan oleh Sesar Tumpang berupa sesar mendatar kanan LP 71 dan Sesar Ngubaran berupa sesar mendatar kanan LP 4. Kedua sesar tersebut mempunyai arah orientasi baratlaut-tenggara.
2. Keterdapatan breksi hidrotermal LP 214, merupakan manifestasi dari suksesi pembentukan rekahan ekstensi yang disebabkan oleh Sesar Kitren 1 berupa sesar mendatar kanan LP 221 dan Sesar Kitren 2 berupa sesar mendatar kanan LP 227. Diinterpretasikan bahwa perkembangan dari kedua sesar ini merupakan produk sesar antitetik dari Sesar Ngampel 2 yang dijumpai pada LP 62. Struktur geologi dari kenampakan geometri sungai yang mengindikasikan bentuk *z-shaped* memperlihatkan bahwa kedua struktur geologi sesar mendatar kanan yang berkembang berpengaruh terhadap bentuk geometri sungai dan topografi. Kedua sesar tersebut mempunyai arah orientasi timurlaut-baratdaya. Cebakan cebakan urat dengan mineralisasi pirit pada daerah Karanggede dan Tinatar yang dijumpai sebagai *extension vein* yang dicirikan dengan tekstur berfasies *comb*, *dogteeth*, dan *drushy cavities infilling* berkembang pada jenis urat ini serta *oblique extension vein-fault vein* yang membentuk geometri *sheeted vein* dengan keterdapatan pengisian kuarsa di beberapa tempat ditemukan sebagai *fracture infilling* pada batuan yang terbreksikan.

Implikasi Breksi Diatrema

Keberadaan breksi diatrema sebagai produk dari mekanisme eruptif turut memengaruhi fitur keterdapatan mineralisasi yang berkembang di daerah penelitian. Keterdapatan dari fitur ini menjadi salah satu fitur yang dapat mengindikasikan dinamika dari aktivitas fluida dalam sistem hidrotermal. Hal ini dapat dijumpai kehadirannya secara eksklusif pada daerah Purwoharjo, Kecamatan Karangtengah, Kabupaten Wonogiri dan beberapa keterdapatan pengaruhnya dijumpai indikasinya hingga ke daerah Tinatar dan Karanggede. Diinterpretasikan bahwa gejala keterdapatan fitur ini turut menyebabkan hadirnya mekanisme pendangkalan dari sebuah sistem mineralisasi sehingga mampu mempertemukan keterdapatan beberapa fitur mineralisasi yang berhubungan dengan endapan dalam dan endapan dangkal. Bukti kehadiran mineral spekulat yang merupakan produk fluida hidrotermal dari magma yang bersifat *oxidized* keterdapatannya dijumpai bersamaan dengan mineralisasi produk endapan epitermal yakni, sfalerit, galena, kalkopirit, dan kalkosit. Kuarsa bertekstur *drushy cavities infilling* yang tumbuh sebagai *fracture infilling* termakan oleh mineral spekulat berbentuk *veinlet*, nodul dan terjadi dalam bentuk bongkah. Hadirnya mineral spekulat dalam bentuk nodul dan bongkah

diindikasikan keterdapatannya sebagai akibat dari gejala mekanisme eruptif yang berkaitan dengan proses pembentukan breksi diatrema, dimana bentuknya yang relatif membundar menunjukkan secara signifikan telah jauh mengalami transportasi dari sumbernya.

Interpretasi tersebut kemudian didukung dalam pengamatan mineragrafi yang menunjukkan pertumbuhan dari mineral spekularit sebagai mineralisasi fase akhir/muda di antara dua dari ketiga fase mineralisasi. Keterdapatannya diinterpretasikan sebagai fase mineralisasi yang meng-overprint mineralisasi lainnya.

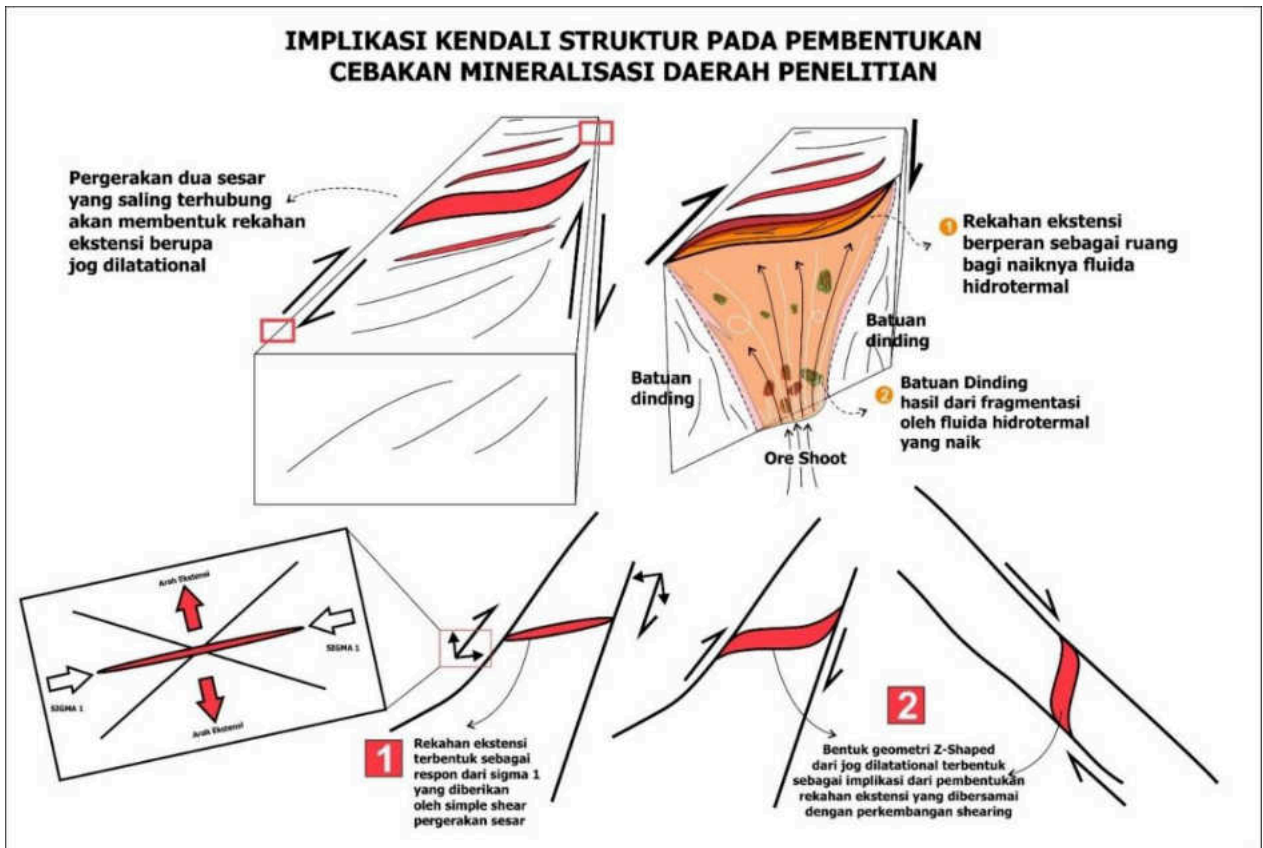
Selain itu implikasi keberadaan mekanisme eruptif dalam pembentukan diatrema juga diindikasikan sebagai titik awal bagi proses pembentukan breksi-breksi hidrotermal yang ditemui dalam bentuk tubuh breksi ataupun urat di sejumlah lokasi pengamatan pada daerah penelitian termasuk di dalamnya daerah Tinatar dan Karanggede. Rekahan-rekahan ekstensi yang terbentuk akibat struktur geologi akan terisi oleh fluida hidrotermal dan menjadi mekanisme lanjutan setelah keterbentukan diatrema. Aktivitas fluida hidrotermal yang korosif mampu memfragmentasikan batuan samping sehingga terbentuk breksi hidrotermal dalam bentuk urat ataupun tubuh breksi hidrotermal itu sendiri.



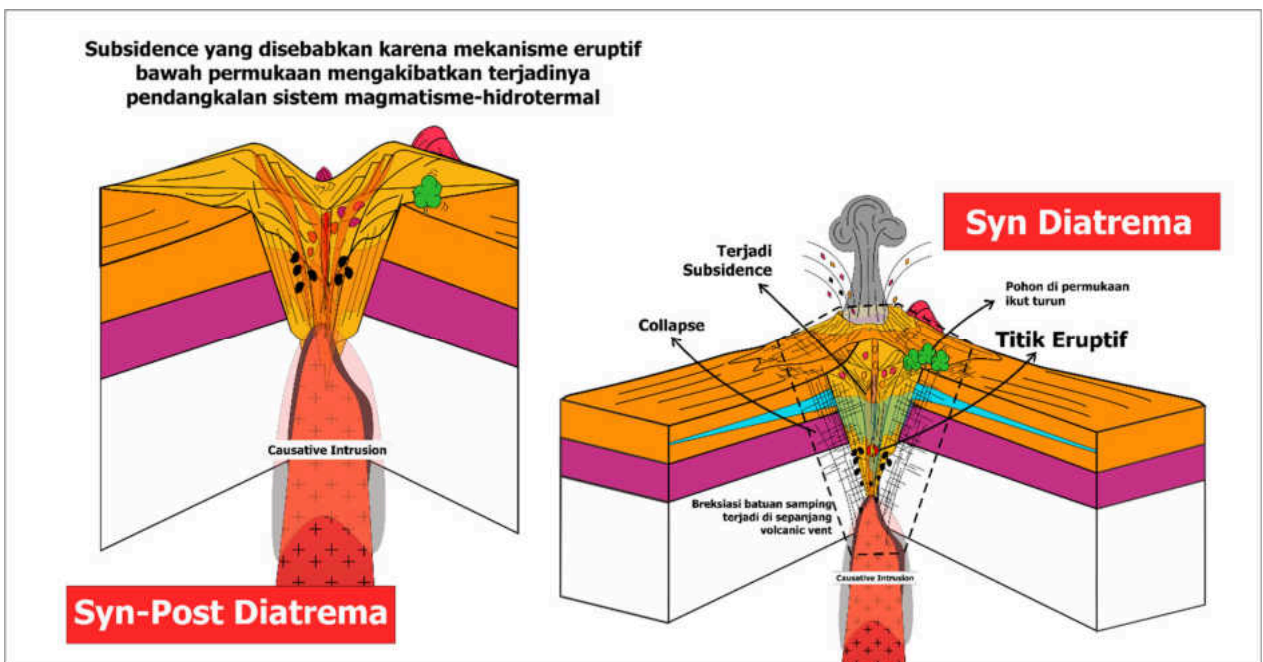
Gambar 11. Kenampakan *Oblique Extension-Fault Vein*



Gambar 12. Peta Zona Alterasi Daerah Penelitian



Gambar 13. Ilustrasi Implikasi Kendali Struktur Geologi terhadap Pembentukan Cebakan Mineralisasi Daerah Penelitian



Gambar 14. Ilustrasi Pendangkalan Sistem Magmatisme-Hidrotermal sebagai Implikasi dari Keterbentukan Breksi Diatrema

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pembahasan di atas, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pola pengaliran daerah penelitian terdiri atas enam macam pola pengaliran yang terbagi menjadi tiga pola pengaliran dasar dan tiga pola pengaliran ubahan, yakni pola pengaliran radial, pola pengaliran rectangular, pola pengaliran paralel, pola pengaliran subparalel, pola pengaliran subdendritik, dan pola pengaliran *fault trellis*.
2. Geomorfologi daerah penelitian terdiri atas empat macam bentuk asal, yakni bentuk asal Vulkanik, bentuk asal Struktural, bentuk asal Fluvial, dan bentuk asal Antropogenik. bentuk asal tersebut kemudian terbagi menjadi tujuh macam bentuk lahan, yakni bentuk lahan Bukit Lava (V1), bentuk lahan Perbukitan Sisa Vulkanik (V2), bentuk lahan

Lereng Homoklin (S1), bentuk lahan Perbukitan Struktural (S2), bentuk lahan Lembah Struktural (S3), bentuk lahan Tubuh Sungai, dan bentuk lahan Bendungan (A1).

3. Stratigrafi daerah penelitian dari tua ke muda tersusun oleh satuan breksi-tuf Arjosari (Oligosen Akhir-Miosen Awal), satuan lava-basalt Mandalika (Oligosen Akhir-Miosen Awal), intrusi dasit (Miosen Awal), satuan breksi diatrema Karangtengah (Miosen Tengah), dan satuan breksi hidrotermal Karangtengah (Miosen Tengah).

4. Struktur geologi daerah penelitian dihasilkan oleh dua arah tegasan purba yang berbeda. Tegasan pertama terjadi pada Kala Miosen Awal dengan arah tenggara-baratlaut menghasilkan sesar mendatar kanan berarah baratlaut-tenggara dan sesar naik berarah timurlaut-baratdaya. Keterdapatan sesar-sesar mendatar kanan produk tegasan ini bertanggung jawab sebagai pembentuk rekahan ekstensi yang akan ditempati oleh aktivitas fluida hidrotermal pada kala sesudahnya. Tegasan kedua terjadi pada kala Miosen Tengah dengan arah utara timurlaut-selatan baratdaya menghasilkan sesar-sesar mendatar kiri berarah utara baratlaut-selatan tenggara, timurlaut-baratdaya, dan sesar naik baratlaut-tenggara yang secara berurutan kehadirannya memotong sesar produk sebelumnya. Sesar-sesar mendatar kiri berarah timurlaut-baratdaya merupakan sesar-sesar yang menyebabkan pembentukan sesar mendatar kiri naik berarah baratlaut-tenggara yang nantinya akan menyebabkan perkembangan dua sesar mendatar kanan turun pada daerah baratlaut daerah penelitian. Dua sesar mendatar kanan turun merupakan produk antitetik dari sesar tersebut yang nantinya akan menjadi pemicu keterbentukan rekahan ekstensi sebagai jalur bagi fluida hidrotermal pembentuk breksi hidrotermal yang berkembang di daerah baratlaut kavling penelitian. Pola tegasan yang terjadi pada keseluruhan kala telah menghasilkan 21 sesar.

5. Pola alterasi yang berkembang di daerah penelitian terbagi menjadi enam zona yang masing-masing dicirikan oleh kehadiran mineral-mineral tertentu, yakni Zona Alterasi Argilik Lanjut, Zona Alterasi Argilik Intermediet, Zona Alterasi Argilik, Zona Alterasi Propilitik Dalam, Zona Alterasi Propilitik Luar, dan Zona Alterasi Silisik (Sistem Urat). Mineralisasi daerah penelitian dijumpai dalam bentuk urat, *vuggy*, dan breksi hidrotermal. Mineral-mineral logam ekonomis yang dijumpai pada daerah penelitian di antaranya: pirit, kalkopirit, galena, sfalerit, enargit, kalkosit, kovelit, tenantit, bornit, pirolusit, rodokrosit, emas, spekularit, dan malakit.

6. Keterlibatan struktur geologi dalam membentuk rekahan ekstensi berperan sebagai embrio awal pembentuk *extension vein* dan *oblique extension-fault vein*. *Extension vein* dikarakteristikkan dengan perkembangan tekstur urat kuarsa bervariasi di antaranya tekstur *dogteeth*, *comb*, *chalcedony*, *drushy cavities infilling*, dan *saccharoidal*. *Oblique extension-fault vein* sering kali dijumpai sebagai urat breksi dan pada beberapa tempat memperlihatkan pengisian pada rekahan gerus. Keterhubungan struktur geologi berupa dua sesar mendatar berperan penting sebagai pembentuk fasilitas tempat penyedia rekahan ekstensi yang nantinya menjadi jalur bagi naiknya fluida hidrotermal pembentuk breksi hidrotermal. Geometri rekahan ekstensi di daerah penelitian di dapati berupa *sheeted vein* dan *jog dilatational*.

7. Implikasi breksi diatrema mempertemukan fitur-fitur mineralisasi yang beragam. Keterbentukan breksi hidrotermal sebagai proses lanjutan dari breksi diatrema turut menjadi salah satu kontrol pendeposisian mineral-mineral logam bernilai ekonomis. Keterlibatan pembentukan breksi diatrema ini berpengaruh terhadap kompleksitas perkembangan alterasi dan mineralisasi daerah penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1996, *Sandi Stratigrafi Indonesia*, Jakarta: Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI). 34 hal.
- Arribas, A., 1995, Characteristics of High-Sulfidation Epithermal Deposits, and Their Relation to Magmatic Fluid, *Mineralogical Association Of Canada Short Course*, 23, pp.419-454.
- Berger, B.R., Ayuso, R.A., Wynn, J.C. and Seal, R.R., 2008, *Preliminary Model of Porphyry Copper Deposits*, US Geological Survey Open-File Report, 1321, p.55.
- Chávez, W., 2000, Supergene Oxidation of Copper Deposits: Zoning And Distribution of Copper Oxide Minerals, *SEG Newsletter, Society of Economic Geologists*, 41, pp.10-21.
- Carlile, J. and Mitchell, A., 1994, Magmatic Arcs and Associated Gold and Copper Mineralization in Indonesia, *Journal of Geochemical Exploration*, 50(1-3), pp.91-142.
- Corbett, G., and Leach, T., 1997, *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems : Structure, Alteration, and Mineralization*, Australia.
- Davies, A.G., Cooke, D.R., Gemmell, J.B., van Leeuwen, T., Cesare, P. and Hartshorn, G., 2008, Hydrothermal Breccias and Veins at The Kelian Gold Mine, Kalimantan, Indonesia: Genesis of a Large Epithermal Gold Deposit, *Economic Geology*, 103(4), pp.717-757.
- Fossen, H., 2016, *Structural Geology*, Cambridge University Press.
- Hofstra, H.D., Goldfarb R.J., Reed. M.H. 2014., *Treatise on Geochemistry, Second Edition*, 13, 383-424, Oxford: Elsevier.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A., and Gonzalez-Urien, E., 2000, Exploration for Epithermal Gold Deposits. *Reviews in Economic Geology*, 13(2), pp.45-77.
- Abdullah, C.I, Magetsari, A., dan Purwanto, H., 2003, Analisis Dinamik Tegasan Purba pada Satuan Batuan Paleogen – Neogen di Daerah Pacitan dan Sekitarnya, Provinsi Jawa Timur Ditinjau dari Studi Sesar Minor dan Kekar Tektonik. *ITB Journal of Sciences*, 35(2), pp.111-127.
- John, D.A., 2010, *Porphyry Copper Deposit Model*, Virginia: US. Geological Survey Lingrend, W. 1933. Mineral Deposit. USA : McGraw-Hill Book Company. Inc.

- Maryono, A., Harrison, R., Cooke, D., Rompo, I. and Hoschke, T., 2018, Tectonics and Geology of Porphyry Cu- Au Deposits Along the Eastern Sunda Magmatic Arc, Indonesia. *Economic Geology*, 113(1), pp.7-38.
- Maryono, A., Setijadji, L.D., Arif, J., Harrison, R. and Soeriaatmadja, E., 2012, Gold, Silver and Copper Metallogeny of the Eastern Sunda Magmatic Arc Indonesia. In *Proceeding of Banda and Eastern Sunda Arcs 2012 MGEI Annual Convention* (pp. 26-27).
- Morrison, G., Guoyi, D., & Jaireth, S., 1995, *Textural Zoning in Epithermal Quartz Vein*, Townsville: Klondike Exploration Services.
- Pirajno F., 1992, *Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. New York. London, Paris.
- Prasetyadi, C., Sudarno, Indranadi, V.B., dan Surono, 2007, Pola dan Genesa Struktur Geologi Pegunungan Selatan, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, vol. 21, no. 2, hal. 91 – 107.
- Prasetyadi, C., 2007, *Evolusi Tektonik Paleogen Jawa Bagian Timur*, Disertasi Doktor, Teknik Geologi ITB, tidak dipublikasikan.
- Prasetya, I., Muchsin, N., Sapiie, B., Ryacudu, R., Asikin, S., Kunto, T., Harsolumakso, A.H., Astono, P. and Yulianto, L., 2003, The Collision of East Java Microplate and Its Implication for Hydrocarbon Occurrences in The East Java Basin. *IPA03-G085*.
- Reyes, A. G., 2000, *Petrology and Mineral Alteration in Hydrothermal Systems: From Diagenesis to Volcanic Catastrophes*, Reykjavik: United Nations University.
- Richards, J.P., 2009. Postsubduction Porphyry Cu-Au and Epithermal Au Deposits: Products of Remelting of Subduction-Modified Lithosphere, *Geology*, 37(3), pp.247-250.
- Richards, J.P., 2011, Magmatic to Hydrothermal Metal Fluxes in Convergent and Collided Margins, *Ore Geology Reviews*, 40(1), pp.1-26.
- Richards, J., 2014, Porphyry and Related Deposits in Subduction and Post-Subduction Settings, *Acta Geologica Sinica - English Edition*, 88(s2), pp.535-537.
- Richards, J., 2016, Clues to Hidden Copper Deposits, *Nature Geoscience*, 9(3), pp.195-196.
- Richards, J., 2018, A Shake-Up in the Porphyry, *World Economic Geology*, 113(6), pp.1225-1233.
- Rickard, M.J., 1972, Fault Classification: Discussion, *Geological Society of America Bulletin*, 83(8), pp.2545-2546.
- Taylor, R., 2011, *Gossans and Leached Cappings: Field Assessment*, Springer Science & Business Media.
- Sillitoe, R.H. and Hedenquist, J.W., 2003, Linkages Between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits, *Special Publication-Society of Economic Geologists*, 10, pp.315-343.
- Salahuddin, H., 2015, Rekonstruksi Tektonik Mikrokontinen Pegunungan Selatan Jawa Timur: Sebuah Hipotesis Berdasarkan Analisis Kemagnetan Purba, In *Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke-8 Academia-Industry Linkage 15-16 Oktober 2015; Grha Sabha Pramana. Departemen Teknik Geologi*.
- Sun, W., Huang, R., Li, H., Hu, Y., Zhang, C., Sun, S., Zhang, L., Ding, X., Li, C., Zartman, R. and Ling, M., 2015, Porphyry Deposits and Oxidized Magmas, *Ore Geology Reviews*, 65, pp.97-131.
- Sutopo, B., 2005, *Geological and Geochemical Appraisals of Leached Capping above Andean Porphyry Deposits*, Centre of Excellence in Ore Deposits-University of Tasmania, Australia. Taylor.
- Tămaş, C.G. and Milési, J.P., 2002, Hydrovolcanic Breccia Pipe Structures-General Features and Genetic Criteria Phreatomagmatic Breccias, *Studia UBB Geologia*, 47(1), pp.127-147.
- Thenepalli, T., Chilakala, R., Habte, L., Tuan, L. Q., & Kim, C. S., 2019, A Brief Note on The Heap Leaching Technologies for The Recovery of Valuable Metals. *Sustainability*, 11(12), 3347.
- White, N.C. and Hedenquist, J.W., 1995, Epithermal Gold Deposits. Styles, Characteristics and Exploration, *SEG Newsletter*, 27, pp.1-13.
- Wang, L., Qin, K.Z., Song, G.X. and Li, G.M., 2019, A Review of Intermediate Sulfidation Epithermal Deposits and Subclassification, *Ore Geology Reviews*, 107, pp.434-456.
- van Bemmelen, R.V., 1949, *The Geology of Indonesia. Vol. 1A: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, US Government Printing Office.
- Verstappen, H.T., 1985, *Applied Geomorphological Survey and Natural Hazard Zoning*, Enschede: ITC.

