

## GEOLOGI DAN STUDI KENDALI STRUKTUR TERHADAP ALTERASI HIDROTHERMAL DESA JERUK DAN SEKITARNYA, KECAMATAN BANDAR, KABUPATEN PACITAN, PROVINSI JAWA TIMUR

Leon Canavarro Odillo, Suprpto, Hendaryono  
Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta  
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283  
Telp. (0274) 486403, 486733 ; Fax. (0274) 487816 ; Email: geoupn@indosat.net.id  
Corresponding author : [leoncanavarro@gmail.com](mailto:leoncanavarro@gmail.com)

**Sari** - Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat (UTM-WGS84-Zona 49S) 524225 mE – 529225 mE dan 916325 mN – 9121325 mN mU. Sedangkan secara administratif daerah penelitian masuk ke dalam Kecamatan Bandar, dan Nawangan, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur.

Berdasarkan analisis aspek-aspek geomorfologi, pola pengaliran daerah penelitian dapat dibagi menjadi dua yaitu pola pengaliran *Rectangular* dan pola pengaliran *Parallel* pada tiga Daerah Aliran Sungai yaitu DAS Jeruk (*Rectangular*), DAS Kali Ngambo (*Rectangular*), dan DAS Bandar (*Parallel*). Bentuk lahan terbagi menjadi tujuh satuan yaitu Perbukitan Lava (V1), Perbukitan Intrusi (V2), Lembah Intrusi (V3), Bukit Intrusi (V4), Perbukitan Kubah (S1), Lembah Sesar (S2), dan Perbukitan Denudasional (D1).

Stratigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi tujuh satuan batuan dari tua ke muda, yaitu satuan breksi Jajar (Oligosen Akhir), satuan lava Jajar (Oligosen Akhir), satuan batupasir Sidodadi (Oligosen Akhir-Miosen Awal), Satuan batupasir Watupudi (Miosen Awal), litodem dasit, litodem andesit dan satuan endapan aluvial (*recent*).

Struktur geologi daerah penelitian meliputi kekar, sesar, dan kedudukan perlapisan batuan yang membentuk kubah. Sesar daerah penelitian dapat dibagi menjadi delapan kelompok yaitu Kelompok Sesar Jambu-Sugihan-Nalangan, Kelompok Sesar Bendo-Sidodadi, Kelompok Sesar Bendo-Kaliwungu, Kelompok Sesar Nalangan-Buluh, Kelompok Sesar Sugihan-Nglangan, Kelompok Sesar Jajar-Sidodadi yang berumur Miosen Awal, serta Kelompok Sesar Jajar-Bangsari, Sesar Sempu dan Sesar Jajar yang berumur Miosen Tengah.

Daerah penelitian telah mengalami alterasi yang intens dan membentuk himpunan mineral tertentu, zonasi alterasi hidrotermal dapat dibagi menjadi lima, yaitu zona alterasi silisik (kuarsa ± silika ± pirit), filik (kuarsa + serisit/illit + pirit), argilik (illit + haloysit ± kuarsa), argilik lanjut (silika + haloysit + alunit), dan propilitik (klorit + kalsit + haloysit). Persebaran alterasi hidrotermal dipengaruhi oleh struktur geologi berupa sesar yang berumur Miosen Awal (*pre-syn*), sedangkan sesar yang berumur Miosen Tengah (*post*) tidak mempengaruhi persebaran alterasi hidrotermal. Tipe endapan hidrotermal di daerah penelitian merupakan epitermal sulfidasi rendah.

**Kata - kata kunci** : alterasi hidrotermal, zona alterasi, silisik, filik argilik

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Endapan hidrotermal adalah endapan yang terbentuk pada sistem hidrotermal. Dalam sistem hidrotermal terdapat dua komponen utama, yaitu sumber panas dan fase fluida, sirkulasi fluida menyebabkan himpunan mineral pada batuan dinding (*wall rocks*) menjadi tidak stabil dan cenderung menyesuaikan kesetimbangan baru dengan membentuk himpunan mineral yang sesuai dengan kondisi yang baru, proses ini dikenal dengan alterasi hidrotermal. Alterasi Hidrotermal merupakan proses yang kompleks yang melibatkan perubahan mineralogi, kimia, dan hasil interaksi fluida dengan batuan yang di lewatinya (Pirajno, 1992).

Daerah penelitian merupakan daerah yang dipengaruhi oleh adanya aktivitas tektonik berupa subduksi dan berada pada busur vulkanik pada kala Oligo-Miosen, aktivitas tektonik akan berpengaruh terhadap keberadaan struktur geologi yang ada. Melalui struktur geologi berupa sesar dan kekar, fluida hidrotermal dapat bergerak dan berinteraksi dengan batuan sekitarnya sehingga kehadiran dan pola penyebaran alterasi hidrotermal akan dipengaruhi oleh keberadaan struktur geologi yang berkembang. Desa Jeruk dan sekitarnya memiliki tipe endapan epitermal yang potensi mineralisasinya telah diketahui di sekitar Gunung Gembes dengan komoditi logam emas (Au), air raksa (Hg), dan platina (Pt) (Sampurno dan Samodra, 1997). Maka dari itu pemahaman struktur geologi menjadi sangat penting untuk melakukan pendekatan guna mengkaji lebih lanjut mengenai alterasi hidrotermal yang merupakan aspek penting dalam pencarian bahan galian logam.

#### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari tatanan geologi meliputi geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi, sejarah geologi dan pengaruh struktur geologi terhadap alterasi hidrotermal di daerah penelitian.

### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian secara administratif terbagi menjadi 2 kecamatan yaitu Bandar, dan Nawangan, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur yang meliputi desa Jeruk, Bandar, Bangunsari (Kec. Bandar), dan Sempu (Kec. Nawangan). Secara geografis daerah penelitian berada pada 524225 mE – 529225 mE dan 916325 mN – 9121325 mN (UTM zona 49S) dengan luas 25 km<sup>2</sup>.

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pengambilan data lapangan berupa pengambilan data dari pengamatan lintasan dan pengambilan conto batuan. Hasil pengambilan data dari pengamatan lintasan diintegrasikan dengan data hasil analisis laboratorium dan studio seperti data hasil analisis satuan geomorfik, analisis petrografi dan mineragrafi, analisis struktur, analisis XRD, dan analisis paleontologi untuk menghasilkan peta lintasan dan lokasi pengamatan, peta pola pengaliran, peta geomorfologi, peta geologi, peta lintasan dan lokasi pengamatan alterasi, peta alterasi, peta struktur, dan laporan hasil penelitian.

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### Geomorfologi

Pola pengaliran daerah telitian terbagi menjadi dua jenis dalam 3 Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai berikut :

1. DAS Jeruk

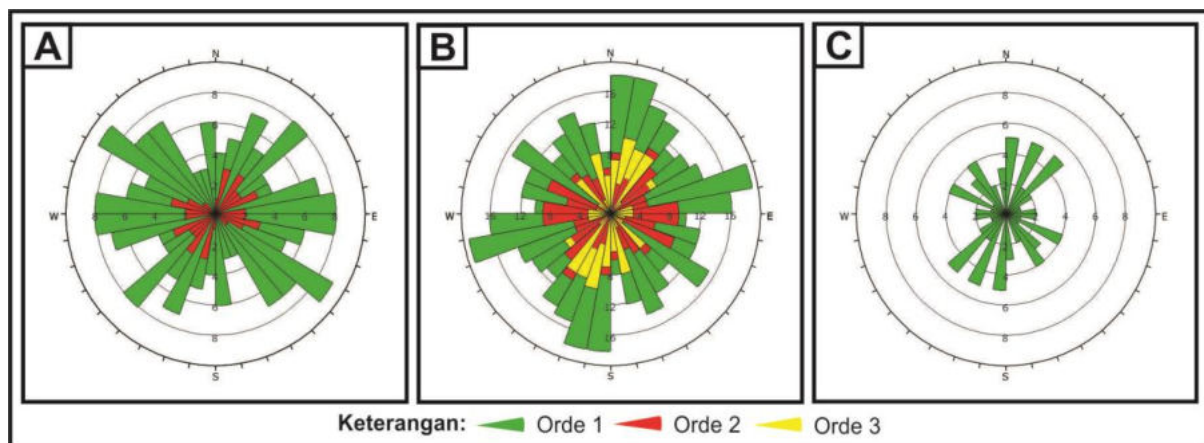
Daerah Aliran Sungai ini terletak di bagian barat daerah telitian dengan pola pengaliran adalah *Rectangular* yang dikontrol secara dominan oleh pola rekahan berupa kekar dan sesar, tempat mengalir pada *bedrock stream* dengan bentuk lembah V dan terbagi menjadi dua orde berdasarkan metode Strahler (1981).

2. DAS Kali Ngambo

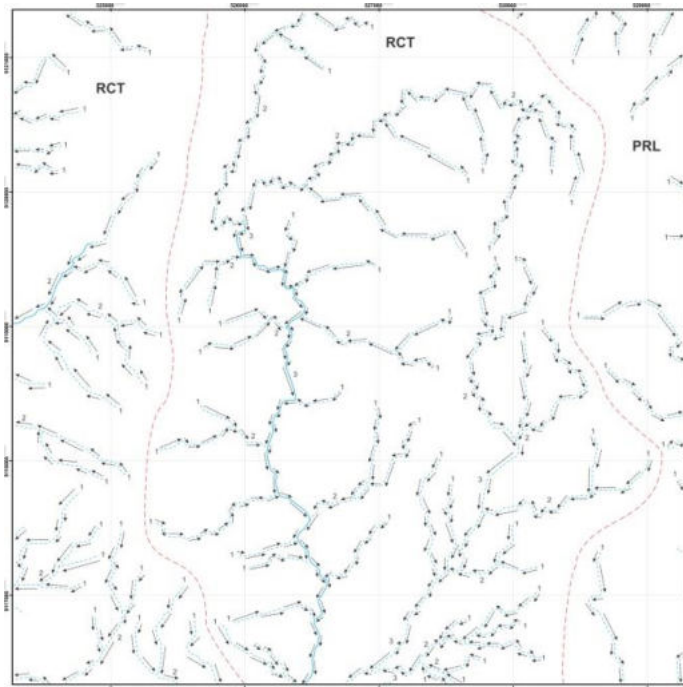
Daerah Aliran Sungai ini terletak di bagian tengah yang juga paling dominan di daerah telitian, memiliki pola pengaliran *Rectangular* yang dikontrol secara dominan oleh pola rekahan berupa kekar dan sesar. Pada bagian utara secara setempat terdapat pola aliran *Annular* diakibatkan adanya batuan terobosan sehingga membentuk struktur kubah. Tempat mengalir pada *bedrock stream*, bentuk lembah V dan terbagi menjadi tiga orde berdasarkan metode Strahler (1981).

3. DAS Bandar

Daerah Aliran Sungai ini terletak di bagian timur daerah telitian dengan penyebaran yang terbatas, pola pengaliran diperkirakan adalah *Parallel* yang dikontrol oleh kemiringan lereng serta umumnya sungai searah dengan kemiringan perlapisan (konsekuen). Tempat mengalir pada *bedrock stream* dengan bentuk lembah V, berdasarkan metode Strahler (1981) .



**Gambar 1.** Diagram rosset pola pengaliran: (A) DAS Jeruk; (B) DAS Kali Ngambo; (C) DAS Bandar



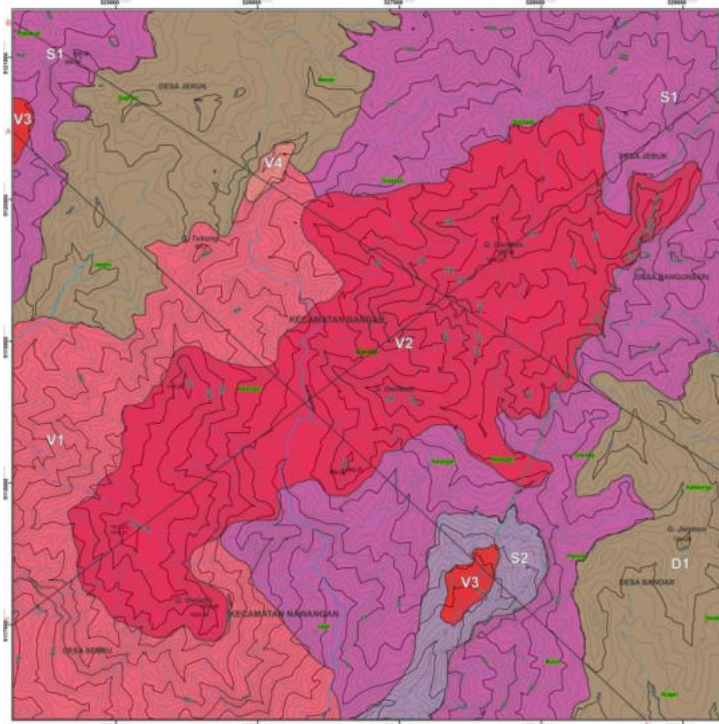
**Gambar 2.** Peta Pola Pengaliran

Satuan bentuk lahan daerah penelitian dapat dibagi menjadi 7, yaitu Perbukitan Lava (V1), Perbukitan Intrusi (V2), Lembah Intrusi (V3), Bukit Intrusi (V4), Perbukitan Kubah (S1), Lembah Sesar (S2), dan Perbukitan Denudasional (D1) yang persebarannya dapat dilihat pada Peta Geomorfologi.



**Gambar 3.** Bentang alam pembagian bentuk lahan: (A) bentang alam diambil dari Dsn. Nalangan; (B) bentang alam diambil dari Dsn. Bendo; (C) bentang alam diambil dari Dsn. Panjang; (D) bentang alam diambil dari lembah K.Dowo; (E) bentang alam diambil dari Dsn. Jambu.





**Gambar 4.** Peta Geomorfologi

### Stratigrafi

Satuan litostratigrafi daerah penelitian mengikuti tatanama litostratigrafi menurut kaidah Sandi Stratigrafi Indonesia (1996) dengan tata penamaan satuan litostratigrafi tak resmi berdasarkan satuan batuan yang bersendi kepada ciri litologi diikuti nama letak geografis dari stratotipe (lokasitipe). Berdasarkan hasil pemetaan geologi dan analisis data, maka satuan litostratigrafi tak resmi di daerah penelitian dari tua ke muda meliputi:

#### 1. Satuan breksi Jajar

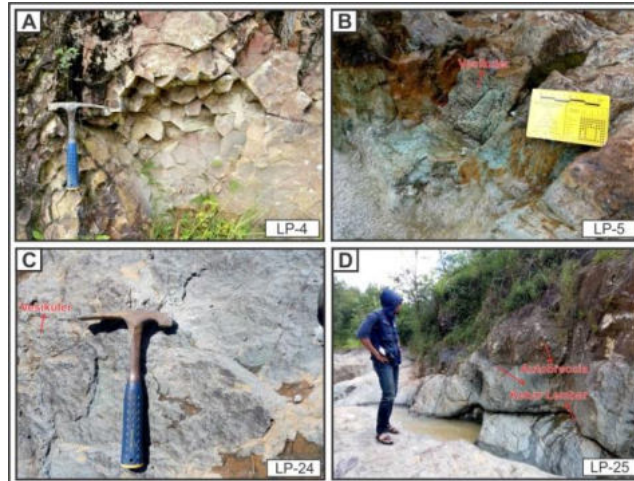
Satuan ini menempati 7% luasan peta, secara umum kedudukan pada satuan ini memiliki kemiringan relatif ke selatan dengan sudut 9-24°. Satuan ini didominasi oleh breksi vulkanik dengan struktur masif serta setempat didapatkan adanya lapili. Merupakan fasies medial dari gunungapi yang diendapkan pada lingkungan laut dengan umur Oligosen Akhir (Sampurno dan Samodra, 1997).



**Gambar 5.** Foto lapangan pada satuan breksi Jajar: (A) breksi vulkanik yang hampir seluruh fragmen dan matriks telah mengalami alterasi hidrotermal; (B) breksi vulkanik yang menunjukkan kedudukan lapisan; (C) singkapan breksi vulkanik dengan struktur masif yang tersesarkan pada lokasitipe Dusun Jajar ; (D) *close-up* kenampakan fragmen andesit berukuran hampir mencapai 1m.

2. Satuan lava Jajar

Satuan ini menempati 18% luasan peta yang tersebar di sebelah barat daya daerah penelitian. Satuan ini didominasi oleh lava andesit dan setempat didapatkan breksi vulkanik dan batupasir vulkanik. Litologi lava andesit dicirikan dengan kenampakan lapangan warna abu-abu sampai kehijauan, putih, dan putih kemerahan dengan tekstur porfiroafanitik, mineral primer penyusun berupa plagioklas, hornblende, piroksen, dan gelas serta memiliki struktur berupa vesikuler, *flow-banded*, *autobreccia*, kekar kolom, dan kekar lembar. Merupakan fasies proksimal dari gunungapi yang diendapkan pada lingkungan laut dengan umur Oligosen Akhir (Sampurno dan Samodra, 1997).



**Gambar 6.** Foto lapangan pada satuan lava Jajar: (A) lava dengan struktur kekar kolom (B) lava dengan struktur vesikuler dan *flow-banded* ; (C) lava andesit dengan struktur vesikuler pada lokasitipe Dusun Jajar ; (D) lava dengan struktur aliran berupa kekar lembar dan bagian atas membentuk *autobreccia*.

3. Satuan batupasir Sidodadi

Satuan ini menempati 38% luasan peta, secara umum kedudukan pada satuan ini memiliki kemiringan relatif ke selatan dengan sudut 9-24°. Satuan batupasir Sidodadi bagian bawah didominasi oleh batupasir vulkanik yang berselingan dengan batulempung, batulempung hitam dan batulanau vulkanik, setempat ditemukan lava andesit, selain itu seringkali ditemukan hornfels akibat terobosan dasit dengan sifat yang kompak. Hasil analisis dari variasi litologi menunjukkan bahwa satuan ini diendapkan pada lingkungan laut dalam (*deep subaqueous*) berdasarkan klasifikasi McPhie (1993), serta berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal (Sampurno dan Samodra, 1997).

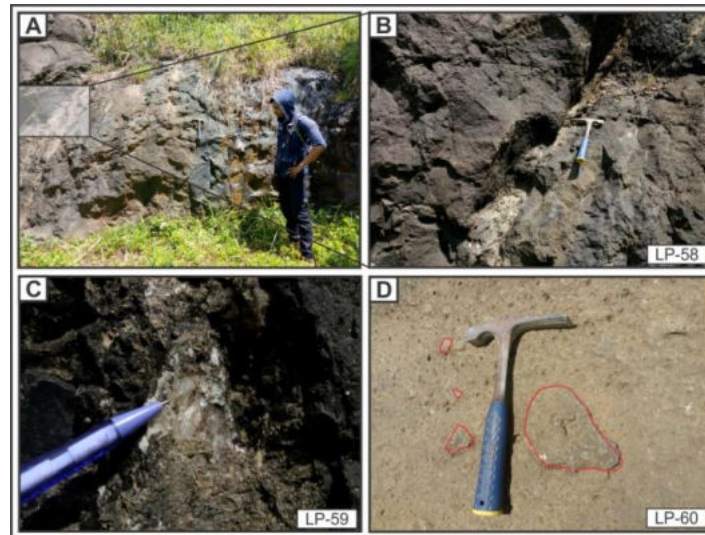


**Gambar 7.** Foto lapangan pada satuan batupasir Sidodadi: (A) perselingan batupasir dan batulempung hitam; (B) breksi polimik dengan struktur perlapisan bersusun ; (C) batupasir berlapis tebal sekitar 30-50 cm; (D) batupasir berukuran kasar dengan struktur masif.



## 4. Satuan batupasir Watupudi

Satuan ini menempati 5% luasan peta, Satuan batupasir Watupudi disusun oleh dominasi litologi batupasir vulkanik dan batupasir breksian. Batupasir vulkanik dicirikan dengan kenampakan warna abu-abu kehitaman, ukuran butir pasir kasar, menyudut, terpilah buruk, kemas terbuka fragmen plagioklas, piroksen, hornblende, matriks mineral berukuran lempung, litik, semen silika, struktur masif. Satuan ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal dengan umur Miosen Awal (Sampurno dan Samodra, 1997).



**Gambar 8.** Foto lapangan pada satuan batupasir Watupudi: (A) batupasir vulkanik dengan struktur masif; (B) *close-up* batupasir vulkanik dengan kenampakan kekar-kekar yang terisi kalsit; (C) kalsit yang mengisi kekar; (D) batupasir breksian dengan fragmen berukuran maks 10 cm.

## 5. Litodem dasit

Satuan ini menempati 24% luasan peta, Merupakan batuan terobosan berkomposisi dasit dengan kenampakan lapangan warna abu-abu, putih, hijau, hingga putih kemerahan dengan tekstur hipokristalin, fanerik halus-sedang, subhedral, porfirofanitik, mineral primer penyusun berupa plagioklas, biotit, hornblende, kuarsa, dan gelas serta memiliki struktur berupa kekar kolom, masif, *lobes*, dan kekar lembar. Satuan ini menerobos satuan-satuan sebelumnya yang diperkirakan terjadi pada kala Miosen Awal.



**Gambar 9.** Foto lapangan pada litodem dasit: (A) dasit dengan struktur kekar lembar yang mengalami silisifikasi; (B) dasit dengan struktur kekar kolom yang teralterasi sangat kuat; (C) *xenolith* batupasir dan batulempung pada tubuh intrusi dasit; (F) bagian terluar intrusi dasit yang menunjukkan struktur *lobes*, batupasir yang diterobos berubah menjadi *hornfels*.

## 6. Litodem Andesit

Satuan ini menempati 3% luasan peta, Merupakan batuan terobosan berkomposisi andesit dengan kenampakan lapangan warna abu-abu sampai dengan hijau dengan hipokristalin, afanitik-fanerik halus,

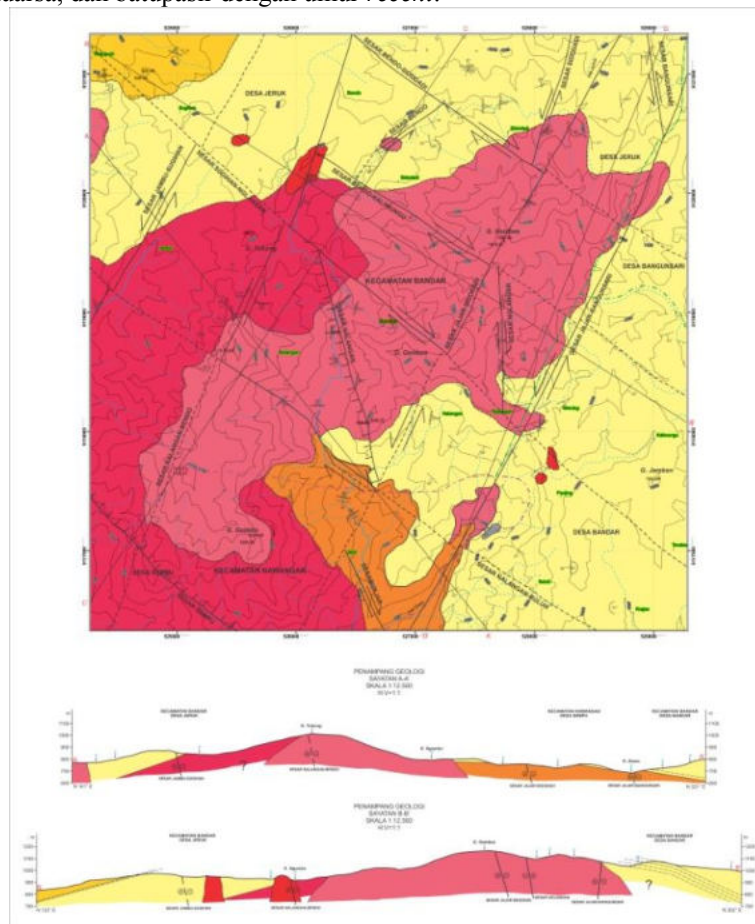
tekstur porfiroafanitik, euhedral mineral penyusun yaitu plagioklas, hornblende, piroksen, dan gelas serta memiliki struktur masif. Satuan ini menerobos satuan-satuan sebelumnya yang diperkirakan terjadi pada kala Miosen Awal.



**Gambar 10.** Foto lapangan pada litodem andesit: (A) andesit dengan struktur masif; (B) andesit dengan struktur masif dan terkekarkan.

7. Satuan Endapan Aluvial

Endapan ini menempati <1% luasan peta, Merupakan endapan dengan warna abu-abu; ukuran butir pasir kasar-bongkah berupa material lepas, komposisi fragmen berupa litologi sekitar seperti andesit, dasit, batulempung, kuarsa, dan batupasir dengan umur *recent*.



**Gambar 11.** Peta Geologi

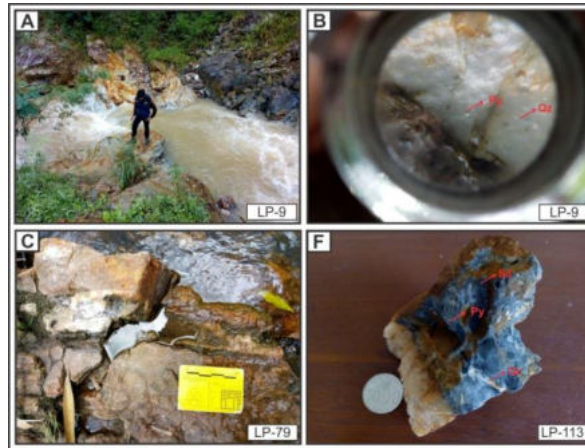
**Alterasi Hidrotermal**

Berdasarkan hasil pemetaan geologi diketahui daerah penelitian memiliki tubuh intrusi yang besar dengan komposisi dasit dan diikuti dengan terobosan andesit, intrusi-intrusi ini diindikasikan merupakan sumber panas yang mempengaruhi alterasi hidrotermal yang kemudian penyebarannya dikendalikan oleh struktur geologi berupa sesar dan kekar yang banyak berkembang di daerah penelitian. Alterasi hidrotermal terbentuk dengan intensitas beragam dan telah merubah hingga 94% luasan daerah penelitian. Proses alterasi hidrotermal tersebut

kemudian membentuk himpunan-himpunan mineral tertentu yang dapat dikelompokkan menjadi zona alterasi berikut :

1. Silisik (Kuarsa ± Silika ± Pirit)

Zona alterasi ini menempati luasan 1% pada daerah telitian, tepatnya berada di sekitar Kali Ngambo dan Dsn. Sidodadi yang terbentuk pada struktur berupa sesar dan kekar terutama pada perpotongan dan sesar dilasional. Zona ini berasosiasi dengan urat kuarsa dan breksi hidrotermal yang terbentuk akibat proses silisifikasi, terdiri dari himpunan mineral kuarsa dan silika serta terdapat mineral sulfida berupa pirit. Secara umum dicirikan dengan kehadiran mineral silika yang menyeluruh dan batuan yang sangat kompak. Berdasarkan himpunan mineral utama yang ditemukan pada zona alterasi ini berupa kuarsa, silika dan pirit maka diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu 100-230° C (Hedenquist, 2017).



**Gambar 12.** Foto zona alterasi silisik: (A) singkapan alterasi silisik di Kali Ngambo; (B) *close-up* kenampakan mineral pirit dan kuarsa; (C) urat kuarsa yang menyebabkan batuan samping mengalami silisifikasi; (D) conto batuan silisifikasi dengan tekstur breksi hidrotermal.

2. Filik (Kuarsa + Serisit/Illit + Pirit)

Zona alterasi ini menempati luasan 2% pada daerah penelitian yang terbentuk di lembah-lembah sekitar Gunung Gembes pada jalur sesar. Zona ini dicirikan dengan himpunan mineral utama kuarsa, serisit/illit, serta pirit yang hadir secara menyebar (diseminasi) dan pada urat-urat halus (*veinlet*). Secara umum menunjukkan kenampakan warna abu-abu sampai putih dengan warna mineral yang mengkilap (serisit dan pirit). Berdasarkan himpunan mineral utama yang ditemukan pada zona alterasi ini maka diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu 210-230° C (Hedenquist, 2017), hal ini menunjukkan bahwa zona alterasi ini merupakan zona dengan suhu pembentukan paling tinggi di daerah penelitian.



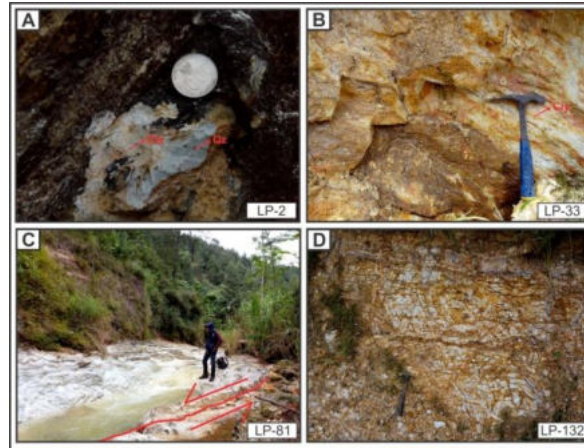
**Gambar 13.** Foto zona alterasi filik: (A) sesar mendatar yang mempengaruhi persebaran zona alterasi filik secara setempat; (B) singkapan pada litodem dasit di sekitar Gunung Gembes; (C) kenampakan mineral kuarsa, illit, pirit dan serisit; (D) mineral pirit pada urat-urat halus (*veinlet*) serta kuarsa dan illit.

3. Argilik (Illit + Haloysit ± Kuarsa)

Zona alterasi ini menempati luasan 35% pada daerah penelitian yang tersebar di hampir seluruh bagian daerah penelitian dari lembah-lembah gunung gembes hingga ke bagian utara dan selatan. Zona ini terdiri



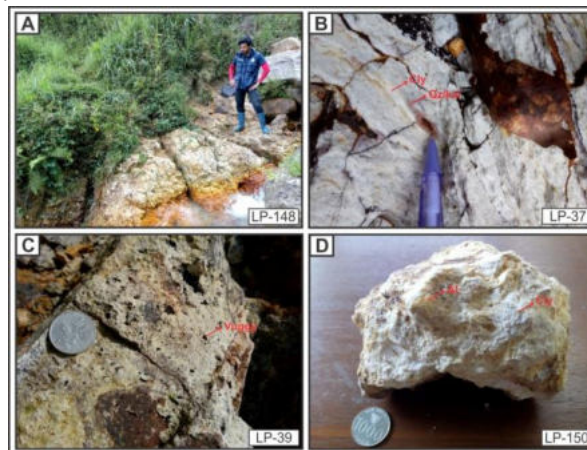
dari himpunan mineral utama berupa mineral lempung (haloysit dan illit) serta juga terdapat klorit dan kuarsa, zona ini berasosiasi dengan urat kuarsa yang mengandung mineral sulfida berupa pirit. Secara umum dicirikan dengan kenampakan warna putih, didominasi oleh mineral lempung dan umumnya mengalami longsor akibat lempung yang ekspansif. Berdasarkan himpunan mineral utama yang ditemukan pada zona alterasi ini maka diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu 140-220° C (Hedenquist, 2017).



**Gambar 14.** Foto zona alterasi argilik: (A) kenampakan mineral lempung dan kuarsa; (B) mineral lempung dengan kesan berlapis; (C) zona alterasi argilik yang terbentuk di sekitar jalur sesar mendatar; (D) singkapan batuan terkekarkan dan berubah kuat seluruhnya menjadi mineral lempung.

4. Argilik Lanjut (Silika + Haloysit + Alunit)

Zona alterasi ini menempati luasan 24% pada daerah penelitian dan menyebar di bagian tengah daerah penelitian di sekitar Gunung Gembes dan Gunung Tukung, zona ini dijumpai pada bukit-bukit dan menutupi zona alterasi lainnya. Zona ini terdiri dari himpunan mineral utama silika, haloysit, alunit serta setempat didapatkan mineral kalsit, zeolit dan sedikit mineral sulfida berupa pirit pada tekstur *vuggy*. Secara umum dicirikan dengan kenampakan warna putih kemerahan, didominasi oleh mineral silika dan lempung dengan sifat batuan yang kompak dan kadang memperlihatkan tekstur *vuggy*. Berdasarkan himpunan mineral utama yang ditemukan pada zona alterasi ini maka diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu 50-90° C (Hedenquist, 2017).

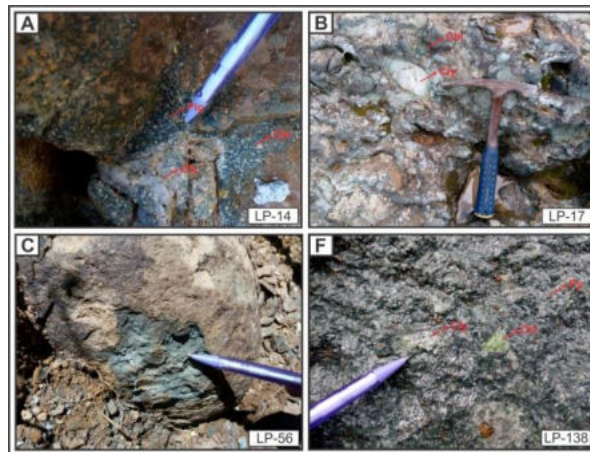


**Gambar 15.** Foto zona alterasi argilik lanjut: (A) singkapan alterasi di sekitar Kali Ngambo; (B) mineral kuarsa/kalsedon dengan tekstur *infilling* dan mineral lempung; (C) tekstur *vuggy*; (D) contoh batuan yang menunjukkan mineral lempung dan alunit.

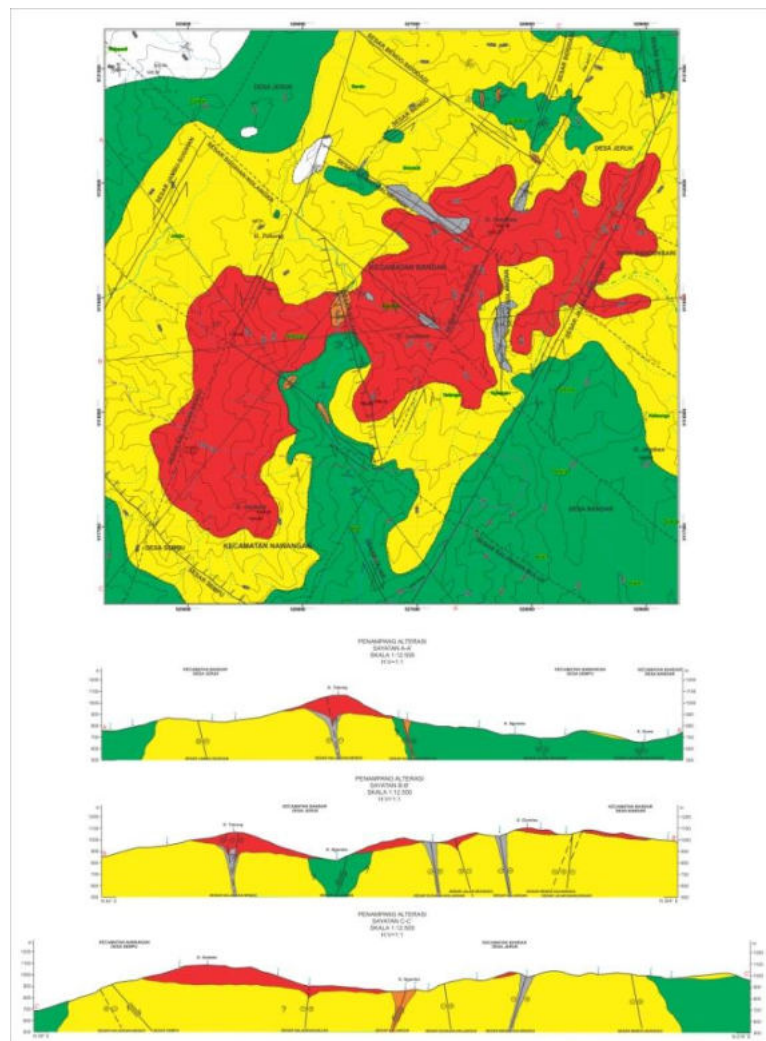
5. Propilitik (Klorit + Kalsit + Haloysit)

Zona alterasi ini menempati luasan 32% pada daerah penelitian dan umumnya terdapat pada lembah atau daerah dengan elevasi yang lebih rendah tepatnya di lembah Kali Ngambo dan Kali Dowo serta di sekitar Dsn. Sidodadi. Zona ini terdiri dari himpunan mineral utama berupa klorit, kalsit, dan haloysit serta juga terdapat illit, serisit, dan pirit (diseminasi) di sekitar zona rekahan. Secara umum dicirikan dengan kenampakan warna putih kehijauan pada batuan yang berubah. Berdasarkan himpunan mineral utama yang

ditemukan pada zona alterasi ini maka diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu 120-200° C (Hedenquist, 2017) yang merupakan zona alterasi yang berada paling jauh dari sumber panas.



**Gambar 16.** Foto zona alterasi propilitik: (A) mineral lempung, klorit dan plagioklas pada batuan asal dasit; (B) mineral lempung dan klorit pada litologi breksi; (C) kenampakan mineral klorit pada batuan asal dasit; (D) mineral lempung, klorit, dan pirit pada batuan asal batupasir.



**Gambar 17.** Peta Alterasi

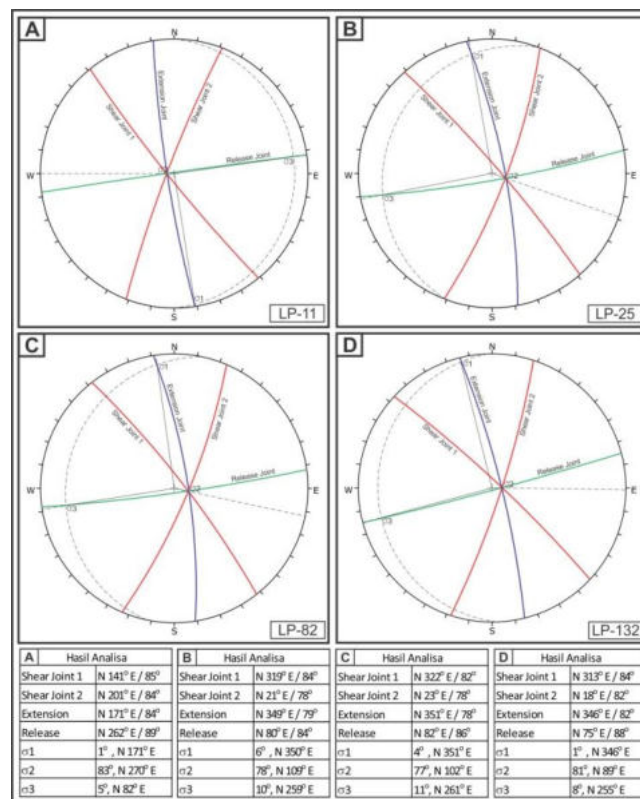
**Struktur Geologi**

**Kekar**

Struktur kekar di daerah penelitian berkembang secara sistematis dengan jenis kekar gerus dan tarik. Kekar gerus dicirikan dengan kenampakan bidang yang rapat, permukaan yang relatif halus, serta pola serat/*crystal fiber* yang sejajar dengan jurus bidang kekar jika terisi mineral sedangkan kekar tarik dicirikan dengan kenampakan bidang yang terbuka, permukaan yang relatif kasar, serta pola serat/*crystal fiber* yang tegak lurus dengan bidang kekar jika terisi mineral.

Berdasarkan analisa menggunakan metode stereografis yang dilakukan pada 4 lokasi pengamatan dapat disimpulkan bahwa pola kekar gerus (*shear joint*) di daerah penelitian secara umum relatif berarah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya, sedangkan kekar tarik relatif berarah utara-selatan (*extension joint*) dan barat-timur (*release joint*). Tegasan purba diketahui memiliki tegasan maksimum dengan arah relatif utara barat daya-selatan tenggara ( $1^{\circ}-6^{\circ}$ , N  $346^{\circ}$  E - N  $351^{\circ}$  E).

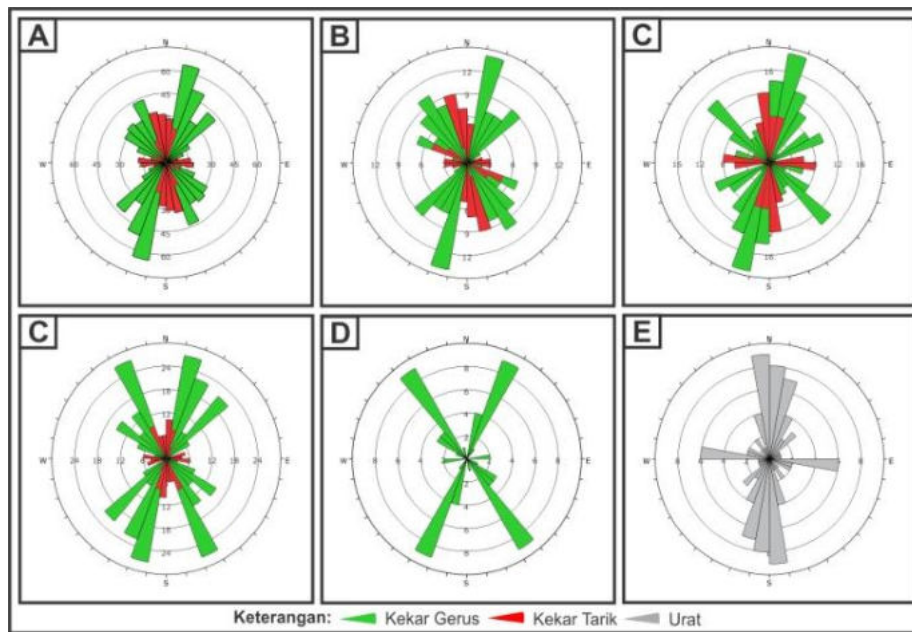
Analisa kekar gerus pada 4 lokasi pengamatan menunjukkan hasil yang cenderung sama meskipun dilakukan pada satuan batuan yang berbeda dengan lokasi tersebar, hal ini menunjukkan bahwa seluruh daerah penelitian dipengaruhi tegasan purba yang seragam yaitu akibat peristiwa subduksi pada kala Oligo-Miosen.



**Gambar 18.** Analisa kekar gerus (*shear joint*): (A) segmen tengah (Litodem dasit); (B) segmen selatan (Satuan lava jajar); (C) segmen tengah (Litodem andesit); (D) segmen utara (Satuan batupasir Sidodadi).

Analisa pola kekar menunjukkan arah umum yang saling mendukung dengan hasil analisa stereografis dengan keterdapatn pola kekar berarah relatif barat laut-tenggara dan utara timurlaut- selatan barat daya yang merupakan pola dari kekar gerus, sedangkan arah-arah lainnya yang tidak dominan diperkirakan merupakan pola dari kekar tarik maupun kekar-kekar penyerta sesar yang relatif berbeda-beda. Arah umum pola urat yang terbentuk pada daerah penelitian juga menunjukkan kecocokan dengan pola-pola kekar tarik (*extension* dan *release joint*) sehingga diinterpretasikan urat-urat yang berkembang di daerah penelitian didominasi oleh urat tarikan.





**Gambar 19.** Diagram roset pola kekar: (A) Keseluruhan daerah penelitian; (B) Satuan lava dan breksi Jajar; (C) Satuan batupasir Sidodadi; (D) Litodem dasit; (E) Litodem andesit; (F) Pola urat.

### Sesar

Struktur sesar di daerah penelitian berkembang secara sistematis dan memiliki pola tertentu dan hubungan satu sama lainnya. Setelah dilakukan analisa kinematik menggunakan proyeksi stereografis, diketahui sesar-sesar yang ditemukan di lapangan ada yang merupakan sesar mayor maupun sesar minor. Maka dari itu penulis mengelompokkan sesar-sesar tersebut berdasarkan suatu sistem sesar utamanya dan dianggap terbentuk bersamaan dimana penentuan umur sesar didasarkan atas satuan batuan termuda yang dipotongnya.

Sesar-sesar yang diperkirakan berumur Miosen Awal seluruhnya mempengaruhi persebaran alterasi hidrotermal yang ada di daerah penelitian, hal ini dapat terlihat jelas dari himpunan mineral yang berada di sekitar jalur sesar umumnya menunjukkan mineral-mineral bersuhu tinggi, adapun kelompok sesar tersebut adalah:

1. Kelompok Sesar Jambu-Sugihan-Nalangan  
Kelompok sesar ini berada pada bagian barat laut daerah penelitian yang terdiri dari 2 sesar utama yaitu Sesar Jambu-Sugihan dan Sesar Nalangan-Bendo serta terdapat 1 sesar minor (sintetik) di sekitar Gunung Tukung. Pada jalur Sesar Nalangan-Bendo terdapat zona alterasi filik pada LP 38 dan zona alterasi argilik yang juga membentuk urat gerusan termineralisasi sulfida pirit pada LP 81. Sedangkan Sesar Jambu-Sugihan mempengaruhi persebaran zona alterasi argilik serta *gash fracture* terisi oleh urat breksi dan pirit pada LP 70.
2. Kelompok Sesar Bendo-Sidodadi  
Kelompok sesar ini berada pada bagian utara daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Bendo-Sidodadi dan sesar minor (antitetik) yaitu Sesar Bendo pada lembah di sekitar Dsn Sidodadi. Sesar Bendo-Sidodadi mempengaruhi persebaran zona alterasi argilik dan *gash fracture* umumnya juga terisi oleh urat breksi dan pirit pada LP 105, pada perpotongan dengan Sesar Jajar-Sidodadi di LP 113 juga didapatkan breksi hidrotermal tersilisifikasi. Sedangkan pada Sesar Bendo didapatkan zona alterasi filik secara setempat pada LP 85.
3. Kelompok Sesar Bendo-Kaliwungu  
Kelompok sesar ini berada pada bagian tengah-utara daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Bendo-Kaliwungu, sesar minor (sintetik) yaitu Sesar Nglangan. Sesar Bendo-Kaliwungu mempengaruhi persebaran zona alterasi filik di sepanjang lembah bagian barat Gunung Gembes, sedangkan Sesar Nglangan juga ditemukan mempengaruhi persebaran zona alterasi filik di sepanjang lembah bagian selatan Gunung Gembes.
4. Kelompok Sesar Nalangan-Buluh  
Kelompok sesar ini berada pada bagian tengah daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Nalangan-Buluh, sesar minor (sintetik), dan sesar minor antitetik pada lembah di sekitar Kali Ngambo. Sesar Nalangan-Buluh membentuk zona alterasi silisik mengikuti pola sesar turun yang terbentuk secara lokal di LP 79 membentuk urat kuarsa dan silisifikasi dan juga pada LP 15 yang searah dengan pola sesar utama.

5. Kelompok Sesar Sugihan-Nglangan

Kelompok sesar ini berada pada bagian tengah daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Sugihan-Nglangan dan sesar turun Nalangan yang memotong perbukitan Gunung Gembes. Sesar Sugihan-Nglangan mempengaruhi persebaran zona alterasi filik di sepanjang lembah bagian barat daya Gunung Gembes, sedangkan Sesar Nalangan membentuk zona alterasi silisik mengikuti pola sesar di lembah Kali Ngambo.

6. Kelompok Sesar Jajar-Sidodadi

Kelompok sesar ini berada pada bagian tengah-timur daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Jajar-Sidodadi, sesar minor (sintetik) Sidodadi, dan sesar minor (antitetik) yang memotong perbukitan Gunung Gembes hingga lembah di Kali Ngambo. Sesar Jajar-Sidodadi mempengaruhi persebaran zona alterasi filik di sepanjang lembah bagian utara Gunung Gembes dan ditemukan mineral kuarsa, illit dan serisit pada zona alterasi propilitik di sekitar jalur sesar. Selain itu pada perpotongan dengan Sesar Bendo-Sidodadi juga membentuk breksi hidrotermal yang tersilisifikasi.

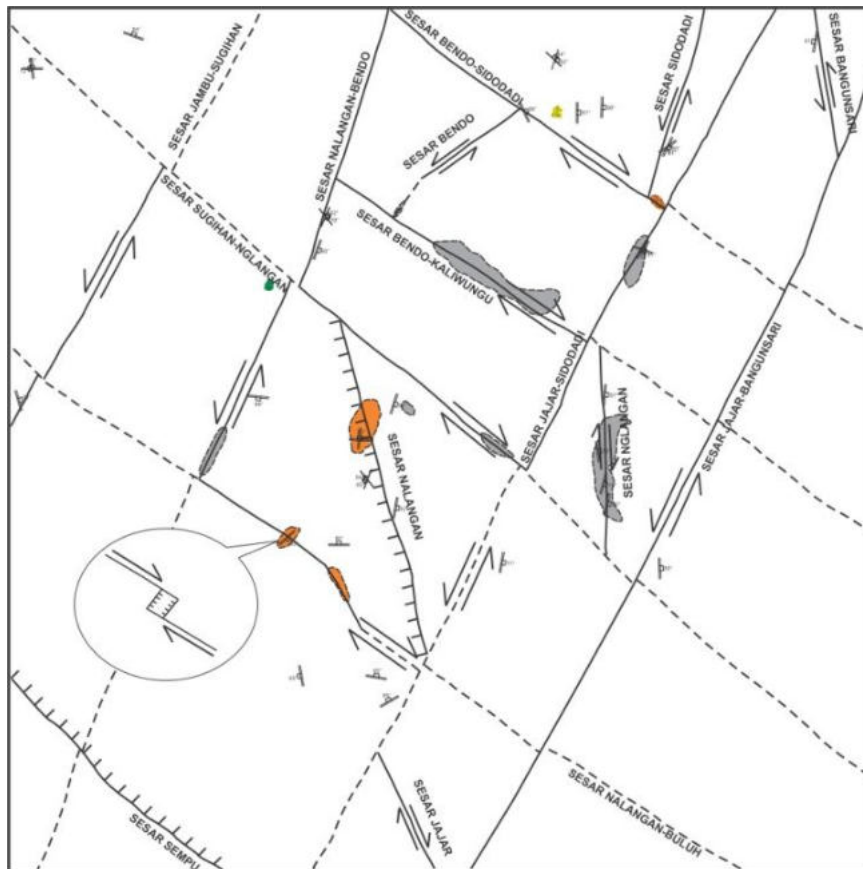
Sedangkan sesar-sesar yang diperkirakan berumur Miosen Tengah berdasarkan pengamatan di lapangan ditemukan tidak mempengaruhi persebaran alterasi hidrotermal(*post*). Hal ini didukung dengan tidak ditemukannya mineral-mineral bersuhu tinggi pada jalur sesar yang ada. Adapun kelompok sesar tersebut adalah:

1. Kelompok Sesar Jajar-Bangunsari

Kelompok sesar ini berada pada bagian tengah-timur daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Jajar-Bangunsari, sesar minor (sintetik) Bangunsari, dan memotong perbukitan Gunung Gembes hingga lembah di Kali Dowo membentuk morfologi lembah sesar. Di sepanjang Sesar Jajar-Bangunsari ditemukan mineral yang dominan adalah klorit, kalsit, dan haloysit dengan intensitas ubahan lemah-sedang dimana mineral-mineral tersebut menunjukkan suhu pembentukan yang rendah.

2. Sesar Sempu dan Sesar Jajar

Kedua sesar ini berada pada bagian selatan daerah penelitian, Sesar Sempu berada pada morfologi lereng terjal di barat daya Gunung Gedebe sedangkan Sesar Jajar berada di lembah Kali Ngambo. Di sepanjang Sesar Sempu ditemukan mineral dominan berupa klorit dan mineral lempung haloysit sedangkan pada Sesar Jajar hanya ditemukan mineral ubahan klorit dengan intensitas yang lemah dimana mineral-mineral tersebut menunjukkan suhu pembentukan yang rendah.



Gambar 20. Persebaran struktur dan zona alterasi temperatur tinggi

**TIPE ENDAPAN HIDROTERMAL****Tabel 1.** Perbandingan Karakteristik Tipe Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah, Epitermal Sulfidasi Tinggi dan Tipe Endapan Daerah Penelitian (White dan Hedenquist, 1995; Corbett dan Leach, 1997)

Komponen Pendekatan	Sulfidasi Tinggi	Sulfidasi Rendah	Tipe Endapan Daerah Telitian
Tatanan Tektonik	Busur magmatik	Busur magmatik-cekungan belakang busur & <i>continental rifting</i>	Busur magmatik
Struktur	Dikontrol oleh sistem sesar regional utama dan rekahan yang dibentuk pada beberapa generasi.	Sesar lokal/regional atau rekahan	Sesar dan Kekar
Tekstur	<i>Vuggy, locally vein and breccias</i>	<i>Crustiform, comb, colloform quartz, stockwork, vein breccias</i>	<i>Comb, vuggy, Stockwork, vein breccia</i>
<i>Host rock</i>	Batuan vulkanik asam-intermediet, umumnya riodasit (juga riolit, trakit, andesit)	Batuan vulkanik asam-intermediet, riolit hingga andesit serta berasosiasi dengan intrusi dan batuan sedimen.	Dasit, lava andesit, dan batuan sedimen vulkanik.
Mineral bijih	Enargit-luzonit, tenantit, pirit % tinggi, kalkopirit, tenantit-tetrahedrit, kovelit, elektum, native Au, telurid.	Galena, spalerit, kalkopirit, pirit % rendah, arsenopirit, tenantit-tetrahedrit, native Au, Ag, elektum, telurid.	pirit
Logam/aksesori ekonomis	Au±Cu As Te melimpah	Au±Ag Pb, Zn, Cu As, Te, Hg, Sb	Au, Hg ?
Asosiasi mineral ubahan	Pirofilit, alunit, diaspor, kaolinit, semakin jauh terbentuk illit dan zona propilitik.	Serisit/illit dan mineral lempung, semakin jauh membentuk zona propilitik.	Serisit/illit, haloysit, kuarsa, silika, klorit, kalsit
Tipe Ubahan	Silisikasi (vuggy), argilik lanjut, argilik, propilitik	Filik-argilik, propilitik	Silisik, filik, argilik, propilitik

**KESIMPULAN**

1. Pola pengaliran daerah penelitian dapat dibagi menjadi dua yaitu pola pengaliran *Rectangular* dan pola pengaliran *Parallel* pada tiga Daerah Aliran Sungai yaitu DAS Jeruk (*Rectangular*), DAS Kali Ngambo (*Rectangular*), dan DAS Bandar (*Parallel*).
2. Bentuk asal daerah penelitian dibagi tiga yaitu vulkanik, struktural dan denudasional yang terbagi menjadi tujuh satuan bentuk lahan, yaitu Perbukitan Lava (V1), Perbukitan Intrusi (V2), Lembah Intrusi (V3), Bukit Intrusi (V4), Perbukitan Kubah (S1), Lembah Sesar (S2), dan Perbukitan Denudasional (D1).
3. Stratigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi tujuh satuan dari tua ke muda, yaitu satuan breksi Jajar, satuan lava Jajar, satuan batupasir Sidodadi, Satuan batupasir Watupudi, litodem dasit, litodem andesit dan satuan endapan aluvial.



4. Struktur geologi daerah penelitian meliputi kekar, sesar, dan kedudukan perlapisan batuan yang membentuk kubah. Sesar daerah penelitian dapat dibagi menjadi delapan kelompok yaitu Kelompok Sesar Jambu-Sugihan-Nalangan, Kelompok Sesar Bendo-Sidodadi, Kelompok Sesar Bendo-Kaliwungu, Kelompok Sesar Nalangan-Buluh, Kelompok Sesar Sugihan-Nglangan, Kelompok Sesar Jajar-Sidodadi yang berumur Miosen Awal, serta Kelompok Sesar Jajar-Bangunsari, Sesar Sempu dan Sesar Jajar yang berumur Miosen Tengah.
5. Zonasi alterasi hidrotermal daerah penelitian berdasarkan himpunan mineral dapat dibagi menjadi lima, yaitu zona alterasi silisik (kuarsa ± silika ± pirit), filik (kuarsa + serisit/illit + pirit), argilik (illit + haloysit ± kuarsa), argilik lanjut (silika + haloysit + alunit), dan propilitik (klorit + kalsit + haloysit)
6. Persebaran alterasi hidrotermal dipengaruhi oleh struktur geologi berupa sesar yang berumur Miosen Awal (*pre-syn*) sedangkan sesar yang berumur Miosen Tengah (*post*) tidak mempengaruhi persebaran alterasi hidrotermal.
7. Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil penelitian meliputi tatanan tektonik pada busur magmatik; kontrol struktur lokal berupa sesar dan kekar; tekstur *comb*, *vuggy*, *stockwork*, *vein breccias*; *host rock* dasit, lava andesit dan batuan sedimen vulkanik; mineral bijih pirit; logam/aksesori ekonomis Au, Hg? (dibutuhkan penelitian lebih lanjut); himpunan mineral serisit/illit, haloysit, kuarsa, silika, klorit, dan kalsit; tipe ubahan silisik, filik, argilik, dan propilitik, maka disimpulkan bahwa daerah penelitian termasuk dalam tipe endapan epitermal sulfidasi rendah (*epithermal low sulphidation*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, C.I., N.A. Magetsari, H.S. Purwanto. 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. *PROC. ITB Sain & Tek. Vol 35 A, No.2, 2003*, hal. 111-127.
- Anderson E.M. 1951. *The Dynamic of Faulting and Dyke Formation with Applications of Brittan, Edinburgh, Oliver and Boyd*. Stanford University : California.
- Bateman, A.M., 1981, *Mineral Deposit 3rd edition*, Jhon Wiley and Sons, New York. 593 hal.
- Billings, M.P., 1972, *Structural Geology 3rd Edition*: Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs. 591 hal.
- Bronto, S., 2010. *Geologi Gunung Api Purba*. Badan Geologi Kementerian ESDM: Bandung. 184 hal.
- Browne, P.R.L., 1991. *Hydrothermal Alteration and Geothermal Systems*. The University of Auckland, 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.
- Corbett, G dan Leach, T. 1997. Southwest Pacific Rim Gold-Copper System: Structure, Alteration, and Mineralization. *A workshop presented for the Society of Economic Geologist*, Townsville.
- Dennis, J.G., 1979. *Structural Geology*: New York, John Wiley & Sons, 532 hal.
- Guilbert, G dan Park, C. 1986. *The Geology of Ore Deposits*, New York: W. H. Freeman and Company.
- Harding, T.P., Wilcox, R.E., Seely, D.R., 1973, Basic Wrench Tectonics, *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, v.57, hal. 97-116.
- Hartono, G., 2008. *Magmatisme dan Stratigrafi Pegunungan Selatan Jawa Timur*. ANTAM, Pacitan, 12-13 Mar 2008.
- Hedenquist, J.W 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits. *Gold in 2000: Review in Society Economic Geologist*, vol. 13. Hal 245-277.
- Hedenquist, J.W dan Arribas, A. 2017. Epithermal ore deposits: First-order features relevant to exploration and assessment. *Mineral Resources to Discover - 14th SGA Biennial Meeting 2017*, Volume 1.
- Howard, A.D, 1967, Drainage Analysis In Geologic Interpretation: *A Summation, AAPG Bulletin, Vol.51 No.11 November 1967*, hal. 2246-2259.
- Lowell, J.D. dan Guilbert, J.M., 1970, Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits: *Economic Geology*, volume-65. Hal 373-408.
- Mephie, J., Doyle, M., dan Allen, R., 1993. *Volcanic Textures: A guide to the Interpretation of Texture in Volcanic Rocks, Centre of Ore Deposit and Exploration Studies*. University of Tazmania. 191 hal.
- Morrison, K., 1995, Important Hydrothermal Minerals and Their Significance. *Geothermal and Minerals Service Division Limited*, Volume-6.
- Nahrowi, T., Suratman, Y., Namida, S., Hidayat, S. 1978. *Geologi Pegunungan Selatan Jawa Timur*, Bagian Explorasi PPTMGB, Lemigas, Cepu.
- Pirajno, F. 1992. *Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concept for the Exploration Geologist*. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris. 1243 hal.

- Purwanto, H.S. 2002. *Disertasi*, Kontrol Struktur pada Mineralisasi Emas di daerah Penjom dan Lubuk Mandi Semenanjung Malaysia. Malaysia : Universitas Kebangsaan Malaysia (Tidak dipublikasikan).
- Pulunggono, A., dan Martodjojo, S. 1994. Perubahan tektonik Paleogen-Neogen merupakan peristiwa tektonik terpenting di Jawa. *Proceedings Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa sejak akhir Mesozoik hingga Kuartar*, Seminar Jurusan T. Geologi Fak. Teknik UGM, hal. 253-274.
- Rickard, M.J., 1972. Fault classification - discussion: *Geological Society of America Bulletin*, v. 83, hal. 2545-2546.
- Sandi Stratigrafi Indonesia (SSI). (1996). Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia. Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI).
- Samodra, H., Gafoer, S., & Tjokrosapoetro, S., 1992, Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa, skala 1:100.000, Puslitbang Geologi, Bandung.
- Samodra, H. & Sampurno. 1989. *Tinjauan tatanan stratigrafi dan tektonik Pegunungan Selatan Jawa Timur antara Pacitan – Ponorogo*, P3G, Bandung
- Sampurno & Samodra, H., 1997, Peta Geologi Lembar Ponorogo, Jawa, skala 1:100.000, Puslitbang Geologi, Bandung.
- Smyth, H., Hall, R., Hamilton, J., dan Kinny P., 2005, East Java: Cenozoic Basins, Volcanoes and Ancient Basement, *Indonesian Petroleum Association, Proceedings 30th Annual Convention*, hal. 251-266.
- Strahler, A.N., and Strahler, A.H., 1978, *Modern Physical Geography*, New York: John Wiley & Sons, 501 hal.
- Strecheisen, A.L., 1974, The IUGS Systematic of Igneous Rocks, *Journal of The Geological Society*, London.
- Surono, Sudarno, I. dan Toha, B., 1992, Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, Jawa, skala 1:100.000, Puslitbang Geologi, Bandung.
- Twiss dan Moores. 1992. *Structural Geology*. New York : WH Freeman & Co. 532 hal.
- White, N., dan Hedenquist, J.W. 1995. Epithermal Gold Deposits Style Characteristics and Exploration. *Published in SEG Newsletter* No. 23, pp. 1, 9-13.
- William, H, F., Turner and Gilbert, C, M., 1954, *Petrography : Introduction To Study of Rockin Thin Section*, W. H. Freeman and Co., San Fransisco. 416 hal.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*, Govt. Printing Office, The Hague, v.1A, 732 hal.
- Van Zuidam, R. A. 1983. *Aerial Photo - Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. ITC Enschede The Nederland.