

# Gunung Api dan Potensi Panas bumi



Danau Ngebel Ponorogo Jawa Timur

Dwi Fitri Yudiantoro



**Gunung Api dan  
Potensi Panas Bumi  
Danau Ngebel  
Ponorogo Jawa Timur**

deepublish | publisher

## UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

### **Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4**

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### **Pembatasan Pelindungan Pasal 26**

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

# **Gunung Api dan Potensi Panas Bumi Danau Ngebel Ponorogo Jawa Timur**

**Dr. Ir. Dwi Fitri Yudiantoro, M.T.**

**Dr. Ir. Dyah Rini Ratnaningsih, M.T.**

**Ir. Puji Pratiknyo, M.T.**

**Ir. Mahreni, M.T., Ph.D.**

**Intan Paramita Haty, S.T., M.T.**

**Hafidz Hamdalah, S.T., M.T.**

**Dr. Eng. Ir. Mirzam Abdurrachman, S.T., M.T.**

**Prof. Isao Takashima**

 **deepublish**

*Cerdas, Bahagia, Mulia, Lintas Generasi.*

**GUNUNG API DAN POTENSI PANASBUMI DANAU NGEHEL PONOROGO  
JAWA TIMUR**

**DWI FITRI YUDIANTORO**

Desain Cover :  
**Rulie Gunadi**

Sumber :  
penulis

Tata Letak :  
**Ajuk**

Proofreader :  
**Mira Muarifah**

Ukuran :  
**viii, 134 hlm, Uk: 15.5x23 cm**

ISBN :  
**978-623-02-5831-2**

Cetakan Pertama :  
**Februari 2023**

Hak Cipta 2023, Pada Penulis

---

Isi diluar tanggung jawab percetakan

---

**Copyright © 2023 by Deepublish Publisher**  
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang.  
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau  
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini  
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

**PENERBIT DEEPUBLISH**  
**(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)**

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)  
Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman  
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581  
Telp/Faks: (0274) 4533427  
Website: [www.deepublish.co.id](http://www.deepublish.co.id)  
[www.penerbitdeepublish.com](http://www.penerbitdeepublish.com)  
E-mail: [cs@deepublish.co.id](mailto:cs@deepublish.co.id)

## KATA PENGANTAR

Buku dengan judul ***Gunung Api dan Potensi Panas Bumi Danau Ngebel Ponorogo Jawa Timur*** ini menjelaskan mengenai kondisi geologi gunung api daerah Ngebel dari kompleks Gunung Api Wilis yang mempunyai potensi panas bumi. Penjelasan diawali dari tinjauan secara geologi regional Jawa Timur, dan tinjauan ini dimaksudkan untuk mengetahui posisi secara geologi daerah, baik fisiografi, stratigrafi dan struktur geologi. Kemudian membahas mengenai geologi gunung api, petrogenesis, magmatisme dan karakteristik panas bumi di daerah Gunung Api Ngebel.

Data geologi seperti batuan, stratigrafi ataupun struktur geologi diwujudkan dalam peta geologi Gunung Api Ngebel, sedangkan data geokimia batuan dan geokimia air dari manifestasi dipergunakan untuk melakukan analisis potensi panas bumi. Analisis laboratorium yang akan dilakukan terhadap sampel batuan adalah analisis petrografi, dan analisis *X-Ray Fluorences* (XRF), sedangkan analisis geokimia air meliputi analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan D, analisis *Induced Coupled Mass Spectrometry* (ICP-MS), analisis *Atomic Absorption Spectrometer* (AAS).

Hasil akhir dari penyusunan buku ini adalah tersajinya informasi geologi gunung api terkait dengan produk letusan, petrogenesis, magmatisme dan potensi panas bumi di daerah Gunung Api Ngebel. Penjelasan dari buku ini diharapkan akan dapat memberikan tambahan informasi geologi dalam mendukung tahapan eksplorasi panas bumi khususnya untuk wilayah Ngebel Jawa Timur, serta dapat dipergunakan sebagai tambahan ilmu pengetahuan terhadap proses pembelajaran mengenai gunung api terkait potensi panas bumi.

Yogyakarta, 15 Februari 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Titik Tolak Pemahaman .....	1
1.2. Lokasi Pelaksanaan .....	2
1.5. Titik Intensi.....	3
BAB II GEOLOGI REGIONAL JAWA TIMUR .....	4
2.1. Fisiografi Daerah Jawa Bagian Tengah dan Timur ...	4
2.2. Fisiografi Zona Solo.....	4
2.3. Stratigrafi Regional Jawa Timur.....	6
2.3.1. Stratigrafi Pegunungan Selatan .....	6
2.3.2. Stratigrafi Perbukitan Kendeng .....	6
2.3.3. Stratigrafi Perbukitan Rembang .....	7
2.4. Tatanan Tektonik Pulau Jawa dan Zona Solo.....	8
BAB III SKEMA PENINDAKLANJUTAN .....	11
3.1. Tahap Persiapan.....	11
3.2. Tahap Pemetaan .....	11
3.3. Tahap Analisis Laboratorium .....	12
BAB IV GEOLOGI GUNUNG API WILIS .....	15
4.1. Geologi Regional Daerah Penindaklanjutan.....	15
4.2. Struktur Geologi Gunung Api Wilis .....	22
4.3. Potensi Panas Bumi Gunung Api Wilis.....	23
BAB V GEOLOGI GUNUNG API NGEBEL .....	24
5.1. Geomorfologi Daerah Penindaklanjutan.....	24
5.1.1. Morfologi Umum .....	24
5.1.2. Geomorfologi.....	24
5.1.3. Pola Pengaliran.....	29
5.2. Stratigrafi .....	32
5.2.1. Gunung Api Jeding .....	32
5.2.2. Gunung Api Kemlandingan .....	38

5.2.3. Gunung Api Manyutan.....	46
5.2.4. Gunung Api Ngebel .....	55
5.3 Struktur Geologi.....	71
BAB VI MAGMATISME GUNUNG API NGEBEL.....	78
6.1. Jenis Batuan.....	78
6.2. Diagram Harker .....	86
6.3. Karakteristik Geokimia Trace Element dan REE Batuan .....	87
6.4. Afinitas Magma.....	89
6.5. Kedalaman Magma Asal.....	92
6.6. Asal Magma dan Lingkungan Tektonik .....	92
6.7. Asal Magma Berdasarkan <i>Trace Element</i> dan REE..	95
6.8. Fase Evolusi Gunung api Gunung Api Ngebel .....	96
6.8.1 Fase Jeding .....	97
6.8.2. Fase Kemlandingan .....	99
6.8.3 Fase Manyutan.....	100
6.8.4 Fase Ngebel .....	102
BAB VII POTENSI PANAS BUMI .....	104
7.1. Manifestasi Panas Bumi .....	104
7.2. Geokimia Fluida .....	108
7.2.1. Jenis Fluida Manifestasi Panas Bumi .....	108
7.2.2. Asal Fluida Manifestasi Panas Bumi .....	110
7.2.3. Maturitas Fluida.....	112
7.2.4. Geotermometer Air .....	113
7.2.6. Isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ .....	114
7.2.7. <i>Rare Earth Element</i> Fluida Panas Bumi .....	116
7.2.8. Arah Aliran Fluida Panas Bumi .....	117
BAB VIII MODEL KONSEPTUAL SISTEM PANAS BUMI .....	119
8.1. Sistem Panas bumi Daerah Penindaklanjutan .....	119
8.2. Sumber Panas.....	120
8.3. Reservoir .....	121
8.4. Caprock .....	123

8.5. Karakteristik Tipe Fluida Panas Bumi.....	123
8.6. Suhu Reservoar.....	124
BAB IX SIMPULAN.....	125
DAFTAR PUSTAKA.....	127
UCAPAN TERIMAKASIH .....	132

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Titik Tolak Pemahaman

Secara geografis, Indonesia terletak di daerah yang dilewati cincin api Pasifik atau "*ring of fire*". Sehingga Indonesia berpotensi bahaya letusan gunung api, tetapi di sisi lain Indonesia kaya akan potensi sumber daya alam energi panas bumi. Daerah penelitian merupakan salah satu bagian dari cincin api di bagian Pulau Jawa yaitu terletak di Gunung Api Wilis yang berada dalam wilayah enam kabupaten yaitu Kabupaten Kediri, Kabupaten Tulungagung, Kabupaten Nganjuk, Kabupaten Madiun, Kabupaten Ponorogo, dan Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. Di antara gunung api aktif yang tersebar di Jawa Timur, Gunung Api Wilis merupakan gunung api yang memiliki potensi energi panas bumi terutama pada daerah bagian barat yakni Kompleks vulkanik Gunung Api Ngebel yang dijumpai adanya beberapa manifestasi panas bumi.

Panas bumi Gunung Api Wilis sebelumnya sudah diteliti oleh ESDM (2017), namun penyelidikan ini dilakukan lebih terperinci terkait dengan karakteristik dan potensi panas bumi pada daerah Kompleks Gunung Api Ngebel.

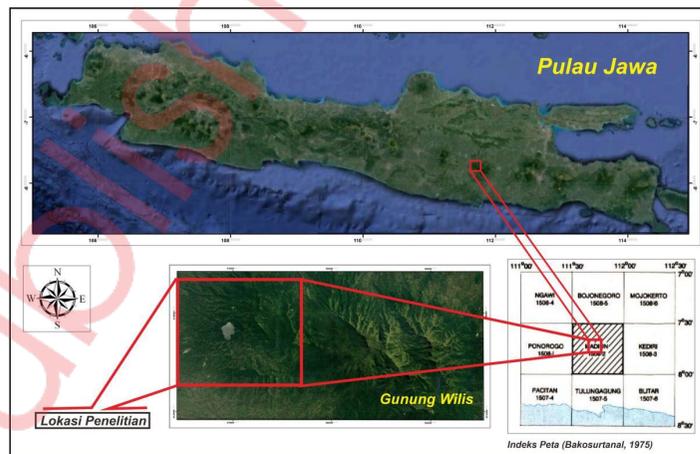
Berdasarkan pertimbangan di atas, maka menarik bagi penulis meneliti lebih lanjut mengenai Potensi Panas Bumi pada Gunung Api Ngebel, Ponorogo, Provinsi Jawa Timur, disusun pula model konseptual dari lapangan panas bumi tersebut.

Penelitian ini menyajikan studi geologi, geokimia batuan, isotop air, geokimia fluida manifestasi panas bumi dari Gunung Api Ngebel. Studi literatur, studi lapangan rinci, analisis uji sampel batuan dan fluida panas bumi telah memungkinkan untuk menyusun model konseptual panas bumi daerah telitian. Pembahasan mengenai panas bumi daerah telitian didasarkan terutama pada studi sebelumnya oleh ESDM (2017), dan didukung pula dengan data geologi peneliti terdahulu oleh Hartono (1994), serta ditambah dengan penelitian lapangan terbaru yang dilakukan pada penelitian ini. Analisis unsur

geokimia air seperti: anion kation, *rare earth element* (REE), dan isotop dilakukan terhadap mata air dingin dan manifestasi panas bumi untuk mengetahui karakteristik panas bumi daerah telitian. Analisis petrografi, unsur geokimia utama batuan dan *rare earth element* (REE) batuan dilakukan terhadap masing-masing batuan yang mewakili setiap unit gunung api untuk mengetahui karakteristik kimia dan petrogenesis gunung api daerah telitian.

## 1.2. Lokasi Pelaksanaan

Lokasi penelitian secara geografis terletak di 576981 mE–564451 mE dan 9132627 mS–9143272 mS pada zona 49S menurut proyeksi UTM (*Universal Transverse Mercator*). Secara administratif daerah penelitian terdapat pada Daerah Gunung Api Wilis, Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur. Daerah ini terletak disebelah tenggara kota Madiun dengan jarak kurang lebih 67,9 km. Perjalanan lokasi ditempuh 1 jam 59 menit dari kota Madiun dengan mobil melalui Jl. Raya Madiun–Nganjuk. Dengan luas daerah penelitian 135 km<sup>2</sup> (13.5 x 10) dengan elevasi berkisar antara 300–1.600 m terlihat pada Gambar 1.1.



**Gambar 1.1.** Peta lokasi penelitian (Citra Google Earth, dan Bakosurtanal 1975)

### **1.5. Titik Intensi**

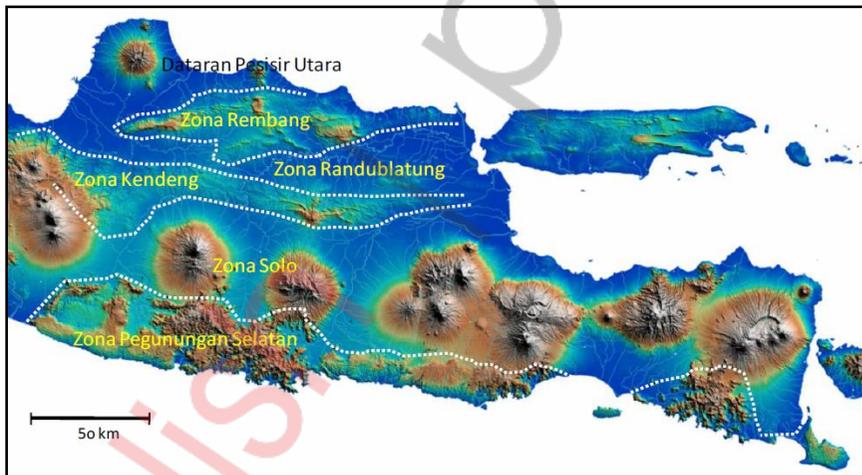
Penelitian ini difokuskan pada lokasi daerah Gunung Api Ngebel, Ponorogo, Provinsi Jawa Timur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi geologi gunung api daerah telitian, magmatisme dan karakteristik sistem panas bumi, sehingga dapat dibangun menjadi model konseptual sistem panas bumi daerah telitian.

## BAB II

# GEOLOGI REGIONAL JAWA TIMUR

### 2.1. Fisiografi Daerah Jawa Bagian Tengah dan Timur

Gunung Api Wilis terletak di wilayah Provinsi Jawa Timur yang meliputi enam kabupaten, yaitu: Kabupaten Kediri, Kabupaten Tulungagung, Kabupaten Nganjuk, Kabupaten Madiun, Kabupaten Ponorogo, dan Kabupaten Trenggalek. Secara fisiografi regional (Gambar 2.1) daerah penelitian meliputi: Zona Solo, Zona Pegunungan Kendeng, Zona Depresi Randublatung, Zona Pegunungan Rembang, dan Zona Pesisir Utara Jawa (Bemmelen, 1949).

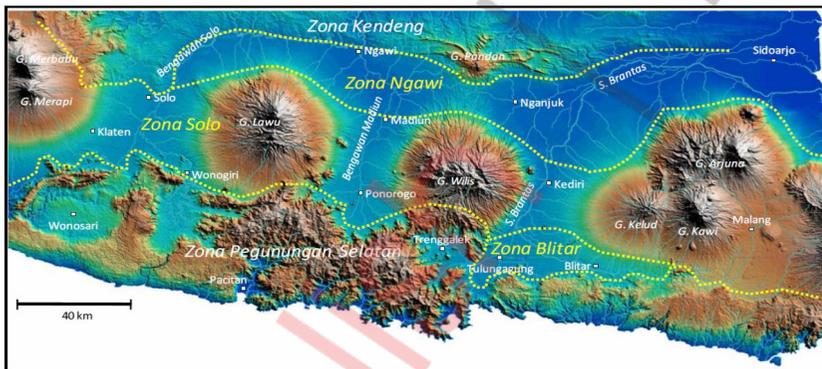


**Gambar 2.1.** Zonasi fisiografi Pulau Jawa bagian tengah dan timur (Modifikasi, van Bemmelen, 1949).

### 2.2. Fisiografi Zona Solo

Zona Solo merupakan suatu depresi (cekungan antara dua lajur pegunungan) yang memanjang di bagian tengah (median) Pulau Jawa. Zona ini terhampar dari Solo hingga Banyuwangi. Zona Solo dapat dibagi menjadi tiga subzona, mulai dari paling utara hingga selatan (Gambar 2.2), yaitu:

- 1) Subzona Ngawi, merupakan lajur depresi yang ada di antara Perbukitan Kendeng dan busur gunung api sekarang. Zona Ngawi ini terbentuk sebagai dataran banjir sungai-sungai Bengawan Solo, Bengawan Madiun, dan Brantas.
- 2) Subzona Solo, merupakan lajur depresi di antara deretan gunung api sekarang (*intermontane plains*).
- 3) Subzona Blitar, merupakan lajur depresi yang berada di antara deretan gunung api sekarang hingga berbatasan dengan Pegunungan Selatan. Pembentukan Zona Blitar ini dipengaruhi oleh tektonik Pegunungan Selatan. Pada zona ini terjadi penyesaran di Pegunungan Selatan di daerah Tulungagung-Blitar. Selain hal itu terbentuk busur gunung api modern (Gunung Kelud-Gunung Kawi) pada zona ini. Zona ini juga membentuk depresi struktural yang kemudian diisi dataran banjir dari Sungai Brantas.



**Gambar 2.2.** Fisiografi Zona Solo yang terbagi menjadi 3 subzona (dimodifikasi dari Bemmelen, 1949).

Zona Solo saat ini merupakan cekungan sedimenter yang aktif dengan sistem fluvial yang menerima pasokan sedimen dari busur gunung api, Zona Pegunungan Selatan, dan Zona Perbukitan Kendeng. Beberapa sungai besar mengalir melalui zona ini, antara lain: Sungai Bengawan Solo, Sungai Bengawan Madiun, dan Sungai Brantas. Di ujung perjalanannya, sungai-sungai tersebut membentuk delta-delta besar di pesisir Surabaya dan Gresik.

### **2.3. Stratigrafi Regional Jawa Timur**

Menurut Bemmelen (1949) geologi Jawa Timur dibagi atas dibagi atas 4 bagian yaitu: 1. Zona Pegunungan Selatan Jawa (*Southern Mountains*), batuan pembentuknya terdiri atas siliklastik, volkaniklastik, volkanik, dan batuan karbonat; 2. Zona Gunung Api Kuartar (*Quaternary Volcanoes*), merupakan gunung aktif; 3. Zona Kendeng (*Kendeng Zone*), batuan pembentuknya terdiri atas sekuen volkanogenik dan sedimen pelagik; 4. Zona Rembang (*Rembang Zone*) dengan batuan pembentuknya terdiri atas endapan laut dangkal, sedimen klastik, dan batuan karbonat. Pada zona ini juga terdapat patahan yang disebut sebagai *Rembang High* dan banyak lipatan yang berarah timur-barat. Sedangkan stratigrafi daerah Jawa Timur dapat dibagi 3 zona, yaitu: Pegunungan Selatan Jawa, Zona Kendeng, dan Zona Rembang (Gambar 2.3). Stratigrafi pada tiap-tiap zona ini dipisahkan oleh tiga sistem ketidakselarasan.

#### **2.3.1. Stratigrafi Pegunungan Selatan**

Stratigrafi regional Pegunungan Selatan Pegunungan Selatan dibentuk oleh endapan yang berumur Eosen-Pliosen. Menurut beberapa peneliti terdahulu seperti: Bemmelen (1949), Sumosusastro (1956) dan Surono dkk. (1992) urutan stratigrafi daerah ini dari yang paling tua hingga yang paling muda adalah: Batuan malihan, Formasi Wungkal-Gamping, Formasi Kebo-Butak, Formasi Semilir, Formasi Nglanggran, Formasi Sambipitu, Formasi Oyo, Formasi Wonosari, Formasi Kepek dan Endapan Kuartar.

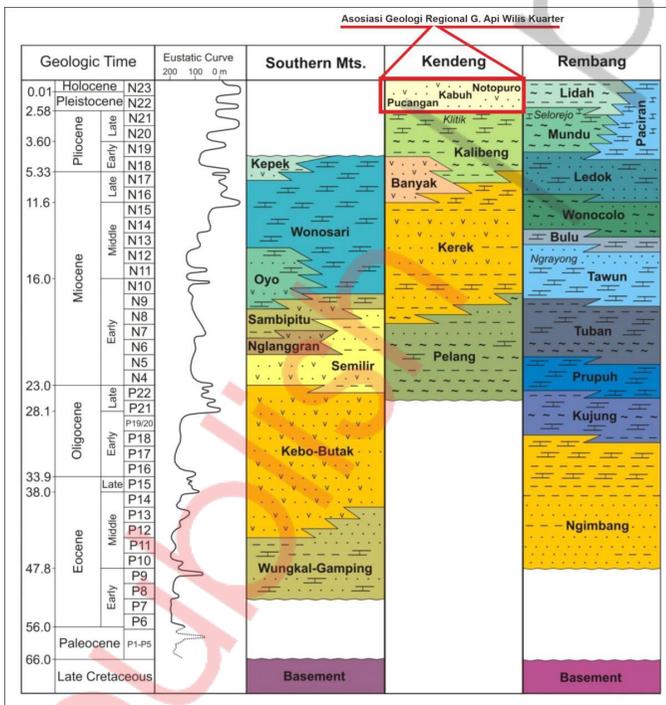
#### **2.3.2. Stratigrafi Perbukitan Kendeng**

Menurut de Genevraye dan Samuel (1972), serta Pringgoprawiro (1983) stratigrafi penyusun Zona Kendeng merupakan endapan laut dalam di bagian bawah yang semakin ke atas berubah menjadi endapan laut dangkal dan akhirnya menjadi endapan non laut. Endapan di sini merupakan endapan turbidit klastik, karbonat dan volkaniklastik. Urutan stratigrafi daerah ini dari yang paling tua hingga yang paling muda adalah: Formasi Pelang, Formasi Kerek, Formasi Banyak, Formasi

Kalibeng, Formasi Pucangan, Formasi Kabuh, Formasi Notopuro dan Endapan Undak Bengawan Solo.

### 2.3.3. Stratigrafi Perbukitan Rembang

Berdasarkan data bawah permukaan dari eksplorasi hidrokarbon di kawasan ini, satuan stratigrafi yang tertua di atas batuan dasar adalah Formasi Ngimbang. Namun formasi ini tidak tersingkap di permukaan. Urutan stratigrafi daerah ini dari yang paling tua hingga yang paling muda adalah: Formasi Kujung, Formasi Prupuh, Formasi Tuban, Formasi Tawun, Formasi Ngrayong, Formasi Bulu, Formasi Wonocolo, Formasi Ledok, Formasi Mundu, Formasi Paciran, Formasi Lidah, Formasi Selorejo, Formasi Kalibeng, Formasi Banyak, Formasi Kerek, Formasi Pelang, Formasi Semilir, Formasi Nglanggran, Formasi Sambipitu, Formasi Oyo, Formasi Wonosari, Formasi Kepek, Formasi Kebo-Butak, Formasi Wungkal-Gamping, Formasi Pucangan, Formasi Kabuh, Formasi Notopuro, Formasi Lidah, Formasi Paciran.



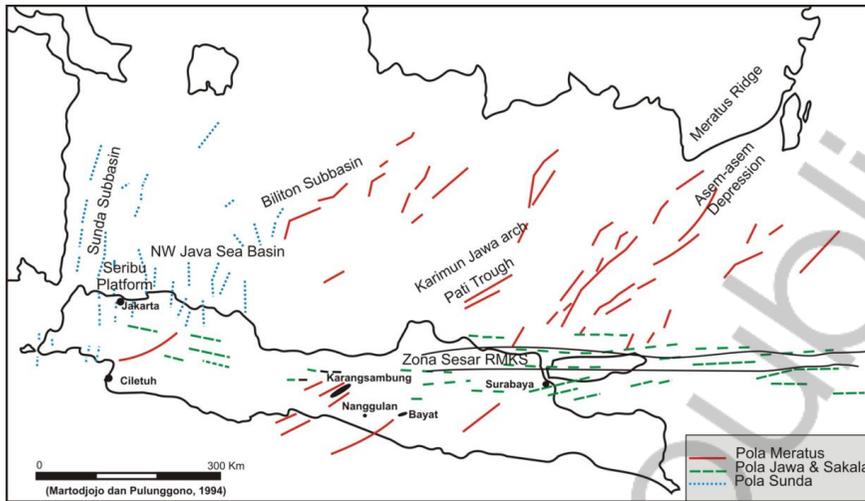
Gambar 2.3. Kolom stratigrafi komposit Jawa Timur (Husein, 2016).

#### **2.4. Tatanan Tektonik Pulau Jawa dan Zona Solo**

Tatanan tektonik Pulau Jawa merupakan suatu proses geologi yang kompleks. Proses geologi tersebut akan terkait dengan sejarah penurunan cekungan, pensesaran, perlipatan, dan vulkanisme. Umumnya ada 3 arah pola umum struktur (Gambar 2.4) yaitu arah timur laut–barat daya (Pola Meratus), arah utara–selatan (Pola Sunda), dan arah timur–barat (Pola Jawa).

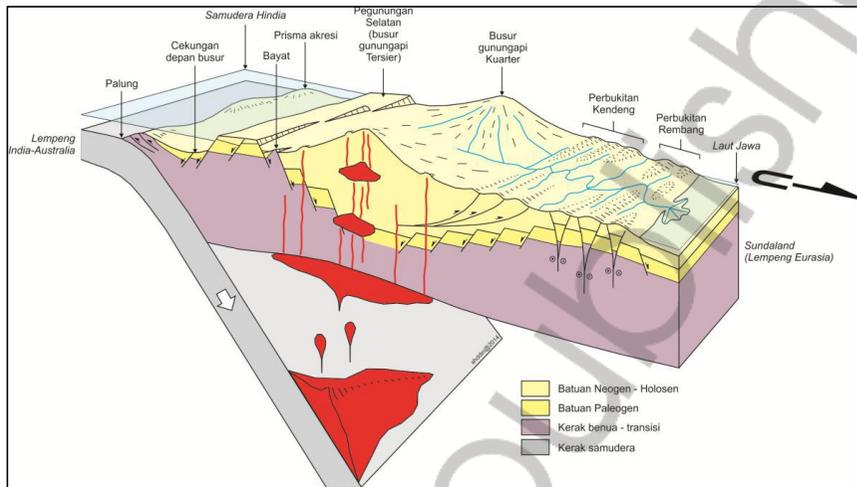
- Arah timur laut–barat daya (Pola Meratus)
- Pola ini pada bagian barat, tercermin sebagai Sesar Cimandiri, di bagian tengah tercerminkan dari pola penyebaran singkapan batuan pra-Tersier di daerah Karangsambung. Pada bagian timur ditunjukkan oleh sesar pembatas Cekungan Pati.
- Arah utara–selatan (Pola Sunda)
- Pada pola ini, merupakan dominasi ekspresi di bagian barat yang berupa sesar-sesar di Cekungan Asri, Cekungan Sunda, dan Cekungan Arjuna. Pola Sunda juga memiliki struktur regangan.
- Pola Jawa
- Pada bagian barat pola ini diwakili oleh sesar-sesar naik, seperti: Sesar Beribis dan sesar pada Cekungan Bogor. Pada bagian tengah tampak pola dari sesar-sesar Zona Serayu Utara dan Serayu Selatan. Sedangkan di bagian timur terekspresikan oleh arah Sesar Pegunungan Kendeng.

Dari data tektonostratigrafi, diketahui bahwa Pola Meratus merupakan pola yang paling tua dengan umur Kapur hingga Paleosen. Pola ini tersebar dalam Jalur Tinggian Karimun Jawa dan menerus melalui Karangsambung hingga daerah Cimandiri, Jawa Barat. Sesar ini mengalami pengaktifan kembali oleh aktivitas tektonik yang lebih muda. Sedangkan Pola Sunda merupakan pola yang mengaktifkan kembali sesar-sesar Pola Meratus pada Eosen Akhir hingga Oligosen Akhir. Selain hal itu Pola Jawa menunjukkan hasil termuda, dan kembali mengaktifkan sesar-sesar yang telah ada sebelumnya (Pulunggono, 1994).



**Gambar 2.4.** Tatanan tektonik Pulau Jawa (Martodjojo dan Pulunggono, 1994)

Zona Solo saat ini merupakan cekungan sedimentasi aktif. Zona ini hampir seluruh permukaannya tertutup oleh endapan aluvium. Meski demikian, kelurusan kemunculan busur gunung api modern di zona ini mengindikasikan adanya patahan besar dengan arah serupa yang memotong kerak (*deep-seated faults*) sebagai jalur naiknya magma ke permukaan. Gunung api-gunung api tersebut juga berkembang dengan arah yang relatif tegak lurus pada ESE-WNW *deep-seated faults*, misal kompleks G. Lawu, G. Kawi–G. Arjuna, G. Semeru–G. Bromo. Kondisi ini mengindikasikan adanya retakan tegak-lurus sesar utama yang biasa lazim terjadi pada kondisi tektonik ekstensional.



**Gambar 2.5.** Unsur-unsur tektonik Jawa Timur (Husein, 2015).

## **BAB III**

### **SKEMA PENINDAKLANJUTAN**

Metodologi penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan metode induktif akumulatif. Metodologi ini mengumpulkan kriteria-kriteria yang saling menunjang untuk merujuk pada suatu kesimpulan dengan melakukan pengumpulan data, baik dari kegiatan studi pustaka, kegiatan lapangan, dan analisis laboratorium. Metode penelitian dipergunakan untuk melakukan studi geologi gunung api dan karakteristik panas bumi. Metode penelitian ini meliputi empat tahapan penelitian, yaitu: tahap persiapan, tahap penelitian lapangan/survei, tahap analisis laboratorium dan tahap penyusunan laporan.

#### **3.1. Tahap Persiapan**

Tahap persiapan meliputi: pengkajian literatur yang berupa laporan hasil penelitian terdahulu, peta-peta yang sudah ada, makalah ilmiah, dan lainnya. Selain itu juga dilakukan studi kajian terhadap peta geologi, peta rupa bumi, penafsiran terhadap citra satelit dan landsat daerah penelitian yang terkait daerah penelitian.

#### **3.2. Tahap Pemetaan**

Tahap penelitian lapangan dilakukan dengan melakukan penekanan pada daerah Kompleks Gunung Api Ngebel dengan melakukan pemetaan geologi dan pemetaan potensi panas bumi. Kemudian dilakukan pengambilan sampel batuan dan air untuk dilakukan analisis laboratorium. Analisis laboratorium yang dilakukan seperti: analisis petrografi, geokimia batuan, geokimia air, dan isotop air. Pada pemetaan geologi melakukan kegiatan yang meliputi: pemetaan litologi, pengukuran profil batuan, pengamatan geomorfologi, pengukuran struktur geologi dan survei karakteristik manifestasi panas bumi.

### 3.3. Tahap Analisis Laboratorium

Sampel yang diperoleh dari lapangan berupa sampel batuan dan sampel air. Untuk sampel batuan dilakukan analisis laboratorium seperti: analisis petrografi, analisis X-Ray Fluoresces (XRF) dan analisis *Induced Coupled Mass Spectrometry* (ICP-MS). Sedangkan untuk analisis air dilakukan analisis *Atomic Absorption Spectrometer* (AAS) dan analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan D, serta analisis ICP-AES (*Atomic Emission Spectrometry*) atau ICP-OES (*Optical Emission Spectrometry*). Tahap analisis laboratorium meliputi:

#### 1. Analisis Petrografi

Analisis petrografi dilakukan terhadap sampel batuan yang dikumpulkan. Sebelumnya sampel batuan disayat setebal 0,03 mm, kemudian diamati di bawah mikroskop polarisasi. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui struktur, tekstur dan komposisi batuan. Sehingga dapat dipelajari hubungan antarmineral di dalam batuan dan genesisnya. Jumlah sampel batuan yang digunakan untuk analisis ini adalah sebanyak 15 sampel. Sampel tersebut diharapkan mewakili kelompok batuan beku yang ada di daerah penelitian. Analisis petrografi ini dilakukan di Laboratorium Petrografi UPN Veteran Yogyakarta.

#### 2. Analisis X-Ray Fluoresces (XRF)

Analisis geokimia ini dilakukan terhadap batuan permukaan yang tidak terubah, sampel berupa lava yang tersingkap di permukaan. Analisis dilakukan dengan menggunakan alat *X-Ray Fluoresces* (XRF), hal ini untuk mengetahui unsur utama, seperti:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , dan  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Nilai-nilai unsur tersebut diolah dengan menggunakan *software* Iqpet dan Ms. Excel. Berdasarkan data kimia batuan tersebut, diharapkan dapat dipelajari karakteristik jenis batuan, magma asal, serta kedalaman magma. Jumlah sampel batuan yang digunakan menggunakan metode XRF sebanyak 9 sampel yang diharapkan mewakili kelompok batuan beku yang ada di daerah penelitian dan analisis dilakukan di Badan Geologi Bandung.

### 3. Analisis *Induced Coupled Mass Spectrometry* (ICP-MS)

Analisis geokimia ini dilakukan terhadap batuan permukaan berupa lava yang tersingkap di permukaan. Analisis dilakukan dengan menggunakan alat *Induced Coupled Mass Spectrometry* (ICPMS). Alat ini dipergunakan untuk mengetahui unsur tanah jarang (REE) yang berupa: Ba, Rb, K, La, Ce, Sr, Nd, Ti, Y, Ni, Cr, V, Pb, U, Eu, Pr, Sm, Gd, Dy, Er, P, Th, Nb, Zr, dan Yb.

Unsur jejak sering dipergunakan untuk indikator dan parameter petrogenesis. Kelimpahannya yang kecil di dalam batuan dan magma, namun unsur jejak sangat baik sebagai indikator petrogenesis. Di dalam penjelasan REE dikenal sebagai unsur kompatibel (*compatible element*) dan unsur inkompatibel (*incompatible element*). Unsur inkompatibel mempunyai karakter sebagai berikut: dapat tinggal lebih lama dalam cairan dibandingkan dalam mineral, dapat cepat keluar dari mineral pada saat proses kristalisasi, dan terlarut dalam cairan pada proses peleburan sebagian (*partial melting*). Sedangkan unsur kompatibel mempunyai sifat kebalikan dari unsur inkompatibel. Jumlah sampel batuan yang digunakan untuk analisis ini adalah sebanyak 4 sampel yang diharapkan mewakili kelompok batuan beku yang ada di daerah penelitian. Sampel dilakukan analisis di Badan Geologi Bandung.

### 4. Analisis *Atomic Absorption Spectrometer* (AAS)

Analisis ini dipergunakan untuk mengetahui unsur anion dan kation terhadap sampel air manifestasi dan fluida panas bumi. Unsur yang dipergunakan seperti: Li, Si, Al, Ca, Na, K, Mg, B, Fe,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , dan Cl<sup>-</sup>. Jumlah sampel air yang digunakan untuk analisis ini adalah sebanyak 5 sampel yakni: sampel kation sampel anion dari dua lokasi manifestasi panas bumi, 2 sampel dari sumber mata air dingin, dan air danau yang ada di daerah penelitian. Sedangkan kegiatan analisis dilakukan di Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi Bandung.

**5. Analisis *Induced Coupled Mass Spectrometry* (ICP-OES)**

Analisis ICP-AES (*Atomic Emission Spectrometry*) atau ICP-OES (*Optical Emission Spectrometry*) digunakan untuk menganalisis unsur secara serempak dan pada tingkat serendah 1-10 *part per billion* atau ppb. Alat ini digunakan untuk melakukan analisis unsur jejak dan unsur tanah jarang dari air atau fluida panas bumi. Jumlah sampel air adalah sebanyak 5 sampel, yaitu untuk analisis REE yakni mewakili dua lokasi manifestasi panas bumi, 2 sumber mata air dingin, dan air danau yang ada di daerah penelitian. Analisis akan dilakukan di Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi Bandung.

**6. Analisis Isotop  $^{18}\text{O}$  dan D**

Analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan D dilakukan dengan menggunakan alat *Isotope Ratio Mass Spectrometer* (IRMS) atau rasio isotop spektrometer massa. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  dan D pada air manifestasi. Jumlah sampel air yang digunakan untuk analisis ini adalah sebanyak 5 sampel, yaitu dua sampel air dari dua lokasi manifestasi panas bumi, 2 sumber mata air dingin, dan air danau yang ada di daerah penelitian. Sedangkan kegiatan analisis ini akan dilakukan di Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi Bandung.

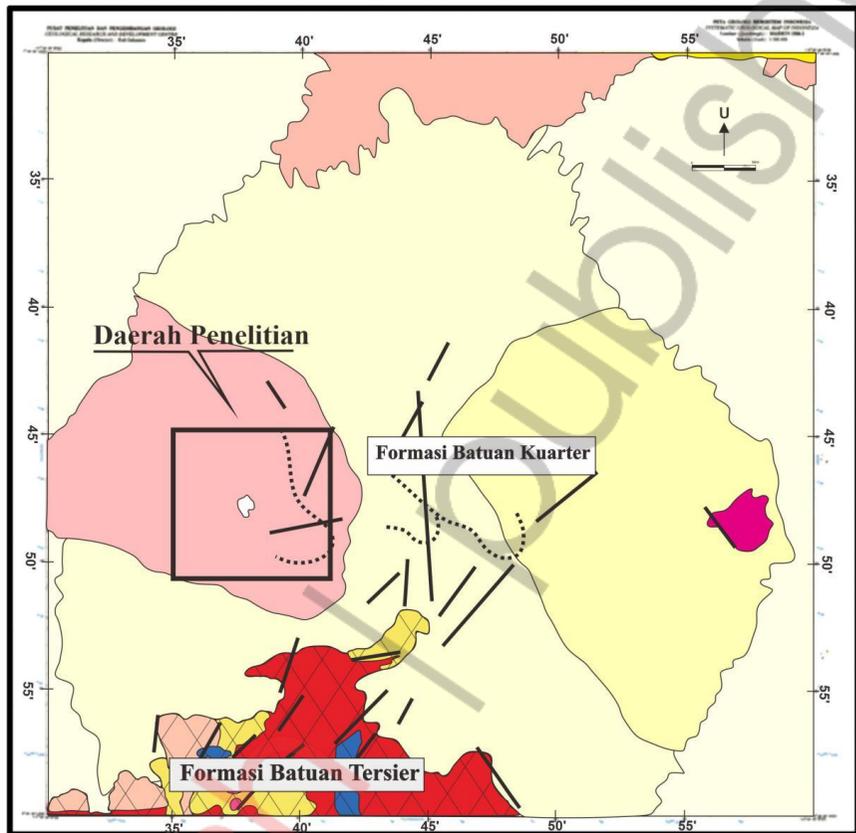
## BAB IV

### GEOLOGI GUNUNG API WILIS

#### 4.1. Geologi Regional Daerah Penindaklanjutan

Wheller et al. (1986) mengidentifikasi terdapat empat sektor daerah sepanjang busur dalam magmatisme busur Sunda-Banda. Di antaranya adalah peralihan antara sektor Jawa Barat dan Bali di Jawa Timur, antara Lawu di barat, dan Wilis di timur. Gunung berapi Lawu tampak lebih kaya di  $K_2O$  dan memiliki nilai  $^{87}Sr/^{86}Sr$  yang lebih tinggi. Perbedaan geokimia dan isotop ini mencerminkan keterlibatan material kerak yang lebih besar dalam sumber magmatisme. Namun, andesit Lawu Tua memiliki nilai  $^{87}Sr/^{86}Sr$  yang relatif rendah, kedalaman zona subduksi di bawah Lawu dan Wilis kemungkinan besar sama, sekitar 150 km. Daerah sumber atau magmatisme yang memberi bahan gunung api dihasilkan pada kedalaman yang berbeda. Perbedaan geokimia dan isotop antara kedua gunung berapi tersebut lebih mungkin muncul karena efek asimilasi kerak lebih besar di Kompleks vulkanik Lawu daripada di Kompleks vulkanik Wilis.

Batuan basalt Kompleks vulkanik Wilis tampaknya mulai pecah pada tekanan yang berkisar hingga 8 kb. Kemungkinan besar berhubungan dengan kedalaman di bawah dasar kerak Jawa bagian timur, di dalam baji mantel. Studi geofisika regional menunjukkan, bahwa ketebalan kerak di bawah Sumatera dan Jawa bagian barat daripada lebih besar di bawah Jawa bagian timur dan Bali (Curray et al., 1977). Oleh karena itu, kerak busur Jawa mungkin lebih tipis di bawah Wilis daripada di bawah Lawu, di sebelah barat. Untuk itu, maka magma yang naik dari baji mantel di bawah Wilis cenderung telah terpecah di bawah dasar kerak busur. Sedangkan sebagian besar evolusi magma andesitik dari Kompleks vulkanik Lawu terjadi pada kedalaman kerak yang lebih dangkal, di mana asimilasi dengan kerak bumi bisa lebih aktif.



**Gambar 4.1.** Modifikasi dari peta geologi lembar Madiun skala 1:100.000 (Hartono, dkk., 1992)

Gunung Api Wilis merupakan satu-satunya gunung api besar yang terletak di zona fisiografi Solo. Geologi Gunung Api Wilis termasuk bagian dari geologi regional lembar Madiun (Gambar 4.1). Secara fisiografi terdiri dari tiga zona, yaitu: Zona Pegunungan Selatan, Zona Solo, dan Zona Kendeng. Dengan demikian daerah telitian terletak pada lembar geologi regional Madiun (Hartono, dkk., 1992). Geologi regional daerah ini secara umum terdiri dari batuan berumur Tersier. Batuan Tersier terdiri dari batuan produk vulkanik gunung api Tersier, batuan sedimen darat, dan batuan sedimen laut serta batuan Kuartar. Batuan Kuartar terdiri dari batuan produk

volkanik gunung api Kuartar dan endapan aluvial. Penjabaran formasi batuan Tersier diurutkan dari tua ke muda adalah sebagai berikut:

#### **Formasi Mandalika (Tomm)**

Formasi Mandalika merupakan batu tertua di daerah ini dan berumur Oligosen. Litologi penyusun formasi ini terdiri dari batuan volkanik, seperti: andesit, dasit dan breksi gunung api terpropiltkan, terkarsikkan dan terkaolinkan, serta dijumpai lensa-lensa batu gamping kristalin yang berwarna kelabu tua.

#### **Batuan Terobosan (Tomi)**

Intrusi atau batuan terobosan berumur Oligosen mengintrusi Formasi Mandalika dan menyebabkan terjadinya alterasi pada batuan tersebut. Intrusi tersebut adalah andesit, dasit dan mikrodiorit. Intrusi-intrusi ini merupakan bagian dari fisiografi Zona Pegunungan Selatan.

#### **Formasi Jaten (Tmj)**

Formasi Jaten terbentuk pada Miosen Awal hingga Miosen Tengah. Litologi dari Formasi Jaten terdiri dari batu pasir dan *tuff* dengan sisipan breksi gunung api, batu lanau berkarbon, napal dan batu gamping.

#### **Formasi Wuni (Tmw)**

Formasi Wuni terbentuk pada Miosen Akhir sampai Pliosen. Sedangkan litologi penyusun dari formasi ini terdiri dari breksi andesit dengan sisipan *tuff* di bagian bawah, serta *tuff* di bagian atas dengan sisipan batu gamping.

#### **Formasi Wonosari (TmwI)**

Formasi Wonosari terbentuk pada Miosen Awal hingga Miosen Akhir. Litologi Formasi Wonosari terdiri dari kalkarenit dengan kepingan koral, batu gamping, konglomerat, kalsilitut dan batu gamping hablur.

### **Formasi Kabuh (Qpk)**

Formasi Kabuh berumur Pleistosen Tengah, dan litologi penyusun terdiri dari konglomerat, batupasir, serta setempat bersisipan lempung dan napal.

### **Formasi Notopuro (Qpnv)**

Formasi Notopuro berumur pada Pleistosen Tengah hingga Pleistosen Akhir dengan litologi penyusun terdiri dari breksi gunung api, *tuff* berlapis tebal dan aglomerat.

Sedangkan Gunung Api Wilis menurut Hartono dkk. (1992) adalah gunung api Kuartar yang terletak di antara Pegunungan Selatan di selatan dan Zona Kendeng di utara. Ada beberapa studi geologi dari Gunung Api Wilis. Laporan geologi pertama tentang Jawa dan Madura, yang meliputi kawasan kompleks, diterbitkan pada tahun 1896 oleh ahli geologi Belanda, Verbeek dan Vennema. Mereka menjelaskan bahwa Wilis adalah gunung berapi yang sebelumnya aktif, dan mungkin terletak di antara Gunung Dorowati, Gunung Ngliman, dan Gunung Argokalangan. Ada dua kawah lain yang terletak di sisi barat Gunung Api Wilis, yaitu kawah yang lebih tua, yang lebih besar (diameter sekitar 4 km). Kawah tersebut membuka ke barat dan disebut sebagai kaldera Jeding-Patukbanteng. Dinding kawahnya berada di puncak Gunung Manjutan, Gunung Kemamang, Gunung Patukbanteng, Gunung Jeding, Gunung Batursooko, dan Gunung Besar.

Kawah kedua yang lebih kecil yang merupakan Danau Ngebel dengan diameter sekitar 1,5 km. Kawah ini lebih muda dari Kawah Jeding-Patukbanteng. Bemmelen (1949) menjelaskan bahwa pemetaan geologi daerah Gunung Api Wilis dilakukan oleh Tissot van Patot (1926) dan Duyfjes (1938). Pemetaan tersebut menjelaskan perkembangan Gunung Api Wilis dalam tiga generasi vulkanisme terutama berdasarkan fisiografi. Gunung berapi ini merupakan gunung api yang sangat aktif pada Pleistosen Bawah, dan menghasilkan Formasi volkanik Pucangan Zona Kendeng.

Gunung Api Wilis tua dihancurkan oleh pengangkatan regional pada akhir Pleistosen Tengah. Kemudian selanjutnya dimulai

kegiatan gunung api generasi kedua dan aktif selama Pleistosen Atas, menghasilkan Formasi vulkanik Notopuro dan juga Zona Kendeng. Vulkanisme fase kedua ini berhenti pada akhir Pleistosen. Berhentinya fase vulkanik ini ditandai oleh keruntuhan gunung berapi-tektonik. Berikutnya adalah fase terakhir, yaitu merupakan fase magmatik ketiga dari Gunung Api Wilis yang terjadi pada Holosen.

Pada tahun 1992 dilakukan pemetaan sistematis kawasan Lembar Madiun pada skala 1: 100.000, termasuk Gunung Api Wilis. Pemetaan ini dilakukan oleh Hartono dkk (1992). Hasil pemetaan menunjukkan bahwa Gunung Api Wilis Kuarter terletak secara tidak selaras di atas sedimen vulkaniklastik Miosen dengan interkalasi batugamping. Rangkaian sedimen ini termasuk dalam Pegunungan Selatan Jawa (Bemmelen, 1949). Formasi Pegunungan Selatan yang paling tua yang terjadi di daerah ini adalah lava andesit dan breksi vulkanik yang berumur Oligosen (Formasi Andesit Lama) menurut Bemmelen (1949).

Di Gunung Api Wilis terdapat puncak punggung yang hampir melingkar dan dapat ditelusuri di sepanjang puncak Gunung Liman, Gunung Dorowati, hingga Gunung Argotawang. Hal ini telah berkembang dari dinding kawah Gunung Api Wilis dan akan disebut kawah Argokalangan, seperti yang diusulkan Verbeek dan Venemma (1896). Bentuk morfologi lain yang hampir melingkar dan membentuk lereng curam dapat ditelusuri dari Gunung Jogopodo melalui Gunung Cemorokandang, Gunung Lombok, Gunung Malang, Gunung Limas, hingga Gunung Gajahmungkur. Lembah melingkar tersebut membuka ke utara dan dapat diartikan sebagai kawah. Sedangkan Danau Ngebel terletak di sisi barat Gunung Api Wilis dan danau ini dikelilingi oleh beberapa kerucut vulkanik setinggi sekitar 900 m.

Hartono (1992) menyusun stratigrafi Gunung Api Wilis berdasarkan morfosit dan morfonit. Dari yang tertua ke yang termuda, adalah: Morphocet Klotok, Morphocet Pawonsewu, Morphocet Ngebel, dan Morphocet Argokalangan (Gambar 4.2.). Sedangkan berdasarkan morfonit adalah Morfonit Jeding dan Morfonit Tanjungsari, keduanya merupakan bagian dari Morphocet Ngebel.

### **Pre-caldera**

Gunung api *Pre-caldera* ini ditunjukkan sebagai Gunung Api Klotok (Gambar 4.2.) yang merupakan kerucut parasit yang berkomposisi *basaltic* (1.8–1.9 Ma). Menurut Hartono (1992) morfocet ini mungkin lebih tua dari Morphocet Pawonsewu di sekitarnya. Nama Pawonsewu (“*Seribu Dapur*”) merupakan lembah yang diartikan sebagai kawah purba. Kawah purba dengan lembah yang curam, tekstur topografi kasar sampai sedang dan pola drainase yang padat. Secara litologi Morphocet Pawonsewu terdiri lava andesit piroksen dan batuan piroklastik.

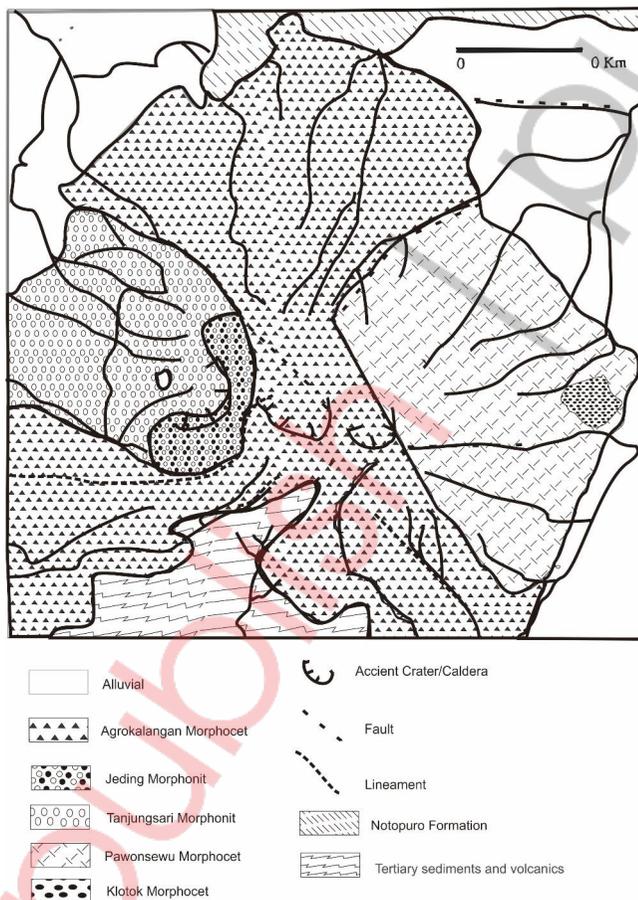
### **Caldera**

Kelompok gunung api caldera merupakan kelompok gunung api yang disebut sebagai Morfoset Ngebel. Morfoset ini hasil erupsi dari Gunung Api Jeding-Patukbanteng yang lebih tua dari Morphocet Argokalangan, dan mungkin lebih muda dari Morphocet Pawonsewu. Morphocet Ngebel meliputi: Morfonit Tanjungsari dan Morfonit Jeding. Morfonit Tanjungsari hampir seluruhnya terdiri dari *tuff* batuapung yang sangat lepas dan lebih mudah tererosi dibandingkan dengan breksi dan aglomerat Morphocet Ngebel. Morfonit Tanjungsari mungkin dihasilkan dari letusan kawah Danau Ngebel yang tersebar jauh dari pusat letusan dan menempati lembah dan sisi bawah gunung. Sedangkan Morfonit Jeding (1.09 Ma) terdiri dari lava andesit basaltik hingga basaltik dan aglomerat.

Secara litologi, satuan ini terdiri dari aglomerat, breksi vulkanik, tufa batuapung, dan intrusi dasit. Aglomerat dan breksi vulkanik terdiri dari piroksen andesit (andesit basaltik), andesit hornblende, basalt, dasit. Breksi vulkanik menunjukkan fragmen yang terpilah buruk, berorientasi, dan terbentuk dari proses aliran massa. Fragmen terdiri dari andesit basalt dan basaltik diyakini merupakan fragmen dari batuan dinding yang lebih tua, sedangkan andesit hornblende, dasit dan batuapung berasal dari juvenil.

### Post-caldera

Morfoset Argokalangan berasal dari Gunung Api Argokalangan yang tumbuh di dalam kawah lama. Morfoset ini tersusun oleh endapan tephra dan lava piroksen andesit dan juga basalt *olivine*. Selain hal itu lahar yang terdiri dengan fragmen andesit piroksen dan basalt *olivine*. Batuan ini tidak tersortasi dan tidak memiliki struktur sedimen. Fragmen berbentuk *subangular* hingga *subrounded*. Struktur sedimen laminasi halus dan lapisan bergradasi yang menunjukkan hasil transportasi air.

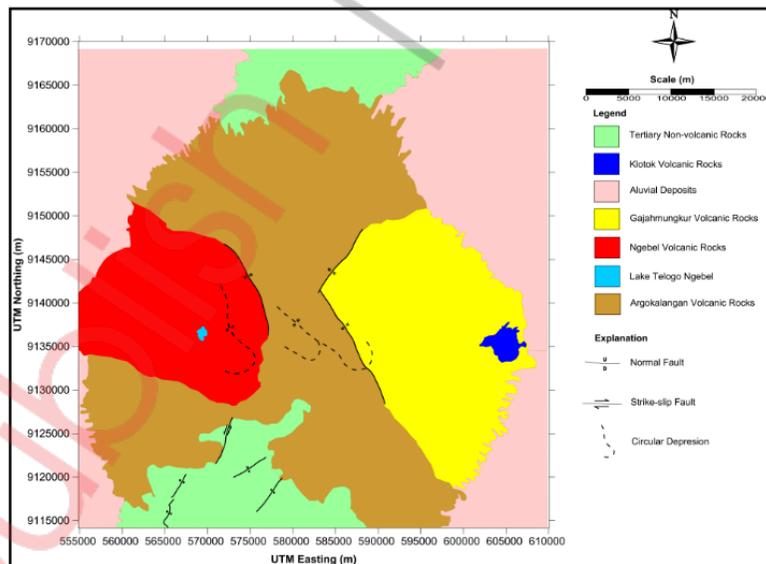


**Gambar 4.2.** Peta geologi dari Gunung Api Wilis (modifikasi dari Hartono dkk., 1992).

## 4.2. Struktur Geologi Gunung Api Wilis

Struktur geologis wilayah Gunung Api Wilis didominasi oleh struktur vulkanik yang berorientasi radial. Struktur paling signifikan berorientasi pada NE-SW dan NW-SE. Tiga sesar normal utama dapat diamati adalah Sesar Kunci di sepanjang K. Kunci dengan arah NE-SW, Sesar Klepon NW-SE (di sepanjang K. Klepon) yang mungkin berlanjut SE ke puncak gunung, dan Sesar Gajahmungkur.

Sesar Gajahmungkur merupakan bentukan tebing curam sepanjang hulu Kali Kunci hingga sisi barat daya Gunung Memehan, Gunung Argoklono, dan Gunung Gajahmungkur. Sesar-sesar ini membentuk graben di puncak gunung. Bentuk morfologi tersebut terkait dengan pembentukan *volcano tectonic-collapse*, seperti yang diinterpretasikan oleh Bemmelen 1949. Struktur ini sebagian besar dalam bentuk sesar normal. Struktur tektonik yang lain (Gambar 4.3) sebagian besar dalam bentuk patahan normal dan patahan dengan orientasi NE-SW yang mirip dengan Pola Meratus (Putra, dkk. 2014).

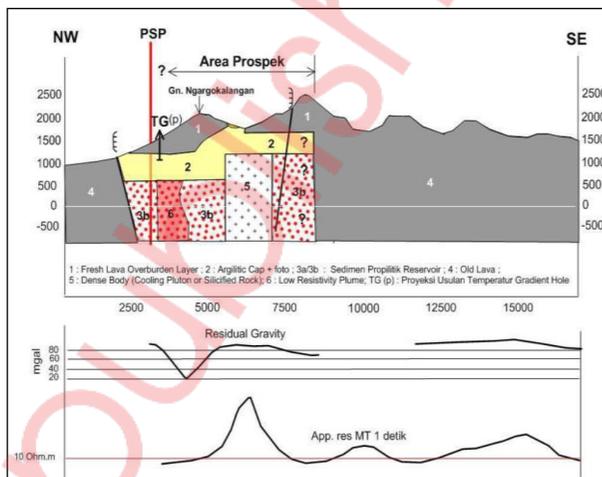


**Gambar 4.3.** Peta geologi regional Madiun skala 1:100.000 yang disederhanakan (Hartono, dkk., 1992 dimodifikasi oleh Putra, dkk. 2014).

### 4.3. Potensi Panas Bumi Gunung Api Wilis

Sumber panas bumi untuk sistem Wilis merupakan batuan beku yang terletak di bawah Kompleks Gunung Api Wilis. Potensi panas bumi Gunung Api Wilis ini memiliki cadangan terduga sebesar 50 MWe dengan rapat daya 10 MW/km<sup>2</sup> dan luas prospek 20 Ha. Manifestasi panas bumi terdiri dari mata air panas, fumarol dan batuan ubahan hidrotermal. Manifestasi panas bumi yang ditemukan adalah mata air panas pada umumnya bersifat netral, dengan gelembung gas dan endapan *travertine*, serta temperatur air panas hingga 60°C (Kelompok Pandusan). Sedangkan kelompok lainnya (Talun) pada umumnya bersifat asam, dan berbau belerang serta berasosiasi dengan lumpur panas (90°C) dan fumarol (90°C). Estimasi suhu bawah permukaan berdasarkan geotermometer Na-K-Ca berkisar 250°-375°C (ESDM, 2017).

Sedangkan menurut Paramitahaty (2014), manifestasi panas bumi di daerah Kali Padusan, Ngebel berupa pemunculan mata air panas dengan suhu 62°C yang termasuk ke dalam jenis fluida Cl. Perhitungan geotermometer dari hasil analisis geokimia menunjukkan suhu reservoir berkisar 206°C yang termasuk dalam klasifikasi sistem panas bumi entalpi sedang (125-225°C).



**Gambar 4.4.** Model konseptual panas bumi Gunung Api Wilis (ESDM, 2017).

## **BAB V**

### **GEOLOGI GUNUNG API NGEBEL**

#### **5.1. Geomorfologi Daerah Penindaklanjutan**

##### **5.1.1. Morfologi Umum**

Lokasi telitian berada di daerah Ranu Pakis dan sekitarnya yang secara administratif masuk di dalam Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur. Lokasi penelitian berjarak kurang lebih 12 km relatif ke arah timur laut dari Kota Ponorogo. Secara fisiografis masuk ke dalam zona fisiografi Solo yang merupakan jalur gunung api Kuartar menurut Bemellen(1949). Berdasarkan analisis pada peta topografi serta kenampakan morfologi di lapangan, daerah telitian memiliki bentukan ekspresi topografi yang bergelombang sedang-kuat. Hal ini merupakan cerminan dari morfografi berupa bukit dan perbukitan serta bentang alam berupa lembah dan kawah.

##### **5.1.2. Geomorfologi**

Pemetaan geomorfologi daerah Ngebel ini berguna untuk mengidentifikasi bentuk lahan atau bentang alam, proses-proses yang mempengaruhinya, asal mula pembentukannya (genesinya), dan kaitannya dengan lingkungan ruang dan waktu geologi. Bentuk lahan ini berguna untuk melengkapi usaha penelitian geologi di daerah penelitian dalam menentukan perkembangan atau evolusi gunung api.

Dalam pembagian satuan geomorfologi daerah telitian mengacu pada klasifikasi morfologi menurut Zuidam (1985). Dalam pembagian satuan geomorfologi memperhatikan aspek-aspek penunjang, seperti: morfografi, morfometri serta morfostruktur pasif, aktif dan dinamik. Morfografi meliputi: sungai, dataran, perbukitan, dan pegunungan, dan lain-lain). Morfometri meliputi kemiringan dan bentuk lereng, ketinggian dan beda tinggi, dan lain-lain (Tabel 6.1). Sedangkan morfostruktur pasif (meliputi jenis batuan dan tanah), Morfostruktur aktif (meliputi struktur-struktur geologi), dan

morfostruktur dinamik (meliputi tingkat pelapukan/erosi berhubungan dengan lingkungan/kehidupan di sekitarnya).

**Tabel 6.1.** Klasifikasi lereng berdasarkan Zuidam (1985).

No	Kemiringan Lereng	Kelas Lereng
1.	Rata/Hampir rata	0°–2° (0%–2%)
2.	Sedikit miring	2°–4° (2%–7%)
3.	Miring	4°–8° (7%–15%)
4.	Agak Curam	8°–16° (15%–30%)
5.	Curam	16°–35° (30%–70%)
6.	Sangat curam	35°–55° (70%–140%)
7.	Curam ekstrem	>55° (>140%)

Geomorfologi daerah telitian di dominasi oleh pegunungan, dataran tinggi, dan lembah-lembah. Lembah-lembah mengalirkan air dari dataran yang lebih tinggi. Lembah-lembah ini dikontrol oleh faktor vulkanisme, litologi, struktur dan proses erosi yang terjadi di permukaan. Berdasarkan faktor-faktor tersebut dan dengan menggunakan klasifikasi Zuidam (1985), maka geomorfologi daerah penelitian dapat dibagi berdasarkan genesisnya yaitu bentuk asal vulkanik dengan rincian lima bentuk lahan atau satuan morfologi sebagai berikut:

- Kawah (V1)
- Lereng vulkanik (V2)
- Kubah vulkanik (V3)
- Perbukitan vulkanik (V4)

### **Kawah (V1)**

Kawah menurut Schieferdecker (1959) adalah suatu cekungan yang berdiameter mencapai 2 km, dan dikelilingi oleh endapan hasil letusannya. Satuan morfologi kawah ini mencangkup  $\pm 6\%$  dari luas keseluruhan daerah telitian. Bentukan morfologi ini (Gambar 5.2) dicirikan dengan relief agak curam–curam (8°–35°) yang didominasi oleh Satuan Breksi Piroklastik Jatuhan Ngebel. Satuan batuan ini terdiri dari breksi piroklastik jatuhan, aglomerat dan batuan beku

berupa lava dasit. Resistensi batuan menunjukkan lemah sampai kuat dengan elevasi antara 700-800 mdpl. Pola aliran yang berkembang adalah pola aliran radial dengan lembah berbentuk “V”.



**Gambar 5.2.** Bentuk lahan kawah di LP W119 dengan azimuth N210°E.

### **Lereng Vulkanik (V2)**

Lereng vulkanik merupakan morfologi yang bercirikan permukaan miring dengan satu arah dan memiliki relief yang hampir seragam. Satuan lereng vulkanik ini mencakup  $\pm 49\%$  dari luas keseluruhan daerah telitian. Satuan lereng vulkanik dicirikan dengan relief miring—sangat curam ( $4^\circ$ – $55^\circ$ ). Satuan bentuk lahan ini tersusun oleh litologi breksi piroklastik aliran, piroklastik jatuhan, breksi laharik, dan lava. Resistensi batuan lemah sampai kuat dan memperlihatkan elevasi antara 300-900 mdpl. Pola aliran yang berkembang adalah pola aliran paralel dengan lembah berbentuk “U–V” (Gambar 5.3).



**Gambar 5.3.** Bentuk lahan lereng vulkanik di LP W110 dengan azimut N277°E.

### **Kubah Vulkanik (V3)**

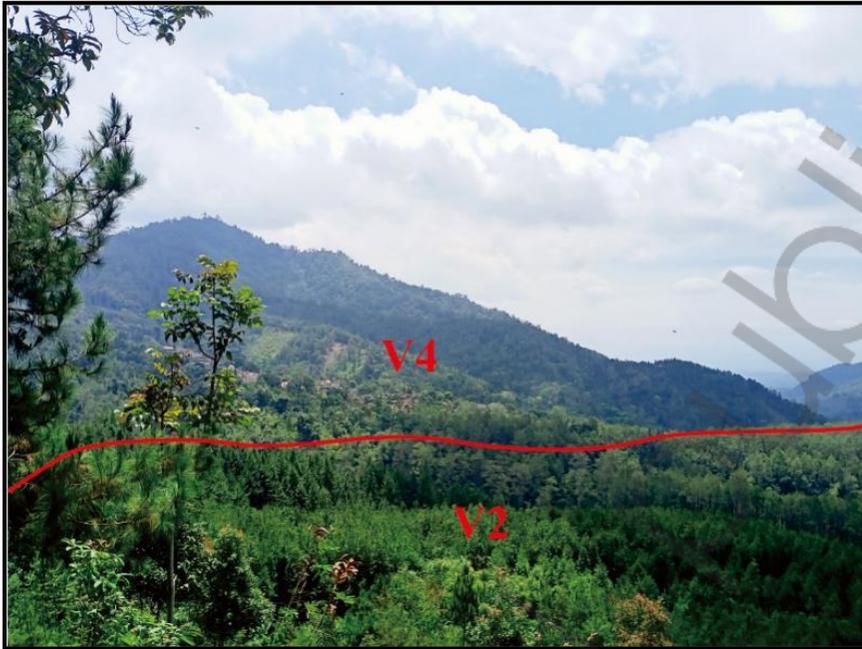
Kubah vulkanik merupakan morfologi yang bercirikan bentuk seperti bukit tunggal dengan memiliki relief yang hampir curam. Satuan kubah lava ini mencakup  $\pm 5\%$  dari luas keseluruhan daerah telitian. Bentuk kubah lava ini dicirikan dengan morfologi agak curam hingga sangat curam ( $16^\circ$ – $55^\circ$ ). Satuan bentuk lahan ini tersusun oleh litologi lava dengan resistensi batuan sedang sampai kuat. Elevasi bentukan lahan ini antara 900-1150 mdpl. Pola aliran yang berkembang adalah pola aliran paralel dengan lembah berbentuk “U–V” (Gambar 5.4).



**Gambar 5.4.** Bentuk lahan kubah vulkanik di LP W93 dengan azimut N088°E.

#### **Perbukitan Vulkanik (V4)**

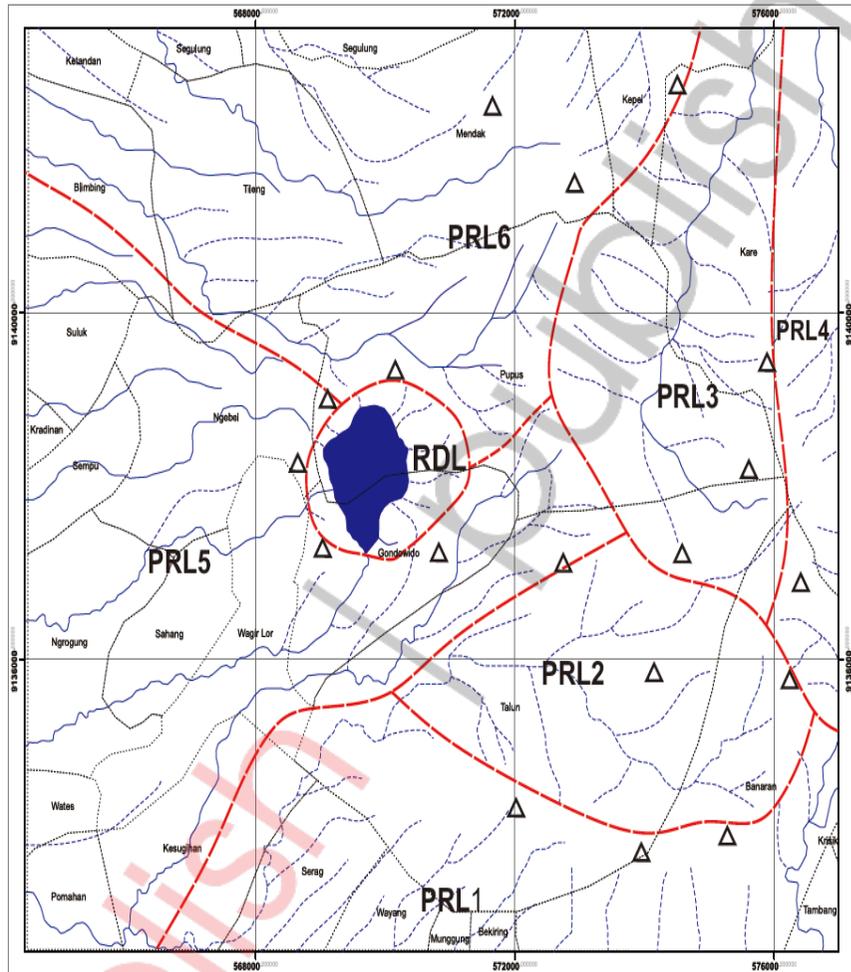
Perbukitan vulkanik merupakan morfologi yang bercirikan bentuk perbukitan memanjang dengan memiliki relief yang beragam. Satuan perbukitan vulkanik ini mencakup  $\pm 40\%$  dari luas keseluruhan daerah telitian. Satuan perbukitan vulkanik ini dicirikan dengan curam–sangat curam ( $33^\circ$ – $55^\circ$ ). Satuan bentuk lahan ini tersusun oleh litologi lava dengan resistensi batuan sedang sampai kuat. Elevasi bentuk lahan ini antara 450–1600 mdpl. Pola aliran yang berkembang adalah pola aliran paralel dengan lembah berbentuk “U–V” (Gambar 5.5).



**Gambar 5.5.** Bentuk lahan lereng Vulkanik di LP W139 dengan azimut N030°E.

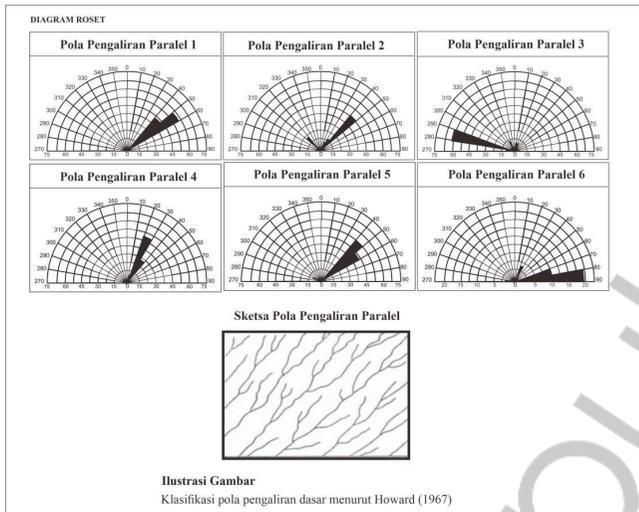
### **5.1.3. Pola Pengaliran**

Pola pengaliran merupakan penggabungan dari beberapa individu sungai yang saling berhubungan yang membentuk suatu pola dalam satu kesatuan ruang. Dalam pertumbuhannya pola pengaliran dipengaruhi oleh kemiringan lereng, perbedaan resistensi batuan, kontrol struktur, pembentukan pegunungan, proses geologi Kuartar dan sejarah serta stadia geomorfologi dari cekungan pola pengaliran (Thornbury, 1954). Adapun menurut Howard (1967), pola pengaliran adalah kumpulan jalur-jalur pengaliran hingga bagian terkecilnya pada batuan yang mengalami pelapukan atau tidak ditempati oleh sungai secara permanen.

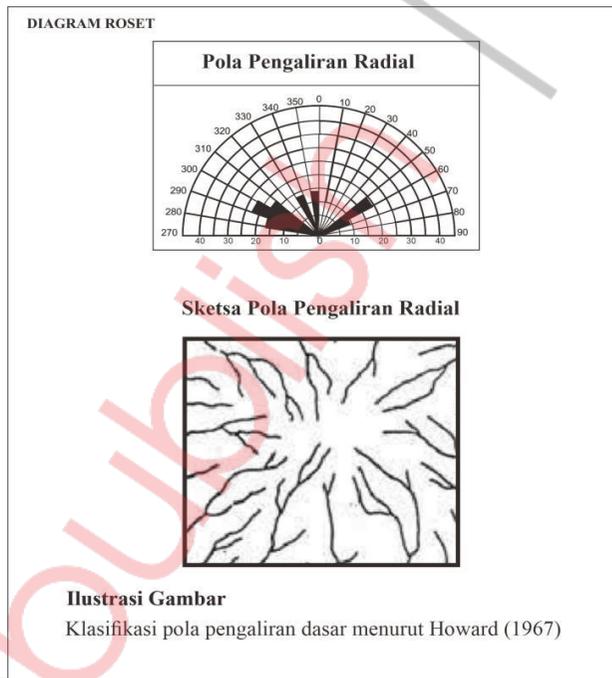


**Gambar 5.6.** Peta pola pengaliran daerah telitian.

Berdasarkan hasil analisis peta topografi, bentuk, dan arah aliran sungai, kemiringan lereng, kontrol litologi serta struktur geologi yang berkembang pada daerah telitian, maka pola aliran yang ada pada daerah penelitian berdasarkan klasifikasi Howard (1967) yaitu berupa pola paralel dan pola pengaliran radial (**Gambar 5.6**).



**Gambar 5.7.** Diagram roset pada pola pengaliran paralel 1, 2, 3, 4, 5, dan 6.



**Gambar 5.8.** Diagram roset pada pola pengaliran radial.

## 5.2. Stratigrafi

Stratigrafi pada daerah penelitian dibagi menjadi beberapa satuan batuan berdasarkan sebaran keseragaman litologi di permukaan dan morfostratigrafi. Untuk pembagian satuan batuan digunakan satuan tidak resmi yang mengacu pada pembagian tata nama yang sesuai dengan kaidah Sandi Stratigrafi Indonesia (1996). Adapun pembagian vulkanostratigrafi, daerah penelitian terdiri dari Gunung Api Jeding, Kemlandingan, Manyutan dan Ngebel.

Berdasarkan peneliti terdahulu pada Peta Geologi Lembar Madiun oleh Hartono (1992), pada daerah penelitian terdapat dua formasi, yaitu Morfoset Jeding-Patukbanteng dan Morfonit Ngebel. Morfoset Jeding-Patukbanteng tersusun oleh breksi gunung api, lava andesit piroksen dan sisipan *tuff* serta batu apung. Sedangkan Morfonit Ngebel tersusun oleh breksi gunung api berkeping andesit piroksen, hornblende dan diorit, *tuff* serta konglomerat gunung api.

Pada daerah penelitian jenis batuan yang umumnya hadir adalah berupa batuan piroklastik aliran, piroklastik jatuhan, piroklastik hembusan, dan lava. Berdasarkan sebaran karakteristik keseragaman batuan dan morfostratigrafi tersebut, maka pembagian stratigrafi daerah telitian secara umum dibagi menjadi 4 kelompok batuan. Kelompok batuan ini mewakili tahap evolusi Gunung Api Ngebel dari umur tertua hingga termuda. Urutan tersebut adalah unit Gunung Api Jeding, Gunung Api Kemlandingan, Gunung Api Manyutan, dan Gunung Api Ngebel. Selain hal tersebut juga unit stratigrafi gunung api yang telah ditentukan dibagi menjadi 17 satuan batuan. Urutan stratigrafi satuan batuan dari urutan paling tua hingga ke muda adalah sebagai berikut:

### 5.2.1. Gunung Api Jeding

Pada daerah telitian, Gunung Api Jeding merupakan kelompok batuan tertua dalam tahapan proses pembentukan Kompleks Gunung Api Ngebel. Penamaan Gunung Api Jeding didasarkan kepada lokasi administratif dan merujuk penelitian terdahulu dari Peta Geologi Lembar Madiun oleh Hartono (1992). Kelompok batuan ini tersebar pada bagian barat, barat

daya, selatan, timur, dan tenggara daerah penelitian. Selain itu, Gunung Api Jeding tersusun atas 3 satuan batuan yaitu Satuan Breksi Piroklastik Aliran Jeding 1, Satuan Breksi Piroklastik Aliran Jeding 2, dan Satuan Lava Jeding.

#### **A. Satuan Breksi Piroklastik Aliran Jeding (PAJ1)**

##### **Ciri Litologi**

Satuan batuan ini didominasi oleh breksi piroklastik aliran, lapili piroklastik aliran, breksi piroklastik jatuhan, dan breksi laharik. Satuan batuan ini merupakan produk dari aktivitas vulkanik yang paling tua di daerah penelitian. Satuan batuan ini secara umum ditemukan dalam kondisi fisik lapuk, warna abu terang dan kurang terkonsolidasi atau bersifat lepas-lepas.

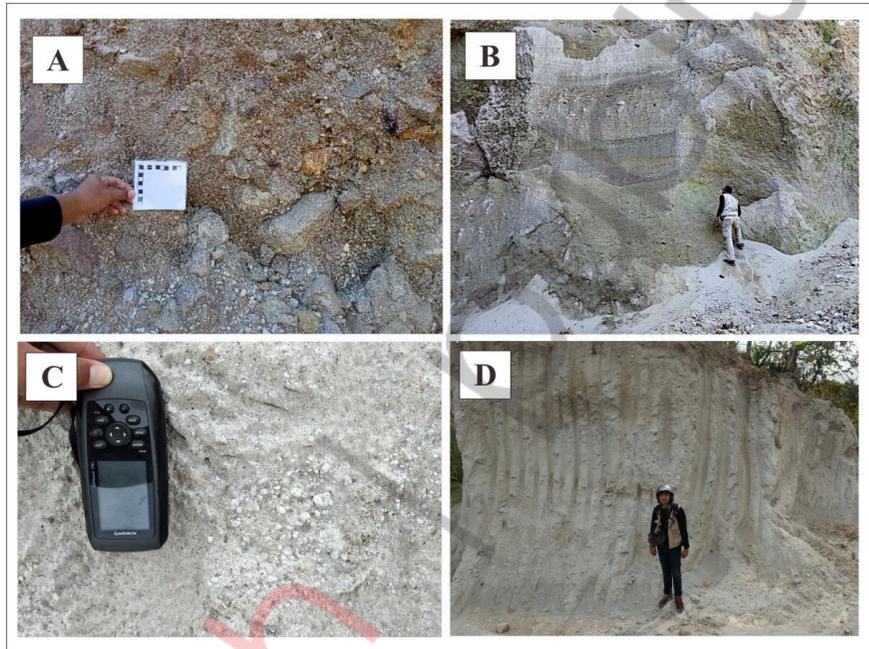
Breksi piroklastik aliran memiliki struktur masif, terpilah sangat buruk, fragmen *supported*. Fragmen batuan berupa basalt-andesit berukuran lapili (2 mm)–*block* (> 256 mm) dengan bentuk fragmen menyudut sampai menyudut tanggung. Jenis fragmen terdiri dari *scoria* basalt-andesit, sedikit *pumice* dan tertanam dalam matriks batuan berupa debu vulkanik kasar.

Lapili piroklastik aliran memiliki struktur masif. Pemilahan butiran atau fragmen menunjukkan sedang-buruk. Butiran menunjukkan matriks *supported*. Komposisi batuan ini dengan fragmen berupa basalt-andesit yang berukuran debu kasar (2 mm)–lapili (4 mm), *scoria* basalt-andesit dengan sedikit *pumice* dalam matriks berupa debu vulkanik kasar. Bentuk fragmen menyudut sampai menyudut tanggung.

Breksi piroklastik jatuhan memiliki struktur sedimen *reverse graded bedding* dengan pemilahan butiran sangat baik. Komposisi fragmen endapan tersebut terdiri dari basalt-andesit yang berukuran lapili (4 mm)–*block* (>64mm), *scoria* andesit dalam matriks berupa debu vulkanik kasar. Bentuk fragmen menyudut sampai menyudut tanggung.

Breksi laharik memiliki struktur masif dan dengan pemilahan butiran sangat baik. Komposisi fragmen endapan

berupa basalt-andesit, *scoria* basalt-andesit dan matriks batuan berupa debu kasar dan semen berupa lempung. Fragmen berukuran lapili (4 mm) hingga bom dan *block* (64-256 mm). Bentuk fragmen menyudut sampai menyudut tanggung,

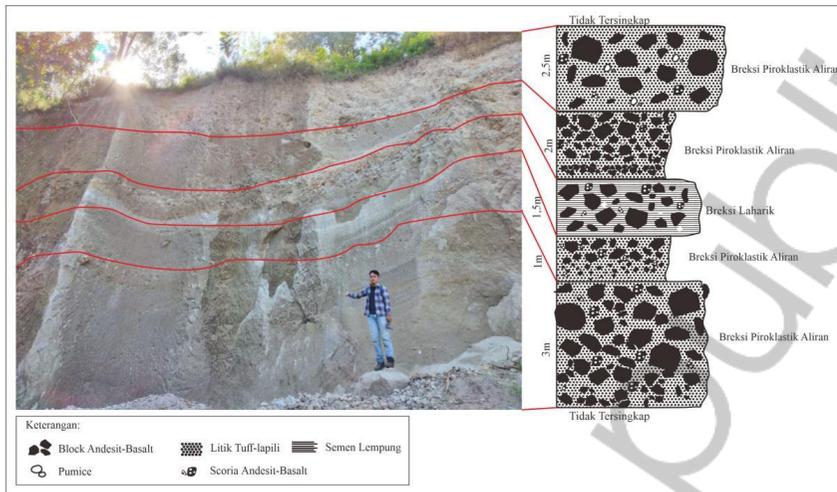


**Gambar 5.9.** Litologi pada Satuan Piroklastik Aliran Jeding 1 (PAJ1), A) Foto *close up* singkapan breksi piroklastik aliran LP W54 dan (B) Foto singkapan breksi piroklastik aliran pada LP W54 dengan azimut foto N095'E. C) Foto *close up* singkapan LP W112 dan (D) singkapan lapili piroklastik aliran pada LP W112 dengan azimut foto N135'E.

### **Persebaran dan Ketebalan**

Satuan ini tersebar pada bagian barat daya yang menempati lereng vulkanik dan menempati 7% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan di tebing yang berada di Desa Talun pada lokasi pengamatan W54. Profil kasar singkapan dapat dilihat pada

Gambar 5.10. Ketebalan singkapan satuan diperkirakan adalah berkisar  $\pm 15$  meter.



**Gambar 5.10.** Profil kasar dari singkapan Satuan Breksi Piroklastik Aliran Jeding 1 pada LP W54.

### Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Breksi Piroklastik Aliran Jeding 1 menggunakan referensi peneliti terdahulu dari Peta Geologi Regional Lembar Madiun oleh (Hartono, 1992) dan menggunakan pendekatan morfostratigrafi. Hal ini dilakukan karena tidak ditemukannya fosil mikro. Umur batuan ditentukan dengan menggunakan umur regional dari satuan ini adalah Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Lava Basaltik-Andesit Jeding). Satuan ini diendapkan dengan dominasi mekanisme piroklastik aliran. Berdasarkan radius penyebaran dengan pusat erupsi, maka diinterpretasikan merupakan produk hasil erupsi yang berada pada *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

## B. Satuan Lava basaltik-andesit Jeding (LJ)

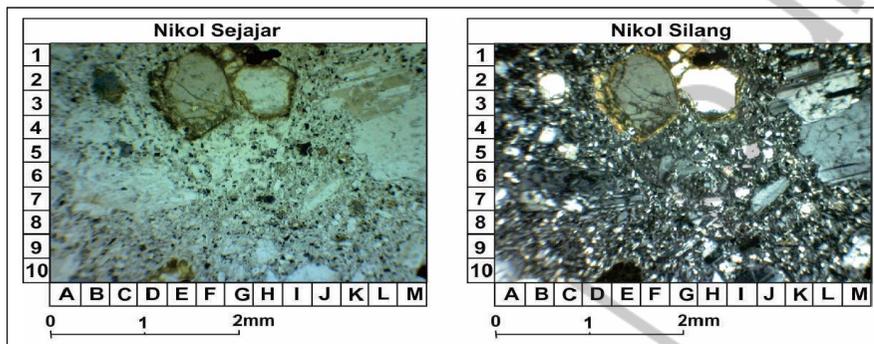
### Ciri Litologi

Satuan batuan ini tersusun oleh lava yang merupakan produk dari aktivitas vulkanik yang paling tua di daerah telitian. Batuan beku vulkanik ini berupa lava basalt. Lava *basaltic-andesit* secara umum ditemukan dalam kondisi segar hingga lapuk. Berdasarkan deskriptif megaskopis lava tersebut adalah basaltik andesitic. Lava ini memiliki struktur *autobreccia* dan *sheeting joint*. Warna batuan segar adalah abu-abu, sedangkan warna lapuk adalah abu-abu kecokelatan. Tekstur batuan menunjukkan kristalinitas hipokristalin dan granularitas afanitik–fanerik sedang. Bentuk kristal adalah subhedral–anhedral dengan relasi Kristal inequigranular. Batuan disusun oleh plagioklas, dan piroksen dalam masa dasar gelas vulkanik.



**Gambar 5.13.** Litologi pada Satuan Lava Jeding (LJ), (A) Foto singkapan lava basaltik andesit memperlihatkan struktur *sheeting joint* pada LP W59 dengan azimuth foto N095°E dan B) Foto *close up* singkapan lava basalt andesitik LP W59. C) singkapan lapili piroklastik aliran pada LP W79 dengan azimuth foto N135°E dan D) Foto *close up* singkapan LP W79 memperlihatkan struktur *autobreccia*.

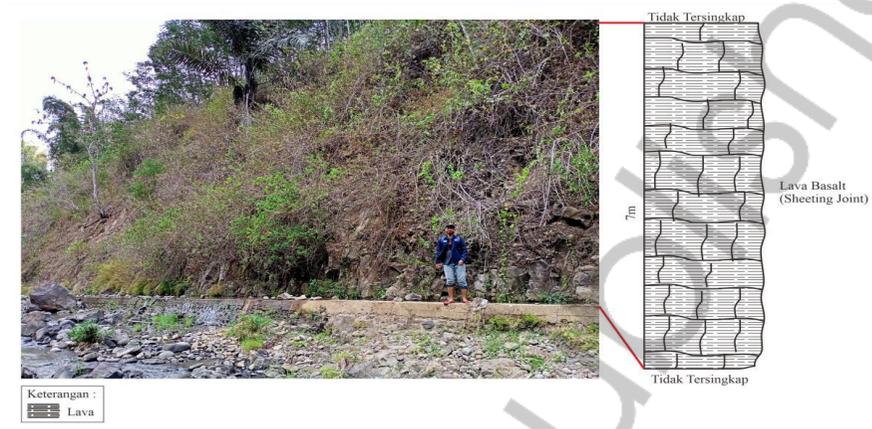
Pengamatan petrografis lava basaltik-andesit pada sampel sayatan tipis LP W64 memperlihatkan warna coklat dengan memiliki derajat kristalinitas hipokristalin. Tekstur khusus batuan menunjukkan pilotaxitik, intergranular, dan glomeroporfiritik. Komposisi mineral penyusun batuan terdiri dari plagioklas (38%), piroksen (11%), mineral opa (5%) dan masa dasar (46%). Fenokris berbentuk subhedral–anhedral dengan ukuran 2 mm–0,2 mm dan nama batuan disebut basaltik andesit (Strekeisen, 1978).



**Gambar 5.14.** Foto sayatan tipis satuan Lava Jeding (LJ) berupa basaltik andesit (Strekeisen, 1978) perbesaran 4x. Mineral plagioklas (5L), massa dasar (5F), mineral opa (1H), dan piroksen (2B).

### Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian selatan dan tenggara yang menempati perbukitan vulkanik dan menempati 15% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan di tebing yang berada di Desa Talun pada lokasi pengamatan W59 dengan profil kasar (Gambar 5.15). Ketebalan satuan ditentukan dari keterdapatan singkapan dan rekonstruksi penampang, sehingga ketebalan satuan ini diperkirakan adalah berkisar  $\pm 10$  meter.



**Gambar 5.15.** Profil kasar Satuan Lava Jeding pada LP W59.

### **Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi**

Penentuan umur geologi Satuan Lava Jeding menggunakan referensi peneliti terdahulu menurut Hartono (1992), serta dengan menggunakan pendekatan morfostratigrafi. Umur geologi dari satuan ini adalah Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Breksi Piroklastik Aliran Kemlandingan). Berdasarkan radius penyebaran dengan pusat erupsi, maka diinterpretasikan bahwa satuan batuan ini merupakan produk hasil erupsi yang berada pada *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

#### **5.2.2. Gunung Api Kemlandingan**

Pada daerah telitian, Gunung Api Kemlandingan merupakan kelompok batuan setelah Gunung Api Jeding dalam tahapan proses pembentukan Gunung Api Ngebel. Kelompok batuan ini tersebar pada bagian timur daerah penelitian. Selain itu, Gunung Api Kemlandingan tersusun atas 3 satuan batuan yakni di antaranya dari umur paling tua hingga muda adalah Satuan Breksi Piroklastik Aliran Kemlandingan, Satuan Lava Kemlandingan 1, dan Satuan Lava Kemlandingan 2.

## A. Satuan Endapan Piroklastik Aliran Kemlandingan (PAK)

### Ciri Litologi

Satuan batuan ini didominasi oleh breksi piroklastik aliran yang merupakan produk vulkanik dari Gunung Api Kemlandingan di daerah telitian dan diendapkan oleh mekanisme pengendapan piroklastik aliran. Satuan batuan ini secara umum ditemukan dalam kondisi lapuk dengan warna cokelat terang dan kondisi batuan kurang terkonsolidasi. Selain itu juga dijumpai adanya arang kayu dan *paleo soil*.

Breksi piroklastik aliran memiliki struktur masif, dan terpilah sangat buruk. Satuan batuan tersusun oleh fragmen berupa andesit berukuran lapillus (2 mm)–*block* (>256 mm) dengan bentuk fragmen menyudut sampai menyudut tanggung. Selain hal itu fragmen *scoria* andesit dengan sedikit *pumice* tertanam dalam matriks batuan berupa debu vulkanik kasar.

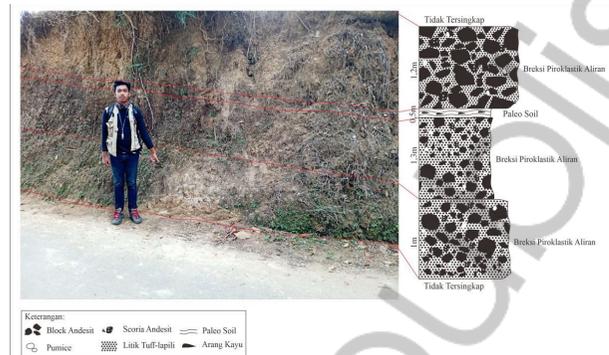


**Gambar 5.16.** Litologi pada satuan Breksi Piroklastik Aliran Kemlandingan, A). Foto singkapan breksi piroklastik aliran pada LP W170 dengan azimuth foto N024°E, B). Foto *close up* kenampakan singkapan breksi piroklastik aliran memperlihatkan struktur masif pada LP W170.

### Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian barat daya yang menempati lereng vulkanik. Luas sebaran menempati 3% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan di tebing yang berada di Desa Gondowido pada lokasi pengamatan W170. Adapun profil singkapan dapat

dilihat pada Gambar 5.17. Ketebalan satuan diperoleh dari keterdapatan singkapan dan rekonstruksi penampang dengan ketebalan diperkirakan berkisar  $\pm 10$  meter.



**Gambar 5.17.** Profil kasar Satuan Breksi Piroklastik Aliran Kemlandingan pada LP W170.

### Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Breksi Piroklastik Aliran Kemlandingan menggunakan referensi peneliti terdahulu menurut Hartono (1992) dan pendekatan morfostratigrafi. Hal ini disebabkan karena tidak ditemukan fosil mikro yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan umur. Umur dari satuan batuan ini adalah Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Lava Kemlandingan 1). Satuan ini diendapkan dengan mekanisme piroklastik aliran. Berdasarkan penyebaran satuan batuan dengan pusat erupsinya, maka diinterpretasikan bahwa satuan batuan ini merupakan produk hasil erupsi yang berada pada *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

### B. Satuan Endapan Lava Andesit Piroksen Kemlandingan 1 (LK1)

#### Ciri Litologi

Satuan batuan ini disusun oleh dominasi batuan beku lava, selain itu juga terdapat breksi piroklastik aliran yang merupakan produk dari aktivitas vulkanik Gunung Api

Kemlandingan. Batuan beku vulkanik yang menyusun satuan batuan ini adalah lava andesit piroksen.

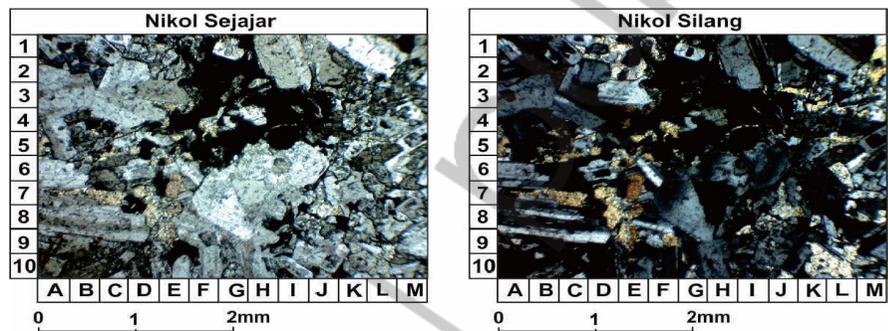
Lava andesit piroksen secara deskriptif makroskopis memiliki karakteristik warna abu dan memiliki struktur *autobreccia* dan *sheeting joint*. Tekstur batuan menunjukkan kristalinitas hipokristalin, granularitas afanitik–fanerik sedang dan bentuk kristal subhedral–anhedral. Relasi mineral penyusun batuan adalah inequigranular yang ditunjukkan oleh persebaran mineral plagioklas, piroksen, dan hornblende di dalam masa dasar gelas vulkanik.

Breksi piroklastik aliran memiliki struktur masif yang terpilah sangat buruk. Fragmen batuan terdiri dari *block* andesit *scoria* andesit, *pumice* dan matriks batuan berupa debu kasar yang berukuran lapili yang berukuran (2 mm)–*block* (256 mm), dan dengan bentuk fragmen menyudut sampai menyudut tanggung.



**Gambar 5.18.** Litologi pada Satuan Lava Kemlandingan 1 (LK1) A). Singkapan andesit piroksen satuan Lava Kemlandingan 1 pada LP W108 dengan azimuth foto N342°E, B). Foto *close up* kenampakan singkapan LP W108 memperlihatkan struktur *autobreccia*, C). Singkapan andesit piroksen satuan Lava Kemlandingan 1 pada LP W132 dengan azimuth foto N320°E, D). Foto *close up* kenampakan singkapan LP W132 memperlihatkan struktur *sheeting joint*.

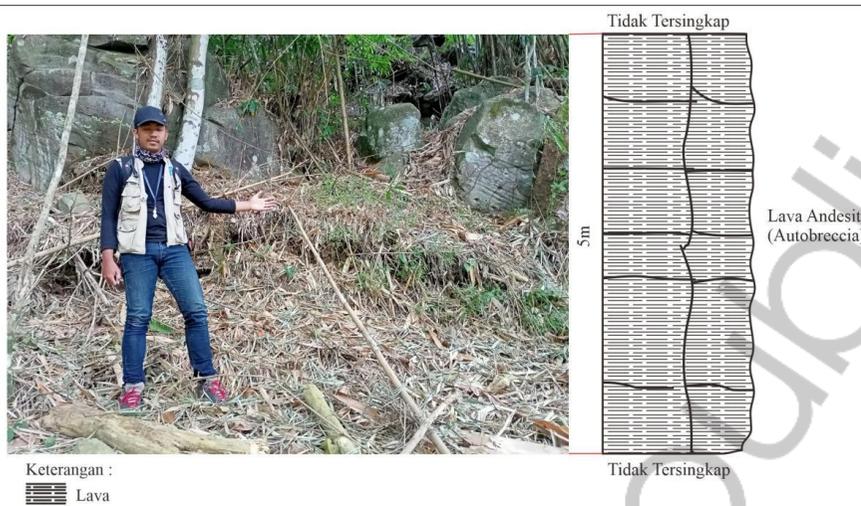
Pengamatan petrografis pada sampel sayatan tipis LP W108 memperlihatkan warna coklat, dan memiliki derajat kristalinitas hipokristalin. Tekstur batuan menunjukkan intergranular, dan tekstur khusus adalah glomeroporfiritik. Komposisi mineral penyusun terdiri dari plagioklas (48%), piroksen (12%), mineral opa (10%), hornblende (8%) yang tertanam dalam masa dasar gelas vulkanik (28%). Fenokris berbentuk anhedral–subhedral dengan ukuran 0.2 mm–2 mm, dengan nama batuan andesit piroksen (Strekeisen, 1978).



**Gambar 5.19.** Foto sayatan tipis satuan Lava Kemlandingan 1 (LK1) berupa andesit piroksen (Strekeisen, 1978) perbesaran 4x. Mineral plagioklas (7H), Hornblende (6L), massa dasar (3M), mineral opa (5I), dan piroksen (10L).

### Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian selatan dan tenggara yang menempati perbukitan vulkanik sekitar 9% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan di tebing yang berada di Desa Talun pada lokasi pengamatan W108 dan profil singkapan dapat dilihat pada Gambar 5.20. Ketebalan satuan ini ditentukan dari keterdapatan singkapan dan rekonstruksi penampang, serta ketebalan diperkirakan adalah berkisar  $\pm 20$  meter.



**Gambar 5.20.** Profil kasar Satuan Lava Kemlandingan 1 pada LP W108.

### Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Lava Kemlandingan 1 menggunakan referensi peneliti terdahulu menurut Hartono (1992) dan pendekatan morfostratigrafi karena satuan batuan ini tidak ditemukan fosil mikro yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan umur. Umur geologi dari satuan ini adalah Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Lava Kemlandingan 2). Berdasarkan penyebaran dengan pusat erupsi, maka diinterpretasikan bahwa satuan ini merupakan hasil erupsi yang berada pada *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

### B. Satuan Lava Andesit Piroksen Kemlandingan 2 (LK2) Ciri Litologi

Satuan batuan ini disusun oleh dominasi batuan beku lava yang merupakan produk dari aktivitas vulkanik Gunung Api Kemlandingan. Batuan beku vulkanik yang menyusun satuan batuan ini adalah lava andesit piroksen.

Lava andesit piroksen secara deskriptif megaskopis memiliki karakteristik berupa kondisi segar berwarna abu dan warna lapuk adalah kecokelatan. Lava andesit piroksen ini memperlihatkan struktur batuan masif dan scoria. Kristalinitas batuan adalah hipokristalin dengan granularitas afanitik-fanerik sedang. Bentuk kristal subhedral-anhedral dengan relasi inequigranular. Komposisi mineral penyusun lava adalah plagioklas, piroksen, dan hornblende yang tertanam dalam masa dasar gelas vulkanik.



**Gambar 5.21.** Litologi pada Satuan Lava Kemlandingan 2 (LK2), A). Singkapan andesit piroksen pada LP W174 memperlihatkan struktur masif dengan azimuth foto N283°E, B). Foto *close up* singkapan andesit piroksen LP W174.

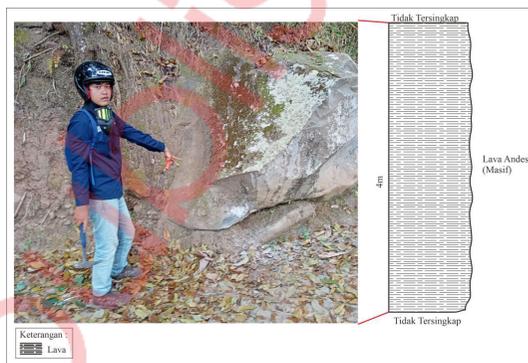
Pengamatan petrografis pada sampel sayatan tipis LP W174 memperlihatkan warna coklat dan memiliki derajat kristalinitas hipokristalin. Tekstur khusus adalah intergranular dan glomeroporfiritik dengan komposisi yang terdiri dari plagioklas (42%), piroksen (12%), mineral opa<sub>q</sub> (8%), hornblende (8%) yang tertanam dalam masa dasar gelas vulkanik (30%). Fenokris berbentuk anhedral-subhedral dengan ukuran 0.2 mm–2 mm dengan nama batuan adalah andesit piroksen (Strekeisen, 1978).



**Gambar 6.22.** Foto sayatan tipis satuan Lava Kemlandingan 2 (LK2) berupa andesit piroksen dengan perbesaran 4x. Mineral plagioklas (6C), hornblende (10B), massa dasar (8H), mineral opa9 (9J), dan piroksen (2F).

### Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian selatan dan tenggara yang menempati kubah volkanik dan menempati 2% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan di bukit yang berada di Desa Gondowido pada lokasi pengamatan W174. Profil kasar terlihat seperti pada Gambar 5.23. Ketebalan satuan ditentukan dari keterdapatan singkapan dan rekonstruksi penampang dan ketebalan diperkirakan berkisar  $\pm 15$  meter.



**Gambar 6.23.** Profil kasar Satuan Lava Kemlandingan 2 pada LP W174.

### **Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi**

Penentuan umur geologi Satuan Lava Kemlandingan 2 menggunakan referensi peneliti terdahulu yaitu menurut Hartono (1992) dan pendekatan morfostratigrafi. Hal ini disebabkan pada satuan batuan ini tidak ditemukan fosil mikro yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan umur. Umur geologi dari satuan ini adalah Pleistosen Awal. Sedangkan hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya yaitu Satuan Breksi Piroklastik Manyutan. Berdasarkan radius penyebaran dari pusat erupsi, maka diinterpretasikan bahwa satuan batuan ini merupakan produk hasil erupsi yang berada pada *fasies central* dari Gunung Api Wilis (Bronto, 2006).

#### **5.2.3. Gunung Api Manyutan**

Pada daerah telitian, kelompok batuan dari Gunung Api Manyutan ini tersebar pada bagian timur laut, utara, dan barat laut daerah penelitian. Selain itu, Gunung Api Manyutan tersusun atas 3 satuan batuan dari umur paling tua hingga muda adalah: Satuan Breksi Piroklastik Aliran Manyutan, Satuan Lava Manyutan 1, dan Satuan Lava Manyutan 2.

##### **A. Satuan Endapan Piroklastik Aliran Manyutan (PAM)**

###### **Ciri Litologi**

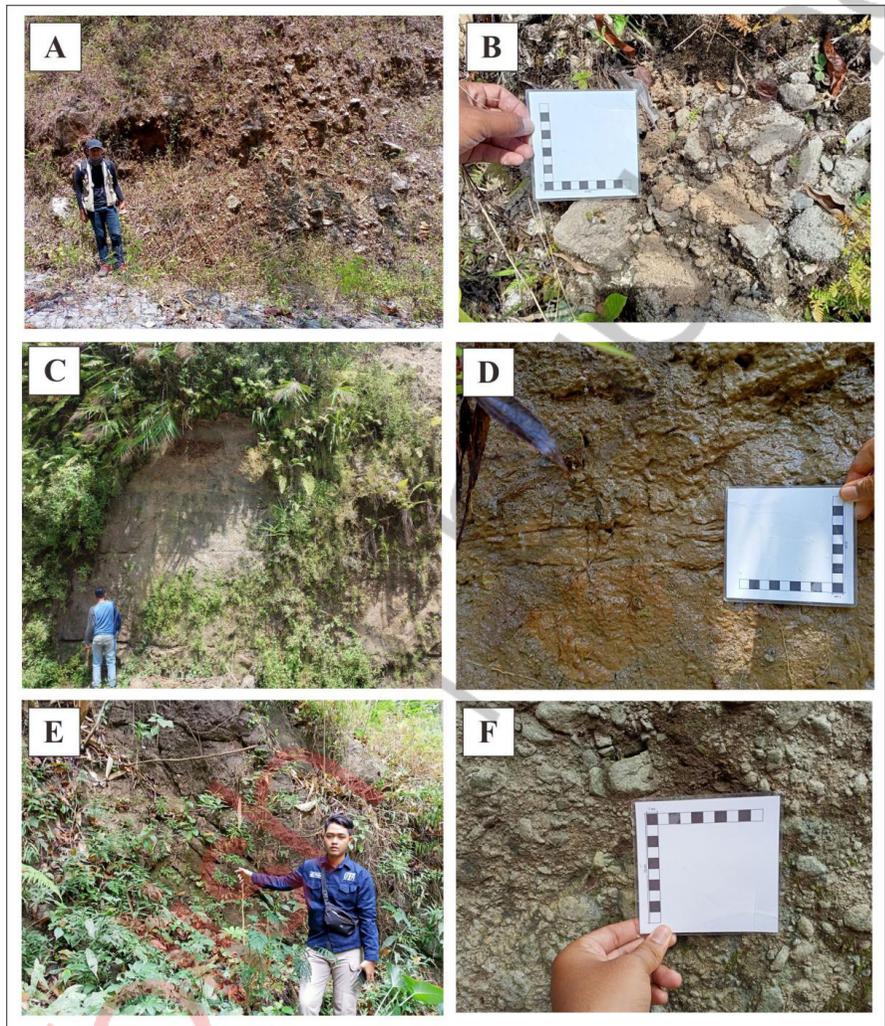
Satuan batuan ini didominasi oleh breksi piroklastik aliran yang merupakan produk dari aktivitas vulkanik dari Gunung Api Manyutan. Selain itu pada satuan batuan ini juga dijumpai litologi berupa breksi laharik dan *tuff* litik. Satuan batuan ini secara umum ditemukan dalam kondisi lapuk, warna cokelat dan batuan kurang terkonsolidasi atau bersifat lepas-lepas.

Breksi piroklastik aliran memiliki struktur masif yang terpilah sangat buruk. Fragmen tersusun oleh andesit, *scoria* andesit, *pumice* yang berukuran lapili (2 mm)–*block* (256 mm).

Bentuk fragmen menyudut sampai menyudut tanggung dan fragmen tertanam dalam matriks batuan berupa debu vulkanik kasar.

*Tuff* memiliki struktur sedimen perlapisan. Hubungan antar fragmen memperlihatkan pemilahan sangat baik dan sortasi butiran baik. Ukuran fragmen umumnya berukuran debu vulkanik halus (< 2 mm). Fragmen terdiri dari mineral kuarsa, plagioklas, piroksen dan hornblende yang tertanam dalam matriks debu vulkanik halus.

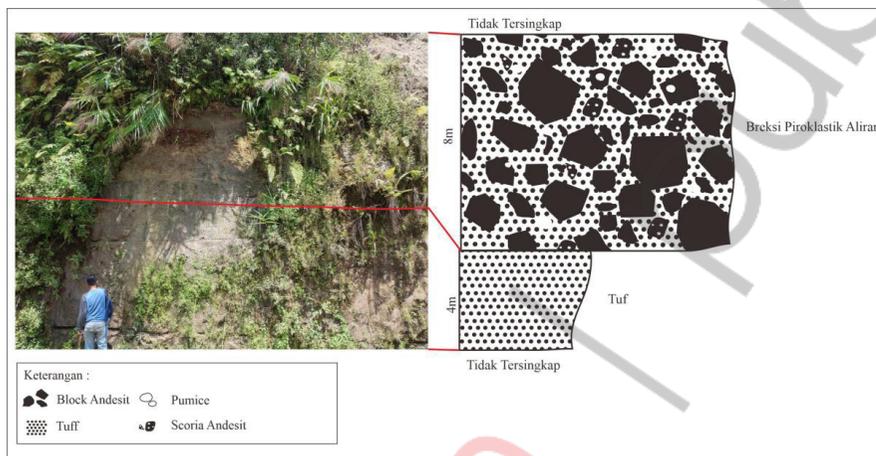
Breksi Laharik memiliki struktur sedimen perlapisan dan masif. Hubungan antar fragmen memperlihatkan pemilahan sangat buruk. Komposisi fragmen berupa *blocky* andesit berukuran kerikil (4 mm)–*block* (>256 mm). Bentuk fragmen menyudut sampai menyudut tanggung dan fragmen tertanam dalam matriks batuan berupa debu vulkanik kasar yang tersemenkan oleh lempung.



**Gambar 5.24.** Litologi Satuan Breksi Piroklastik Aliran Manyutan (PAM), A). Singkapan Breksi Piroklastik Aliran pada LP W227 dengan azimuth foto N050°E, B). Foto *close up* singkapan Breksi Piroklastik Aliran LP W227, C). Singkapan *tuff* kontak dengan breksi piroklastik aliran pada LP W175 dengan azimuth foto N075°E, D). Foto *close up* singkapan *tuff* LP W175. E). Singkapan breksi laharik pada LP W089 dengan azimuth foto N200°E, F). Foto *close up* singkapan breksi laharik LP W089.

## Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian barat daya yang menempati lereng vulkanik dan menempati 7% dari total luas daerah penelitian. Singkapan yang terbaik dijumpai pada lokasi pengamatan W175 di Desa Tileng. Profil singkapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.25. Ketebalan satuan diperoleh dari keterdapatan singkapan dan rekonstruksi penampang. Ketebalan diperkirakan adalah berkisar  $\pm 10$  meter.



**Gambar 5.25.** Profil kasar Satuan Breksi Piroklastik Aliran Manyutan pada LP W175.

## Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Breksi Piroklastik Aliran Kemlandingan menggunakan referensi peneliti terdahulu yaitu menurut Hartono (1992). Hal ini dilakukan dikarenakan tidak ditemukannya fosil mikro pada batuan tersebut. Sehingga dapat ditentukan bahwa umur geologi dari satuan ini adalah Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Lava Manyutan 1). Satuan ini diendapkan dengan mekanisme piroklastik aliran. Penyebaran satuan batuan ini diinterpretasikan merupakan produk hasil erupsi yang berada pada *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

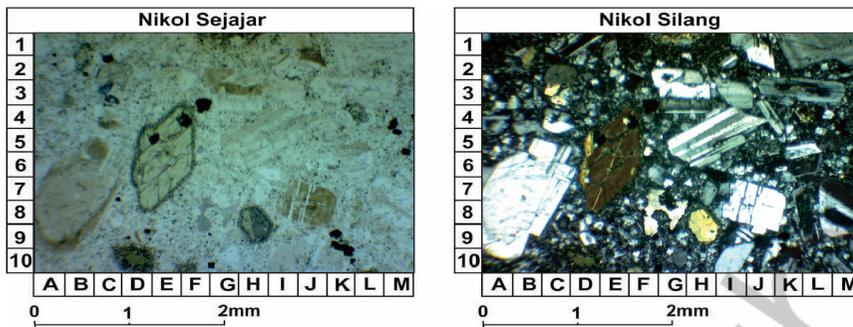
## B. Satuan Lava Andesit Hornblende Manyutan 1 (LM1) Ciri Litologi

Satuan batuan ini tersusun oleh lava andesit hornblende yang merupakan produk dari aktivitas Gunung Api Manyutan. Lava andesit hornblende secara deskriptif megaskopis memiliki karakteristik berwarna abu dan warna lapuk adalah cokelat terang. Pada lava ini memiliki struktur *sheeting joint*. Tekstur menunjukkan kristalinitas hipokristalin, granularitas afanitik–fanerik sedang dan bentuk kristal subhedral–anhedral. Sedangkan relasi menunjukkan inequigranular dengan komposisi mineral terdiri dari plagioklas, hornblende, piroksen, kuarsa dan mineral opaq yang tertanam dalam masa dasar gelas vulkanik.



**Gambar 5.26.** Litologi pada Satuan Lava Manyutan 1 (LM1), A). Kenampakan satuan Lava Manyutan 1 pada LP W158 dengan azimut foto N020°E, B). Foto *close up* kenampakan singkapan W158 memperlihatkan struktur *sheeting joint*.

Pengamatan petrografis pada sampel sayatan tipis LP W158 memperlihatkan warna cokelat dengan memiliki tekstur yang menunjukkan derajat kristalinitas hipokristalin dengan tekstur batuan intergranular dan glomeroporfiritik. Komposisi mineral terdiri dari plagioklas (43%), hornblende (14%), piroksen (5%), kuarsa (3%), mineral opaq (8%) yang tertanam dalam masa dasar gelas vulkanik (42%). Fenokris berbentuk anhedral–subhedral dengan ukuran 2 mm–0,2 mm dan nama batuan adalah andesit hornblende (Strekeisen, 1978).



**Gambar 5.27.** Foto sayatan tipis satuan Lava Manyutan 1 (LM1) berupa andesit hornblende (Strekeisen, 1978) perbesaran 4x. Mineral plagioklas (5I), hornblende (5E), massa dasar (10G), mineral opa q (3F), kuarsa (4L) dan piroksen (10D).

### Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian selatan dan tenggara yang menempati perbukitan vulkanik dan menempati 8% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan W158 yaitu di bukit di Desa Pupus dan profil singkapan dapat dilihat pada Gambar 5.28. Ketebalan satuan diperoleh dari keterdapatan singkapan dan rekonstruksi penampang yang diperkirakan ketebalannya adalah berkisar  $\pm$  20 meter.



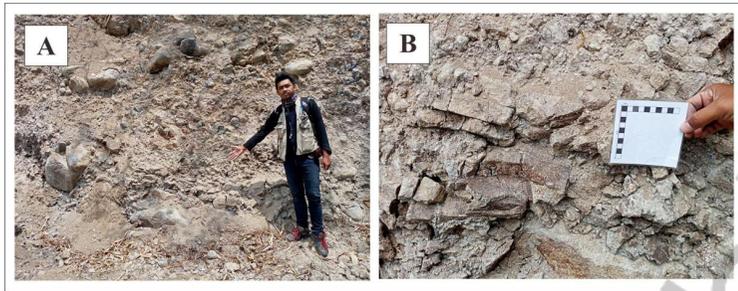
**Gambar 5.28.** Profil kasar Satuan Lava Manyutan 1 pada LP W158.

### **Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi**

Penentuan umur geologi Satuan Lava Manyutan 1 ini menggunakan referensi peneliti terdahulu yang dilakukan oleh Hartono (1992). Dikarenakan dalam satuan batuan ini tidak ditemukan fosil mikro. Umur geologi dari satuan ini adalah Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Lava Manyutan 2). Berdasarkan radius penyebaran dengan pusat erupsi, maka diinterpretasikan bahwa satuan batuan ini merupakan produk hasil erupsi dari *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

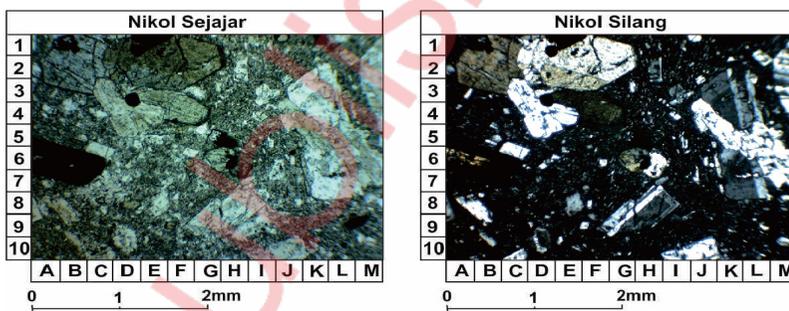
### **C. Satuan Lava Andesit Hornblende Manyutan 2 (LM2) Ciri Litologi**

Satuan batuan ini tersusun oleh lava andesit hornblende yang merupakan produk dari aktivitas vulkanik Gunung Api Manyutan. Andesit hornblende secara deskripsi megaskopis memiliki karakteristik berupa kondisi batuan *fresh* dengan warna abu hingga lapuk dengan warna coklat terang. Lava ini memiliki struktur *sheeting soint* dan *autobreccia*, warna segar abu-abu dan warna lapuk abu-abu kecokelatan. Tekstur kristalinitas hipokristalin, granularitas afanitik–fanerik sedang dengan bentuk kristal subhedral–anhedral. Relasi hubungan antar-fenokris dan masa dasar adalah inequigranular, sedangkan komposisi mineral penyusun bebatuan adalah plagioklas, piroksen, hornblende dan masa dasar gelas vulkanik.



**Gambar 5.29.** Litologi pada Satuan Lava Manyutan 2 (LM2), A). Kenampakan satuan Lava Manyutan 2 pada LP W234 memperlihatkan struktur *autobreccia* dan *spheroidal weathering* dengan azimuth foto N020°E, B). Foto *close up* kenampakan singkapan W234.

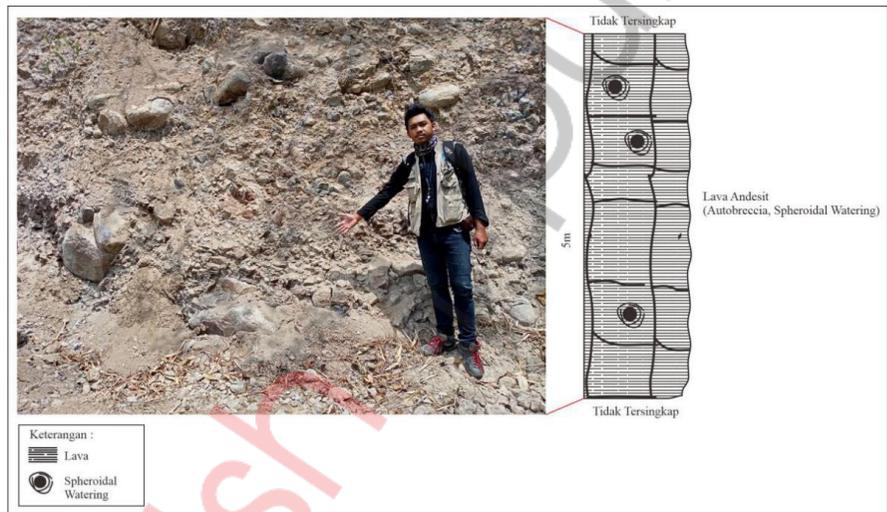
Pengamatan petrografis pada sampel sayatan tipis LP W234 memperlihatkan warna coklat. Lava memiliki derajat kristalinitas hipokristalin dengan tekstur khusus intergranular, glomeroporfiritik. Sedangkan komposisi mineral penyusun batuan terdiri dari plagioklas (43%), hornblende (12%), piroksen (8%), mineral opa $\acute{q}$  (6%) dan masa dasar gelas vulkanik (31%). Fenokris berbentuk anhedral–subhedral dengan ukuran 2 mm–0,2 mm dan batuan ini disebut andesit hornblende (Strekeisen, 1978).



**Gambar 5.30.** Foto sayatan tipis satuan Lava Manyutan 2 (LM2) berupa andesit hornblende (Strekeisen, 1978) perbesaran 4x. Mineral plagioklas (3K), hornblende (2F), massa dasar (8D), mineral opa $\acute{q}$  (5H), dan piroksen (2B).

## Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian selatan dan tenggara yang menempati perbukitan vulkanik sekitar menempati 6% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan W234 di Desa Mendak dan profil kasar terlihat seperti Gambar 5.31. Ketebalan satuan batuan ditentukan dari keterdapatan singkapan dan rekonstruksi penampang. Hasil rekonstruksi tersebut bahwa ketebalan lapisan batuan diperkirakan berkisar  $\pm 15$  meter.



**Gambar 6.31.** Profil kasar Satuan Lava Manyutan 2 pada LP W234.

## Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Lava Manyutan 2 menggunakan referensi peneliti terdahulu seperti yang dikemukakan oleh Hartono (1992) dan umur geologi dari satuan ini adalah Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Endapan Piroklastik Jatuhan Ngebel). Berdasarkan penentuan fasies gunung api menunjukkan bahwa satuan batuan termasuk pada *fasies proximal* (Bronto, 2006).

#### 5.2.4. Gunung Api Ngebel

Gunung Api Ngebel merupakan kelompok batuan termuda dalam tahapan proses pembentukan Kompleks Gunung Api Ngebel. Kelompok batuan ini tersebar pada bagian tengah daerah penelitian. Gunung Api Ngebel tersusun atas 7 satuan batuan, diurutkan dari umur paling tua hingga muda adalah Satuan Breksi Piroklastik Jatuhan Ngebel, Satuan Aglomerat Ngebel 1, Satuan Breksi Piroklastik Aliran Ngebel 1, Satuan Breksi Piroklastik Aliran Ngebel 2, Satuan Lava Ngebel 1, Satuan Aglomerat Ngebel 2, dan Satuan Lava Ngebel 2.

##### A. Satuan Endapan Piroklastik Jatuhan Ngebel (PJN)

###### Ciri Litologi

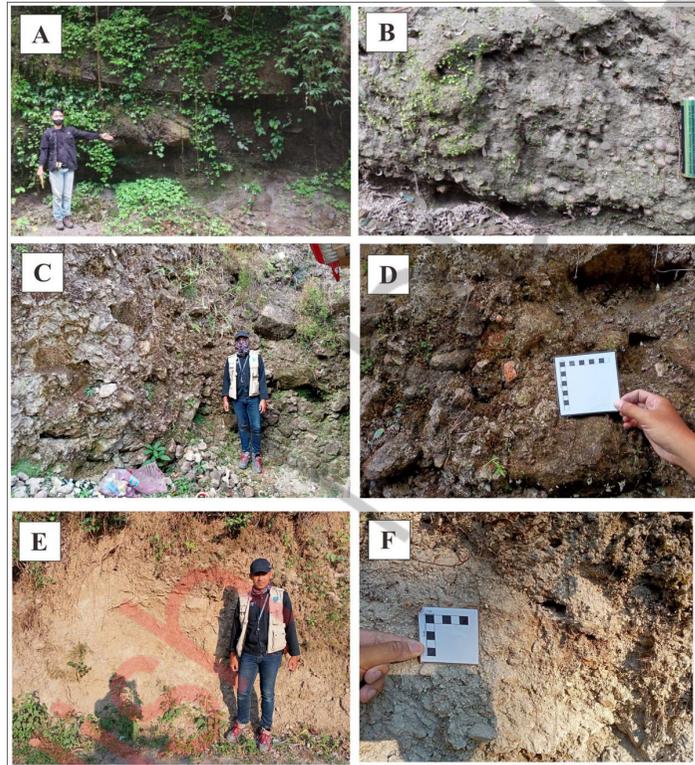
Satuan batuan ini didominasi oleh breksi piroklastik jatuhan yang merupakan produk dari aktivitas Gunung Api Ngebel. Satuan batuan ini juga dijumpai litologi berupa akresionari lapili dan aglomerat. Satuan batuan ini secara umum ditemukan dalam kondisi lapuk, warna cokelat dan abu, serta batuan kurang terkonsolidasi bersifat lepas-lepas (Gambar 5.32).

Breksi piroklastik jatuhan memiliki struktur *reverse graded bedding* dan *graded bedding*. Fragmen terpilah baik hingga sedang dan komposisi fragmen terdiri dari *scoria* andesit-dasit, kerikil (4 mm)–bom dan *block* (>64 mm). Fragmen berbentuk menyudut sampai menyudut tanggung yang tertanam dalam matriks batuan berupa debu kasar dan debu halus vulkanik.

Akresionari lapili memiliki struktur *reverse graded bedding* dan *graded bedding* yang terpilah sangat baik. Komposisi fragmen terdiri dari *scoria* andesit-dasit, akresionari lapili hingga debu vulkanik kasar (4 mm)–lapili (2 mm) dalam matriks batuan berupa debu kasar dan debu halus vulkanik. Fragmen berbentuk menyudut sampai membulat tanggung.

Aglomerat memiliki struktur masif dan terpilah sangat buruk. Komposisi fragmen berupa bom dan *block* andesit-

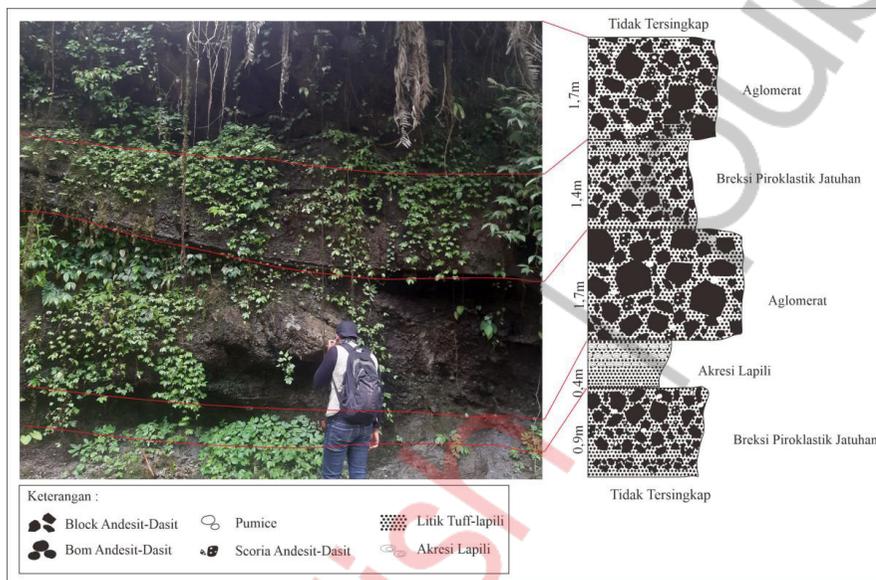
dasit yang berukuran  $> 256\text{mm}$ . Bentuk fragmen membulat sampai menyudut tanggung. Selain hal tersebut dijumpai *scoria* andesit, *pumice* dan matriks batuan berupa debu kasar vulkanik. Fragmen *bomb* menunjukkan struktur *radial joint*.



**Gambar 5.32.** Litologi pada Satuan Breksi Piroklastik Jatuhan Ngebel (PJN), A). Kenampakan satuan Endapan Piroklastik Jatuhan Ngebel berupa kontak antara aglomerat dan akresionari lapili pada LP W5 dengan azimuth foto  $N055^{\circ}E$ , B). Foto *close up* kenampakan singkapan akresi lapili LP W5. C). Singkapan aglomerat pada LP W48 dengan azimuth foto  $N035^{\circ}E$ , D). Foto *close up* kenampakan singkapan aglomerat. E). Singkapan breksi piroklastik jatuhan pada LP W51 dengan azimuth foto  $N350^{\circ}E$ , F). Foto *close up* kenampakan singkapan breksi piroklastik jatuhan LP W51.

## Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian tengah yang menempati lereng vulkanik dan kawah serta menempati 5% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan W5 yang berada di Desa Ngebel. Profil kasar dapat dilihat pada Gambar 5.33. Ketebalan satuan ditentukan dari keterdapatan singkapan dan rekonstruksi penampang, serta ketebalan diperkirakan adalah berkisar  $\pm 15$  meter.



**Gambar 5.33.** Profil kasar Satuan Breksi Piroklastik Jatuhan Ngebel pada LP W5.

## Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Breksi Piroklastik Aliran Kemlandingan menggunakan referensi peneliti terdahulu (Peta Geologi Regional Lembar Madiun oleh Hartono, 1992) dan pendekatan morfostratigrafi, sebab tidak ditemukan fosil mikro yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan umur dan tidak dilakukannya *radiometric dating* oleh penulis. Umur geologi dari satuan ini adalah pleistosen awal. Hubungan stratigrafi satuan

ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Endapan Aglomerat Ngebel 1) Satuan ini diendapkan dengan mekanisme jatuhnya. Berdasarkan radius penyebaran dengan pusat erupsi, maka diinterpretasikan merupakan produk hasil erupsi yang berada pada *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

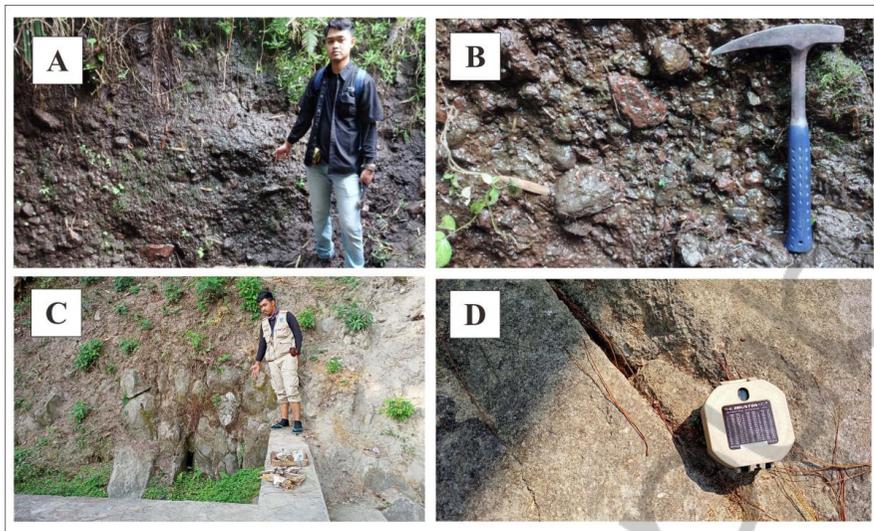
## **B. Satuan Endapan Aglomerat Ngebel 1 (AGN1)**

### **Ciri Litologi**

Satuan batuan ini didominasi oleh aglomerat yang merupakan produk dari aktivitas vulkanik dan diendapkan oleh mekanisme pengendapan jatuhnya. Satuan batuan ini secara umum ditemukan dalam kondisi lapuk, warna cokelat terang dan batuan kurang terkonsolidasi bersifat lepas-lepas. Selain itu juga dijumpai adanya lava dasit dengan kondisi fisik *fresh* hingga lapuk dan terkonsolidasi baik.

Aglomerat memiliki struktur masif dengan pemilahan fragmen sangat buruk. Komposisi fragmen penyusun batuan berupa *bomb* (> 256mm) andesit-dasit dalam matriks berukuran lapillus (2mm). Bentuk fragmen menyudut sampai membulat tanggung. Struktur *bomb* sebagian memperlihatkan struktur *radial joint*.

Lava dasit merupakan batuan berkomporsi intermediet yang memiliki struktur masif dengan warna segar batuan adalah abu-abu, sedangkan warna lapuk adalah abu-abu kecokelatan. Tekstur menunjukkan kristalinitas hipokristalin, granularitas afanitik–fanerik sedang dan bentuk kristal adalah subhedral–euhedral. Relasi antarfenukris dan masa dasar adalah inequigranular, sedangkan komposisi mineral masa dasar, plagioklas, piroksen, kuarsa dan hornblende yang tertanam di dalam masa dasar gelas vulkanik.



**Gambar 5.34.** Litologi pada Satuan Aglomerat Ngebel 1 (AGN1), (A) Foto singkapan aglomerat pada LP W1 dengan azimuth foto N258°E dan B) Foto *close up* singkapan aglomerat LP W1. C) singkapan lava dasit pada LP W6 dengan azimuth foto N135°E memperlihatkan struktur *sheeting joint* dan D) Foto *close up* singkapan LP W6.

### Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian tengah yang menempati lereng vulkanik dan kawah serta menempati 3% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan di Desa dengan profil kasar yang dapat terlihat pada Gambar 5.35. Ketebalan satuan diperkirakan adalah berkisar  $\pm 12$  meter.



**Gambar 5.35.** Profil kasar Satuan Aglomerat Ngebel pada LP W1.

### Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Aglomerat Ngebel 1 (AGN1) menurut Hartono (1992) yaitu Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Breksi Piroklastik Ngebel 1). Satuan ini diendapkan dengan mekanisme piroklastik jatuhnya. Satuan batuan ini diinterpretasikan merupakan produk hasil erupsi yang berada pada *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

### C. Satuan Endapan Piroklastik Aliran Ngebel 1

#### Ciri Litologi

Satuan batuan ini didominasi oleh breksi piroklastik aliran. Satuan batuan ini secara umum ditemukan dalam kondisi *fresh*, warna coklat terang sampai abu-abu terang dan batuan kurang terkonsolidasi bersifat lepas-lepas.

Breksi piroklastik aliran memiliki struktur masif, terpilah sangat buruk. Fragmen batuan berupa *scoria* andesit-dasit, *pumice* berukuran lapilli (2mm) hingga *block* (>256mm) dan bentuk fragmen adalah menyudut sampai menyudut tanggung.

Fragmen tertanam pada matriks batuan berupa debu vulkanik kasar.

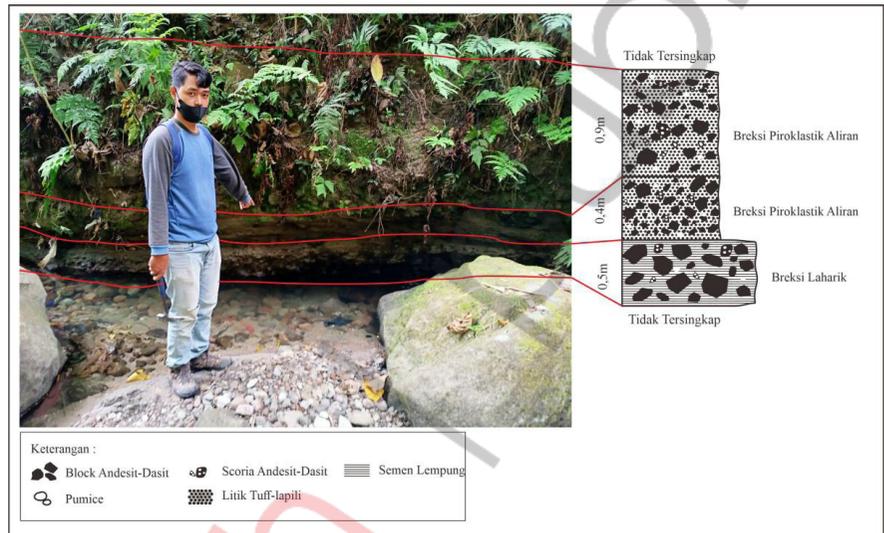
Breksi laharik memiliki struktur masif dan terpilah buruk. Komposisi fragmen berupa basalt-andesit, *scoria* basalt-andesit yang berukuran lapillus (2 mm) hingga *block* (>256 mm). Bentuk fragmen menyudut sampai menyudut tanggung, serta fragmen tertanam dalam matriks berupa debu kasar vulkanik dan semen berupa lempung.



**Gambar 5.36.** Litologi pada Satuan Breksi Piroklastik Aliran Ngebel 1 (PAN1), A) Foto singkapan breksi piroklastik aliran pada LP W7 dengan azimut foto N039°E dan B) Foto *close up* singkapan breksi piroklastik aliran LP W7. C) singkapan breksi laharik pada LP W44 dengan azimut foto N135°E dan D) Foto *close up* singkapan LP W45.

## Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian tengah yang menempati lereng vulkanik sekitar 3% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada Desa Ngebel pada lokasi pengamatan W45 (Gambar 5.37). Diperkirakan ketebalan satuan batuan adalah berkisar  $\pm 8$  meter.



**Gambar 5.37.** Profil kasar Satuan Breksi Piroklastik Aliran Ngebel 1 pada LP W45.

## Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Breksi Piroklastik Aliran Ngebel 1 menggunakan referensi peneliti terdahulu yaitu oleh Hartono (1992). Sehingga umur geologi dari satuan ini adalah Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Breksi Piroklastik Aliran Ngebel 2) dan termasuk pada *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

#### D. Satuan Endapan Piroklastik Aliran Ngebel 2 (PAN2) Ciri Litologi

Satuan batuan ini tersusun oleh breksi piroklastik aliran. Satuan batuan ini diendapkan oleh mekanisme pengendapan aliran. Satuan batuan ini secara umum ditemukan dalam kondisi lapuk, warna coklat terang sampai abu-abu dan batuan kurang terkonsolidasi bersifat lepas-lepas.

Breksi piroklastik aliran memiliki struktur masif yang terpilah sangat buruk. *Block* dan *scoria* andesit-dasit, serta sedikit *pumice* berukuran lapillus (2mm) hingga *block* (>256mm) dijumpai lapisan batuan ini. Bentuk fragmen adalah menyudut sampai menyudut tanggung, fragmen memperlihatkan hadirnya matriks batuan berupa *tuff* vulkanik.



**Gambar 5.38.** Litologi pada Satuan Breksi Piroklastik Aliran Ngebel 2 (PAN2), A). Foto singkapan breksi piroklastik aliran pada LP W40 dengan azimut foto N350°E dan B). Foto *close up* singkapan breksi piroklastik aliran LP W40.

#### Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian tengah yang menempati lereng vulkanik serta menempati 3% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan di Desa Ngebel pada lokasi pengamatan W40 dengan profil kasar seperti terlihat pada Gambar 5.39. Ketebalan satuan batuan diperkirakan berkisar  $\pm 6$  meter.



**Gambar 5.39.** Profil kasar Satuan Breksi Piroklastik Aliran Ngebel 2 pada LP W40.

### Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Breksi Piroklastik Aliran Ngebel 2 menggunakan referensi peneliti terdahulu seperti yang dikemukakan oleh Hartono (1992) dan umur geologi dari satuan ini adalah Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Lava Ngebel 1) dan satuan ini diendapkan pada *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

#### A. Satuan Lava Dasit Ngebel 1 (LN1)

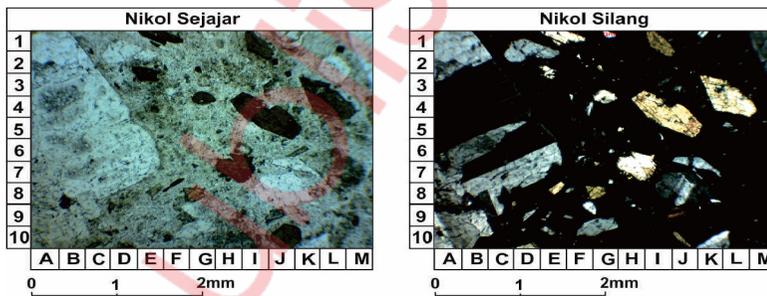
##### Ciri Litologi

Satuan batuan ini tersusun oleh lava dasit. Dasit secara umum ditemukan dalam kondisi *fresh* hingga lapuk dan batuan terkonsolidasi solid. Secara deskriptif dasit memiliki struktur *autobreccia*, warna segar abu-abu dan warna lapuk abu-abu kecokelatan. Tekstur batuan menunjukkan kristalinitas hipokristalin dan granularitas afanitik–fanerik sedang. Bentuk kristal adalah subhedral–anhedral dengan relasi inequigranular. Komposisi mineral penyusun lava dasit terdiri dari plagioklas, piroksen, kuarsa dan hornblende dalam masa dasar gelas vulkanik.



**Gambar 5.40.** Litologi pada Satuan Lava Ngebel (LN1), (A) Foto singkapan lava dasit memperlihatkan struktur *autobreccia* pada LP W26 dengan azimuth foto N257°E dan B) Foto *close up* singkapan lava dasit LP W26.

Pengamatan petrografis pada sampel sayatan tipis dasit (LP W207) memperlihatkan warna cokelat dan memiliki derajat kristalinitas hipokristalin. Tekstur menunjukkan intergranular dan porfiritik. Sedangkan komposisi mineralogi penyusun batuan terdiri dari plagioklas (36%), hornblende (13%), kuarsa (12%), piroksen (4%), mineral opa $\acute{q}$  (4%) dalam masa dasar gelas vulkanik (31%). Fenokris berbentuk anhedral–subhedral dengan ukuran 2 mm–0,2 mm, sehingga nama batuan adalah dasit (Strekeisen, 1978).



**Gambar 5.41.** Foto sayatan tipis satuan Lava Ngebel 1 (LN1) berupa andesit hornblende (Strekeisen, 1978) perbesaran 4x. Mineral plagioklas (9A), hornblende (4I), massa dasar (4B), mineral opa $\acute{q}$  (5H), kuarsa (K10) dan piroksen (9J).

## Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian tengah dari daerah penelitian dan di sekitar kawah, serta menempati 4% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan di Desa Ngebel pada lokasi pengamatan W26 dengan profil kasar (Gambar 5.42). Ketebalan diperkirakan adalah berkisar  $\pm 6$  meter.



**Gambar 5.42.** Profil kasar Satuan Lava Ngebel 1 pada LP N26.

## Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Lava Ngebel 1 menggunakan referensi peneliti terdahulu dari Hartono (1992) yaitu Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Endapan Aglomerat Ngebel 2) dan satuan batuan ini termasuk dalam fasies proximal gunung api (Bronto, 2006).

### B. Satuan Endapan Aglomerat Ngebel 2 (AGN2)

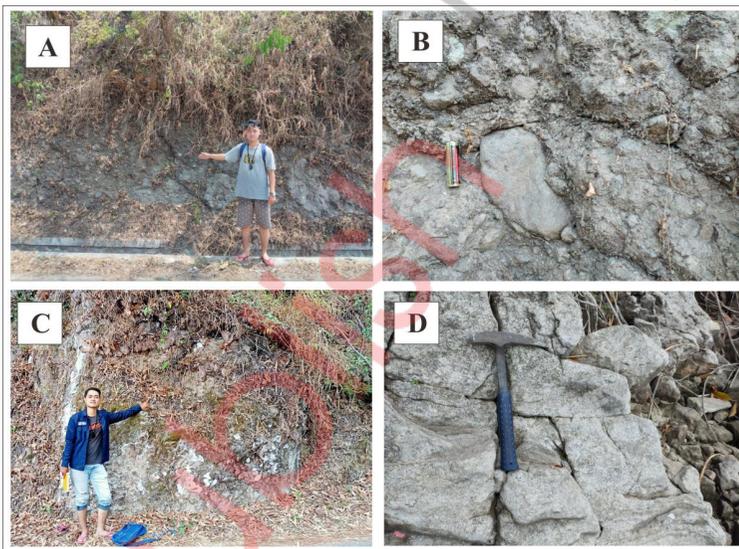
#### Ciri Litologi

Satuan batuan ini didominasi oleh aglomerat yang merupakan produk dari aktivitas Gunung Api Ngebel. Satuan batuan ini secara umum ditemukan dalam kondisi lapuk, warna

cokelat terang dan batuan kurang terkonsolidasi bersifat lepas-lepas.

Aglomerat memiliki struktur masif, terpilah sangat buruk dan berukuran lapillus (2mm) hingga bom (>256mm). Fragmen berupa *bomb* andesit-dasit, *scoria*, *pumice* dan matriks batuan berupa debu kasar dan bentuk fragmen menyudut sampai menyudut tanggung,

Lava dasit memiliki struktur *autobreccia* dengan dideskripsikan megaskopis sebagai berikut: warna segar abu-abu, warna lapuk abu-abu kecokelatan dengan tekstur kristalinitas hipokristalin dan granularitas afanitik-fanerik sedang. Bentuk kristal subhedral-anhedral dengan relasi inequigranular. Mineral penyusun batuan terdiri dari plagioklas, piroksen, kuarsa dan hornblende yang tertanam dalam masa dasar gelas vulkanik.



**Gambar 5.43.** Litologi pada Satuan Aglomerat Ngebel 2 (AGN2), (A) Foto singkapan aglomerat pada LP W56 dengan azimuth foto N195°E dan B) Foto *close up* singkapan aglomerat LP W56. C) singkapan lava dasit pada LP W111 dengan azimuth foto N135°E memperlihatkan struktur *autobreccia* dan D) Foto *close up* singkapan LP W111.

## Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian tengah yang menempati lereng vulkanik dan kawah serta menempati 2% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan di Desa Ngebel pada lokasi pengamatan W56 dengan profil kasar seperti terlihat pada Gambar 5.44. Ketebalan satuan diperkirakan adalah berkisar  $\pm 7$  meter.



**Gambar 5.44.** Profil kasar Satuan Aglomerat Ngebel 2 pada LP N56.

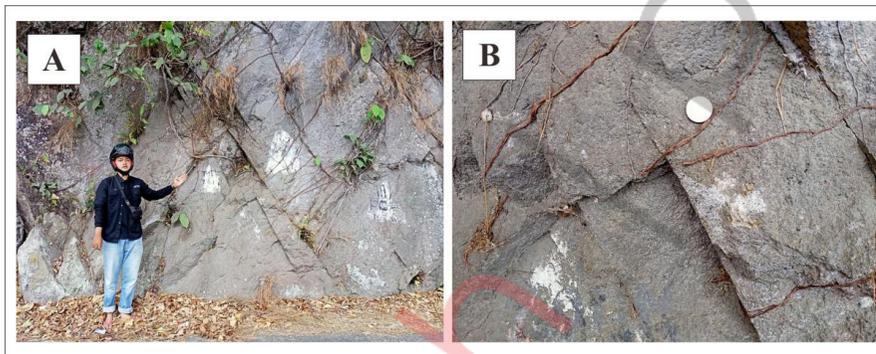
## Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Aglomerat Ngebel 2 menggunakan referensi peneliti terdahulu dari Hartono (1992), sehingga umur geologi dari satuan ini adalah Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini lebih tua dibandingkan dengan satuan di atasnya (Satuan Lava Ngebel 2). Satuan ini diendapkan dari hasil erupsi yang berada pada *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

### C. Satuan Lava Dasit Ngebel 2 (LN2)

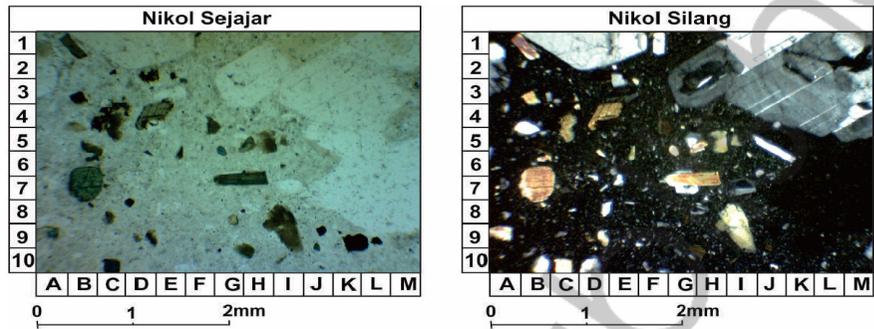
#### Ciri Litologi

Satuan batuan ini tersusun oleh lava dasit. Dasit secara umum ditemukan dalam kondisi *fresh* hingga lapuk. Secara deskriptif dasit memiliki struktur *sheeting joint* dengan warna segar abu-abu dan warna lapuk abu-abu kecokelatan. Tekstur batuan menunjukkan kristalinitas hipokristalin dan granularitas afanitik–fanerik sedang. Bentuk kristal subhedral–anhedral dengan relasi inequigranular. Sedangkan komposisi mineral penyusun batuan terdiri dari plagioklas, piroksen, kuarsa dan hornblende dalam masa dasar gelas vulkanik.



**Gambar 5.45.** Litologi pada Satuan Lava Ngebel (LN2), (A) Foto singkapan lava dasit memperlihatkan struktur joint pada LP W53 dengan azimuth foto N168°E dan B) Foto *close up* singkapan lava dasit LP W53.

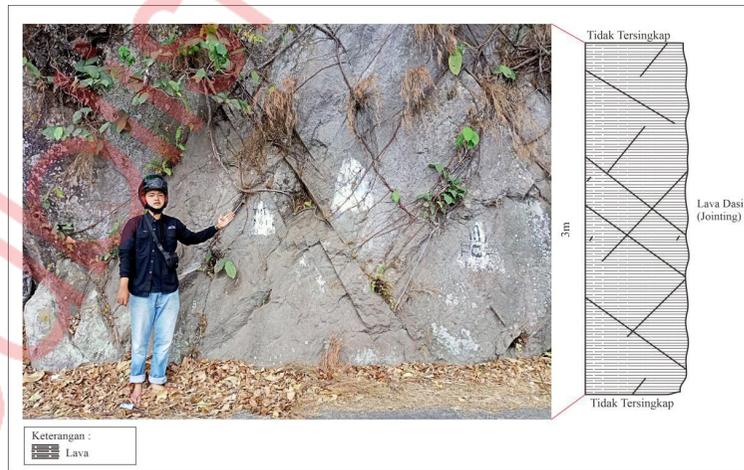
Adapun pengamatan petrografis dari sampel sayatan tipis dasit (LP W53) memperlihatkan warna cokelat, memiliki tekstur hipokristalin, intergranular, porfiritik. Komposisi mineral penyusun terdiri dari plagioklas (33%), kuarsa (15%), hornblende (14%), piroksen (3%), mineral opa<sub>q</sub> (5%) dan masa dasar gelas vulkanik (30%). Fenokris berbentuk anhedral–subhedral dengan ukuran 2 mm–0,2 mm. Nama batuan adalah dasit (Strekeisen, 1978).



**Gambar 5.46.** Foto sayatan tipis satuan Lava Ngebel 2 (LN1) berupa andesit hornblende (Strekeisen, 1978) perbesaran 4x. Mineral plagioklas (3K), hornblende (4D), massa dasar (8F), mineral opa<sub>q</sub> (9K), kuarsa (10F) dan piroksen (6G).

### Persebaran dan Ketebalan

Satuan ini tersebar pada bagian tengah yang menempati lereng vulkanik dan kawah serta menempati 2% dari total luas daerah penelitian. Singkapan terbaik ditemukan pada lokasi pengamatan W53 yang berada di Desa Ngebel dengan profil kasar seperti dapat dilihat pada Gambar 5.47. Ketebalan diperkirakan adalah berkisar  $\pm 7$  meter.



**Gambar 5.47.** Profil kasar Satuan Lava Ngebel 2 pada LP W53.

## Umur Geologi dan Hubungan Stratigrafi

Penentuan umur geologi Satuan Lava Ngebel 2 menggunakan referensi peneliti terdahulu dari Hartono (1992), sehingga umur geologi dari satuan ini adalah Pleistosen Awal. Hubungan stratigrafi satuan ini paling muda dari satuan lainnya yang berada di daerah telitian dan diinterpretasikan merupakan hasil produk letusan yang berada pada *fasies proximal* gunung api (Bronto, 2006).

### 5.3 Struktur Geologi

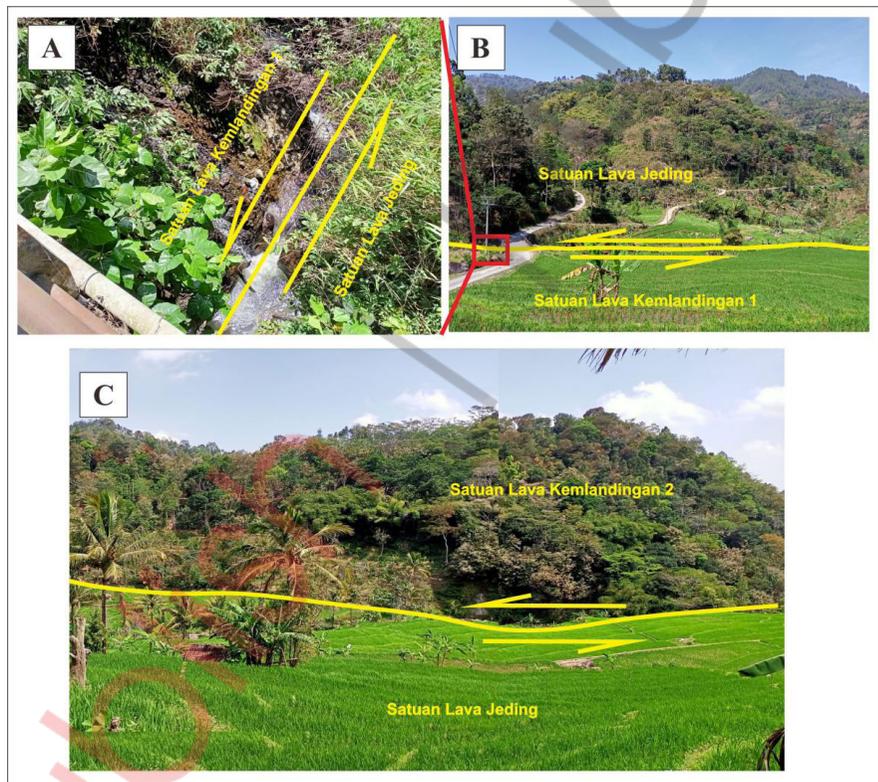
Analisis dan identifikasi struktur geologi daerah penelitian dilakukan dengan menggunakan pendekatan dari studi literatur, struktur geologi regional, pengamatan morfologi menggunakan citra DEM, dan pengambilan data struktur geologi yang dijumpai di lapangan. Berdasarkan pengamatan menggunakan citra DEM, teramati adanya pola struktur setengah melingkar berupa struktur rim kawah dari Gunung Api Jeding (menghadap barat laut), Gunung Api Kemlandingan (menghadap barat laut), Gunung Api Manyutan (menghadap barat daya), dan struktur depresi melingkar berupa kawah pada Gunung Api Ngebel.

Kemudian pada pemetaan geologi di daerah penelitian dijumpai beberapa data struktur geologi berupa data kekar, breksiasi, dan sesar. Adapun kemiringan lapisan yang dijumpai pada beberapa lokasi pengamatan bukanlah diakibatkan oleh tenaga tektonik melainkan hanya mengikuti topografi lereng gunung api yang ada pada daerah telitian. Struktur sesar yang terdapat di daerah penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

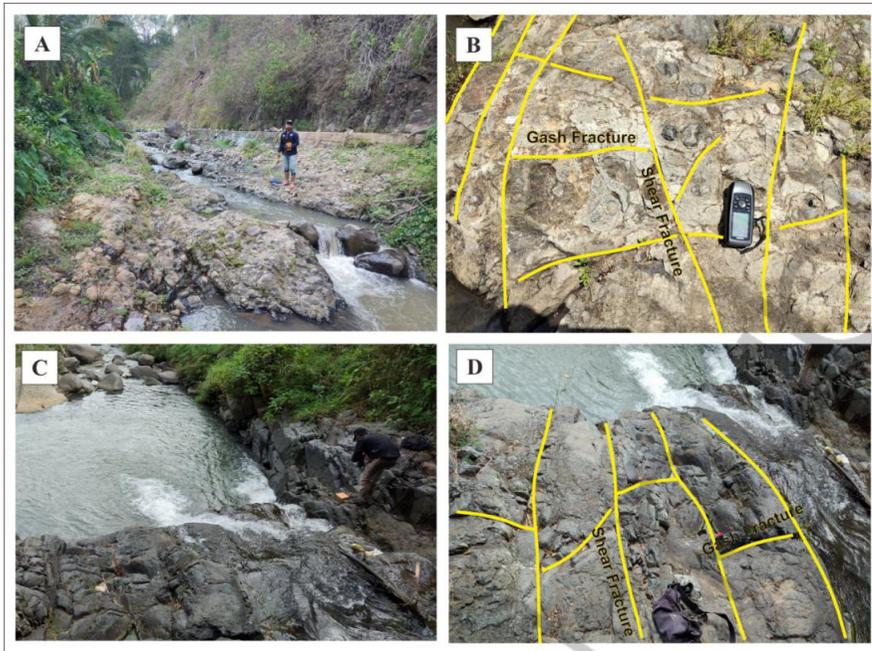
#### Sesar Mendatar Kiri Talun

Sesar mendatar kiri Talun diidentifikasi berdasarkan data lapangan berupa data struktur geologi *shear fracture*, *gash fracture*, dan arah breksiasi (Gambar 5.51) pada lokasi penelitian W59 dan W55 (Gambar. 6.50) yang memperlihatkan adanya kelurusan pada bagian lembah di antara perbukitan.

Sesar ini berkembang pada batuan lava dan sepanjang aliran sungai dan ditemukan pula penjajaran gelembung mata air dan mata air panas secara *spotted* di sekitar zona sesar. Sesar ini memanjang dan menerus dari bagian utara Satuan Lava Jeding hingga Satuan Lava Kemlandingan dengan arah NE-SW. Selain itu, adanya sesar ini mempengaruhi bentuk morfologi kemenerusan struktur membentuk rim kawah.

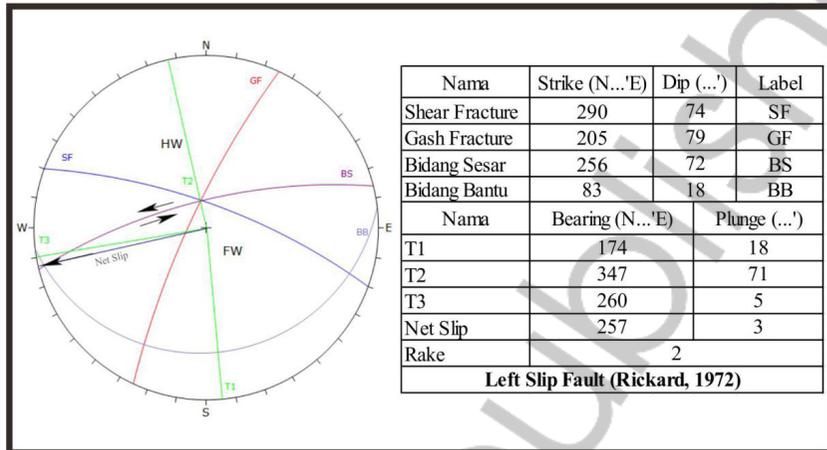


**Gambar 5.49.** Kenampakan kelurusan sesar mendatar kiri pada bentang alam pada LP W83 (A,B) dengan azimut kamera N194°E dan LP W70 (C) dengan azimut kamera N030°E.



**Gambar 5.50.** A). Kenampakan Sesar Mendatar Kiri Talun pada LP W59 dengan azimut N070°E, B). Kenampakan SF dan GF pada LP W59. C). Kenampakan Sesar Mendatar Kiri Talun pada LP W55 dengan azimut N256°E, D). Kenampakan SF dan GF pada LP W55.

Analisis sesar dilakukan pada data kekar *Shear Fracture* (SF) dan *Gash Fracture* (GF) dan breksiasi. Menggunakan metode proyeksi stereografis Dengan menggunakan metode ini, maka didapatkan jenis sesar dengan arah kemenerusannya. Jenis sesar adalah *Left Slip Fault* menurut klasifikasi Rickard 1972 dengan kedudukan bidang sesar N 256° E/72°, *Net Slip* 3°, N 257° E, dan *rake* 2° dengan arah NE-SW.



**Gambar 5.51.** Analisis stereografis sesar mendatar kiri Talun.

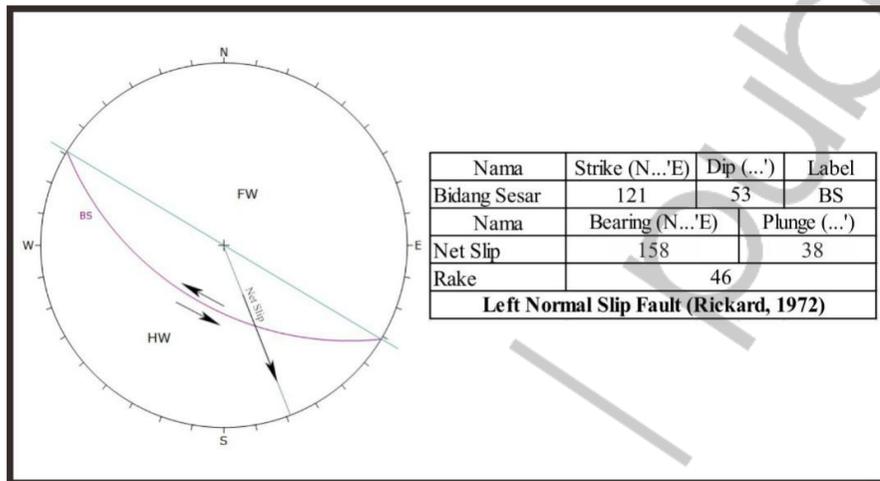
### Sesar Turun Ngebel

Sesar Turun Ngebel ditemukan di satuan Endapan Aglomerat 1 pada lokasi penelitian W2 berupa suatu sesar mendatar turun kiri. Sesar ini yang mempengaruhi bentuk topografi pada daerah penelitian berupa perbedaan tinggi yang dapat diikuti kemenerusannya dengan arah NE-SW. Di lapangan sesar ini terdapat pada suatu dinding tebing dengan kelerengan yang sangat curam (Gambar 5.52) dan sesar ini berkembang pada batuan Aglomerat.



**Gambar 5.52.** Kenampakan Sesar Turun Ngebel di lapangan. Kamera menghadap N273°E

Analisis sesar dilakukan pada bidang sesar dan gores garis. Analisis menggunakan metode proyeksi stereografis. Dari hasil tersebut didapatkan jenis sesar dan arah kemenerusan. Jenis sesar bernama *Left Normal Slip Fault* menurut klasifikasi Rickard (1972) dengan kedudukan bidang sesar N 121° E/53°, *Net Slip* 38°, N158°E, dan *rake* 46° dengan arah NW-SE.



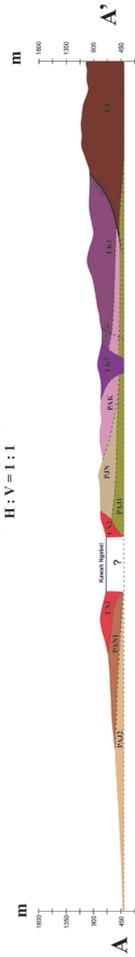
Gambar 5.53. Analisis stereografis Sesar Turun Ngebel.



PENAMPANG GEOLOGI SAYATAN A-A'

SKALA 1 : 45.000

H : V = 1 : 1



Gambar 5.54. Peta geologi daerah penelitian.



## **BAB VI**

### **MAGMATISME GUNUNG API NGEBEL**

Gunung Api Ngebel dapat dibagi menjadi 4 gunung api yang terdiri atas: Gunung Api Jeding, Gunung Api Kemlandingan, Gunung Api Manyutan dan Gunung Api Ngebel. Dalam penentuan pembagian tersebut, selain berdasarkan interpretasi menggunakan data pemetaan geologi permukaan dan metode morfostratigrafi juga diperkuat dengan menggunakan data hasil analisis petrografi dan geokimia unsur utama batuan beku vulkanik. Selain itu, data hasil analisis geokimia unsur utama batuan juga dapat digunakan sebagai dasar penentuan karakteristik magma, afinitas magma, proses diferensiasi, asosiasi lingkungan tektonik, kedalaman magma, serta evolusi gunung api dari Kompleks Gunung Api Ngebel.

#### **6.1. Jenis Batuan**

Pengamatan petrografi dipergunakan untuk mengamati struktur, tekstur pada batuan dan komposisi mineral penyusun batuan. Komposisi mineral tiap satuan batuan dan kelimpahan fenokris yang ada pada sayatan tipis dipergunakan untuk mengetahui petrogenesis batuan. Pengamatan tekstur batuan dan tekstur mineral dilakukan untuk mengetahui kondisi magmatisme yang ada. Tekstur batuan dan tekstur mineral dianalisis mengacu pada tekstur yang ditulis oleh MacKenzie dkk. (1982). Pada daerah penelitian tekstur batuan yang teramati antara lain porfiritik, pilotaksitik dan glomeroporfiritik.

Pada daerah telitian terdapat 4 jenis batuan beku yakni basalt andesitik, andesit piroksen, andesit hornblende dan dasit. Ke empat jenis batuan tersebut mewakili masing-masing gunung api yang terdapat di daerah penelitian dan hal tersebut dapat dijelaskan seperti di bawah ini:

**Tabel 6.1.** Tabel modal mineralogi lava pada daerah telitian.

Sampel	Nama Batuan	Tekstur	Plagioklas	Piroksen	Hornblenda	Opaq	Kuarsa	Satuan Batuan
W55	Basalt Andesitik	pilotasitik, intergranular, glomerofitik	⊖	⊖		○		Lava Jeding
W59	Basalt Andesitik	pilotasitik, intergranular, glomerofitik	⊖	⊖		○		Lava Jeding
W64	Basalt Andesitik	pilotasitik, intergranular, glomerofitik	⊖	⊖		○		Lava Jeding
W82	Andesit piroksen	intergranular, glomeroporfitik	⊖	⊖	○	○		Lava Kemlandingan 1
W98	Andesit piroksen	intergranular, glomeroporfitik	⊖	⊖	○	○		Lava Kemlandingan 1
W174	Andesit piroksen	intergranular, glomeroporfitik	⊖	⊖	○	○		Lava Kemlandingan 2
W148	Andesit piroksen	intergranular, glomeroporfitik	⊖	⊖	○	○		Lava Kemlandingan 1
W108	Andesit piroksen	intergranular, glomeroporfitik	⊖	⊖	○	○		Lava Kemlandingan 1
W132	Andesit piroksen	intergranular, glomeroporfitik	⊖	⊖	○	○		Lava Kemlandingan 1
W158	Andesit hornblenda	intergranular, glomeroporfitik	⊖	⊖	○	○	○	Lava Manyutan 1
W234	Andesit hornblenda	intergranular, glomeroporfitik	⊖	⊖	○	○	○	Lava Manyutan 2
W111	Dasit	intergranular, porfiritik	⊖	⊖	○	○	○	Lava Ngebel 1
W53	Dasit	intergranular, porfiritik	⊖	⊖	○	○	○	Lava Ngebel 2
W207	Dasit	intergranular, porfiritik	⊖	⊖	○	○	○	Lava Ngebel 1

○ Fenokris  
— Masa Dasar

### Basalt andesitik

Batuan basalt andesitik ditemukan sebagai lava dan hanya terdapat di satuan Lava Jeding (W64, W59, dan W55) yang termasuk ke dalam Satuan Gunung Api Jeding. Secara mikroskopis memperlihatkan derajat kristalisasi hipokristalin dengan tekstur berupa glomeroporfiritik, intergranular dan pilotasitik. Fenokris (52%-54%) berukuran 0,2-2 mm terdiri dari plagioklas, piroksen, dan mineral opa. Fenokris tertanam dalam masa dasar gelas vulkanik dan mikrolit plagioklas, beberapa mineral opa hadir menginklusi di dalam plagioklas dan piroksen (Gambar 6.1).

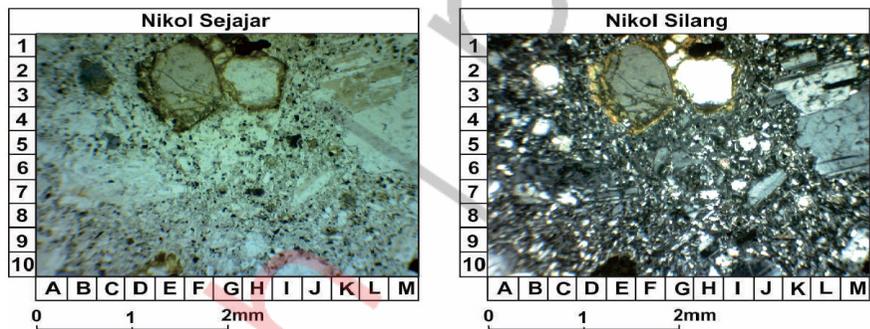
Plagioklas hadir 36%-42% memperlihatkan tidak berwarna dan hadir sebagai fenokris dan masa dasar. Bentuk plagioklas prismatic panjang, subhedral dan anhedral yang berukuran 0,2-1,2 mm.

Plagioklas menunjukkan jenis labradorit dan andesin dengan tekstur *pilotaxitic*. Beberapa plagioklas menunjukkan pola *zoning*.

Piroksen hadir sekitar 8%-13% sebagai fenokris dan masa dasar. Bentuk piroksen sebagai fenokris adalah subhedral-anhedral atau prismatic pendek berukuran 0,2-1 mm. Beberapa fenokris diinklusi oleh mineral opa.

Mineral opa. hadir sekitar 3%-5% pada masa dasar bersama dengan mikrolit plagioklas dan beberapa menginklusi fenokris piroksen.

Gelas vulkanik hadir sekitar 45%-48% berukuran sangat halus. Gelas vulkanik hadir bersama mikrolit plagioklas membentuk tekstur pilotasitik.



**Gambar 6.1.** Foto sayatan tipis W59 satuan Lava Jeding (LJ) berupa basaltik-andesit (Strekeisen, 1978) perbesaran 40x. Mineral plagioklas (5L), massa dasar (5F), mineral opa. (1H), dan piroksen (2B).

### Andesit Piroksen

Batuan andesit piroksen ditemukan sebagai lava dan terdapat di satuan Lava Kemlandingan 1 (W148, W98, W108, W132) dan Lava Kemlandingan 2 (W174) yang termasuk ke dalam Gunung Api Kemlandingan. Secara mikroskopis memperlihatkan derajat kristalisasi hipokristalin, tekstur intergranular, dan glomeroporfiritik. Fenokris (66%-77%) berukuran 0,2-2 mm terdiri dari plagioklas, piroksen, hornblende, dan mineral opa. Fenokris tertanam dalam masa dasar gelas vulkanik dan mikrolit plagioklas, beberapa mineral

opaq hadir menginklusi di dalam plagioklas dan piroksen (Gambar 6.2).

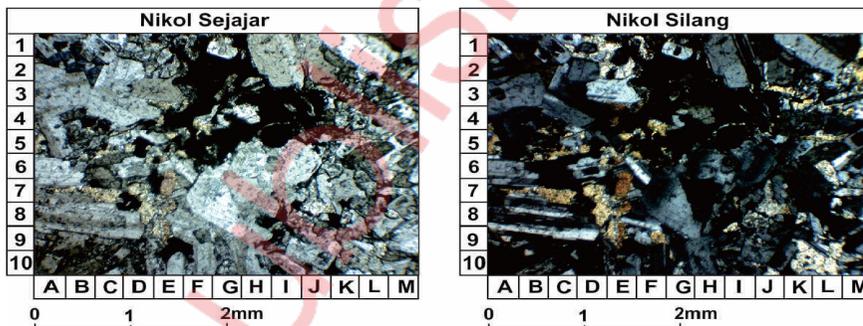
Plagioklas hadir 42%-48% memperlihatkan tidak berwarna dan hadir sebagai fenokris dan masa dasar. Bentuk plagioklas prismatic panjang, subhedral dan anhedral yang berukuran 0,2-2 mm. Plagioklas menunjukkan kembaran albit dan pada mikrolit memperlihatkan jenis andesin. Beberapa plagioklas menunjukkan pola *zoning*.

Piroksen hadir sekitar 10%-12% sebagai fenokris dan masa dasar. Bentuk piroksen sebagai fenokris adalah subhedral-anhedral atau prismatic pendek berukuran 0,2-1 mm. Beberapa fenokris diinklusi oleh mineral opaq.

Hornblende hadir sekitar 8%-9% sebagai fenokris dan jarang ditemukan sebagai masa dasar. Bentuk hornblende sebagai fenokris adalah subhedral-anhedral atau prismatic panjang berukuran 0,2-0,4 mm.

Mineral opaq hadir sekitar 8%-10% pada masa dasar bersama dengan mikrolit plagioklas dan beberapa menginklusi fenokris piroksen.

Gelas vulkanik hadir sekitar 28%-30% berukuran sangat halus. Gelas vulkanik hadir bersama mikrolit plagioklas.



**Gambar 6.2.** Foto sayatan tipis W108 satuan Lava Kemlandingan 1 (LK1) berupa Andesit (Piroksen) (Strekeisen, 1978) perbesaran 40x. Mineral plagioklas (7H), Hornblende (6L), massa dasar (3M), mineral opaq (5I), dan piroksen (10L).

### **Andesit Hornblende**

Batuan andesit hornblende ditemukan sebagai lava dan terdapat di satuan Lava Manyutan 1 (W234) dan Lava Manyutan 2 (W158) yang termasuk ke dalam Gunung Api Manyutan. Secara mikroskopis memperlihatkan derajat kristalisasi hipokristalin, tekstur intergranular, glomeroporfiritik. Fenokris (69%-72%) berukuran 0,2-2 mm terdiri dari plagioklas, piroksen, hornblende, kuarsa dan mineral opa. Fenokris tertanam dalam masa dasar gelas vulkanik dan mikrolit plagioklas, beberapa mineral opa hadir menginklusi di dalam plagioklas dan piroksen (Gambar 6.3).

Plagioklas hadir 43%-46% memperlihatkan tidak berwarna dan hadir sebagai fenokris dan masa dasar. Bentuk plagioklas prisma panjang, subhedral dan anhedral yang berukuran 0,2-2 mm. Plagioklas menunjukkan kembar albit dan pada mikrolit memperlihatkan jenis andesine. Beberapa plagioklas menunjukkan pola *zoning*.

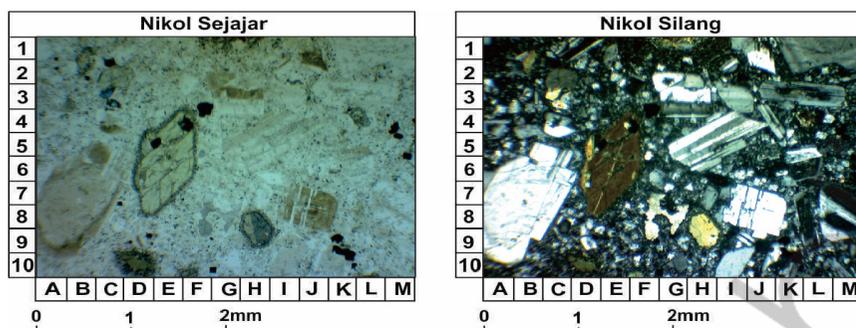
Hornblende hadir sekitar 12%-14% sebagai fenokris dan jarang ditemukan sebagai masa dasar. Bentuk hornblende sebagai fenokris adalah subhedral-anhedral atau prisma panjang berukuran 0,2-1 mm.

Piroksen hadir sekitar 5%-8% sebagai fenokris dan masa dasar. Bentuk piroksen sebagai fenokris adalah subhedral-anhedral atau prisma pendek berukuran 0,2-0,4 mm. Beberapa fenokris diinklusi oleh mineral opa.

Kuarsa hadir sekitar 1%-3% sebagai fenokris dan jarang ditemukan sebagai masa dasar. Bentuk kuarsa adalah subhedral-anhedral atau prisma pendek berukuran 0,2-0,3 mm.

Mineral opa hadir sekitar 6%-8% pada masa dasar bersama dengan mikrolit plagioklas dan beberapa menginklusi fenokris piroksen.

Gelas vulkanik hadir sekitar 31%-42% berukuran sangat halus. Gelas vulkanik hadir bersama mikrolit plagioklas.



**Gambar 6.3.** Foto sayatan tipis satuan Lava Manyutan 1 (LM1) berupa Andesit (hornblende) (Strekeisen, 1978) perbesaran 40x. Mineral plagioklas (5I), hornblende (5E), massa dasar (10G), mineral opaq (3F), kuarsa (4L) dan piroksen (10D).

#### D. Dasit

Batuan dasit ditemukan sebagai lava dan terdapat di satuan Lava Ngebel 1 (W207) dan Lava Ngebel 2 (W53) yang termasuk ke dalam Gunung Api Ngebel. Secara mikroskopis memperlihatkan struktur *scoria* dengan derajat kristalisasi hipokristalin, tekstur porfiritik dan intergranular. Fenokris (64%-70%) berukuran 0,2-2 mm terdiri dari plagioklas, kuarsa, hornblende, piroksen dan mineral opaq. Fenokris tertanam dalam masa dasar gelas vulkanik dan mikrolit plagioklas. Beberapa mineral opaq hadir menginklusi di dalam plagioklas dan piroksen (Gambar 6.4).

Plagioklas hadir 33%-36% memperlihatkan tidak berwarna dan hadir sebagai fenokris dan masa dasar. Bentuk plagioklas prismatic panjang, subhedral dan anhedral yang berukuran 0,2-2 mm. Plagioklas menunjukkan kembaran albit dan pada mikrolit memperlihatkan jenis andesine. Beberapa plagioklas menunjukkan pola *zoning*.

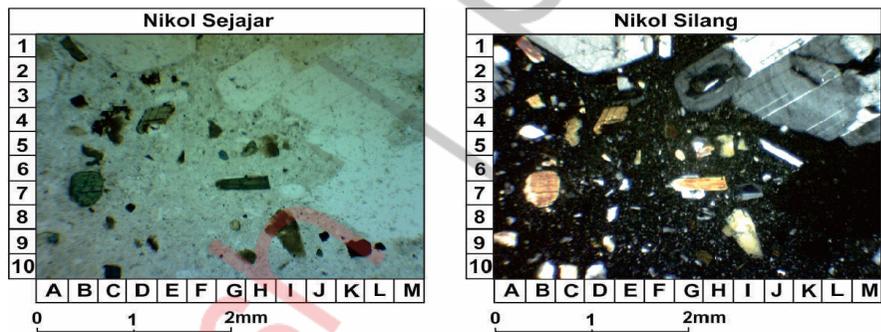
Kuarsa hadir sekitar 12-15% sebagai fenokris dan jarang ditemukan sebagai masa dasar. Bentuk kuarsa adalah subhedral-euhedral atau prismatic pendek berukuran 0,2-0,3 mm.

Hornblende hadir sekitar 13%-14% sebagai fenokris dan jarang ditemukan sebagai masa dasar. Bentuk hornblende sebagai fenokris adalah subhedral-anhedral atau prismatic panjang berukuran 0,2-1 mm.

Piroksen hadir sekitar 3%-4% sebagai fenokris dan masa dasar. Bentuk piroksen sebagai fenokris adalah subhedral-anhedral atau prismatic pendek berukuran 0,2-0,4 mm. Beberapa fenokris diinklusi oleh mineral opa.

Mineral opa hadir sekitar 4%-5% pada masa dasar bersama dengan mikrolit plagioklas dan beberapa menginklusi fenokris piroksen.

Gelas vulkanik hadir sekitar 30%-31% berukuran sangat halus. Gelas vulkanik hadir bersama mikrolit plagioklas.



**Gambar 6.4.** Foto sayatan tipis W53 satuan Lava Ngebel 2 (LN2) berupa Dasit (Strekeisen, 1978) perbesaran 40x. Mineral plagioklas (3K), hornblende (4D), massa dasar (8F), mineral opa (9K), kuarsa (10F) dan piroksen (6G).

Adapun analisis geokimia pada studi petrogenesis digunakan untuk mengetahui sifat magma dari kandungan dan komposisi kimianya. Analisis geokimia menekankan pada dua aspek, yaitu: distribusi unsur dan senyawa dalam bumi dan prinsip yang mengatur distribusi tersebut. Analisis kandungan kimia ini dapat digunakan untuk interpretasi lingkungan tektonik tempat terbentuknya magma tersebut. Analisis geokimia ini antara lain meliputi: diagram Harker,

seri magma, dan seri tektonik. Analisis Harker digunakan untuk mengetahui proses diferensiasi magma. Analisis seri tektonik digunakan untuk mengetahui hubungan unsur-unsur yang terbentuk dengan lingkungan tektonik terbentuknya magma.

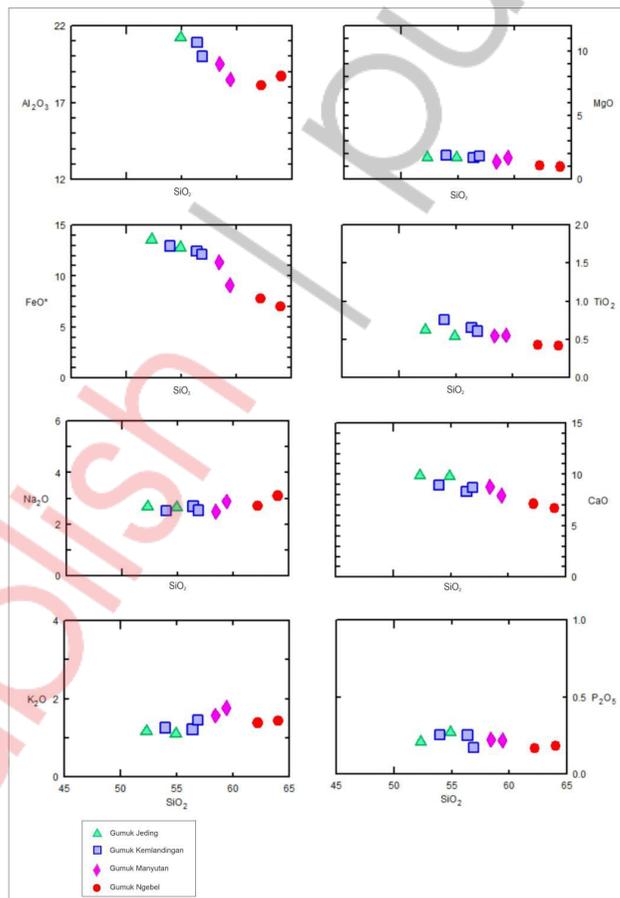
Kemudian data kandungan unsur utama yang digunakan pada penelitian ditampilkan pada Tabel 6.2 di bawah ini. Analisis sampel menunjukkan  $\text{SiO}_2$ : 54,9-64%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 18,1-23,3%, dan  $\text{CaO}$ : 6,71-9,87%. Kandungan dari  $\text{K}_2\text{O}$  dan  $\text{Na}_2\text{O}$  bervariasi secara berurutan antara 1,1-1,71% dan dari 2,53-3,1%, dan kandungan  $\text{MgO}$  rentang dari 0,98-1,86%, sedangkan kandungan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bervariasi antara 4,03-7,78%. Senyawa oksida menunjukkan konsentrasi lemah, yaitu:  $\text{TiO}_2$ : 0,41-0,76%,  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 0,18-0,26%, dan  $\text{MnO}$ : 0,11-0,2%.

**Tabel 6. 2.** Data analisis kimia unsur utama batuan beku vulkanik di daerah telitian.

Unsur (wt%)	Basalt andesitik		Andesit Piroksen			Andesit Hornblenda		Dasit	
	W64	W59	W108	W174	W98	W234	W158	W207	W53
$\text{SiO}_2$	52,3	54,9	56,4	54	56,9	58,4	59,4	64	62,2
$\text{TiO}_2$	0,623	0,54	0,656	0,76	0,607	0,547	0,556	0,417	0,428
$\text{Al}_2\text{O}_3$	23,3	21,2	20,9	22,2	20	19,5	18,5	18,7	18,1
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	7,78	7,34	7,15	7,43	6,95	6,53	5,23	4,03	4,48
$\text{MnO}$	0,162	0,19	0,175	0,198	0,155	0,174	0,157	0,11	0,16
$\text{MgO}$	1,68	1,69	1,71	1,86	1,83	1,4	1,7	0,982	1,06
$\text{CaO}$	9,87	9,77	8,3	8,93	8,7	8,77	7,94	6,71	7,11
$\text{Na}_2\text{O}$	2,68	2,64	2,69	2,53	2,54	2,5	2,88	3,1	2,71
$\text{K}_2\text{O}$	1,16	1,1	1,22	1,26	1,45	1,57	1,76	1,43	1,38
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,207	0,269	0,253	0,255	0,172	0,225	0,217	0,181	0,166
Cl	0,0682	0,25	0,397	0,385	0,487	0,227	1,42	0,203	1,86
SrO	0,00704	0,00772	0,0551	0,0561	0,0632	0,0696	0,0704	0,0781	0,0794
ZnO	0,0095	0,0106		0,0129	0,0125	0,0077	0,0087	0,0117	0,0111
$\text{SO}_3$	0,0443	0,0361	0,0254	0,0522	0,0455	0,04	0,0641	0,03	0,0495
Norm (wt%)									
Q	72,51	72,51	70,11	70,11	70,11	70,11	67,23	53,97	67,23
or	12,91	15,02	19,41	17,29	20,40	22,30	26,96	29,82	30,33
ab	6,26	6,26	6,26	6,26	6,32	6,25	6,38	6,17	6,24
an	17,92	17,92	17,92	17,92	18,09	17,90	18,27	26,51	17,86
lc	47,28	47,28	42,02	42,02	42,43	41,98	37,48	31,09	36,65
di	2,40	0,28	1,15	3,26	1,16	0,09	0,97	1,12	0,95
wo	10,95	10,95	10,95	10,95	9,29	9,19	7,59	3,02	5,68
il	2,30	2,30	2,30	2,30	2,32	2,30	2,35	2,27	2,30

## 6.2. Diagram Harker

Diagram Harker merupakan diagram variasi yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara kadar  $\text{SiO}_2$  dengan unsur utama yang lainnya. Diagram ini digunakan dalam studi analisis batuan vulkanik untuk mengetahui fraksinasi kristal seperti yang dijelaskan oleh Bowen (1928). Data yang dianalisis pada diagram ini terdiri dari sembilan data primer (berasal dari data batuan yang diambil dari lapangan). Dengan memanfaatkan diagram ini akan dijelaskan perubahan komposisi magma saat fraksinasi kristal terjadi (Gambar 6.5).



**Gambar 6.5.** Diagram Harker (Unsur Utama) memperlihatkan proses diferensiasi magma.

Berdasarkan pengerjaan data ke diagram Harker (Gambar 6.5), diketahui bahwa nilai  $MgO$ ,  $Fe_2O_3$ , dan  $TiO_2$  mengalami penurunan seiring dengan kenaikan kadar  $SiO_2$ . Diketahui bahwa ketiga unsur utama ini dibawa dalam mineral mafik seperti *olivine* dan piroksen yang jika fraksionasi kristal berjalan secara normal, maka komposisi mafik akan menurun sedangkan kadar  $SiO_2$  akan naik. Selain itu, terdapat penurunan kadar  $CaO$  seiring bertambahnya kadar  $SiO_2$  yang diikuti dengan kenaikan kadar  $Na_2O$ . Kedua unsur utama ini merupakan unsur yang dibawa oleh mineral plagioklas yang mengalami substitusi antara komposisi Ca dengan Na ketika tingkat  $SiO_2$  bertambah sejalan dengan penurunan suhu, seperti yang digambarkan di dalam deret Bowen.

Namun, dari koefisien korelasi yang bernilai rendah diinterpretasikan bahwa terdapat proses lain yang terjadi seperti *magma mixing* ataupun asimilasi. Sedangkan pada unsur  $Al_2O_3$  memiliki korelasi yang rendah dengan  $SiO_2$  di mana kadar  $Al_2O_3$  cenderung tidak terikat dengan kadar  $SiO_2$ . Sedikit kenaikan kadar  $P_2O_5$  seiring dengan naiknya kadar  $SiO_2$ , disebabkan oleh kenaikan kadar volatil ketika proses penurunan temperatur terus berlangsung, yang mengindikasikan bahwa magma yang tidak jenuh silika (Yagi, 1953). Hal ini dibuktikan juga dengan nilai *Q norm* yang cenderung *oversaturated*, sehingga menyebabkan mineral feldspatoid tidak dapat hadir di dalam batuan.

### **6.3. Karakteristik Geokimia Trace Element dan REE Batuan**

Karakteristik kandungan *Trace Element* dan REE batuan Kompleks Gunung Api Ngebel, diwakili oleh 4 sampel masing-masing mewakili tiap gunung api di daerah penelitian yang ditunjukkan dalam diagram Harker (Gambar 6.5). Pada diagram ini batuan Kompleks Gunung Api Ngebel menampilkan karakteristik unsur jejak batuan yang meliputi unsur kelompok-K (Ba, Rb, dan K), unsur tanah jarang ringan (LREE) (La, Ce, Nd) dan habis di Nb relatif terhadap K dan La.

Elemen yang tidak kompatibel Rb, Ba, Zr, La, Ce, dan Nd menunjukkan korelasi positif dengan peningkatan konten  $SiO_2$ .

Elemen yang kompatibel, seperti Sc, Ni, Cr dan V, menunjukkan korelasi negatif. Terlihat unsur kompatibel Ni dan Cr dalam diagram berkorelasi negatif seiring dengan bertambahnya komposisi SiO<sub>2</sub>, sebagaimana diketahui bahwa Ni akan terkonsentrasi pada *olivine*, sedangkan Cr akan terkonsentrasi pada piroksen seiring dengan bertambahnya komposisi SiO<sub>2</sub>. Sedangkan untuk unsur inkompatibel Ba dan Rb menunjukkan korelasi positif mungkin tersubstitusi untuk K pada *K-feldspar*, mineral mika, dan hornblende.

**Tabel 6.3.** Data analisis kandungan REE batuan beku vulkanik di daerah telitian.

Unsur (ppm)	Gunung api			
	Jeding	Kemlandingan	Manyutan	Ngebel
	W86	W98	W234	W207
Ba	326	703	495	657
Rb	13	27.4	27.6	30.6
K	5645	10000	10100	9600
La	9	27.2	12.4	13
Ce	15	21.9	25.7	23.9
Sr	493	427	504	546
Nd	12.3	32.1	14	12.8
Ti	5336	4660	3750	2590
Y	20	49.2	19.1	14.6
Ni	16	8	4	5
Cr	19	10	4	6
V	250	213	164	80
Pb	4	6	9	12
U	0.9	1.05	1.02	1.16
Eu	1.17	3.2	1.2	1
Pr	2.39	7.41	3.22	3.42
Sm	3.08	7.5	2.6	2.6
Gd	3.88	9	3.4	3.1
Dy	3.67	8.9	3.1	2.6

Lanjutan Tabel 6.3

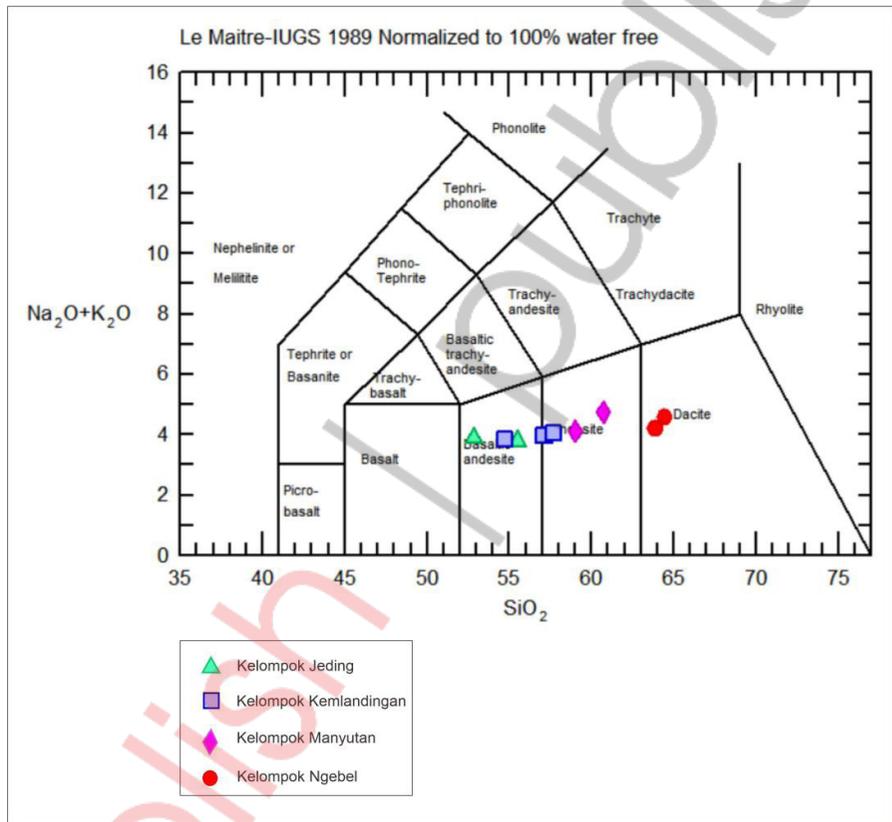
Unsur (ppm)	Gunung api			
	Jeding	Kemlandingan	Manyutan	Ngebel
	W86	W98	W234	W207
Er	2.12	4.7	2	1.4
P	873	630	690	570
Th	2	4.19	4.52	3.83
Nb	2	3.5	3	3.8
Zr	44	98.7	104	60.3
Yb	1.61	4.4	2.3	1.4

#### 6.4. Afinitas Magma

Analisis seri magma digunakan untuk mengetahui jenis dan afinitas magma yang ada di daerah penelitian dan kaitannya dengan lingkungan tektonik terbentuknya magma tersebut. Data kimia yang digunakan berupa unsur utama berupa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{K}_2\text{O}$ . Menurut Wilson (1989), magma primer memiliki komposisi  $\text{Mg} > 7\%$ , dan  $\text{SiO}_2$  tidak lebih dari 50%. Berdasarkan karakteristik geokimia major elemen, sepuluh sampel yang mewakili empat unit kelompok batuan pada Kompleks Gunung Api Ngebel yakni Gunung Api Jeding, Gunung Api Kemlandingan, Gunung Api Manyutan dan Gunung Api Ngebel memiliki kandungan  $\text{Mg}$  rata-rata hanya sebesar 2,27% dan memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  lebih dari 50%. Dari data tersebut dapat disimpulkan, bahwa sumber magma dari lava yang terbentuk pada bagian Kompleks Gunung Api Ngebel bukan merupakan magma primer melainkan magma yang telah mengalami proses diferensiasi.

Pada diagram perbandingan persen berat antara  $\text{SiO}_2$  terhadap  $\text{K}_2\text{O}$  menurut Peccerillo dan Taylor (1976), diketahui bahwa seri magma bersifat Medium Kalk-Alkali (Gambar 6.7) dan di dalam klasifikasi tersebut sampel batuan masuk ke dalam 3 jenis batuan yaitu: basalt-andesit, andesit dan dasit (Gambar 6.6). Afinitas magma kalk-alkali umumnya hadir pada lingkungan tektonik konvergen. Hal

ini juga dibuktikan dari analisis petrografi, di mana keterdapatannya fenokris yang cenderung beragam seperti: plagioklas *feldspar*, piroksen, dan hornblende serta sedikit hadirnya mineral kuarsa pada sayatan (McBirney, 1984).

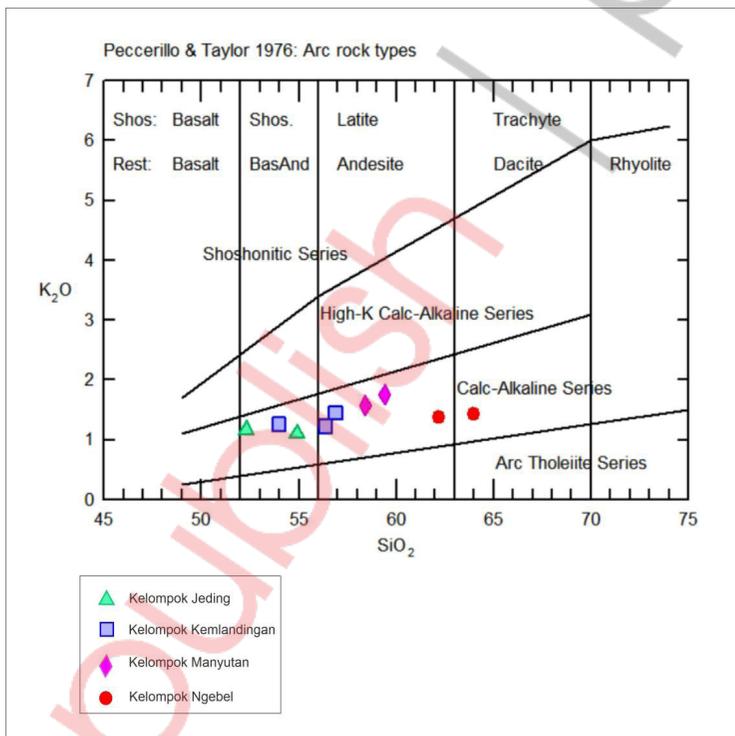


**Gambar 6.6.** Grafik klasifikasi batuan beku berdasarkan TAS Diagram ( $\text{SiO}_2$  vs.  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ , dalam % berat) didapatkan hasil *basaltic andesite*, *andesite*, dan *dacite* (after LeBas et al., 1986; IUGS, 1989).

Dalam analisis geokimia jenis batuan berdasarkan hasil pengolahan data (Gambar 6.6) ke sembilan sampel batuan tersebut terbagi menjadi 3 kelompok klasifikasi yaitu: klasifikasi *basaltic andesite* ( $\text{SiO}_2 < 52\%$ ) yang di dalamnya terdapat Gunung Api Jeding; klasifikasi andesit ( $\text{SiO}_2 54-58\%$ ) yang di dalamnya terdapat Gunung

Api Kemlandingan dan Gunung Api Manyutan; dan klasifikasi dasit ( $\text{SiO}_2$  61-65%) yang di dalamnya terdapat Gunung Api Ngebel. Diagram yang digunakan dalam analisis jenis batuan ini mengacu kepada diagram Total Alkali vs. *Silicate* (Le Bas dkk., 1986) seperti terlihat pada Gambar 6.6.

Hasil ini bersesuaian dengan hasil pengamatan petrografi yang menunjukkan bahwa sampel batuan di daerah telitian mayoritas termasuk ke dalam batuan berkomposisi basaltik-andesit, andesit piroksen, dan andesit hornblende dan dasit. Hasil pengeplotan pada 4 gunung api tersebut menunjukkan bahwa magma memiliki afinitas yang sama. Menurut Bronto (2006) dan Gill (1981), afinitas magma yang sama menunjukkan bahwa magma bersifat *co-magmatic* atau ko-genetik.



**Gambar 6.7.** Diagram afinitas magmatik menurut Peccerillo dan Taylor (1976).

### 6.5. Kedalaman Magma Asal

Hutchinson (1977) menyusun rumus untuk mengetahui kedalaman magma berdasarkan kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ . Proses tunjaman akan menghasilkan panas pada jalur penekukan, sehingga aliran panas yang tinggi akan menimbulkan aktivitas magma pada jalur Benioff. Diferensiasi atau asimilasi magma dengan kerak bumi yang dilaluinya saat bergerak ke atas sebagai pluton atau Volkanisme akan mengakibatkan perubahan komposisi magma. Analisis kedalaman magma asal dari delapan sampel Gunung Api Ngebel menggunakan rumus sebagai berikut:

$$h = (320 - (3,65 \times \% \text{SiO}_2) + (25,52 \times \% \text{K}_2\text{O}))$$

Berdasarkan data hasil perhitungan, sumber magma intrusi Kompleks Gunung Api Ngebel berasal dari kedalaman antara  $\pm 123$  km–171 km di bawah permukaan bumi yang mengalami diferensiasi magma.

**Tabel 6.4.** Data analisis kedalaman pembentukan magma daerah penelitian berdasarkan kandungan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{K}_2\text{O}$

Sample	Elevasi Permukaan (meter)	Unit	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Kedalaman Magma (Kilometer)	Jenis Batuan
W59	642	Jeding	54.9	1.1	147.687	Basalt andesitik
W64	781	Jeding	52.3	1.16	158.7082	Basalt andesitik
W108	1103	Kemandingan	56.4	1.22	145.2744	Andesit piroksen
W174	948	Kemandingan	54	1.26	155.0552	Andesit piroksen
W98	921	Kemandingan	56.9	1.45	149.319	Andesit piroksen
W234	973	Manyutan	58.4	1.57	146.9064	Andesit Hornblende
W158	973	Manyutan	59.4	1.76	148.1052	Andesit Hornblende
W207	757	Ngebel	64	1.43	122.8936	Dasit
W53	753	Ngebel	62.2	1.38	128.1876	Dasit

### 6.6. Asal Magma dan Lingkungan Tektonik

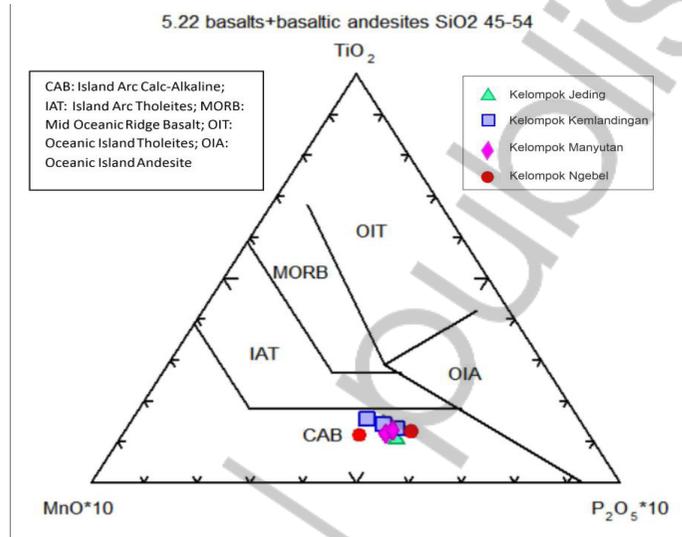
Daerah penelitian secara fisiografi berada pada daerah batas benua aktif. Berdasarkan hasil dari analisis pengamatan petrografi pada daerah telitian menunjukkan secara umum, bahwa batuan

volkanik pada daerah telitian memiliki tekstur porfititik. Hal ini menurut Ewart (1982) dan Wilson (1989) termasuk ke dalam batuan busur kepulauan (*Island Arc Volcanic Rock*). Fenokris hadir melimpah sekitar 52%-77%, yang terdiri dari plagioklas (33%-48%), piroksen (3%-14%), hornblende (8%-14%), kuarsa (12-15%) dan mineral opaq (3%-10%). Kehadiran dari mineral piroksen dan mineral opaq dapat mengindikasikan bahwa batuan volkanik yang ada di daerah penelitian telah terjadi pengayaan *iron* (besi) secara bersamaan dengan proses diferensiasi magma. Berdasarkan karakteristik petrografi dari batuan volkanik pada daerah telitian menunjukkan, bahwa afinitas pada batuan volkanik Kompleks Gunung Api Ngebel adalah termasuk ke dalam seri kalk-alkali busur kepulauan.

Adapun pada diagram seri magma daerah penelitian menurut diagram Peccerillo dan Taylor (1976) menunjukkan seri kalk-alkali K sedang (Gambar 6.7). Seri magma kalk-alkali K sedang ini berhubungan dengan zona penunjaman (*subduction*) dan daerah benua (*continent*). Posisi lingkungan tektonik kompleks Gunung Api Ngebel dan sekitarnya lebih lanjut dapat diketahui berdasarkan hasil pengeplotan unsur kimia utama pada diagram segi tiga  $TiO_2$ - $MnO$ - $P_2O_5$ . Hasil pengeplotan tersebut menunjukkan, bahwa asal magma dan lingkungan tektonik kompleks Gunung Api Wilis dan sekitarnya berada pada lingkungan tektonik Busur Kepulauan Kalk-Alkali (*Calc-alkaline Basalt*) seperti yang terlihat pada Gambar 6.8. Oleh karena itu, berdasarkan kumpulan data-data tersebut, daerah telitian termasuk ke dalam seting tektonik *convergent destructive* (Wilson, 1989) yang dapat dilihat pada Gambar 6.9.

Menurut Wilson (1989), magma primer memiliki komposisi  $Mg > 7\%$ , dan  $SiO_2$  tidak lebih dari 50%. Berdasarkan karakteristik geokimia major elemen, sepuluh sampel yang mewakili empat unit kelompok batuan pada bagian Kompleks Gunung Api Ngebel, yakni: Gunung Api Jeding, Gunung Api Kemlandingan, Gunung Api Manyutan, dan Gunung Api Ngebel memiliki rata-rata kandungan Mg hanya sebesar 2,27% dan memiliki kandungan  $SiO_2$  lebih dari 50%. Dari data tersebut dapat disimpulkan, bahwa sumber magma

dari lava yang terbentuk pada bagian Kompleks Gunung Api Ngebel bukan merupakan magma primer melainkan magma yang telah mengalami proses diferensiasi.



**Gambar 6.8.** Lingkungan tektonik sampel daerah Wilis dan sekitarnya berdasarkan diagram TiO<sub>2</sub>-MnO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> menurut Mullen, (1983).

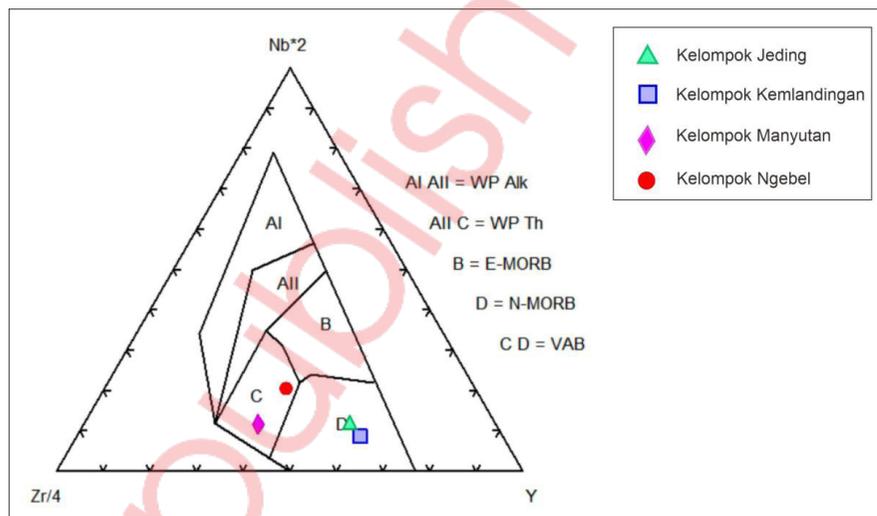
	Plate Margin Convergen
Igneous-tectonic associations	- Island Arcs
Magma Series	- Calc-Alkaline
SiO <sub>2</sub> range	- Basalts and differentiates

**Gambar 6.9.** Hubungan seri magma dan lingkungan tektonik dari Wilson (2007) dan karakter dari lingkungan tektonik daerah penelitian termasuk ke dalam seri magma kalk-alkali yang terbentuk dari Plate Margin Convergent.

### 6.7. Asal Magma Berdasarkan Trace Element dan REE

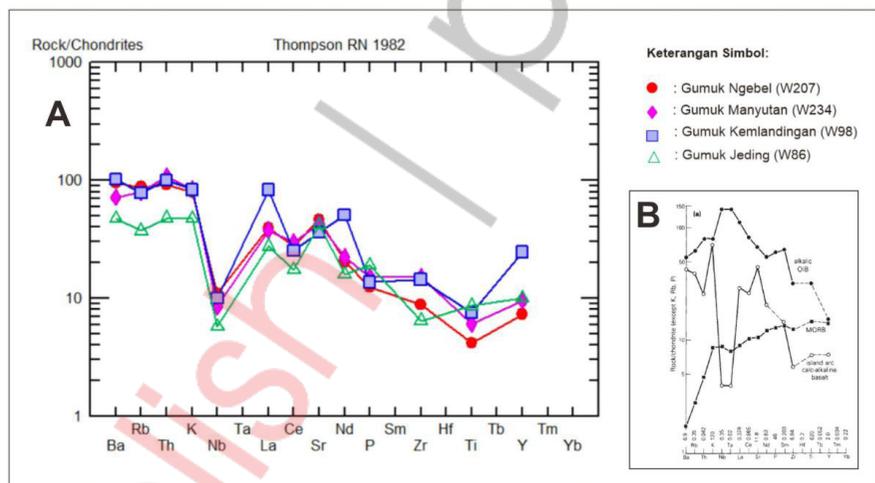
Analisis penentuan asal magma batuan vulkanik Gunung Api Ngebel menggunakan diagram trilinear. Diagram ini dipergunakan dengan menggunakan dasar perbandingan nilai persentase berat unsur jejak  $2xNb^*2$ ,  $Zr/4$ , dan Y (Gambar 6.10.). Berdasarkan sampel yang di analisis menunjukkan, bahwa sampel yang berasal dari Gunung Api Jeding dan Gunung Api Kemlandingan berkaitan dengan pembentukan *within plate tholeiites* and *volcanic arc basalt*. Sedangkan sampel yang berasal dari Gunung Api Manyutan dan Gunung Api Ngebel berkaitan dengan pembentukan *N-type MORB* and *volcanic arc basalt*.

Meskipun begitu, empat sampel tersebut dapat digolongkan pada tatanan tektonik *volcanic arc basalt* yang tidak berbeda jauh dengan hasil analisis asal magma menggunakan unsur utama. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel Kompleks vulkanik Gunung Api Ngebel terbentuk pada tatanan tektonik *island arc* yang merupakan deretan gunung api yang dihasilkan oleh adanya serangkaian proses subduksi.



Gambar 6.10. Hasil plotting asal magma berdasarkan Meschede (1986 ).

Pengeplotan dengan diagram laba-laba atau *spider diagram* dilakukan dengan normalisasi *chondrite* (Thompson RN, 1982). Perilaku unsur koheren REE sebagai kelompok selama evolusi magmatik menjadikannya alat yang berguna untuk mengevaluasi hubungan genetik di dalam rangkaian vulkanik. Analisis REE daerah penelitian diwakili oleh 4 batuan vulkanik dari gunung api daerah penelitian yang disajikan pada Tabel 6.3. Kemudian ditunjukkan dalam plot ternormalisasi *chondrite* seperti terlihat pada Gambar 6.11. Terdapat anomali negatif yang cukup besar pada unsur Nb, sedangkan unsur Zr juga memperlihatkan sedikit anomali negatif. Adanya anomali negatif pada unsur Nb mencirikan suatu batuan terbentuk pada tatanan *tectonic island arc*.



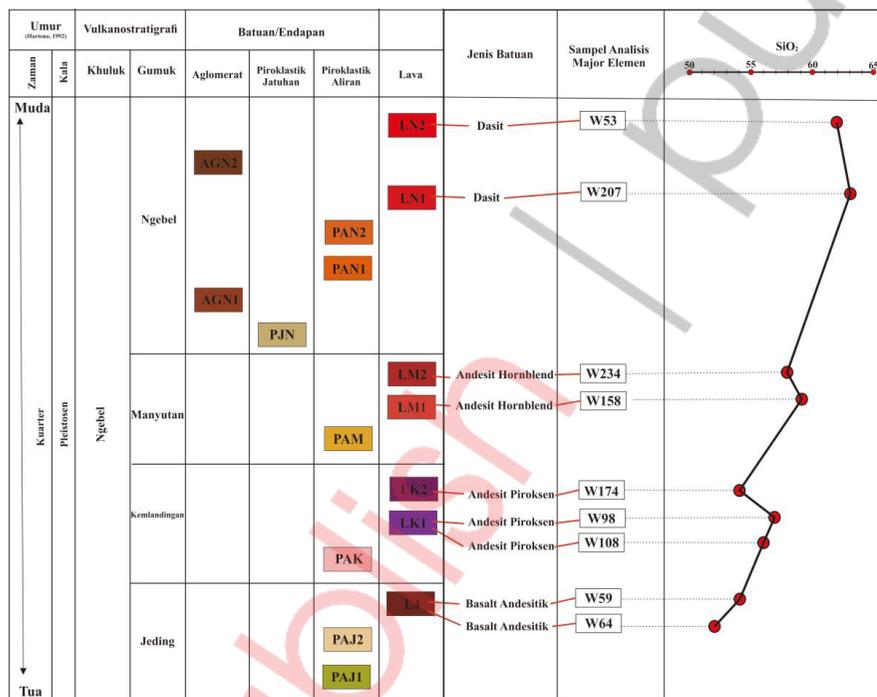
**Gambar.6.11.** (A). Hasil *plotting spider diagram Primitive Mantle* (Thompson RN, 1982) daerah telitian, (B). Pola Umum *spider diagram Primitive Mantle* (Thompson RN, 1982) daerah telitian.

### 6.8. Fase Evolusi Gunung api Gunung Api Ngebel

Evolusi gunung api ini disusun berdasarkan pendekatan data vulkanostratigrafi, analisis petrogenesis batuan, serta penelitian terdahulu. Secara umum evolusi gunung api Kompleks Gunung Api Ngebel mengalami 4 fase evolusi pembentukan, yakni dimulai dari

yang berumur paling tua hingga ke muda adalah: Fase Jeding, Fase Kemlandingan, Fase Manyutan, dan Fase Ngebel.

Pembentukan fase gunung api ini ditandai dengan aktivitas destruktif dan konstruktif yang diindikasikan melalui produk hasil erupsi dan letusan gunung api. Selain itu evolusi gunung api pada Kompleks Gunung Api Ngebel juga ditandai dengan pola umum perubahan meningkatnya kandungan SiO<sub>2</sub> dari Gunung Api Jeding yang cenderung basa hingga Gunung Api Ngebel yang cenderung asam (Gambar 6.12).



**Gambar 6.12.** Urutan Stratigrafi dan Fase Evolusi Magmatisme Kompleks Gunung Api Ngebel

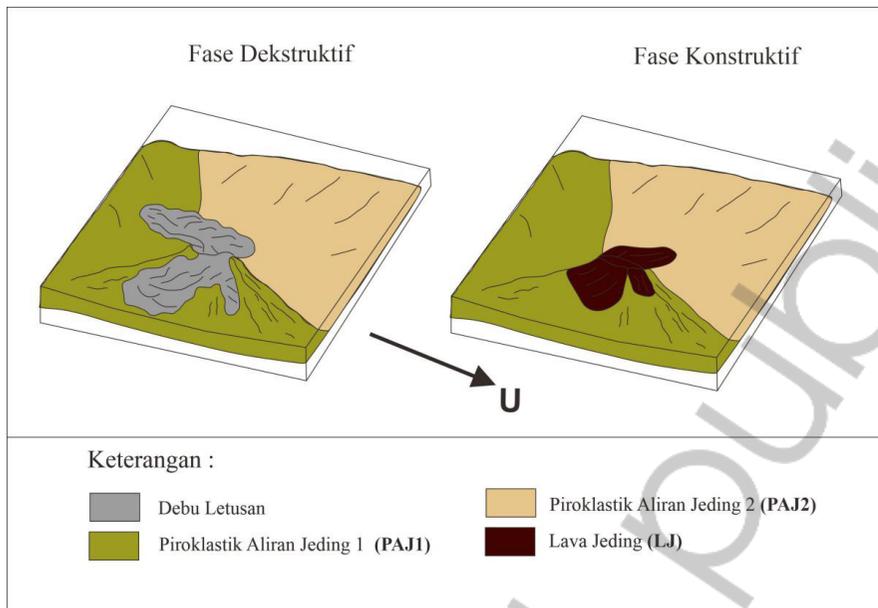
### 6.8.1 Fase Jeding

Sejarah geologi daerah penelitian dimulai dengan aktivitas tektonik yang terjadi pada awal Zaman Kuartar mengakibatkan

terbentuknya struktur-struktur geologi yang berkembang di Pulau Jawa. Sehingga magma dapat menerobos keluar melalui zona lemah yang diakibatkan oleh struktur-struktur tersebut. Keluarnya magma dari permukaan bumi tersebut membentuk gunung api-gunung api pada Zaman Kuartar, termasuk gunung-gunung di kompleks Gunung Api Wilis.

Pada fase ini aktivitas vulkanik di kawasan Kompleks Gunung Api Ngebel dimulai dari daerah Gunung Jeding yang berumur pleistosen awal (Hartono, 1992). Periode ini diinterpretasikan sebagai fase destruktif yang mengendapkan Satuan Batuan Gunung api Piroklastik Aliran Jeding (PAJ) yang terdiri dari litologi breksi piroklastik aliran, lahar, dan piroklastik jatuhan dengan fragmen basalt-andesit. Proses erupsi yang terjadi berupa eksplosif ditandai dengan hadirnya *scoria* dan *pumice*.

Selanjutnya aktivitas Gunung Api Jeding ini memasuki fase konstruktif diikuti dengan semakin melemahnya aktivitas vulkanik, sehingga hadirnya satuan Lava Basaltik-Andesit Jeding (LJ) dengan proses erupsi yang bersifat efusif menyebabkan persebaran satuan ini bersifat setempat dan tidak tersebar secara luas. Sifat erupsi efusif ini juga mengindikasikan sifat magma yang terbentuk pada saat itu ialah bersifat encer. Berdasarkan analisis petrografi dan geokimia satuan ini terdiri dari litologi lava basaltik-andesitik dan bertipe letusan strombolian. Pada fase ini akibat adanya kompresi yang berarah utara-selatan yang disebabkan oleh subduksi di selatan Pulau Jawa, sehingga pada daerah ini terbentuk sesar mendatar kiri Talun yang memiliki orientasi arah NE-SW. Sejarah evolusi gunung api pada fase Jeding ini digambarkan pada Gambar 6.13.



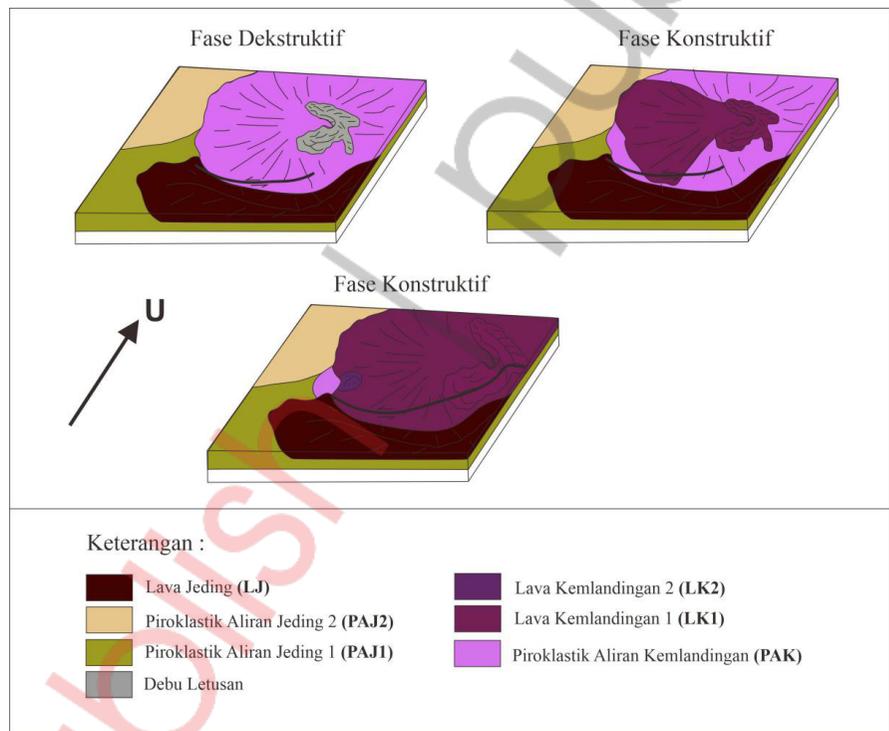
**Gambar 6.13.** Ilustrasi diagram blok sejarah geologi Fase Jeding (tanpa skala).

### 6.8.2. Fase Kemlandingan

Pada fase ini aktivitas vulkanik Gunung Api Kemlandingan berada disebelah sisi timur dari daerah telitian dengan umur pleistosen awal (Hartono, 1992). Awal proses pembentukannya terjadi fase destruktif dari gunung api yang menghasilkan satuan endapan Piroklastik Aliran Kemlandingan (PAK), yang terdiri dari litologi breksi piroklastik aliran, dan piroklastik jatuhan dengan fragmen *block* andesit. Proses erupsi yang terjadi berupa eksplosif ditandai dengan hadirnya *scoria* dan *pumice*.

Selanjutnya aktivitas Gunung Api Kemlandingan ini memasuki fase konstruktif diikuti dengan semakin melemahnya aktivitas vulkanik, sehingga hadirnya satuan Lava Andesit Piroksen Kemlandingan 1 (LK1) dan diikuti dengan hadirnya satuan lainnya yaitu satuan Lava Andesit Piroksen Kemlandingan 2 (LK2) yang hadir membentuk kubah. Dengan proses erupsi yang bersifat efusif menyebabkan

persebaran satuan ini bersifat setempat dan tidak tersebar secara luas. Sifat erupsi efusif ini juga mengindikasikan sifat magma yang terbentuk pada saat itu ialah bersifat agak encer dan berdasarkan analisis petrografi dan geokimia pada tahap ini setidaknya proses magmatisme dikontrol oleh proses *magma mixing* dan fraksionasi kristal, satuan ini terdiri dari litologi lava andesit piroksen dan bertipe letusan strombolian. Sejarah pengendapan batuan pada fase Kemlandingan ini digambarkan pada Gambar 6.14.



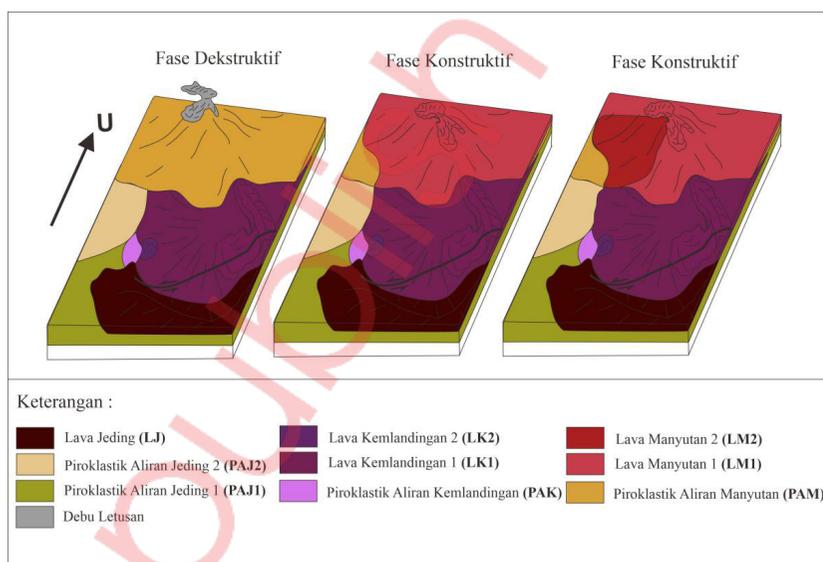
**Gambar 6.14.** Ilustrasi diagram blok sejarah geologi Fase Kemlandingan (tanpa skala).

### 6.8.3 Fase Manyutan

Pada fase ini aktivitas vulkanik Gunung Api Manyutan berada disebelah sisi utara dari daerah telitian dengan umur Pleistosen Awal

(Hartono, 1992). Awal pengendapannya terjadi fase destruktif dari gunung api yang menghasilkan satuan endapan Piroklastik Aliran Manyutan (PAM), yang terdiri dari litologi breksi piroklastik aliran dan piroklastik jatuhan dengan fragmen *block* andesit. Proses erupsi yang terjadi berupa eksplosif ditandai dengan hadirnya *scoria* dan *pumice*.

Selanjutnya aktivitas Gunung Api Manyutan ini memasuki fase konstruktif diikuti dengan semakin melemahnya aktivitas vulkanik sehingga hadirnya satuan Lava Andesit Hornblende Manyutan 1 (LM1) dan diikuti dengan hadirnya satuan lava di atasnya yaitu satuan Lava Andesite Hornblende Manyutan 2 (LM2). Dengan proses erupsi yang bersifat efusif menyebabkan persebaran satuan ini bersifat setempat dan tidak tersebar secara luas. Sifat erupsi efusif ini juga mengindikasikan, bahwa sifat magma yang terbentuk pada saat itu ialah bersifat encer. Berdasarkan analisis petrografi dan geokimia pada tahap ini setidaknya proses magmatisme dikontrol oleh proses *magma mixing* dan fraksinasi kristal. Satuan ini terdiri dari litologi lava andesit hornblende dengan tipe letusan strombolian.



**Gambar 6.15.** Ilustrasi diagram blok sejarah geologi Fase Manyutan (tanpa skala).

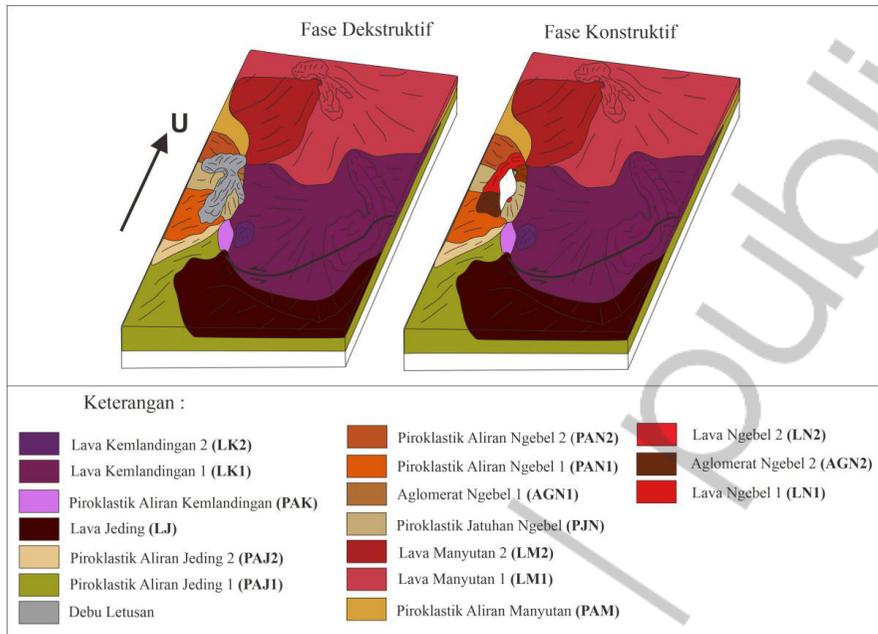
#### 6.8.4 Fase Ngebel

Pada fase ini aktivitas vulkanik Gunung Api Ngebel yang berada disebelah sisi barat dari daerah telitian merupakan fase termuda yang terdapat di daerah telitian dengan umur pleistosen awal (Hartono, 1992). Awal pengendapan fase ini terjadi fase destruktif dari gunung api yang menghasilkan satuan endapan Piroklastik Jatuhan Ngebel (PJN), satuan endapan Aglomerat Ngebel 1 (AGN1), Piroklastik Aliran Ngebel 1 (PAN1), Piroklastik Aliran Ngebel 2 (PAN2). Satuan endapan Piroklastik Jatuhan Ngebel (PJN) terdiri dari litologi lapili dan breksi piroklastik jatuhan dengan fragmen *block* dasit-andesit. Satuan endapan Aglomerat Ngebel 1 (AGN1), yang terdiri dari litologi breksi dengan fragmen bom-*blocky* dasit-andesit. Satuan endapan Piroklastik Aliran Ngebel 1 (PAN1) terdiri dari litologi breksi piroklastik aliran dengan fragmen *block* dasit-andesit. Sedangkan satuan endapan Piroklastik Aliran Ngebel 2 (PAN2) terdiri dari litologi breksi piroklastik aliran dengan fragmen *blocky* dasit-andesit. Proses erupsi yang terjadi berupa eksplosif ditandai dengan hadirnya *scoria* dan *pumice* pada setiap satuan.

Selanjutnya aktivitas Gunung Api Ngebel ini memasuki fase konstruktif diikuti dengan semakin melemahnya aktivitas vulkanik, sehingga hadir satuan Lava Dasit Ngebel 1 (LN1). Satuan ini terdiri dari litologi lava dasit. Selanjutnya diikuti dengan hadirnya satuan endapan Aglomerat (AGN2) dengan litologi berupa bom-*blocky* fragmen dasit-andesit. Satuan batuan yang paling terakhir adalah satuan Lava Dasit Ngebel 2 (LN2). Satuan ini terdiri dari litologi lava dasit. Dengan proses erupsi yang bersifat efusif menyebabkan persebaran satuan ini bersifat setempat dan tidak tersebar secara luas. Berdasarkan analisis petrografi dan geokimia pada tahap ini setidaknya proses magmatisme dikontrol oleh proses *magma mixing* dan fraksionasi kristal. Dengan dominannya lava dasit, maka letusan gunung api ini bertipe letusan vulkanian.

Pada fase ini akibat adanya kompresi yang berarah utara-selatan yang disebabkan oleh subduksi di selatan Pulau Jawa menyebabkan terbentuknya Sesar Turun Kiri Ngebel. Sejarah

pengendapan batuan pada fase Ngebel ini digambarkan pada Gambar 6.16.



**Gambar 6.16.** Ilustrasi diagram blok sejarah geologi Fase Ngebel (tanpa skala).

## **BAB VII**

### **POTENSI PANAS BUMI**

#### **7.1. Manifestasi Panas Bumi**

Daerah penelitian merupakan daerah yang memiliki sistem panas bumi yang aktif. Hal ini ditandai dengan hadirnya manifestasi panas bumi di permukaan. Manifestasi panas bumi yang ditemukan di daerah penelitian adalah berupa sumber mata air panas, *mudpool*, dan batuan yang mengalami alterasi hidrotermal. Manifestasi panas bumi yang terdapat di permukaan tersebut diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan. Berikut karakteristik manifestasi panas bumi yang dijumpai di permukaan:

#### **Mata Air Panas Padusan**

Mata Air Panas Padusan terletak pada elevasi 641 mdpl. Mata Air Panas Tirta Husada terletak di sepanjang sungai yang berada di Desa Padusan, Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur. Manifestasi air panas ini di permukaan memiliki kondisi fisik berupa sedikit gelembung gas, sedikit beruap, berwarna jernih, dan panas.

Total ada sekitar 7 mata air panas yang berada di lokasi tersebut dengan pH = 8,39, DHL = 4950  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , TDS = 3160 mg/L dan temperatur terendah ialah 42°C dan temperatur tertinggi 70°C. Cl<sup>-</sup> (3463.116 ppm), K (258.778 ppm), Ca (155.015 ppm), dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (385.01 ppm), tetapi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (55.812 ppm). Kandungan tinggi Cl<sup>-</sup> diikuti oleh Na<sup>+</sup> tinggi (1778.96 ppm) (selengkapnya dapat dilihat Tabel 7.1). Pada lokasi penelitian Mata Air Panas Padusan berada pada sub unit kelompok batuan Piroklastik Aliran Jeding 1 (PAJ1).



**Gambar 7.1.** Manifestasi Mata Air Panas Padusan.

### **Kolam Lumpur (*Mudpool*)**

Mudpool Banyulirang terletak pada elevasi 710 mdpl di Desa Talun, Kecamatan Ngebel. Banyulirang memiliki warna air yang keruh kecokelatan, berbau, pH nya = 1,51, DHL = 6620  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , TDS = 5944 mg/L dengan temperatur fluidanya 58°C dan temperatur uapnya (solfatara) ialah 86 °C. Berdasarkan hasil dari analisis geokimia air Mudpool Banyulirang memiliki kandungan Cl<sup>-</sup> (143,33 ppm), K rendah (10,40 ppm), Ca (80,00 ppm), Fe (78,80 ppm) dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0 ppm), tetapi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (2216,56 ppm) (Selengkapnya lihat Tabel 7.1). Pada lokasi penelitian *mudpool* ini berada pada sub unit kelompok batuan Piroklastik Aliran Jeding 1 (PAJ1).



**Gambar 7.2.** Manifestasi Mudpool Banyulirang.

### Mata Air Panas Belerang Ngumbul

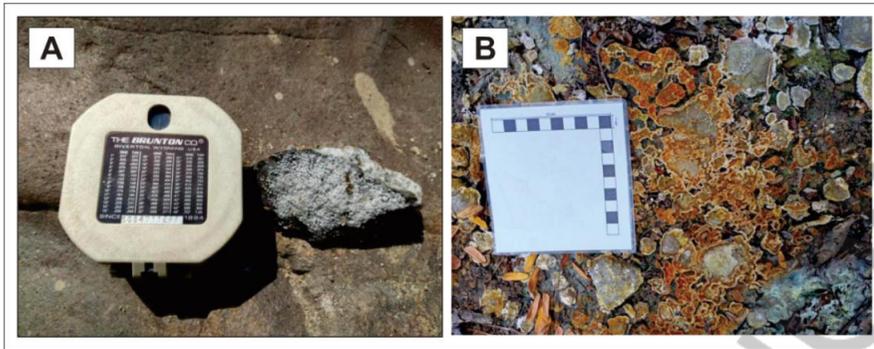
Mata panas belerang terletak di Kecamatan Dolopo, Kabupaten Madiun, Provinsi Jawa Timur. Mata air hangat belerang ngumbul ini memiliki pH = 8, DHL = 2790  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , TDS = 1728 mg/L dan temperaturnya sebesar 37 °C. Berdasarkan analisis geokimia fluida didapatkan Cl<sup>-</sup> (378,17ppm), K (49,55 ppm), Ca (124,21 ppm), dan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (826,76 ppm), tetapi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (21,42 ppm). Kandungan tinggi HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> diikuti oleh Cl<sup>-</sup> (selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 7.1).



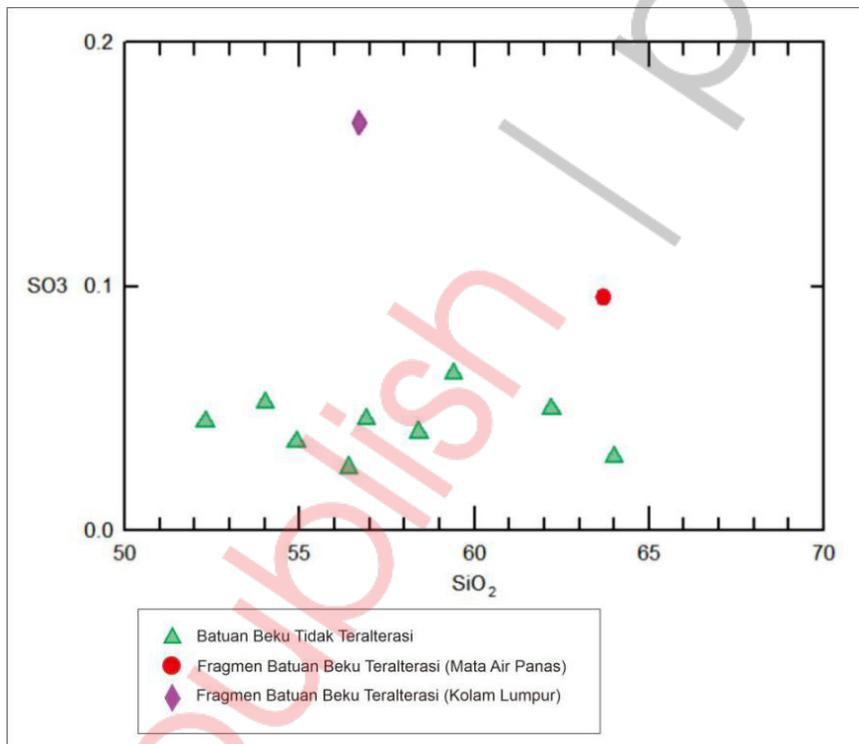
Gambar 7. 3. Kenampakan Mata Air Panas Belerang Ngumbul.

### Batuan Teralterasi

Dijumpai batuan yang mengalami alterasi hidrotermal di lokasi sumber Mata Air Panas Padusan dan Kolam Lumpur Banyulirang. Batuan teralterasi di lokasi sumber Mata Air Panas Padusan berupa batuan andesit yang mengalami alterasi yang menghasilkan endapan *travertine*. *Travertine* ini memiliki kondisi fisik menyerupai tumpukan garam, memiliki rasa asin, dan sedikit berbau belerang. Selain itu, batuan teralterasi di lokasi Kolam Lumpur Banyulirang berupa batuan andesit yang mengalami alterasi juga. Seperti hal endapan *travertine* di Padusan yang menyerupai bentukan tumpukan garam, memiliki rasa asin, membentuk tekstur menyerupai bunga dan berbau belerang yang kuat. Batuan yang mengalami alterasi hidrotermal di kedua lokasi tersebut, diakibatkan oleh interaksi batuan terhadap fluida, sehingga membentuk endapan *travertine* di permukaan, serta mengalami kenaikan kandungan senyawa SO<sub>3</sub>.



**Gambar 7.4.** A). Manifestasi batuan teralterasi Padusan, B). Manifestasi batuan teralterasi Banyulirang



**Gambar 7.5.** Diagram SiO<sub>2</sub> vs. SO<sub>3</sub> memperlihatkan anomali SO<sub>3</sub> terhadap fragmen batuan di lokasi manifestasi panas bumi.

**Tabel 7. 1** Analisis Kation-Anion mata air panas di daerah penelitian.

Lokasi	Kode Sampel	Elevation (m)	Li	Na	K	Ca	Mg
Talun	MPL	710	0,02	44,80	10,40	80,00	25,10
			SiO <sub>2</sub>	B	Cl	F	SO <sub>4</sub>
			338,80	0,65	134,33	0	2216,56
			HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	As	Fe
			0	0	3,97	0	78,80
Padusan	MAP	641	Li	Na	K	Ca	Mg
			1,81	690,14	112,70	91,70	30,87
			SiO <sub>2</sub>	B	Cl	F	SO <sub>4</sub>
			18,63	18,23	1201,78	0	18,63
			HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	As	Fe
350,95	31,93	1,89	0,40	<0,79			
Ngumbul	Ngumbul	143	Li	Na	K	Ca	Mg
			0,55	251,74	49,55	124,21	94,56
			SiO <sub>2</sub>	B	Cl	F	SO <sub>4</sub>
			131,94	4,99	378,17	0	21,42
			HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	As	Fe
826,75	0	1,84	0,60	0,55			

## 7.2. Geokimia Fluida

### 7.2.1. Jenis Fluida Manifestasi Panas Bumi

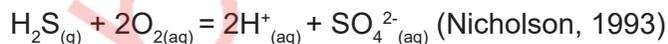
Penentuan jenis fluida dari masing-masing manifestasi dapat dilakukan dengan melihat komposisi antara ketiga unsur/ senyawa, yaitu: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (*Sulfate*), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (*Bicarbonate*) dan Cl<sup>-</sup> (*Chloride*) pada diagram *Ternary*. Berikut nilai masing-masing unsur fluida pada daerah penelitian (Tabel 7.2.)

**Tabel 7. 2** Nilai SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, Cl manifestasi

No.	Kode Sampel	Lokasi Sampel	Tipe	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl
1.	MPL	Talun, Ponorogo	<i>Mudpools</i>	2216,56	0,00	149,33
2.	MAP	Padusan, Ponorogo	Mata Air Panas	18,63	350,95	1201,78
3.	Ngumbul	Ngumbul, Madiun	Mata Air Panas Belerang	21,42	826,75	7,00

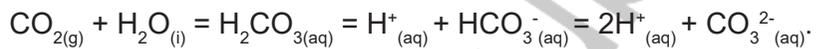
Dari Tabel 7.2 pada mata air panas didapat nilai bikarbonat dan klorida yang tinggi, serta pada diagram Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> (Gambar 7.5) terlihat keberadaan fluida Mata Air Panas Tirta Husada berada pada garis dominan klorida, dan sedikit bikarbonat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis fluida pada manifestasi tersebut adalah klorida. Air klorida terjadi akibat pengenceran dari unsur klorida oleh air meteorik selama mengalir ke permukaan. Sedangkan unsur bikarbonat terbentuk, akibat adanya kondensasi uap di bawah permukaan muka air tanah. Hal ini berarti telah terjadi kontaminasi atau campuran dengan air tanah di dekat permukaan, sehingga unsur bikarbonatnya terbentuk.

Sedangkan fluida *mudpool* berada pada garis dominan *Sulfate*, dengan sedikit klorida. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa *mudpool* memiliki jenis fluida *Sulfate*. Unsur SO<sub>4</sub> yang melimpah pada manifestasi *mudpool* adalah hasil dari oksidasi hidrogen sulfida dengan oksigen dengan reaksi:

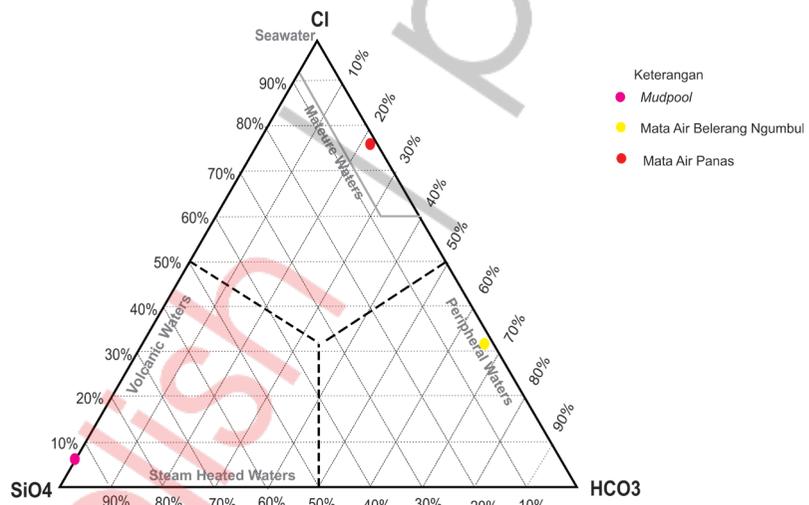


Proses oksidasi dari hidrogen sulfida ke dalam ion sulfat menghasilkan pH yang sangat asam pada manifestasi (pH=1,51) yang diduga terdapat kontribusi gas magmatik (Nicholson, 1993). Sedangkan unsur klorida yang muncul pada manifestasi kemungkinan berasal dari air hujan dan/atau berasal dari pengaruh magmatik. Dikarenakan kandungan klorida juga dapat berasal dari hasil kondensasi gas HCl (Gas

volatil magmatik). Sehingga menurut Nicholson (1993) air ini termasuk ke dalam zona keluaran yang dekat dengan zona *upflow* seperti: fumarol, tanah beruap dan air yang dipanaskan oleh uap (*steam heated water*). Sedangkan untuk Mata Air Panas Belerang Ngumbul berada pada garis bikarbonat. Dengan demikian menunjukkan bahwa jenis fluidanya berupa bikarbonat.  $\text{HCO}_3$  yang hadir adalah hasil dari reaksi kondensasi gas  $\text{CO}_2$  (Nicholson, 1993).



Jenis manifestasi ini air termasuk ke dalam daerah *outflow*.



**Gambar 7.6** Diagram segitiga  $\text{HCO}_3\text{-Cl-SO}_4$  fluida manifestasi menurut Gigenbach (1991)

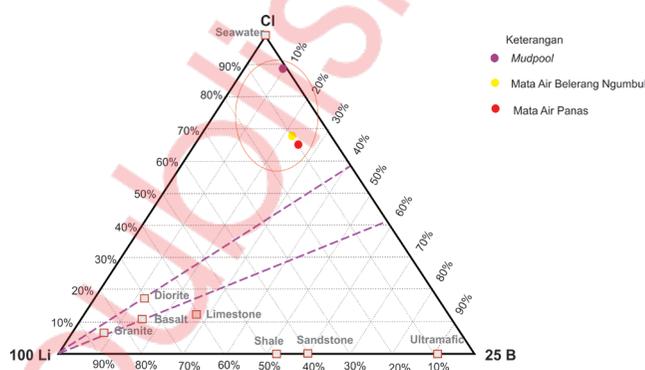
### 7.2.2. Asal Fluida Manifestasi Panas Bumi

Penentuan jenis mata air panas dari masing-masing manifestasi dapat dilakukan dengan melihat komposisi antara ketiga unsur/senyawa yaitu Cl (*Chloride*), B (*Borron*) dan Li (*Lithium*) pada diagram *Ternary*. Berikut nilai masing-masing unsur fluida pada daerah penelitian (Tabel 7.3.).

**Tabel 7. 3.** Kandungan unsur B, Li, Cl dari manifestasi panas bumi.

No.	Kode Sampel	Lokasi Sampel	Tipe	B	Li	Cl
1.	MPL	Talun, Ponorogo	<i>Mudpools</i>	2216,56	0,00	149,33
2.	MAP	Padusan, Ponorogo	Mata Air Panas	18,63	350,95	1201,78
3.	Ngumbul	Ngumbul, Madiun	Mata Air Panas Belerang	4,99	0,55	378,17

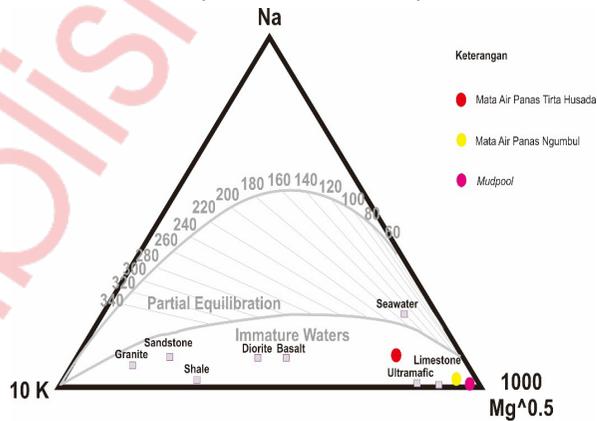
Berdasarkan data yang ditampilkan pada diagram segitiga di bawah (Gambar 7.6) beberapa fluida memiliki kesamaan Reservoir. *Mudpool*, Mata Air Panas Tirta Husada, Mata Air Panas Belerang Ngumbul, terletak pada satu Reservoir yang sama ditunjukkan dengan kandungan konsentrasi Cl yang tinggi. Konsentrasi Cl yang tinggi mengindikasikan bahwa fluida manifestasi yang naik ke permukaan merupakan fluida yang berasal dari sumber panas dengan pendinginan yang sangat sedikit oleh batuan sekitar aliran fluida. Hal tersebut disebabkan karena unsur Cl termasuk susah bereaksi, mudah berpindah dan bersifat tetap sehingga dapat dilacak asal-usulnya. Unsur Cl merupakan unsur yang pertama kali terbentuk pada suhu 350°C dengan kadar konsentrasi yang sangat tinggi (Nicholson, 1993).



**Gambar 7.7** Diagram segitiga Li-B-Cl menurut Giggensch (1991) dalam Powell dan Cumming (2010) menunjukkan bahwa air manifestasi berasal dari sumber yang sama.

### 7.2.3. Maturitas Fluida

Diagram terner Na-K-Mg (Gambar 7.8) indikatif terhadap maturitas fluida di suatu manifestasi berdasarkan kandungan unsur Na, K, dan Mg. Diagram *Ternary* ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: *full equilibrium*, *partial equilibrium*, dan *immature waters*. Dari hasil *plotting* pada diagram Na–K–Mg didapatkan hasil, bahwa manifestasi Mata Air Panas Padusan (MAP), Mata Air Panas Ngumbul (Ngumbul) dan Mudpool Banyulirang (MPL) termasuk ke dalam fluida yang masih *immature*. Hal ini ditunjukkan dengan kadar Mg yang tinggi pada hasil analisis laboratorium. Sehingga dapat diinterpretasikan, bahwa fluida di Mata Air Panas Padusan (MAP), Mata Air Panas Ngumbul (Ngumbul) dan Mudpool Banyulirang (MPL) merepresentasikan interaksi antara batuan samping dan fluida panas bumi yang terjadi dalam waktu singkat. Sehingga tidak cukup untuk membentuk kesetimbangan (Nicholson, 1993). Selain itu kondisi tersebut juga merepresentasikan proses *mixing* atau pelarutan air tanah dan dekat dengan magnesium. Hal tersebut dikarenakan air tanah memiliki kation utama berupa  $Mg^{+}$ , sehingga konsentrasinya yang besar indikatif terhadap kehadiran air tanah (Nicholson, 1993).



**Gambar 7.8** Diagram segitiga Na-K-Mg (Giggenbach, 1988) untuk mengestimasi suhu Reservoir panas bumi serta penentuan kematangan fluida.

#### 7.2.4. Geotermometer Air

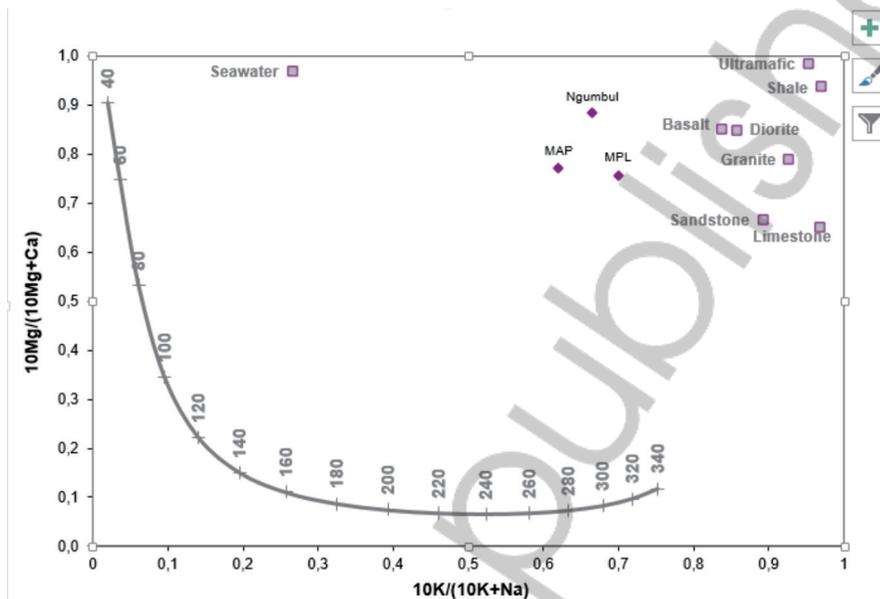
Perkiraan geotermometer berdasarkan data geokimia manifestasi panas bumi dari suatu daerah penyelidikan mempertimbangkan beberapa faktor, di antaranya adalah: manifestasi panas bumi temperatur air panas relatif tinggi, pH air mendekati netral hingga asam dan tipe air panas termasuk air klorida, bikarbonat dan sulfat. Pada kondisi demikian diasumsikan, bahwa konsentrasi senyawa kimia terlarut secara kualitatif dan kuantitatif dalam air panas merupakan produk akhir dari proses yang alami.

Perhitungan temperatur daerah penelitian menggunakan geotermometer Na-K (Giggenbach (1988) dalam Nicholson (1993) seperti yang tersaji pada Tabel 7.4.

**Tabel 7. 9** Temperatur hasil perhitungan geotermometer air manifestasi

Geotermometer		MAP Tirta Husada	<i>Mudpool/</i> Banyulirang	MAP Belerang Ngumbul
T Na-K (0C)	Fournier	263	302	284
	Giggenbach	275	310	294

Berdasarkan hasil perhitungan temperatur penggunaan geotermometer Na-K. Geotermometer ini memiliki tingkat ketelitian yang besar (Fournier (1979b) dalam Nicholson (1993)); Giggenbach (1988) dalam Nicholson (1993) dikarenakan laju untuk kembali seimbang dari pertukaran Na-K lebih lambat daripada proses pelarutan dan pengendapan larutan silika dan pertukaran keseimbangan K-Mg. Selain itu geotermometer ini unggul dalam kondisi "seimbang" di kedalaman yang mengakibatkan unsur tersebut merekam temperatur larutan dalam jangka waktu yang lama hingga naik ke permukaan. Oleh karena itu hal ini mengindikasikan temperatur yang tinggi dari zona yang sangat dalam.



Gambar 7.9 Hasil *cross-plot* Na-K/Mg-Ca menunjukkan temperatur Reservoir.

### 7.2.6. Isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$

Analisis isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  dilakukan untuk mengetahui asal fluida. Hasil analisis isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  dari sampel mata air panas, *mudpool* dapat dilihat pada Tabel 7.5. Dari tabel tersebut terlihat komposisi isotop yang bervariasi sesuai dengan karakteristiknya masing-masing.

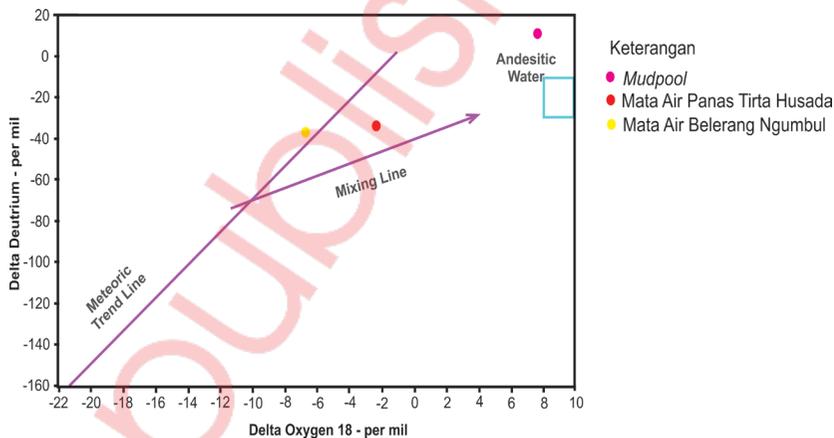
Tabel 7. 5 Hasil Analisis Isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  (‰)

No.	Kode Sampel	Lokasi Sampel	Tipe	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	Temperatur
1.	MPL	Talun, Ponorogo	<i>Mudpools</i>	7,656	11,202	58°C
2.	MAP	Padusan, Ponorogo	Mata Air Panas	-2,353	-33,811	70°C
3.	Ngumbul	Madiun	Mata Air Panas	-6,85	-38,65	37°C

Hasil analisis isotop tersebut lalu di-*plotting* pada grafik  $\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta^2\text{H}$  (Gambar 7.9). Berdasarkan hasil analisis diketahui, bahwa komposisi isotop  $\delta^{18}\text{O}$  pada *mudpool* sebesar 7,656‰

dan  $\delta^2\text{H}$  sebesar 11,202‰. Setelah di plot pada grafik  $\delta^{18}\text{O}$  vs.  $\delta^2\text{H}$  menunjukkan, bahwa fluida dari *mudpool* terletak pada *trend* sekitar kotak *Andesitic Water*. Hal tersebut mengindikasikan, bahwa fluida manifestasi *mudpool* merupakan fluida panas bumi yang berasal dari *magmatic water (andesitic water)*.

Pada Mata Air Panas Tirta Husada Padusan memiliki nilai  $\delta^{18}\text{O}$  yang relatif lebih besar dibandingkan dengan mata air dingin, mata air hangat, air telaga dan air hujan. Serta tidak lebih besar dari *mudpools*, yaitu dengan kandungan sebesar -2,353‰ dan untuk  $\delta^2\text{H}$  sebesar -33,811‰. Kemudian setelah dilakukan *plotting* pada grafik  $\delta^{18}\text{O}$  vs.  $\delta^2\text{H}$ , maka mata air panas tersebut terletak pada *trend mixing line*. Hal ini mengindikasikan, bahwa mata air panas tersebut berasal dari percampuran antara *meteoric water* dengan *magmatic water (andesitic water)*. Sedangkan pada mata air hangat Ngumbul memiliki konsentrasi  $\delta^{18}\text{O}$  sebesar -6,85‰. Sedangkan untuk kandungan  $\delta^2\text{H}$  ialah -38,65‰. Hasil *plotting* dari sampel air tersebut pada grafik  $\delta^{18}\text{O}$  vs.  $\delta^2\text{H}$  menunjukkan, bahwa fluida manifestasi ini berada pada *meteoric trend line*. Hal ini mengindikasikan bahwasanya fluida panas bumi ini berasal dari air meteorik.



**Gambar 7.10** Grafik  $\delta^{18}\text{O}$  vs.  $\delta^2\text{H}$  manifestasi di daerah penelitian.

### 7.2.7. Rare Earth Element Fluida Panas Bumi

Analisis uji sampel REE fluida dilakukan dengan menggunakan metode *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) yang dilakukan pada beberapa sampel fluida panas bumi, yaitu: Mata Air Panas Tirta Husada (MAP), Kolam Lumpur Banyulirang (MPL), Mata Air Panas Belerang Ngumbul (Ngumbul). Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 7.6.

**Tabel 7. 6** Hasil analisis REE fluida panas bumi daerah telitian (ppm)

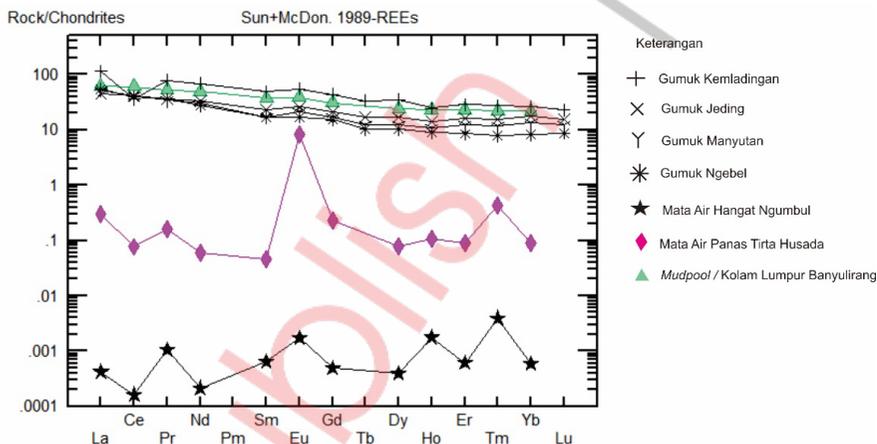
Unsur REE	Kode Sampel Fluida		
	MAP	MPL	Ngumbul
Ce	0,047	36,606	< 0,0001
Dy	0,02	6,087	< 0,0001
Er	0,015	3,844	< 0,0001
La	0,07	14,347	< 0,0001
Ho	0,006	1,289	< 0,0001
Eu	0,48	2,225	< 0,0001
Gd	0,048	6,285	< 0,0001
Nd	0,028	23,029	< 0,0001
Pr	0,015	4,972	< 0,0001
Sm	0,007	5,806	< 0,0001
Tm	0,011	0,555	< 0,0001
Yb	0,015	3,747	< 0,0001

Hasil analisis REE tersebut lalu di-*plotting* pada diagram laba-laba Sun dan McDonough (1989) dapat dilihat pada Gambar 7.10 yang kemudian dibandingkan dengan data REE batuan dari 4 gunung api yang merupakan bagian dari kompleks Gunung Api Ngebel guna mengetahui interaksi fluida terhadap batuan tersebut terlihat dari pola grafiknya.

Pada diagram laba-laba Sun dan McDonough (1989) menunjukkan bahwa satuan batuan vulkanik dari 4 gunung api

dan *Mudpool* memperlihatkan pola yang relatif sama dengan kisaran nilai 10-100 kali kondrit. Hal ini dapat diinterpretasikan, bahwa fluida *mudpool* mengalami interaksi langsung dengan batuan vulkanik daerah telitian. Hal ini juga didukung oleh data isotop yang memperlihatkan sumber fluida *mudpool* berasal dari fluida magmatik.

Pada sampel fluida Mata Air Panas Tirta Husada didapatkan kisaran nilai -1 sampai 10 kali kondrit. Namun pada Mata Air Panas Tirta Husada memperlihatkan grafik anomali positif yang tinggi pada unsur Eu yang mencapai nilai 10 kali kondrit. Hal ini disebabkan, karena sedimen kimiawi yang berasosiasi dengan aktivitas gunung api. Sedangkan pada sampel Mata Air Panas Belerang Ngumbul memiliki nilai nya yang berkisar -0,001 sampai dengan -0,01 kali kondrit. Pada sampel fluida ini tidak terjadi interaksi antar batuan vulkanik dengan fluida.



Gambar 7.11 Diagram lab-laba Sun dan McDonough (1989).

### 7.2.8. Arah Aliran Fluida Panas Bumi

Untuk mengetahui arah aliran fluida panas bumi di daerah Ngebel menggunakan empat jenis rasio, yaitu: rasio  $NH_4/B$ ,

Cl/SO<sub>4</sub>, Na/K dan SO<sub>4</sub>/HCO<sub>3</sub>. Rasio NH<sub>4</sub>/B digunakan untuk mengetahui fluida Reservoir telah mengalami “pemanasan oleh uap” (jika nilai rasio besar). Rasio Cl/SO<sub>4</sub> digunakan untuk mengetahui indikasi zona *upflow* (nilai rasio rendah), rasio Na/K dan SO<sub>4</sub>/HCO<sub>3</sub> memiliki fungsi yang sama dengan rasio Cl/SO<sub>4</sub> yaitu untuk mengetahui zona *upflow*, permeabilitas dan temperatur yang tinggi (Nicholson, 1993). Berdasarkan rasio unsur-unsur tersebut, maka dapat diinterpretasikan bahwa:

- NH<sub>4</sub>/B: *Mudpool* (MPL) mengalami pemanasan uap yang relatif besar dibandingkan dengan kedua manifestasi air panas Tirta Husada (MAP) dan Mata Air Panas Belerang Ngumbul (Ngumbul).
- Cl/SO<sub>4</sub>: mengindikasikan bahwa *Mudpool* (MPL) merupakan zona *Upflow* dan semakin kearah Mata Air Panas Tirta Husada (MAP) semakin mengarah ke zona *Outflow*.
- Na/K: mengindikasikan bahwa *Mudpool* (MPL) merupakan zona *Upflow*, sedangkan zona *Outflow* mengarah ke Mata Air Panas Tirta Husada (MAP).
- SO<sub>4</sub>/HCO<sub>3</sub>: mengindikasikan bahwa *Mudpool* (MPL) termasuk dalam zona *Upflow* dan mata air belerang Ngumbul (Ngumbul) merupakan zona *Outflow*.

**Tabel 7. 7.** Rasio unsur kation dan anion dari air manifestasi panas bumi daerah penelitian.

Nama Sampel	NH4 (ppm)	B (ppm)	Rasio (NH4/B)	Arah Aliran
MAP	1,89	18,23	0,103	↓ Steam Heated
Ngumbul	1,84	4,99	0,368	
MPL	3,97	0,65	5,646	

Nama Sampel	Cl (ppm)	SO4 (ppm)	Rasio (Cl/SO4)	Arah Aliran
MPL	149,33	2216,56	0,067	↑ <i>Upflow</i>
Ngumbul	387,17	27,42	14,119	↓ <i>Outflow</i>
MAP	1201,78	18,63	64,507	

Nama Sampel	Na (ppm)	K (ppm)	Rasio (Na/K)	Arah Aliran
MPL	44,80	10,40	4,307	↑ <i>Upflow</i> ↓ <i>Outflow</i>
Ngumbul	251,74	49,55	5,080	
MAP	690	112,70	6,122	

Nama Sampel	SO4 (ppm)	HCO3 (ppm)	Rasio (SO4/HCO3)	Arah Aliran
MPL	2216,56	0	~	↑ <i>Upflow</i> ↓ <i>Outflow</i>
MAP	18,63	350,95	0,053	
Ngumbul	21,42	826,75	0,025	

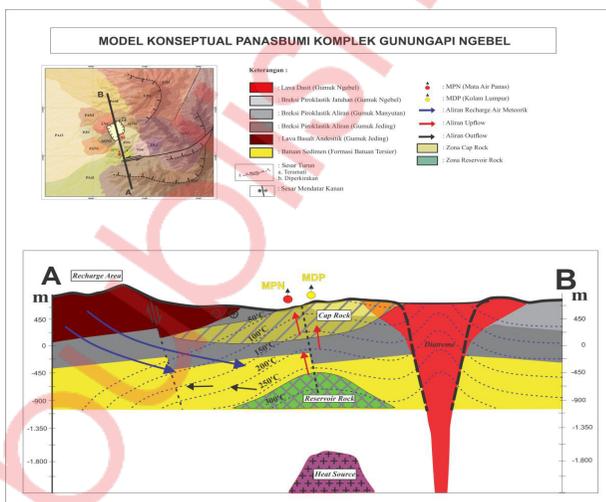
# BAB VIII

## MODEL KONSEPTUAL SISTEM PANAS BUMI

### BUMI

#### 8.1. Sistem Panas bumi Daerah Penindakanjutan

Sistem panas bumi daerah penelitian diidentifikasi berdasarkan pendekatan menggunakan data pemetaan geologi permukaan, analisis geokimia batuan dan fluida, analisis morfostratigrafi, dan data geofisika daerah referensi terdahulu di bagian timur daerah penelitian. Berdasarkan data tersebut kemudian diinterpretasikan bahwa sistem panas bumi daerah penelitian terdiri dari: sumber panas berasal dari aktivitas vulkanisme aktif dari Gunung Api Ngebel, Reservoar panas bumi merupakan batuan dari formasi batuan Tersier. Sedangkan *caprock* berupa lava basalt andesitik dan breksi piroklastik aliran dari Gunung Api Jeding dan jalur fluida panas bumi yang mengalirkan ke permukaan merupakan kelurusan sesar yang berada di sekitar daerah manifestasi Mata Air Panas Padusan dan Kolam Lumpur Banyulirang.



**Gambar 8.1.** Model konseptual sistem panas bumi Gunung Api Ngebel.

## 8.2. Sumber Panas

Sumber erupsi vulkanik dari satuan vulkanostratigrafi termuda dapat menunjukkan posisi sumber panas atau magma di kedalaman. Pada prinsipnya, energi panas mengalir secara konduktif tergantung pada karakteristik batuan vulkanik atau endapannya. Aliran panas secara konduktif ini dapat terjadi, walau tanpa adanya struktur terbuka yang dapat menjadi saluran perpindahan panas secara konvektif. Lava koheren masif adalah konduktor yang sangat baik. Hal ini meliputi batuan intrusi subvulkanik, leher vulkanik, kubah lava dan aliran lava di bawah permukaan. Selain itu magma yang bersifat basa cenderung memiliki kemampuan penghantar panas lebih baik dibanding magma yang bersifat asam.

Pada daerah telitian indikasi vulkanisme aktif dijumpai pada Gunung Api Ngebel yang memiliki sifat magma dasitik. Gunung Api Ngebel merupakan satuan vulkanik termuda yang terdapat pada di Kompleks Gunung Api Ngebel dan masih menunjukkan indikasi aktivitas Vulkanisme yang aktif. Hal ini ditandai dengan adanya fenomena gas belerang yang mencemari air di Danau Ngebel yang terjadi setiap setahun sekali (Gambar 8.2). Selain itu, pada daerah penelitian juga dijumpai adanya beberapa indikasi panas bumi di permukaan berupa manifestasi panas bumi seperti: mata air panas di daerah Padusan, kolam lumpur di daerah Talun dan mata air panas di daerah Ngumbul. Manifestasi Mata Air Panas Padusan dan kolam lumpur Talun tersebut berada di timur laut dari Danau Ngebel/Kawah Ngebel. Danau atau Kawah Ngebel inilah yang mewakili keadaan geologi dari Gunung Api Ngebel yang masih menunjukkan aktivitas Vulkanisme aktif. Dengan demikian, hal ini menunjukkan bahwa di bawah Kawah Ngebel terdapat sumber panas dari sistem panas bumi terutama yang terkait dengan beberapa manifestasi yang dijumpai di sekitar Kawah Ngebel.



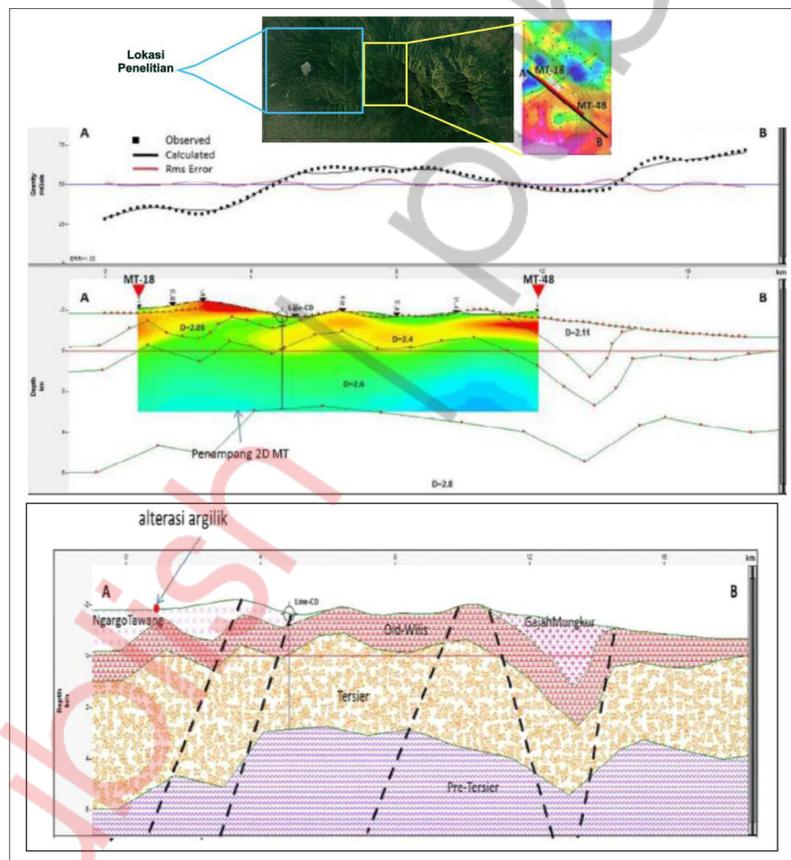
**Gambar 8.2.** Fenomena Air Kawah Ngebel yang dicemari gas belerang sebagai indikasi magmatisme Gunung Api Ngebel yang masih aktif.

### 8.3. Reservoir

Penentuan Reservoir dari sistem panas bumi daerah penelitian ditentukan berdasarkan data geologi, geokimia fluida dan geofisika. Berdasarkan data geokimia fluida (Gambar 8.3), menunjukkan bahwa hasil plot sampel air pada diagram *ternary* dari Cl-B-Li mengindikasikan bahwa Mata Air Panas Padusan menunjukkan komposisi fluida dominasi kandungan klorida (Cl) tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa fluida panas bumi tersebut berasal dari Reservoir.

Selain itu, fluida panas bumi pada Kolam Lumpur Banyulirang menunjukkan, bahwa komposisi kimia fluida didominasi oleh Boron (B) yang mengindikasikan, bahwa fluida telah berinteraksi dengan batuan sedimen. Pengayaan Boron yang terjadi pada Kolam Lumpur Banyulirang diperkirakan berkaitan erat dengan komposisi batuan sedimen yang dilewati, yakni Formasi Batuan Sedimen Tersier yang

mengandung batuan sedimen organik yang merupakan *bedrock* dari Gunung Api Wilis. Hal ini berkaitan dengan pernyataan Nicholson (1993) bahwa lapisan batuan sedimen dapat mempengaruhi konsentrasi Boron pada fluida panas bumi dan umumnya air yang berasosiasi dengan sedimen. Hal ini dikarenakan batuan sedimen mengandung kaya organik, sehingga memiliki konsentrasi Boron yang tinggi.



**Gambar 8.3.** Penampang Gaya Berat yang menampilkan kondisi bagian bawah permukaan Gunung Api Wilis bagian timur dari Kompleks Vulkanik Gunung Api Ngebel (ESDM, 2017).

Hal ini juga didukung dengan data geofisika (Gambar 8.4) yang menunjukkan adanya Formasi Batuan Sedimen Tersier di bawah Formasi Batuan Wilis. Selain hal itu kemudian dikorelasikan dengan data geologi regional lembar Madiun dari Hartono (1992) memperlihatkan bahwa Formasi Batuan Sedimen Tersier terdiri dari Formasi Mandalika yang merupakan batuan endapan produk dari Volkanisme Tersier, serta Formasi Jaten, Formasi Wuni, dan formasi batuan lain yang merupakan endapan sedimen darat hingga laut yang mengalami proses tektonik. Batuan-batuan tersebut kemudian membentuk porositas dan permeabilitas sekunder yang baik, sehingga dapat berfungsi sebagai batuan Reservoir panas bumi.

#### **8.4. Caprock**

Penentuan *caprock* dari sistem panas bumi di daerah penelitian ditentukan berdasarkan data geologi dan geofisika pada area Gunung Argokalangan yang berada di timur daerah penelitian (Gambar 8.4.). Berdasarkan data geofisika gaya berat memperlihatkan, bahwa dijumpai adanya Formasi Wilis Tua (Old Wilis) yang diinterpretasi berupa lava basalt-andesitik dan breksi piroklastik aliran dari Gunung Api Jeding yang telah mengalami alterasi argilik. Serta memiliki permeabilitas rendah, sehingga dapat berperan sebagai *caprock* yang bersifat kedap.

#### **8.5. Karakteristik Tipe Fluida Panas Bumi**

Pada daerah penelitian informasi mengenai karakteristik fluida panas bumi diperoleh dari analisis geokimia air pada manifestasi panas bumi, yaitu berupa sumber Mata Air Panas Padusan, Kolam Lumpur Banyulirang dan Mata Air Panas Ngumbul. Karakteristik tipe fluida panas bumi daerah penelitian adalah tipe klorida dan tipe sulfat. Sedangkan asal fluida berasal dari fluida meteorik, pencampuran fluida meteorik dengan fluida magmatik dan berasal dari fluida magmatik. Sedangkan maturitas fluida sistem panas bumi adalah *immature*. Selain hal itu menunjukkan, bahwa fluida panas bumi daerah penelitian memiliki kesamaan Reservoir. *Mudpool*,

Mata Air Panas Tirta Husada, Mata Air Panas Belerang Ngumbul, terletak pada satu Reservoar yang sama.

### **8.6. Suhu Reservoar**

Penentuan Reservoar sistem panas bumi daerah penelitian ditentukan berdasarkan data geokimia fluida. Data geokimia fluida yang diperoleh menunjukkan, bahwa air panas *mudpool*, Mata Air Panas Tirta Husada, Mata Air Panas Belerang Ngumbul memiliki temperatur Reservoar sekitar 260-310°C.

Unsur boron dikandung oleh Mata Air Panas Padusan dan mata air hangat Ngumbul sebesar 18.63 ppm dan 4.99 ppm. Hal tersebut dapat diinterpretasikan bahwa fluida ini telah berinteraksi dengan batuan sedimen. Kehadiran boron yang terdapat pada fluida berkaitan erat dengan komposisi batuan sedimen yang dilewati, yaitu Formasi Batuan Sedimen Tersier yang mengandung batuan sedimen organik dan merupakan *basement* dari Gunung Api Wilis. Nicholson (1993) menjelaskan bahwa lapisan batuan sedimen dapat mempengaruhi konsentrasi boron pada fluida panas bumi dan umumnya air yang berasosiasi dengan sedimen yang kaya organik akan memiliki konsentrasi boron yang tinggi.

Berdasarkan data geofisika (Gambar 8.4) menunjukkan adanya Formasi Batuan Sedimen Tersier di bawah Formasi Batuan Gunung Api Wilis. Bila dikorelasikan dengan data geologi regional lembar Madiun (Hartono, 1992), maka batuan sedimen Tersier tersebut terdiri dari Formasi Mandalika yang merupakan batuan endapan produk dari Volkanisme Tersier, serta Formasi Jaten, Formasi Wuni, dan formasi endapan sedimen darat hingga laut. Endapan ini mengalami proses tektonik yang kemudian membentuk porositas dan permeabilitas sekunder, sehingga satuan batuan tersebut sangat baik untuk Reservoar panas bumi dan berfungsi sebagai penyimpan fluida.

## BAB IX

### SIMPULAN

Aktivitas gunung api di Kompleks Gunung Api Wilis di bagian barat membentuk kelompok gunung api di daerah Danau Ngebel dan sekitarnya. Danau Ngebel merupakan salah satu bentuk morfologi depresi yang terisi air, yang sebelumnya merupakan kawah Gunung Api Ngebel. Gunung berapi ini adalah stratovolkano yang merupakan bagian dari rangkaian gunung berapi yang terletak di tengah Pulau Jawa. Menurut Hartono (1992) batuan vulkanik Gunung Api Wilis mulai terbentuk pada Pleistosen Awal hingga Pleistosen Akhir pada Periode Kuartar, atau  $\pm 1800-11$  kyr yang lalu. Di Pleistosen Awal membentuk gunung berapi Gunung Api Ngebel, Jeding, dan Klotok. Pada Pleistosen Tengah terbentuk endapan gunung berapi Gunung Gajahmungkur, serta pada Pleistosen Akhir terbentuk endapan Gunung Berapi Ngargokalangan. Gunung Api Ngebel ini berumur pleistosen awal dan membentuk sistem panas bumi dengan rencana pengembangan wilayah prospek panas bumi sebesar 20 MW. Kemudian di daerah ini dilakukan studi geologi gunung api, geologi panas bumi dan studi petrogenesis batuan vulkanik, sehingga diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pemetaan geologi, pengamatan singkapan batuan, vulkanostratigrafi dan karakteristik litologi, maka batuan daerah penelitian dibagi menjadi 4 kelompok endapan hasil letusan gunung api yaitu: kelompok batuan dari Gunung Api Jeding, Gunung Api Kemlandingan, Gunung Api Manyutan dan Gunung Api Ngebel.
2. Struktur geologi yang berkerja pada daerah penelitian merupakan struktur primer dan struktur sekunder. Struktur primer yang ditemukan berupa kekar kolom, sedangkan struktur sekunder berupa Sesar Mendatar Kiri Talun, dan Sesar Turun Kiri Ngebel.
3. Berdasarkan hasil analisis petrografi dan geokimia unsur utama batuan vulkanik di daerah penelitian dapat dibagi menjadi 4 jenis batuan beku vulkanik yang mewakili 4 gunung api yakni: *basaltic-*

andesitik (Gunung Api Jeding), andesit piroksen (Gunung Api Kemlandingan), andesit hornblende (Gunung Api Manyutan), dan dasit (Gunung Api Ngebel).

4. Gunung Api Ngebel memiliki afinitas magma berupa kalk-alkali. Afinitas kalk-alkali ini terbentuk pada lingkungan tektonik busur kepulauan kalk-alkali (*Island Arc Calc-alkaline*), dan termasuk ke dalam lingkungan *convergent*. Selain itu, keempat gunung api di kompleks Gunung Api Ngebel bersifat ko-magmatik atau *coherence*.
5. Berdasarkan analisis geokimia air: anion kation, REE dari mata air panas dan kolam lumpur menunjukkan keterkaitan dengan aktivitas panas bumi.
6. Karakteristik fluida panas bumi daerah penelitian di antaranya berupa tipe klorida dan tipe sulfat. Sedangkan asal fluida sistem panas bumi ini berasal dari air meteorik, pencampuran fluida meteorik dengan fluida magmatik dan berasal dari fluida magmatik. Sedangkan maturitas fluida termasuk dalam *immature*. Berdasarkan nilai rasio Na/K dan Mg/Ca, maka mata air panas dan kolam lumpur diidentifikasi merupakan aliran *upflow*.
7. Suhu Reservoir sistem panas bumi berkisar 260-310°C termasuk dalam sistem panas bumi bertemperatur tinggi.
8. Berdasarkan data geologi, data geokimia batuan dan fluida manifestasi, data geofisika dari penelitian terdahulu, maka dapat disusun model tentatif konseptual sistem panas bumi Ngebel, yakni meliputi: *heat source* yang berasal dari aktivitas Vulkanisme di bawah Gunung Api Ngebel yang masih aktif. Reservoir panas bumi berasal dari Formasi Batuan Sedimen Tersier, sedangkan batuan penudung berasal dari formasi batuan yang menyusun Gunung Api Jeding yang didominasi oleh lava basalt andesitik dan breksi piroklastik aliran. Jalur migrasi manifestasi yakni yang berasal dari kelurusan struktur patahan yang menerus di sepanjang lokasi manifestasi panas bumi yang berorientasi NE-SW.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1996. Sandi Stratigrafi Indonesia. Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, Jakarta
- Bemmelen, van, RW. 1949. *The Geology of Indonesia*. IA, Government Printing Office, Martinus Nijhoff, The Hague, 792 p
- Bowen N.L. 1928. *The Evolution of the Igneous Rocks*. Dover publications, New York, 332 pp
- Bronto, S. 2006. Fasies Gunungapi dan Aplikasinya. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 1 No. 2 Juni 2006: 59-71
- Curry J. R., Shor G., Raitt W. and Henry M. 1977. Seismic refraction and reflection studies of crustal structure of the eastern Sunda and western Banda arcs. *J. Geophys. Res.* 82, 2479-2489.
- De Genevraye, P. and L. Samuel. 1972. Geology of The Kendeng Zone (Central & East Java). *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association 1st Annual Convention and Exhibition*, p. 17-30
- Duyfjes, J. 1938. Toelichting bij blad 109 (Lamongan). Geol. Map of Java 1: 100,000. *Dienst Mijnb. Ned. Ind.*, Bandung.
- ESDM. 2017. Potensi Panasbumi di Indonesia, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, <http://ebtke.esdm.go.id/post/2017/09/25/1751/buku.potensi.panas.bumi.2017>
- Ewart, A. 1982. The Mineralogy and Petrology of Tertiary Recent Orogenic Volcanic Rocks: with Special Reference to the Andesitic-Basaltic Compositional Range. In *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*, R.S. Thorpe (ed.), Chichester Wiley, 26-87
- Fisher, R.V. 1979. Model for pyroclastic surge and pyroclastic flows. *J. Volcano/Geotherm. Res.*, 69: 341-355.
- Fournier, R.O. 1979. *A Revised Equation for the Na/K Geothermometers*. California: US Geology Survey
- Giggenbach, W.H. 1988. Geothermal Solute Equilibria Deviation of Na-K-Mg-Ca Geoindicator. *Geochemica Acta* 52

- Gill, J. B. 1981. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer-Verlag, 390 pp.
- Hutchison, C. S. 1989. *Geological Evolution of South-East Asia*. Oxford: Clarendon Press.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. and Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, 27: 745–750.
- Le Maitre, R.W. (editor), Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, M., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sørensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. & Zanettin, B. 1989. "A Classification of Igneous Rocks and a Glossary of Terms". Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford. p.193.
- Lunt, P. 1991. The Neogene geological history of East Java, some unusual aspects of stratigraphy. *Proc. 20th Ann. Conv. Indon. Assoc. Geol. (IAGI)*, p. 26-36.
- Hartono, U., Baharuddin and Brata, K. 1992. Geology of the Madiun Quadrangle, Jawa, 1: 100,000. *Geol. Res. and Dev. Centr., Indonesia*. 22 pp.
- Hartono, U. 1994. The Olivine, Pyroxene and Amphibole Chemistry From The Willis Volcano, East Jawa. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, vol. IV, Juni, 1994, p.7-19.
- Hamilton, W.B. 1979. *Tectonics of the Indonesia Region*. United States Geological Survey.
- Herdianita, N. R. dan Priadi, B. 2006. Manifestasi Permukaan Sistem Panas bumi Gunung Kendang–Angsana, Garut–Pameungpeuk, Jawa Barat. *Jurnal Geoaplika Volume 1*, Nomor 1, hal. 047-054.
- Herman, D.Z. 2009. Tinjauan Kemungkinan Sebaran Unsur Tanah Jarang (REE) di Lingkungan Panas Bumi (Contoh kasus lapangan panas bumi Dieng, Jawa Tengah). *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 4 No. 1 Maret 2009: 1-8

- Husein, S., A.D. Titisari, Y.R. Freski, dan P.P. Utama. 2016. *Buku Panduan Ekskursi Geologi Regional 2016*. Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, 63 hal.
- Howard. 1967. Drainage Analysis in Geological Interpretation A Summation. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. California
- Mackenzie, W.S., Donaldson, C.H., Guilford, C. 1982. *Atlas of Igneous Rocks and Their Textures*. Longman Group., Britania Raya, 88 p.
- McBirney, Alexander R. 1984. *Igneous Petrology*. San Francisco, Calif.: Freeman, Cooper. pp. 349–350. [ISBN 0198578105](#).
- Meschede, M. 1986. A Method of Discriminating Between Different Types Of Mid-Ocean Ridge Basalts and Continental Tholeiites With The Nb–Zr –Y Diagram. *Chemical Geology*, 56, 207–218
- Mullen, E. D. 1983. MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: A minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.* 62, 53-62
- Nicholson, K. 1993. *Geothermal Fluids*. Springer Verlag, Inc., Berlin
- Paramita Haty, I. 2014. *Penyelidikan Pendahuluan Manifestasi Panas bumi Ngebel Ponorogo, Jawa Timur*
- Peccerillo, A. & Taylor, S. R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58: 63-81
- Powell, T., dan Cumming, W. 2010. Spreadsheets for Geothermal Water And Gas Geochemistry. *PROCEEDINGS, Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford University, Stanford, California, February 1-3, 2010
- Pringgoprawiro, H. 1983. "Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara, Suatu Pendekatan Baru". Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Pulunggono and Martodjojo S. 1994. Perubahan Tektonik Paleogen-Neogen Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa. *Proc. Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa Sejak Akhir Mesozoik Hingga Kuartar*, ISBN: 979–8611–00–4, 37–50, 1-14.

- Putra, S.D.H., Rizki, R., Akbar, A.K. 2014. Volcanostratigraphic Study and its Implication to The Geothermal Resource Estimation of Mount Wilis, East Java. *Proceedings, 3rd International ITB Geothermal Workshop 2014*, Institut Teknologi Bandung, Indonesia, March 3-7, 2014
- Sillen, L.G., dan Martell, A.E. 1964. Stability constants of metal-ion complexes. *Chemical Society of London, Special Publication*, 17, 754 h.
- Simkin, T., and Siebert, L. 2018. *Volcanoes of the World*. Second Edition Geoscience Press, Inc., Tucson, Arizona, 349 pp., ISBN 0-945005-12-1.
- Sumosusastro, S. 1956. A Contribution to the Geology of Eastern Djiwo Hills and the Southern Range in Central Java. Department of Geology, Faculty of Science, University of Indonesia
- Surono, Toha, B. dan Sudarno, I. 1992. Peta geologi lembar Surakarta-Giritontro, Jawa, skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Smyth, H. 2005. East Java: Cenozoic Basins, Volcanoes, and the ancient basement. *Proceeding Indonesian Petroleum Association, 33th Annual Convention and Exhibition*.
- Smyth, H. 2005. "Eocene to Miocene Basin History and Volcanic Activity in East Java, Indonesia". Ph.D. Thesis, University of London, 470 p.
- Smyth H.R., Hall R., Nichols G.J. 2008. Cenozoic volcanic arc history of East Java, Indonesia: The stratigraphic record of eruptions on an active continental margin, in Draut, A.E., Clift, P.D., and Scholl, D.W., eds., Formation and Applications of the Sedimentary Record in Arc Collision Zones, *Geological Society of America Special Paper 436*, p. 199–222, DOI: 10.1130/2008.2436(10).
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C, Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M., and Priadi, B. 1994. Tertiary Magmatic Belts in Java". *Journal of Southeast Asia and Petrology*, 9, 13-27.

- Sun, S. S., and McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in the ocean basins (Saunders, A.D., and Norry, M.J., eds.) *Geological Soc. Special Publ.*, No 42, 313-345.
- Tissot Van Patot, A. 1926. De bouw van het Willis gebergte. *Jaarb. Top. Dienst*, 1925, 10 pp. Batavia
- Thompson, R. N. 1982. Magmatism of the British Tertiary volcanic Province. *Scott, f. Geol.*, 18: 49-107.
- Thornbury. 1954. *Principle of Geomorphology*. New York: John Willy & Sons Inc.
- Streckeisen, A. 1978. IUGS Subcommissions on the Systematics of Igneous Rocks. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Carbonatite and Melilitic Rocks. Recommendation and Suggestion. *Neues Jahrbuch fuer Mineralogie. Stuttgart*. Vol.134, p.1-14.
- Van Zuidam, R.A. 1985. *Aerial Photo-Interpretation In Terrain Analysis And Geomorphologic Mapping*. Smith Publishers. The Hague.
- Wheller, G.E., & Vame, R. 1986. Genesis of dacitic magmatism at Batur volcano, Bali, Indonesia: Implications for the origin of stratovolcano calderas. *J. Volcano/. Geotherm Res.*, 28: 363–378.
- Wilson, M. 1989. *Igneous Petrogenesis, a Global Tectonic Approach*. Unwin Hillman Ltd, 465 p.
- Yagi, K. 1953. Petrochemical studies on the alkalic rocks of the Morotu district. *Sakhalin Bull. Geol. Soc. Am.* 64, 769-810
- Yudiantoro, D.F., Suharwanto, Sayudi, D.S. 1994. *Petrologi dan Petrokimia Gunung Merapi Jawa Tengah*. Wimaya, No.20 Tahun XIII, Desember 1994, p.81-92.
- Yudiantoro, D.F. and Takashima I. 2018. Takashima Magmatism and Geothermal Potential in Pandan Volcano East Java Indonesia. *Jurnal Mineral, Energi dan Lingkungan*, <http://jurnal.upn.ac.id/index.php/JMEL>, Vol 2, No.2 2018 p. 50–60.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Buku ini merupakan sebuah karya yang sulit untuk diselesaikan oleh satu orang saja tanpa bantuan orang lain. Dengan demikian penyusunan buku ini telah melibatkan beberapa orang yang masing-masing mempunyai peran di dalamnya. Pertama, penulis menyampaikan terima kasih sedalam-dalamnya kepada beberapa mahasiswa bimbingan saya yang bekerja melakukan pemetaan geologi di daerah Gunung Api Ngebel dan sekitarnya, seperti Wisnu Ismunandar, Richzkey Muhammad, Demi Ganjar Sampurno, Aldi Irfan dan Rizal Matufani.

Kemudian menghaturkan terima kasih kepada anggota peneliti dari penelitian “Penyelidikan 3G terhadap Potensi Panas bumi Daerah Gunung Api Wilis Ngebel Jawa Timur” yang berasal baik dari Prodi Teknik Geologi (Ir. Puji Pratiknyo, M.T.; Intan Paramita Haty, S.T., M.T.), Prodi Teknik Kimia (Ir. Mahreni, M.T., Ph.D.), Prodi Teknik Perminyakan (Dr. Ir. Dyah Rini Ratnaningsih, M.T.), Teknik Geofisika (Hafidz Hamdalah, S.T., M.T.) Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Teknik Geologi ITB Bandung (Dr. Eng. Ir. Mirzam Abdurrachman, S.T., M.T.) dan Akita University (Prof. Isao Takashima) yang telah memberikan arahan konsultasi materi penelitian, serta penulisan buku ini.

Mengucapkan terima kasih pula kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta yang telah memberikan pendanaan mulai dari awal penelitian hingga penerbitan buku ini. Selain hal itu mengucapkan terima kasih kepada Badan Geologi Yogyakarta (BPPTKG) telah berkontribusi dalam penyediaan data sekunder, kemudian Laboratorium Hidrogeologi dan Hidrogeokimia ITB Bandung yang telah memberikan kontribusi analisis kimia air, serta Laboratorium Geothermal dan Petrografi Jurusan Teknik Geologi UPN “Veteran” Yogyakarta yang telah memberikan fasilitas laboratorium untuk melakukan preparasi dan analisis sampel batuan dan air selama berlangsung penelitian. Tidak akan terlupakan juga

ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu melancarkan kegiatan penelitian ini.

Akhirnya penulis menyadari bahwa tiada gading yang tak retak, bahwa buku ini banyak kekurangsempurnaannya. Untuk itu penulis dengan kerendahan hati dan tulus memohon maaf kepada pembaca. Segala kritik, saran dan komentar mengenai buku ini akan diterima dengan senang hati, serta dengan arif dan bijaksana.

Yogyakarta, 15 Februari 2023

Penulis

deepublish / Publisher

# Gunung Api dan Potensi Panas Bumi

Danau Ngebel Ponorogo Jawa Timur

Buku ini menjelaskan mengenai kondisi geologi gunung api daerah Ngebel dari Kompleks Gunung Api Wilis yang mempunyai potensi panas bumi. Penjelasan diawali dari kajian geologi regional Jawa Timur, dan kajian ini dimaksudkan untuk mengetahui posisi secara geologi daerah Danau Ngebel, baik fisiografi, stratigrafi dan struktur geologi. Kemudian membahas mengenai geologi gunung api, petrogenesis, magmatisme dan karakteristik panas bumi di daerah Gunung Api Ngebel.

Hasil akhir atau luaran dari penyusunan buku ini adalah informasi geologi gunung api terkait dengan produk letusan, petrogenesis, magmatisme dan potensi panas bumi di daerah Danau Ngebel. Penjelasan dari buku ini diharapkan akan dapat memberikan tambahan informasi geologi dalam mendukung tahapan eksplorasi panas bumi khususnya untuk wilayah Ngebel Jawa Timur, serta dapat dipergunakan sebagai tambahan ilmu pengetahuan terhadap proses pembelajaran mengenai gunung api terkait potensi panas bumi.



**Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)**

Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ cs@deepublish.co.id

🌐 Penerbit Deepublish

📱 @penerbitbuku\_deepublish

🌐 www.penerbitdeepublish.com



Kategori : Geologi

ISBN 978-623-02-5831-2



9

786230

258312