

Geologi dan Potensi Panas bumi di Kompleks Vulkanik Dieng

by Intan Paramitahaty

Submission date: 08-Sep-2021 07:35AM (UTC+0700)

Submission ID: 1643371904

File name: nduan_Kompleks_Vulkanik_Dieng_Revisi_pengajuan_HKI_dan_ISBN.docx (18.17M)

Word count: 15490

Character count: 93561

GEOLOGI DAN POTENSI PANAS BUMI DI KOMPLEKS VULKANIK DIENG

Oleh :

Intan Paramita Haty

Dwi Fitri Yudiantoro

Siti Umiyatun Choiriah

Armala Putri

Elisabet Magdalena

24

Buku ini telah memiliki Hak Cipta yang dikeluarkan oleh Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia dengan nomor EC00202135739 pada tanggal 29 Juli 2021

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	viii
GEOLOGI DAN POTENSI PANAS BUMI DI KOMPLEKS VULKANIK DIENG.....	1
1. Pendahuluan.....	1
2. Fisiografi.....	2
3. Tatanan Tektonik.....	3
4. Struktur Geologi.....	6
5. Geomorfologi.....	9
6. Stratigrafi.....	12
7. Perubahan Hidrotermal Bawah Permukaan.....	18
7.1. Intensitas Alterasi.....	18
7.2. Tipe Alterasi.....	19
7.3. Mineral Hidrotermal.....	19
8. Petrografi.....	21
9. Petrogeokimia.....	25
10. Citra Landsat.....	33
11. Data Geofisika.....	36
11.1. Geomagnet.....	41
12. Data Geokimia.....	45
12.1. Elemen Utama.....	45
12.2. Elemen Jejak.....	48
12.3. Geothermometer gas.....	49
12.4. Geokimia air.....	49
12.5. Isotop ^2H , ^{18}O dan ^{13}C	50
13. Asal Fluida.....	53
14. Sumber dan Reservoir Air Panas.....	53
15. Evolusi Magma.....	55
15.1. Evolusi Spasial Dan Temporal Magma DVC.....	55
15.2. Evolusi Magma Dan Sistem Panas Bumi.....	57

16. Model Konseptual Panas Bumi <i>Dieng Volcanic Complex</i>	58
17. Manifestasi Panas Bumi	63
17.1. Mata air panas	63
18. Potensi Geologi	70
18.1. Potensi Positif	70
18.2. Potensi Positif	71
19. Sejarah Geologi.....	73
20. Kesimpulan	75
DAFTAR PUSTAKA	78

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. Fisiografi Jawa Tengah dan Jawa Timur (Modifikasi Van Bemmelen, 1949) 3
- Gambar 2. Peta Setting Tektonik Terkini di Indonesia. Busur Sunda terbentuk karena lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara menunjam di bawah lempeng Eurasia. Pulau Jawa yang memanjang dari timur-barat sejajar dengan palung. Peta dari Puspito dkk. (1992) dalam (Agung Harijoko, dkk, 2010)..... 4
- Gambar 3. Peta sistematis yang menunjukkan umur dan sebaran gunung berapi di wilayah tersebut. Kompleks vulkanik Dieng, serta lokasi manifestasi dan sumur yang dipelajari (dimodifikasi dari IFSAR-DTM bidang panas bumi Dieng; data umur radiometrik berdasarkan [Boedihardi M, Suranto and Sudarman S 1991] dan [Harijoko A, dkk. 2016]; sumur dari pekerja sebelumnya adalah KPS-1 dari [Savitri K P. 2012], GLP-XX dari [Candraditya L, 2014], dan GRH-2 dari [Hidayat R. 2016] dalam MGJ Shalihin, dkk. 2020). 5
- Gambar 4. Peta skematis yang menunjukkan lokasi DVC sebagai bagian dari dua rantai vulkanik berarah Barat Laut-Tenggara: Dieng, Sundoro, Sumbing di barat; Ungaran, Telomoyo, Merbabu, Merapi di timur. (Agung Harijoko, 2016). 8
- Gambar 5. Peta struktur geologi regional dan sebaran gunung berapi di Pulau Jawa. Rantai vulkanik NW – SE di bagian Jawa Tengah mengikuti trend struktur geologi Pulau Jawa yang didominasi oleh NW – SE, SW – NE, dan E – W. Peta struktur geologi diadopsi dari Simandjuntak dan Barber (1996). DVC: Kompleks Vulkanik Dieng, Sdr: Sindoro, Sbg: Sumbing, Ung: Ungaran, Tlm: Telomoyo, Mrb: Merbabu, Mrp: Merapi. (Agung Harijoko, 2016). .. 8
- Gambar 6. Gambar DEM menunjukkan distribusi gunung berapi di dalam dan di sekitar DVC. Label hitam melambangkan bangunan vulkanik di dalam kaldera, label abu-abu melambangkan yang ada di dalam batas kaldera, dan label putih melambangkan yang di luar DVC. Sampel lava dikumpulkan dari gunung berapi di dalam DVC dan dari Kendang dan Rogojembangan. (Agung Harijoko, 2016). 9
- Gambar 7. Peta Geomorfologi Lapangan Dieng (M. Istiawan Nurpratama, dkk, 2015) 10
- Gambar 8. Citra satelit Kompleks Gunung Berapi Dieng dan sekitarnya. Hal ini menunjukkan bahwa DVC terletak di ujung utara rantai vulkanik Sumbing - Sindoro - Dieng yang berarah barat laut. Paritnya terletak di selatan. DVC terdiri dari gunung api Prahua yang memiliki struktur runtuh kaldera dan beberapa bangunan vulkanik di dalam struktur kaldera (Agung Harijoko, dkk, 2010)..... 12
- Gambar 9. Sukses bangunan vulkanik di dalam Kompleks Vulkanik Dieng. Sukses tersebut dibangun berdasarkan struktur kaldera, morfologi gunung berapi, dan data radiometrik. Data radiometrik berasal dari Boedihardi dkk. (1991) (Agung Harijoko, dkk, 2010). 13
- Gambar 10. Peta Geologi Lapangan Panas Bumi Dieng, Jawa Tengah (dimodifikasi dari Nurpratama dalam MGJ Shalihin, dkk. 2020)..... 15

- Gambar 11. Penampang melintang dari MG-1, 2, 3, dan 4 yang menunjukkan distribusi satuan litologi, dan isoterm suhu saat ini ($^{\circ}\text{C}$) (MGJ Shalihin, dkk. 2020).
..... 16
- Gambar 12. Peta geologi DVC, dimodifikasi dari (Sukhyar dkk., 1986 dalam (Agung Harijoko, 2016)). Modifikasi terutama untuk urutan stratigrafi berdasarkan data umur radiometrik Boedihardi dkk. (1991) dan hasil penanggalan K-Ar dan $40\text{Ar} / 39\text{Ar}$ baru dari penelitian ini..... 18
- Gambar 13. Contoh beberapa mineral indikator di bawah mikroskope petrografi. (A) Epidot sebagian menggantikan plagioklas. Ini menunjukkan suhu $> 250^{\circ}\text{C}$ (MG-1/855 m). (B) Epidot, klinozoisit, dan kuarsa terbentuk sebagai pengisi vug (MG-2/1600 m). (C) Terjadinya adularia sebagai mineral indikator permeabilitas tinggi (MG-3/2520 m). (D) Aktinolit adalah mineral indikator suhu tinggi. Ini menunjukkan suhu 280°C (MG-3/2937 m) (MGJ Shalihin, dkk. 2020)..... 21
- Gambar 14. Penampang melintang menunjukkan kejadian paling dangkal dari beberapa mineral hidrotermal penting, dan isoterm suhu saat ini ($^{\circ}\text{C}$) (MGJ Shalihin, dkk. 2020)...... 22
- Gambar 15. Contoh beberapa bukti megascopic dan petrografi mineral yang terbentuk oleh fluida asam di Dieng. (A) Massa dasar kaca dalam tufa (MG-3/900 m) diubah menjadi kuarsa pirofilit dan mikrokristalin. (B) Anhidrit terjadi sebagai pengisian rongga pada andesit (MG-3/1299 m). (C) Tekstur Leaching / pelarutan dalam fragmen tuf (MG-3/900 m) di mana cairan sulfat asam telah melarut penyusun utama batuan. (D) Native Sulfur telah mengendap di kedalaman dalam basal (MG-2-1060 m) (MGJ Shalihin, dkk. 2020)...... 22
- Gambar 16. Penampang melintang yang menunjukkan keberadaan batuan anhidrit, pirofilit, Native Sulfur, dan pelarutan (MGJ Shalihin, dkk. 2020)..... 23
- Gambar 17. Fotomikrograf sampel lava terpilih dari DVC. Kelompok lava basal bantalan Olivine diwakili oleh (a) Prau dan (b) Sidede. Kelompok lahar andesit piroksen (c) Panganan–Merdada dan (d) Pagerkandang. Kelompok lahar biotit andesit-dasit (e) Seroja, (f) Prambanan, (g) Kendil, dan (h) Pakuwaja. (Agung Harijoko, 2016). 25
- Gambar 18. Plot SiO_2 against alkalis. (a) Diagram total alkali silika. (b) Diagram $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$. Angka-angka ini menunjukkan bahwa magma gunung berapi DVC adalah kogenesis dan merupakan hasil diferensiasi (Agung Harijoko, dkk. 2016)...... 28
- Gambar 19. Diagram variasi elemen utama DVC. Plot yang menggunakan MgO dan rasio $\text{FeO}^* / \text{MgO}$ sebagai absis menunjukkan bahwa setiap episode vulkanik di DVC memiliki diferensiasi yang berbeda, yang menunjukkan bahwa setiap episode memiliki reservoir dan jalur magma sendiri-sendiri. 29
- Gambar 20. ALOS PALSAR berbasis Topografi wilayah DVC. Persegi panjang biru, merah, dan ungu masing-masing menunjukkan DVC, wilayah konsesi Dieng, dan wilayah prospek Candradimuka. Segitiga hitam dan titik merah

	menunjukkan ¹³ distribusi spasial pegunungan dan manifestasi panas Sumber: (BIG, 2006; Geo Dipa Energi, 2017b; JAXA / METI, 2010; Layman dkk., 2002; ESDM, 2017; Pambudi dkk., 2015 ; van Bergen dkk., 2000; Zen, 1971), Pemrosesan Data, 2018 (Astiasari,dkk. 2020).35
Gambar 21.	Peta overlay manifestasi panas bumi, anomali MT, garis isoterm pada elevasi permukaan laut dan sebaran gunung berapi di DVC. Ada hubungan spasial yang erat antara kawasan fumarolik, zona konduktivitas tinggi, dan zona produksi Lapangan Panas Bumi Dieng. Zona produksi terletak di bawah G. Panganan – Merdada dan G. Pagerkandang. (G adalah singkatan dari Gunung (dalam Bahasa Indonesia) yang artinya gunung berapi). Peta konduktivitas, garis isoterm dan zona produktivitas dari Layman dkk. (2002) (Agung Harijoko,dkk. 2016).....37
Gambar 22.	Persebaran nilai sudut kemiringan di daerah survei (Asri Wulandaria, dkk.2018).....39
Gambar 23.	Diagram Silika Alkali Total dari Le Bas dkk. (1986). A) Magma pra kaldera DVC menunjukkan rentang yang luas dari basaltik hingga dasit. B) Magma pasca-kaldera I menunjukkan komposisi yang luas dari basaltik hingga dasit mirip dengan tahap I atau pra-kaldera. C) Tahap terakhir atau pasca kaldera II magma menunjukkan komposisi yang lebih sempit dari andesitik ke dasitik.46
Gambar 24.	Plot AFM Irvine dan Baragar (1971).....47
Gambar 25.	Alkalinitas magma diwakili oleh diagram K ₂ O vs SiO ₂ . Peccerillo dan Taylor (1976). A dan B) Magma pra-kaldera dan pasca kaldera I menunjukkan alkalinitas dalam kisaran dari K sedang hingga K tinggi. C) Magma pasca kaldera II hanya berkekuatan tinggi (Agung Harijoko, dkk, 2010).....48
Gambar 26.	Diagram laba-laba elemen jejak dari DVC (Agung Harijoko, dkk, 2010). 49
Gambar 27.	Diagram FT-HSH fluida panas bumi Dieng (Rasi Prasetio,dkk. 2010).52
Gambar 28.	Isotop ¹⁸ O versus ² H di lapangan panas bumi Dieng (Rasi Prasetio,dkk. 2010).....53
Gambar 29.	Diagram Cl-HCO ₃ -SO ₄ menunjukkan air panas yang umumnya berjenis bikarbonat (Y. Ramadhan, dkk.2013).54
Gambar 30.	Diagram Cl-Li-B menunjukkan empat reservoir air panas yang berbeda (Y. ⁶ Ramadhan, dkk.2013).....54
Gambar 31.	Grafik yang menunjukkan hubungan antara isotop stabil air panas-18 ($\delta^{18}O$) dan δD di daerah penelitian (Y. Ramadhan, dkk.2013).55
Gambar 32.	Diagram laba-laba (spider) dari elemen jejak dinormalisasi NMORB (a) dan kondrit dinormalisasi (b). Diagram ini menunjukkan bahwa REE dan komposisi elemen jejak magma semua gunung berapi di DVC tidak dapat dibedakan. Artinya semua magma itu adalah cogenesis. Nilai NMORB dan Chondrite berasal dari Sun dan McDonough (1989). Simbolnya sama dengan yang digunakan pada Gambar 9. (Agung Harijoko, 2016).....56
Gambar 33.	Plot Ce / Yb vs. MgO. Semua lava DVC memiliki kisaran rasio Ce / Yb yang serupa, yang menunjukkan kesamaan sumber magma mereka. Tren

negatif kecil di episode kedua dan termuda mungkin karena proses diferensiasi. Simbolnya sama dengan yang digunakan pada Gambar 9. (Agung Harijoko, 2016).57

Gambar 34. Model konseptual sistem Dieng dengan struktur 'feeder' asam yang diamati dan disimpulkan diproyeksikan ke bagian NW-SE pusat; kontur bidang-T hanyalah perkiraan (Manfred P.Hochstein dan Sayogi Sudarman, 2015). 60

Gambar 35. Plot rasio kation mata air dan sampel sumur untuk berbagai sektor di Dieng (Manfred P.Hochstein dan Sayogi Sudarman, 2015).61

Gambar 36. Sketsa non-skala model geologi reservoir magma dangkal dalam kaitannya dengan sistem panas bumi suhu tinggi di DVC. Garis putus-putus mewakili suhu bawah permukaan. (Agung Harijoko, 2016).62

Gambar 37. Model sketsa tentatif panas bumi Dieng berarah utara - selatan, geologi didasarkan pada Condon dkk. (1996) dan observasi lapangan. (Y. Ramadhan, dkk.2013).63

Gambar 38. Potensi Panas Bumi di Dieng71

Gambar 39. Kawasan Wisata Dieng71

Gambar 40. Peta Rawan Bencana Dieng Volcanic Complex73

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Distribusi relatif mineral hidrotermal bawah permukaan dengan kedalaman (MGJ Shalihin, dkk. 2020).	20
Tabel 2. Unsur utama dan jejak lava DVC ditentukan dengan analisis XRF pelet bubuk. Nama sampel menunjukkan nama gunung berapi. SRJ: Seroja; PKW: Pakuwaja; KDL: Kendil; SKN: Sikunir; PBN: Prambanan; BCU: Bucu; PGN: Pongonan; PGK: Pager Kandang; SDD: Sidede; BSM: Bisma; NGS: Nagasari; PRH: Prau.	30
Tabel 3. Konsentrasi unsur jejak lava DVC ditentukan dengan analisis ICP-MS. Nama sampel sama dengan yang digunakan pada Tabel 2.	33
Tabel 4. Karakteristik Manifestasi Permukaan (Y. Ramadhan, dkk.2013).	50
Tabel 5. Analisis Geokimia Air (dalam mg / kg), Isotop Deuterium (δD), dan Oxygen-18 ($\delta 18O$) dalam ‰ (Y. Ramadhan, dkk.2013).	50
Tabel 6. Komposisi gas lapangan panas bumi Dieng (mmol/kg steam) (Rasi Prasetio, dkk. 2010).	52
Tabel 7. Perhitungan geothermometer gas (Rasi Prasetio, dkk. 2010).	52
Tabel 8. Rasio isotop di Lapangan Panas Bumi Dieng (o/oo).	53
Tabel 9. Kompilasi umur radiometrik titik api vulkanik DVC dan sekitarnya dalam kerangka episode vulkanik DVC.	73

GEOLOGI DAN POTENSI PANAS BUMI DI KOMPLEKS VULKANIK DIENG

1. Pendahuluan

Secara administratif, Dataran Tinggi Dieng berada di wilayah Kecamatan Batur dan sebagian di Kecamatan Pejawaran, Kabupaten Banjarnegara, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo, dan bagian selatan dari Desa Pranten, Kecamatan Bawang, Kabupaten Batang, dengan inti kawasan wisata berada pada wilayah Desa Dieng Kulon (di Banjarnegara) dan Desa Dieng ("Dieng Wetan" di Wonosobo). Elevasi Dataran Tinggi Dieng berada pada 1600 - 2100 mdpl dengan arah aliran permukaan ke barat daya, menuju ke lembah Sungai Serayu.

Sistem panas bumi vulkanik di Indonesia yang telah dikenali terdiri dari dua kelompok dengan menggunakan analisis fluida dan tatanan vulkanik (medan) sebagai diskriminan. Kelompok yang lebih besar mencakup sistem panas bumi yang dipanaskan oleh gunung berapi strato muda. Manifestasi termal sering ditopang oleh aliran advectif dari kondensat cair di bagian sisi lereng atas dan daerah kaki gunung berapi dengan relief tinggi. Kelompok yang lebih kecil mencakup 'sistem vulkanik *feeder (plug-type)*' yang menulik tajam dan dipanaskan oleh sistem konvektif yang berada di medan sedang. *Feeder* menyalurkan cairan asam ke permukaan dan memiliki afinitas dengan struktur '*vapour core*' (Manfred P.Hochstein dan Sayogi Sudarman, 2015).

Istilah 'sistem panas bumi vulkanik' digunakan untuk mendeskripsikan sistem perpindahan panas yang dipanaskan oleh pegunungan vulkanik muda yang melibatkan satu atau lebih dari berikut ini: beberapa *discharge* fluida dominan netral (pH) oleh aliran advectif di sisi lereng, beberapa tercampur *upflow* atau *outflow* fluida netral (pH) dari reservoir T tinggi konvektif, beberapa *discharge* oleh cairan magmatik dan cairan asam keluar dari saluran di wilayah puncak atau melalui saluran *feeder* curam yang menyalurkan kondensat asam dan jejak cairan magmatik (Manfred P.Hochstein dan Sayogi Sudarman, 2015).

Sistem panas bumi vulkanik yang terbentuk oleh 'sistem vulkanik' yang perpindahan panasnya terkait dengan produksi cairan magmatik, piroklastik, dan aliran

lava dari pusat pembuangan di dekat saluran dan kawah letusan. Lebih dari 20 sistem panas bumi vulkanik dieksplorasi di Indonesia antara tahun 1970 dan 2000 (Hochstein dan Sudarman, 2008). Sebagian besar prospek dikaitkan dengan gunung berapi dengan relief tinggi (terutama gunung berapi strato). Prospek yang dikembangkan dari jenis ini adalah Sibayak dan Ulubelu (Sumatera). Sekelompok kecil sistem panas bumi vulkanik terjadi di medan vulkanik sedang di mana kondensat asam dibuang oleh *feeder*, di-host dan dikelilingi oleh reservoir T tinggi konvektif. Contoh sistem tersebut adalah Lahendong (Sulawesi), Dieng dan Patuha (Jawa) yang memiliki kesamaan dengan sistem 'vapour-core' di Filipina (Reyes dkk., 1993 dalam Manfred P.Hochstein dan Sayogi Sudarman, 2015).

Pengembangan energi panas bumi baik dalam tahap eksplorasi maupun eksploitasi merupakan tugas yang menantang, mencakup berbagai bidang ilmu seperti geologi, geofisika, geokimia dan teknik. Selama eksploitasi energi panas bumi, pemahaman secara rinci tentang reservoir menjadi suatu keharusan agar suatu lapangan panas bumi dapat mencapai produksi yang berkelanjutan. Teknik geokimia, khususnya geokimia gas dan isotop, merupakan teknik yang dapat digunakan sebagai alat untuk menilai suhu bawah permukaan, fraksi uap (*steam fraction*), kesetimbangan mineral (*mineral equilibrium*) dan proses fisik lainnya di dalam reservoir seperti pendidihan (*boiling*) dan pencampuran (*mixing*), menggunakan data kimia dan isotop (Arnorsson, 2000). Metode isotop dan geokimia gas dapat digunakan untuk mengevaluasi sistem reservoir yang didominasi *liquid*, di lapangan panas bumi Dieng yang meliputi suhu bawah permukaan (geothermometer), fraksi uap dan proses fisik di reservoir (Rasi Prasetio, dkk. 2010).

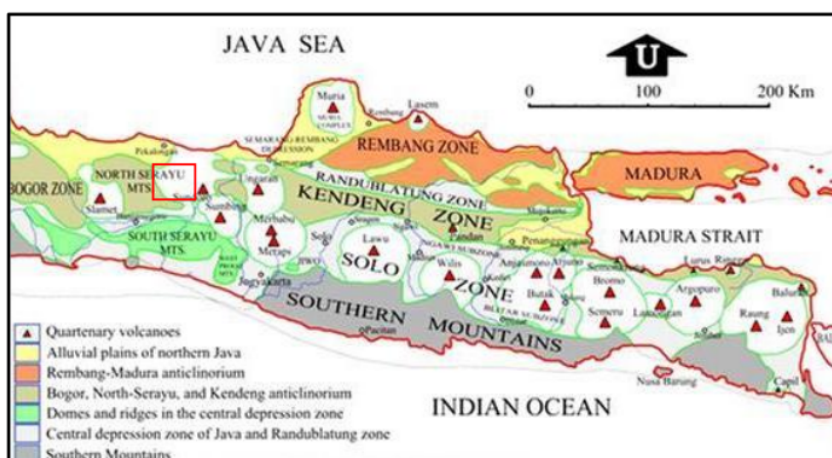
2. Fisiografi

Dieng Volcanic Complex (DVC) adalah kompleks vulkanik Kuartar yang terletak di Jawa Tengah, yang merupakan bagian dari busur vulkanik Sunda Kuartar. Busur tersebut telah aktif sejak Tersier sebagai akibat dari subduksi kerak samudera yang bergerak ke utara dari lempeng Indo-Australia di bawah lempeng Eurasia (Carlile dan Mitchel, 1994 dalam Agung Harijoko, dkk, 2010).

Setijadji dkk. (2006) mengklasifikasikan DVC sebagai gunung api sisi belakang sebagai bagian dari rantai vulkanik ganda yang terdiri dari gunung api Sumbing-Sindoro-Dieng. Aktivitas vulkanik di DVC dicirikan oleh struktur kaldera

dengan beberapa bangunan vulkanik di dalam kaldera. Penanggalan umur radiometrik dengan metode K-Ar menunjukkan bahwa batuan tertua yang meletus dari DVC sekitar 3,6 Ma, sedangkan yang termuda 0,07 Ma (Boedihardi dkk., 1991 dalam Agung Harijoko, dkk, 2010).

Berdasarkan fisiografi Jawa, Van Bemmelen (1949) (Gambar 1) memasukkan DVC di Pegunungan Serayu Utara yang tersusun dari batuan sedimen Eosen hingga Pleistosen, sedangkan batuan vulkanik berada sebagai bagian dari Formasi Jembangan Pliosen Tengah. Yang terakhir ini ditutupi oleh endapan vulkanik dari DVC (Condon dkk., 1976 dalam Agung Harijoko, dkk. 2016).

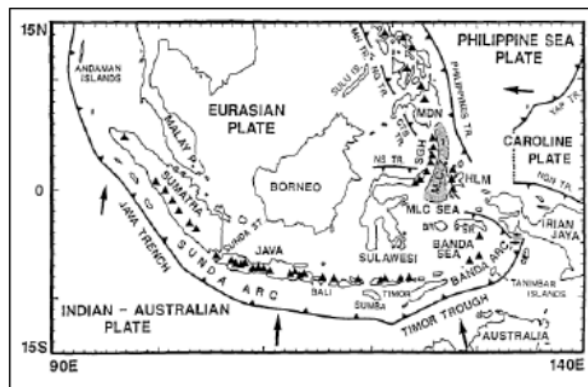


Gambar 1. Fisiografi Jawa Tengah dan Jawa Timur (Modifikasi Van Bemmelen, 1949)

3. Tatanan Tektonik

Pulau Jawa terletak di bagian tengah busur vulkanik Sunda yang terbentuk akibat subduksi kerak samudera Indo-Australia yang bergerak ke utara di bawah lempeng Eurasia yang memanjang dari Pulau Andaman ke timur melalui Sumatera, Jawa, Bali hingga Pulau Flores (Hamilton, 1978). Ketebalan lempeng Eurasia di bawah Sumatera sampai Jawa sekitar 20 sampai 30 km (Ben-Avraham dan Emery, 1973; Curray dkk., 1977; Whitford, 1975) dan berjarak sekitar 18 km dekat Bali. Lempeng subduksi merupakan lempeng samudera dengan umur dari ~ 80 Ma sampai ~ 130 Ma berkisar dari Sumatera sampai Jawa (Plank dan Langmuir, 1998; Widiyantoro dan van der Hilst, 1996). Laju subduksi lempeng Indo-Australia di bawah Eurasia

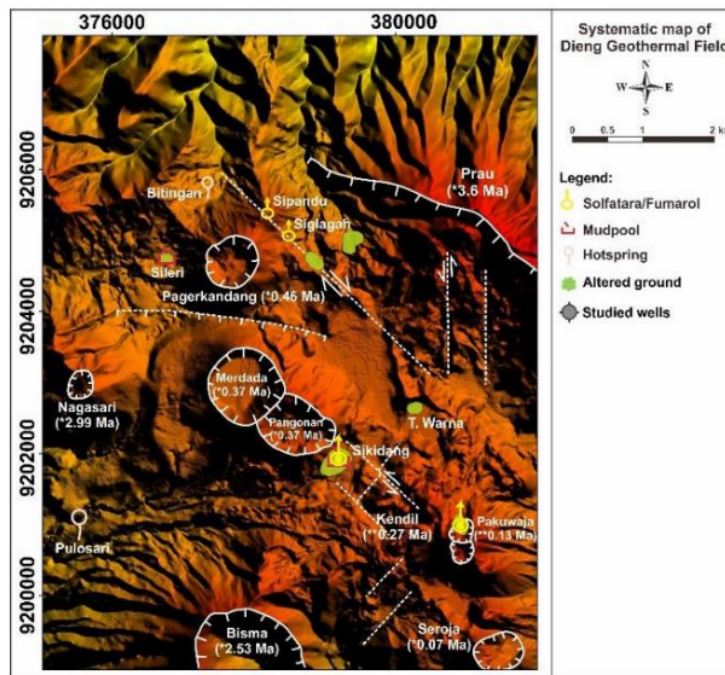
adalah 6 sampai 7 cm / tahun (DeMets dkk., 1990; Tregoning dkk., 1994, Simandjuntak dan Barber, 1996). Ada dua konfigurasi berbeda dari sistem subduksi ini. Selama subduksi Kapur diperpanjang dari Sumatera ke Jawa Tengah ke Kalimantan Timur, dan sejak Tersier Awal hingga Akhir-akhir ini, subduksi telah meluas ke timur Jawa terus ke busur Banda (misalnya, Katili, 1975; Hamilton, 1979; Carlile dan Mitchell, 1994; Metchalfe, 1996). Oleh karena itu, beberapa peneliti percaya bahwa lempeng utama di Jawa bagian barat termasuk kerak benua Sundaland sedangkan kerak dari Jawa bagian timur dan seterusnya adalah peralihan ke kerak samudera (Miyazaki dkk., 1998; Carlile dan Mitchell, 1994; Simandjuntak dan Barber, 1996). Batas kerak benua di bawah Jawa berada di sekitar Kebumen dimana batuan melange tersingkap di daerah ini ke arah timur laut sampai Kalimantan Timur (Gambar 2) (Hamilton, 1978 dalam Agung Harijoko, dkk, 2010).



Gambar 2. Peta Setting Tektonik Terkini di Indonesia. Busur Sunda terbentuk karena lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara menunjani di bawah lempeng Eurasia. Pulau Jawa yang memanjang dari timur-barat sejajar dengan palung. Peta dari Puspito dkk. (1992) dalam (Agung Harijoko, dkk, 2010).

Pulau Jawa dipengaruhi oleh gaya tekan (*compressional forces*) yang berkerkaitan dengan orogenesis Sunda di Neogen akhir yang menghasilkan intrusi plutonik dan pengangkatan busur vulkanik. Lapangan Dieng adalah bagian dari *Dieng Volcanic Complex* yang terdiri dari bagian rantai vulkanik Kuartar berarah NW-SE, termasuk kerucut Gunung yang lebih muda. Sundoro dan Sumbing. Menurut penelitian sebelumnya, lapangan Dieng terletak di dataran tinggi yang memiliki ketinggian berkisar antara 1.600- 2.100 mdpl, dikelilingi oleh puncak gunung berapi setinggi 2.200-2.565 m dpl. Lapangan Dieng terdiri dari kompleks *strato-cones* kuartar akhir

hingga vulkanik pada masa ini, *parasitic vents*, dan ledakan kawah. Aktivitas vulkanik tertua yang diketahui membentuk tepi *Dieng Volcanic Complex*. Disebutkan pula bahwa sisa-sisa kaldera kuno Gn. Prahau di tepi timur menandai fase tertua dari kompleks vulkanik. Pusat letusan yang lebih kecil kemudian muncul di bagian barat daya kaldera kuno. Pusat letusan dari Barat Laut sampai Tenggara adalah Pagerkandang, Panganan-Merdada, dan Pakuwaja. Berdasarkan penanggalan radiometrik, dapat disimpulkan bahwa gunung berapi tertua di *Dieng Volcanic Complex* adalah Prahau, Nagasari, dan Bisma yang aktif selama Pliosen Akhir. Selama Pleistosen Akhir, setelah letusan gunung berapi besar di Gn. Prahau, beberapa pusat vulkanik (Pagerkandang dan Panganan-Merdada) muncul di dalam daerah antara Prahau, Nagasari, dan Bisma. Fase terakhir kompleks ditandai dengan produk vulkanik Kendil, Pakuwaja, dan Seroja di bagian Tenggara sebagai produk termuda kompleks. Peta sistematis yang menunjukkan umur dan sebaran gunung berapi di dalam kompleks gunung berapi Dieng, serta lokasi manifestasi dan sumur yang dipelajari, disajikan pada Gambar 2 (MGJ Shalihin, dkk. 2020).



Gambar 3. Peta sistematis yang menunjukkan umur dan sebaran gunung berapi di wilayah tersebut. Kompleks vulkanik Dieng, serta lokasi manifestasi dan sumur yang dipelajari (dimodifikasi dari IFSAR-

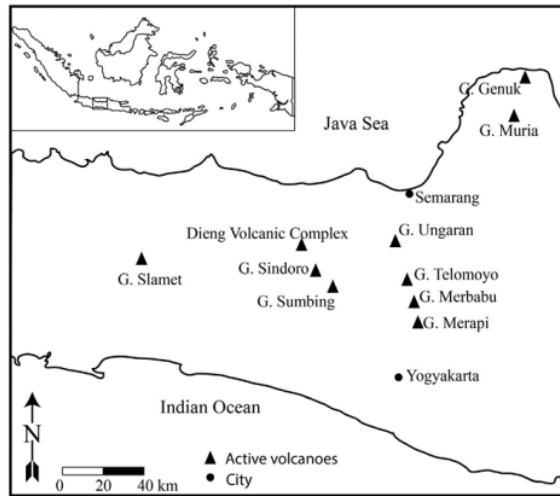
DTM bidang panas bumi Dieng; data umur radiometrik berdasarkan [Boedihardi M, Suranto and Sudarman S 1991] dan [Harijoko A, dkk. 2016]; sumur dari pekerja sebelumnya adalah KPS-1 dari [Savitri K P. 2012], GLP-XX dari [Candraditya L, 2014], dan GRH-2 dari [Hidayat R. 2016] dalam MGJ Shalihin, dkk. 2020).

Dieng Volcanic Complex telah terbentuk oleh kerucut strato vulkanik, kawah eksplosif, *parasitic vent*, dan juga hidrotermal aktif yang berasal dari pertemuan dua zona rekahan utama. Zona rekahan berarah timur-barat, memanjang ke arah barat dari Pegunungan Dieng 50 km hingga Gunung Slamet dan terdiri dari deretan kerucut muda termasuk Gunung Sindoro-Sumbing yang membentang ke tenggara Pegunungan Dieng sepanjang 25-35 km. (Zen MT, 1971; Dan Miller C dkk., 1983). Kompleks Gunungapi Dieng juga terdiri dari tiga episode, yaitu episode pra kaldera, episode pasca kaldera, dan episode sekarang. Salah satu gunungapi yaitu Gunungapi Pagerkandang yang termasuk dalam episode pasca kaldera dimana aktivitas vulkanik berkembang di dalam kaldera. Gunungapi Pagerkandang memiliki kawah di bagian utara, dan terdapat manifestasi panas bumi (solfatara dan fumarol) yang tersebar di sepanjang bagian dalam dan luar kawah. Sebagian besar aktivitas hidrotermal berhubungan dengan kawah eksplosif, kelurusan tektonik, atau zona rekahan di Kompleks Vulkanik Dieng. Menurut Jacobson (1970) dalam Zen MT (1971), berdasarkan survei geofisika kelistrikan, daerah termal yang digariskan oleh manifestasi permukaan dan sabuk dengan resistivitas rendah anomali yang berhubungan dengan kelurusan berarah barat laut - tenggara. Sabuk termal tersebut bertepatan dengan zona kelurusan gunung berapi yang membentang dari Pakumadja hingga Pagerkandang. Daerah penelitian didominasi oleh material pasca letusan kaldera, seperti andesit olivin, andesit hornblende, dan andesit biotit (Dan Miller C dkk., 1983). Proses alterasi mengubah batuan vulkanik menjadi mineral lempung yang memiliki daya hantar tinggi (resistivitas rendah). Batuan yang terubah dilapisi oleh mineral belerang dan ditemukan di sekitar manifestasi. Mineral ini memberikan informasi penting tentang jenis dan lokasi sistem sumber panas bumi Dieng (Asri Wulandaria, dkk.2018).

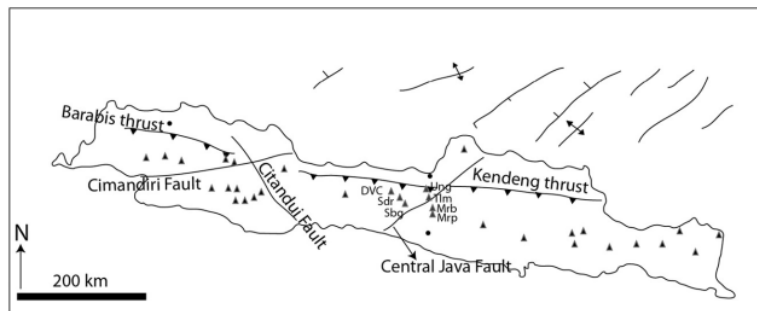
4. Struktur Geologi

Busur vulkanik Kuartar terbentuk sebagai hasil subduksi ortogonal dari lempeng Indo-Australia di bawah lempeng Eurasia dan telah aktif sejak Awal Kenozoikum (Hamilton, 1979). Subduksi ortogonal ini membentuk struktur geologi

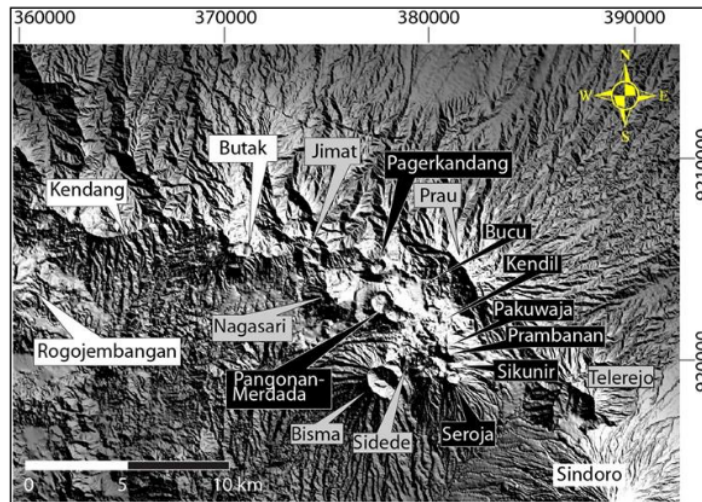
di Jawa. Struktur utama dicirikan oleh arah sejajar E-W ke strike subduksi, membentuk *thrust faults* berarah E – W di Kendeng–Barabis (Gambar 5). Dalam rezim tekanan kompresi ini, sesar strike slip utama (*major strike slip fault*) dari tren NE-SW dan NW-SE dikembangkan (Simandjuntak dan Barber, 1996). Sesar geser (*strike slip fault*) berarah NW diinterpretasikan sebagai faktor pengendali sebaran gunung berapi, khususnya di Jawa Tengah. Gunung berapi di Jawa Tengah tersebar di sepanjang tren Barat Laut (yaitu, jalur Sumbing – Sindoro – DVC dan Merapi – Merbabu – Telomoyo – Ungaran) (Gambar 4). DVC terletak di ujung barat laut rantai vulkanik Kuartar berarah Barat Laut dari Sumbing – Sindoro – DVC. Sesar *extension* disekitar DVC dimanifestasikan dengan terjadinya emas pembawa urat kuarsa di daerah Petung Kriyono, yang terletak sekitar 15 km barat laut dari DVC (Suryandari, 2007). DVC ditandai dengan terjadinya struktur arkuata Prau, yang sebelumnya diinterpretasikan sebagai struktur kaldera (misalnya, Sukhyar dkk., 1986; Bogie dkk., 2010) (Gambar 6). Struktur arkuata yang disimpulkan sebagai dinding kaldera hanya tersisa di bagian utara. Namun, jika DVC dianggap terletak di atas persimpangan sesar, dapat diartikan sebagai alternatif terbentuk karena keruntuhan gunung berapi-tekonik yang disebabkan oleh letusan dan tidak murni dibentuk oleh letusan pembentuk kaldera (Agung Harijoko, dkk, 2016.)



Gambar 4. Peta skematis yang menunjukkan lokasi DVC sebagai bagian dari dua rantai vulkanik berarah Barat Laut-Tenggara: Dieng, Sundoro, Sumbing di barat; Ungaran, Telomoyo, Merbabu, Merapi di timur. (Agung Harijoko, 2016).



Gambar 5. Peta struktur geologi regional dan sebaran gunung berapi di Pulau Jawa. Rantai vulkanik NW – SE di bagian Jawa Tengah mengikuti trend struktur geologi Pulau Jawa yang didominasi oleh NW – SE, SW – NE, dan E – W. Peta struktur geologi diadopsi dari Simandjuntak dan Barber (1996). DVC: Kompleks Vulkanik Dieng, Sdr: Sindoro, Sbg: Sumbing, Ung: Ungaran, Tlm: Telomoyo, Mrb: Merbabu, Mrp: Merapi. (Agung Harijoko, 2016).



Gambar 6. Gambar DEM menunjukkan distribusi gunung berapi di dalam dan di sekitar DVC. Label hitam melambangkan bangunan vulkanik di dalam kaldera, label abu-abu melambangkan yang ada di dalam batas kaldera, dan label putih melambangkan yang di luar DVC. Sampel lava dikumpulkan dari gunung berapi di dalam DVC dan dari Kendang dan Rogojembangan. (Agung Harijoko, 2016).

5. Geomorfologi

Menurut Nurpratama, M. Istiawan, dkk, (2015), Satuan geomorfologi (Gambar

3) Lapangan Dieng adalah:

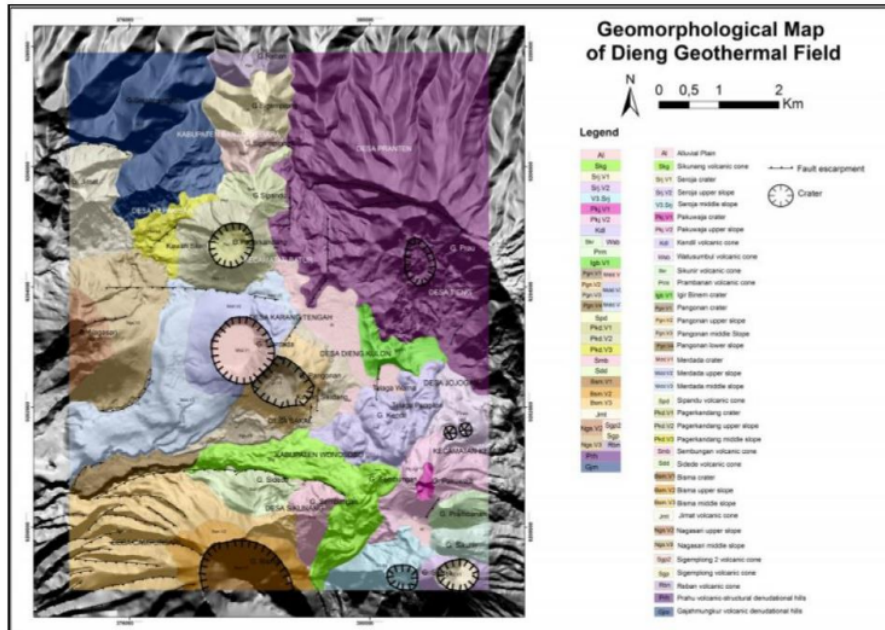
1) Unit kerucut vulkanik.

Ada 20 kerucut gunung berapi yang teridentifikasi di lapangan Dieng yaitu: Gn. Sikunang; Gn. Seroja; Gn. Pakuwaja; Gn. Kendil; Gn. Watusumbu; Gn. Sikunir; Gn. Prambanan; Gn. Igirbinem; Gn. Pangonan; Gn. Merdada; Gn. Sipandu; Gn. Pangerkandang; Gn. Sembungan; Gn. Sidede; Gn. Bisma; Gn. Nagasari; Gn. Jimat; Gn. Reban; Gn. Sigemplong 1; Gn. Sigemplong 2,

2) Satuan struktural-denudasional Gn. Prau

3) Satuan denudasional Gn. Gajahmungkur

4) Satuan dataran aluvial.



Gambar 7. Peta Geomorfologi Lapangan Dieng (M. Istiawan Nurpratama, dkk, 2015)

Penamaan satuan geomorfologi merujuk pada penelitian Lobeck dalam buku yang berjudul *Geomorphology in volcanoes* chapter. Terdapat 4 satuan yaitu : Satuan Kerucut Sinder, Satuan Dataran Lava, dan Satuan Punggungan Dinding Kaldera, serta Satuan Aliran Lava Kresna (Dwi Payana dan Agung Harijoko, 2016).

Dataran Tinggi Dieng termasuk ke dalam Zona Serayu Utara yang dibatasi sebelah barat oleh Daerah Karang Kobar dan sebelah timur dibatasi oleh Daerah Ungaran (van Bemmelen, 1949) serta dijelaskan juga dalam literatur oleh Pardiyanto (1979).

Menurut Pardiyanto (1970), geomorfologi daerah Dataran Tinggi Dieng dan sekitarnya bisa dibedakan menjadi 2 satuan:

1) Daerah Pegunungan, daerah ini melingkupi hampir seluruh bagian tepi. Terdiri dari gunungapi yang tersusun dalam satu kelurusan, diantaranya Gunung Srodoja, Gunung Kunir, Gunung Prambanan, Gunung Pakuwadja, Gunung Kendil, Gunung Butak, Gunung Patarangan, Gunung Prahua, Gunung Patakbanteng, Gunung Djurangsawah, Gunung Blumbang, dan beberapa kubah soliter seperti Gunung Bisma dan Gunung Nagasari. Semuanya berbentuk *stratovolcano*, umumnya gunung yang ada di daerah ini mempunyai kawah terbuka. Untuk Gunung Srodoja

mempunyai kawah ganda, yang tertua berbentuk seperti tapal kuda, terbuka ke arah timur, dan yang termuda berbentuk melingkar. Gunung Pakuwadja mempunyai kawah kembar, keduanya berbentuk melingkar.

- 2) Daerah Dataran Tinggi (*Plateau*), daerah ini terletak diantara barisan gunungapi dan kubah soliter, umumnya telah diisi material vulkanik. Terdiri dari Dataran Tinggi Dieng, Dataran Tinggi Batur dan Dataran Tinggi Sidongkal.

Dataran Tinggi Dieng, berada sekitar 2000 m di atas permukaan laut, dikelilingi oleh Gunung Prahau dan sebagian dari Gunung Pakuwadja, Gunung Kendil, Gunung Pangonan, dan Gunung Sipandu. Mempunyai beberapa danau atau telaga, diantaranya Telaga Warna, Telaga Pengilon, Telaga Terus, Telaga Lumut, Telaga Balekambang. Telaga Warna dan Telaga Pengilon berasal dari satu badan yang dipisahkan oleh punggung yang terbentuk dari Lava Gunung Kendil, telaga ini berasal dari satu kawah yang kemudian diisi oleh air yang berasal dari pembendungan Sungai Tulis oleh aliran lava.

Dataran Tinggi Batur, mempunyai ketinggian sekitar 1600 meter dari permukaan laut, dikelilingi oleh Gunung Bisma, Gunung Nagasari dan bagian dari Gunung Djimat, Gunung Petarangan. Dataran tinggi ini terbuka ke arah barat, menurut Gunawan (1968) op. cit. Pardiyanto (1970) dataran tinggi ini hadir karena Blok Ratamba bergerak secara vertikal, yaitu bagian dari utara telah ditutupi oleh material vulkanik, Blok Ratamba ini bisa dilihat dari daerah perbukitan Gunung Bisma. Daerah Ratamba secara kenampakan morfologi terlihat lebih tinggi.

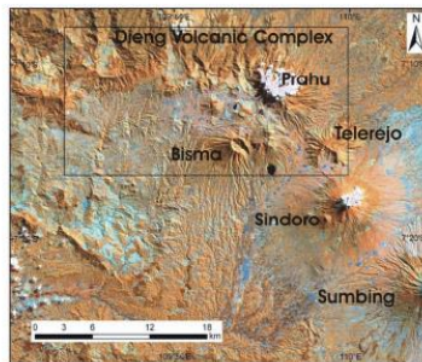
Dataran Tinggi Sidongkal, mempunyai ketinggian sekitar 1800 meter diatas permukaan laut, dikelilingi oleh Gunung Klaras, Gunung Alang, Gunung Petarangan, dan Gunung Butak, daerah ini merupakan daerah depresi.

Daerah Dieng umumnya mempunyai aliran sungai *radial* (melingkar) yang berasal dari aliran ketinggian gunungapi, selain itu tampak pula pola aliran *pinnate* (menjarum) yang bisa dilihat pada daerah di barat daya. Kelurusan secara umum mempunyai kelurusan yang berasal dari punggung pada daerah selatan yang berarah utara-selatan. Kebanyakan air terjun yang ditemukan karena kehadiran dari aliran lava (Pardiyanto, 1979).

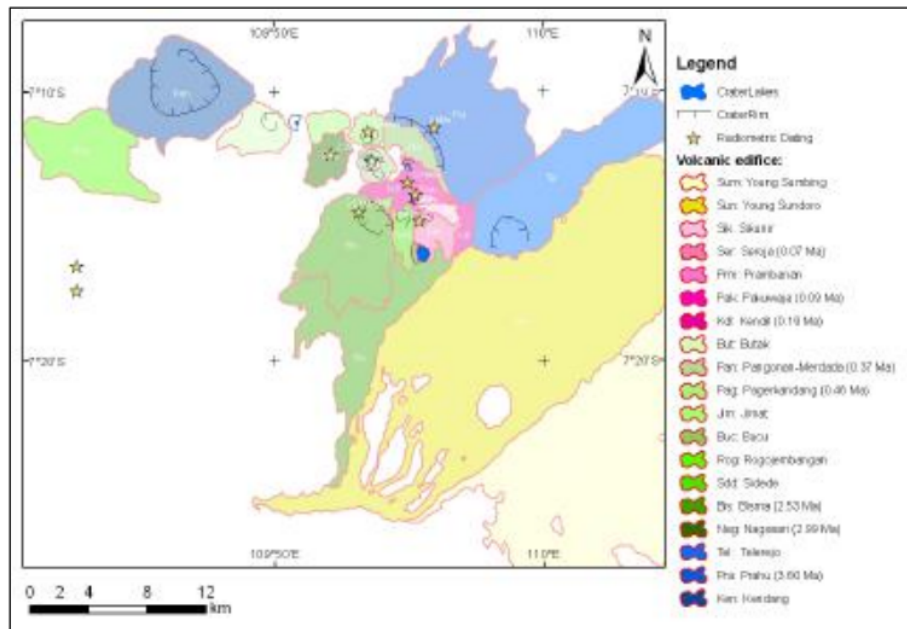
6. Stratigrafi

DVC terletak di dataran tinggi yang luas dengan ketinggian sekitar 2000 mdpl terdiri dari beberapa periode vulkanik yang terbentuk dalam struktur kaldera dengan dimensi sekitar 14 x 6 km² (Gambar 8). Struktur kaldera terlihat paling jelas di bagian sisi barat gunung berapi Prahū. Stratigrafi dieng tersusun oleh napal Tersier, batugamping, batupasir tufa dan vulkanik (Sukhyar, 1994 dalam Van Bergen, 2000). Periode vulkanik DVC dapat dikelompokkan menjadi pra-kaldera (~ 3 Ma), pasca-kaldera I (~ 2 - 1 Ma) dan pasca-kaldera II, atau tahap terakhir (<1 Ma), berdasarkan hubungannya dengan struktur kaldera dan distribusi serta umur radiometriknya (Gambar 9). Data umur radiometrik ditentukan dengan metode penanggalan K-Ar (Agung Harijoko, dkk, 2010).

1. Tahap pra kaldera terdiri dari Prahū, Rogojembangan dan Telerejo. Puncak evolusi magma merupakan letusan eksplosif dari struktur kaldera pembentuk Prahū.
2. Tahap periode kedua atau tahap Pasca Kaldera I terdiri dari Nagasari (2,99 Ma), Bisma (2,53 Ma), Sidede, Bucu, dan Jimat.
3. Periode terakhir atau Pasca Kaldera II meliputi Pagerkandang (0,46 Ma), Panganan Merdada (0,37 Ma), Butak, Kendil (0,19 Ma), Pakuwaja (0,09 Ma), Prambanan, Seroja (0,07 Ma), dan Sikunir.



Gambar 8. Citra satelit Kompleks Gunung Berapi Dieng dan sekitarnya. Hal ini menunjukkan bahwa DVC terletak di ujung utara rantai vulkanik Sumbing - Sindoro - Dieng yang berarah barat laut. Paritnya terletak di selatan. DVC terdiri dari gunung api Prahū yang memiliki struktur runtuh kaldera dan beberapa bangunan vulkanik di dalam struktur kaldera (Agung Harijoko, dkk, 2010).



Gambar 9. Suksesi bangunan vulkanik di dalam Kompleks Vulkanik Dieng. Suksesi tersebut dibangun berdasarkan struktur kaldera, morfologi gunung berapi, dan data radiometrik. Data radiometrik berasal dari Boedihardi dkk. (1991) (Agung Harijoko, dkk, 2010).

Klasifikasi vulkanostratigrafi adalah pengelompokan sistematis batuan vulkanik / tubuh endapan atau lapisan, yang memungkinkan seseorang untuk lebih sederhana dalam mendeskripsikan, menyusun dan menentukan hubungan timbal balik antara batuan vulkanik / lapisan endapan. Ada dua jenis satuan vulkanostratigrafi, yaitu nama formal dan nonformal. Nama formal adalah satuan vulkanostratigrafi yang mengikuti persyaratan Kode Stratigrafi Indonesia. Nama non-formal tidak memenuhi persyaratan kode ini. Penamaan unit vulkanostratigrafi informal seharusnya tidak menimbulkan kebingungan dalam kaitannya dengan nama formal. Jajaran satuan formal vulkanostratigrafi, dari tinggi ke rendah, masing-masing adalah Arc, Super Brigade, Brigade, Crown, dan Hummock (S Bronto, dkk, 2016).

Pembagian stratigrafi batuan bawah permukaan terbagi menjadi produk vulkanik Dieng Tua, Dieng Tengah, dan Dieng Muda. Geologi permukaan detail di Lapangan dieng dijelaskan oleh M. Istiawan Nurpratama, dkk, (2015) di mana 23 produk vulkanik diakui. Penanggalan umur dan geokimia batuan bawah permukaan tidak dilakukan selama penelitian ini, oleh karena itu hubungan stratigrafi bawah permukaan

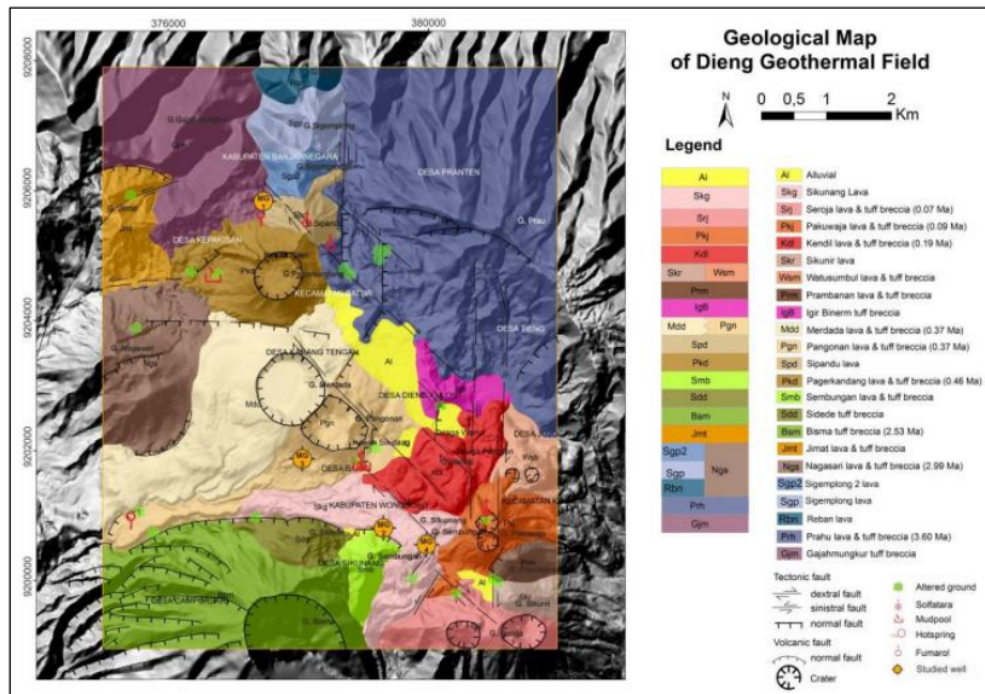
diinterpretasikan berdasarkan pengamatan pada karakteristik dan asosiasi spasial batuan dengan hasil vulkanik yang mengacu pada pembagian yang lebih sederhana (Sukhyar R, Sumartadipura N S, dan Effendi W, 1986 dalam MGJ Shalihin, dkk, 2020).

Secara umum, stratigrafi bawah permukaan tersusun dari basaltik - lava andesitik dan batuan piroklastik. Analisis petrografi yang dilakukan menunjukkan bahwa batuan bawah permukaan dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok yaitu lahar basaltik, lahar andesitik, dan lahar biotit andesitik (MGJ Shalihin, dkk, 2020).

Lava basaltik terdiri dari plagioklas (labradorit andesin, dengan labradorit yang dominan), piroksen, dan di tempat-tempat yang mengandung olivin, tertanam dalam kristal mikrokristalin dari mineralogi serupa, dengan kristal opak dan massa dasar gelas. Satuan batuan ini dianggap sebagai bagian dari produk Dieng Tua. Kemungkinan besar, produk Dieng Tua adalah urutan vulkanik paling bawah yang ditemukan di sumur yang diamati. Namun produk Dieng tua juga ditemukan di MG-1 yang terletak di bagian utara sistem, dari dekat permukaan hingga ke dasar sumur (MGJ Shalihin, dkk, 2020).

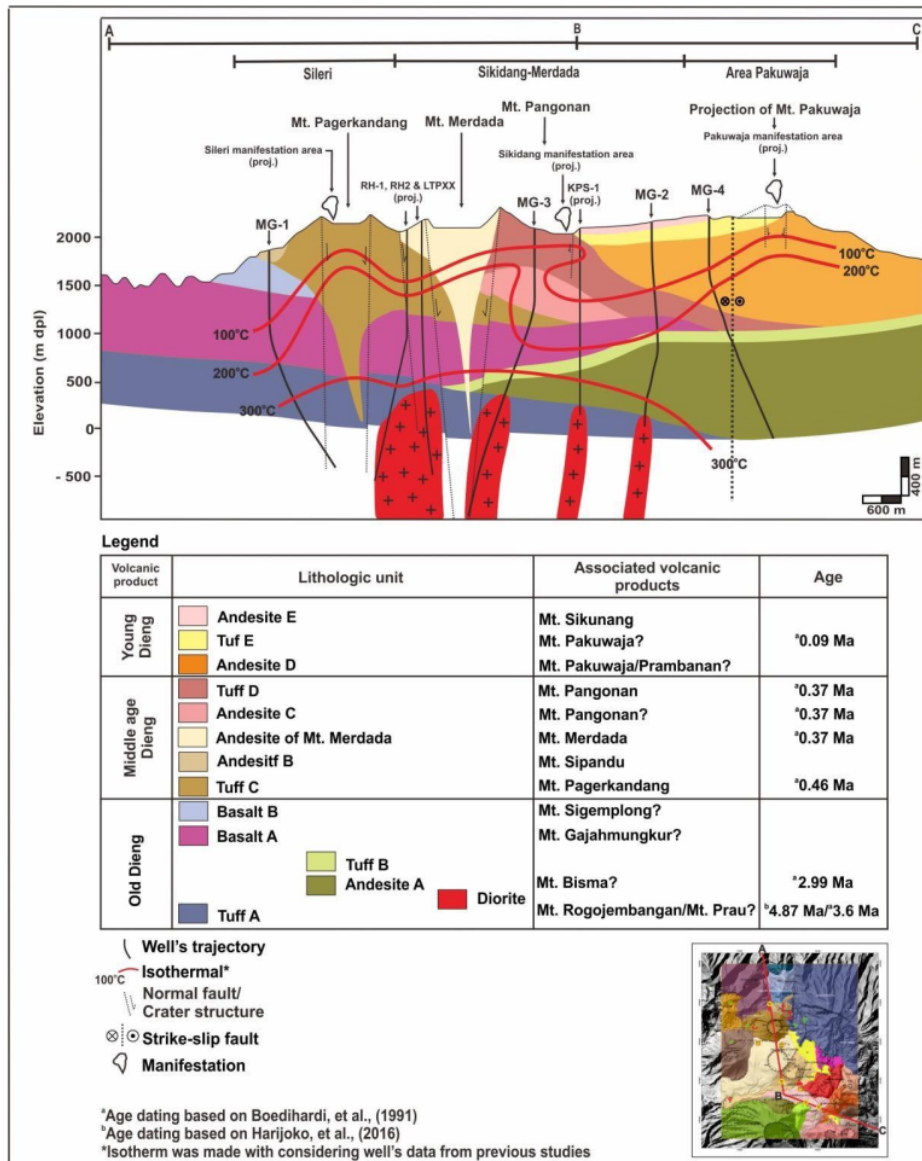
Lava andesitik dengan batuan piroklastik dianggap sebagai bagian dari produk Dieng Tengah. Lava andesitik yang terdiri dari andesin dan piroksen, berada dalam massa plagioklas mikrokristalin, dengan vulkanik gelas minor. Batuan piroklastik ekuivalen memiliki komposisi yang hampir sama. Dalam sumur yang diamati, satuan-satuan ini ditembus oleh lubang bor dari bagian atas di MG-3 sekitar 2.000 hingga 1.000 m dpl, dan menipis ke arah tenggara di MG-2 dan 4 (MGJ Shalihin, dkk, 2020).

Lava andesit biotit terdiri dari plagioklas (oligoklas- andesin), piroksen, dan biotit, tertanam dalam plagioklas mikrokristalin, kristal opak, dan massa dasar kaca. Satuan-satuan ini dianggap sebagai bagian dari produk Dieng Muda dan ditemukan terutama di bagian atas sumur MG-2 dan 4. Peta geologi Lapangan Panas Bumi Dieng disajikan pada Gambar 3 (MGJ Shalihin, dkk. 2020).



Gambar 10. Peta Geologi Lapangan Panas Bumi Dieng, Jawa Tengah (dimodifikasi dari Nurpratama dalam MGJ Shalihin, dkk. 2020).

Diorit ditemukan oleh sumur MG-2 dan MG-3, pada kedalaman sekitar 2.000 m. Petrografi menunjukkan butirannya kasar, dengan mineralogi primernya terdiri dari andesin, piroksen, dan biotit. Penampang melintang yang menunjukkan distribusi satuan litologi, serta isoterm suhu saat ini disajikan pada Gambar 11 (MGJ Shalihin, dkk. 2020).



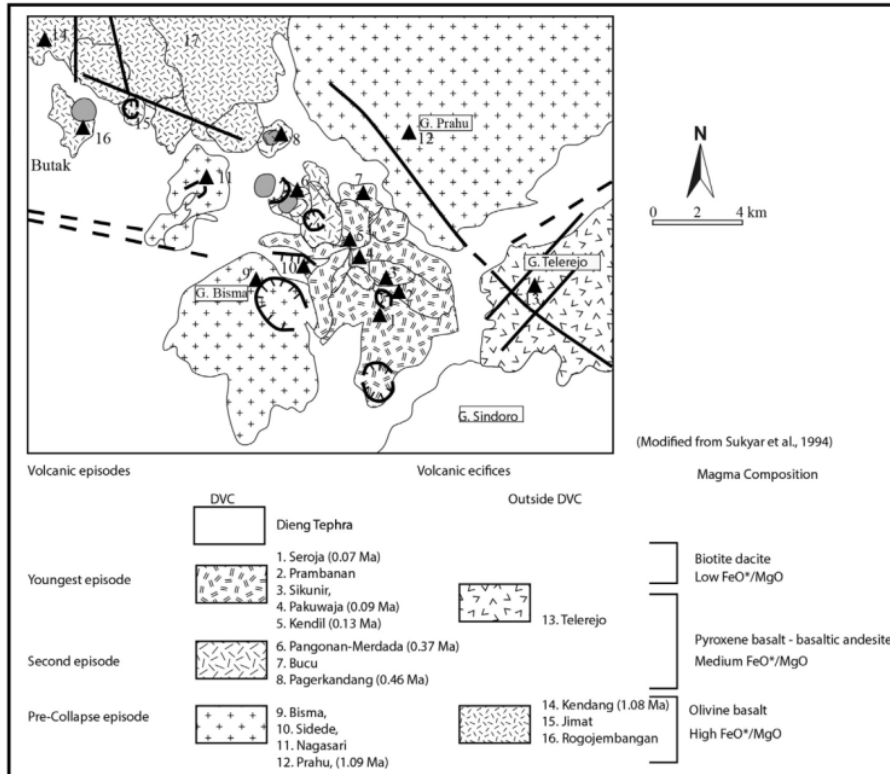
Gambar 11. Penampang melintang dari MG-1, 2, 3, dan 4 yang menunjukkan distribusi satuan litologi, dan isotherm suhu saat ini ($^{\circ}\text{C}$) (MGJ Shalihin, dkk. 2020).

Sukhyar dkk. (1986) membagi aktivitas vulkanik di DVC menjadi tiga episode berdasarkan observasi lapangan: episode pra-kaldera, episode kedua, dan episode termuda (Gambar 12). Episode pra-kaldera diwakili oleh beberapa stratovolcano, yang

juga merupakan batas dari DVC; searah jarum jam mulai dari timur laut, yaitu Prau, Telerejo, Sidede, Bisma, Nagasari, dan Jimat. Semuanya merupakan endapan batuan piroklastik dan aliran lahar. Penurunan tanah di sebelah barat daya stratovolcano Prau (2565 mdpl) menghasilkan struktur arkuata dan bertanggung jawab atas pembentukan dataran tinggi. Telerejo dan Bisma sama-sama memiliki kawah yang terbuka ke arah selatan. Stratovolcano Rogojembangan dan Kendang, terletak lebih jauh di barat Nagasari, muncul sebelum episode ini. Selama episode kedua, empat stratokon muncul, menutupi depresi dengan produk vulkaniknya. Pongan dan Merdada, dua stratocones yang bertetangga di timur Nagasari, keduanya memiliki kawah, dengan diameter masing-masing sekitar 0,8 dan 1 km. Pagerkandang adalah sebuah stratocone dengan kawah ~ 0,5 km di atasnya yang terletak di utara Merdada. Seroja, dengan ukuran kawah ~ 0,7 km, terletak di ujung tenggara DVC. Stratocones ini sebagian besar terdiri dari endapan jatuh piroklastik dan lava. Kegiatan tahap kedua diyakini sebagai sumber utama Dieng tephra, yang menyelimuti depresi Dieng dan Batur (Sukhyar dkk., 1986). Kami mengusulkan penambahan stratokon Bucu yang terletak di sebelah barat daya Prau, sebagai bagian dari kelompok tahap kedua. Produk vulkanik dari episode termuda menutupi area SE dari DVC. Pakuwaja, dengan kawah puncak 0,2 km dan 0,5 km, terdiri dari aliran lava dan endapan jatuhnya piroklastik. Kubah Sikunir dan Prambanan terletak di antara Seroja dan Pakuwaja. Kubah Kendil yang berasosiasi dengan aliran lava yang meluas, terletak di utara Pakuwaja. Untuk memastikan urutan stratigrafi batuan vulkanik tersebut, diperlukan data dari penanggalan umur radiometrik (Agung Harijoko, dkk. 2016).

Boedihardi dkk. (1991) melaporkan umur radiometrik dari beberapa bangunan vulkanik menggunakan metode K-Ar. Prau diakui sebagai gunung berapi tertua di 3,6 Ma, diikuti oleh Nagasari (2,99 Ma), Bisma (2,53 Ma), Pongan – Merdada (0,37 Ma), Kendil (0,19), Pakuwaja (0,13), dan Seroja (0,07 Ma). Namun, beberapa data umur radiometrik tidak sesuai dengan urutan vulkanik Sukhyar dkk. (1986), misalnya, Seroja (0,07 Ma) dilambangkan sebagai bangunan yang lebih tua dari Pakuwaja (0,13 Ma). Jadi, dalam studi ini, kami mengumpulkan hasil data penanggalan radiometrik baru dengan yang dari Boedihardi dkk. (1991) untuk merekonstruksi geokronologi DVC (Agung Harijoko, dkk. 2016).

Aktivitas DVC terkini ditandai dengan peristiwa letusan freatik (VEI b 3). Beberapa aktivitas yang tercatat sejak abad ke-18 terjadi di wilayah panas bumi seperti: Sileri (6–7 letusan), Pakuwaja (3), Sikidang (2), dan Candradimuka (1) (www.vsi.esdm.go.id). Allard dkk. (1989) mengemukakan bahwa jenis letusan ini adalah hasil dari proses penyegelan diri (*self-sealing*) pada fumarol / solfataras aktif (Agung Harijoko, dkk. 2016).



Gambar 12. Peta geologi DVC, dimodifikasi dari (Sukhyar dkk., 1986 dalam (Agung Harijoko, 2016)). Modifikasi terutama untuk urutan stratigrafi berdasarkan data umur radiometrik Boedihardi dkk. (1991) dan hasil penanggalan K-Ar dan $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ baru dari penelitian ini.

7. Perubahan Hidrotermal Bawah Permukaan

7.1. Intensitas Alterasi

Sebagian besar batuan bawah permukaan telah mengalami perubahan dengan intensitas perubahan berkisar antara 0,2 - 1,0. Batuan piroklastik lebih banyak

mengalami perubahan daripada lava. Fenokris dalam lava biasanya lebih banyak diubah daripada massa dasar (MGJ Shalihin, dkk. 2020).

7.2. Tipe Alterasi

Ada 3 macam tipe alterasi pada batuan bawah permukaan Dieng, yaitu penggantian, pencucian / pelarutan, dan pengendapan langsung. Tipe penggantian dan pelarutan merekam interaksi antara fluida dan batuan induk, tetapi yang terakhir melibatkan penghilangan komponen primer tanpa menggantikannya. Penggantian melibatkan pertukaran massa antara komponen primer dan cairan hidrotermal. Mineral di dalam vein langsung diendapkan dari fluida yang bergerak melalui rekahan terbuka sebelumnya (retakan dan / atau rongga) (MGJ Shalihin, dkk. 2020).

7.3. Mineral Hidrotermal

Identitas dan distribusi mineral hidrotermal memberikan petunjuk tentang kondisi sistem di masa lalu, terutama kondisi termal. Struktur termal masa lalu sistem Dieng disimpulkan dari terjadinya mineral hidrotermal yang bergantung pada suhu yang terjadi di lapangan. Ini termasuk aktinolit, epidot, dan wairakite. Mineral hidrotermal yang ditemukan di sumur yang diteliti meliputi lempung (ilit, smektit, halloysite, dan klorit), silika (kuarsa dan kristobalit), kalk-silikat (epidote, aktinolit), zeolit (wairakite), dan karbonat (kalsit). Mineral ini terbentuk dari cairan pH yang mendekati netral. Namun, fluida asam telah ada dalam sistem. Ini ditunjukkan dengan adanya anhidrit di kedalaman. Menariknya, sumur yang terletak di kawasan Sikidang-Merdada juga banyak dijumpai pyrophyllite dan sulfur asli hingga bagian yang lebih dalam. Distribusi mineral hidrotermal dengan kedalaman relatif dapat dilihat pada Tabel 1. Puncak aktivitas lapangan Dieng ditandai dengan terbentuknya epidote yang menunjukkan suhu > 250°C. Epidot paling dangkal di MG-4 yaitu 1.250 m dpl, dan lebih dalam di sumur lainnya. Pada sumur MG-1 yang terletak di daerah Sileri, epidote terjadi pada ketinggian sekitar 800 m dpl. Suhu lubang bawah di sini kurang dari 200°C. Namun, wairakite terjadi di MG-1 pada kedalaman sekitar 1.800 m, di mana suhu saat ini sekitar ~ 300°C. Fenomena ini menunjukkan struktur termal dan hidrologi di daerah Sileri, cukup rumit. Daerah Sikidang-Merdada dan Pakuwaja yang masing-masing ditembus oleh MG-2 dan MG-3, dan MG-4, kemungkinan besar berada dalam kesetimbangan termal dengan suhu saat ini. Aktinolit ditemukan sekitar 500 m dpl di MG-2, 3 dan 4, terkait dengan intrusi diorit. Aktinolit menunjukkan

suhu > 280°C [14] [15]. Contoh untuk beberapa bukti petrografi mineral indikator dan kejadian paling dangkal dari beberapa mineral hidrotermal penting disajikan pada Gambar 5 dan 6, masing-masing. Terjadinya anhidrit bersama dengan pirofilit dan adanya sulfur asli di MG-3 dari kedalaman sekitar 300 sampai 1300 m, menunjukkan kemungkinan masuknya fluida asam di kedalaman di daerah Sikidang-Merdada. Berdasarkan distribusi batuan di sumur yang diteliti, kami menyimpulkan bahwa fluida asam telah beredar di dalam sistem. Bagian dalam dari daerah Sikidang-Merdada mungkin telah menerima sumbangan cairan magmatik. Temuan ini sesuai dengan [16], yang melaporkan bahwa terdapat zona uap korosif di daerah Sikidang, yang ditandai dengan rasio H₂S / CO₂ yang sangat tinggi dalam gas, dan adanya gas HCl. Contoh beberapa bukti megascopic dan petrografi mineral yang dibentuk oleh fluida asam dan terjadinya anhidrit, belerang, dan batuan leaching di sumur yang dipelajari disajikan masing-masing pada Gambar 7 dan 8 (MGJ Shalihin, dkk. 2020).

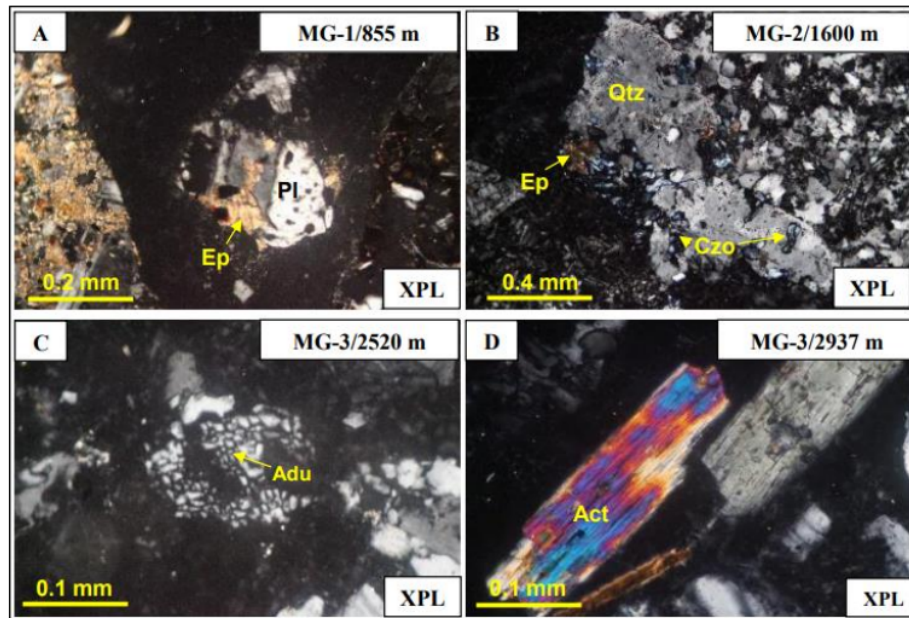
Tabel 1. Distribusi relatif mineral hidrotermal bawah permukaan dengan kedalaman (MGJ Shalihin, dkk. 2020).

Relative Depths	Mineralogy	Well MG-1		Well MG-2		Well MG-3		Well MG-4		
		R	S	R	S	R	S	R	S	
Shallow	Calcite	v	v	v	v	v	v	v	v	
	Quartz		v		v		v		v	
	Cristobalite		v		v					
	Adularia		v							
	Pyrite		D		D		D		D	
	Sulfur				v		v			
	Anhydrite	v		v		v	v		v	
	Hematite	v		v		v		v		
	Smectite		v		v		v		v	
	Chlorite	v	v	v		v	v	v	v	
	Pyrophyllite						v			
	Intermediate	Calcite	v		v	v	v	v	v	v
		Quartz	v	v	v	v	v	v		v
		Epidote	v	v	v	v	v	v		v
Wairakite		v								
Adularia			v		v		v			
Pyrite			D		D		D		D	
Sulfur					v		v			
Anhydrite		v		v		v		v		
Hematite		v		v		v		v		
Smectite			v		v		v		v	
Illite			v		v		v			
Chlorite		v	v	v	v	v	v	v	v	
Pyrophyllite							v			
Deep		Calcite					v		v	
	Quartz			v	v	v	v	v	v	
	Adularia						v			
	Epidote			v	v	v	v	v	v	
	Actinolite			v		v		v		
	Anhydrite					v				
Hematite			v		v		v			

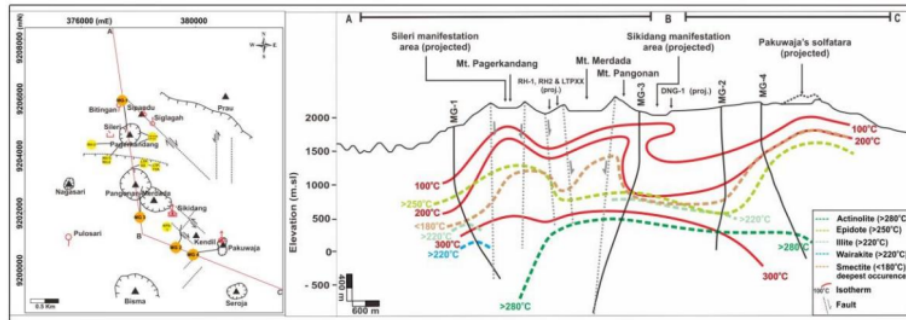
*R: Replacement; S: Space-fill; D: Disseminated

8. Petrografi

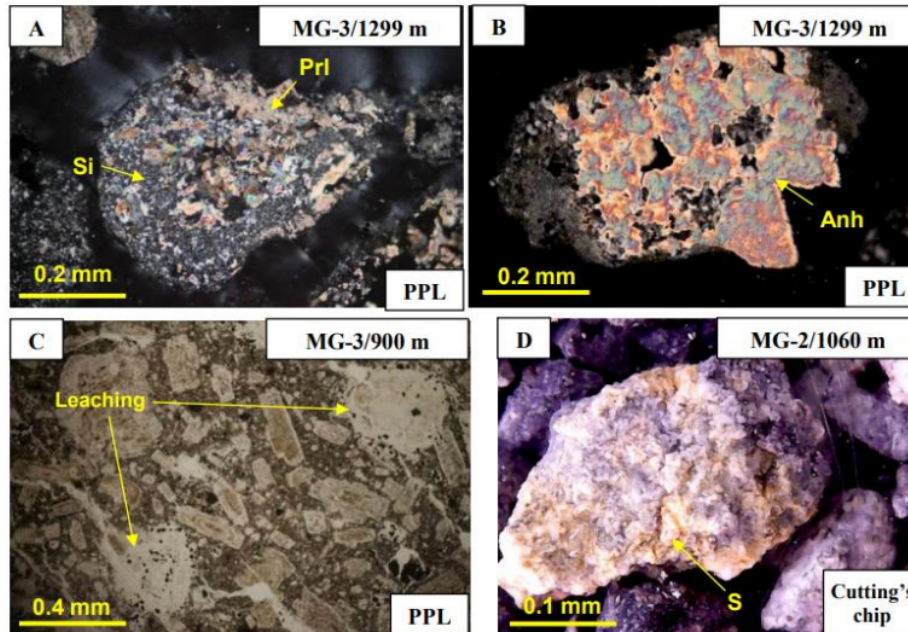
Analisis sayatan tipis menunjukkan bahwa komposisi lava di DVC berkisar dari basaltik hingga dasit. Tekstur batuan terutama porfiritik dengan fenokris hingga 3 mm yang terutama terdiri dari plagioklas, olivin, klinopiroksen dan ortopiroksen, dan hornblende langka. Fenokris biotit hanya terjadi pada batuan dasitik dari Kendil, Seroja dan Pakuwaja yang termasuk dalam tahap terakhir atau pasca kaldera II. Sejauh ini tidak ada fenokris kuarsa yang ditemukan di batuan dari DVC. Plagioklas di sebagian besar sampel umumnya merupakan labradorit dalam komposisi, menunjukkan zonasi komposisi dan tekstur saringan (*sieve*). Clinopyroxene di bebatuan juga menunjukkan zonasi komposisi. Beberapa butir olivin mengandung iddingsite dan memiliki tepi reaksi di tepi butir. Terjadinya iddingsite menunjukkan bahwa batuan tersebut terbentuk di atau dekat permukaan (Edwards, 1938) (Agung Harijoko, dkk, 2010).



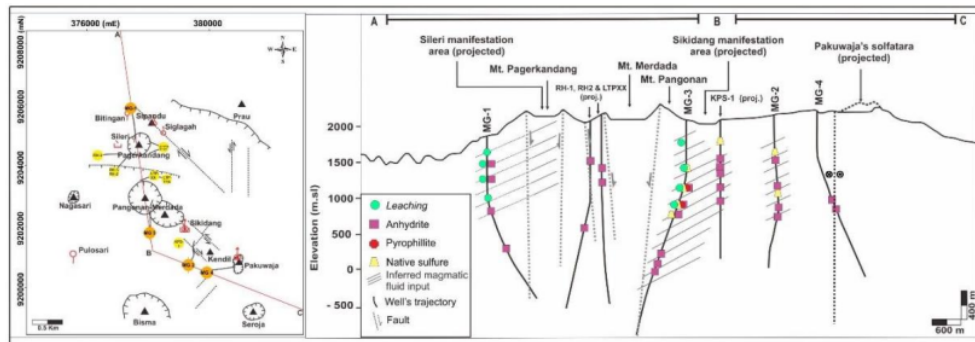
Gambar 13. Contoh beberapa mineral indikator di bawah mikrosocpe petrografi. (A) Epidot sebagian menggantikan plagioklas. Ini menunjukkan suhu > 250°C (MG-1/855 m). (B) Epidot, klinozoisit, dan kuarsa terbentuk sebagai pengisi vug (MG-2/1600 m). (C) Terjadinya adularia sebagai mineral indikator permeabilitas tinggi (MG-3/2520 m). (D) Aktinolit adalah mineral indikator suhu tinggi. Ini menunjukkan suhu 280°C (MG-3/2937 m) (MGJ Shalihin, dkk, 2020).



Gambar 14. Penampang melintang menunjukkan kejadian paling dangkal dari beberapa mineral hidrotermal penting, dan isoterm suhu saat ini ($^{\circ}\text{C}$) (MGJ Shalihin, dkk. 2020).



Gambar 15. Contoh beberapa bukti megascopic dan petrografi mineral yang terbentuk oleh fluida asam di Dieng. (A) Massa dasar kaca dalam tufa (MG-3/900 m) diubah menjadi kuarsa pirofilit dan mikrokristalin. (B) Anhidrit terjadi sebagai pengisian rongga pada andesit (MG-3/1299 m). (C) Tekstur Leaching / pelarutan dalam fragmen tuf (MG-3/900 m) di mana cairan sulfat asam telah melarut penyusun utama batuan. (D) Native Sulfur telah mengendap di kedalaman dalam basal (MG-2-1060 m) (MGJ Shalihin, dkk. 2020).



Gambar 16. Penampang melintang yang menunjukkan keberadaan batuan anhidrit, pirofilit, Native Sulfur, dan pelarutan (MGJ Shalihin, dkk. 2020).

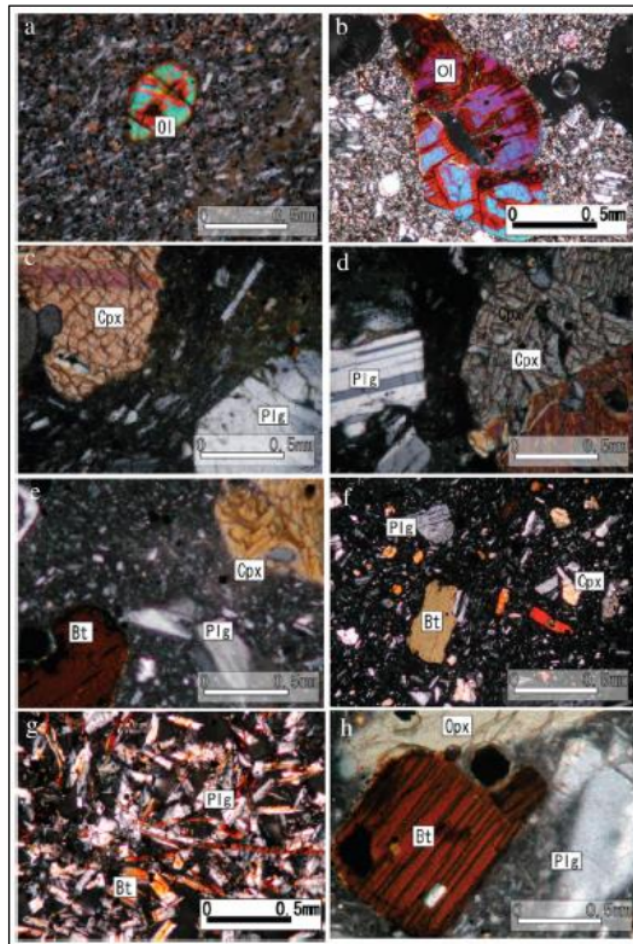
Berdasarkan sayatan tipis dari endapan lava koheren pada *Dieng Volcanic Complex*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lava di DVC terdiri dari fenokris dan massa dasar sangat halus khas magmatisme busur (Gambar 17). Fenokris termasuk olivin, klinopiroksen, ortopiroksen, plagioklas, biotit dan mineral buram. Hanya berdasarkan kandungan fenokris, sampel lava dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok: basal yang mengandung olivin-basaltik andesit, piroksen basaltik andesit-andesit, dan biotit andesit-dasit. Pengelompokan ini sesuai dengan tahapan vulkanisme di DVC sebagai berikut: pra-kaldera, episode kedua, dan episode termuda (Agung Harijoko, dkk. 2016).

Kelompok andesit basal-basaltik yang mengandung olivin menunjukkan tekstur hialopilitik. Fenokris terdiri dari mineral plagioklas, klinopiroksen, olivin dan buram. Fenokris ini ditetapkan dalam massa dasar kristal mikro-kristal dari mineralogi serupa, dengan kaca vulkanik kecil. Fenokris plagioklas sebagian besar dari euhedral ke subhedral, dengan permukaan resorpsi kecil. Plagioklas juga hadir sebagai inklusi dalam kristal piroksen. Olivin ada dengan iddingsite hadir di sepanjang belahannya. Olivin hanya terdapat pada kelompok ini dan menjadi ciri vulkanisme pada episode pra-kaldera (lihat Gambar 17 (a – b)) (Agung Harijoko, dkk. 2016).

Kelompok andesit-andesit basaltik piroksen menunjukkan tekstur hialopilitik. Fenokris terdiri dari plagioklas, dengan beberapa zonasi, ortopiroksen, klinopiroksen, dan kristal buram. Fenokris dikelilingi oleh massa dasar yang terdiri dari konstituen serupa, bersama dengan kaca vulkanik. Fenokris sebagian besar dari euhedral ke

subhedral. Clinopyroxene dan orthopyroxene juga hadir sebagai inklusi dalam plagioklas bersama mineral buram (lihat Gambar 17 (c-d)) (Agung Harijoko, dkk. 2016).

Kelompok biotit andesit-dasit menunjukkan tekstur hyalopilitic, pilotaxitic dan / atau glomerophyritic. Fenokris dari plagioklas, biotit, ortopiroksen, klinopiroksen, dan mineral buram diatur dalam massa dasar mineralogi serupa, dengan adanya kaca vulkanik yang terkenal. Plagioklas, ortopiroksen, dan klinopiroksen juga hadir sebagai inklusi dalam biotit. Kristal biotit memiliki berbagai ukuran, dengan mineral buram yang terjadi di sepanjang batasnya. Beberapa biotit mengandung sedikit inklusi lelehan. Xenolith, pilotaxitic dalam tekstur, terdiri dari plagioklas dan piroksen dan diamati di sebagian besar sampel lava episode termuda (lihat Gambar 17 (e-h)) (Agung Harijoko, dkk. 2016).



Gambar 17. Fotomikrograf sampel lava terpilih dari DVC. Kelompok lava basal bantalan Olivine diwakili oleh (a) Prau dan (b) Sidede. Kelompok lahar andesit piroksen (c) Panganan– Merdada dan (d) Pagerkandang. Kelompok lahar biotit andesit-dasit (e) Seroja, (f) Prambanan, (g) Kendil, dan (h) Pakuwaja. (Agung Harijoko, 2016).

9. Petrogeokimia

Data yang digunakan untuk membahas petrogeokimia adalah elemen utama (Tabel 2) dan elemen jejak (Tabel 3). Data kimiawi mengungkapkan bahwa magma di DVC adalah khas magmatisme busur pulau (*island arc*), memiliki spektrum komposisi yang luas dari basal hingga dasit, seperti yang ditunjukkan dalam diagram total alkali against silica (TAS) dari Le Bas dkk. (1986) (Gambar 18a). Lava dalam kisaran DVC dalam konsentrasi SiO_2 dari 49- 65% wt.

- Batuan episode pra-kaldera berkisar dari basal hingga andesit basaltik dan jarang hingga andesit.
- Batuan episode kedua berkisar dari andesit basalt hingga andesit.
- Batuan episode termuda berkisar dari andesit hingga dasit.

Plot (Gambar 18a dan 18b) menunjukkan tren yang koheren dan sempit, yang menunjukkan bahwa komposisi magma berkembang terutama oleh kristalisasi fraksional dan menjadi lebih silikat seiring waktu (Agung Harijoko, dkk. 2016).

Diagram K_2O terhadap SiO_2 menunjukkan trend yang koheren dan korelasi positif, dimana konsentrasi K_2O meningkat dengan meningkatnya SiO_2 . Batuan yang kurang dari 57 wt.% SiO_2 memiliki variasi K_2O yang lebih luas dibandingkan dengan batuan dengan ≥ 57 wt.% SiO_2 (Gambar 18b). K_2O adalah elemen yang tidak kompatibel; dengan demikian, akan terkonsentrasi di batuan silikat. Batuan basaltik di DVC diklasifikasikan sebagai afinitas medium-K, khas magmatisme zona subduksi kalk-alkali. Cenderung menunjukkan bahwa high-K andesit hingga dasit merupakan hasil diferensiasi (Agung Harijoko, dkk. 2016).

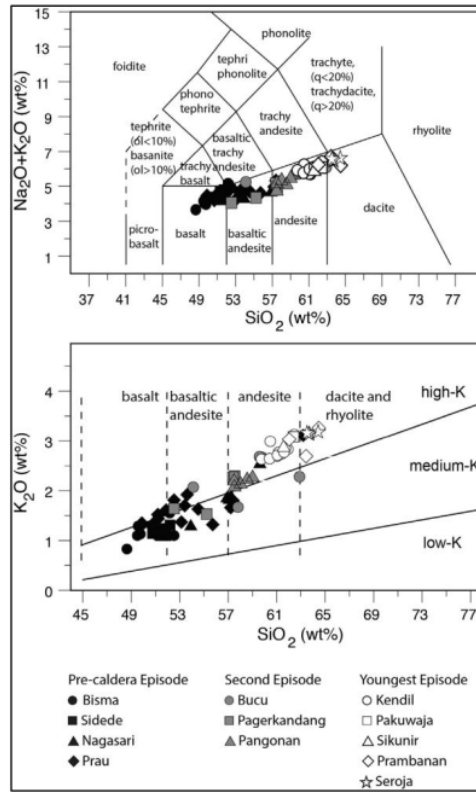
Konsentrasi MgO batuan DVC kurang dari 6% wt., menunjukkan bahwa tidak ada magma primitif yang meletus di DVC. MgO adalah salah satu indikator proses diferensiasi yang paling umum, bersama dengan SiO_2 dan FeO^* / MgO . SiO_2 berkorelasi negatif dengan MgO dan sebagian besar tersebar terhadap rasio FeO^* / MgO . Pengelompokan berdasarkan episode vulkanik pada plot terakhir menunjukkan bahwa pada setiap rasio FeO^* / MgO , batuan yang lebih muda memiliki konsentrasi SiO_2 yang lebih tinggi dan masing-masing menunjukkan korelasi positif SiO_2 terhadap rasio FeO^* / MgO (Agung Harijoko, dkk. 2016).

Tren Harker lebih jelas jika kita menggunakan MgO dan FeO^* / MgO sebagai indeks diferensiasi sampel DVC. Diagram variasi rasio MgO dan FeO^* / MgO terhadap CaO, MgO, dan Al_2O_3 (Gambar 19c, d, f dan g) menunjukkan korelasi negatif, sedangkan diagram terhadap K_2O menunjukkan korelasi positif. Semua plot ini dengan jelas menunjukkan setiap episode vulkanik pada sejumlah rasio MgO dan / atau FeO^* / MgO . Episode pra-kaldera tertinggi pada plot CaO, MgO dan Al_2O_3 , sedangkan episode termuda adalah yang terendah. Kebalikannya terlihat pada plot K_2O .

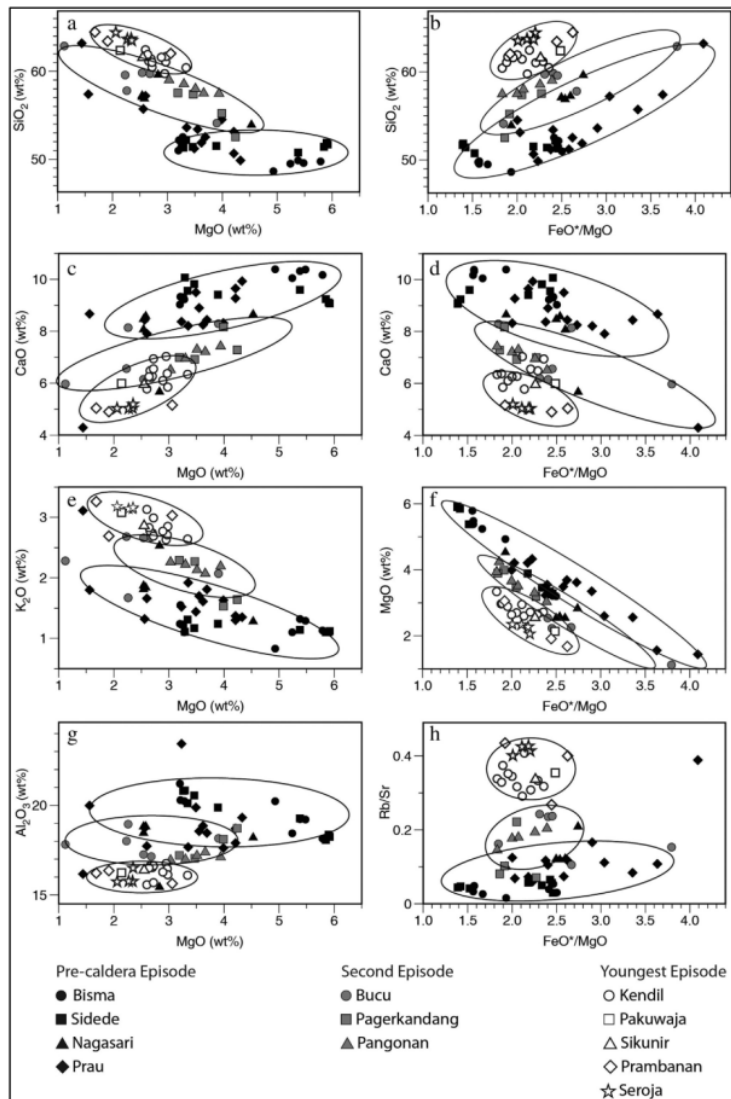
Elemen jejak Rb dan Sr digunakan sebagai indikator diferensiasi karena perilaku substitusinya. Batuan basaltik lebih banyak diperkaya dengan Sr, sedangkan batuan silikat lebih banyak diperkaya dengan Rb. Plot rasio Rb / Sr terhadap rasio $\text{FeO}^* / \text{MgO}$ menunjukkan tiga pola yang berbeda. Gunung berapi pra-kaldera memiliki rasio Rb / Sr terendah, sedangkan batuan episode kedua memiliki nilai sedang dan sampel episode termuda memiliki nilai tertinggi (Gambar 19g).

Secara khusus, dalam episode pra-kaldera, tren geokimia Bisma dan Sidede dapat dibedakan dari Prau dan Nagasari. Dua yang terakhir memiliki rasio MgO yang sedikit lebih rendah dan rasio $\text{FeO}^* / \text{MgO}$ yang lebih tinggi dibandingkan dengan Bisma dan Sidede. Secara umum, magma prau dan nagasari lebih berkembang dibandingkan magma bisma dan sidede (Agung Harijoko, dkk. 2016).

Diagram multielemen *normal mid-ocean ridge basalt* (NMORB) (Gambar 32a) menunjukkan ciri khas gunung berapi busur pulau (*island arc*), dengan pengayaan LILE yang lebih *mobile* disertai dengan anomali negatif niobium dan titanium. Tren positif timbal yang berbeda dalam sampel DVC mungkin sesuai dengan penambahan cairan yang berasal dari lempengan ke mantel sebelum meleleh, yang menghasilkan magma primitif (John dkk., 2004; Miller dkk., 1994; Chauvel dkk., 1995). Pola ini juga terlihat di gunung berapi Kuartir busur Sunda, yaitu, Ijen, (Handley dkk., 2007), Merapi (Gertisser dan Keller, 2003), dan Gede (Handley dkk., 2010), dengan sedikit pengayaan di bagian barat. Jawa seperti yang ditunjukkan oleh Ciremai, Tangkuban Parahu, Tampomas, Guntur, Galunggung, Papandayan, dan Cikuray (Sendjaja dkk., 2009). Diagram REE ternormalisasi Chondrite menunjukkan ciri khas gunung berapi busur pulau, dengan pengayaan LREE dan relatif fl pada HREE (Gambar 10b). Europium menunjukkan anomali yang sedikit negatif, menyiratkan fraksinasi plagioklas dalam sampel. Rasio LREE / HREE berguna untuk menyimpulkan karakteristik sumber magma. Gambar 33 menunjukkan bahwa rasio Ce / Yb dari semua lava DVC berada dalam kisaran yang sama. Tren negatif kecil dari episode Kedua dan Termuda mungkin disebabkan oleh proses kristalisasi pecahan. Namun, secara umum, tidak ada perbedaan yang signifikan antara setiap episode dalam diagram elemen jejak (Agung Harijoko, dkk. 2016).



4
 Gambar 18. Plot SiO₂ against alkalis. (a) Diagram total alkali silika. (b) Diagram K₂O – SiO₂. Angka-angka ini menunjukkan bahwa magma gunung berapi DVC adalah kogenesik dan merupakan hasil diferensiasi (Agung Harijoko, dkk. 2016).



Gambar 19. Diagram variasi elemen utama DVC. Plot yang menggunakan MgO dan rasio FeO* / MgO sebagai absis menunjukkan bahwa setiap episode vulkanik di DVC memiliki diferensiasi yang berbeda, yang menunjukkan bahwa setiap episode memiliki reservoir dan jalur magma sendiri-sendiri.

Tabel 2. Unsur utama dan jejak lava DVC ditentukan dengan analisis XRF pelet bubuk. Nama sampel menunjukkan nama gunung berapi. SRJ: Seroja; PKW: Pakuwaja; KDL: Kendil; SKN: Sikunir; PBN: Prambanan; BCU: Bucu; PGN: Pongoran; PGK: Pager Kandang; SDD: Sidede; BSM: Bisma; NGS: Nagasari; PRH: Prau.

Seroja	Pakuwaja				Kendil				
Sample	SRJ-01	SRJ-02	SRJ-03	SRJ-04	PKW-01	KDL-01	KDL-02	KDL-03	KDL-04
(wt.%)									
SiO ₂	63.7	64.42	63.66	63.5	62.38	62.45	60.47	61.42	61.16
TiO ₂	0.61	0.57	0.6	0.61	0.66	0.69	0.76	0.67	0.76
Al ₂ O ₃	15.76	15.74	15.77	16.51	16.24	15.57	15.69	16.53	16.63
FeO*	4.94	4.54	4.96	4.72	5.32	5.56	6.41	5.55	6.09
MnO	0.12	0.11	0.12	0.11	0.13	0.13	0.14	0.13	0.14
MgO	2.34	2.06	2.27	2.35	2.14	2.6	2.72	2.7	2.66
CaO	5.04	5.03	5.03	5.19	5.99	5.78	6.94	6.27	6.48
Na ₂ O	3.34	3.43	3.26	3.4	2.99	3.28	3.25	3.33	2.93
K ₂ O	3.14	3.18	3.14	3.16	3.08	3.13	2.99	2.74	2.77
P ₂ O ₅	0.15	0.15	0.16	0.15	0.18	0.17	0.17	0.16	0.18
LOI	0.73	0.66	0.81	0.53	0.75	0.33	0.31	0.38	0.09
(ppm)									
V	104	98	106	106	130	128	151	130	153
Cr	n.a	n.a	n.a	n.a	11	n.a	n.a	n.a	n.a
Ni	1	n.a	2	1	4	4	5	3	5
Rb	118	117	116	115	113	117	115	96	100
Ba	437	415	417	487	438	424	418	389	391
Nb	9	9	9	9	8	10	8	7	9
Sr	278	283	272	287	319	287	362	303	300
Zr	167	156	160	162	97	167	165	141	152
Y	21	20	21	21	24	23	25	21	21

Kendil	Sikunir								
Sample	KDL-05	KDL-06	KDL-07	KDL-08	KDL-09	KDL-10	KDL-11	SKN-01	PBN-01
(wt.%)									
SiO ₂	61.02	59.74	60.41	61.91	61.06	61.7	61.6	61.57	63.42
TiO ₂	0.73	0.75	0.75	0.65	0.68	0.7	0.68	0.71	0.56
Al ₂ O ₃	16.63	16.76	16.1	16.51	16.46	16.13	16.28	16.39	16.36
FeO*	6.01	6.24	6.12	5.28	5.59	5.65	5.65	5.77	4.67
MnO	0.14	0.14	0.14	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
MgO	2.72	2.95	3.34	2.64	2.97	2.98	2.89	2.55	1.91
CaO	6.55	7.03	6.34	6.25	6.37	5.85	6.1	5.95	4.9
Na ₂ O	3.03	3.29	3.13	3.33	3.27	3.25	3.33	3	4.01
K ₂ O	2.69	2.63	2.64	2.83	2.71	2.85	2.77	2.86	2.69
P ₂ O ₅	0.17	0.17	0.16	0.17	0.15	0.17	0.16	0.16	0.26
LOI	0.19	0.18	0.75	0.18	0.48	0.47	0.28	0.76	0.96
(ppm)									
V	157	165	169	131	147	144	137	141	77
Cr	n.a	3	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Ni	2	3	5	5	3	5	2	4	3
Rb	97	92	94	101	96	104	100	103	89
Ba	401	366	358	378	380	398	379	424	454
Nb	8	8	7	9	8	9	8	8	9
Sr	315	316	278	293	292	278	284	306	332
Zr	145	139	142	150	141	150	146	150	153
Y	21	21	21	22	21	20	21	22	21

Prambanan	Bucu								
Sample	PBN-02	PBN-03	BCU-01	BCU-02	BCU-03	BCU-04	BCU-05	BCU-06	PGN-01
(wt.%)									
SiO ₂	64.47	62.03	59.72	59.83	59.58	62.88	57.8	54.11	57.48
TiO ₂	0.55	0.69	0.72	0.72	0.66	0.62	0.8	1.14	0.95
Al ₂ O ₃	16.22	15.64	17.15	17.26	18.01	17.82	18.95	18.16	17.12
FeO*	4.41	5.88	6.19	6.11	5.47	4.25	6.03	7.2	7.22
MnO	0.11	0.14	0.13	0.14	0.13	0.11	0.12	0.19	0.19
MgO	1.68	3.06	2.68	2.54	2.23	1.12	2.26	3.9	3.94
CaO	5.04	5.16	6.2	6.15	6.56	5.97	8.14	8.29	7.42
Na ₂ O	2.94	3.21	3.05	3.05	3.1	3.8	3.61	3.17	2.53
K ₂ O	3.26	3.03	2.67	2.66	2.68	2.28	1.67	2.07	2.19
P ₂ O ₅	0.15	0.18	0.27	0.26	0.28	0.24	0.25	0.39	0.2
LOI	1.03	0.84	1.06	1.12	1.15	0.78	0.25	1.21	0.6
(ppm)									
V	87	133	127	122	107	62	126	178	196
Cr	n.a	6	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Ni	5	3	5	4	4	n.a	n.a	n.a	1
Rb	124	113	99	97	102	59	44	59	55
Ba	459	415	481	475	479	432	332	409	400
Nb	9	9	10	10	10	9	8	10	7
Sr	310	260	408	412	430	385	417	364	379

Zr	177	163	166	165	168	158	126	156	128
Y	23	21	21	22	21	26	24	30	22
Pangonan-Merdada									
Sample	PGN-02	PGN-03	PGN-04	PGN-05	PGK-01	PGK-02	PGK-03	PGK-04	Sidede
(wt.%)									
SiO ₂	58.56	57.51	59.01	58.02	57.54	57.39	55.22	52.53	51.41
TiO ₂	0.9	0.81	0.87	0.84	0.96	0.92	0.92	0.94	1.18
Al ₂ O ₃	16.99	17.39	16.95	17.2	17.21	17.05	18.11	18.72	20.55
FeO*	7.45	7.32	7.25	7.27	7.25	7.12	7.64	7.89	8.08
MnO	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.13	0.16	0.3	0.16
MgO	3.3	3.66	3.03	3.51	3.19	3.47	3.99	4.24	3.46
CaO	6.95	7.21	6.51	7.3	6.99	6.92	8.17	7.28	9.82
Na ₂ O	2.87	3.08	3.19	3.2	2.66	2.9	2.82	2.41	3.43
K ₂ O	2.22	2.07	2.26	2.13	2.29	2.27	1.53	1.64	1.17
P ₂ O ₅	0.23	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	0.22	0.2	0.24
LOI	0.26	0.44	0.42	0.02	1.44	1.48	1.11	3.73	0.37
(ppm)									
V	195	181	173	174	202	202	210	214	263
Cr	n.a	n.a	n.a	n.a	0	0	0	0	n.a
Ni	n.a	4	2	2	3	2	2	2	n.a
Rb	74	67	74	69	84	82	39	37	19
Ba	344	353	342	339	369	372	318	349	289
Nb	7	7	7	7	7	7	7	7	6
Sr	382	379	363	384	379	370	393	354	379
Zr	122	115	123	114	124	121	105	107	79
Y	22	21	22	21	25	23	25	21	21
Sidede									
Sample	SDD-02	SDD-03	SDD-04	SDD-05	SDD-06	SDD-07	SDD-08	SDD-09	Bisma
(wt.%)									
SiO ₂	52.19	51.31	51.52	51.74	51.87	51.42	50.76	51.68	50.99
TiO ₂	1.14	1.21	1.17	1.19	0.94	0.94	0.94	0.96	1
Al ₂ O ₃	20.12	20.83	19.88	20.81	18.37	18.07	19.27	18.25	21.21
FeO*	8.11	8.09	8.49	7.98	8.22	8.31	8.19	8.22	8.01
MnO	0.16	0.16	0.17	0.16	0.18	0.18	0.18	0.19	0.17
MgO	3.34	3.29	3.89	3.26	5.9	5.85	5.38	5.92	3.2
CaO	9.56	10.07	9.41	9.31	9.11	9.24	9.6	9.07	9.03
Na ₂ O	3.68	3.56	3.3	3.55	3.27	3.15	3.22	3.28	3.27
K ₂ O	1.31	1.11	1.24	1.23	1.1	1.1	1.14	1.12	1.24
P ₂ O ₅	0.26	0.25	0.25	0.25	0.33	0.32	0.32	0.32	0.43
LOI	0	0	0.58	0.4	0.56	1.22	0.87	0.85	1.3
(ppm)									
V	234	257	264	227	237	230	261	225	229
Cr	n.a	n.a	n.a	n.a	5	10	1	4	n.a
Ni	n.a	n.a	n.a	n.a	5	8	6	5	n.a
Rb	24	12	21	22	19	20	20	19	16
Ba	293	293	281	317	241	274	251	252	277
Nb	6	6	6	6	6	5	5	5	5
Sr	367	403	369	388	428	425	478	426	527
Zr	83	86	80	85	86	85	76	87	73
Y	22	21	22	22	21	21	18	22	17
Bisma									
Sample	BSM-02	BSM-03	BSM-04	BSM-05	BSM-06	BSM-07	BSM-08	Nagasari	NGS-01
(wt.%)									
SiO ₂	48.64	49.5	49.75	49.86	49.57	52.17	52.53	57.08	56.89
TiO ₂	1.12	1.09	1.11	1.19	1.2	1.06	1.02	0.86	0.89
Al ₂ O ₃	20.23	18.44	18.15	19.23	19.21	20.29	20.24	18.82	18.82
FeO*	9.53	8.75	9.05	8.47	8.62	7.91	7.92	6.34	6.55
MnO	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.17	0.19	0.14	0.15
MgO	4.93	5.24	5.79	5.38	5.48	3.21	3.28	2.54	2.58
CaO	10.39	10.05	10.17	10.32	10.38	9.33	9.23	8.47	8.58
Na ₂ O	2.83	3.05	2.94	2.84	2.75	3.61	3.8	2.9	2.82
K ₂ O	0.83	1.1	1.13	1.32	1.29	1.55	1.1	1.81	1.84
P ₂ O ₅	0.37	0.44	0.42	0.36	0.34	0.35	0.27	0.32	0.31
LOI	0.8	2.02	1.25	0.53	0.66	0.2	0.31	0.59	0.43
(ppm)									
V	303	268	276	282	277	221	236	136	145
Cr	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Ni	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	6	0
Rb	8	13	16	24	24	27	18	57	59
Ba	228	248	236	213	225	307	274	333	332
Nb	3	4	5	5	5	6	5	8	9
Sr	507	492	483	495	494	502	459	471	493
Zr	66	69	70	67	68	79	83	132	140
Y	19	19	19	19	21	20	20	23	27

Nagasaki				Prahu					
Sample	NGS-03	NGS-04	NGS-05	PRH-01	PRH-02	PRH-03	PRH-04	PRH-05	PRH-06
(wt.%)									
SiO ₂	57.24	59.61	53.91	63.19	52.53	51.88	53.61	53.41	55.72
TiO ₂	0.9	1.15	1.01	0.89	1.47	1.5	1.47	0.88	0.78
Al ₂ O ₃	18.46	15.44	18.2	16.17	18.46	18.86	17.67	18.56	18.74
FeO*	6.6	7.76	8.76	5.89	9.67	9.88	9.72	8.53	8.59
MnO	0.15	0.18	0.17	0.13	0.2	0.2	0.17	0.17	0.18
MgO	2.54	2.83	4.53	1.44	3.69	3.62	3.35	3.55	2.56
CaO	8.07	5.67	8.65	4.29	8.44	8.25	8.21	8.9	8.44
Na ₂ O	2.89	3.26	3	3.27	3.11	2.92	2.88	2.97	3.29
K ₂ O	1.87	2.53	1.28	3.11	1.81	1.61	1.92	1.7	1.32
P ₂ O ₅	0.32	0.47	0.2	0.3	0.37	0.38	0.37	0.27	0.24
LOI	0.82	0.96	0.17	1.17	0.1	0.76	0.49	0.92	0
(ppm)									
V	138	172	250	87	276	268	275	194	156
Cr	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Ni	2	0	5	1	2	1	2	2	2
Rb	57	86	34	117	42	27	57	46	30
Ba	320	462	264	538	378	398	361	338	338
Nb	9	10	6	13	11	12	11	8	7
Sr	468	412	339	301	356	358	343	438	357
Zr	136	168	99	220	161	160	159	124	117
Y	26	35	23	35	36	64	36	22	25

Prahu								
Sample	PRH-07	PRH-08	PRH-09	PRH-10	PRH-11	PRH-12	PRH-13	PRH-14
(wt.%)								
SiO ₂	50.66	57.21	51.22	49.87	57.4	53.13	51.19	54.52
TiO ₂	1.05	0.9	1.07	1.15	0.79	1	0.97	1
Al ₂ O ₃	18.71	17.73	19.88	19.32	19.99	17.9	23.43	17.62
FeO*	9.19	7.9	9.01	9.67	5.67	8.55	7.68	7.99
MnO	0.18	0.17	0.19	0.2	0.13	0.21	0.15	0.16
MgO	4.21	2.6	3.49	4.33	1.56	4.21	3.23	3.99
CaO	9.65	7.91	9.5	9.93	8.67	9.27	8.37	8.32
Na ₂ O	2.91	3.31	3.24	3.11	3.52	2.94	2.81	3.08
K ₂ O	1.3	1.66	1.44	1.35	1.8	1.37	1.52	1.63
P ₂ O ₅	0.3	0.24	0.29	0.35	0.25	0.24	0.2	0.23
LOI	1.1	0.25	0.55	0.59	0.06	1.06	0.32	1.33
(ppm)								
V	258	212	247	287	110	269	246	249
Cr	na	na	19	25	na	na	23	11
Ni	8	na	na	na	na	na	na	na
Rb	34	45	33	28	53	31	41	51
Ba	264	na	na	371	na	na	na	420
Nb	7	7	6	7	8	6	6	7
Sr	467	403	446	461	491	451	350	408
Zr	112	120	90	91	147	110	102	117
Y	22	26	35	28	27	31	24	28

Tabel 3. Konsentrasi unsur jejak lava DVC ditentukan dengan analisis ICP-MS. Nama sampel sama dengan yang digunakan pada Tabel 2.

Sample	BSM-02	SDD-01	NGS-02	PRH-01	PRH-10	PRH-14	BCU-05	PGK-01
V	134	163	135	153	117	125	360	152
Cr	10	10	10	20	10	10	10	10
Co	15.2	18.5	15	17.4	14.5	14.3	35.2	16.3
Ni	5	8	5	6	6	5	12	5
Cu	31	39	21	33	15	16	124	28
Zn	83	79	84	82	76	71	99	75
Ga	20.4	18.6	21.7	17.3	18	17.2	20.4	17.6
Cs	2.18	9.59	2.48	10	2.72	10.45	0.3	9.97
Rb	48	110	59.3	125	63.2	128	7.7	111.6
Ba	337	412	305	416	371	420	218	392
Th	6.59	17.9	9.06	19.25	8.52	20	3.01	18.75
U	1.55	3.98	1.88	4.44	2.06	4.65	0.57	4.36
Nb	7.7	7.6	6.6	8.4	5.7	8.7	2.6	8
Ta	0.4	0.7	0.5	0.6	0.4	0.6	0.1	0.6
La	20.4	24	25	23.2	18.3	23.7	13.7	24.3
Ce	41.5	50	54.8	47.1	37.1	47.7	31	49.2
Pb	17	18	12	23	28	132	57	25
Pr	5.41	5.84	6.74	5.68	4.27	5.65	4.47	5.9
Sr	452	339	503	300	312	310	563	331
Nd	21.1	21.2	26	21.4	15.9	20.9	19.7	22
Zr	129	166	135	181	139	195	57	182
Hf	3.3	4.4	3.5	5.1	3.7	5.4	1.8	5
Sm	4.72	4.45	5.44	4.52	3.49	4.42	4.97	4.7
Eu	1.47	1.17	1.6	1.05	1.06	1.11	1.59	1.15
Ti	4795		5034	4135		3656	6713	3956
Gd	4.94	4.76	5.56	4.64	3.45	4.39	4.88	4.58
Tb	0.78	0.71	0.83	0.71	0.54	0.67	0.72	0.71
Dy	4.54	4.02	4.55	4.19	3.36	4.07	3.98	4.16
Y	25.6	24.5	26	24.3	18.9	22.7	20.5	24.3
Ho	0.9	0.9	0.99	0.84	0.66	0.81	0.75	0.85
Er	2.72	2.57	2.66	2.66	2.09	2.51	2.14	2.6
Tm	0.39	0.39	0.41	0.4	0.32	0.39	0.3	0.39
Yb	2.61	2.45	2.5	2.65	2.11	2.55	1.93	2.64
Lu	0.4	0.39	0.4	0.42	0.32	0.4	0.28	0.4

Sample	PGK-02	PGK-03	PGN-02	KDL-03	PKW-01	SKN-01	PBN-03	SRJ-01
V	218	66	143	158	251	171	261	167
Cr	10	10	10	10	30	10	10	10
Co	23.2	9.2	17.5	18.6	25.8	18.2	25.8	21.5
Ni	6	5	6	7	14	5	8	5
Cu	55	18	31	27	47	31	54	25
Zn	89	92	77	79	86	83	90	95
Ga	19.6	18.9	17.2	18.7	22.9	19.2	19.6	20.2
Cs	3.51	7.89	10.35	9.28	1.96	2.15	3.44	3.16
Rb	79.1	113.5	118.5	106	39.8	52.7	49.5	43.6
Ba	346	526	420	379	266	602	309	534
Th	12.75	16.25	18.9	17.45	5.8	9.46	9.46	7.04
U	3.01	3.92	4.28	3.87	1.32	2.13	2.27	1.46
Nb	5.7	11.6	7.8	7.1	4.9	5.2	5.9	4.8
Ta	0.5	0.9	0.8	0.6	0.3	0.4	0.4	0.4
La	20.6	33.7	24	22.7	15.9	22.1	21.9	23.3
Ce	44.5	68.3	50.4	47.8	33.1	43.6	44	48.4
Pb	13	19	20	18	12	11	39	14
Pr	5.42	8.36	5.75	5.44	4.27	5.12	5.96	5.74
Sr	411	301	301	340	343	598	442	592
Nd	21.2	30.9	20.4	19.7	17.9	19.8	24	22.3
Zr	125	229	179	160	97	102	110	115
Hf	3.7	5.8	4.7	4.3	2.7	2.7	3.1	3
Sm	4.79	6.65	4.36	4.26	4.28	4.58	5.53	4.76
Eu	1.38	1.62	1.04	1.17	1.31	1.47	1.45	1.49
Ti	5394	5334	6893	4015	5994		5514	
Gd	4.85	6.84	4.6	4.52	4.38	4.73	5.61	5.17
Tb	0.77	1.05	0.71	0.71	0.71	0.75	0.88	0.76
Dy	4.4	5.97	3.91	3.98	4.16	4.53	5.07	4.37
Y	23.8	34.5	24.3	23.6	22.9	25.5	28.8	24.2
Ho	0.95	1.28	0.87	0.86	0.84	1	0.99	0.94
Er	2.61	3.59	2.44	2.45	2.53	2.82	3.04	2.56
Tm	0.39	0.54	0.38	0.38	0.36	0.44	0.45	0.42
Yb	2.47	3.52	2.44	2.4	2.33	2.77	2.88	2.55
Lu	0.4	0.55	0.38	0.39	0.34	0.44	0.43	0.42

10. Citra Landsat

33

Sumber daya panas bumi adalah energi panas yang tersimpan di dalam interior bumi. Energi panas memiliki tiga sumber panas utama dari: (1) peluruhan isotop radioaktif, (2) panas sisa inti bumi dari awal pembentukannya, dan (3) tekanan

gravitasi dimana panas naik seiring pengaruh kedalaman. Reservoir panas bumi menyimpan energi panas pada kedalaman yang berbeda. Sistem geotermal dekat permukaan dapat mengekstraksi panas dari kedalaman 150 - 400 meter; sedangkan sistem dalam dapat mengekstraksi dari kedalaman 400 hingga ribuan meter di bawah. Sistem panas bumi dapat mendistribusikan panas bawah permukaan ke permukaan tanah, dikeluarkan sebagai manifestasi termal. Ciri termal permukaan dapat muncul sebagai fumarol, solfatara, mata air panas, travertine, tanah panas, dan kolam lumpur. Dalam banyak kasus, ekspresi permukaan ini juga memiliki karakteristik yang berbeda seperti perubahan batuan dan endapan sinter. ³ Temperatur permukaan tanah memiliki fungsi sebagai pemancar radiasi termal oleh benda-benda. Deteksi fitur puncak suhu atau hotspot dapat dinilai melalui data Thermal Infrared (TIR). Pengukuran in-situ pada suhu objek dapat diambil dengan menggunakan termometer inframerah, sedangkan penginderaan jauh berbasis TIR telah bermanfaat sebagai pendekatan hemat biaya untuk mendeteksi anomali suhu. Anomali termal permukaan yang terkait dengan aktivitas panas bumi dapat dideteksi melalui ambang penyimpangan yang signifikan dari suhu rata-rata. Ciri yang dapat dideteksi dari pemanasan panas bumi memberikan suhu puncak yang konsisten di lokasi yang sama dari waktu ke waktu. Sedangkan hotspot yang diduga, terkait dengan anomali palsu, dapat dideteksi sebagai tanda termal yang terjadi pada satu waktu. Anomali termal palsu dapat disebabkan oleh adanya tutupan vegetasi, efek topografi, titik api (letusan gunung berapi, kebakaran hutan), komposisi material, dan pemanasan matahari. Interpretasi citra ini untuk mendapatkan Suhu Permukaan Tanah (LST) berbasis satelit dan mengamati nilai anomali, terkait dengan fitur panas bumi; disediakan oleh beberapa platform dan metode yang berbeda. Produk Landsat-8 dan ASTER pada temperatur kinetik permukaan (AST-08) dipilih berdasarkan karakteristik resolusi spektral dan spasial, serta algoritma. Analisis statistik dilakukan pada suhu terintegrasi piksel untuk membandingkan silang kedua LST berbasis penginderaan jauh, dan juga dengan pengukuran lapangan LST yang dikumpulkan dari penelitian Napitupulu (2017) dalam Astiasari, dkk, (2020).

Lapangan Panas Bumi Dieng terletak di dataran tinggi yang luas di Provinsi Jawa Tengah yang dikenal dengan *Dieng Volcanic Complex* (DVC). DVC dicirikan oleh struktur kaldera dengan bangunan vulkanik, di-host dalam rentang vulkanik

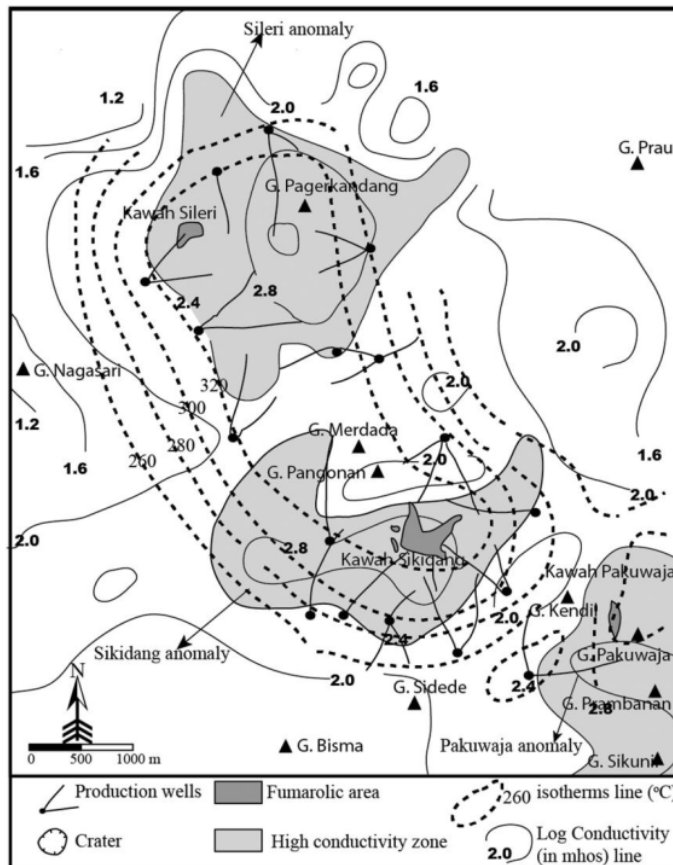
2006; Geo Dipa Energi, 2017b; JAXA / METI, 2010; Layman dkk., 2002; ESDM, 2017; Pambudi dkk., 2015 ; van Bergen dkk., 2000; Zen, 1971), Pemrosesan Data, 2018 (Astiasari, dkk. 2020).

11. Data Geofisika

Sistem panas bumi di DVC sebelumnya dilaporkan oleh Boedihardi dkk. (1991) dan Layman dkk. (2002) dan diringkas dalam bagian ini. Potensi energi panas bumi total Dieng dari tiga sektor potensial (Sileri, Sikidang dan Pakuwaja) diperkirakan sekitar 355 MW, yang diidentifikasi berdasarkan anomali geofisika dengan nilai konduktivitas tinggi dari metode magnetotelluric (MT) dan nilai gravitasi rendah pada kedalaman 1 km (Layman dkk., 2002; Boedihardi dkk., 1991). Sektor Sileri, Sikidang dan Pakuwaja secara spasial terkait dengan gunung berapi Pagerkandang, Pانونان dan Pakuwaja (Gambar 21). Di permukaan, wilayah potensial dimanifestasikan oleh wilayah fumarolik Kawah Sileri, Kawah Sikidang dan Kawah Pakuwaja (Gambar 21). Manifestasi panas bumi di sekitar gunung berapi tersebut terjadi sebagai fumarol, mata air asam sulfat, kolam lumpur dan batuan yang teralterasi. Kapasitas terpasang saat ini adalah 60 MWe yang diperoleh dengan memanfaatkan *steam* yang dikumpulkan dari area Sileri (Agung Harijoko, dkk. 2016).

Survei geofisika dengan metode magnetotelurik dan gravitasi menunjukkan bahwa sumber daya panas bumi di DVC terdiri dari tiga daerah potensial berdasarkan kenampakan konduktansi tinggi (log konduktansi N 2 mhos) dan anomali gravitasi sisa rendah -4 mgal pada kedalaman 1 km : sektor Sileri, Sikidang dan Pakuwaja. Ketiga sektor potensial ini berasosiasi dengan Gunungapi Pagerkandang, Pانونان dan Pakuwaja. Sektor potensial dipisahkan satu sama lain oleh zona resistivitas tinggi yang diidentifikasi oleh survei MT. Namun, batasan antara sektor Sileri dan Sikidang tidak begitu jelas (Boedihardi dkk., 1991). Sektor Sileri dan Sikidang diakui sebagai zona produktif berdasarkan pemboran produksi panas bumi. Peta isothermal pada ketinggian permukaan laut menunjukkan bahwa sektor potensial Sileri dan Sikidang terus menerus dan meluas ke arah tenggara di bawah gunung berapi Pagerkandang dan Pانونان (Gambar 21). Temperatur reservoir tinggi, berkisar antara 300°C - 335°C dan berpotongan dengan sumur

panas bumi di blok Sileri pada kedalaman antara sekitar 2000 m dan 2300 m. Temperatur reservoir di blok Sikidang lebih rendah dibandingkan dengan di Sileri. Suhu berkisar dari sekitar 240°- 300°C pada kedalaman yang berkisar dari 1400-1500 m. Potensi sektor Pakuwaja telah diuji dengan menggunakan dua lubang bor, namun hingga saat ini belum terbukti sebagai zona produksi. Pengukuran suhu di sektor Pakuwaja menunjukkan suhu tinggi sekitar 320°C (Boedihardi dkk., 1991 dalam Agung Harijoko,dkk. 2016).



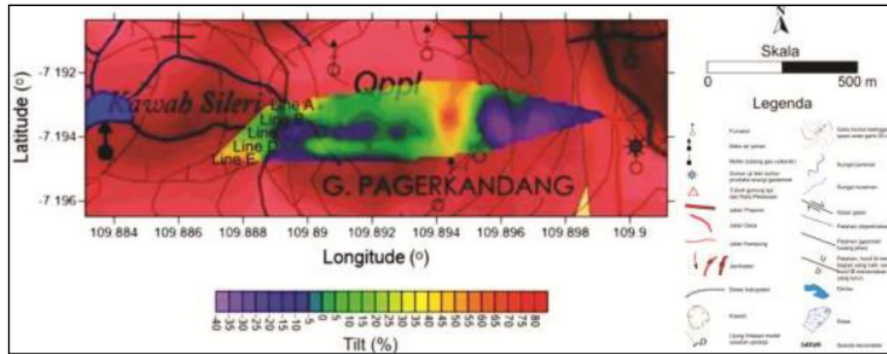
Gambar 21. Peta overlay manifestasi panas bumi, anomali MT, garis isoterm pada elevasi permukaan laut dan sebaran gunung berapi di DVC. Ada hubungan spasial yang erat antara kawasan fumarolik, zona konduktivitas tinggi, dan zona produksi Lapangan Panas Bumi Dieng. Zona produksi terletak di bawah G. Pangonan – Merdada dan G. Pagerkandang. (G adalah singkatan dari Gunung (dalam Bahasa Indonesia) yang artinya gunung berapi). Peta konduktivitas, garis isoterm dan zona produktivitas dari Layman dkk. (2002) (Agung Harijoko,dkk. 2016).

Dieng Volcanic Complex (DVC) merupakan salah satu lapangan panas bumi yang produktif di Indonesia. Sistem panas bumi Dieng memiliki temperatur tinggi dan didominasi *liquid*. Temperatur tinggi pada sistem panas bumi dapat disebabkan oleh umur dan komposisi sumber panas (Wohlez dan Heiken, 1992; Muffler dan Duffield, 1995 dalam Harijoko A dkk. 2016). Total potensi energi panas bumi Dieng diperkirakan 355 MW namun baru 60 MW yang sudah dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik. Gunungapi Pagerkandang merupakan salah satu kawasan yang memiliki prospek panas bumi yang berhubungan dengan Kawah Sileri. Manifestasi panas bumi dapat berupa fumarol, mata air asam sulfat, kolam lumpur, *steaming ground* dan batuan alterasi (Harijoko A dkk. 2016).

Metode VLF yang memanfaatkan induksi gelombang elektromagnetik dapat digunakan untuk menentukan kontinuitas kawasan konduktif geothermal berdasarkan manifestasi permukaannya. Pengendalian struktur sesar sangat menentukan lokasi manifestasi ini. Patahan terbuka yang dibentuk oleh struktur yang digunakan sebagai jalur aliran fluida hidrotermal dan dibawa dengan mineral logam. Interpretasi kualitatif terhadap nilai sudut kemiringan menggunakan filter fraser dan filter Karous - Hjelt. Filter Karous-Hjelt akan menghasilkan nilai setara kerapatan arus (RAE) untuk memperkirakan distribusi zona resistif dan konduktif (Asri Wulandaria, dkk.2018).

Berdasarkan penyebaran sudut kemiringan di lokasi VLF yang diukur, sudut kemiringan tinggi berada di tepi Gunung Berapi Pagerkandang, dengan sudut kemiringan 30 - 80% (warna merah). Sedangkan pada Gunungapi Pagerkandang pertengahan memiliki sudut kemiringan berkisar antara 25 - (-40) % (warna hijau). Sudut kemiringan berhubungan dengan medan magnet horizontal dan vertikal, dan secara tidak langsung dapat digunakan untuk menentukan zona konduktif dari nilai sudut kemiringan tinggi. Nilai sudut kemiringan yang didapat di lapangan masih dipengaruhi oleh gangguan eksternal yang memiliki frekuensi tinggi. Karena asumsi gelombang yang diterima oleh VLF - EM adalah gelombang dengan frekuensi rendah maka noise frekuensi tinggi yang akan dihilangkan salah satunya menggunakan filter *moving average*. Interpretasi kualitatif pada metode VLF - EM menggunakan filter Fraser dan filter Karous - Hjelt dari nilai sudut kemiringan. Karous - Filter Hjelt akan menghasilkan nilai kerapatan arus untuk memperkirakan lokasi lateral dari zona resistif dan konduktif. Zona konduktif diperkirakan berada di bawah filter fraser grafik dengan

amplitudo tinggi (grafik puncak). Sedangkan nilai kerapatan arus filter linier (filter Karous-Hjelt) adalah zona konduktif tinggi yang diprediksi (Asri Wulandaria, dkk.2018).



Gambar 22. Persebaran nilai sudut kemiringan di daerah survei (Asri Wulandaria, dkk.2018).

Pada grafik filter Fraser dan filter Karous-Hjelt terlihat respon anomali yang saling terkait (Asri Wulandaria, dkk.2018).

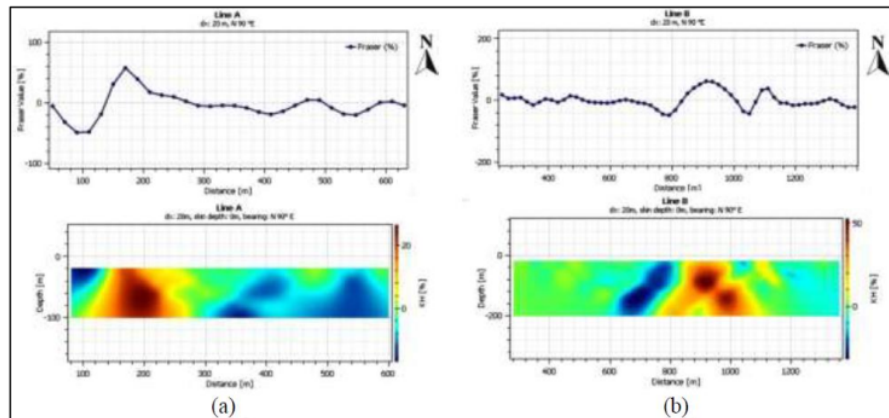
Zona konduktif On Line A terletak pada jarak 120-240 m atau di sisi timur Pagerkandang Vulkanic dengan asumsi kedalaman (kedalaman dangkal) sampai 100 m. Zona konduktif pada Jalur A memiliki nilai rapat arus antara 8-25%. Sedangkan zona resistif pada Jalur A tersebar antara 300-600 m, dengan nilai rapat arus antara (-5) - (-20)%. Daerah konduktif pada Jalur B berada pada jarak 500 m (timur) dan 680-1180 m atau pada sisi barat Vulkanik Pagerkandang memiliki nilai rapat arus antara 10-50% jika kedalaman dangkal mencapai 200 m. Daerah resistivitas tinggi di tengah-tengah Pagerkandang Vulkanik memiliki nilai rapat arus antara -10 - (-30)% (Asri Wulandaria, dkk.2018).

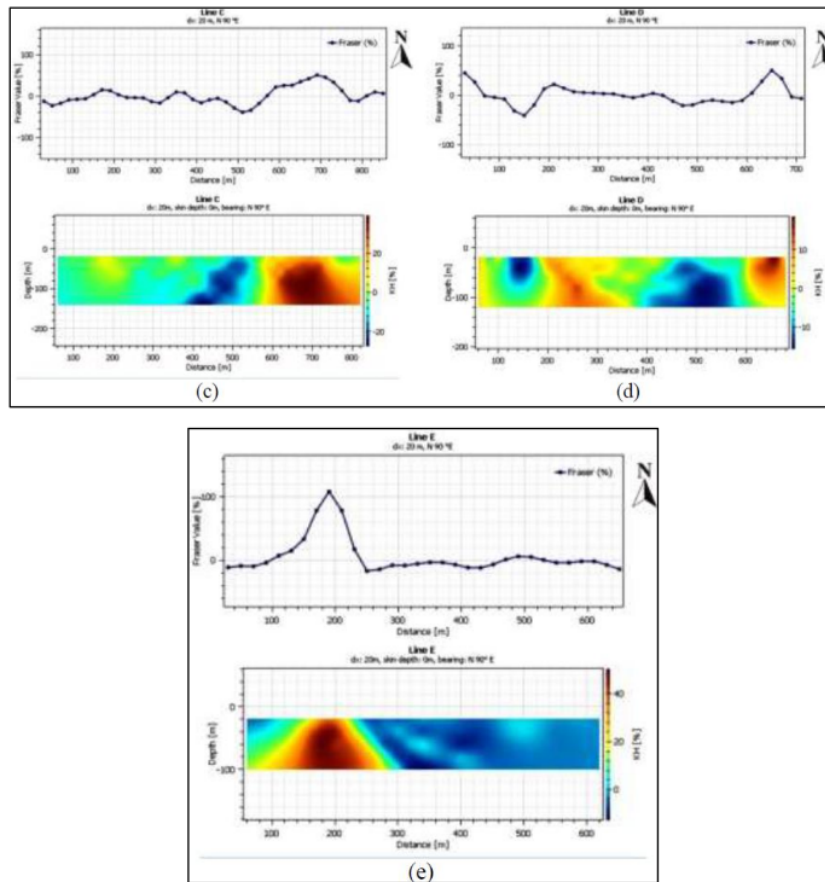
Zona konduktif pada Jalur C berada antara 160-220 m dan 560-800 m yang memiliki kontinuitas dengan zona konduktif pada Jalur B yang terletak di sisi barat Gunungapi Pagerkandang. Nilai densitas arus pada Jalur C antara 8-40% termasuk area konduktif. Daerah resistivitas tinggi terletak pada 380-480 m yang juga terletak di bagian tengah Vulkanik Pagerkandang, dengan nilai rapat arus antara (-12) - (-28)% (Asri Wulandaria, dkk.2018).

Zona konduktivitas tinggi pada Jalur D terletak pada jarak 180-360 m (timur) dan 600-700 m (barat) dengan rapat arus antara 6-20%. Daerah dengan konduktivitas

tinggi di sisi barat diperkirakan masih berasosiasi dengan Jalur B dan Jalur C di selatan. Sedangkan daerah resistif terletak pada jarak 120 m - 180 m (timur) dan 380-560 m (timur) dengan rapat arus antara (-4)% - (-20)%, dan kedalaman dangkal mencapai 120 m (Asri Wulandaria, dkk.2018).

Pengukuran pada Jalur E dimulai di sisi barat Kawah Sileri yang berbatasan dengan sisi timur Vulkanik Pagerkandang. Zona konduktivitas tinggi terletak pada jarak 80-260 m atau transisi dari Kawah Sileri dan Gunung Berapi Pagerkandang dengan rapat arus antara 20–50%. Daerah resistivitas tinggi terletak pada jarak 270-620 m, atau tersebar di bagian tengah Pagerkandang Vulcanic dengan nilai rapat arus antara 10 - (-10)% dan kedalaman dangkal mencapai 100 m. Adanya kawasan dengan konduktivitas tinggi dapat dipengaruhi oleh adanya manifestasi panas bumi seperti fumarol, struktur rekahan, dan tubuh batuan beku (intrusi). Fumarol ditemukan di sisi timur Jalur A dan Jalur C, yang berasosiasi dengan sesar normal akibatnya daerah tersebut memiliki permeabilitas tinggi yang memungkinkan aliran fluida termal ke atas, sehingga manifestasi panas bumi dapat muncul di permukaan. Fumarol juga terletak di bagian barat Pagerkandang Vulcanic, ditunjukkan dengan nilai konduktivitas yang tinggi secara konstan di sisi barat Jalur B, Jalur C, dan Jalur D (Asri Wulandaria, dkk.2018).





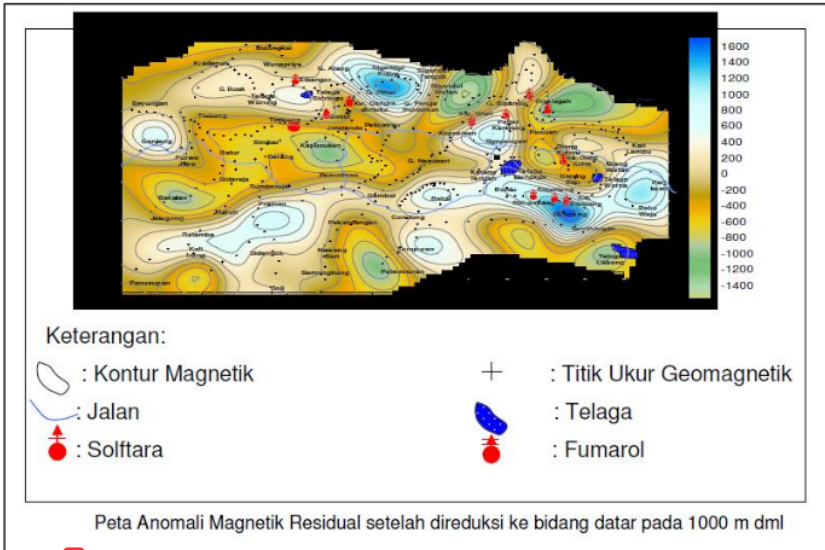
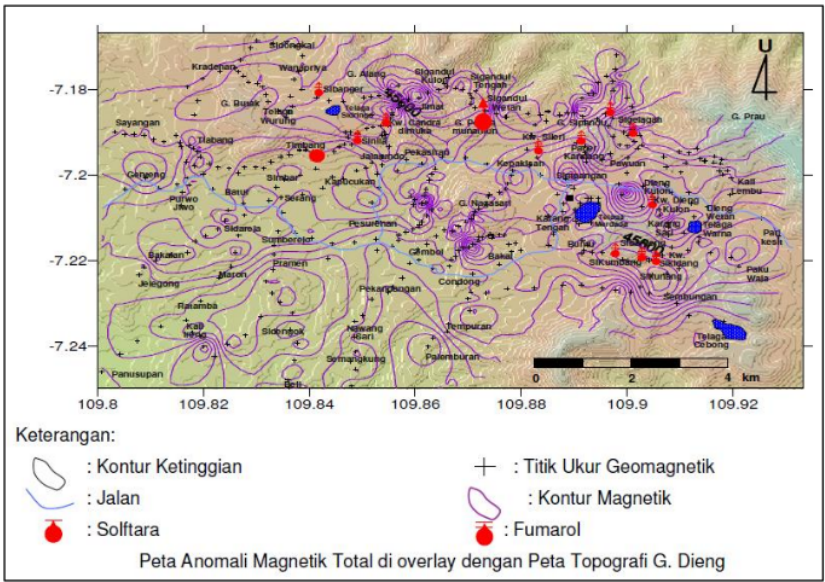
15ambar 4. (a) Filter Fraser Hasil dari data sudut kemiringan garis A dan Hasil Pseudosection dari Karous– Hjelt Filt 15 line A. (b) Fraser Filter Hasil dari data sudut kemiringan garis B dan Hasil Pseudosection dari Karous - Hjelt Filter line B. (c) Filter Fraser Hasil dari data sudut kemiringan garis C dan Hasil Pseudosection dari Filter Karous - Hjelt garis C. (d) Filter Fraser Hasil dari data sudut kemiringan garis D dan Hasil Pseudosection dari Filter Karous - Hjelt jalur D. (e) Filter Fraser Hasil dari data sudut kemiringan garis E dan Hasil Pseudosection dari Karous - Hjelt Filter line E (Asri Wulandaria, dkk.2018).

1
11.1. Geomagnet

Pengukuran geomagnet di G. Dieng difokuskan pada daerah sekitar kawah-kawah serta daerah bahaya gas CO₂. Harga medan magnetik regional (TIGRF/ F) di G. Dieng berada pada harga 45033.7 nT. Nilai Deklinasi (D) pada daerah tersebut adalah 1°10' dan nilai Inklinasinya (I): -32°48'.

Peta Anomali Magnetik Residual pada Permukaan G. Dieng menunjukkan

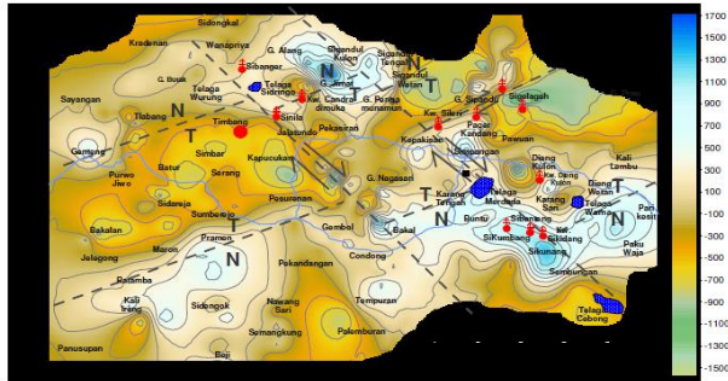
bahwasanya terdapat kelurusan-kelurusan kontras harga magnetik dengan arah relatif baratlaut-tenggara dan arah baratdaya-timurlaut. Harga anomali magnet pada daerah penyelidikan berkisar antara -1614 s.d. 1997.9 nT.




Peta Anomali magnetik residual memperlihatkan bahwa harga anomali magnet pada daerah penyelidikan berkisar antara -1614 s.d. 1997.9 nT. Harga anomali magnet tersebut dapat dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu:

- Anomali magnet rendah (warna hijau – kuning tua) mempunyai harga lebih kecil dari -200 nT. Ditafsirkan sebagai batuan yang bersifat nonmagnetik yang merupakan defleksi dari batuan vulkanik yang telah mengalami pelapukan tinggi (batuan yang telah mengalami demagnetisasi akibat panas) yang diperkirakan berhubungan dengan keberadaan sumber panas.
- Anomali magnet sedang (warna kuning tua – biru muda) dengan harga antara -200 s.d. 400 nT. Ditafsirkan sebagai daerah yang didominasi oleh batuan beku (andesit?) yang telah mengalami pelapukan atau alterasi tingkat sedang sampai tinggi.
- Anomali magnet tinggi (warna biru muda – biru tua) mempunyai harga lebih besar dari 400 nT. Ditafsirkan sebagai daerah yang didominasi oleh batuan beku (andesit?) yang telah mengalami pelapukan tingkat rendah atau masih segar (fresh), batuan intrusi yang muncul ke permukaan atau batuan vulkanik yang didominasi oleh lava.


Kelurusan-kelurusan mempunyai arah relatif baratlaut-tenggara dan arah baratdaya-timurlaut, yang ditafsirkan sebagai cerminan dari adanya struktur sesar. Blok- blok sesar yang naik berada pada kelurusan nilai anomali magnetik yang lebih tinggi dibandingkan dengan blok-blok sesar yang turun yang berada pada kelurusan nilai anomali magnetik yang lebih rendah (VSI ESDM, 2014).




Keterangan:


 : Kontur Magnetik

N : Naik

 : Solftara

 : Sesar Geser

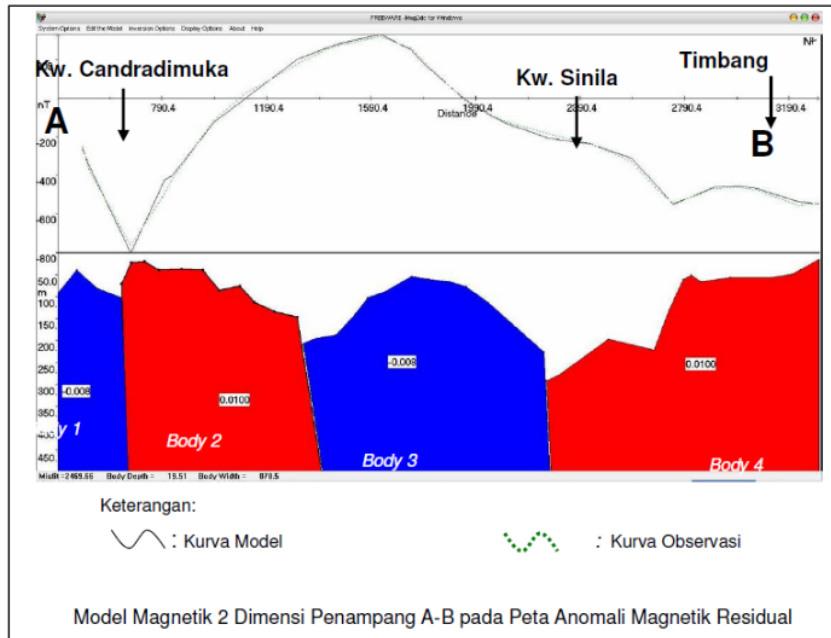
T : Turun

 : Fumarol

Kelurusan-kelurusan Sesar berdasarkan Kontras Nilai Magnetik pada Peta Anomali Magnetik Residual

1

Kelurusan struktur sesar yang arahnya baratdaya-timurlaut umurnya lebih tua dibandingkan dengan kelurusan struktur sesar yang arahnya relatif baratlaut-tenggara. Keberadaan dari solfatara, fumarol serta mofet (titik tempat keluarnya gas CO₂) sangat dipengaruhi oleh keberadaan struktur tersebut. Kelurusan dengan arah baratlaut tenggara merupakan sumber anomali yang dangkal. Oleh karenanya maka penyebaran gas CO₂ di permukaan sangat dipengaruhi oleh keberadaan struktur tersebut.

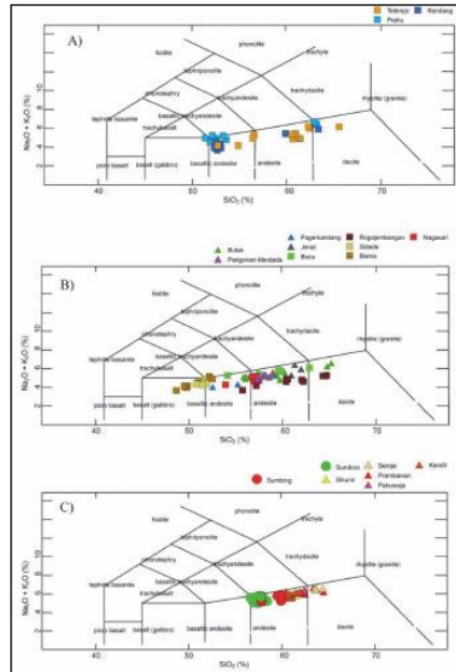


12. Data Geokimia

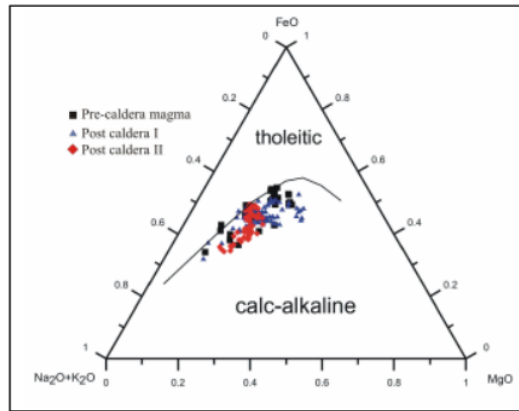
12.1. Elemen Utama

SiO₂ umumnya digunakan sebagai indeks diferensiasi magma yang berevolusi. Unsur utama menunjukkan bahwa magma di DVC bersifat alkali kalk, memiliki berbagai SiO₂ 48-65% berat, khas magma zona subduksi. Plot Total Alkali versus Silika (TAS) dari Le Bas dkk. (1986) ditunjukkan pada Gambar 23, dan menegaskan bahwa komposisi magma DVC berkisar dari basaltik hingga dasit. Kisaran SiO₂ dari magma dari panggung Pra-kaldera mirip dengan yang dari tahap kedua (Post-kaldera I) mulai 48-65%. Sebaliknya, kisaran tahapan terakhir (Pasca kaldera II) berkisar antara 52 hingga 65%. Hal ini menunjukkan komposisi tahapan pertama dan kedua berkisar dari basaltik hingga dasit, sedangkan tahapan ketiga berkisar dari andesitik hingga dasit. Secara keseluruhan, magmatisme menunjukkan pola siklus diferensiasi dari komposisi basaltik ke dasit selama 3 juta tahun terakhir. Diagram Alkali, FeO *, MgO (AFM) dari Irvine dan Baragar (1971) ditunjukkan pada Gambar 6. Ini menegaskan bahwa komposisi batuan di DVS adalah kals alkali dan dibedakan menjadi kandungan alkali yang lebih tinggi dan penurunan kandungan MgO. K₂O versus SiO₂ Diagram menunjukkan pengurangan dari

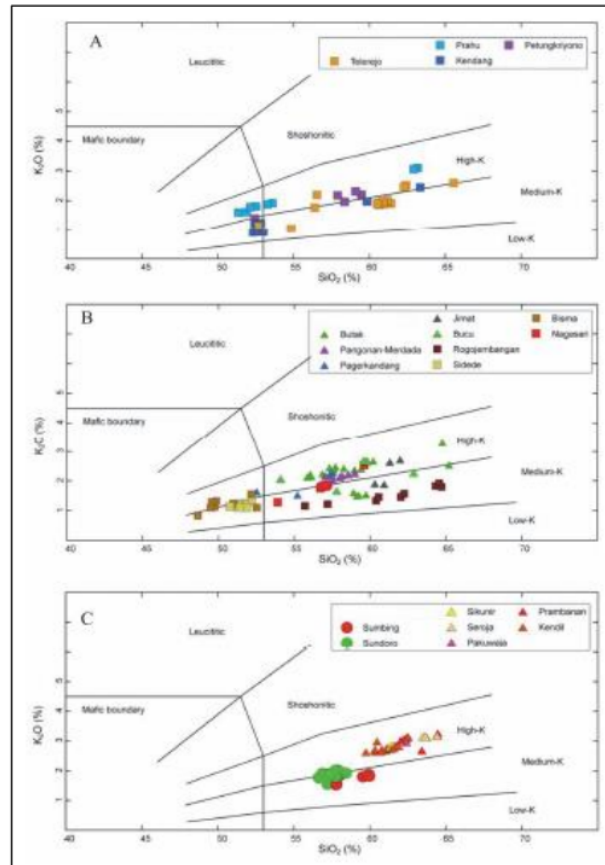
medium-K ke high-K di setiap periode. K_2O versus SiO_2 dari Peccerillo dan Taylor (1976) disajikan pada Gambar 7. Secara umum, terjadi peningkatan $K_{57,5}$ nilainya pada magma kaldera pra dan pasca masing-masing dari 1,85, 2,08 dan 2,10. Konsentrasi Ni (<14 ppm), Cr (<30 ppm) dan MgO (<6%) rendah dalam magma DVC (Agung Harijoko, dkk, 2010).



Gambar 23. Diagram Silika Alkali Total dari Le Bas dkk. (1986). A) Magma pra kaldera DVC menunjukkan rentang yang luas dari basaltik hingga dasit. B) Magma pasca-kaldera I menunjukkan komposisi yang luas dari basaltik hingga dasit mirip dengan tahap 1 atau pra-kaldera. C) Tahap terakhir atau pasca kaldera II magma menunjukkan komposisi yang lebih sempit dari andesitik ke dasitik.



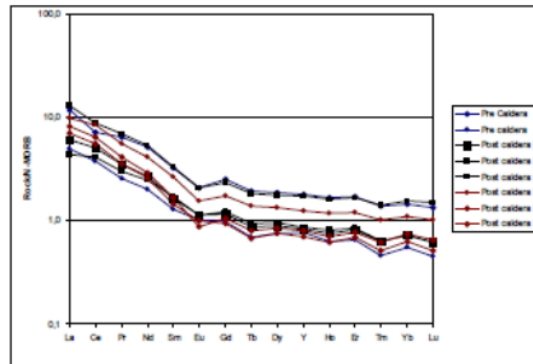
Gambar 24. Plot AFM Irvine dan Baragar (1971).



Gambar 25. Alkalinitas magma diwakili oleh diagram K₂O vs SiO₂. Peccerillo dan Taylor (1976). A dan B) Magma pra-kaldera dan pasca kaldera I menunjukkan alkalinitas dalam kisaran dari K sedang hingga K tinggi. C) Magma pasca kaldera II hanya berkekuatan tinggi (Agung Harijoko, dkk, 2010).

12.2. Elemen Jejak

Hasil analisis REE digambarkan pada Gambar 26. Gambar tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi elemen jejak magma DVC diperkaya dalam LILE dan terkuras dalam HSFE, dengan anomali Eu negatif kecil yang menjadi sedikit lebih jelas pada batuan yang paling berkembang. Tidak ada ciri khas konsentrasi elemen jejak di antara magma di DVC (Agung Harijoko, dkk, 2010).



Gambar 26. Diagram laba-laba elemen jejak dari DVC (Agung Harijoko, dkk, 2010).

12.3. Geothermometer gas

Ringkasan dari geothermometer ²³ dapat dilihat pada tabel 5. Dari tabel tersebut terlihat bahwa temperatur reservoir bervariasi antara 195–418°C. Namun, geothermometer H₂/Ar menunjukkan nilai yang tidak realistis karena tersebar luas dari 195°C sampai 418°C dan juga seringkali memiliki nilai yang berbeda dibandingkan dengan geothermometer lainnya. Ar adalah gas atmosfer lembam yang kelarutannya dalam fase uap hanya bergantung pada distribusi koefisien dan suhu, sedangkan H₂ adalah gas reaktif yang juga dapat bereaksi dengan mineral di dalam reservoir. Hasil geothermometer ini menunjukkan bahwa unsur Ar dan H₂ tidak dalam keadaan ekuilibrium (kesetimbangan), sehingga geothermometer ini tidak bisa diterapkan dalam sistem (Rasi Prasetio, dkk. 2010).

12.4. Geokimia air

Pengukuran di lapangan dan analisis laboratorium terhadap enam sampel air panas menghasilkan suhu, pH, nilai kesadahan air (CaCO₃) dan enam belas unsur ³⁸ seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5, serta analisis isotop deuterium (δD) dan oksigen-18 ($\delta^{18}O$) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 (Y. Ramadhan, dkk. 2013).

Tabel 4. Karakteristik Manifestasi Permukaan (Y. Ramadhan, dkk.2013).

No.	Location	Sample No	Date of Sampling	Coordinate		T°C	pH	Conductivity (MeV)	Debit (liter)	Manifestation type and Description
				S	E					
1	Bitingan	Bit-06	8 Juni 2009	7°11'06.6"	109°53'24.8"	59	6.77	48.5	0.47	Consisting of five hot springs, coming out of cracks, no bubbles, colourless, odourless, tasteless, no surface deposit
2	Sileri	Slr-01	8 Juni 2009	7°11'42.3"	109°53'0.48"	65	6.30	71.5	0.07	Hot spring coming out of cracks, no bubbles, colourless, odourless, tasteless, no surface deposit
3	Siglagah	Pgd-07	8 Juni 2009	7°11'27.18"	109°54'3.54"	61	7.09	35.0	0.01	Hot spring formed through depression system, no bubbles, colourless, odourless, tasteless, no surface deposit
4	Pulosari	Pul-01	8 Juni 2009	7°13'36.54"	109°52'21.6"	44	6.14	78.8	n/a	Hot water pond, 1.05 m ² large, coming out of cracks, there are bubbles, a bit sulphur smell, a bit surface deposit
5	Kaliputih	Klp-01	8 Juni 2009	7°13'54.48"	109°43'49.68"	43	6.57	54.8	n/a	Hot water pond, 12.5 m ² large, coming out of cracks, there are bubbles, a bit sulphur smell, there is sulphur deposit around the pond
6	Sikidang	Skd-09	9 Juni 2009	7°13'11.6"	109°54'21.72"	61	6.20	50.6	n/a	Hot spring, coming out of cracks, no bubbles, sulphur smell and a bit muddy, there is surface deposit
7	Sipandu	Pgd-06	9 Juni 2009	7°11'28.5"	109°53'59.1"	94*	n/a	n/a	n/a	Fumaroles, white smokes, thundering sound, no bubbles
8	Pager Kandang	Pgd-14	9 Juni 2009	7°11'47.9"	109°53'26.5"	93*	n/a	n/a	n/a	Fumaroles, white smokes, thundering sound, no bubbles, a bit sulphur smell, there is sulphur deposit
9	Candradimuka	n/a	9 Juni 2009	7°11'10.6"	109°51'25.3"	94*	n/a	n/a	n/a	Fumaroles, white smokes, thundering sound, there are bubbles, strong sulphur smell, there is sulphur deposit
10	Sileri	n/a	9 Juni 2009	7°11'42.3"	109°53'00	70	n/a	n/a	n/a	Mud pond, muddy water, strong sulphur smell, there are bubbles, white smokes, there is sulphur deposit, the area about 100 m ²
11	Sikidang	n/a	9 Juni 2009	7°13'09.4"	109°54'53.2"	88	n/a	n/a	n/a	Mud pond, muddy water, strong sulphur smell, there are bubbles, white smokes, there is sulphur deposit, about 25 m ² in broad

Tabel 5. Analisis Geokimia Air (dalam mg / kg), Isotop Deuterium (δD), dan Oxygen-18 (δ18O) dalam ‰ (Y. Ramadhan, dkk.2013).

No	Location	pH _{25°C}	DHL (g/liter)	CaCO ₃	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Fe	Mn	B	NH ₄ ⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	As ³⁺	Li ⁺	δD	δ18O	Ion Balance (%)
1	Bitingan	7.99	693	124	11.28	23.38	17.96	1.39	59.50	71.30	28.20	0.01	0.07	1.38	0.83	38.94	243.30	0.00	0.01	0.03	-46.97±0.3	-7.62±0.2	5
2	Sileri	8.37	849	277	13.69	58.97	69.22	1.15	76.80	61.69	21.30	0.12	0.50	3.84	1.94	41.09	231.90	0.00	0.01	0.05	-49.37±0.8	-6.98±0.4	9
3	Siglagah	8.27	283	106	14.50	17.04	7.42	1.17	28.70	17.43	21.10	0.34	0.40	0.32	0.04	44.06	118.36	0.00	0.09	0.00	-49.57±1.0	-7.59±0.5	11
4	Pulosari	4.54	1218	358	19.33	63.35	289.0	5.96	214.0	76.23	52.00	0.68	0.86	0.87	0.95	46.34	21.74	1.73	1.73	0.02	-46.97±0.2	-6.47±0.2	9
5	Kaliputih	8.36	2790	527	4.03	125.50	484.50	1.20	11.10	321.30	41.50	0.08	0.05	1.19	0.005	46.34	634.09	0.00	0.00	0.88	-30.87±0.4	-5.03±0.1	3
6	Sikidang	3.88	1832	351	43.50	58.94	27.48	6.82	862.00	203.40	51.60	11.44	0.61	0.69	5.27	58.68	0.00	5.19	0.01	0.01	-38.97±0.9	-2.46±0.4	4

12.5. Isotop ²H, ¹⁸O dan ¹³C.

Hasil analisis Isotop ²H, ¹⁸O dan ¹³C dapat dilihat pada tabel 6. Tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai dari ¹⁸O sangat kaya, berkisar antara 3,13 - 4,68 ‰. Sedangkan Nilai dari ²H berkisar antara -38 ‰ hingga -49,6 ‰ yang berada di dalam kisaran air meteorik Dieng, yaitu antara -36,8 ‰ hingga -62,5 ‰ dengan nilai rata-rata -47,08 ‰ dan persamaan garis meteorik lokal sebagai berikut (BAFI-BATAN, 1990):

$$\delta^2\text{H} = 7.85 \delta^{18}\text{O} + 16.5 \dots\dots\dots (1)$$

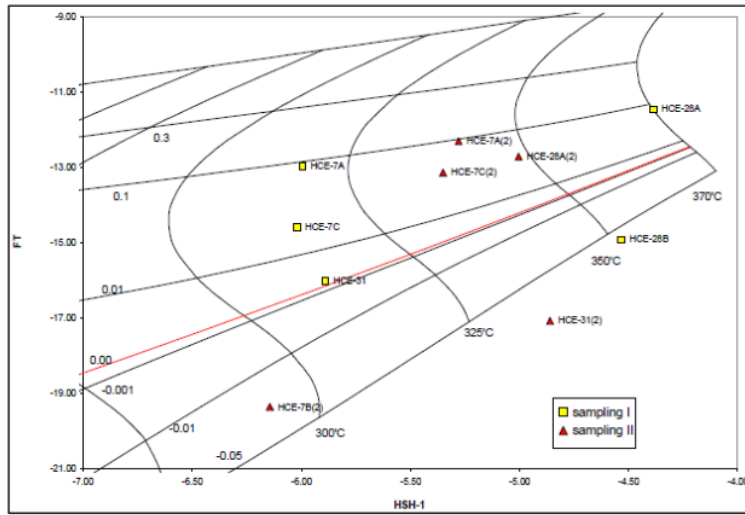
Gambar 3 menunjukkan hubungan antara ¹⁸O dan ²H dari fluida panas bumi Dieng dan juga garis meteorik setempat. Grafik menunjukkan bahwa

"pergeseran oksigen" sangat tinggi, hingga 12 ‰. Sebagai perbandingan, fluida panas bumi Lahendong, Sulawesi Utara hanya berkisar antara -4,84 ‰ untuk - 5,25 ‰ (PATIR - BATAN, 2005 dalam Rasi Prasetio,dkk. 2010).

Selain diperkaya, nilai ^{18}O dari fluida panas bumi Dieng juga diplot mendekati nilai ^{18}O magmatik. Ada dua kemungkinan yang mungkin menyebabkan fluida yang sangat kaya ini, di mana kedua kemungkinan tersebut dapat terjadi secara bersamaan. Kemungkinan pertama adalah intensitas interaksi air - batuan pada temperatur yang sangat tinggi dengan waktu transit yang sangat lama didalam reservoir. Tapi kemungkinan ini sangat terbatas karena isotop oksigen hampir tidak dapat bergeser sekitar 7 ‰ disuhu 350°C (O Neil, JR, Taylor Jr., HP, 1967) (Rasi Prasetio,dkk. 2010).

Kemungkinan kedua adalah adanya proses pencampuran antara fluida reservoir dengan air magmatik. Namun, proses pencampuran ini sulit untuk dihitung, karena nilai Isotop ^{18}O aslinya tidak diketahui. Bandingkan dengan data eksplorasi panas bumi lapangan Dieng yang mengalami pergeseran oksigen bervariasi antara 3 - 10 ‰, Sekarang Nilai ^{18}O menunjukkan pengaruh eksploitasi reservoir. Bisa jadi terjadi mekanisme pengisian (*recharge*) yang lambat ke dalam reservoir sehingga ^{18}O nilainya lebih diperkaya (Rasi Prasetio,dkk. 2010).

Sementara itu, Rasio isotop ^{13}C dari CO_2 berkisar antara - 2,78 ‰ hingga -6,44 ‰ dengan nilai rata-rata -4,68 ‰. Nilai ini serupa dengan nilai tipe CO_2 magmatic dan juga *crustal carbonates* (Clark, I., Fritz, P., 1997). Hal ini juga menandakan bahwa fluida reservoir pernah mengalami pencampuran dan interaksi dengan fluida magmatik, seperti ditunjukkan juga oleh data ^2H dan ^{18}O . Kemungkinan terakhir, turunan *crustal carbonates*, tidak mungkin terjadi karena mineral karbonat di lapangan ini tidak umum dijumpai (Rasi Prasetio,dkk. 2010)..



Gambar 27. Diagram FT-HSH fluida panas bumi Dieng (Rasi Prasetyo, dkk. 2010).

Tabel 6. Komposisi gas lapangan panas bumi Dieng (mmol/kg steam) (Rasi Prasetyo, dkk. 2010).

Tidak	Produkasi dengan baik	Melaporkan fraksi uap	BERSAMA ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	HAI ₂	Ar	CH ₄
Pengambilan sampel pertama:									
1	HCE-7A 12 batang	0.34	257.122	18.303	5.688	0.278	0.000	0.004	3.685
2	HCE-7A 10 batang	0.35	268.711	17.987	6.517	0.277	0.000	0.005	3.925
3	HCE-7B	0.29	5.252	1.154	0.000	0.358	0.002	0.006	0.025
4	HCE-7C	0.45	219.981	9.824	1.567	0.380	0.002	0.024	1.282
5	HCE-28A	0.38	188.779	51.407	7.434	0.367	0.000	0.002	0.823
6	HCE-28B	0.34	10.525	10.953	0.125	0.007	0.000	0.001	0.000
7	HCE-31	0.35	70.192	6.061	0.470	0.017	0.001	0.002	0.263
Pengambilan sampel kedua:									
1	HCE-7A	0.37	307.483	23.389	5.894	0.324	0.004	0.062	4.259
2	HCE-7B	0.31	15.103	2.443	0.070	2.696	0.002	0.081	0.100
3	HCE-7C	0.45	511.420	21.962	3.736	1.331	0.001	0.066	3.334
4	HCE-28A	0.38	126.454	24.749	3.438	0.265	0.003	0.029	0.450
5	HCE-31	0.36	54.840	10.217	0.194	0.118	0.000	0.026	0.057

Tabel 7. Perhitungan geothermometer gas (Rasi Prasetyo, dkk. 2010).

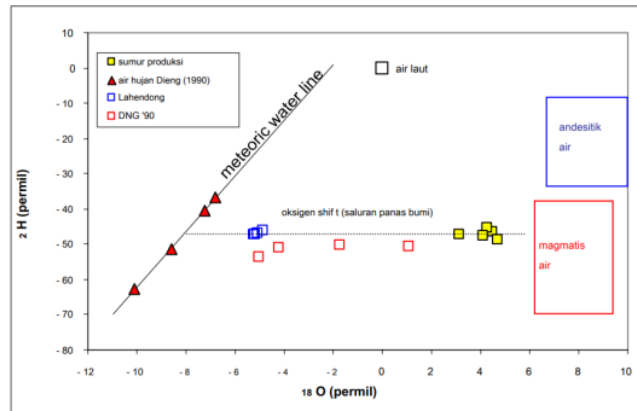
Wells	Geothermometer (°C)						Catatan
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	
Pengambilan sampel pertama:							
HCE-7A	269.4	295	391.8 *	318	245 *	290 *	
HCE-7C	237.5 *	280.4	231.8 *	316	260	300	
HCE-28A	324.5	301.6	418.4 *	370 *	220 *	330	
HCE-28B	303.9	286.7	333.1	351	245 *	360 *	T ₁ ->D'Amore - Geothermometer Panichi (D'Amore, F., Panichi, C., 1985)
HCE-31	249.2 *	279.6	345.4 *	313	275	320	T ₁ -BERSAMA ₂ -> H ₂ geothermometer (Amorsson, S., Gunnlaugsson, E., 1985)
Pengambilan sampel kedua:							
HCE-7A	265.5	292.6	348.2 *	341 *	225 *	285	T ₁ ->H ₂ Ar geothermometer (Amorsson, S., Gunnlaugsson, E., 1985)
HCE-7B	242.2	275	195.5 *	393 *	220	230	T ₁ ->Melode FT-HSH (Amorsson, S., D'Amore, F., 2000.)
HCE-7C	236.6 *	280.7	297.5	337 *	260	298	T ₁ ->H ₂ Lengkungan -> Giggelbach, WF, dan Goguel, RL, 1989)
HCE-28A	307.4	297 *	351.7	348	210 *	325	T ₁ ->H ₂ Lengkungan- BERSAMA ₂ geocordator (Giggelbach, WF, 1993)
HCE-31	254.1	271.6	263.7	337 *	270	290	

Tabel 8. Rasio isotop di Lapangan Panas Bumi Dieng (o/oo).

Wells	H. 2 O (vs SMOW)		BERSAMA 2 (vs PDB)	
	¹⁸ HAI	² H.	¹⁸ HAI	¹³ C
HCE-7A	4.48	-46.6	10.79	-4.09
HCE-7B	4.09	-47.5	-	-
HCE-7C	3.13	-47.2	-2.78	-2.78
HCE-28A	3.78	-38.0	3.54	-6.44
HCE-28B	4.68	-49.6	44.84	-6.41
HCE-31	4.26	-42,5	-0.48	-3.69

13. Asal Fluida

Asal muasal fluida dapat dievaluasi dengan menggunakan segitiga diagram He, N₂ dan Ar, seperti yang ditunjukkan pada gambar 28. Diagram segitiga menunjukkan bahwa fluida panas bumi Dieng adalah asal meteorik. Hasil ini juga diperkuat dengan hasil analisis isotop (Rasi Prasetio,dkk. 2010).

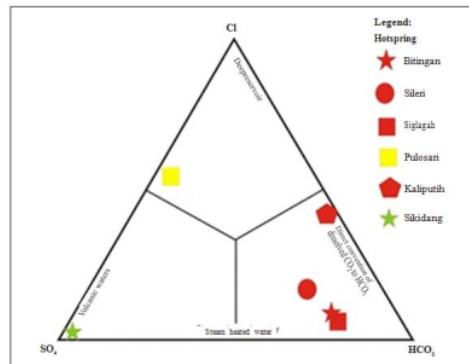


Gambar 28. Isotop ¹⁸O versus ²H di lapangan panas bumi Dieng (Rasi Prasetio,dkk. 2010).

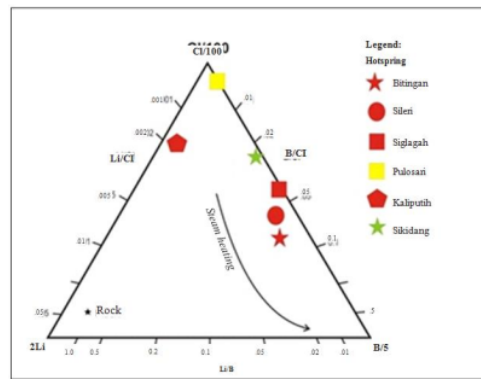
14. Sumber dan Reservoir Air Panas

Berdasarkan diagram Cl-Li-B pada Gambar 30, diperkirakan air panas yang keluar di wilayah studi berasal dari empat sumber atau reservoir yang berbeda. Reservoir pertama adalah reservoir yang membentuk mata air panas Pulosari. Mata air panas ini memiliki perbandingan B / Cl kurang dari 0,01. Ini menunjukkan pengaruh proses vulkanomagmatik. Reservoir kedua keluar sebagai mata air panas Kaliputih. Sumber air panas ini memiliki perbandingan kurang dari 0,02 yang menunjukkan pengaruh proses vulkanomagmatik tetapi kurang dominan dibandingkan dengan mata

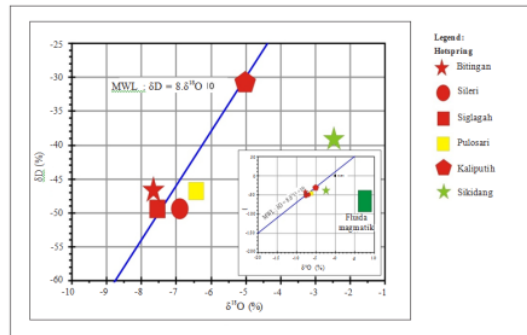
air panas Pulosari. Reservoir ketiga keluar berupa mata air panas Bitingan, Sileri, dan Siglagah yang tergolong dalam satu kelompok. Hal ini menunjukkan adanya kesamaan pada pemanasan steam dengan perbandingan Li / Cl kurang dari 0,001 dan B / Cl antara 0,05 dan 0,1. Reservoir keempat keluar sebagai mata air panas Sikidang dengan perbandingan B / Cl kurang dari 0,03. Perbedaan reservoir mata air panas juga pada pola hidrologi dan satuan geologi (Y. Ramadhan, dkk.2013).



Gambar 29. Diagram Cl-HCO₃-SO₄ menunjukkan air panas yang umumnya berjenis bikarbonat (Y. Ramadhan, dkk.2013).



Gambar 30. Diagram Cl-Li-B menunjukkan empat reservoir air panas yang berbeda (Y. Ramadhan, dkk.2013).



6
Gambar 31. Grafik yang menunjukkan hubungan antara isotop stabil air panas-18 ($\delta^{18}\text{O}$) dan δD di daerah penelitian (Y. Ramadhan, dkk.2013).

15. Evolusi Magma

15.1. Evolusi Spasial Dan Temporal Magma DVC

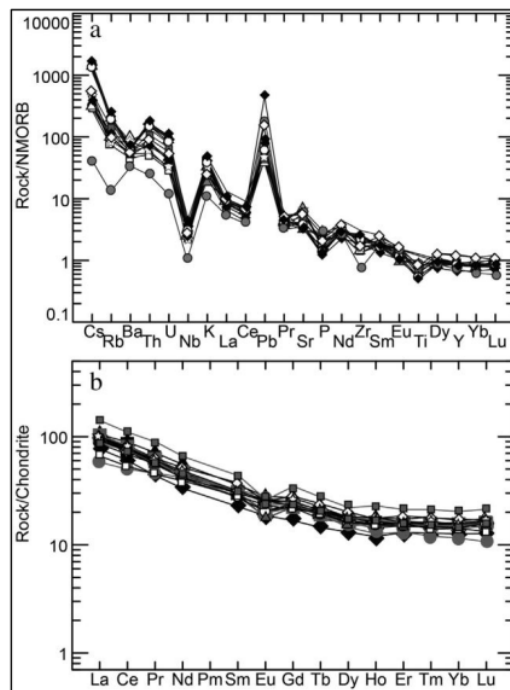
Analisis petrografi mengidentifikasi tiga jenis magma yang tersebar secara spasial dan temporal di DVC. Distribusi ini menunjukkan bahwa ada perubahan komposisi magma lebih banyak kandungannya menjadi felsik dan dari episode yang lebih tua ke yang lebih muda. Diperkirakan setiap episodanya memiliki komposisi magma yang khas. Diferensiasi magma sangat didukung oleh perilaku elemen utama. Pada jumlah MgO dan rasio tertentu dari $\text{FeO}^* / \text{MgO}$, terhadap elemen utama lainnya dan rasio elemen yang tidak kompatibel, setiap episode memiliki jalur diferensiasi yang unik. Dengan demikian, selain tren yang berkembang jelas dari peningkatan magma felsik saat tahapan menjadi lebih muda, tren plot Harker mengarah pada kemungkinan adanya beberapa ruang magma dangkal di bawah DVC, yang berkorelasi dengan setiap episode vulkanik (Agung Harijoko, dkk. 2016).

Korelasi beberapa ruang magma dangkal dengan fasilitas vulkanik adalah sebagai berikut.

- Gunung berapi Bucu, Pagerkandang dan Pانونان – Merdada yang termasuk dalam episode kedua memiliki bilik magma andesitik-andesitik piroksen basaltik dangkal yang sama.
- Episode termuda (Kendil, Pakuwaja, Sikunir, Prambanan dan Seroja) gunung berapi dialiri oleh ruang magma biotit andesitik-dasit yang sama.

- Episode pra-kaldera memiliki dua ruang magma dangkal basaltik-basaltik yang mengandung olivin, yang memberi *supply* Bisma-Sidede dan Prau-Nagasari. Magma Bisma – Sidede kurang berkembang dibandingkan dengan Magma Prau – Nagasari. Magma lebih silikat mungkin terletak di tingkat yang lebih dangkal karena tingkat daya apung netral yang lebih dangkal. Sketsa non skala model geologi sistem pemipaan magma bawah permukaan disajikan pada Gambar 36 (Agung Harijoko,dkk. 2016).

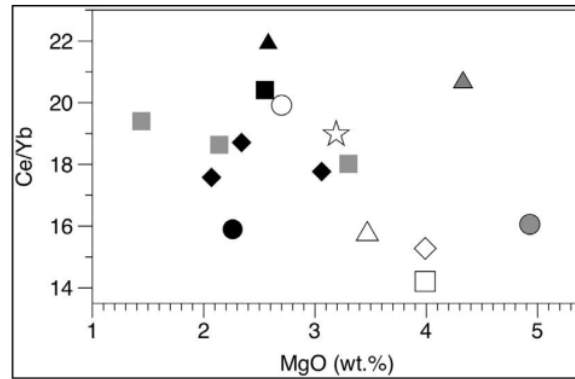
Diagram multi-elemen elemen jejak dan REE batuan DVC menunjukkan pola afinitas kalk-alkali yang khas. Selain itu, tidak ada perbedaan esensial dalam elemen jejak dan pola REE antara ketiga episode. Rasio LREE / HREE (Gambar 33) tiap episode juga diplot dalam rentang yang sama. Secara khusus, sedikit pengayaan LREE di episode kedua dan termuda kemungkinan karena tingkat diferensiasi yang berbeda. Ini menunjukkan bahwa jenis magma di DVC berasal dari sumber magma primitif yang sama (Agung Harijoko,dkk. 2016).



Gambar 32. Diagram laba-laba (spider) dari elemen jejak dinormalisasi NMORB (a) dan kondrit dinormalisasi (b). Diagram ini menunjukkan bahwa REE dan komposisi elemen jejak magma semua

gunung berapi di DVC tidak dapat dibedakan. Artinya semua magma itu adalah cogenesis. Nilai NMORB dan Chondrite berasal dari Sun dan McDonough (1989). Simbolnya sama dengan yang digunakan pada

Gambar 9. (Agung Harijoko, 2016)



Gambar 33. Plot Ce / Yb vs. MgO. Semua lava DVC memiliki kisaran rasio Ce / Yb yang serupa, yang menunjukkan kesamaan sumber magma mereka. Tren negatif kecil di episode kedua dan termuda mungkin karena proses diferensiasi. Simbolnya sama dengan yang digunakan pada Gambar 9. (Agung Harijoko, 2016).

15.2. Evolusi Magma Dan Sistem Panas Bumi

Secara spasial, gunung berapi episode pra-kaldera tersebar di sepanjang tepi DVC, sedangkan gunung berapi episode tengah dan termuda tersebar di bagian tengah (Gambar 4). Di dalam kaldera, pusat letusan episode kedua dan termuda bergeser dari bagian tengah ke tenggara DVC (seperti yang dijelaskan pada Bagian 5.2). Hal ini membuat distribusi dari dua tahapan terakhir memanjang dalam tren NW. Tren ini bertepatan dengan garis vulkanik Sumbing-Sindoro-DVC, yang menunjukkan bahwa tren NW permeabel dan kemungkinan dikendalikan oleh patahan dalam (Agung Harijoko, dkk. 2016).

Pergeseran pusat letusan episode kedua dan termuda kemungkinan terkait dengan dua ruang magma berbeda yang memberi makan aktivitas setiap episode. Lokasi ruang magma dari kedua episode disimpulkan dengan menyusun hubungan spasial dari penyakit vulkanik dengan data geofisika Boedihardi dkk. (1991), termasuk magneto telluric, gravitasi dan temperatur bawah permukaan (Gambar 5). Terungkap bahwa zona suhu tinggi yang terus menerus terletak di bawah gunung

berapi episode kedua (khususnya Pagerkandang dan Panganon – Merdada) dan episode termuda (khususnya Pakuwaja). Zona konduktivitas tinggi pada kedalaman 1000 m tumpang tindih, menunjukkan bahwa sumber panas dari sistem panas bumi di DVC terkait dengan ruang magma dangkal dari episode kedua dan episode termuda (Gambar 5) (Agung Harijoko,dkk. 2016).

Pengeboran membuktikan bahwa zona potensial di bawah gunung berapi episode kedua (zona potensi Sileri dan Sikidang) adalah zona produksi, meskipun sumur produksi di bawah Kawah Sikidang terserang cairan asam dan sekarang sebagian besar telah ditinggalkan. Zona potensial di bawah episode gunung berapi termuda (sektor Pakuwaja) diuji dengan menggunakan dua lubang bor, yang menunjukkan suhu tinggi sekitar 320 ° C (Boedihardi dkk., 1991); Namun hingga saat ini belum terbukti sebagai kawasan produksi. Potensi panas bumi di sektor Pakuwaja kemungkinan terhambat oleh permeabilitas batuan yang rendah, karena batuan vulkanik masih muda dan oleh karena itu kurang terbelah oleh struktur geologi (Agung Harijoko,dkk. 2016).

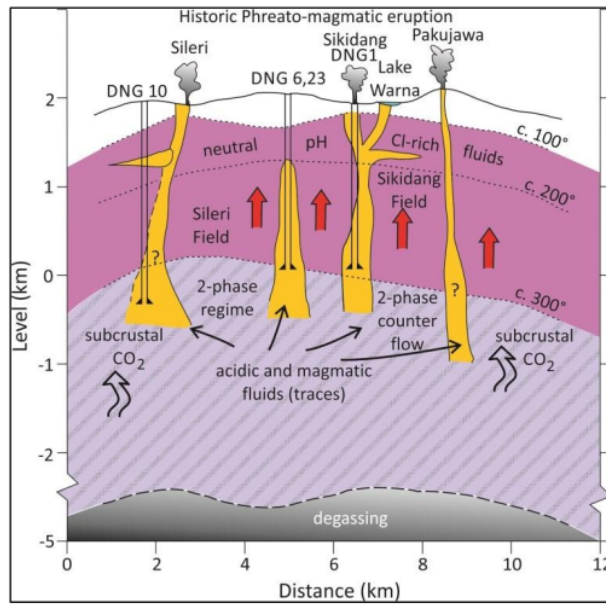
Secara umum, sistem panas bumi di DVC mirip dengan hubungan erat antara sistem panas bumi suhu tinggi dan gunung berapi, seperti yang dinyatakan oleh Wohletz dan Heiken (1992): “Sistem panas bumi dapat berkembang di sekitar gunung berapi komposit andesitik dewasa ke dasit. Terjadinya sistem panas bumi dalam kompleks vulkanik dipengaruhi oleh usia dan komposisi kerucut vulkanik di samping rekahan dan sesar yang menjadi jalur sirkulasi air ” (Agung Harijoko,dkk. 2016).

16. Model Konseptual Panas Bumi Dieng Volcanic Complex

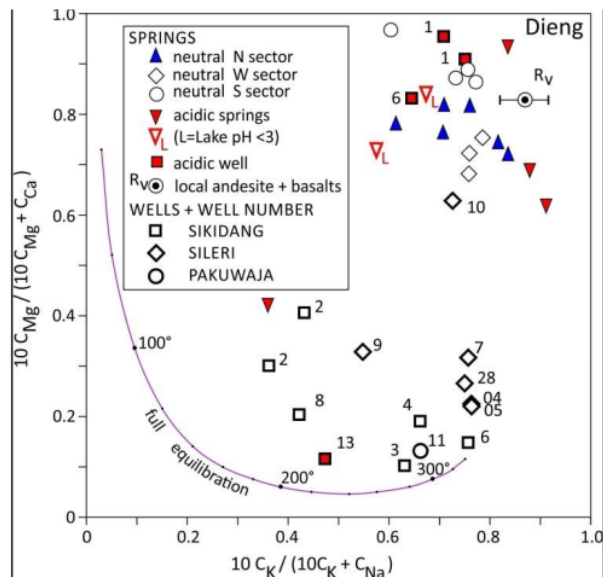
Prospek Dieng (7.20 ° LU, 109.92 ° BT) didominasi oleh tiga pusat ledakan freatik utama yang secara historis aktif di Dataran Tinggi Dieng (Simkin dan Siebert, 1994). Pusat (Sileri, Sikidang, dan Pakuwaju) menunjukkan manifestasi permukaan aktif (fumarol, tanah yang menggepul, kolam panas dan mata air). Eksplorasi awal dimulai pada tahun 1970-an dan dilanjutkan dengan pemboran eksplorasi (Pertamina) hingga 1993, terutama di lapangan Sikidang yang lebih besar (Boedihardi dkk., 1991). Tahap kedua pengeboran dilakukan oleh kelompok AS (HCE) dari 1995 hingga 1998, berkonsentrasi pada pengembangan lapangan Sileri yang berdekatan (Layman dkk., 2002). Fluida asam (tipe-SO₄) telah ditemukan di beberapa sumur Sikidang (DNG-1), di

sepanjang batas NE (DNG-6, -23, -24), dan batas SW (DNG-9, -13); istilah 'batas' mengacu pada pola resistivitas dan anomali T di peta oleh Layman dkk. (2002). Air asam (pH 2,9) SO₄-Cl memasuki besar 0,13 km² Danau Warna pada batas NE; kehilangan panas (*heat loss*) penguapan yang diperkirakan adalah c. 85 MW. Kemungkinan korosi asam dangkal mempengaruhi sebagian besar 21 sumur Sikidang yang *casingnya* telah runtuh pada tahun 1995. Hal ini menyebabkan perubahan dalam strategi yang mengarah pada pengembangan Lapangan Sileri yang dipaksakan dan mengakibatkan pembangunan pabrik 60 MWe, yang ditugaskan di 2002, sekarang diambil alih oleh GeoDipa. Kapasitas operasinya menurun hingga ditutup karena kegagalan pabrik pada tahun 2013 (Manfred P.Hochstein dan Sayogi Sudarman, 2015).

Sebagian besar dari 46 sumur dalam telah mengalami fluida ber-T tinggi, dengan pH netral. Saluran feeder, ditunjukkan pada Gambar 34, ditunjukkan oleh konstituen fluida untuk pusat bidang Sikidang (DNG-1), untuk Danau Warna, dan untuk sekumpulan sumur di catat DNG -6 di mana DNG -23 dan DNG- 24 uap asam terbuang (*discharge*). Dua feeder lainnya diasumsikan terjadi di bawah, atau di dekat kawah freatik Sileri dan Pakuwaja. Gambar 34 memperbarui model Dieng konseptual yang lebih tua (Gambar 6b dalam Hochstein dan Sudarman, 2008) (Manfred P.Hochstein dan Sayogi Sudarman, 2015).



Gambar 34. Model konseptual sistem Dieng dengan struktur 'feeder' asam yang diamati dan disimpulkan diproyeksikan ke bagian NW-SE pusat; kontur bidang-T hanyalah perkiraan (Manfred P.Hochstein dan Sayogi Sudarman, 2015).

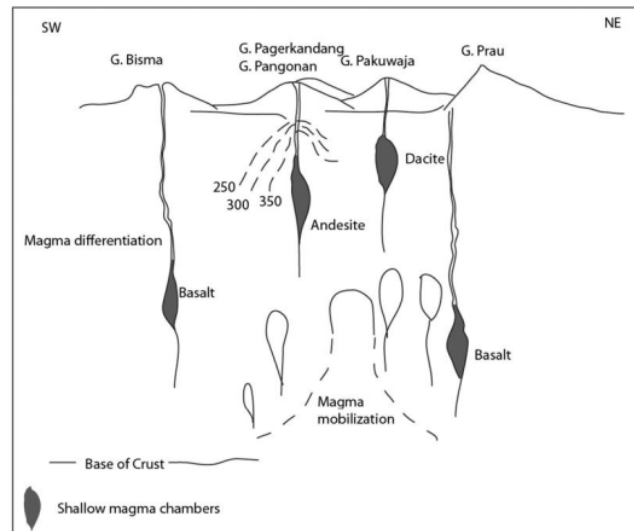


Gambar 35. Plot rasio kation mata air dan sampel sumur untuk berbagai sektor di Dieng (Manfred P.Hochstein dan Sayogi Sudarman, 2015).

Rasio kation dari beberapa analisis yang dipublikasikan tentang manifestasi Dieng dan sampel sumur ditunjukkan pada Gambar 35. Semua sampel mata air menunjukkan komposisi kation yang tidak seimbang yang menunjukkan pelarutan batuan vulkanik lokal oleh fluida asam. Beberapa sampel sumur asam muncul dengan fluida yang tidak seimbang (DNG -1 dan DNG -6, tetapi juga DNG -10), sampel lain menunjukkan ekuilibrasi parsial yang mengarah ke gangguan yang mencegah kesetimbangan ulang penuh (efek fluida kerak dalam?) (Manfred P.Hochstein dan Sayogi Sudarman, 2015).

Lapangan panas bumi Dieng adalah sistem panas bumi bersuhu tinggi dan didominasi cairan (*liquid-dominated*) yang terletak di Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Lapangan ini terletak di dataran tinggi vulkanik Dataran Tinggi Dieng (2000 mdpl) dan terdiri dari beberapa titik vulkanik yang dikenal dengan *Dieng Volcanic Complex* (DVC). Terjadinya sistem panas bumi bersuhu tinggi di suatu kompleks vulkanik dipengaruhi oleh umur dan komposisi gunung berapi yang berfungsi sebagai sumber panas (Wohlez dan Heiken, 1992; Mufer dan Duffield, 1995). Untuk mengembangkan bidang panas bumi dalam kompleks vulkanik, informasi yang cukup harus dipahami

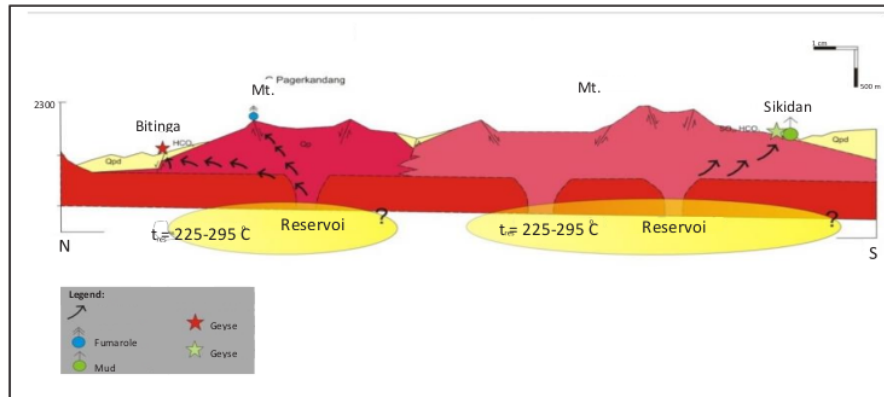
mengenai ruang magma yang merupakan sumber panas potensial dari sistem panas bumi. DVC terdiri dari banyak bangunan vulkanik dari beberapa episode, yang memungkinkan studi evolusi magmatik di bawah kompleks vulkanik untuk menyimpulkan ruang magma dangkal (*shallow magma chamber*) (Agung Harijoko,dkk. 2016).



Gambar 36. Sketsa non-skala model geologi reservoir magma dangkal dalam kaitannya dengan sistem panas bumi suhu tinggi di DVC. Garis putus-putus mewakili suhu bawah permukaan. (Agung Harijoko, 2016).

Perkiraan suhu bawah permukaan dihitung menggunakan metode geotermometer Na-K-Ca dibandingkan dengan manifestasi fumarol yang tersedia di daerah penelitian. Geotermometer Na-K-Ca digunakan untuk menghitung suhu reservoir di daerah penelitian, karena air panas di daerah ini telah berinteraksi dengan batuan sekitarnya dan memiliki kandungan Ca yang tinggi. Air panas yang digunakan untuk perhitungan geotermometer berasal dari Pulosari yang memiliki jenis campuran sulfat klorida dengan nilai pH. Berdasarkan perhitungan geotermometer Na-K-Ca, reservoir air panas di daerah penelitian memiliki suhu 295° C. Sebagai pembanding, manifestasi berupa fumarol kering dengan karakteristik kering dan suara gemuruh tersedia di fumarol Pagerkandang dan Sipandu. Menurut Hochstein dan Browne (2000) fumarol kering menunjukkan reservoir panas bumi $\geq 225^{\circ}$ C. Oleh karena itu dapat diartikan bahwa panas bumi Pagerkandang dan Sipandu memiliki temperatur reservoir \geq

225° C. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa Suhu panas bumi dari wilayah yang diteliti berada di atas 225° C, dan mungkin mencapai 300° C (Gambar 37). (Y. Ramadhan, dkk.2013).



Gambar 37. Model sketsa tentatif panas bumi Dieng berarah utara - selatan, geologi didasarkan pada Condon dkk. (1996) dan observasi lapangan. (Y. Ramadhan, dkk.2013).

17. Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi termal terletak pada sekitar ~ 2.000 m dpl dan secara spasial terkait dengan pusat vulkanik berarah NW-SE. Mereka didominasi oleh pelepasan cairan solfatarik dan uap panas termasuk solfatar dengan sejumlah besar deposit belerang, fumarol, pelepasan gas, mata air panas asam, pot lumpur, kolam lumpur, tanah yang teralterasi, dan *steaming ground*. Mineral alterasi permukaan yang khas adalah kaolin, smektit, alunit, silika (kuarsa, kristobalit, tridimit), zeolit, belerang, kalkantit, dan halotrikit. Cairan dengan pH mendekati netral jarang terjadi, mereka termanifestasi di Bitingan dan Pulosari, masing-masing di bagian utara dan barat daya lapangan (MGJ Shalihin, dkk. 2020).

17.1. Mata air panas

Dari enam sampel air panas yang diteliti, umumnya suhunya Berada diantara 44° - 65° C, pH di lapangan antara 6 - 7 (netral) dan hasil analisa laboratorium antara 3 - 8 (asam - basa). Konduktivitas yang diukur berkisar antara 35 - 78 Mev, dan kekerasan air yang diukur (CaCO₃) berdasarkan analisis laboratorium antara 106 - 527 mg / kg. Hasil analisis pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kesetimbangan ionik memiliki nilai 4 - 11%. Kesetimbangan ionik

kurang sampai 5% ada di Kaliputih, Bitingan, dan Sikidang, sedangkan sisanya lebih dari 5%. Hasil analisis dikatakan tepat jika kesetimbangan ionik kurang atau lebih dari 5%. Hasil analisis diperoleh dari air panas yang keluar dari Kaliputih, Bitingan, dan Sikidang. Meskipun demikian, bukan berarti hasil analisis air panas yang memiliki kesetimbangan ion lebih dari 5% tidak sesuai untuk interpretasi. Kesetimbangan ion yang tinggi juga dipengaruhi oleh jenis dan proses yang dialami oleh air (Nicholson, 1993). Diperkirakan nilai kesetimbangan ion lebih dari 5% karena bercampur dengan air meteor atau batuan sekitarnya (Y. Ramadhan, dkk.2013).

Berdasarkan diagram Cl-HCO₃-SO₄, sumber air panas di wilayah studi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis. Air bikarbonat keluar dari mata air panas di Bitingan, Sileri, dan Siglagah. Mata air panas ini terbentuk di daerah dangkal sebagai hasil CO₂ absorpsi gas dan kondensasi air yang dipanaskan dengan uap. Air panas sulfat yang keluar dari mata air panas Sikidang menunjukkan bahwa terbentuk di bagian yang paling dangkal yang disebabkan oleh uap air yang dipanaskan menjadi air meteor atau hasil oksidasi H₂S di zona oksidasi membentuk H₂SO₄. Air bercampur sulfat klorida yang keluar dari mata air panas Pulosari diperkirakan berasal dari campuran air reservoir dengan kondensat dari uap, dan air panas klorida bikarbonat yang keluar di Kaliputih terbentuk dalam kondisi campuran air panas uap meteoric (Y. Ramadhan, dkk.2013).

17.2. Manifestasi

1. Mata Air Panas di Kawah Sikidang

Mata air panas Kawah Sikidang memiliki temperatur 94° celcius, pH 4, suara kecil, arah *bubble* N255°E, dan bunyi zzzzt.



Gambar 38. Foto Mata Air Panas di Kawah Sikidang dengan Azimuth Foto N266°E

2. Alterasi di Kawah Sikidang



Gambar 39 Foto Alterasi di Kawah Sikidang dengan Azimuth Foto N261°E

3. Fumarol di Kawah Sikidang



Gambar 40. Foto Fumarol di Kawah Sikidang dengan Azimuth Foto N267°E

4. Mata Air Panas di Telaga Warna

Mata air panas Telaga Warna memiliki temperatur 28° celcius, pH 4, dan arah kelurusan *bubble* N007°E.



Gambar 41. Foto Mata Air Panas Telaga Warna

5. Mata Air Dingin Tuk Bimolukar

Mata air dingin memiliki temperatur 16° celcius, pH 6.



Gambar 42. Foto Mata Air Dingin Tuk Bimolukar dengan Azimuth Foto N325°E

6. Mata Air Dingin Telaga Menjer

Mata air dingin Telaga Menjer memiliki temperatur 18° celcius, pH 6.



Gambar 43. Foto Mata Air Dingin Telaga Menjer dengan Azimuth Foto N098°E

7. Mata Air Panas Siwadas

Mata air panas Siwadas memiliki temperatur 50° celcius, pH 6.



Gambar 44. Foto Mata Air Panas dengan Azimuth Foto N272°E

8. Mata Air Panas Kawah Candradimuka pada Sendang Werkudara

Mata air panas Sendang Werkudara memiliki temperatur 70° celcius, pH 6, Arah Kelurusan *Bubble*: N256°E dan N345°E, suara kecil, bunyi cpcpcppcpcpcpcp, ukuran *bubble* kecil, dan memiliki gelombang kecil.



Gambar 45. Foto Mata Air Panas Kawah Candradimuka pada Sendang Werkudara

9. Mata Air Dingin Kawah Candradimuka pada Sendang Kemanten

Mata air dingin Sendang Kemanten memiliki temperatur 20° celcius, pH 5, suara kecil gelombang kecil, dan bunyi prprpr, serta kelurusan N337°E.



Gambar 46. Foto Mata Air Dingin Kawah Candradimuka pada Sendang Kemanten

10. Mata Air Dingin Telaga Sedringo

Mata air dingin memiliki temperatur 20° celcius, pH 5.



Gambar 47. Mata Air Dingin Telaga Sedringo

11. Mata Air Dingin Sibanger

Mata air dingin Sibanger memiliki temperatur 18° celcius, pH 3, gelombang kecil, suara kecil, dengan bunyi blblblblblbl, serta arah kelurusan *bubble*: N342°E dan N359°E.



Gambar 48. Foto Mata Air Dingin Sibanger

12. Mata Air Dingin Kawah Sinila

Mata air dingin Kawah Sinila memiliki temperatur 22° celcius, pH 6.



Gambar 49. Mata Air Dingin Kawah Sinila

28

13. Mata Air Panas Bitingan

Mata air panas Bitingan memiliki temperatur 45° celcius, pH 7.



Gambar 50. Mata Air Panas Bitingan

14. Mata Air Panas Sileri

Mata air panas Sileri memiliki temperatur 58° celcius, pH 6, gelombang kecil, suara kecil, dengan bunyi blblblblblbl, serta kelurusan N009°E.



Gambar 51. Foto Mata Air Panas Sileri dengan Azimuth Foto N010°E

15. Alterasi dan Fumarol di Kawah Sileri

Fumarol di Kawah Sileri memiliki suara kecil dengan bunyi ststststststs, kelurusan N087°E.



Gambar 52. Foto Alterasi dan Fumarol di Kawah Sileri dengan Azimuth Foto N189°E

16. Mata Air Panas Sipandu

Mata air panas Sipandu berada di elevasi 1963 mdpl, dengan temperatur 60° celcius, pH 6, suara besar, gelombang besar dengan percikan air, dan memiliki bunyi hsssthssthssthssthsst.



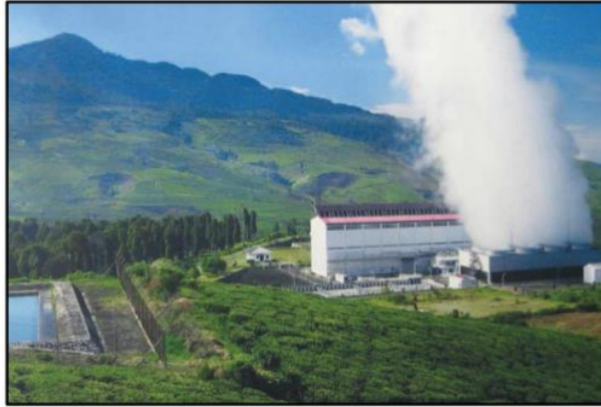
Gambar 53. Foto Mata Air Panas Sipandu dengan Azimuth Foto N242°E

18. Potensi Geologi

18.1. Potensi Positif

a. Panas Bumi

Dieng Volcanic Complex (DVC) menjadi salah satu lapangan panas bumi yang produktif di Indonesia. Sistem panas bumi Dieng memiliki temperatur tinggi dan didominasi *liquid*. Temperatur tinggi pada sistem panas bumi dapat disebabkan oleh umur dan komposisi sumber panas (Wohlez dan Heiken, 1992; Muffler dan Duffield, 1995 dalam Harijoko A dkk. 2016). Total potensi energi panas bumi Dieng diperkirakan 355 MW namun baru 60 MW yang sudah dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik. Gunungapi Pakerkandang merupakan salah satu kawasan yang memiliki prospek panas bumi yang berhubungan dengan Kawah Sileri. Manifestasi panas bumi dapat berupa fumarol, mata air asam sulfat, kolam lumpur, *steaming ground* dan batuan alterasi (Harijoko A dkk. 2016).



Gambar 54. Potensi Panas Bumi di Dieng

b. Geowisata

⁵ Spot wisata pertama yang tidak boleh dilewatkan saat berkunjung ke Dieng adalah Bukit Sikunir. Memiliki ketinggian 2.300 meter di atas permukaan laut, Bukit Sikunir merupakan tempat yang memiliki pemandangan matahari terbit paling ciamik di Jawa Tengah. Tak butuh waktu lama untuk bisa sampai ke puncak Bukit Sikunir. Biasanya, waktu tempuh para wisatawan hanya berkisar 30 hingga 60 menit saja, tergantung kondisi fisiknya. Jika cuaca sedang cerah dan berawan, Anda akan bisa merasakan sensasi melihat empat gunung paling terkenal di Jawa Tengah, Merbabu, Sindoro, Merapi, dan juga Sumbing.



Gambar 55. Kawasan Wisata Dieng

18.2. Potensi Positif

a. Bencana

- ¹ **Kawasan Rawan Bencana III**

Kawasan Rawan Bencana III adalah kawasan yang berpotensi keluarnya gas racun terkena endapan *base surge*, hujan lumpur dan aliran lumpur. Penyebaran kawasan ini meliputi daerah di sekitar Kawah Timbang, Telaga Nila dan Sumur Jalatunda. Di sekitar Kawah Timbang banyak dijumpai pemunculan gas racun di sepanjang rekahan yang berarah relatif utara-selatan, yaitu di sekitar Kawah Timbang, Kali Tempurung dan Kali Putih. Luas daerah ini sekitar 4,06 km². Kawasan ini tidak lagi dihuni oleh penduduk setelah kejadian letusan Kawah Sinila pada tahun 1979. Jalan beraspal yang menghubungkan Desa Pekasiran dan Desa Serang sudah tidak dipergunakan lagi. Sebagai alternatif telah dibuka jalan yang melewati Dusun Kaliputih – Desa Sumber dan Dusun Serang yang terletak di sebelah selatan jalan lama. Daerah ini oleh Pemda melalui surat Gubernur Jawa Tengah tidak boleh dihuni kembali.

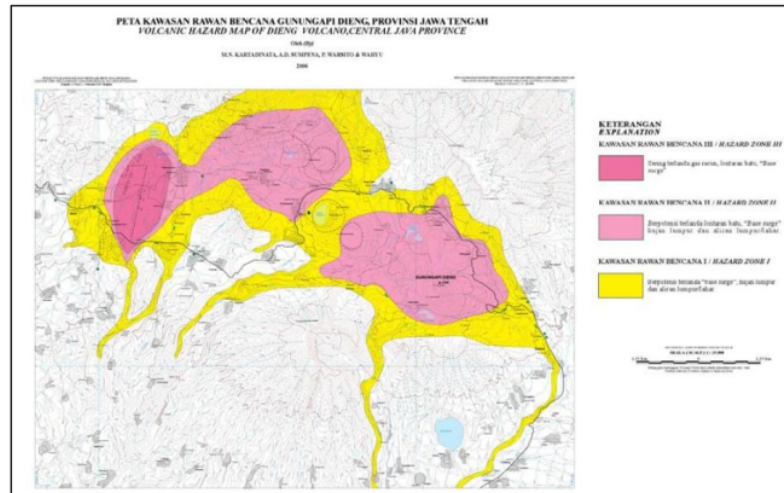
- **Kawasan Rawan Bencana II**

Kawasan Rawan Bencana II adalah kawasan yang berpotensi terkena lontaran batu, base surge, hujan lumpur dan aliran lahar. Kawasan ini meliputi lereng baratdaya Kawah Timbang, di selatan berupa lembah yang cukup lebar yang wilayahnya melintasi sebagian jalan yang menghubungkan Dusun Kaliputih-Desa Sumber sampai cabang Kali Putih, di sebelah utara Sinila serta di sebelah timur Sumur Jalatunda. Daerah yang termasuk kawasan ini adalah Dusun Kali Putih yang termasuk Desa Sumberrejo. Jumlah penduduk Sumberrejo sebanyak 5243 jiwa. Di Kecamatan Kejajar terdapat tiga desa yang berada dalam kawasan ini, yaitu Desa Parikesit, Desa Jojogan dan Desa Sembungan masing berpenduduk 1958, 1274 dan 1116 jiwa.

- **Kawasan Rawan Bencana I**

Kawasan Rawan Bencana I adalah kawasan yang diperkirakan sebagai perluasan dari Kawasan Rawan Bencana II. Apabila terjadi letusan yang semakin besar. Kawasan ini berpotensi terlanda base surge, hujan lumpur dan aliran sungai yang melewati Desa Batur, di lembah sungai yang melintasi Desa Sumberrejo dan lembah sepanjang Kali

Putih yang terletak di sektor baratdaya dan selatan Kawah Timbang. Sedangkan di bagian Timur Kawah Timbang meliputi daerah sepanjang aliran sungai yang ada di sebelah barat Pasurenan. Daerah yang berada dalam kawasan ini adalah Dusun Kali Putih, Dusun Serang, dusun Simbar, Dea Sumberrejo dan Kota Kecamatan Batur. Penduduk di kawasan ini berjumlah 14,427 jiwa.



Gambar 56. Peta Rawan Bencana Dieng Volcanic Complex

19. Sejarah Geologi

Kompilasi data yang sudah ada sebelumnya dan hasil baru umur radiometrik di DVC disajikan pada Tabel 9. Di antara gunung berapi yang mengelilingi DVC, penanggalan umur menunjukkan bahwa Rogojembangan merupakan gunung berapi tertua ($4,87 \pm 1,21$ Ma). Tidak ada kontradiksi antara penanggalan umur radiometrik ini dan bukti geologi; dengan demikian, hasilnya dapat diandalkan. Pengukuran umur endapan lava dari Gunung Kendang sebelah barat DVC menghasilkan umur $1,08 \pm 0,04$ Ma. Kesalahan analitis cukup rendah; Oleh karena itu, hasil ini dapat digunakan untuk menentukan umur Kendang.

Tabel 9. Kompilasi umur radiometrik titik api vulkanik DVC dan sekitarnya dalam kerangka episode vulkanik DVC.

Volcanic episode	Volcano	Age (Ma)	Methods
Youngest	Semja ^a	0.07	K-Ar
	Pakuwaja ^a	0.09	K-Ar
	Pakuwaja ^b	0.13 ± 0.03	Ar-Ar
	Telerejo ^b	0.13 ± 0.03	K-Ar
	Kendil ^a	0.19	K-Ar
	Kendil ^b	0.27 ± 0.12	Ar-Ar
	Sikunir	n.a.	
Second	Prambanan	n.a.	
	Bucu	n.a.	
	Pangonan-Merdada ^a	0.37	K-Ar
Pre-caldera	Pagerkandang ^a	0.46	K-Ar
	Kendang ^{b,*}	1.08 ± 0.04	K-Ar
Pre-caldera	Sidede	n.a.	
	Bisma ^a	2.53	K-Ar
	Nagasari ^a	2.99	K-Ar
	Prahu ^b	1.09 ± 0.92	K-Ar
	Prahu ^a	3.6	K-Ar
	Rogojembangan ^{b,*}	4.87 ± 1.21	K-Ar

^a From Boedihardi et al. (1991).

^b This study.

* Volcanic edifices outside of the DVC

Ada perbedaan yang signifikan antara hasil umur K-Ar baru Prau ($1,09 \pm 0,9$ Ma) dan data umur yang ada 3,6 Ma (Boedihardi dkk., 1991). Data baru menunjukkan kesalahan besar karena Ar radiogenik yang sangat rendah yang dilepaskan selama percobaan. Oleh karena itu, umur Prau tidak dapat dibedakan secara pasti; Namun demikian, penelitian ini mengusulkan umur Prau dari 1.09 hingga 3.6 Ma. Kisaran ini mencakup umur Bisma dan Nagasari, masing-masing sekitar 2,53 dan 2,99 tahun. Gunung berapi Prau, Bisma dan Nagasari termasuk dalam episode pra-kaldera yang sama.

Umur Pangonan dan Pagerkandang ditentukan masing-masing 0,37 dan 0,46 Ma (Boedihardi dkk., 1991). Gunung berapi ini terjadi di daerah antara Prau – Nagasari dan Bisma. Oleh karena itu, umur gunung berapi ini secara geologi lebih muda dari pada Prau, sehingga umurnya sesuai dengan kondisi geologi. Pangonan-Merdada dan Pagerkandang dimasukkan dalam episode kedua.

Umur baru $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ di Kendil kira-kira $0,27 \pm 0,12$ Ma. Tampaknya sedikit lebih tua dibandingkan data umur yang ada sebesar 0,19 Ma dari Boedihardi dkk. (1991). Namun, dengan mempertimbangkan ketidakpastian (2σ) dari data $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$, baik data baru maupun yang sudah ada adalah sesuai. Dengan demikian umur Kendil berkisar antara 0,19 hingga 0,27 Ma. Kasus serupa untuk hasil penanggalan $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ untuk Pakuwaja ($0,13 \pm 0,03$ Ma); meskipun tampak sedikit lebih tua dari data umur 0,09 juta tahun yang ada (Boedihardi dkk., 1991), kedua umur tersebut sejalan. Jadi,

kami memastikan bahwa kedua fasilitas ini termasuk dalam episode termuda dari DVC. Seroja dimasukkan dalam episode kedua oleh Sukhyar dkk. (1986). Namun, Boedihardi dkk. (1991) melaporkan bahwa umur radiometrik dari Seroja adalah 0,07 Ma. Ini berarti Seroja masih cukup muda dan harus dimasukkan dalam episode termuda DVC.

Telerejo terletak tepat di luar DVC tenggara Prau. Gunung berapi ini termasuk dalam episode pra-kaldera (Sukhyar dkk., 1986). Namun, umur K – Ar menunjukkan bahwa gunung tersebut masih tergolong muda, yakni $0,13 \pm 0,03$ Ma. Karenanya, kajian ini memasukkan Telerejo sebagai bagian dari episode termuda.

Berdasarkan data radiometrik baru dan yang sudah ada, suksesi gunung berapi di dalam dan di sekitar DVC direkonstruksi dan diusulkan. Rogojembangan, di ujung barat DVC, dibentuk sebelum DVC. Kendang, sebagai tetangga sebelah barat DVC, mungkin dibentuk selama pembentukan Prau DVC. Gunungapi Prau, Nagasari, Bisma dan Sidede, gunungapi yang berada di dalam batas DVC, terbentuk sebelum terbentuknya struktur kaldera. Di antara gunung berapi tersebut, Prau mengalami letusan terbesar, yang membentuk struktur runtuh mengikuti zona kelemahan berarah Barat Laut dari sesar geser. Pasca letusan, terbentuk kembali gunung api Bucu, Pagerkandang, dan Panganon – Merdada di daerah antara Prau dan Bisma. Terakhir, gunung berapi episode terakhir terbentuk di perpanjangan wilayah tengah hingga tenggara antara Prau dan Bisma. Episode gunung berapi termuda yang berada di dalam DVC adalah Kendil, Pakuwaja, Prambanan, Sikunir dan Seroja, sedangkan Telerejo berada di luar DVC.

20. Kesimpulan

Berdasarkan data yang di peroleh, dapat disimpulkan bahwa :

- Daerah penelitian terletak di daerah Serayu Selatan berupa cekungan berupa pegunungan dan dataran tinggi. Letaknya pada cekungan kaldera Dieng yang umumnya terdiri dari lava andesit.
- Studi geokimia menunjukkan bahwa di daerah ini ada empat reservoir yang dapat dibagi berdasarkan asal air panas. Kawasan Bitingan, Sileri, dan Siglagah termasuk dalam tipe air panas bikarbonat. Air panas Pulosari termasuk ke dalam air panas klorida sulfat. Kaliputih termasuk dalam air panas bikarbonat klorida, sedangkan Sikidang termasuk dalam air panas sulfat.

- Pengamatan geologi yang didukung oleh data usia radiometrik mengklasifikasikan gunung berapi di DVC menjadi tiga episode: pra-kaldera, kedua, dan episode termuda. Vulkanisme dimulai sebelum 1 Ma. Setelah letusan besar gunung berapi Prau, episode kedua gunung berapi terbentuk di area tengah dari 0,46 hingga 0,37 Ma. Terakhir, episode gunung berapi termuda terbentuk di wilayah tenggara dari 0,27 hingga 0,07 juta tahun lalu.
- Komposisi mineralogi dan kimia dari unsur-unsur utama dan jejak menunjukkan bahwa magma di DVC adalah magma busur yang khas, mulai dari komposisi basal hingga dasit. Selain itu, diagram variasi CaO , Al_2O_3 , K_2O dan Rb / Sr terhadap MgO dan $\text{FeO}^* / \text{MgO}$ mengungkapkan bahwa magma dari setiap episode memiliki kecenderungan evolusi yang berbeda, yang menunjukkan bahwa setiap episode memiliki ruang magma dangkal yang independen. Diagram multi-elemen yang dinormalisasi kondrit menunjukkan pola magma DVC yang serupa, menunjukkan bahwa magma dari tiga episode tersebut dihasilkan dari diferensiasi magma primitif yang serupa.
- Sistem panas bumi di DVC dimanifestasikan oleh daerah fumarolik di permukaan sekitar gunung berapi Pagerkandang, Pongan dan Pakuwaja. Potensi waduk bersuhu tinggi ditunjukkan oleh survei geofisika di bawah gunung berapi. Pengeboran produksi menunjukkan bahwa anomali geofisika adalah zona suhu tinggi. Hubungan spasial yang erat ini menunjukkan bahwa ruang magma dangkal independen dari episode kedua dan termuda memainkan peran penting sebagai sumber panas dari sistem panas bumi di DVC.
- Magma di DVC mengalami diferensiasi untuk memiliki berbagai komposisi kimia terutama SiO_2 dan K_2O konsentrasi. Diferensiasi ini terutama disebabkan oleh kristalisasi fraksional dan pencampuran magma. Komposisi elemen jejak menunjukkan bahwa magmatisme di DVC mungkin memiliki kontribusi kerak atau sedimen. Komposisi kerak selama magmatisme sama.
- Berdasarkan interpretasi data dengan metode Very Low Frequency (VLF) digunakan untuk mengestimasi zona konduktif dan zona resistif dipengaruhi oleh nilai rapat arus yang berhubungan dengan manifestasi permukaan. Zona konduktif diartikan sebagai daerah yang memiliki nilai rapat arus yang tinggi.

Kawasan ini terletak di bagian timur dan barat Gunungapi Pagerkandang. Zona konduktif yang berhubungan dengan manifestasi panas bumi seperti fumarol yang muncul karena adanya sesar normal. Sedangkan zona resistif diartikan sebagai daerah yang memiliki nilai rapat arus yang rendah. Daerah ini tersebar hampir di tengah-tengah Gunung Berapi Pagerkandang. Zona resistif disebabkan oleh tingginya pelapukan pada batulempung.

- Fluida panas bumi Dieng berasal dari meteorik yang mengalami interaksi air-batuan yang intens, terlihat dari gasnya, komposisi isotop ^2H dan ^{18}O . Namun data isotop juga menunjukkan adanya kontribusi magmatik terhadap fluida panas bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2014. <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/531-g-dieng>, diakses pada tanggal 30 desember 2020.
- Astiasari, dkk. 2020. Estimation of land surface temperature in Dieng volcanic complex using tir-based satellite imageries. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 451 (2020) 012066. doi:10.1088/1755-1315/451/1/012066.
- Bronto, S, dkk. 2016. Volcanostratigraphy for supporting geothermal exploration. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 42 (2016) 012014 doi:10.1088/1755-1315/42/1/012014.
- Gaffar, Eddy Z. The concept of geothermal exploration in west Java based on geophysical data. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 118 (2018) 012072 doi:10.1088/1755-1315/118/1/012072
- Harijoko, Agung, dkk 2010. Long-Term Volcanic Evolution Surrounding Dieng Geothermal Area, Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010*.
- Harijoko, Agung, dkk. 2016. Geochronology and magmatic evolution of the Dieng Volcanic Complex, Central Java, Indonesia and their relationships to geothermal resources. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 310 (2016) 209–224.
- Hochstein, Manfred P. dan Sayogi Sudarman. 2015. Indonesian Volcanic Geothermal Systems. *Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015*.
- Nurpratama, M. Istiawan, dkk. 2015. Detailed Surface Structural Mapping of the Dieng Geothermal Field in Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015*.
- Payana, Kresna Dwi dan Agung Harijoko. 2016. Penyelidikan Merkuri, Gas Tanah Karbon Dioksida, Dan Suhu Udara Tanah, Serta Alterasi Permukaan Untuk Mengetahui Persebaran Zona Panas Di Kawasan Kawah Candradimuka Dan Sekitarnya, Kecamatan Batur, Kabupaten Banjarnegara. *Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke-9. Peran Penelitian Ilmu Kebumihan Dalam*

Pemberdayaan Masyarakat 6 - 7 Oktober 2016; Grha Sabha Pramana Halaman 149.

Prasetio, Rasi, dkk. 2010. Isotope and Gas Geochemistry of Dieng Geothermal Field, Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*. Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.

Ramadhan, Y, dkk. 2013. Hotwater Geochemistry for Interpreting The Condition of Geothermal Reservoir, Dieng Plateau Case, Banjarnegara-Wonosobo Regency, Central Java. *Indonesian Journal of Geology, Vol. 8 No. 2 June 2013*: 89-96.

Shalihin ,M G J, dkk, 2020. The Subsurface Geology and Hydrothermal Alteration of the Dieng Geothermal Field, Central Java: A Progress Report. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 417 (2020) 012010. doi:10.1088/1755-1315/417/1/012010.

Wulandaria, Asri, dkk. 2018. Estimation of Existence Geothermal Manifestation Using Very Low Frequency (VLF) Method in the PagerkandangVulcanic, Dieng, Central Java. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 132 (2018) 012023 doi :10.1088/1755-1315/132/1/012023.

Geologi dan Potensi Panas bumi di Kompleks Vulkanik Dieng

ORIGINALITY REPORT

16%

SIMILARITY INDEX

13%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1 [adoc.pub](#) Internet Source 4%

2 [digilib.unila.ac.id](#) Internet Source 2%

3 Submitted to Universitas Diponegoro Student Paper 2%

4 Agung Harijoko, Ryusuke Uruma, Haryo Edi Wibowo, Lucas Doni Setijadji, Akira Imai, Kotaro Yonezu, Koichiro Watanabe. "Geochronology and magmatic evolution of the Dieng Volcanic Complex, Central Java, Indonesia and their relationships to geothermal resources", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2016 Publication 1%

5 [www.cermati.com](#) Internet Source 1%

6 [www.scribd.com](#) Internet Source 1%

[es.scribd.com](#)

7	Internet Source	1 %
8	www.geothermal-energy.org Internet Source	<1 %
9	buletinsdg.geologi.esdm.go.id Internet Source	<1 %
10	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
11	id.wikipedia.org Internet Source	<1 %
12	repository.trisakti.ac.id Internet Source	<1 %
13	Astisiasari, D R Hizbaron, M A Setiawan. "Estimation of land surface temperature in Dieng volcanic complex using tir-based satellite imageries", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020 Publication	<1 %
14	repository.ugm.ac.id Internet Source	<1 %
15	Asri Wulandari, Ega Asti Anggari, Novi Dwiasih, Imam Suyanto. "Estimation of Existence Geothermal Manifestation Using Very Low Frequency (VLF) Method in the PagerkandangVulcanic, Dieng, Central Java",	<1 %

IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018

Publication

16

Endra Gunawan, Sri Widiyantoro. "Active tectonic deformation in Java, Indonesia inferred from a GPS-derived strain rate", *Journal of Geodynamics*, 2019

Publication

<1 %

17

pt.scribd.com

Internet Source

<1 %

18

lib.unnes.ac.id

Internet Source

<1 %

19

Submitted to Syiah Kuala University

Student Paper

<1 %

20

iieta.org

Internet Source

<1 %

21

sinta3.ristekdikti.go.id

Internet Source

<1 %

22

www.preprints.org

Internet Source

<1 %

23

id.123dok.com

Internet Source

<1 %

24

Submitted to UPN Veteran Yogyakarta

Student Paper

<1 %

25

ejournal.unkhair.ac.id

Internet Source

<1 %

26

jurnal.ugm.ac.id

Internet Source

<1 %

27

S Devi, S Bijaksana, S J Fajar, N A Santoso. "Characterization of Volcanic Ash From the 2017 Agung Eruption, Bali, Indonesia", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019

Publication

<1 %

28

iptek.its.ac.id

Internet Source

<1 %

29

repository.its.ac.id

Internet Source

<1 %

30

www.vangorselslist.com

Internet Source

<1 %

31

M G J Shalihin, P Utami, M I Nurpratama. "The Subsurface Geology and Hydrothermal Alteration of the Dieng Geothermal Field, Central Java: A Progress Report", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020

Publication

<1 %

32

Harijoko, Agung, Ryusuke Uruma, Haryo Edi Wibowo, Lucas Doni Setijadji, Akira Imai, Kotaro Yonezu, and Koichiro Watanabe.

<1 %

"Geochronology and magmatic evolution of the Dieng Volcanic Complex, Central Java, Indonesia and their relationships to geothermal resources", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2016.

Publication

33

kanalwisata.com

Internet Source

<1 %

34

samssite.web.id

Internet Source

<1 %

35

text-id.123dok.com

Internet Source

<1 %

36

digilib.uin-suka.ac.id

Internet Source

<1 %

37

www.slideshare.net

Internet Source

<1 %

38

docobook.com

Internet Source

<1 %

39

ikee.lib.auth.gr

Internet Source

<1 %

40

wiwit.staff.ugm.ac.id

Internet Source

<1 %

41

www.tumbex.com

Internet Source

<1 %

42

Satrio Satrio, Rasi Prasetio, Paston Sidauruk.
"KARAKTERISTIK ISOTOP 18O DAN 2H DARI
BEBERAPA MATAAIR PANAS DI JAWA BARAT",
RISET Geologi dan Pertambangan, 2020

Publication

<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off