



INVESTIGASI BAWAH PERMUKAAN PADA AREA KAWAH SIKIDANG, DIENG, JAWA TENGAH MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK

Muhammad Aji Wiyuda^a, Saptono Budi Samodra^b, Pri Utami^c

^{abc}Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

email: sbsamodra@ugm.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Diterima : 22 August 2022

Direvisi : 26 September 2022

Diterbitkan : 31 December 2022

Keywords:

Panas Bumi, Geolistrik,
Geologi, Kawah Sikidang

How to cite this article:

Wiyuda, M.A. (2022).

Investigasi Bawah Permukaan

pada Area Kawah Sikidang,

Dieng, Jawa Tengah

Menggunakan Metode

Geolistrik. Journal of Applied

Geoscience and Engineering,

1(2), 82-92.

Doi:<https://doi.org/10.34312/>

Jage.v1i2.17343

ABSTRACT

Sikidang crater geothermal manifestation area is located in Dieng geothermal field, Banjarnegara, Central Java Province, Indonesia. In 2019 more than 400,000 people visited Sikidang Crater tourism area. Some of the surface manifestation in this area include fumaroles, mud pools, steaming grounds, and altered ground. This research aim is to identify hydrothermal fluid below the surface and estimate the area of conductive zone using resistivity model from geoelectric data (dipole-dipole and Schlumberger configuration), surface temperature measurements, dan geological observation.

Based on the results of 1D and 2D resistivity model, the low resistivity anomaly is thought to be a hydrothermal fluid that associated with surface geothermal manifestations appearance. The low resistivity anomaly also assumed to be associated with altered rocks in the study area, while the high resistivity anomaly is thought to be Pongan andesitic lava with resistivity value above $>1500 \Omega.m$. Several conductive zone dominantly identified in the Kawah Sikidang tourism area, however conductive zone also identified outside the tourism area.

1. PENGANTAR

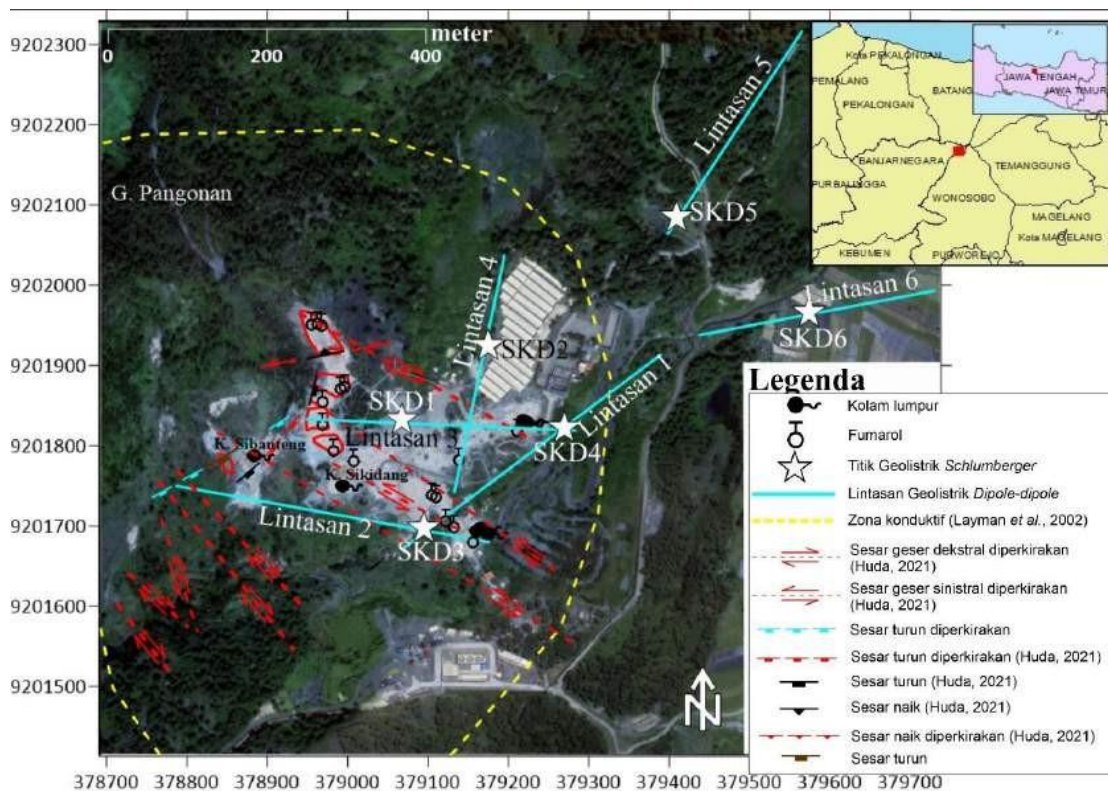
Wilayah Dieng merupakan salah satu lapangan panas bumi yang ada di Indonesia. Selain dimanfaatkan di bidang energi terbarukan, lapangan panas bumi Dieng juga menjadi salah satu destinasi wisata yang cukup diminati oleh wisatawan dalam negeri maupun mancanegara. Salah satu obyek wisata yang paling banyak dikunjungi di Dieng adalah Kawah Sikidang. Berdasarkan data dari UPT Kawasan Wisata Dataran Tinggi Dieng pada tahun 2019 jumlah pengunjung yang mengunjungi obyek wisata Kawah Sikidang sebanyak 428.927 wisatawan lokal dan 1.300 wisatawan mancanegara (Huda, 2021).

Daerah wisata gunung api dan panas bumi memiliki potensi bahaya yang hanya dapat dimitigasi bila ada pengetahuan tentang aktivitas kegunungpian dan aktivitas hidrotermal. Hal tersebut dikarenakan oleh adanya dinamika dari aktivitas vulkanik /hidrotermal. Kawah Sikidang tercatat beberapa kali mengalami peningkatan aktivitas yaitu pada Desember 1883, tahun 1934, bulan Juli 1981 dan pernah mengalami erupsi pada bulan Maret 1884 dan pada pertengahan Juni 2003 (van Bemmelen, 1949a; Reksowirogo, 1979; Report on Dieng Volcanic Complex, 1981). Pada 15 Januari 2009 terjadi letusan di sisi barat Kawah Sikidang, lubang letusan baru tersebut dinamai Kawah Sibanteng (KOMPAS.com, 2009; Siebert et al., 2010). Mitigasi bahaya perlu dilakukan di area manifestasi panas bumi dengan menyediakan informasi mengenai luasan area manifestasi dan informasi mengenai titik fluida panas bumi di bawah permukaan.

Informasi tersebut belum tersedia di area manifestasi Kawah Sikidang sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai luas area manifestasi dan keberadaan fluida di bawah permukaan. Survei geofisika metode geolistrik resistivitas merupakan survei yang penting untuk dilakukan dalam pengembangan wilayah di lapangan panas bumi. Survei tersebut memberikan informasi mengenai sebaran resistivitas batuan bawah permukaan, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui kondisi geologi dekat permukaan di area manifestasi panas bumi Kawah Sikidang. Penelitian ini diharapkan juga dapat memberikan informasi gambaran system panas bumi Kawah Sikidang yang lebih lengkap.

2. TATANAN GEOLOGI

Daerah penelitian terletak di dalam Kawah Sikidang. Kawah Sikidang merupakan bagian dari lapangan panas bumi Dieng, yang secara administrative berada di Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian yang menunjukkan titik akuisisi data geolistrik konfigurasi Schlumberger dan lintasan geolistrik konfigurasi dipole-dipole (peta dibuat dari citra satelit Google pada area manifestasi Kawah Sikidang).

Kompleks Vulkanik Dieng melampar dengan arah barat laut-tenggara. Kompleks gunung api ini memiliki ciri khas berupa kerucut-kerucut gunung api yang berada pada area dengan dimensi panjang 14 kilometer dan lebar 6 kilometer (Neumann van Padang, 1951). Kompleks Gunung Dieng termasuk dalam Zona Serayu Utara dalam unit fisiografi Pulau Jawa (van Bemmelen, 1949b). Nurpratama et al. (2015) melakukan analisis menggunakan pendekatan identifikasi morfologi dan proses geomorfologi untuk menentukan unit geomorfologi lapangan panas bumi Dieng. Pendekatan tersebut menghasilkan empat unit geomorfologi, yaitu unit kerucut vulkanik, unit struktural-denudasional Gunung Prau, unit denudasional Gunung Gajahmungkur, dan unit dataran Aluvial. Stratigrafi Zona Serayu Utara bagian tengah disajikan dalam Gambar 2.

Umur		Zona Serayu Utara		
		Bagian Barat	Bagian Tengah	Bagian Timur
Holosen		Endapan Aluvial dan Vulkanik Slamet	Endapan Aluvial dan Vulkanik Dieng	Endapan Aluvial dan Vulkanik Ungaran
Atas	Pleistosen	Formasi Linggopodo	Formasi Jembangan	Formasi Notopuro
Tengah		Formasi Gintung	Formasi Ligung	Formasi Damar bagian atas
Bawah		Formasi Mengger		Formasi Damar bagian tengah
Pliosen Muda		Formasi Kaliglagah	Formasi Bodas (fasies laut neritik)	Formasi Damar bagian bawah
Pliosen Tua		Formasi Kalibiuk		Formasi Kalibiuk
		Formasi Tapak		Batugamping anggota Kapung
Miosen Atas		Formasi Kumbang	Formasi Bodas (fasies gunung api)	Anggota Tjipluk
			Lapisan batugamping	Anggota Banyak
Miosen Tengah		Formasi Halang	Formasi Penjatan	Formasi Penjatan
Miosen Bawah		Formasi Lawak	Formasi Merawu	Formasi Merawu
		Formasi Rambatan		
		Formasi Pemali bagian atas		
Oligo-Miosen		Formasi Pemali bagian bawah	Formasi Sigugur	Formasi Lutut
Oligosen			?	“Oligosen” (tidak tersingkap)
Eosen			“Eosen”	
<i>Cretaceous</i>				

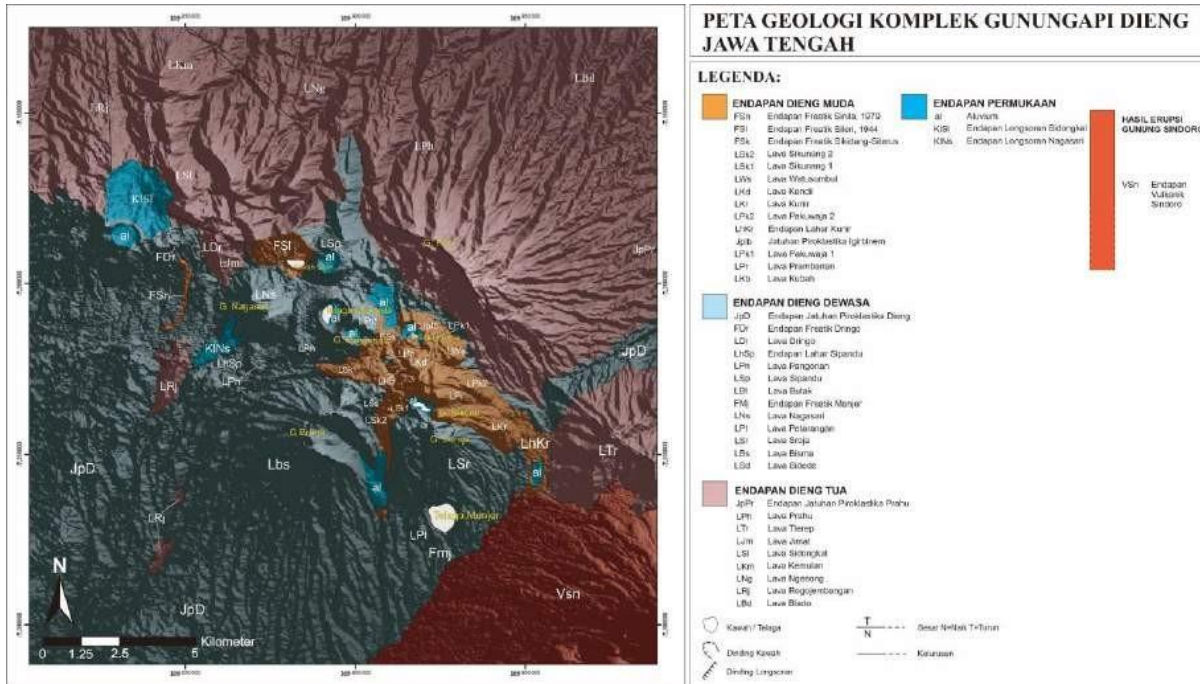
Gambar 2. Korelasi stratigrafi Zona Serayu Utara (digambar ulang dan diterjemahkan dari van Bemmelen (1949b)).

Stratigrafi Kompleks Gunung Api Dieng oleh Sukhyar et al. (1986) dibagi menjadi tiga kelompok utama, yaitu endapan Dieng Tua, endapan Dieng Dewasa, dan endapan Dieng Muda. Endapan permukaan juga ditemukan di beberapa lokasi, berupa aluvium dan beberapa material longsor.

Endapan Dieng Tua tersusun oleh lava Blado, lava Rogojembangan, lava Ngesong, lava Kemulan, lava Sidongkal, lava Jimat, lava Tlerep, lava Prau, dan endapan piroklastika Prau. Endapan Dieng Dewasa terdiri dari lava Sidede, lava Bisma, lava Seroja, lava Petarangan, lava Nagasari, endapan freatik Menjer, lava Butak, lava Sipandu, lava Pongan, endapan lahar Sipandu, lava Dringo, dan endapan jatuhnya piroklastika Dieng. Endapan Dieng Muda tersusun oleh lava Kubah, lava Prambanan, lava Pakuwaja, jatuhnya piroklastika Igir Binem, endapan lahar Kunir, lava Pakuwaja 2, lava Kendil, lava Watusumbul, lava Sikunang 1, lava Sikunang 2, endapan freatik Sikidang Siterus, endapan letusan freatik Sileri, dan endapan freatik Sinila tahun 1979 (Sukhyar et al., 1986).

Adapun endapan permukaan, yaitu tersusun oleh endapan longsor Nagasari, endapan longsor Sidongkal, dan aluvium. Selain itu, Sukhyar et al. (1986) juga menyatakan bahwa terdapat input produk erupsi dari Gunung Sundoro yang disebut sebagai endapan vulkanik Sundoro.

Struktur Geologi pada lapangan Panas Bumi Dieng menurut Nurpratama et al. (2015) terdapat indikasi rezim tektonik ekstensional yang berarah utara-selatan. Rezim tektonik tersebut bekerja pada sesar normal dengan jurus yang berarah barat-timur pada unit litologi yang relatif lebih muda. Sesar normal dengan arah jurus utara-selatan juga terdapat pada lapangan panas bumi Dieng bagian barat laut, namun tidak terlalu dominan. Sesar normal dengan arah jurus barat-timur tersebut terbentuk akibat dari adanya rezim tektonik ekstensional dengan arah timur-barat. Unit litologi yang berumur lebih tua dikontrol oleh rezim tektonik kompresional dengan arah utara-selatan sehingga menghasilkan sesar geser. Peta geologi daerah Dieng dan sekitarnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Geologi Komplek Gunung Api Dieng (dibuat menggunakan data peta dasar dari data DEMNAS; unit-unit batuan dan struktur geologi diambil dan digambar ulang berdasarkan Peta Geologi Komplek Gunung Api Dieng oleh Sukhyar et al. (1986)).

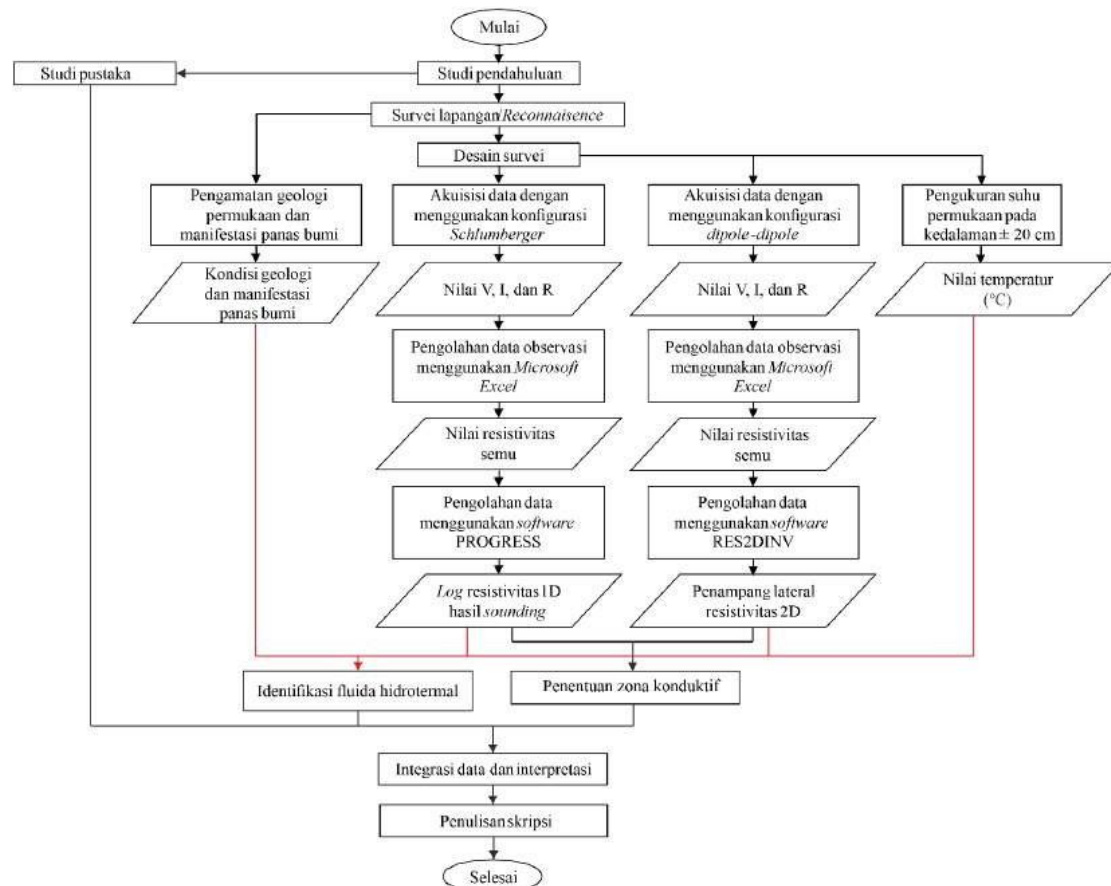
3. METODE

Pada penelitian ini data yang digunakan berupa data geologi dan manifestasi panas bumi di permukaan. Selain itu, juga dilakukan akuisisi data geofisika berupa data resistivitas dan suhu permukaan. Jumlah lintasan geofisika pada penelitian sebanyak 6 lintasan dengan panjang lintasan bervariasi pada konfigurasi dipole-dipole dan 6 titik pengukuran untuk konfigurasi Schlumberger. Pada pengukuran geolistrik konfigurasi dipole-dipole, dimana elektroda arus C1 dan C2 serta elektroda potensial P1 dan P2 memiliki spasi yang sama yaitu 20 meter, kemudian kedua pasang elektroda arus dan potensial dipisahkan sejauh 20n meter dengan, $n = 1-18$. Sedangkan untuk titik-titik pengukuran *sounding* dengan konfigurasi Schlumberger Panjang bentangan AB/2 memiliki Panjang bervariasi menyesuaikan menyesuaikan menyesuaikan kondisi medan di lapangan. Pada pengukuran suhu permukaan dilakukan pengukuran pada lintasan yang sejajar dengan lintasan geolistrik dipole-dipole. Pengukuran dilakukan dengan jarak antara titik pengukuran satu dengan titik pengukuran selanjutnya sejauh 20 meter.

Pengambilan data suhu permukaan atau *soil temperature* dilakukan pada beberapa lintasan yang sejajar terhadap lintasan geolistrik. Suhu diukur pada kedalaman ± 20 cm dan dilakukan hingga suhu yang ditunjukkan pada termometer stabil, kemudian dilakukan pencatatan titik koordinat dan suhu (dalam °C). Pengukuran suhu permukaan dilakukan untuk mengetahui informasi titik aktifitas manifestasi hidrotermal di permukaan. Pengukuran serupa pernah dilakukan di La Fossa cone (Vulcano, Aeolian Islands), Italia (Barde-Cabusson et al., 2009) dan di lapangan panas bumi Cerritos Colorados, Mexico (Bolós et al., 2019).

Pengamatan geologi permukaan dilakukan untuk mengidentifikasi struktur geologi dan litologi pada daerah penelitian berdasarkan pengamatan singkapan batuan dan conto setangan batuan. Pemetaan manifestasi panas bumi dilakukan pada penelitian ini berupa deskripsi manifestasi panas bumi secara sederhana. Parameter deskripsi manifestasi panas bumi meliputi: tanggal, tipe manifestasi, warna, bau, suhu manifestasi, pH, dll. Pengukuran suhu air dan gas pada manifestasi panas bumi menggunakan infrared thermogun. Pengukuran suhu pada steaming ground dan suhu tanah menggunakan thermocouple dengan akurasi 0.1., sedangkan pengukuran pH pada manifestasi menggunakan pH lakmus.

Data yang diperoleh diolah dan diintegrasikan sehingga menghasilkan interpretasi mengenai kondisi geologi dan geofisika di dekat permukaan. Penelitian mengikuti diagram alir sebagaimana tercantum pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

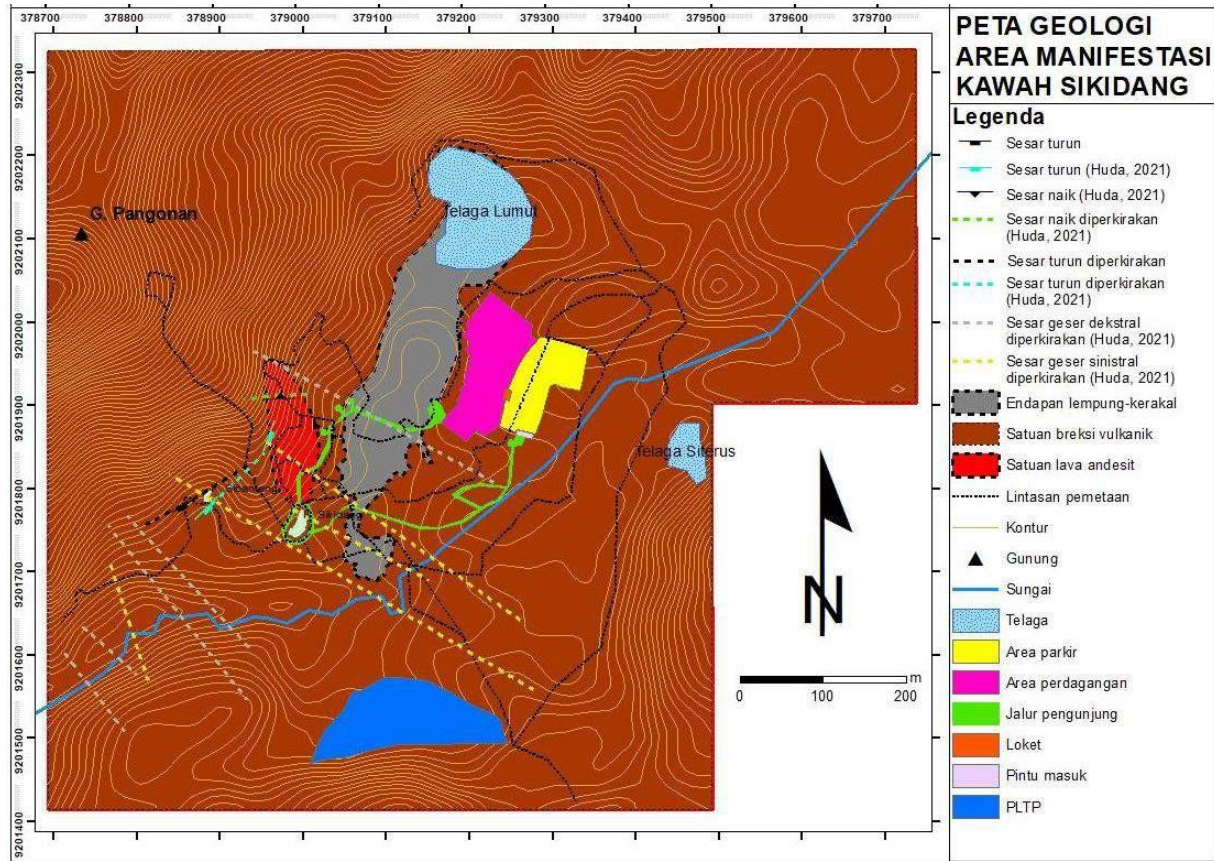
4. HASIL DAN DISKUSI

4.1 Geomorfologi

Pada daerah penelitian, dilakukan pemetaan geologi untuk mengetahui kondisi geologi yang ada dan untuk menguatkan interpretasi geologi yang akan dilakukan. Hasil dari pemetaan geologi yang dilakukan berupa peta geologi dengan skala 1: 5.000 yang dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan pengamatan lapangan dan pengamatan batuan yang dilakukan, litologi penyusun dapat dibagi menjadi 3 satuan litologi yang dominan, yaitu dari tua ke muda berturut-turut adalah satuan lava andesit, satuan breksi, dan satuan lempung-kerakal.

Satuan lava andesit menjadi litologi yang paling tua, diperkirakan merupakan hasil dari erupsi sebelum erupsi yang mengendapkan satuan breksi. Lava andesit yang ditemukan diperkirakan merupakan lava Gunung Pongan yang dimaksud dalam Peta Geologi Kompleks Gunung Api Dieng oleh Sukhyar et al., (1986). Sukhyar et al., (1986) menjelaskan bahwa lava tersebut termasuk kedalam kelompok stratigrafi endapan Dieng Dewasa.

Berdasarkan pengamatan pada STA 19 Andesit yang dijumpai berwarna abu-abu dengan kondisi sedikit terlapukkan dan teralterasi hidrotermal, ukuran kristal fenokris < 0,5-3 mm dan ukuran massa dasar < 0,1 mm, hipokristalin, porfiroafanitik, hipidiomorfik, hipidiomorfik, memiliki struktur masif dengan komposisi fenokris batuan berupa plagioklas, biotit, dan piroksen, serta massa dasar berupa plagioklas.



Gambar 5. Peta geologi area manifestasi Kawah Sikidang.

Satuan breksi vulkanik memiliki warna coklat keabu-abuan, kondisi batuan sudah mengalami pelapukan, memiliki matriks ukuran butir pasir halus hingga pasir sedang (1/4-1/2 mm) dan fragmen butir antara 3 hingga 200 cm, sortasi buruk, kemas terbuka, bentuk butir subangular hingga angular, memiliki struktur yang massif dan berlapis, komposisi material penyusunnya terdiri dari: matriks berupa abu vulkanik, feldspar, kuarsa, dan material sedimen ukuran pasir halus hingga pasir sedang, sedangkan fragmen dominan berupa andesit.

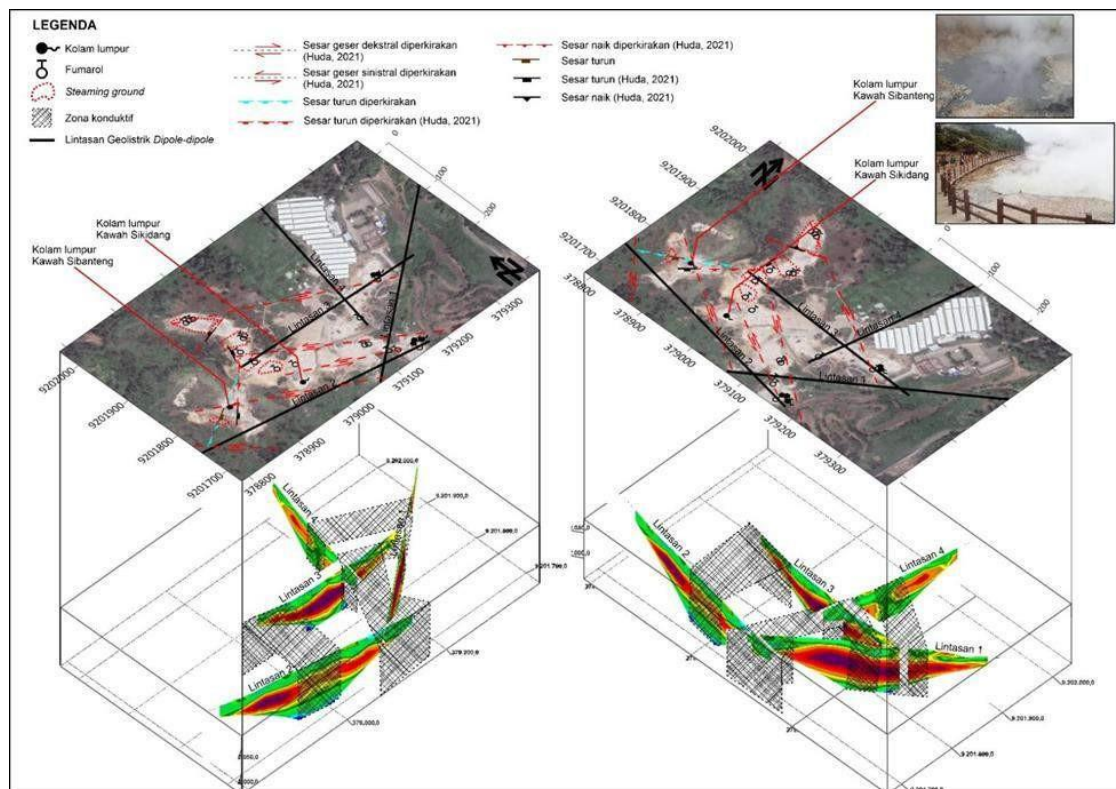
Endapan lempung-kerakal merupakan produk pelapukan dan alterasi satuan breksi vulkanik dan satuan lava andesit yang cukup intensif sehingga menyisakan material sedimen berukuran dominan lempung hingga kerakal. Berdasarkan pengamatan lapangan, endapan ini memiliki warna abu-abu dan coklat dengan ukuran butir bervariasi dari lempung hingga kerakal dengan komposisi material terdiri dari material sedimen ukuran lempung hingga kerakal.

Struktur geologi pada daerah penelitian sulit ditemukan karena proses pelapukan dan alterasi hidrotermal yang intens, namun beberapa indikasi kehadiran struktur ditemukan berupa sesar turun pada STA 10 dengan arah jurus dan kemiringan sebesar N240°E/54, kekar-kekar tidak terstruktur pada STA 15, dan dugaan kehadiran urat hidrotermal pada STA 34.

4.2 Interpretasi Kualitatif Zona Konduktif Bawah Permukaan

Pendugaan area zona konduktif bawah permukaan dilakukan dengan mengorelasikan zona konduktif pada suatu lintasan dengan lintasan lain dan juga diekstrapolasikan dengan data geologi dan manifestasi panas bumi di permukaan. Pendugaan zona konduktif bawah permukaan dengan menghubungkan zona-zona dengan nilai resistivitas rendah (konduktif) secara kualitatif menggunakan data model resistivitas 2D untuk mengidentifikasi zona konduktif sebagai indikasi adanya struktur geologi dan mengidentifikasi kedalaman akuifer yang mengandung air panas di dekat permukaan. Pada penelitian ini terdapat 6 lintasan geolistrik dipole-dipole yang telah terakuisisi. Adapun lintasan-lintasan yang dikorelasikan dibagi menjadi dua kelompok. Lintasan geolistrik Grup 1 terletak di kawasan wisata Kawah Sikidang dan berpotongan di kawasan manifestasi panas bumi aktif. Lintasan Grup 1 terdiri dari jalur 1, jalur 2, jalur 3, dan jalur 4, masing-masing membentang timur laut-barat daya di jalur 1, barat laut-tenggara di jalur 2, timur-barat di jalur 3, dan utara-selatan di jalur 4. Geometri daerah konduktif diidentifikasi oleh rasio zona konduktif dalam empat garis jalur tersebut.

Zona konduksi *platform* 1 diperkirakan 0 hingga 90meter, 180 hingga 220meter, dan 240 hingga 280meter. *Platform* 2 memiliki dua zona konduktif yang terletak di 170 hingga 240meter dan 320 hingga 400meter. Pada jalur 3, zona terdepan diperkirakan 0 hingga 90meter, 120 hingga 140meter, dan 200 hingga 270meter. Zona utama di jalur 4 diperkirakan 30 hingga 90meter dan 120 hingga 170meter seperti yang ditunjukkan oleh Zona-zona konduktif pada setiap penampang resistivitas lintasan kemudian dihubungkan dengan garis-garis ekstrapolasi sehingga menghasilkan area konduktif yang diperkirakan seperti pada Gambar 6.



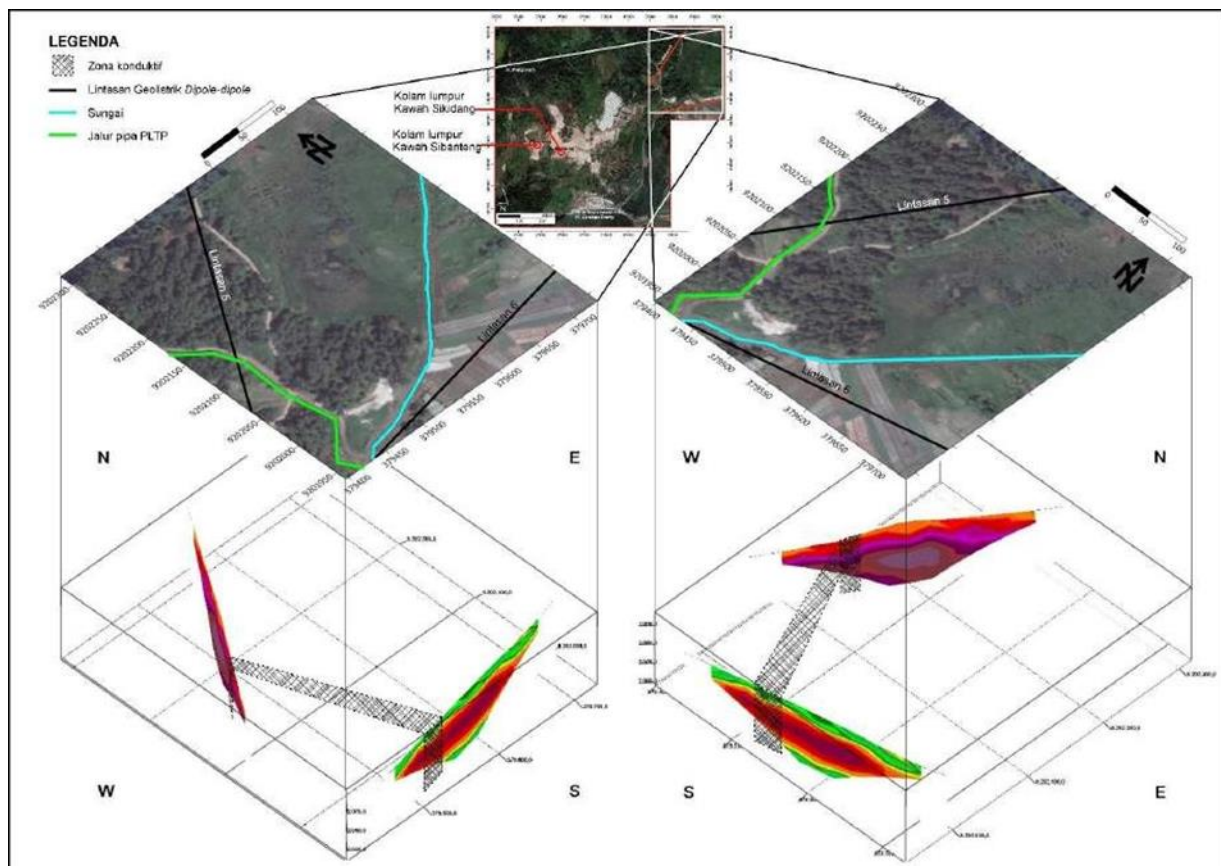
Gambar 6. Peta struktur geologi, manifestasi panas bumi, lintasan geolistrik dan korelasi zona konduktif antar penampang resistivitas konfigurasi dipole-dipole.

Zona konduktif pada meter ke-0 hingga meter ke-90 lintasan 1 dikorelasikan dengan zona konduktif pada lintasan 2 meter ke-320 sampai meter ke-400, dan pada lintasan 3 meter ke-200 hingga meter ke-270. Selain itu, zona konduktif pada lintasan 1 pada meter ke-180 hingga meter ke-220 dihubungkan dengan meter ke-120 hingga meter ke-170 pada lintasan 4. Hubungan antara zona-zona konduktif ini membentuk area konduktif B pada bagian tengah. Pada area konduktif B terdapat beberapa manifestasi panas bumi yang terdiri dari fumarol, kolam lumpur, dan batuan teralterasi.

Pada lintasan 3 zona konduktif pada meter ke-0 hingga meter ke-90 dikorelasikan dengan zona konduktif pada meter ke-170 hingga meter ke-240 lintasan 2. Zona-zona konduktif yang berhubungan ini membentuk area konduktif A pada sisi barat area cakupan lintasan geolistrik. Pada area konduktif A terdapat beberapa manifestasi panas bumi aktif berupa kolam lumpur Kawah Sikidang, fumarol, dan steaming ground. Pada sisi utara area konduktif A, ditemukan adanya struktur geologi berupa sesar turun dan sesar naik yang berasosiasi dengan kemunculan manifestasi panas bumi.

Zona konduktif pada meter ke-240 hingga meter ke-280 lintasan 1 dikorelasikan dengan zona konduktif lintasan 4 pada meter ke-30 hingga meter ke-90. Hubungan antar zona konduktif tersebut membentuk area konduktif C yang berada pada bagian utara area cakupan lintasan geolistrik. Beberapa manifestasi panas bumi yang terdiri dari fumarole, kolam lumpur, dan batuan teralterasi ditemukan pada area konduktif C.

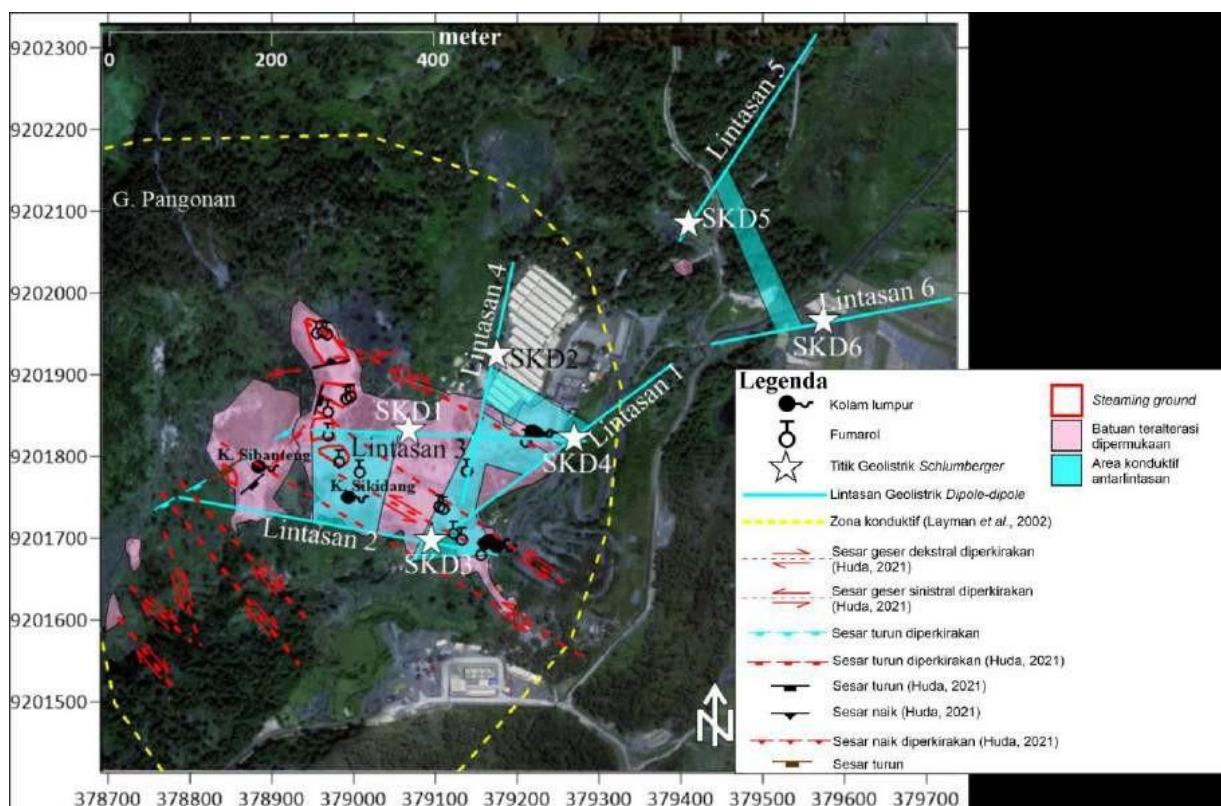
Lintasan-lintasan geolistrik kelompok 2 berada di luar area wisata Kawah Sikidang dan di luar area manifestasi panas bumi aktif. Lintasan-lintasan kelompok 2 terdiri dari lintasan 5 dan lintasan 6 yang masing-masing membentang ke arah timur laut—barat daya pada lintasan 5 dan arah timur-barat pada lintasan 6. Secara umum zona konduktif masing-masing lintasan terdapat pada sisi barat daya lintasan 5 dan barat lintasan 6 yang kemudian akan dikorelasikan untuk memperkirakan geometri area konduktif pada area ini (Gambar 7).



Gambar 7. Peta lintasan dan korelasi zona konduktif antarpemampang resistivitas konfigurasi dipole-pole.

Pada lintasan 5 terdapat zona konduktif yang diperkirakan berada pada meter ke-80 sampai meter ke-100 dan pada lintasan 6 diperkirakan berada pada meter ke-80 sampai meter ke-110. Zona-zona konduktif pada penampang resistivitas lintasan 5 dan lintasan 6 kemudian dihubungkan dengan garis ekstrapolasi sehingga menghasilkan area konduktif yang diperkirakan seperti pada Gambar 7. Area konduktif yang menghubungkan antara lintasan 5 dan lintasan 6 yaitu area konduktif D. Pada area ini tidak ditemukan adanya manifestasi aktif, akan tetapi di dekat area konduktif ini terdapat manifestasi panas bumi sisa berupa tanah dan batuan teralterasi yang tersingkap pada STA 24. Pada area konduktif D serta sepanjang lintasan 5 dan 6 tidak ditemukan adanya manifestasi panas bumi dan struktur geologi yang mendukung identifikasi zona konduktif. Hal tersebut dikarenakan pada area tersebut digunakan sebagai lahan pertanian dan perkebunan sehingga bagian permukaan tertutup oleh lapisan tanah sehingga data struktur geologi dan batuan segar sulit ditemukan. Oleh karena itu penentuan area konduktif pada area konduktif D hanya mengacu pada korelasi antara penampang resistivitas lintasan 5 dan 6.

Berdasarkan hasil korelasi antarpemampang resistivitas pada lintasan-lintasan kelompok 1 dan kelompok 2 menghasilkan sebaran area konduktif yang ditampilkan pada Gambar 8. Area-area konduktif tersebut yaitu area konduktif A, area konduktif B, area konduktif C, dan area konduktif D yang diperkirakan memiliki luas $\pm 33.139,293$ meter persegi atau $\pm 3,314$ hektar. Luas area konduktif dominan berada di area manifestasi panas bumi aktif, yaitu area konduktif A, area konduktif B, dan area konduktif C. Hal tersebut dikarenakan pengaruh aktivitas alterasi yang berlangsung secara intens di dekat area manifestasi panas bumi aktif.



Gambar 8. Peta area konduktif pada lokasi penelitian dan sebaran manifestasi panas bumi serta struktur geologi

5. KESIMPULAN

Di daerah penelitian terdapat area-area konduktif yang terdiri dari area konduktif A, area konduktif B, area konduktif C, dan area konduktif D yang diperkirakan memiliki luas $\pm 33.139,293$ meter persegi atau $\pm 3,314$ hektar. Luas area konduktif dominan berada pada area manifestasi panas bumi aktif (area konduktif A, area konduktif B, dan area konduktif C), namun di luar area manifestasi panas bumi aktif juga terdapat zona konduktif. Pada area konduktif A, B, dan C berasosiasi dengan keberadaan manifestasi panas bumi bersuhu tinggi dan manifestasi panas bumi sisa serta keberadaan struktur geologi yang mendukung pendugaan area konduktif. Adanya penurunan nilai resistivitas di luar area manifestasi panas bumi aktif diperkirakan sebagai zona konduktif yang merupakan manifestasi panas bumi sisa berupa tanah dan batuan teralterasi.

6. REFERENSI

- Barde-Cabusson, S., Finizola, A., Revil, A., Ricci, T., Piscitelli, S., Rizzo, E., Angeletti, B., Balasco, M., Bennati, L., Byrdina, S., Carzaniga, N., Crespy, A., Di Gangi, F., Morin, J., Perrone, A., Rossi, M., Roulleau, E., Suski, B., & Villeneuve, N. (2009). New geological insights and structural control on fluid circulation in La Fossa cone (Vulcano, Aeolian Islands, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 185(3), 231–245. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.06.002>
- Bolós, X., Cifuentes, G., Macías, J. L., Sosa-Ceballos, G., Garcia-Tenorio, F., & Albor, M. (2019). Geophysical imaging of fluid circulation and its relation with the structural system of Cerritos Colorados geothermal field, La Primavera caldera (Mexico). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 369, 238–249. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.11.015>
- Huda, F. N. (2021). Identifikasi Persebaran Manifestasi Panas Bumi Dengan Citra Inframerah Termal Untuk Mitigasi Ancaman Bahaya Hidrotermal Pada Area Kawah Sikidang, Lapangan Panas Bumi Dieng, Jawa Tengah, skripsi S-1, Universitas Gadjah Mada.
- KOMPAS.com. (2009). Kawah Sibanteng Berangsur Normal. <https://nasional.kompas.com/read/2009/01/17/18052118/kawah.sibanteng.berangsur.normal>
- Neumann van Padang, M. (1951). Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields; vol. 1: Indonesia. International Volcanological Association.
- Nurpratama, M. I., Atmaja, R. W., Wibowo, Y. T., Harijoko, A., Husein, S., Sudarno, I., Setianto, A., & Utami, P. (2015). Detailed Surface Structural Mapping of the Dieng Geothermal Field in Indonesia. World Geothermal Congress 2015, October, 8.
- Reksowirogo, L. D. (1979). PEGUNUNGAN DIENG. In DATA DASAR GUNUNGAPI INDONESIA: Catalogue of References on Indonesian Volcanoes with Eruptions in Historical Time. Departemen Pertambangan dan Energi Direktorat Jendral Pertambangan Umum Direktorat Vulkanologi Republik Indonesia.
- Report on Dieng Volcanic Complex (Indonesia). (1981). Scientific Event Alert Network Bulletin, 6(12). <https://doi.org/10.5479/si.gvp.sean198112-263200>
- Report on Dieng Volcanic Complex (Indonesia). (2003). Bulletin of the Global Volcanism Network, 28(7). <https://doi.org/10.5479/si.gvp.bgvn200307-263200>
- Siebert, L., Simkin, T., & Kimberly, P. (2010). *Volcanoes of The World*. University of California Press.

Sukhyar, R., Sumartadipura, N. S., & Effendi, W. (1986). PETA GEOLOGI KOMPLEK GUNUNGAPI DIENG, JAWA TENGAH. Direktorat Vulkanologi.

van Bemmelen, R. W. (1949a). Report on the volcanic activity and volcanological research in indonesia during the period 1936–1948. *Bulletin Volcanologique*, 9(1), 3–29. <https://doi.org/10.1007/BF02596089>

van Bemmelen, R. W. (1949b). THE GEOLOGY OF INDONESIA: VOL. IA - GENERAL GEOLOGY OF INDONESIA AND ADJACENT ARCHIPELAGOES (1 ed.). Government Printing House.