

INTERPRETASI PENENTUAN STRUKTUR GEOLOGI YANG DIHUBUNGKAN DENGAN KEMUNCULAN GAS CO₂ PADA KAWASAN DATARAN TINGGI DIENG, JAWA TENGAH

INTERPRETATION OF GEOLOGICAL STRUCTURE DETERMINATION ASSOCIATED WITH THE EMERGENCE OF CO₂ IN DIENG PLATEAU, CENTRAL JAVA

Huzaely Latief Sunan^{1,*}, Yuzak Firdaus Amrulloh¹, Asmoro Widagdo¹, Gentur Waluyo¹,
Maulana Rizki Aditama¹

*Email: huzaely.sunan@unsoed.ac.id

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman

Abstrak— Kawasan dataran tinggi dieng memiliki 3 kawah aktif yaitu Kawah Sinila, Kawah Timbang, dan Kawah Candradimuka. Karakteristik dari kawah ini memiliki kandungan gas CO₂ yang tinggi namun selain ketiga sumber itu tersebar pula titik-titik kemunculan gas CO₂ dengan konsentrasi yang beragam. Kemunculan gas CO₂ identik dengan daerah panas bumi yang salah satu kontrolnya adalah struktur geologi, sehingga pendekatan struktur dapat digunakan untuk mengetahui titik-titik kemungkinan munculnya gas CO₂ agar dapat mengetahui zona atau daerah-daerah yang rawan dengan kemunculan gas CO₂. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur geologi, sebaran zona permeabilitas, serta hubungan dan pengaruh struktur geologi pada kemunculan gas CO₂. Menggunakan metode analisis *Fault Fracture Density* pada data citra DEM yang dibantu dengan analisis *Land Surface Temperature* (LST) dari Citra Landsat 8 OLI/TIRS, selain itu menggunakan analisis spektral, *lithology discrimination* untuk mengetahui litologi daerah penelitian. FFD menghasilkan kelurusan dengan arah dominan barat daya-timur laut, 2 sebaran zona permeabilitas yaitu zona permeabilitas tinggi dan sedang dengan zona permeabilitas nilai tinggi maksimal 7,1 km⁻¹ zona permeabilitas ini berada di daerah Kawah Candradimuka sebelah timur Desa Kepakisan dan menghasilkan interpretasi 6 struktur geologi dengan arah barat daya- timur laut. Suhu permukaan daerah penelitian memiliki nilai tertinggi adalah 31,6°C dan terendah 15,5°C. Dari beberapa hasil keterdapatan struktur geologi dan titik kemunculan gas CO₂ mengikuti pola yang disebabkan oleh struktur geologi.

Kata kunci: Gas CO₂, sesar, zona permeabilitas, DEM, Landsat 8 OLI/TIRS

Abstract - Highland Dieng area has 3 active craters, namely Sinila Crater, Timbang Crater, and Candradimuka Crater. The characteristic of this crater has a high CO₂ gas content, but apart from the three sources, there are also scattered points of appearance of CO₂ gas with various concentrations. The appearance of CO₂ gas is identical to geothermal areas where one of the controls is the geological structure. The structural approach can be used to determine the possible points of the emergence of CO₂ gas in order to find out the zones or areas that are prone to the appearance of CO₂ gas. This study aims to determine the geological structure in the research area, the distribution of permeability zones, and the relationship and influence of geological structures on the emergence of CO₂ gas. Landsat 8 OLI/TIRS, besides using spectral analysis, lithology discrimination to find out the lithology of the research area. FFD produces straightness with a dominant southwest - northeast direction, 2 permeability zones, namely high and medium permeability zones with a maximum permeability zone of 7.1 km⁻¹ this permeability zone is located in the Candradimuka Crater area east of Kepakisan Village and produces 6 interpretations of geological structures. in a southwest - northeast direction. The surface temperature of the research area has the highest value is 31.6° C and the lowest is 15.5° C. From several results, the geological structure and the point of appearance of CO₂ gas follow the pattern caused by the geological structure.

Keywords: CO₂ gas, fault, Permeability zone, DEM, Landsat 8 OLI/TIRS

I. PENDAHULUAN

Dataran Tinggi Dieng merupakan dataran tinggi dengan kondisi yang kompleks di bagian barat dari gunung berapi Sindoro dan Sumbing dan termasuk dalam Kabupaten Banjarnegara dan Wonosobo seperti tampak pada Gambar-1.



Gambar-1. Lokasi penelitian

Terletak di Provinsi Jawa Tengah dan menjadi daerah dari hasil vulkanik yang masih aktif hingga sekarang. Selama beberapa abad letusan freatik mendominasi aktivitas vulkanik di Dieng yang terkait dengan manifestasi hidrotermal pada kompleks vulkanik Dieng [1]. Manifestasi panas bumi yang dimiliki pada kawasan gunung api Dieng yakni bertipe Fumarola dan Solfatar. Pada daerah penelitian memiliki 3 kawah aktif, yaitu Kawah Sinila, Kawah Timbang, dan Kawah Candradimuka. Karakteristik dari kawah ini memiliki kandungan gas CO₂ yang tinggi. Karbondioksida (CO₂) merupakan gas yang bersifat lebih berat di udara sehingga akan mengumpul di bagian bawah [2].

Struktur sesar umumnya mengontrol suatu sistem panas bumi tipe hidrotermal, karena di sekitar zona sesar tersebut terbentuk banyak kekar yang menyebabkan zona (lapisan) batuan menjadi bersifat *permeable* [3] namun struktur zona patahan dapat menjadi penghantar (*conduit*) atau penghalang (*barrier*) maupun kombinasi keduanya bagi aliran fluida [4].

Analisis penginderaan jauh seringkali dipergunakan untuk studi pendahuluan menentukan arah dan sebaran struktur geologi. Penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur sesar berdasarkan

densitas kelurusan yang dihasilkan oleh proses *Fault Fracture Density (FFD)*, yang dibantu dengan proses *Land Surface Temperature (LST)* dan *spectral analysis*. Berdasarkan pada hasil pengolahan data *FFD*, *LST*, dan *spectral analysis* akan *dioverlay* dengan titik sebaran keluarnya gas CO₂ yang nantinya akan bisa menginterpretasi struktur yang dapat mengontrol keluarnya gas CO₂.

II. GEOLOGI DAERAH STUDI

Fisiografi Regional

Kabupaten Banjarnegara dan Kabupaten Wonosobo terletak di bagian utara Provinsi Jawa Tengah yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa [5].



Gambar-2. Fisiografi Jawa Tengah [5]

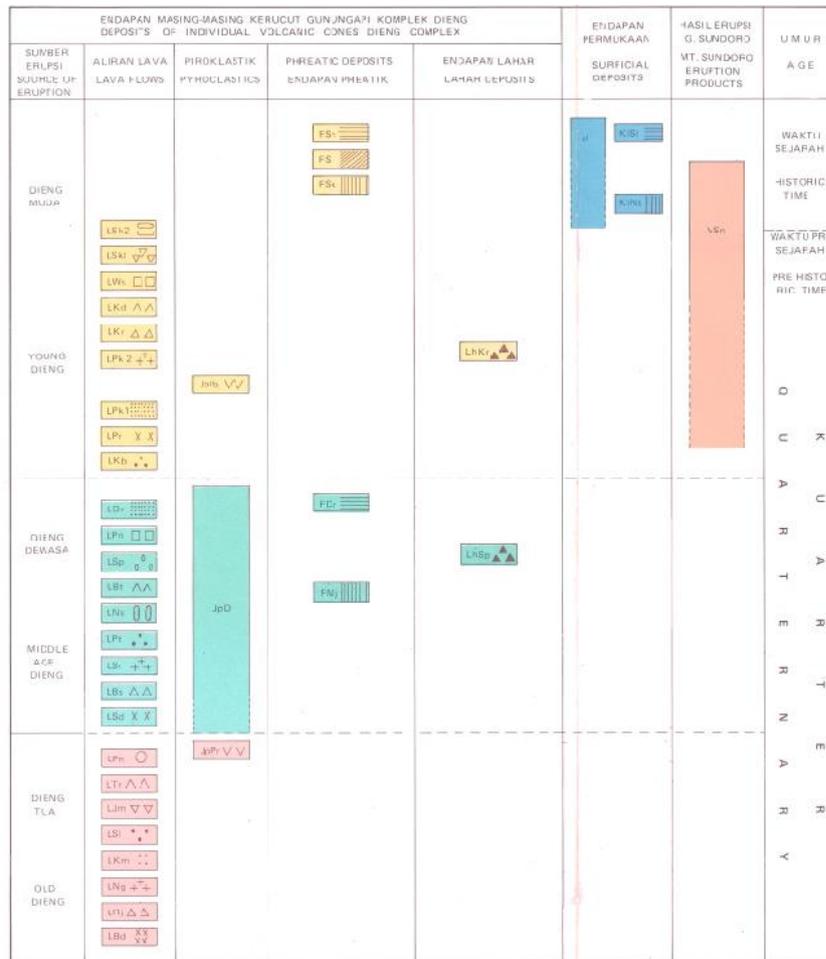
Berdasarkan Gambar-2, menunjukkan bahwa wilayah Jawa Tengah terbagi atas 6 zona Fisiografi, yaitu:

- 1) Zona Dataran Aluvial Utara Jawa.
- 2) Zona Gunung Api Kuarter.
- 3) Zona Antiklinorium Bogor, Serayu-Utara, Kendeng.
- 4) Zona Depresi Jawa Tengah.
- 5) Kubah dan Depresi Rangkaian Pegunungan Serayu Selatan.
- 6) Zona Pegunungan Selatan Jawa Barat dan Jawa Timur.

Pada daerah penelitian masuk ke dalam zona gunung api kuarter. Gunung api kuarter yang berada di Jawa Tengah antara lain, Gunung Slamet, Gunung Dieng, Gunung Sindoro, Gunung Sumbing, Gunung Ungaran, Gunung Merapi, Gunung Merbabu, dan Gunung Muria.

Stratigrafi Regional

Stratigrafi regional pada daerah penelitian yang dirangkum dari peneliti terdahulu terdiri atas empat umur endapan dari muda ke tua seperti tampak pada Gambar-3 [6].



Gambar-3. Stratigrafi Gunung Api Dieng

- a) Endapan Permukaan
 Aluvium, terdiri dari pasir, breksi atau konglomerat. Berlapis belum terkonsolidasi, memperlihatkan morfologi datar, yaitu endapan longsor Nagasari, bongkah sampai pasir hasil longsor, dragmen lava andesit, dan piroklastika.
- b) Endapan Dieng Muda yang merupakan
 1. Endapan Letusan Preatik Sinila, 1979. Lumpur dengan kandungan bongkah dan pasir bentuk menyudut, terpilah sangat buruk, terdapat sedikit batugamping, koral dan serpih, berwarna abu-abu kecoklatan.
 2. Endapan Letusan Preatik Sileri, 1944. Fragmen teralterasi dalam lumpur, terpilah buruk, diameter hingga 40 cm, putih, struktur “*bomb sags*”.
 3. Endapan Preatik Sikidang-Siterus. Lumpur, putih dengan komponen bongkah andesit, diameter sampai 1,5 meter, menyudut, terpilah buruk.
- c) Endapan Dieng Dewasa yang merupakan Endapan Jatuhan Piroklastika Dieng. Piroklastika, berlapis, tebal lapisan maksimum 60 cm, berwarna kuning-merah, perselingan hasil semburan letusan magmatis, preato magmatis, dan preatik.
- d) Endapan Preatik Dringo. Terdiri dari komponen andesit, menyudut, mengambang dalam lempung, berwarna putih, terpilah buruk, diameter hingga 1 meter.
 1. Lava Dringgo. Andesit piroksen, abu-abu, porfiritik fenokris plagioklas dan piroksen, sebagian besar tertutup endapan piroklastik Dieng.
 2. Lava Sipandu. Andesit piroksen, kemerahan, permukaan vesikuler, bagian tengah masif, porfiritik, fenokris plagioklas, dan piroksen.
 3. Lava Nagasari. Andesit piroksen, abu-abu, porfiritik, fenokris, plagioklas, dan piroksen, dalam masa dasar afanitik, Sebagian besar ditutupi endapan piroklastik Dieng.

4. Lava Bisma. Andesit, abu-abu gelap, afanitis. Sebagian betekstur porfiritik, fenokris plagioklas dan piroksen, pelapukan kuat.
- d) Endapan Dieng Tua
1. Lava Ngesong, Andesit piroksen, abu-abu, porfiritik, fenokris terdiri dari plagioklas dan piroksen, sebagian afanitis disusun gelas hitam.
 2. Lava Jimat. Andesit, abu-abu kemerahan, sedikit fenokris, msadasar sebagian gelas.

Struktur Geologi Regional

Pada dasarnya di Jawa Tengah terdapat empat arah kelurusan struktur yang dominan [7], seperti tampak pada Gambar-4.

- 1) Pola Meratus yang berarah timurlaut-baratdaya, terbentuk pada 80-53 juta tahun yang lalu (Kapur Akhir-Eosen Awal) dan merupakan pola tertua di Jawa. Pola Meratus ini diwakili oleh Sesar Cimandiri di Jawa Barat, yang dapat diikuti ke timur laut sampai batas timur Cekungan Zaitun dan Cekungan Biliton, Sesar naik Rajamandala serta sesar-sesar lainnya di daerah Purwakarta.
- 2) Pola Sunda yang berarah utara-selatan, terbentuk pada 53-32 juta tahun yang lalu (Eosen Awal-Oligosen Akhir). Pola ini diwakili oleh sesar-sesar yang membatasi Cekungan Asri, Cekungan Sunda, dan Cekungan Arjuna.
- 3) Pola Jawa yang berarah barat-timur, yang terbentuk sejak 32 juta tahun yang lalu. Pola ini merupakan pola struktur yang paling muda, memotong dan merelokasi Pola Struktur Meratus dan Pola Struktur Sunda.



Gambar-4. Pola-pola struktur Pulau Jawa [7]

Pada daerah penelitian terdapat pola struktur Jawa dan Meratus. Terdapat sesar-sesar yang melewati daerah penelitian, sesar timur-barat, sesar utara-selatan.

III. METODOLOGI

Sebuah penelitian tentunya mencari penyelesaian atas suatu permasalahan dengan cara-cara ilmiah. Studi pustaka merupakan teknik pengumpulan data dengan melakukan penelaahan terhadap berbagai buku, literatur, catatan, serta berbagai laporan yang berkaitan dengan masalah yang ingin dipecahkan [8].

Pengolahan data citra Landsat 8 memerlukan beberapa tahap agar bisa melakukan analisis *lithology discrimination*. Tahap pertama adalah dengan melakukan *Radiometric Calibration*, koreksi radiometrik untuk memperbaiki nilai piksel agar sesuai dengan yang seharusnya yang biasanya mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama [9]. FLAASH merupakan alat koreksi atmosferik untuk mengoreksi panjang gelombang, penggunaan *tool* ini dalam *software* ENVI 5.3 dengan meng-input data *radiance image* hasil dari proses *radiometric calibration*, keluaran dari proses koreksi FLAASH ini merupakan *reflectan image* yang menjadi data olahan dalam analisis citra.

Kombinasi saluran citra Landsat 8 OLI/TIRS menggunakan kombinasi *single band* 3,2 dan 1 dalam susunan saluran RGB dan menggunakan kombinasi *band* 7,4 dan 2 sedangkan pada proses *band ratio* menggunakan kombinasi RGB 5/7 3/1 4/3, RGB 3/1 5/7 4/3 dan RGB 5/7 4/5 3/1. Pembuatan *Normalized Differential Vegetation Index* (NDVI) atau indeks vegetasi. Indeks vegetasi merupakan kombinasi matematis antara *band* merah dan band NIR (*Near-Infrared Radiation*) yang telah lama digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi vegetasi [10] dengan rumus berikut ini.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Keterangan:

RED= DN values from the RED band

NIR= DN values from Near-Infrared band

NDVI selanjutnya digunakan untuk pembuatan *Land surface temperature* dengan rumus berikut ini.

$$LST = BT [1 + W * (BT / 14380) * \ln(E)]$$

Keterangan:

BT = Top of atmosphere brightness temperature (°C)

W = Wave length of emitted radiance

E = Land Surface Emissivity

Mengekstraksi kelurusan DEMNAS secara otomatis menggunakan *software* PCI Geomatica dilakukan dengan mengeskport citra yang telah dilakukan *preprocessing* khususnya *pansharpening* kemudian dilakukan proses, proses ini menghasilkan *line*. *Line* yang dihasilkan selanjutnya dilakukan proses *density line* sehingga memunculkan daerah-daerah densitas yang diwakilkan oleh warna kemudian diinterpretasi menjadi *Fault Fracture Density* (FFD) dengan ukuran panjang total kelurusan perunit area (km/km^2 atau km^{-1}). FFD digunakan untuk menginterpretasi struktur geologi yang berada pada daerah penelitian.

Pengamatan visual citra Landsat 8 OLI/TIRS digunakan untuk menginterpretasi kondisi geologi dan geomorfologi daerah penelitian yang dibantu dengan metode *Spectral analysis* menggunakan konsep aviris [11] dan *Lithology discrimination* yaitu metode yang seharusnya dapat dibedakan dari *properti* media yang secara fisik berkaitan dengan pengamatan geologi [12], LST digunakan untuk membantu dalam interpretasi struktur geologi daerah penelitian dengan hubungan pada suhu permukaan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Titik Kemunculan Gas CO₂

Pada penelitian ini terdapat titik-titik kemunculan gas CO₂ yang tersebar pada daerah penelitian sebagaimana yang tampak pada Gambar-5.

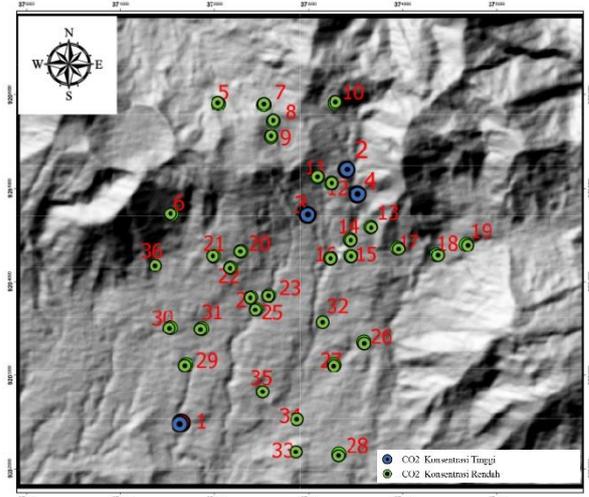
Struktur Geologi Regional dan Posisi Keberadaannya

Menginterpretasikan Dataran Tinggi Dieng memiliki struktur geologi yang mengontrol sistem panas bumi dengan orientasi barat laut-tenggara dan utara-selatan [6] sebagaimana tampak Gambar-6. Kemudian terdapat batas-batas Kaldera ber-arah timur ke barat pada bagian utara dan selatan daerah penelitian [13].

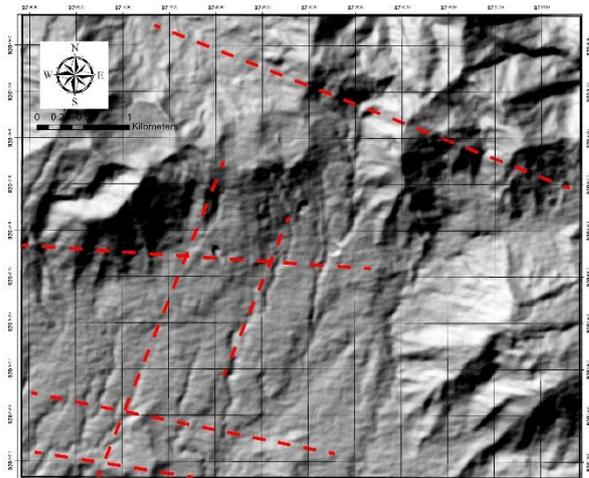
Analisis Kelurusan dan Interpretasi Struktur Geologi Citra DEM

Penarikan kelurusan menggunakan data citra DEM melalui proses *hillshade* dengan azimuth 315°. Hasil analisis kelurusan berazimut 315°. Hal tersebut menunjukkan kelurusan berarah dominan timur laut-barat daya. Melakukan proses interpretasi geologi struktur dengan penarikan kelurusan dari luar daerah penelitian (regional)

menunjukkan 6 interpretasi struktur geologi sesar yaitu S1, S2, S3, S4, S5, dan S6 yang berupa sesar dengan arah dominan timur laut-barat dengan arah sebagaimana tampak pada Gambar-7.



Gambar-5. Lokasi kemunculan gas CO₂

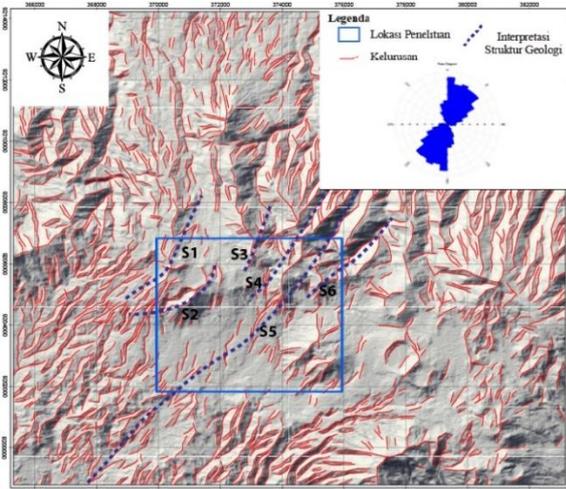


Gambar-6. Posisi interpretasi sesar geologi regional [6] dan [13]

Peta Densitas Kelurusan (Faults Fracture Density)

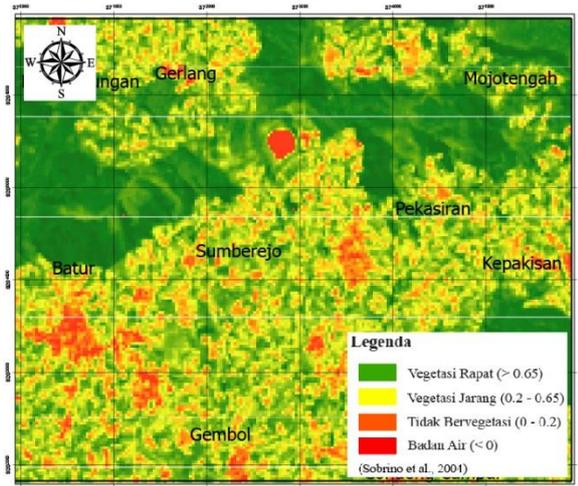
Peta densitas kelurusan terbentuk dengan menggabung dari hasil seluruh penarikan kelurusan kemudian dengan proses *density* seperti tampak pada Gambar-8 peta densitas memiliki warna yang mewakili suatu densitas dengan unit satuan km/km^2 atau km^{-1} berdasarkan peta densitas kelurusan terdapat zona yang berwarna merah yaitu zona yang melambangkan densitas yang tinggi dengan nilai densitas maksimal $7,1 \text{ km}^{-1}$ nilai densitas tinggi berada di atas nilai $\geq 3 \text{ km}^{-1}$ [14] zona kuning yaitu zona yang melambangkan densitas yang sedang, dan zona hijau yaitu zona

yang melambangkan densitas yang rendah. Pada daerah penelitian menginterpretasikan zona merah sebagai zona permeabilitas yang baik untuk sebagai *conduit* fluida serta gas hidrotermal (manifestasi).



Gambar-7. Peta kelurusan DEM dengan interpretasi struktur geologi

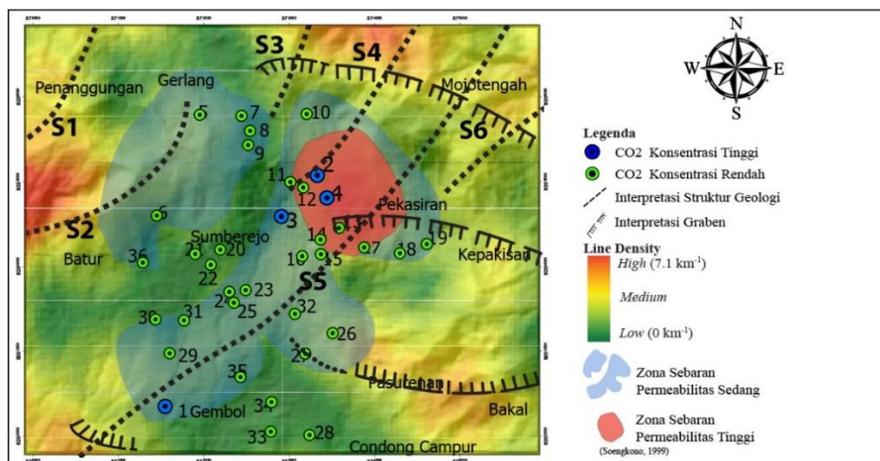
untuk warna hijau mewakili vegetasi yang rapat (> 0/65), warna kuning mewakili vegetasi jarang (0.2-0.65), warna jingga mewakili tidak adanya vegetasi (0-0.2) (Gambar-9), dan warna merah pekat mewakili badan air (< 0) menurut [15]. Hasil NDVI selanjutnya dilakukan proses LST (*Land Surface Temperature*) untuk menghasilkan peta suhu permukaan.



Gambar-9. Peta NDVI

Hasil Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Hasil dari analisis NDVI memperlihatkan warna-warna yang mewakili kerapatan vegetasi,



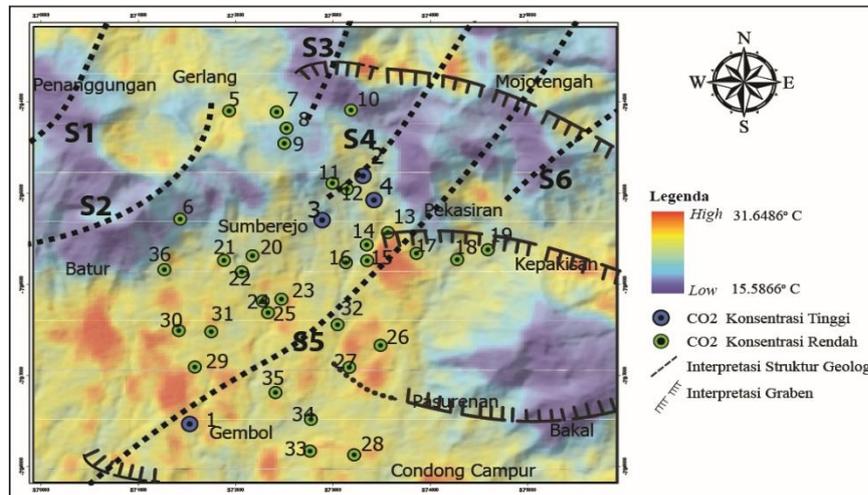
Gambar 8. Peta Densitas kelurusan overlay dengan sebaran Zona Permeabilitas

Peta suhu permukaan (overlay dengan interpretasi struktur geologi dari DEMNAS)

Peta suhu permukaan memperlihatkan kenampakan suhu permukaan daerah penelitian dengan citra Landsat 8 OLI/TIRS pada tanggal 25 Juni 2019 (Gambar-10). Dengan menampilkan perbedaan warna sebagai perbedaan suhu, pada daerah penelitian memiliki suhu permukaan tertinggi 31.6° C dengan warna merah mewakili suhu yg tinggi (semakin tinggi suhu warna merah akan

semakin pekat), sedangkan suhu permukaan terendah adalah 15,5° C dengan warna biru mewakili suhu yang rendah (semakin rendah suhu warna biru akan semakin pekat). Peta suhu permukaan dapat menjadi interpretasi keberadaan manifestasi panas bumi di daerah penelitian, melalui keterdapatn titik kemunculan gas CO₂ dan interpretasi struktur geologi pada daerah penelitian yang berada secara dominan dan melalui pada daerah-daerah dengan suhu yang tinggi

menandakan bahwa daerah tersebut merupakan kemenerusan *reservoir* panas bumi bearah ke barat daerah potensi panas bumi dalam hal ini berupa daya setelah diinvestigasi dengan metode gaya keluaran gas CO₂, pada interpretasi sebagai sesar berat [16].
utama yaitu sesar S5 terdapat adanya indikasi



Gambar-10. Peta suhu permukaan (*overlay* dengan interpretasi struktur geologi dari demnas)

Jika menghubungkan dengan zona permeabilitas, Keberadaan Titik-titik kemunculan gas CO₂ termasuk zona luahan pada sistem panas bumi daerah penelitian memiliki suhu permukaan yang lebih tinggi daripada daerah sekitarnya.

Dengan adanya penelitian ini yang mengkombinasikan antara foto udara guna menginterpretasi struktur geologi dengan *overlay* sebaran kemunculan gas CO₂ akan menambah referensi terkait daerah-daerah yang berpotensi bahaya pada dataran tinggi Dieng.

Peta densitas kelurusan terbentuk dengan menggabung dari hasil seluruh penarikan kelurusan kemudian dengan proses *density* (Gambar-8). Peta densitas memiliki warna yang mewakili suatu densitas dengan unit satuan km/km² atau km⁻¹ berdasarkan peta densitas kelurusan terdapat zona yang berwarna merah yaitu zona yang melambangkan densitas yang tinggi dengan nilai densitas maksimal 7,1 km⁻¹ nilai densitas tinggi berada di atas nilai ≥ 3 km⁻¹ [14] zona kuning yaitu zona yang melambangkan densitas yang sedang, dan zona hijau yaitu zona yang melambangkan densitas yang rendah. Pada daerah penelitian menginterpretasikan zona merah sebagai zona permeabilitas yang baik untuk sebagai *conduit* fluida serta gas hidrotermal (manifestasi).

Peta Sebaran Zona Permeabilitas

Hasil dari peta densitas kelurusan dapat menjadi interpretasi daerah zona permeabilitas [14] dengan melalaui hasil penyesuaian dengan titik-titik

kemunculan gas CO₂ dan interpretasi struktur dari data DEMNAS. Terdapat 2 zonasi yang pertama adalah zona permeabilitas tinggi dengan warna merah pada peta. Zonasi yang kedua adalah zona permeabilitas sedang dengan warna biru pada peta (Gambar-8). Selanjutnya dapat menghubungkan kedua zonasi ini dengan keberadaan titik kemunculan gas CO₂, terlihat titik kemunculan gas CO₂ yang memiliki kadar CO₂ dan suhu yang tinggi dominan berada pada zona permeabilitas tinggi yang menjawab bahwa daerah permeabilitas tinggi memungkinkan fluida hidrotermal dapat melakukan proses konveksi dengan baik.

Kemudian struktur geologi hasil penarikan interpretasi dari data citra DEMNAS memperlihatkan struktur geologi S3, S4, dan S5 yang berarah melewati daerah-daerah kemunculan gas CO₂ dan melewati zona permeabilitas sedang hingga tinggi, struktur geologi (sesar) ini membuat permeabilitas pada daerah yang terlewati menjadi lebih besar serta struktur sesar ini sebagai *conduit* bagi keluaran fluida dan gas (CO₂). Manifestasi solfatara di Kawah Candradimuka (2) dapat menunjukkan zona luahan sistem panas bumi pada daerah penelitian manifestasi solfatara ini masuk ke dalam zona permeabilitas tinggi.

V. KESIMPULAN

Interpretasi struktur geologi menghasilkan beberapa struktur berupa graben dan 6 patahan dengan dominasi berarah barat daya-timur laut. Terdapat dua zona permeabilitas di daerah penelitian

yaitu zona permeabilitas sedang dan zona permeabilitas tinggi, pada zona permeabilitas tinggi memiliki banyak titik kemunculan kandungan konsentrasi gas CO₂ yang tinggi sedangkan zona permeabilitas sedang memiliki titik kemunculan kandungan konsentrasi gas CO₂ yang rendah, zona permeabilitas ini dilalui oleh patahan dengan arah barat daya-timur laut. Indikasi patahan hasil olahan data citra DEM dan dibantu dengan Landsat 8 OLI/TIRS merupakan pengontrol dari titik-titik kemunculan gas CO₂, pengontrol ini berupa struktur sesar yang menjadi *conduit*/saluran untuk keluarnya gas CO₂ terutama pada sesar S5, dengan kesamaan antara pola kelurusan serta posisi dari titik kemunculan gas CO₂, daerah timur Pekasiran yang dilalui oleh struktur sesar serta merupakan daerah permeabilitas tinggi yang diinterpretasikan sebagai zona luhan dan daerah barat daya Mojotengah diinterpretasikan sebagai zona resapan sistem panas bumi. Pola sesar S5 diikuti oleh pola suhu permukaan tanah yang tinggi (warna merah dan jingga) dan deretan kemunculan gas CO₂, sehingga interpretasi sesar S5 sebagai sesar utama pengontrol manifestasi panas sistem panas bumi Pekasiran Dieng. Kondisi ini juga dikarenakan sebaran lapisan bawah permukaan yang membawa manifestasi panas bumi Dieng teridentifikasi menyebar mengikuti patahan S5 yang mengarah ke barat daya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allard, P., Dajlevic, D., Delarue, C., *Origin of carbon dioxide emanation from the 1979 Dieng eruption*. Indonesia: Implications for the origin of the 1986 Nyos catastrophe, 1989, J. Volcanol. Geotherm. Res. 39, 195-206.
- [2] Andreastuti, S.D., *Sebaran dan Bahaya Gas CO₂ di Kompleks Vulkanik Dieng*. Yogyakarta, 2007 Badan Geologi. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [3] Bailey, G.B., Dwyer, J.L., Meyer, D.J., *AVIRIS Data*.
- [4] Bemmelen, Van, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Martinus Nyhoff, The Hague, Nederland.
- [5] Bosch, M., Lithology Discrimination From Physical Rock Properties. 2002, Geophysics, vol. 67, no. 2.
- [6] Bailey, GB; Dwyer, JL; Meyer, DJ *AVIRIS Data, Characteristics and Their Effects on Spectral Discrimination of Rocks Exposed in the Drum Mountains*, 1988, Utah: Results of a Preliminary Study
- [7] Condon, W.H, dkk, *Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan, Jawa*, 1996, Pusat Peneliti dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [8] Curewitz, J.A., Karson, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 79 149-168.
- [9] Jonathan S. C., J. P. Evans, and C. B. Forster, *Fault zone architecture and permeability structure*, *Geology*, 1996, 24(11), pp. 1025-1028.
- [10] Lillesand, T.M., dan Kiefer, R.W, 1997, *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra* (terjemahan), Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [11] Moh. Nazir, 1988, *Metodologi Penelitian*, Jakarta: Ghalia Indonesia.
- [12] Pulunggono dan Martodjojo, S, 1994, *Perubahan Tektonik Paleogene-Neogene Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa*, *Proceeding Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa*, Yogyakarta: NAFIRI.
- [13] Putri. W.A. 2018, Interpretasi Anomali Gayaberat, Citra Landsat 8+ Oli dan Dem Untuk Menentukan Struktur Bawah Permukaan, Sistem Hidrotermal dan Mendeliniasi Kerapatan Lineament Fault Surface Pada Area Prospek Geotermal "Ws".
- [14] Sobrino, J. A., Li, Z. L., Stoll, M. P., and Becker, F, *Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data*. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(11), 2089-2114.
- [15] Soengkono, S, *Analysis of digital topographic data for exploration and assessment of geothermal system*. *Proceeding 21st*, 1999 ,New Zealand Geothermal Workshop.
- [16] Soenarmo, S.H., 2009, *Penginderaan Jauh dan Pengenalan Sistem Informasi Geografi Untuk Bidang Ilmu Kebumihan*, Bandung Penerbit ITB.