



Integrasi Metode Geomagnetik dan *Fault Fracture Density* (FFD) untuk Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Dondang, Kutai Kartanegara

Nurshafiq^{1,3*}, Arif Haryono^{2,3}, Supriyanto^{2,3}, Nanda Khoirunisa^{2,4}

¹Program Studi Geofisika, Universitas Mulawarman, Jl. Barong Tongkok No. 4 Gunung Kelua, Kota Samarinda, Kalimantan Timur, 75242, Indonesia

²Program Studi Fisika, Universitas Mulawarman, Jl. Barong Tongkok No. 4 Gunung Kelua, Kota Samarinda, Kalimantan Timur, 75242, Indonesia

³Laboratorium Geofisika, Universitas Mulawarman, Jl. Barong Tongkok No. 4 Gunung Kelua, Kota Samarinda, Kalimantan Timur, 75242, Indonesia

⁴Laboratorium Oseanografi, Universitas Mulawarman, Jl. Barong Tongkok No. 4 Gunung Kelua, Kota Samarinda, Kalimantan Timur, 75242, Indonesia

* Corresponding author E-mail: nurshafiqaa03@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menginterpretasikan kondisi geologi bawah permukaan serta mengidentifikasi pola kelurusan struktur geologi pada kawasan manifestasi panas bumi Permandian Air Panas Mahkota Dondang, Kutai Kartanegara. Pendekatan yang digunakan mencakup metode geomagnetik dan *Fault Fracture Density* (FFD). Akuisisi data geomagnetik dilakukan untuk memperoleh intensitas medan magnet, yang kemudian diproses melalui koreksi harian, koreksi IGRF, kontinuasi ke atas, reduksi ke kutub, serta analisis turunan pertama horizontal (FHD) dan turunan vertikal kedua (SVD). Hasil pemrosesan digunakan untuk membangun penampang model 2D. Sementara itu, analisis FFD dilakukan dengan memanfaatkan citra DEMNAS melalui tahapan *hillshade*, *multishade* (*azimuth* 35°, 135°, 225°, 315°), ekstraksi kelurusan, dan analisis kerapatan garis. Interpretasi model 2D pada lintasan A–B menunjukkan keberadaan litologi aluvium (susceptibilitas 0,01257 SI), batu lempung (2,18655 SI), dan batu pasir kuarsa (0,10053 SI).

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diserahkan Maret 2025

Diterima Juni 2025

Tersedia secara online Juni 2024

Tanggal Publikasi 30 Juni 2025

Kata Kunci:

geomagnetik; *fault fracture density*; panas bumi; pemodelan 2D.

pada kedalaman 0–200 meter. Korelasi dengan hasil FHD dan SVD mengindikasikan keberadaan sesar turun. Kerapatan kelurusan struktur geologi di sekitar manifestasi tergolong rendah hingga sedang (1000–2600 m/km²), sementara zona densitas tinggi berada relatif dekat dengan area manifestasi dan berkaitan dengan struktur regional. Hasil ini mengindikasikan bahwa fluida termal berasal dari pengaruh sesar pada lingkungan sedimen bawah permukaan dan menjalar ke permukaan melalui bidang lemah geologi.

ABSTRACT

This study aims to interpret the subsurface geological conditions and identify the lineament patterns of geological structures in the geothermal manifestation area of Mahkota Dondang Hot Spring, Kutai Kartanegara. The methodologies employed include geomagnetic and Fault Fracture Density (FFD) analyses. Geomagnetic data acquisition was conducted to obtain magnetic field intensity, which was subsequently processed through diurnal correction, IGRF correction, upward continuation, reduction to the pole, and analyses using First Horizontal Derivative (FHD) and Second Vertical Derivative (SVD). The processed data were used to construct a 2D subsurface model. Meanwhile, FFD analysis utilized DEMNAS imagery processed through hillshading, multishading (azimuths of 35°, 135°, 225°, and 315°), lineament extraction, and line density analysis. The interpretation of the 2D model along sections A–B reveals the presence of alluvium (susceptibility 0.01257 SI), claystone (2.18655 SI), and quartz sandstone (0.10053 SI) at depths ranging from 0 to 200 meters. Correlation with FHD and SVD results indicates the presence of a normal fault. Lineament density in the vicinity of the manifestation is classified as low to moderate (1000–2600 m/km²), while high-density zones are located nearby and are associated with regional geological structures. These findings suggest that thermal fluid originates from fault influence within subsurface sedimentary environments and propagates to the surface through geological weak zones.

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted March 2025

Accepted June 2025

First Available online June 2025

Publication Date June 30, 2025

Keyword:

geomagnetics; fault fracture density; geothermal; 2D modeling.

1. Pendahuluan

Kondisi geologis Indonesia yang mengalami banyak sekali aktivitas tektonik menyebabkan manifestasi panas bumi terdapat di beberapa daerah, baik yang sudah dieksplorasi maupun yang masih dalam tahap penelitian. Pulau Sumatera dan Pulau Jawa memiliki manifestasi air panas terbanyak. Contohnya di permandian air panas Rianite Samosir serta wisata air panas Ciater Bandung. Mayoritas energi panas bumi di Indonesia terkait dengan lingkungan vulkanik, sementara sisanya berasal dari sumber panas bumi non-vulkanik. Keberadaan sumber daya panas bumi di dalam bumi sering ditandai dengan munculnya fenomena seperti mata air panas, kolam lumpur, geyser, dan lainnya di permukaan. Fenomena ini diyakini terjadi akibat penyebaran panas dari dalam bumi ke atas atau karena adanya retakan yang memungkinkan uap dan air panas naik ke permukaan.

Menurut Sebah [1], pada dasarnya metode geofisika yang dapat mengidentifikasi struktur geologi seperti patahan/sesar salah satunya adalah metode geomagnetik. Penelitian dengan metode geomagnet digunakan sebagai bagian dari survei awal untuk eksplorasi panas bumi di Kelurahan Dondang. Dimana metode geomagnet akan mengukur intensitas magnetik di permukaan bumi sehingga dapat menginterpretasi bawah permukaan bumi.

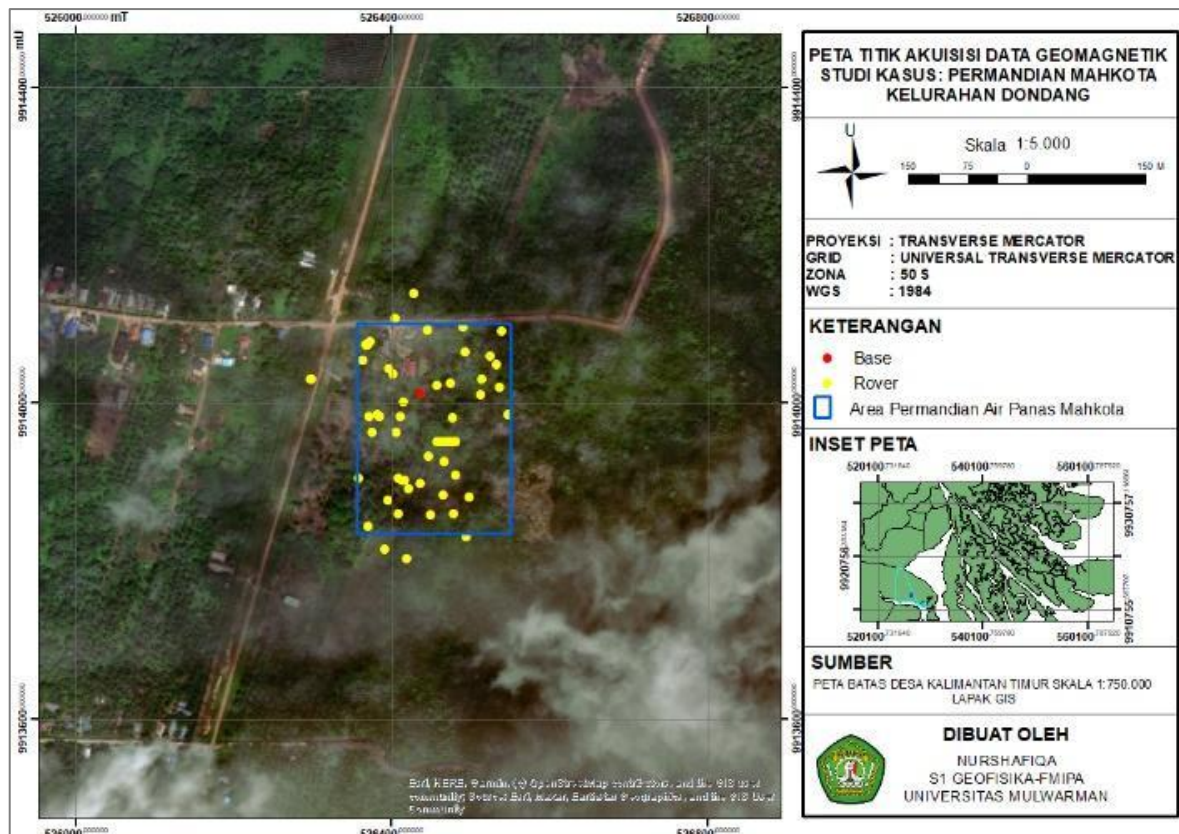
Kemudian dapat dilakukan analisis geospasial berupa *Fault Fracture Density* (FFD) dengan mengidentifikasi kelurusan yang terbentuk dari hasil ekstraksi kelurusan data DEM untuk mengetahui kerapatan kelurusan di area penelitian.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian menggunakan metode geomagnetik dan analisis FFD di area manifestasi panas bumi Kelurahan Dondang, Kabupaten Kutai Kartanegara untuk menginterpretasi kondisi geologi bawah permukaan sebagai penyebab keterdapatannya manifestasi serta analisis kelurusan yang terbentuk. Selain itu dapat memperdalam informasi mengenai eksplorasi panas bumi dan pemanfaatannya di daerah tersebut.

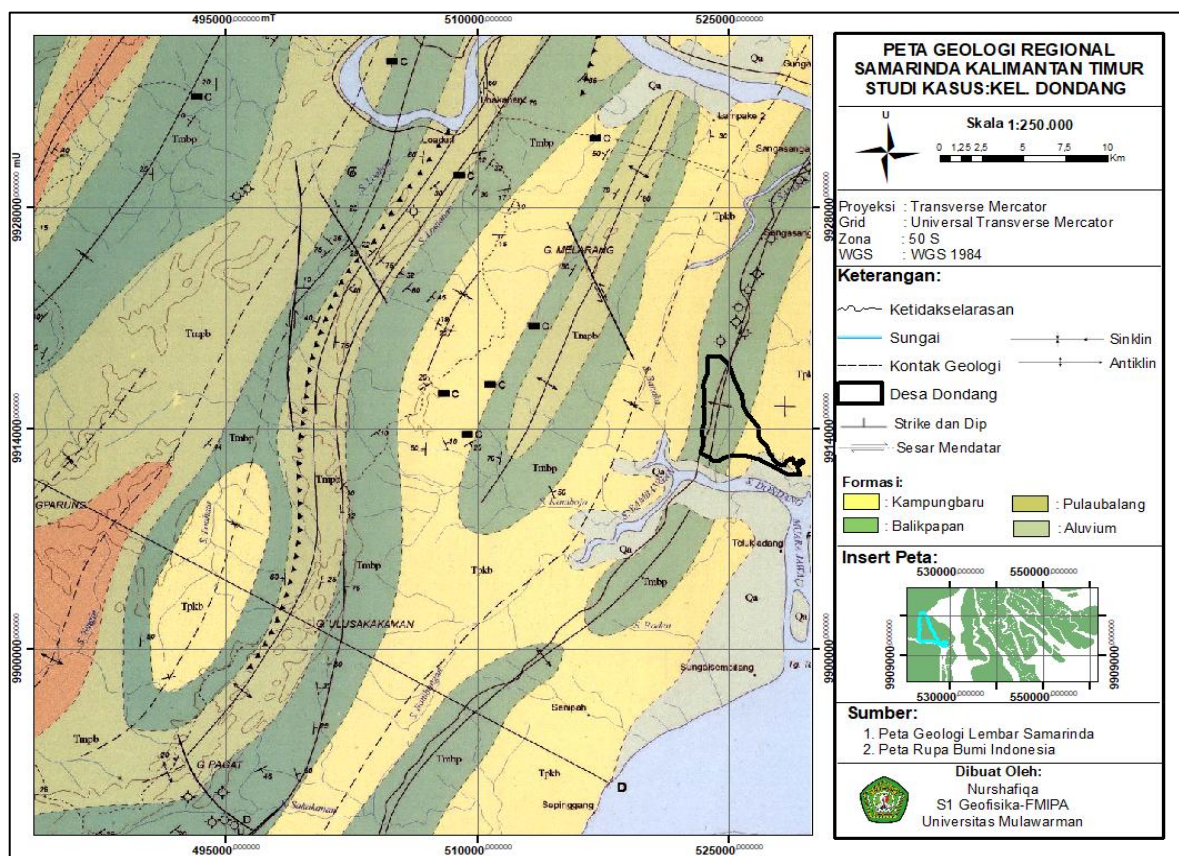
1.1 Geologi Daerah Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada daerah manifestasi panas bumi Kelurahan Dondang, yang secara administratif terletak di Kecamatan Muara Jawa, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Terletak pada koordinat 0°46'37" LS hingga 117°14'15" BT dan 0°46'42" LS hingga 117°14'16" BT.

Secara geologi, Kelurahan Dondang terletak pada formasi Balikpapan dan alluvium, serta struktur geologi berupa antiklin antiklin yang cenderung dari Timur ke Barat, serta sesar utama memiliki arah Utara ke Selatan. Peta Geologi regional ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

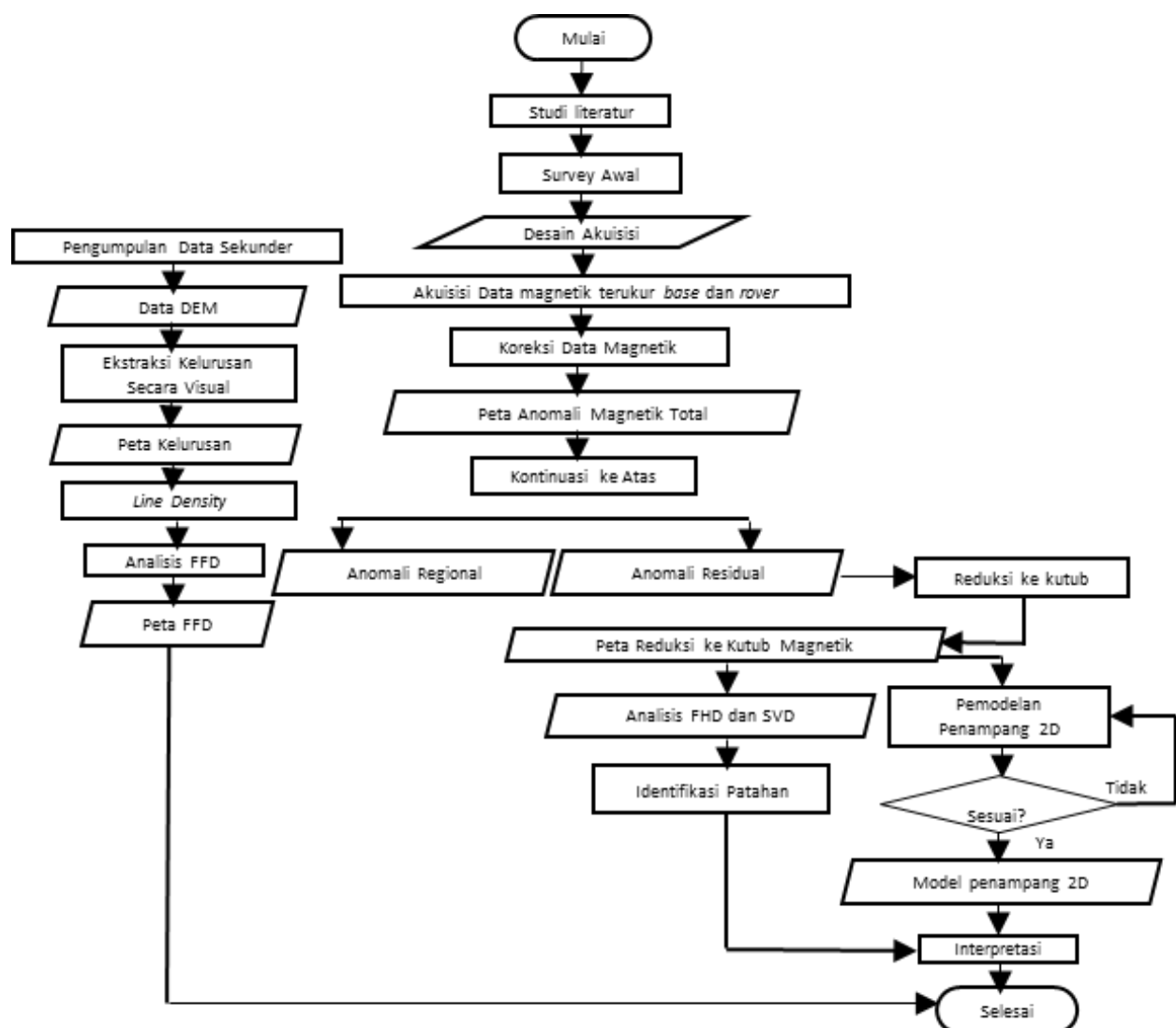


Gambar 2. Peta Geologi Regional Penelitian [2]

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada area permandian air panas Mahkota yang terletak di Kelurahan Dondang, Kabupaten Kutai Kartanegara. Air panas keluar dari kolam yang terdiri dari air panas dan lumpur panas yang digunakan oleh wisatawan sebagai terapi kesehatan.

Akuisisi data geomagnetik dilakukan pada hari sabtu, 01 Juni 2024 pukul 10.00 – 18.00 waktu setempat. Sedangkan *Fault Fracture Density* (FFD) menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) Nasional yang diunduh pada laman <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/> pada tanggal 30 April 2024. Adapun tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

2.1 Sistem Panas Bumi Non-Vulkanik

Panas bumi berasal dari pemanasan batuan, air, dan elemen-elemen lain di kerak bumi sebagai sumber panas alami. Untuk memanfaatkannya, diperlukan kegiatan penambangan melalui proses eksplorasi dan eksploitasi untuk menghasilkan energi panas berupa uap panas, air panas, atau kombinasi keduanya, serta unsur-unsur lain yang terkandung dalam panas bumi [3].

Menurut Sumotarto [4], kenampakan geologi pada daerah panas bumi secara umum terdiri dari jenis litologi yang mendukung (terdapat batuan yang berpori dan bersifat permeabilitas), terdapat struktur geologi, siklus batuan hidrologi yang kompleks, terdapat aktivitas vulkanik, dan terdapat manifestasi di permukaan bumi. Adapun menurut Suharno [5], beberapa parameter penting sistem panas bumi pada terdiri dari sumber panas, reservoir, batuan penutup, saluran *permeable* seperti patahan, sumber fluida, dan siklus hidrologi.

Panas bumi umumnya ditemukan di sekitar lingkungan vulkanik. Namun, beberapa penelitian menemukan bahwa panas bumi juga dapat terjadi pada lingkungan non-vulkanik. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Lund [6], beberapa sistem panas bumi yang dihasilkan melalui proses-proses non-vulkanik, contohnya pada lingkungan pengendapan sedimen, *geo-pressure*, dan sumber daya radiogenik.

2.2 Metode Geomagnetik

Medan geomagnetik dihasilkan oleh arus listrik yang terkait dengan gerakan konvektif dalam inti luar bumi yang bersifat konduktif. Komponen penting lainnya dari medan ini berasal dari variasi sifat magnetik litosfer dan arus listrik di ionosfer bumi. Medan utama ini hampir sejajar dengan sumbu rotasi bumi dan bersifat dipolar. Interaksi antara kutub-kutub magnet, baik dalam bentuk tarik-menarik pada kutub berbeda maupun tolak-menolak pada kutub sejenis, berbanding lurus dengan hasil kali kekuatan kutub atau muatannya. Kemudian berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar kutub atau muatan, mirip dengan gaya gravitasi antar dua massa [7].

Menurut Telford [8], medan geomagnetik bumi terdiri dari:

- a. Medan utama, yang berasal dari dalam bumi dan mengalami perubahan relatif lambat. Lebih dari sembilan puluh persen disebabkan oleh sumber di dalam bumi, menurut analisis harmonik bola dari medan magnet yang diamati. Menurut teori saat ini, medan utama disebabkan oleh arus konveksi material penghantar yang bersirkulasi di inti luar cair pada kedalaman 2.800 hingga 5.000 km. Inti Bumi dianggap terdiri dari campuran besi dan nikel, yang keduanya berfungsi sebagai konduktor listrik yang baik. Dalam sumber magnet, fluida yang sangat konduktif bergerak secara kompleks

karena konveksi, yang dikenal sebagai dinamo eksitasi sendiri.

- b. Medan kecil, yang berubah cukup cepat dan dipengaruhi eksternal bumi.
- c. Variasi spasial medan utama, yang umumnya lebih kecil dari medan utama, cenderung tetap dalam waktu dan lokasi, serta disebabkan oleh anomali magnetik lokal di dekat permukaan kerak bumi. Variasi ini menjadi fokus dalam eksplorasi magnetis. Penelitian berkelanjutan selama empat ratus tahun menunjukkan bahwa

perubahan medan ini berlangsung secara perlahan.

Setiap batuan memiliki suseptibilitas yang bervariasi, bergantung pada jenis mineral penyusunnya. Mineral penyusun juga bervariasi disebabkan perbedaan waktu terbentuknya batuan. Suseptibilitas berguna untuk menganalisis nilai medan magnet sebelum melakukan identifikasi struktur dan litologi batuan. Suseptibilitas disimbolkan oleh k . Nilai suseptibilitas masing-masing jenis batuan ditunjukkan pada tabel 1 [9].

Tabel 1. Nilai Suseptibilitas Batuan [8]

Tipe Batuan	Rentang Suseptibilitas (nT)	Suseptibilitas Rata-rata (nT)
Batuan Sedimen		
Dolomit	0 – 0,9	0,1
Gamping	0 - 3	0,3
Batu Pasir	0 - 20	0,4
Serpih	0,01 - 15	0,6
Batuan Metamorf	0,7	
Amfibolit	0,3 - 3	1,4
Sekis		1,5
Filit	0,1 - 25	
Gneis		4
Kuarsit	3 - 17	
Serpentinit	0 - 35	6
Sabak	0 - 70	4.2
Batuan Beku		
Granit	0 - 50	2.5
Riolit	0.2 - 35	
Syenit	30 - 40	
Olivin diabas		25
Diabas	1 - 160	25
Porfiri	0.3 - 200	60

2.3 Metode *Fault Fracture Density*

Fault Fracture Density (FFD) adalah teknik sederhana untuk menunjukkan kepadatan struktur sebuah objek atau area yang terbentuk oleh rekahan atau patahan yang saling berhubungan. Rekahan ini terbentuk karena intrusi batuan beku atau kerusakan batuan selama aktivitas tektonik, seperti lipatan dan patahan [10].

Dalam kebanyakan kasus, hasil analisis kelurusan ditampilkan dalam bentuk statistik kelurusan, yang terdiri dari peta densitas kelurusan dan *rosette* diagram. Interpretasi secara visual dapat dilakukan secara komputerisasi atau otomatis dan dapat pula secara manual oleh interpreter. Sementara itu, interpretasi kelurusan dapat dibuat secara visual dengan mempertimbangkan sejumlah elemen, yaitu perubahan ketinggian secara tiba-tiba, perubahan pada pola, perubahan gradien lereng atau kemiringan, perpindahan pada bidang referensi/datum [11].

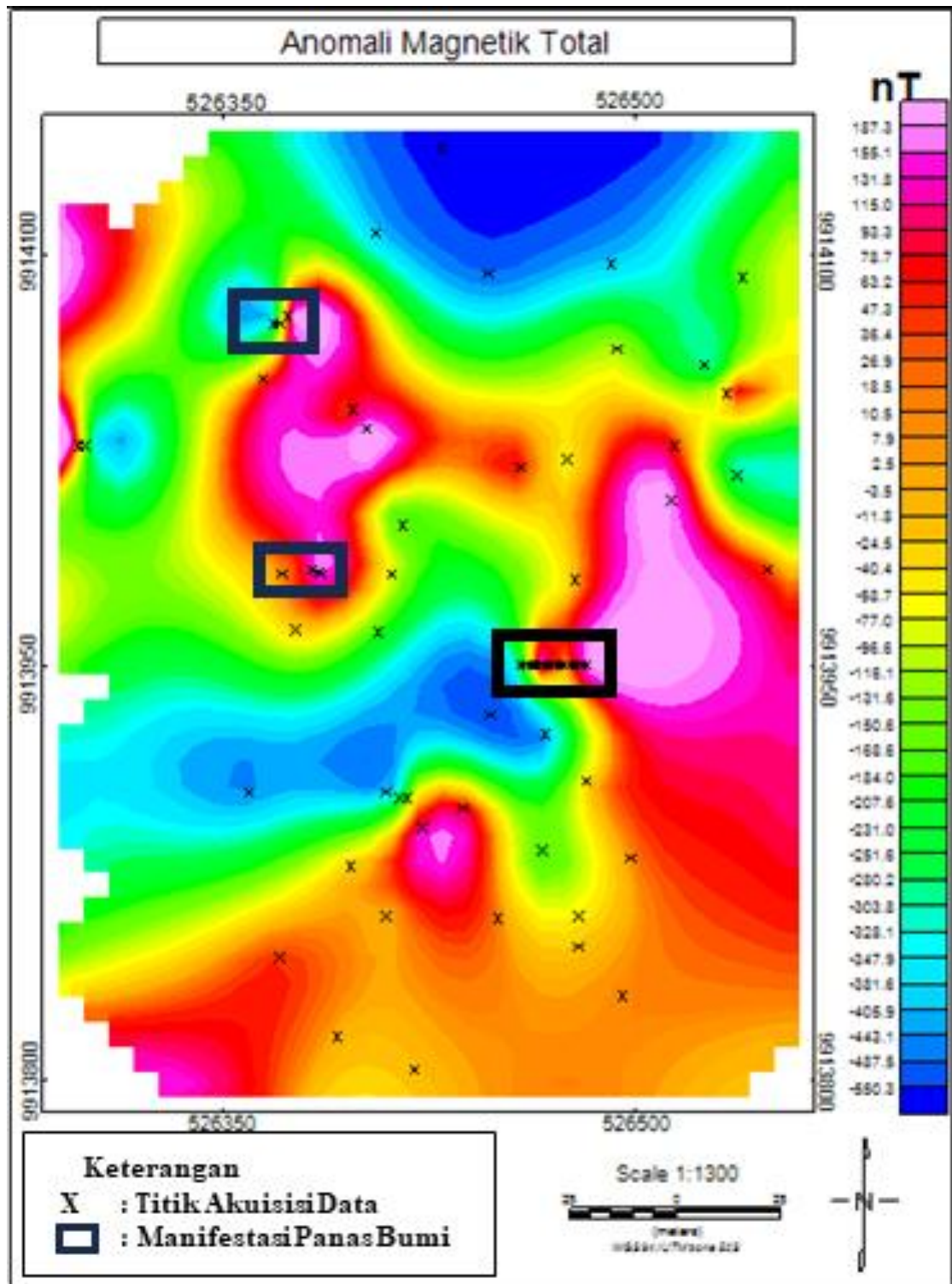
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Metode Geomagnet

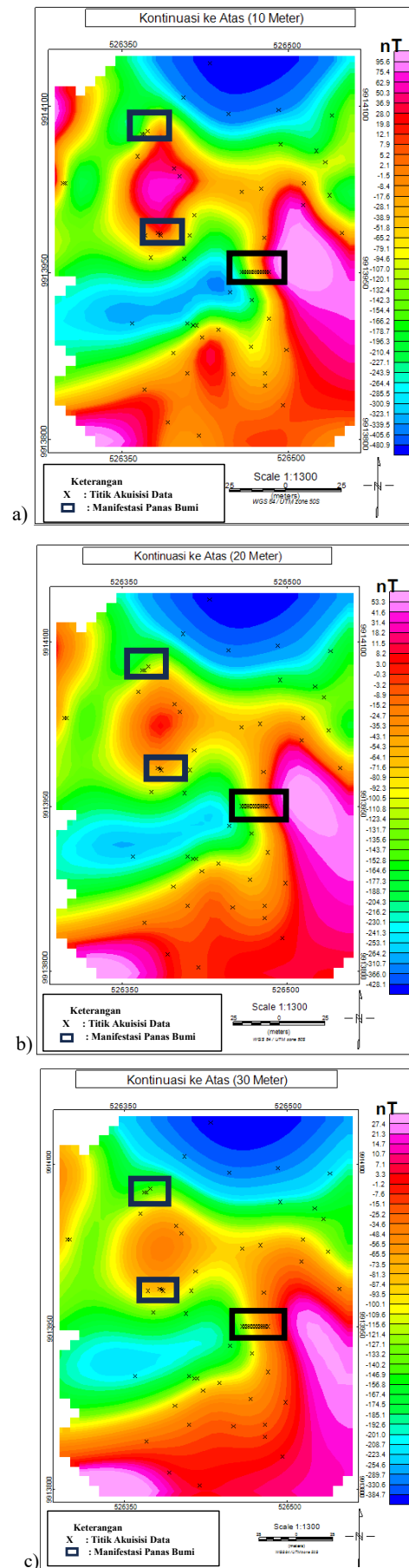
Data geomagnetik terukur merupakan hasil akuisisi data magnetik yang harus dikoreksi menggunakan koreksi harian dan koreksi IGRF. Selanjutnya dilakukan proses *gridding* sehingga menghasilkan peta Anomali Magnetik Total (AMT). Peta AMT ditunjukkan pada Gambar 4.

Anomali magnetik total harus dipisahkan antara anomali regional dan anomali residual. Sehingga target interpretasi anomali residual dapat dilakukan. Pemisahan anomali ini digunakan menggunakan fitur kontinuitas ke atas secara *trial and error* hingga mencapai target yang diinginkan. Hasil filter ditunjukkan pada Gambar 5.

Pengangkatan berhenti pada ketinggian 30 meter karena tidak terjadi lagi perubahan yang signifikan pada peta anomali sehingga dapat diidentifikasi sebagai anomali regional. Semakin tinggi pengangkatan yang dilakukan, maka semakin *smooth* klosur yang dihasilkan. Kontur anomali juga akan semakin melebar seiring dengan kenaikan level kontinuitas. Semakin lebar kontur tersebut, maka anomali diinterpretasikan semakin dalam. Namun, peta geologi regional hanya digunakan sebagai tahap pemfilteran untuk mendapatkan anomali residual yang diinginkan. Anomali residual dihasilkan berdasarkan selisih antara anomali magnetik total dengan anomali regional. Peta anomali residual dapat dilihat pada Gambar 5 a). Hasil Peta residual masih menggunakan peta AMT yang masih bersifat *dipole*, sehingga harus direduksi menjadi *monopole*. Hasil reduksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 b).



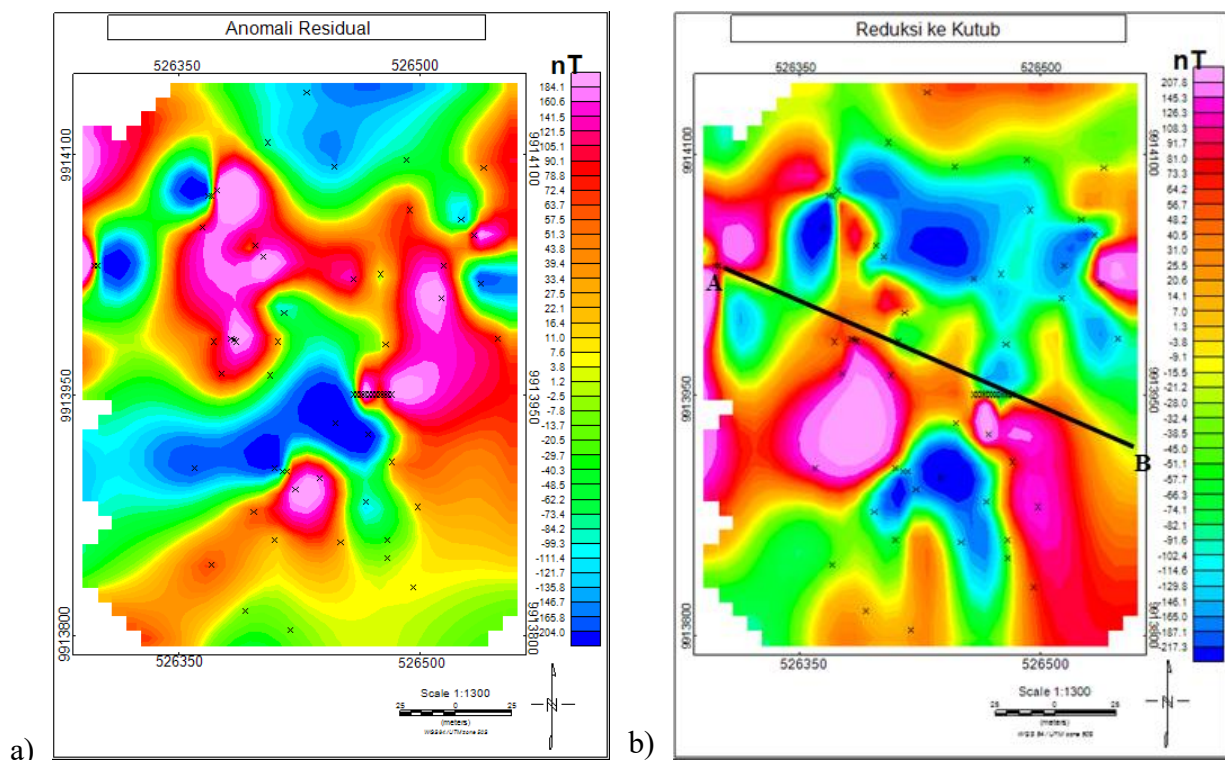
Gambar 4. Peta Anomali Magnetik Total



Gambar 5. Peta Kontinuasi ke Atas: a). 10 m; b). 20 m; c). 30 m

Peta anomali residual menunjukkan klosur mirip anomali lokal, meskipun beberapa klosur hilang akibat reduksi efek regional. Hasil proses akuisisi data, deklinasi awal sebesar $-0,051^\circ$ dan inklinasi sebesar $-16,596^\circ$. Setelah diterapkan filter reduksi ke kutub (RTP) dengan deklinasi 0° dan inklinasi 90° , anomali magnetik tampak lebih jelas. Manifestasi panas bumi tetap berada pada pola anomali berpasangan klosur positif-negatif, yang diduga mencerminkan

batas kontak lapisan batuan atau zona sesar. Anomali rendah di sekitar manifestasi diperkirakan akibat proses demagnetisasi oleh fluida panas bawah permukaan. Pendugaan sesar dapat ditemukan dari hasil filterisasi, namun belum memberikan informasi secara jelas mengenai keberadaan pasti lokasi sesar tersebut. Menurut penelitian Hartini [12], kombinasi analisis *derivative* dan pemodelan diperlukan untuk menentukan lokasi sesar secara akurat.



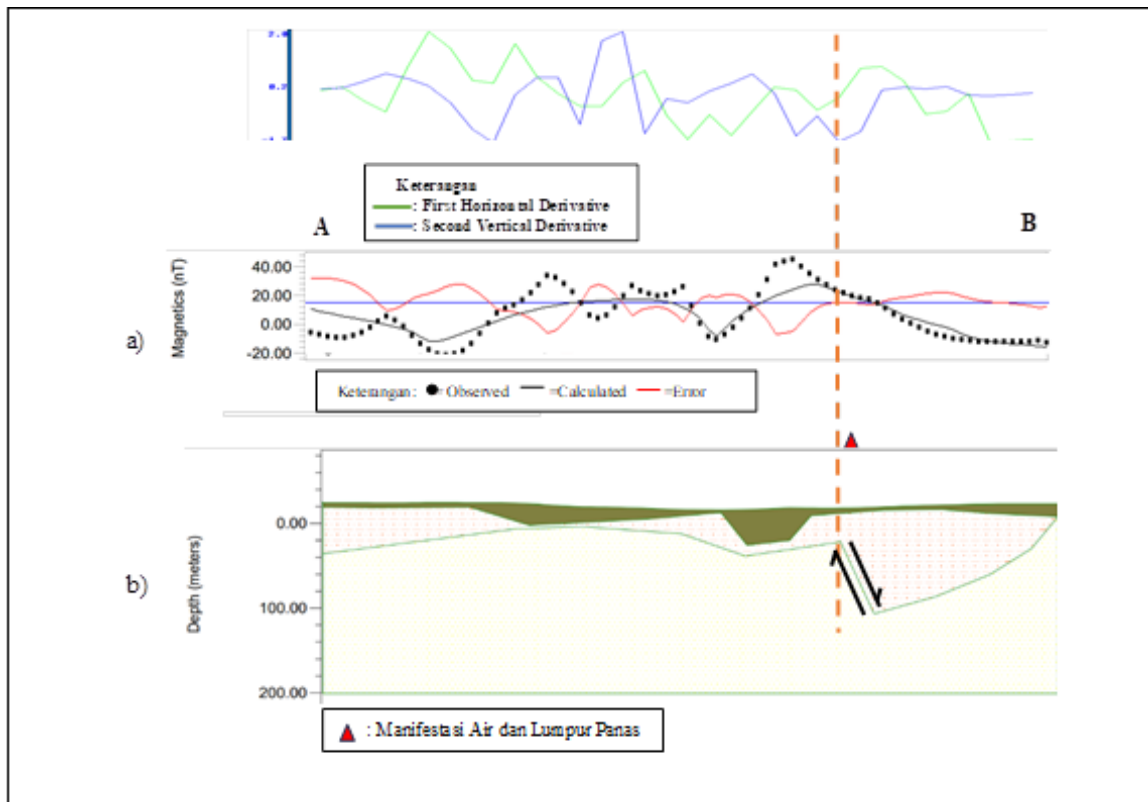
Gambar 6. a) Peta anomali residual; b) Hasil filter reduksi ke kutub pada peta anomali residual

Peta anomali residual memiliki klosur yang mirip dengan anomali lokal, hanya saja terdapat beberapa klosur yang hilang sebagai bagian dari reduksi efek regional. Pada lokasi penelitian pada saat proses akuisisi data, deklinasi awal sebesar $-0,051^\circ$ dan inklinasi sebesar $-16,596^\circ$. Setelah diberikan

filter reduksi ke kutub anomali magnetik terlihat lebih jelas. Pada filter RTP deklinasi diubah menjadi 0° dan inklinasi menjadi 90° . Area manifestasi panas bumi masih berada pada pola anomali berpasangan klosur positif dan negatif yang diduga sebagai batas kontak lapisan batuan

ataupun zona struktur sesar. Adanya proses demagnetisasi oleh fluida panas bawah permukaan mengakibatkan anomali rendah disekitar titik manifestasi panas bumi. Pendugaan sesar dapat ditemukan dari hasil filterisasi, namun belum memberikan informasi secara jelas mengenai keberadaan

pasti lokasi sesar tersebut. Menurut penelitian Hartini [12], untuk dapat memastikan lokasi sesar dapat mengkombinasikan analisis *derivative* dengan pemodelan yang akan dilakukan. Berikut merupakan hasil pemodelan 2D *slice* peta reduksi ke kutub.



Gambar 7. Identifikasi Patahan Lintasan A-B; a). Kurva *Derivative*; b). Pemodelan 2D

Berdasarkan Gambar 6 a) dapat diketahui nilai SVD maksimum lebih besar dibanding SVD minimum. Jika ditarik garis lurus dengan pemodelan 2 dimensi, maka dapat menghasilkan model struktur geologi yang diindikasikan sebagai sesar turun (*normal fault*). Diketahui titik yang ditandai tersebut berada di bawah manifestasi panas

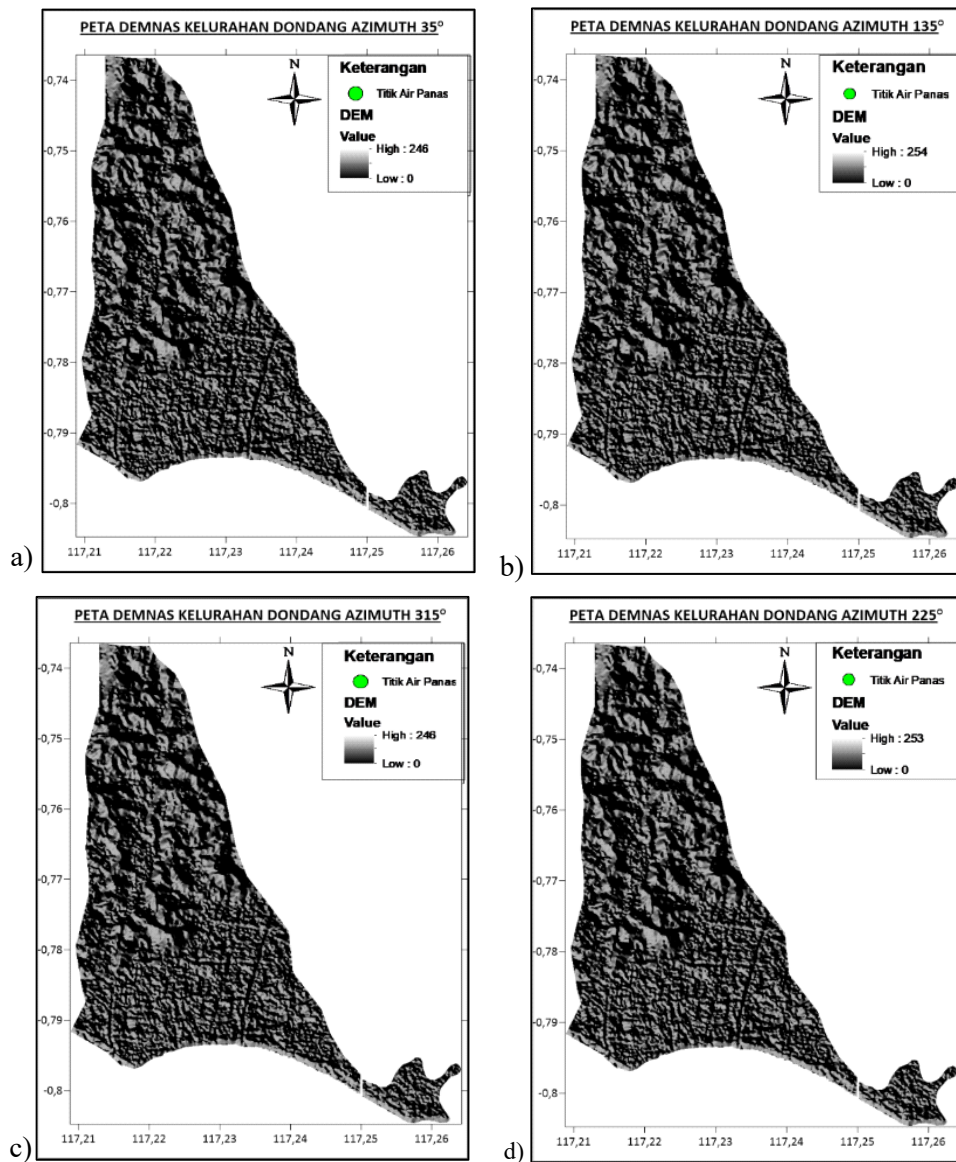
bumi, sehingga dapat diidentifikasi sebagai penyebab keluarnya fluida ke atas permukaan.

Sedangkan hasil pemodelan Gambar 6 b), terdiri dari 3 lapisan litologi dengan kedalaman total 200 Meter. Lapisan pertama memiliki suseptibilitas 0,01257 SI diinterpretasikan sebagai aluvium dengan

dominan batu lempung dan batu pasir berada pada kedalaman 0-25 Meter. Percampuran antara batu lempung dan batu pasir yang ada di area penelitian dapat diidentifikasi sebagai aluvium dan *top soil*. Lapisan kedua memiliki suseptibilitas 0,218655 SI diinterpretasikan sebagai batu lempung berada pada kedalaman 0-105 Meter. Batu lempung bersifat *impermeable* yang bersifat menutup jalur fluida agar tidak keluar dari batuan

3.2. Metode *Fault Fracture Density* (FFD)

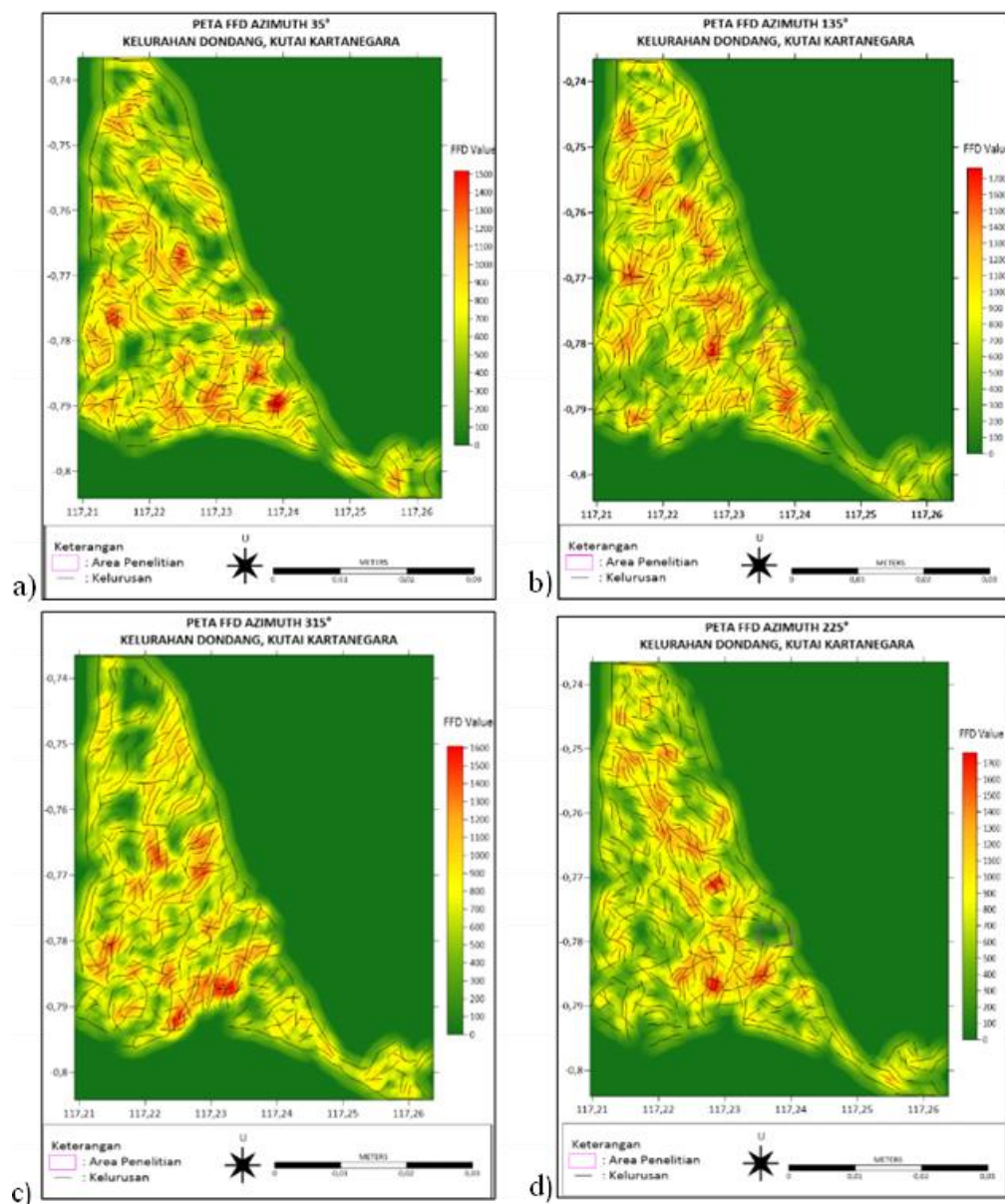
reservoir. Lapisan ketiga memiliki suseptibilitas 0,010053 SI diinterpretasikan sebagai batu pasir kuarsa berada pada kedalaman 4-200 Meter. Batu pasir bersifat *permeable* dan memiliki porositas cukup baik untuk menyimpan dan mengalirkan fluida. Dari model tersebut dapat diidentifikasi keberadaan struktur geologi sesar di bawah manifestasi air dan kolam lumpur panas di permukiman Mahkota Dondang.



Gambar 8. *Hillshade* relief pada azimuth; a) 35° b)135°; c) 225°; dan d) 315°

Proses ini dilakukan menggunakan fitur *hillshade* data *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) bertujuan agar interpretasi rekahan dan sesar/patahan daerah penelitian lebih jelas dengan menggunakan *software* pengolah data. Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hutaeruk [13], proses *hillshade* menggunakan 4 arah sudut penyinaran (*azimuth*), yaitu 35° , 135° , 225° , dan 315° yang mewakili 4 sudut dalam 360° .

Hasil pada Gambar 7., harus dilakukan ekstraksi kelurusan pada masing-masing *azimuth* secara otomatis. Parameter penarikan kelurusan dilakukan secara *trial and error* hingga mendapatkan panjang kelurusan yang sesuai dengan visual pada *hillshade relief*. Setelah didapatkan kelurusan dalam format file dxf, selanjutnya dilakukan perhitungan *line density*. Hasil perhitungan *line density* ditunjukkan pada Gambar 8.



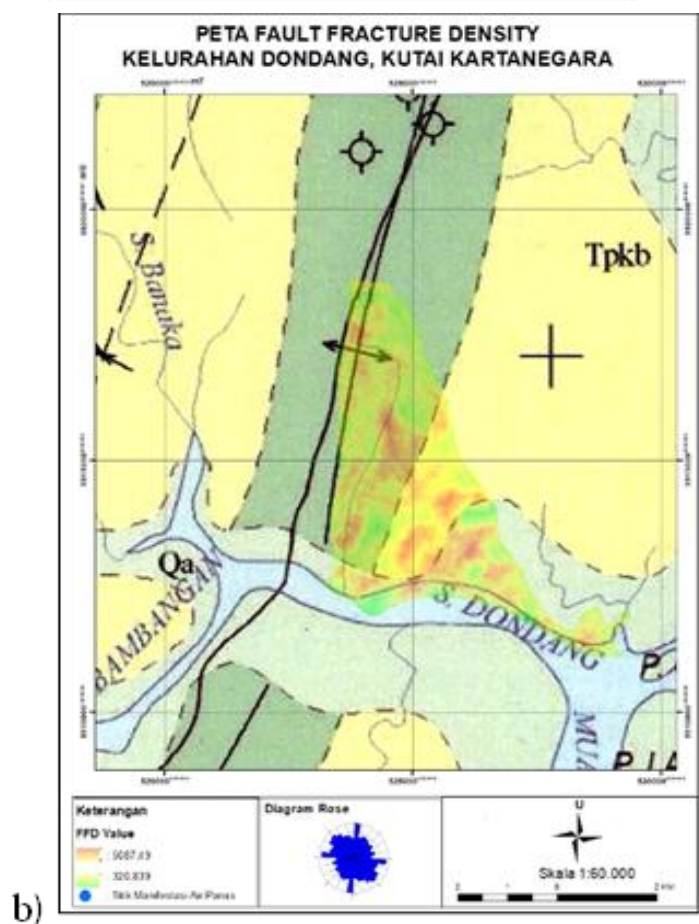
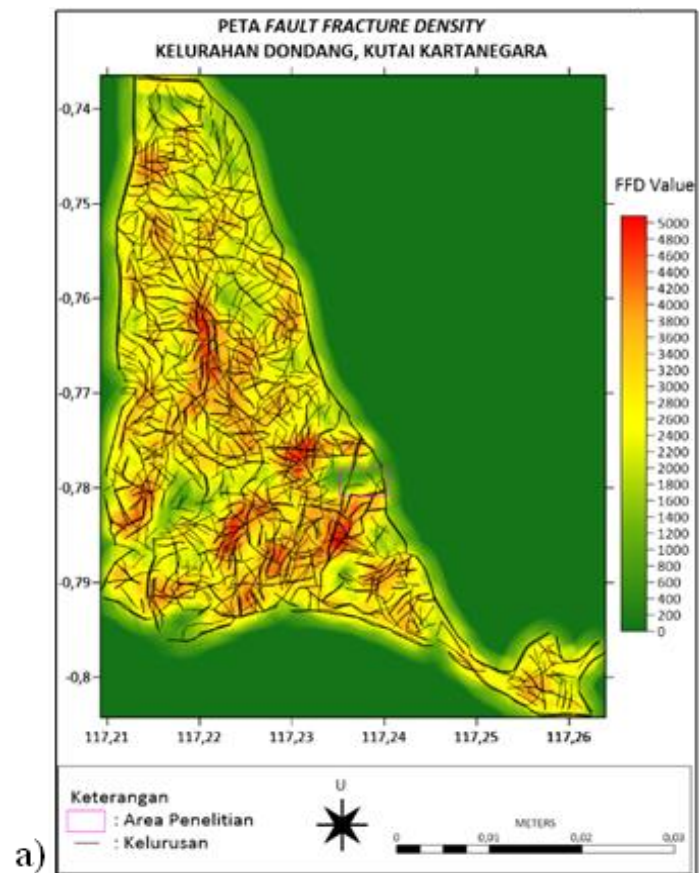
Gambar 9. Peta FFD pada *Azimuth* a) 35° ; b) 135° ; c) 225° ; d) 315°

Line density merupakan hasil perhitungan dari penarikan kelurusan yang direpresentasikan oleh warna-warna di sekitar garis kelurusan. Pada arah sudut penyinaran 35° dan 225° memiliki kerapatan kelurusan yang sedikit sehingga menunjukkan klasifikasi rendah hingga sedang. Sedangkan pada arah sudut penyinaran 135° dan 315° memiliki densitas cukup tinggi dikarenakan memperlihatkan kerapatan kelurusan yang cukup dekat.

Berdasarkan hasil *fault fracture density* (FFD) masing-masing sudut penyinaran (azimuth), selanjutnya dilakukan proses *raster calculate* dengan memanfaatkan teknik *index overlay* pada seluruh hasil data FFD. *Overlay* dilakukan untuk memastikan tidak ada kelurusan yang tertutup oleh bayangan. Hasil FFD total dapat dilihat pada Gambar 9 a). Setelah itu di *overlay* dengan peta geologi lembar Samarinda untuk mencocokkan dengan struktur geologi.

Pada area penelitian yang telah ditandai rentang densitas 1000 m/km^2 hingga 2600 m/km^2 dengan kelurusan yang tidak terlalu

rapat. Pada beberapa titik memiliki kelurusan yang sangat rapat diindikasikan adanya struktur geologi. Kemunculan manifestasi air panas dipermukaan diinterpretasikan sebagai bagian dari pengaruh *fault fracture density* yang tinggi di sebelah Selatan area penelitian. Tingkat kerapatan *lineament* menunjukkan adanya struktur geologi. Hal tersebut dapat mewakili karakteristik topografi seperti kelurusan sungai, kelurusan lembah, struktur sesar dan rekahan, serta kontak batuan [14,15]. Densitas kelurusan tertinggi berada pada jalur sesar utama dan berdekatan dengan antiklinorium Kelurahan Dondang. Wilayah penelitian berada pada densitas kelurusan rendah hingga sedang karena tidak dilalui oleh jalur sesar utama dan tidak banyak terdapat struktur geologi. Sehingga dapat diinterpretasikan kemunculan manifestasi daerah penelitian berasosiasi dengan struktur geologi bawah permukaan berupa patahan bawah permukaan yang telah dibuktikan dengan hasil pemodelan anomali geomagnetik.



Gambar 10. a) Peta FFD *Multishade*; b) Peta FFD *Multishade* di *overlay* dengan peta geologi

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pemodelan geologi 2D pada kedalaman 0–200 meter mengindikasikan keberadaan struktur geologi berupa sesar turun di bawah zona manifestasi air dan lumpur panas. Litologi yang teridentifikasi seluruhnya merupakan batuan sedimen, terdiri dari tiga lapisan utama. Lapisan pertama dengan suseptibilitas 0,01257 SI diinterpretasikan sebagai aluvium yang didominasi oleh batu lempung dan batu pasir pada kedalaman 0–25 meter. Lapisan kedua memiliki suseptibilitas sebesar 2,18655 SI dan diinterpretasikan sebagai batu lempung yang tersusun pada kedalaman 0–125 meter. Adapun lapisan ketiga dengan suseptibilitas $0,10053 \times 10^3$ SI diinterpretasikan sebagai batu pasir kuarsa yang berada pada kedalaman 4–200 meter. Hasil analisis *Fault Fracture Density* (FFD) menunjukkan bahwa area manifestasi panas bumi di Permandian Mahkota Dondang memiliki tingkat densitas kelurusan struktur geologi yang tergolong rendah hingga sedang, dengan nilai berkisar antara 1000 hingga 2600 m/km². Sementara itu, zona FFD tinggi terletak tidak jauh dari lokasi manifestasi dan memiliki keterkaitan dengan struktur geologi regional. Temuan ini mengindikasikan bahwa kemunculan manifestasi di permukaan merupakan

akibat dari perambatan panas yang menjalar dari bawah permukaan melalui bidang lemah geologi, sebagaimana teridentifikasi dari pola kerapatan kelurusan struktur di sekitar area manifestasi.

5. Referensi

1. Sehad, S., Raharjo, S. A., & Priyadi, P. (2016). Transformasi pseudogravitasi data anomali magnetik untuk melokalisasi sumber rembesan minyak di daerah Cipari Kabupaten Cilacap. *Wahana Fisika*, 1(2), 99-110.
2. Supriatna, S., Sukardi, R., & Rustandi, E. (1995). *Peta geologi lembar Samarinda, Kalimantan*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
3. Putri, V. N. T. (2016). Parameter menggunakan metode spatial multi criteria analysis (SMCA) parameter menggunakan metode spatial multi criteria.
4. Sumotarto, U. (2015). *Eksplorasi panas bumi*. Yogyakarta: Ombak (Anggota IKAPI).
5. Suharno. (2013). *Eksplorasi geothermal*. Lampung: Lembaga Penelitian Universitas Lampung.
6. Lund, J. (2007). Development and utilization of geothermal resources.

- In Proceedings of ISES World Congress* (Vol. I–V, pp. 87–95). doi:10.1007/978-3-540-75997-3
7. Hinze, W., VonFrese, R., & Saad, A. (2013). *Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications*. New York: Cambridge University Press.
 8. Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*. New York: Cambridge University Press.
 9. Rafferty, J. P. (2012). *Geologi: Landforms, minerals, rocks* (1st ed.). New York: Britannica Educational Publishing.
 10. Febriani, R. (2023). Identifikasi patahan di daerah Bakauheni berdasarkan analisis fault fracture density dan pemodelan metode gayaberat. Universitas Lampung.
 11. Al Ghiffari, R. F. (2021). Identifikasi struktur bawah permukaan daerah Palu menggunakan metode first horizontal derivative (FHD) dan fault fracture density (FFD) dengan data gayaberat. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
 12. Hartini, T. (2024). Interpretasi gradient horizontal dan second derivative serta pemodelan 2,5D anomali geomagnetik di area hot spring Natar, Lampung.
 13. Hutaaruk, A. S. Y., Saputra, R. E., & Zawaki, Z. (2023). Identifikasi potensi jalur keluar geotermal dengan metode fault fracture density (FFD) dan gravitasi pada mata air panas daerah Samboja, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur.
 14. Wibowo, S. H. H., & Wibowo, H. H. (2010). Application of fault and fracture density (FFD) method for geothermal exploration in non-volcanic geothermal system: A case study in Sulawesi, Indonesia.
 15. Ardi, N. D., Iryanti, M., Asmoro, C. P., Nurhayati, N., & Agustine, E. (2018, April). Mapping landslide potential area using fault fracture density analysis on unmanned aerial vehicle (UAV) image. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 145, No. 1, p. 012010). IOP Publishing.