

PEMODELAN INVERSI ANOMALI MAGNETIK 3D DAERAH MATA AIR PANAS DIWAK DAN DEREKAN

Siti Zulaikhah¹⁾, Udi Harmoko¹⁾, Tony Yulianto¹⁾, Gatot Yulianto¹⁾, Sugeng Widada²⁾ dan Yusuf Dewantoro H³⁾

1) Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

2) Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang

3) Teknik Konservasi Energi, Politeknik Negeri Semarang, Semarang

E-mail: sitizulaikhah@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Research of magnetic methods that aim to interpretation the subsurface structure around the hot springs area Diwak and Derekan and to identification caused of hot springs Diwak and Derekan has been successfully carried out. In this research, measurements were taken at 97 points using a proton precession magnetometer (PPM) type of GSM model 19T geometrics and two Geotron Magnetometer G5 models to get the value of the total magnetic field. Measurement data is processed by the daily variation correction and correction IGRF (International Geomagnetic Reference Field) to get the value of the total magnetic field anomaly. Corrected data used to create contours of the total magnetic field anomaly. Contour total magnetic field anomaly is used for the reduction to plan surface process and upward continuation process. The results of the upward continuation get the contours of local anomaly and regional anomaly, the results of the local anomaly contour then reduced to the pole. Results of the research is a pair of positive and negative closure indicate a fault structure below the surface. There are two pairs of positive and negative closure which an incision is made to determine the subsurface structure by creating a 2D model using the software Mag2dc. 2D modeling results indicate the existence of a second incision fault structure in the form of down trending fault southwest-northeast. Meanwhile, to make 3D models using software Mag3D and 3D modeling results indicate the presence of fault structures below the surface. Fault zone results of 2D and 3D modeling is a media outlet fluid to the surface in the form of hot springs Diwak and Derekan.

Keywords : *Anomaly total magnetic field, geothermal, fault, 2D, 3D.*

ABSTRAK

Penelitian dengan metode magnetik yang bertujuan untuk menginterpretasikan struktur bawah permukaan di sekitar area mata air panas Diwak-Derekan dan untuk mengidentifikasi struktur yang menyebabkan munculnya mata air panas Diwak-Derekan telah berhasil dilakukan. Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan pada 97 titik menggunakan satu buah *Proton Precession Magnetometer* (PPM) tipe *geometrics* model GSM 19T dan dua buah *Geotron Magnetometer* model G5 untuk mendapatkan nilai medan magnet total. Data hasil pengukuran diolah dengan melakukan koreksi variasi harian dan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet total. Data yang telah dikoreksi digunakan untuk membuat kontur anomali medan magnet total. Kontur anomali medan magnet total digunakan untuk proses reduksi bidang datar dan proses kontinuitas ke atas. Hasil proses kontinuitas keatas mendapatkan kontur anomali lokal dan anomali regional, hasil kontur anomali lokal kemudian direduksi ke kutub. Hasil dari penelitian berupa pasangan klosur positif dan negatif yang mengindikasikan adanya struktur sesar dibawah permukaan. Terdapat dua pasangan klosur positif dan negatif yang dibuat sayatan untuk mengetahui struktur bawah permukaan dengan membuat model 2D menggunakan perangkat lunak *Mag2dc*. Hasil pemodelan 2D kedua sayatan tersebut menunjukkan adanya struktur sesar berupa sesar turun yang berarah baratdaya-timurlaut. Sedangkan untuk membuat model 3D menggunakan perangkat lunak *Mag3D* dan hasil pemodelan 3D menunjukkan adanya struktur sesar dibawah permukaan. Zona sesar hasil pemodelan 2D dan 3D merupakan media jalan keluar fluida ke permukaan berupa mata air panas Diwak-Derekan.

Kata kunci : *anomali medan magnet, panas bumi, sesar, 2D, 3D.*

PENDAHULUAN

Terdapat deretan gunung api yang menarik yaitu deretan Ungaran-Telomoyo-Merbabu-Merapi di Jawa Tengah. Gunung api Ungaran menyimpan potensi di bidang panas bumi. Sistem panas bumi Ungaran berasosiasi dengan volkanisme kuartar dari gunungapi Ungaran. Hal ini memunculkan manifestasi di permukaan dengan adanya fumarol, air panas dan batuan teralterasi. Daerah prospek fumarol hanya terdapat di Gedongsongo, sedangkan manifestasi air panas muncul di daerah Banaran, Nglimut, Diwak, dan Kali Ulo [1]. Untuk batuan ubahan (teralterasi) terdapat di sekitar daerah Gedongsongo dan Kendalisodo [2].

Penelitian dengan metode geomagnet di daerah mata air panas Diwak dan Derekan telah dilakukan dimana hasil dari kontur anomali dan pemodelan menunjukkan adanya sesar dengan arah barat daya-timur laut. Zona sesar tersebut merupakan media jalan keluarnya fluida panas bumi ke permukaan dan *heat source* nya diperkirakan berasal dari tubuh intrusi yang berasosiasi dengan kubah lava andesitik yang berada di barat daya daerah penelitian [3].

Akan dilakukan penelitian kembali menggunakan metode geomagnet di daerah mata air panas Diwak dan Derekan dengan melengkapi distribusi titik pengukuran agar lebih rapat dari penelitian sebelumnya dan dilakukan sayatan pada area mata air panas untuk memperjelas arah dan jalur sesar yang mempengaruhi munculnya mata air panas Diwak dan Derekan.

Metode geomagnet merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi bawah permukaan. Dengan mengetahui struktur geologi bawah permukaan akan sangat membantu dalam penafsiran struktur dasar dan patahan yang mungkin dijadikan jalur keluar fluida-fluida panas bumi [4]. Pemodelan inversi 3D adalah salah satu teknik pemodelan yang parameter modelnya diperoleh dari data pengamatan. Pemodelan inversi 3D dari

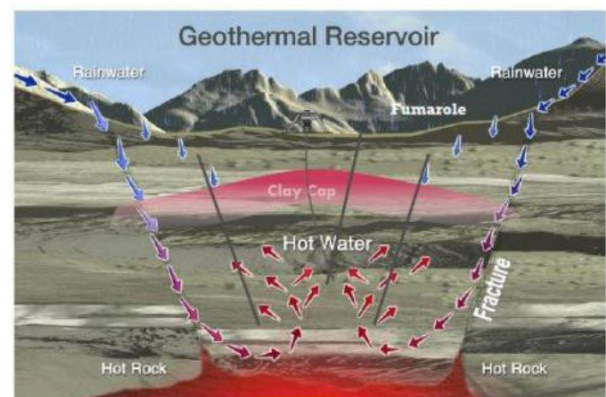
anomali magnet di daerah panas bumi dapat menunjukkan gambaran lebih jelas mengenai struktur geologi bawah permukaan yang mengontrol sistem panas bumi [5].

DASAR TEORI

Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi terdiri dari empat elemen yaitu sumber panas (*heat source*), reservoir, batuan penutup (*cap rock*) dan fluida panas. Sistem panas bumi terbentuk sebagai hasil dari perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi (melalui batuan) dan secara konveksi (karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas) [6].

Sistem panas bumi merupakan



Gambar 2.1 Model Konseptual Sistem Panasbumi [7].

perpindahan panas secara alami dalam volume tertentu di kerak bumi, panas yang dipindahkan yaitu dari sumber panas ke zona pelepasan panas. Sistem panas bumi merupakan daur hidrologi yang dalam perjalanannya air berhubungan langsung dengan sumber panas yang bertemperatur tinggi sehingga terbentuk air panas atau uap panas yang terperangkap pada suatu reservoir berupa batuan porous dengan permeabilitas tinggi [8].

Interaksi antara fluida panas yang tersimpan di reservoir dengan batuan di atasnya (sekitarnya) menghasilkan batuan penutup (*cap rock*) yang bersifat kedap air (*impermeable*) atau permeabilitas rendah (*low*

permeability). Batuan penudung inilah yang menyebabkan pergerakan fluida panas yang terdapat di lapisan reservoir tertahan untuk sampai ke permukaan sehingga mencegah panas dari fluida reservoir hilang secara konveksi namun tidak dapat mencegah kehilangan panas secara konduksi.

Batuan reservoir merupakan batuan dengan porositas besar di bawah permukaan yang mampu menyimpan fluida panas. Sumber panas (*heat source*) merupakan komponen utama dalam suatu sistem geotermal. Fluida geotermal merupakan medium pentransfer panas dari reservoir ke permukaan. Fluida panas di kedalaman secara konveksi dan konduksi teralirkan naik ke permukaan melalui rekahan batuan dan zona patahan muncul sebagai mata air panas.

Metode Geomagnet

Metode geomagnet didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnet di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi (suseptibilitas). Variasi yang terukur (anomali) berada dalam latar belakang medan yang relatif besar. Metode geomagnet merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi minyak bumi, panas bumi, batuan mineral, maupun untuk keperluan pemantauan (monitoring) gunungapi.

Dalam aplikasi panas bumi tujuan utama dari studi magnetik adalah untuk memberikan kontribusi dengan informasi tentang hubungan antara aktivitas panas bumi, tektonik dan stratigrafi dari daerah dengan sarana interpretasi anomali sifat magnetik batuan bawah permukaan. Sebagian besar batu tidak memiliki sifat magnetik, namun beberapa jenis batuan mengandung mineral yang cukup untuk memberikan informasi tentang anomali magnetik yang signifikan. Interpretasi data yang mencerminkan perbedaan lokal kelimpahan magnetisasi ini sangat berguna untuk menemukan kesalahan dan kontak geologi [9]. Anomali magnetik dapat berasal

dari serangkaian perubahan litologi, variasi dalam tubuh magnet tebal, patahan, lipatan dan bantuan topografi. Sebuah jumlah yang signifikan Informasi dapat meninggalkan revisi kualitatif peta anomali magnetik sisa dari total medan magnet.

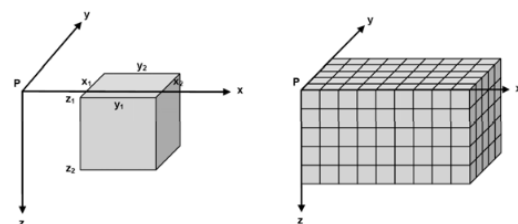
Pemodelan Inversi Magnetik 3D

Pemodelan inversi pada data magnetik dimana model bawah permukaan didiskretisasi menjadi susunan prisma tegak atau kubus dalam ruang 3D. Geometri model tetap sehingga parameter model adalah intensitas magnetisasi yang homogen untuk tiap kubus (Gambar 2.7). Hubungan linier antara data d ($d_i, i = 1, 2, \dots, N$) dengan parameter model atau intensitas magnetisasi m ($m_k, k = 1, 2, \dots, M$) dinyatakan oleh :

$$d = \underline{G} m \quad (2.1)$$

dimana \underline{G} adalah matriks kernel ($N \times M$) yang memetakan sumber anomali menjadi data observasi, dengan N adalah jumlah data dan M adalah jumlah parameter model. Komponen matriks kernel $\underline{G} = [G_{ik}]$ menyatakan kontribusi kubus ke- k dengan intensitas magnetisasi satuan pada anomali magnetik di titik ke i . Perhitungan komponen matriks kernel tersebut mengikuti perumusan, algoritma perhitungan dan program komputer [10].

Titik pengamatan terletak hanya di permukaan bumi pada bidang x - y dengan jumlah data N . Sementara jumlah parameter model adalah $M = n_x \times n_y \times n_z$, dimana n_x, n_y dan n_z masing-masing adalah jumlah kubus hasil diskretisasi dalam arah x, y dan z . Pada kasus seperti ini jumlah parameter model M jauh lebih besar dari pada jumlah data N .

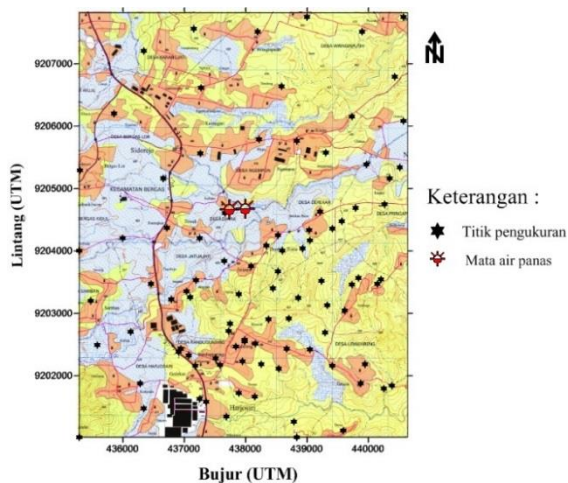


Gambar 2.2 Geometri model satuan 3D berbentuk prisma tegak atau kubus untuk

perhitungan respon magnetik di titik P, posisi sisi-sisi kubus sesuai sumbu x, y dan z yaitu $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ (kiri) dan diskretisasi medium 3D menjadi susunan kubus dengan geometri homogen (kanan) [10].

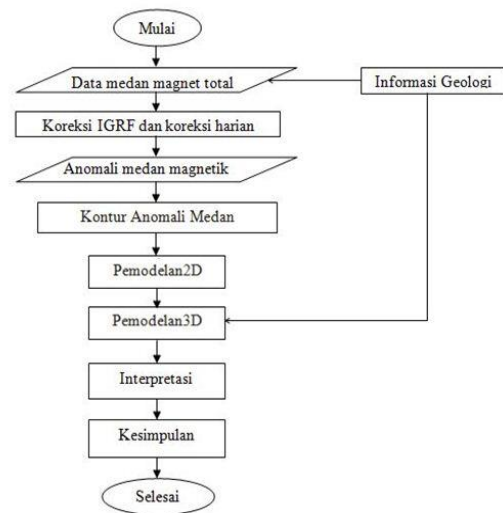
METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, alat yang digunakan adalah PPM (*Proton Precision Magnetometer*) geometrics GSM 19T, Geotron Magnetometer Model G5, GPS, kompas geologi, peta topografi dan peta RBI, dan log data penelitian. Pengambilan data dilakukan di daerah mata air panas Diwak dan Derekan, desain survei titik pengukuran pada daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Titik Pengukuran pada Peta Rupa Bumi Indonesia Lembar Ungaran [11].

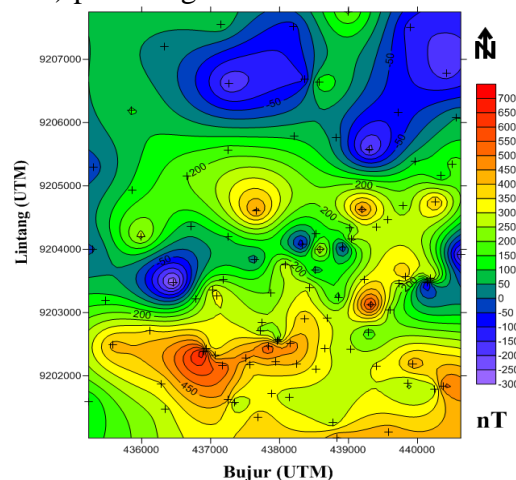
Target dari survei geomagnet adalah variasi medan magnet yang terukur di permukaan. Variasi medan magnet dihasilkan oleh benda magnetik yang telah terinduksi oleh medan magnet utama bumi, sehingga benda tersebut memiliki medan magnet sendiri dan ikut mempengaruhi besar medan total hasil pengukuran.



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

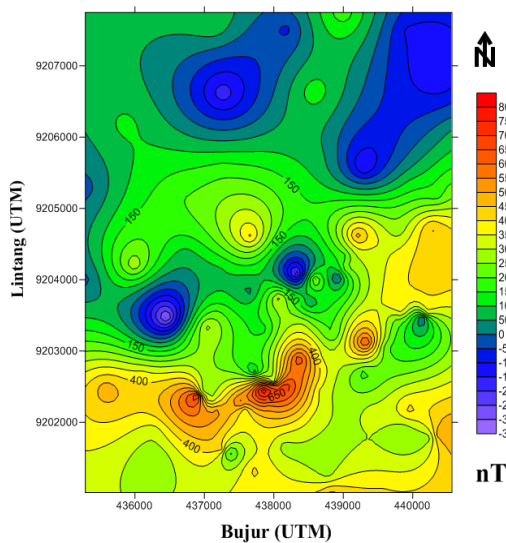
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari nilai medan magnet total yang telah di koreksi harian dan koreksi IGRF di dapatkan nilai anomali medan magnet yang kemudian dibuat kontur. Pola pada kontur anomali medan magnet total tersebut terdiri dari pasangan klosur positif dan klosur negatif yang menunjukkan bahwa anomali medan magnet adalah *dipole* (dwi kutub), yaitu adanya pengaruh dua kutub berpasangan (utara dan selatan) pada magnet.



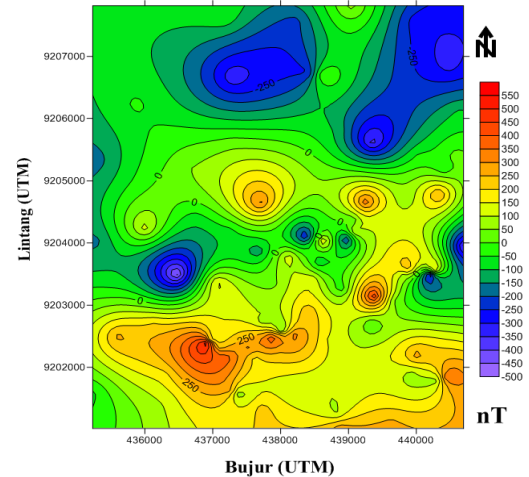
Gambar 4.1 Anomali medan magnet total Daerah Diwak-Derekan

Data anomaly medan magnet masih berada pada topografi yang tidak rata, sehingga data anomali tersebut perlu di reduksi ke bidang datar dengan topografi yang sama. Metode yang digunakan untuk reduksi ke bidang datar adalah sumber ekuivalen. Reduksi ini dilakukan dengan menggunakan program *Matlab 7.0* pada ketinggian rata-rata topografi 600 m pada bidang horizontal yang ditunjukkan pada gambar 4.2

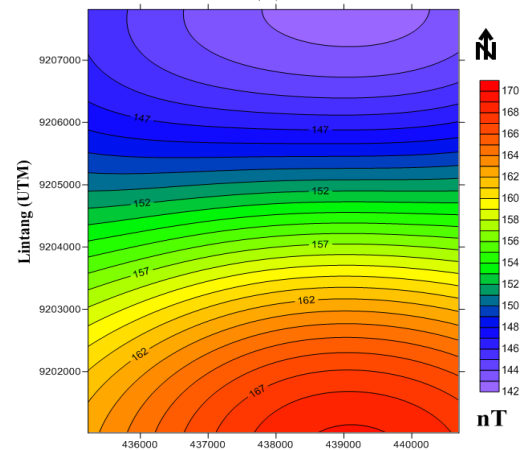


Gambar 4.2 Peta kontur anomali medan magnet pada bidang datar

Untuk memudahkan interpretasi data dilakukan proses kontinuasi ke atas serta reduksi ke kutub terhadap data anomali medan magnet total. Kontinuasi ke atas dilakukan terhadap data anomali medan magnet total yang telah direduksi ke bidang datar. Kontinuasi keatas adalah langkah mengubah data medan potensial yang terukur pada level permukaan menjadi data yang seolah-olah diukur pada level permukaan yang lebih atas. Tujuan dari kontinuasi ke atas diharapkan dapat membantu untuk memisahkan anomali lokal dan anomali regionalnya. Data pengamatan pada penelitian ini diperhalus dengan pengangkatan ke atas setinggi 5000 meter yang ditunjukkan pada gambar 4.3.



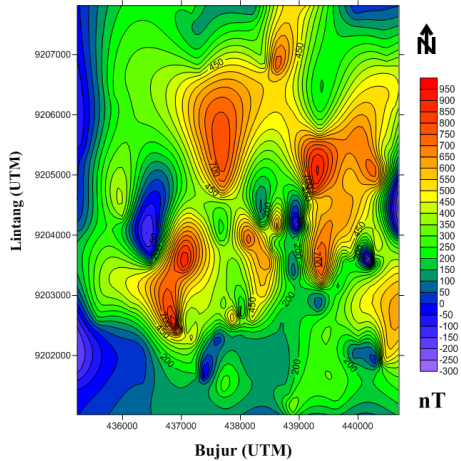
(a)



(b)

Gambar 4.3 Peta (a) anomali lokal dan (b) anomali regional setelah dilakukan kontinuasi ke atas.

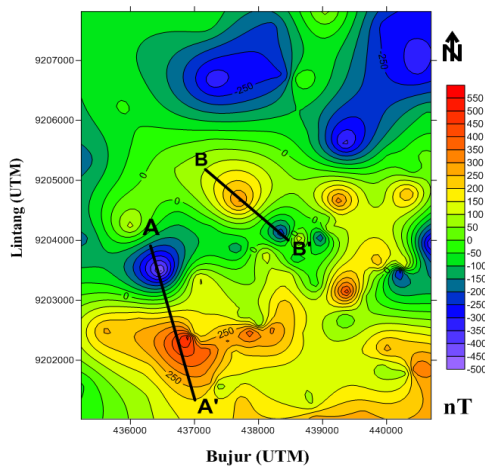
Data anomali medan magnet total hasil kontinuasi ke atas kemudian di reduksi ke kutub. Reduksi ke kutub merupakan filter pengolahan data magnetik untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik. Proses ini dilakukan dengan membuat sudut inklinasi benda menjadi 90° dan deklinasinya 0° menggunakan perangkat lunak *magpick*. Hasil reduksi ke kutub menunjukkan anomali residual menjadi satu satu kutub (monopol), sehingga dapat menggambarkan pola sumber anomali magnetik. Hal ini dapat memudahkan dalam melakukan interpretasi secara kualitatif. Hasil reduksi ke kutub ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Peta kontur anomali medan magnet setelah direduksi ke kutub

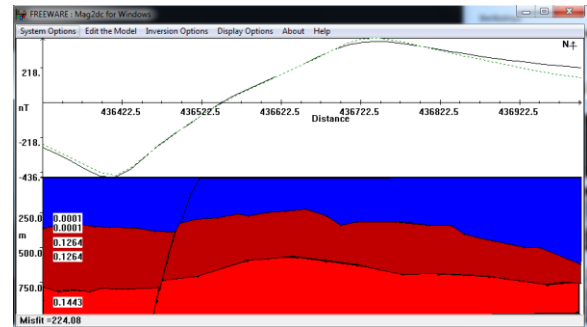
Pemodelan 2D

Sebelum membuat model struktur bawah permukaan terlebih dahulu dibuat sayatan pada klosur yang berpasangan diatas peta kontur anomali lokal yang ditunjukkan pada gambar 4.5. Terdapat dua buah sayatan yaitu A-A' dan B-B'. Pemodelan dengan sayatan diharapkan dapat memperjelas struktur bawah permukaan daerah penelitian berupa adanya sesar maupun sistem panas bumi yang diduga sebagai penyebab anomali. Dalam pembuatan pemodelan ini, disesuaikan dengan informasi geologi maupun kenampakan permukaan di daerah penelitian



Gambar 4.5 Sayatan pada kontur anomali medan magnet lokal

Pemodelan yang pertama adalah hasil sayatan A-A' yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Sayatan ini ditarik dari barat laut menuju ke tenggara (terlihat pada gambar 4.5), dengan sisi utara di bagian kiri dan sisi selatan di bagian kanan gambar (gambar 4.6).



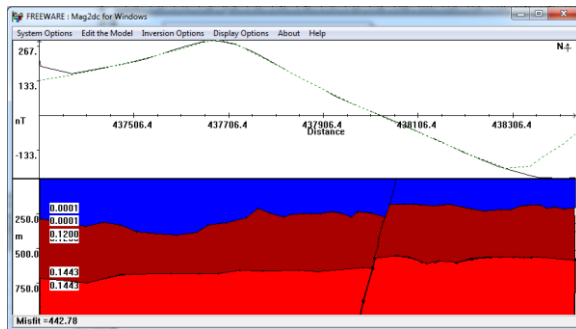
Gambar 4.6 Hasil Pemodelan Sayatan A-A'

Pada lapisan pertama dalam pemodelan ini merupakan batuan Gunungapi Gajahmungkur yang berupa batuan pasir tufan dan breksi lapisan atas. Lapisan ini berada hingga kedalaman 550 meter dengan nilai suseptibilitas 0,0001 (satuan SI). Kemudian lapisan batuan yang kedua merupakan batuan breksi dengan aliran lava dari gunung api Gajahmungkur dengan nilai suseptibilitas 0,1264 (satuan SI). Lapisan ini berada pada kedalaman 250 hingga 750 meter. Lapisan yang ketiga terdiri dari batuan breksi vulkanik dari Formasi Kaligetas dengan suseptibilitas sebesar 0,1443 (satuan SI). Lapisan ketiga ini berada pada kedalaman 700 hingga 1000 meter.

Berdasarkan hasil pemodelan sayatan A-A' menunjukkan adanya sesar di wilayah Diwak-Derekan. Perkiraan sesar tersebut merupakan sesar turun, dengan bagian turun di sebelah utara dan bagian naik di sebelah selatan. Hal tersebut diperkuat dengan kenampakan di daerah penelitian berupa sungai (Kali Santritlung).

Pemodelan yang kedua adalah hasil sayatan B-B' yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Sayatan kedua ini ditarik dari barat laut menuju ke tenggara (terlihat pada gambar 4.4), dengan sisi utara di bagian kiri dan sisi selatan

di bagian kanan gambar (gambar 4.6).



Gambar 4.7 Hasil Pemodelan Sayatan B-B'

Dari hasil pemodelan tersebut, terlihat adanya 3 lapisan batuan. Lapisan pertama merupakan batuan Gunungapi Gajahmungkur yang berupa batuan pasir tufan dan breksi lapisan atas. Lapisan ini berada hingga kedalaman 350 meter dengan nilai suseptibilitas 0,0001 (satuan SI). Selanjutnya lapisan batuan yang kedua terdiri dari batuan breksi dengan aliran lava dari gunung api Gajahmungkur yang mempunyai nilai suseptibilitas 0,1264 (satuan SI). Lapisan ini berada pada kedalaman 250 hingga 750 meter. Kemudian lapisan yang ketiga terdiri dari batuan breksi vulkanik dari Formasi Kaligetas dengan suseptibilitas sebesar 0,1443 (satuan SI). Lapisan ketiga ini berada pada kedalaman 700 hingga 1000 meter.

Hasil pemodelan sayatan B-B' dapat terlihat adanya sesar dan merupakan sesar turun, dengan bagian turun di sebelah utara dan bagian naik di sebelah selatan. Hal tersebut diperkuat dengan kenampakan di daerah penelitian berupa sungai (Kali Klampok) yang berada di area mata air panas Diwak-Derekan.

Berdasarkan pemodelan kedua sayatan A-A' dan B-B' menunjukkan adanya sesar di wilayah Diwak dan Derekan dimana sesar tersebut merupakan sesar turun di sepanjang Kali Santritung hingga Kali Klampok dengan arah barat daya ke timur laut. Karena merupakan sesar turun maka zona sesar ini kemudian menjadi zona lemah yang mudah untuk diterobos oleh fluida panas bumi ke permukaan sehingga dipermukaan ditemukan

mata air panas Diwak dan Derekan.

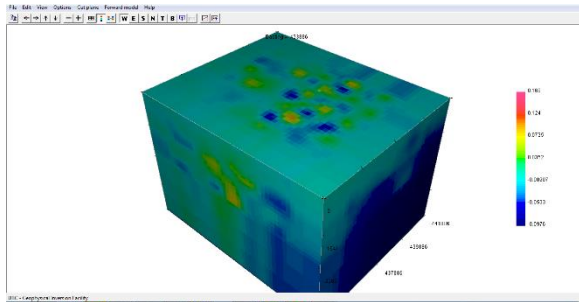
Di sebelah baratdaya sayatan A-A' (gambar 4.8) terdapat batuan andesit (Tma) yang diduga sebagai *heat source* dari mata air panas Diwak dan Derekan, batu andesit tersebut merupakan batuan beku intrusif dimana intrusi terjadi ketika magma yang mempunyai sifat volatil (sehingga massa jenis kecil) terdorong ke atas sehingga menerobos batuan disekitarnya karena menemukan ruang berupa sesar ataupun bidang lemah lainnya pada batuan. Pada intrusi sering dijumpai fragmen batuan yang masuk ke dalam batuan lain. Pendugaan tersebut diperkuat dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan *heat source* Diwak dan Derekan diperkirakan berasal dari tubuh intrusi yang berasosiasi dengan kubah lava andesitik. Intrusi ini merupakan batuan andesit (Tma) yang berada di sebelah barat daya dari daerah penelitian [3]. Pada sistem panas bumi daerah Maritaing sumber panas juga diperkirakan berasosiasi dengan sisa panas batuan magmatik muda yang terbentuk bersamaan dengan retas andesit Karimetan^[12].

Pemodelan 3D

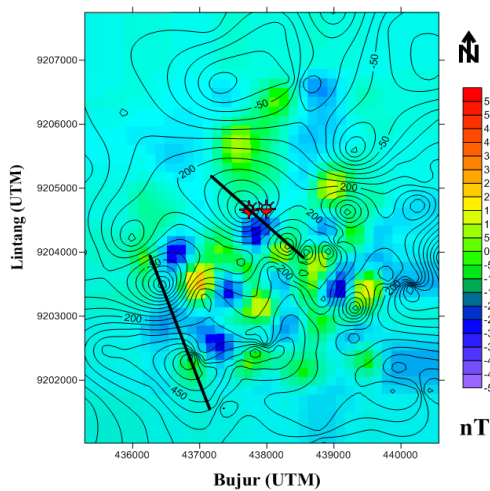
Pemodelan 3D merupakan metoda inversi yang digunakan untuk memperkirakan model respon magnetik yang paling cocok dengan data observasi. Untuk mencocokkan data tersebut dapat dinyatakan dengan fungsi objektif yang merupakan fungsi dari selisih antara teoritis dengan data observasi. Setiap anomali magnetik yang diamati diatas permukaan dapat dievaluasi dengan menghitung proyeksi anomali medan magnet dari arah yang ditentukan. Sumber pada lokasi yang diteliti, di set kedalaman sebuah cell ortogonal berupa mesh 3D [13]. Mesh 3D diasumsikan mempunyai suseptibilitas di dalam masing-masing cell dan magnetik remanen diabaikan.

Model 3D data anomali medan magnet ditunjukkan pada gambar 4.9 dalam bentuk berupa sebuah balok dengan koordinat X, Y dan Z. Sumbu X merupakan bujur (UTM) dibagian

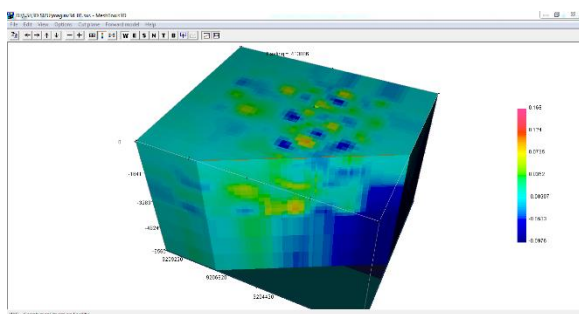
selatan, sumbu Y merupakan lintang (UTM) dibagian barat, dan sumbu Z merupakan lapisan dibawah permukaan bumi atau kedalaman (meter). Nilai *colour scale* pada model 3D menggambarkan nilai suseptibilitas batuan pada daerah penelitian.



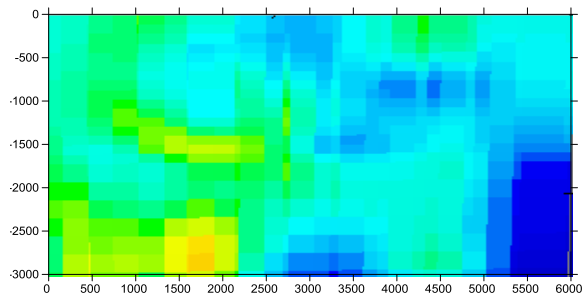
Gambar 4.9 Model 3D data anomali medan magnet Diwak dan Derekan dengan software Mag3D



Gambar 4.10 Overlay penampang model 3D dengan peta kontur anomali medan magnet

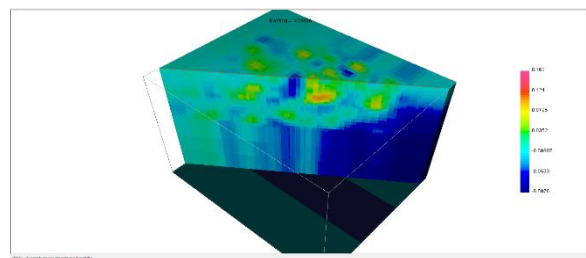


Gambar 4.11 Struktur bawah permukaan daerah sayatan A-A'

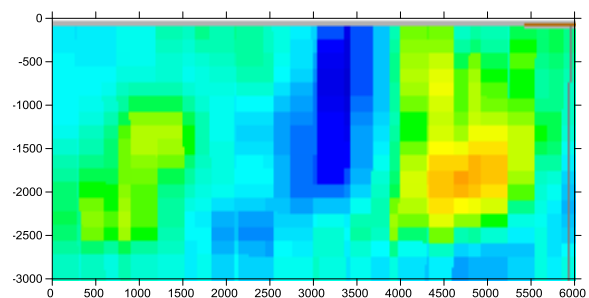


Gambar 4.12 Hasil sayatan A-A'

Dari gambar 4.12 merupakan struktur bawah permukaan sayatan A-A' secara 3D. Terlihat bahwa dahulunya terdapat formasi batuan yang menyatu, karena ada gaya yang berlawanan menyebabkan adanya ruang yang merekah dan turun maka fluida panas akan mudah keluar melalui rekahan menuju permukaan berupa manifestasi mata air panas. Rekahan tersebut merupakan struktur geologi berupa sesar. Namun berdasarkan kondisi di lapangan, manifestasi hanya berupa gelembung-gelembung kecil karena di lokasi penelitian terdapat sungai sehingga mata air panas lebih di dominasi oleh air. Hal tersebut sesuai dengan hasil pemodelan 2D sayatan A-A' bahwa terdapat stuktur sesar dimana sesar tersebut merupakan sesar turun.



Gambar 4.13 Struktur bawah permukaan daerah sayatan B-B'



Gambar 4.14 Hasil sayatan B-B'

Dari gambar 4.14 merupakan struktur bawah permukaan sayatan B-B' secara 3D. Seperti pada sayatan A-A', struktur bawah permukaan sayatan B-B' terlihat bahwa dahulunya terdapat formasi batuan yang menyatu, karena ada gaya yang berlawanan menyebabkan adanya ruang yang merekah dan turun maka fluida panas akan mudah keluar melalui rekahan menuju permukaan berupa manifestasi mata air panas Diwak dan Derekan. Rekahan tersebut merupakan struktur geologi berupa sesar. Hal tersebut sesuai dengan hasil pemodelan 2D sayatan B-B' bahwa terdapat stuktur sesar dimana sesar tersebut merupakan sesar turun. Struktur sesar pada hasil sayatan A-A' dan B-B' merupakan jalur keluarnya fluida panas ke permukaan berupa manifestasi mata air panas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data hingga pemodelan dapat diperoleh kesimpulan :

1. Berdasarkan pemodelan 2D dan 3D data anomali medan magnet total, di daerah mata air panas Diwak dan Derekan terdapat struktur geologi berupa sesar dibawah permukaan. Sesar tersebut berarah baratdaya-timurlaut. Struktur bawah permukaan tersusun oleh 2 formasi batuan yaitu formasi batuan gunung api gajah mungkur dan formasi kaligetas.
2. Munculnya mata air panas Diwak dan Derekan disebabkan oleh adanya struktur geologi bawah permukaan berupa sesar turun yang merupakan jalur keluarnya fluida panas ke permukaan pada sistem panas bumi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Boko N. S., Wahyudi, Imam S., 2004, *Analisis Data Magnetik Untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Air Panas di Lereng Utara Gunungapi Ungaran*, Prosiding Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, Yogyakarta.
- [2]. Wahyudi, 2006, *Kajian Potensi Panas Bumi dan Rekomendasi Pemanfaatannya pada Daerah Prospek Gunungapi Ungaran Jawa Tengah, Berkala MIPA UGM*, No. 1, Vol 16, hal. 44-45.
- [3]. Nuha A. M. U., Yulianto, T. dan Harmoko, U., 2014, *Interpretasi Bawah Permukaan Sumber Air Panas Diwak-Derekan Berdasarkan Data Magnetik, Youngster Physics Journal*, Vol. 2, No. 3, hal. 129-134.
- [4]. Fanani, M. I., 2014, *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Pans Bumi berdasarkan Data Geomagnetik (Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep)*, Skripsi, Jurusan Fisika FST, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- [5]. Zarkasyi, A., Edi, S., 2013, *Pemodelan Inversi 3D Gaya Berat dan Magnet pada Sistem Panas Bumi Daerah Jaboi Pulau Weh Provinsi Aceh*, Buletin Sumber Daya Geologi, No. 1, Vol 8, hal. 26-32.
- [6]. Hermawan, D., Widodo, S. dan Mulyadi, E., 2012, *Sistem Panasbumi Daerah Candi Umbul-Telomoyo Berdasarkan Kajian Geologi dan Geokimia*, Buletin Sumber Daya, Vol. 7, No. 1, hal. 1-6.
- [7]. Daud, Y., 2010, *Introduction to Gheothermal System and Technology*, Laboratorium Geofisika FMIPA, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [8]. Hochstein, M.P. dan Browne, P.R.L., 2000, *Surface Manifestation of Geothermal System with Volcanic Heat Source In Encyclopedia of Volcanoes*, H. Sigurdson, B.F. Houghton, S.R. Mc Nutt, H. Rymer dan J. Stix (eds.), Academic Press.
- [9]. Blakely, R. J., 1995, *Potensial Theory in Gravity and Magnetic Application*, Cambridge University Press, USA.

- [10]. Grandis, H., 2009, *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, HAGI (Himpunan Ahli Geofisika Indonesia), Bandung.
- [11]. BAKOSURTANAL, 1998, *Peta Rupa Bumi Digital Indonesia 1 : 25.000 Lembar 1408-542 Ungaran*, Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional, Bogor.
- [12]. Setiawan, Dede Lim., Andri, E. A. W., Dudi, H., 2015, *Geologi dan Geokimia Panas Bumi Daerah Maritaing Kabupaten Alor Provinsi Nusa Tenggara Timur*, Pusat Sumber Daya Geologi.
- [13]. Li, Y. and Oldenburg, D. W., 1996, *3D Inversion of Magnetic Data*, *Geophysics*, 61, 394-408.