

INTERPRETASI GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN DAERAH POTENSI MATA AIR PANAS KALIULO KABUPATEN SEMARANG BERDASARKAN DATA GEOMAGNET MENGGUNAKAN MODEL 2-D & 3-D

Diny Agustina Rahayu¹⁾, Udi Harmoko¹⁾, Tony 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⁾Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Semarang, Semarang

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

ABSTRACT

The geothermal hot springs has been discovered in the Kaliulo area, Pringapus district of Semarang Regency. The research was conducted by 2-D and 3-D model geomagnetic for find the geological subsurface structure. Observation data such as magnetic field of 61 point used one set of PPM (Proton Precision Magnetometer) GSM geometrics 19 T and two units Geotron Magnetometer Model Unit G5. Data analysis of geomagnet was undertaken by diurnal correction and IGRF (International Geomagnetic Reference Field) correction to obtain the total of magnetic field anomalies. The total magnetic field anomaly data were utilized to create anomaly contour. That anomaly is used for doing reduction to plansurface process, upward continuation that produce anomalies local and regional, and reduction to pole. Modeling was done on the local magnetic anomalies to review subsurface using Mag2DC and UBC Mag3D. The results showed the + (positive) closure and – (negative) closure that can indicate anomalies object in other word to be weak zone or geological structure of fault is available, so that the slicing is made on that closure. Based on the model 2-D normal fault structure the northwest-southeast trending and northeast-southwest, this interpreting so that normal faults which controlled source hot springs Diwak to Kaliulo.

Keywords : *hot spring, fault, 3D, geomagnetic, susceptibility*

INTISARI

Mata air panas ditemukan di daerah Kaliulo, Pringapus Kabupaten Semarang. Telah dilakukan penelitian di daerah tersebut dengan metode geomagnet untuk menginterpretasikan geologi bawah permukaan daerah manifestasi menggunakan model 3D. Dalam penelitian ini didapatkan data hasil observasi berupa data medan magnet total dari 61 titik menggunakan satu set PPM (*Proton Precision Magnetometer*) geometrics GSM 19T dan dua unit Geotron Magnetometer Model G5. Pengolahan data geomagnet dilakukan dengan koreksi harian dan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) untuk mendapatkan anomali medan magnet total. Data anomali medan magnet total digunakan untuk membuat kontur anomali. Kontur anomali digunakan untuk melakukan reduksi bidang datar, dan kontinuasi keatas (*upward continuation*) yang menghasilkan anomali regional dan lokal. Pemodelan dilakukan pada anomali magnetik lokal dengan *Mag2DC* dan *UBC Mag3D*. Hasil penelitian menunjukkan adanya klosur + (positif) dan – (negatif) yang mengindikasikan benda anomali yang bisa dikatakan adanya zona lemah atau terdapat struktur geologi berupa sesar, sehingga sayatan dilakukan pada klosur tersebut. Pendugaan diperkuat dengan hasil pemodelan yang menunjukkan adanya struktur sesar normal yang berarah barat laut - tenggara dan sesar normal yang mengarah barat daya - timur laut, sehingga sesar normal ini diduga kuat merupakan zona lemah yang menghubungkan sumber mata air panas Diwak dengan Kaliulo.

Kata kunci : *mata air panas, sesar, 3D, geomagnet, suseptibilitas*

PENDAHULUAN

Deretan gunung api yang tersebar di seluruh pulau di Indonesia menjadikan potensi panas bumi di Indonesia sangatlah besar. Di Jawa Tengah terdapat deretan gunung api yaitu Merapi-Merbau Telomoyo-Ungaran. Daerah potensi panas bumi gunung Ungaran terletak sekitar 30 km sebelah barat daya dari ibu kota Semarang^[1]. Tanda lain gunung Ungaran sebagai suatu sistem panas bumi dengan adanya manifestasi seperti mata air panas, fumarole, tanah panas, endapan travertine, dan batuan alterasi. Terdapat beberapa manifestasi mata air panas yang tersebar dalam beberapa kelompok yaitu di daerah Gedongsongo, Nglimut, Karangjoho, Diwak, Kaliulo dan Jatikurung. Daerah sistem panas bumi utama ini terletak di lereng barat laut, barat daya, dan tenggara^[2].

Munculnya kelompok mata air panas di sekitar daerah Karangjoho dan Kaliulo akibat kontrol oleh struktur berarah timur laut – barat daya dan dibatasi oleh struktur utama berarah utara - selatan yang memanjang hingga mengarah ke utara membatasi kompleks vulkanik di bagian timur^[3]. Metode magnetik merupakan metode geofisika yang digunakan untuk mengetahui sifat-sifat fisik batuan di bawah permukaan bumi. Metode ini juga salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk survey pendahuluan dalam eksplorasi panasbumi, gas dan penyelidikan batuan mineral. Selain itu, Kauffman dan Keller menjelaskan bahwa dalam eksplorasi panasbumi metode magnetik mampu mengidentifikasi batuan yang mengalami demagnetisasi yang diakibatkan adanya perubahan temperature dan derajat keasaman dalam sistem panas bumi. Metode ini dapat pula menunjukkan keberadaan struktur geologi seperti sesar^[4].

Nilai kemagnetan batuan yang rendah yang berada di suatu sistem panas bumi dibandingkan dengan batuan disekelilingnya menjadi dasar penggunaan metode magnetik untuk eksplorasi. Dengan adanya beda

temperatur dan rambatan air dibawah permukaan sangat mungkin berhubungan dengan adanya zona-zona patahan dan retakan dalam suatu sistem panas bumi

DASAR TEORI

Suseptibilitas Magnetik

Kemudahan suatu benda untuk dapat dimagnetisasi ditentukan oleh suseptibilitas kemagnetan yang dinyatakan dalam persamaan (1)

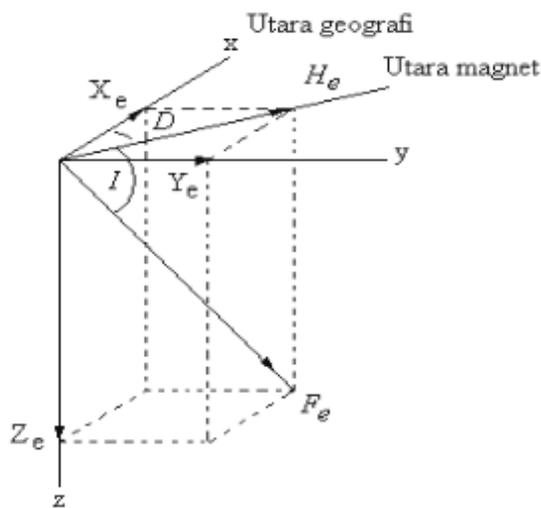
$$\vec{M} = \kappa \vec{H} \quad (1)$$

Dengan \vec{M} adalah intensitas magnetisasi dan κ suseptibilitas magnetik (SI)^[5]. Besaran suseptibilitas adalah parameter dasar yang dipergunakan dalam prospek magnetik, dimana semakin besar suseptibilitas batuan maka semakin banyak dijumpai mineral yang bersifat magnetik. Sifat kemagnetan batuan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama yaitu diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik. Material diamagnetik memiliki suseptibilitas rendah dan negatif serta memiliki magnetisasi yang berlawanan dengan medan yang diberikan. Material paramagnetik memiliki suseptibilitas rendah dan positif. Sifat ferromagnetik dikarakterisasi dengan sifat kemagnetan kuat, memiliki suseptibilitas tinggi, dan positif^[6].

Medan Magnet Bumi

Secara umum medan magnet diartikan sebagai daerah di sekitar magnet yang masih dipengaruhi oleh gaya magnet. Medan geomagnetik di sekitar permukaan bumi sebagian besar berasal dari dalam dan sekitar inti bumi. Sumber internal ini sering disebut medan magnet utama bumi. Di setiap lokasi di permukaan bumi memiliki nilai anomali medan magnet total yang tidak sama. Secara umum sumber medan magnet di bumi terbagi menjadi tiga, yaitu medan magnet utama bumi (*main field*), medan luar (*external field*), dan

medan anomali (*anomaly field*)^[7] ..



Gambar 1 Unsur-unsur medan magnet bumi^[17]

Medan magnet bumi dinyatakan dalam besar dan arah (vektor), arahnya dinyatakan dengan deklinasi (sudut penyimpangan terhadap arah utara - selatan (geografis) dan inklinasi (sudut penyimpangan terhadap arah horisontal). Magnitudo F_e , sudut inklinasi I dan sudut deklinasi D diartikan sebagai medan magnet utama. Dalam eksplorasi geofisika selain sudut deklinasi dan inklinasi medan magnet utama juga dapat dinyatakan dalam komponen vertikal Z_e yang akan bernilai positif jika arahnya kebawah dan komponen horisontal H_e yang harganya selalu bernilai positif. Komponen H_e memiliki dua komponen untuk menyatakan arah utara X_e dan untuk arah timur Y_e .

Sumber medan magnet utama bumi sebagian besar berasal dari sumber dalam dan sebagian kecil berasal dari luar bumi. Medan magnet dari dalam bumi diduga berasal dari adanya aliran arus pada bagian inti luar bumi yang bersifat cair dan konduktif^[8]. Selain dari dalam bumi, medan magnet juga dipengaruhi oleh medan luar. Medan magnet bumi memiliki variasi tetap secara periode selama 24 jam. Variasi ini bergantung dari waktu lokal, bujur, lintang, musim, dan siklus

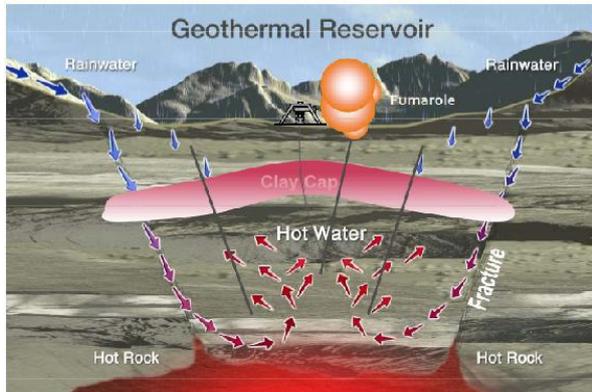
matahari. Ini disebabkan karena adanya arus listrik di atmosfer yang lebih atas, pada *range* lintang 100-130 km diatas permukaan bumi. Di ketinggian atmosfer ini terjadi ionisasi oleh sinar ultraviolet dan radiasi sinar X. Oleh karena itu, perubahan medan ini terhadap waktu lebih cepat. Efek magnetik dari sistem arus ini diamati dari observatorium sebagai variasi harian sinar matahari^[9].

Sistem Geotermal

Secara umum bumi terdiri atas tiga lapisan utama yaitu lapisan kulit bumi (*crust*), selubung bumi (*mantle*) dan inti bumi (*core*). Lapisan terluar bumi adalah kulit bumi. Ketebalan lapisan ini bervariasi, tetapi pada umumnya kulit bumi di bawah suatu daratan (*continent*) memiliki lapisan lebih tebal daripada di bawah suatu lautan dan tersusun oleh lapisan batuan yang yang keras dengan densitas sekitar 2,7- 3 gr/cm³. Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa litosfer bukan merupakan permukaan yang utuh, tetapi terdiri dari beberapa lempeng tipis dan kaku. Lempeng ini mengalami pergerakan secara perlahan-lahan dan terus menerus, dan suatu waktu di lokasi tertentu mengalami penunjaman di bawah lempeng lainnya dan saling mendorong. Karena adanya gesekan antar lempeng dan adanya panas pada lapisan ini maka ujung dari lempeng-lempeng ini memiliki temperatur tinggi, meleleh dan hancur. Proses ini dinamakan magmatisasi^[10].

Hochstein mengatakan sistem geotermal merupakan proses konveksi air di dalam kerak bumi bagian atas dalam ruang yang terbatas, mengalirkan panas dari sumber panas ke resapan air panas di permukaan^[11]. Suparno mengatakan geotermal ditransfer ke permukaan bumi secara konduksi dan konveksi. Mantel bumi (*mantle*) merupakan bagian lapisan bumi yang bersifat semi-cair atau batuan yang meleleh atau mengalami perubahan fisik karena adanya pengaruh luar berupa tekanan dan temperatur tinggi. Bagian luar inti bumi (*outer core*) bersifat liquid

sedangkan lapisan terdalam dari inti bumi (*inner core*) berwujud padat^[12].



Gambar 2 Model Konseptual Sistem Panasbumi ^[18]

Sumber energi panas pada geotermal dapat berupa air panas, uap air, dan batuan beserta mineral yang terkandung serta gas lainnya yang tidak dapat dipisahkan dalam satu sistem. Sistem ini mencakup sistem tata air, proses pemanasan dan keadaan sistem dimana air yang terpanasi terkumpul menjadi satu. Dengan demikian secara umum sistem geotermal harus memiliki elemen penyusun yaitu fluida panas, batuan pemanas, reservoir, dan batuan penutup^[13].

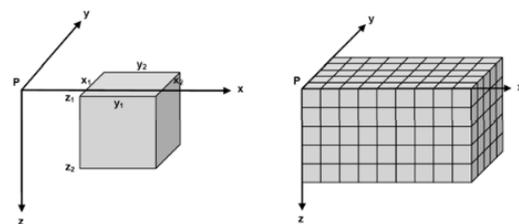
Biasanya sistem panasbumi terdapat pada daerah yang memiliki struktur geologi yang kompleks. Selama pemetaan di lapangan posisi batuan diukur keberadaannya untuk mengetahui deformasi struktur yang ada daerah tersebut. Secara umum sesar lebih banyak dijumpai dan sesar ini memiliki peran yang penting kaitannya dengan hidrologi daerah panasbumi^[14].

Sistem sesar di G.Ungaran mungkin memiliki kaitan yang erat dengan peristiwa vulkanik dan tektonik yang mempengaruhinya di masa lalu. Sesar yang berkembang di komplek G. Ungaran adalah sesar normal, sesar geser dan sesar naik. Sesar geser dan sesar naik dapat ditemukan di daerah kaki gunung sebagai kelanjutan dari sesar normal yang teramati terbentuk mengelilingi G. Ungaran, yang boleh jadi terbentuk akibat

adanya struktur runtuhan (*collapse*). Adapun arah sesar utama umumnya berarah barat laut - tenggara dan barat daya – timur laut^[11].

Pemodelan Inversi Magnetik 3D

Pemodelan inversi data geomagnet bawah permukaan didiskritisasi menjadi susunan prisma tegak atau kubus dalam ruang 3-D. Geometri model tetap sehingga parameter model adalah intensitas magnetisasi yang homogen untuk tiap kubus. Pemodelan inversi data magnetik 3D dilakukan pada data sintetik.

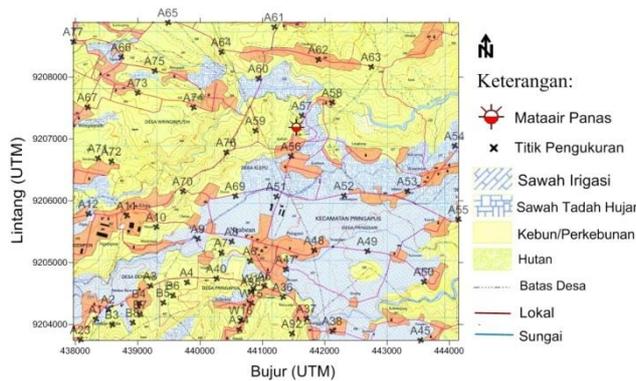


Gambar 3. Geometri model satuan 3D berbentuk prisma tegak atau kubus untuk perhitungan respon magnetik di titik P, posisi sisi-sisi kubus sesuai sumbu x, y dan z yaitu $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$ (kiri) dan diskritisasi medium 3D menjadi susunan kubus dengan geometri homogen (kanan)

Dalam Grandis (2009) analisis yang dilakukan oleh Fedi dan Rapolla (1999) data magnetik pada ketinggian yang berbeda memiliki informasi yang lebih lengkap, oleh karena itu inversi yang dilakukan pada data yang terdistribusi ruang 3-D atau sebagai fungsi koordinat (x,y,z) dapat menghasilkan model dengan resolusi vertikal yang baik ^[15].

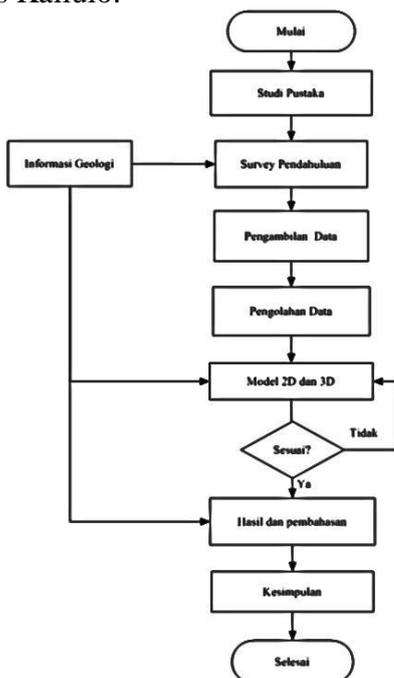
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua alat yaitu 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 di area mata air panas Kaliulo, desa Klepu.



Gambar 4. Titik Pengukuran pada Peta Rupa Bumi Indonesia Lembar Ungaran (Bakosurtanal, 1998)

Pengambilan data di lapangan dilakukan selama tiga hari berturut-turut dan diperoleh 61 titik pengukuran di sekitar daerah mata air panas Kaliulo.



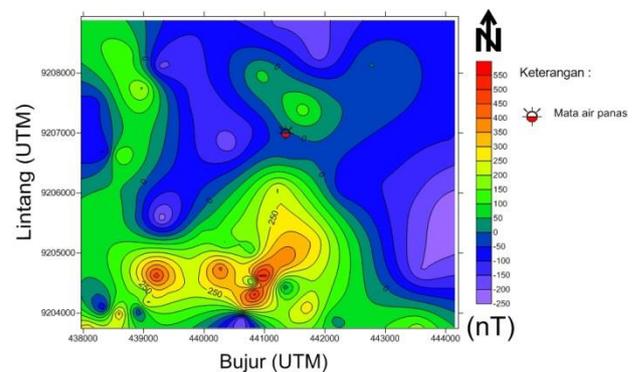
Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Prosedur dalam penelitian ini meliputi tahap akuisisi, pengolahan data (processing), dan interpretasi. Data hasil akuisisi dilakukan pengolahan data dengan koreksi harian (*diurnal correct*) dan koreksi IGRF, serta beberapa filter yaitu reduksi ke bidang datar, pengangkatan ke atas (*upward continuation*), reduksi ke kutub (*reduction to pole*). Setelah

itu dilakukan pemodelan secara 2-D dengan *mag2DC* dan pemodelan secara 3-D dengan *UBC mag3D*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

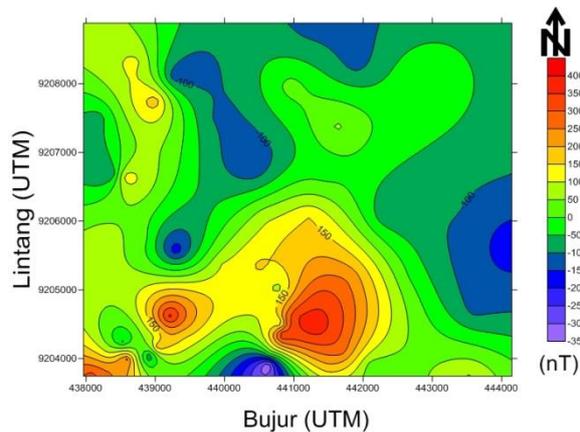
Target utama dari pengukuran magnetik adalah anomali medan magnet total. Anomali medan magnet total ini diperoleh dari nilai medan magnet total yang diolah melalui beberapa koreksi terhadap data hasil pengukuran di lapangan yaitu koreksi harian dan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*). Nilai magnet total merupakan data hasil pengukuran di lapangan yang masih dipengaruhi oleh pengaruh medan magnet luar dan dalam bumi, sehingga untuk mendapatkan anomali medan magnet diperlukan koreksi. Anomali medan magnet total ini merupakan kontras antara nilai medan magnet total dengan nilai medan magnet utama bumi (IGRF)



Gambar 6. Kontur Anomali Medan Magnet Total

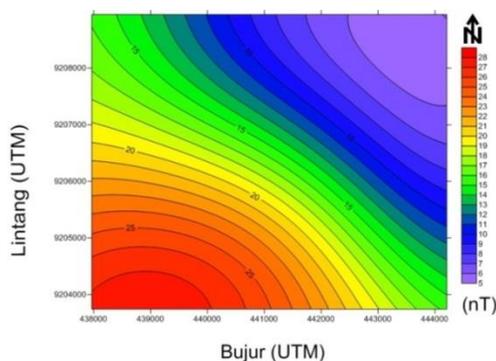
Data anomali medan magnet total hasil pengolahan data masih terdistribusi di permukaan topografi yang tidak rata, sehingga untuk menghilangkan pengaruh ketinggian yang berbeda diperlukan transformasi ke bidang datar supaya nilai anomali medan magnet total yang ditunjukkan pada pola klosur (+) positif dan (-) negatif terlihat lebih jelas. Proses ini menggunakan bantuan program *Matlab R2014a* dengan ketinggian rata-rata 400 meter pada bidang horizontal. Anomali

medan magnet pada bidang datar masih dipengaruhi oleh anomali lokal sehingga masih diperlukan proses reduksi untuk memperjelas keberadaan benda anomali yang menjadi target penelitian.

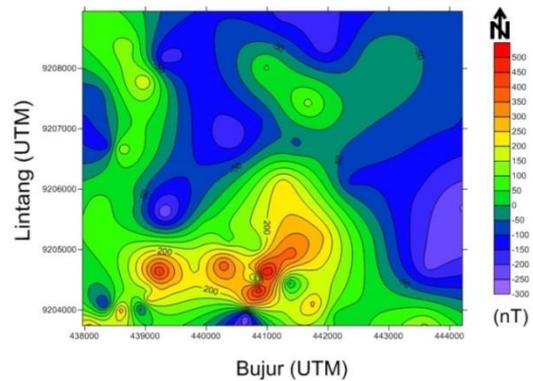


Gambar 7. Kontur anomali medan magnet pada bidang datar

Secara umum anomali medan magnet yang terukur masih terletak pada ketinggian yang tidak teratur. Untuk itu peta kontur anomali medan magnet total perlu dilakukan proses pengangkatan (kontinuasi). Proses kontinuasi dilakukan untuk memudahkan pemisahan anomali regional dengan anomali lokal (*residual*). Pada proses ini data yang terukur di permukaan seolah-olah diukur pada permukaan yang lebih tinggi. Peta kontur anomali medan magnet total diperhalus dengan pengangkatan keatas (*upward continuation*) setinggi 4000 meter.

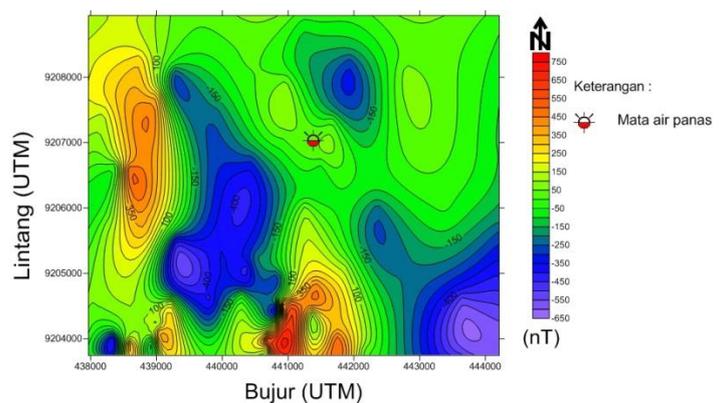


(a)



Gambar 8. Peta (a) anomali regional dan (b) anomali residual hasil pengangkatan keatas (*upward continuation*) peta kontur anomali medan magnet total

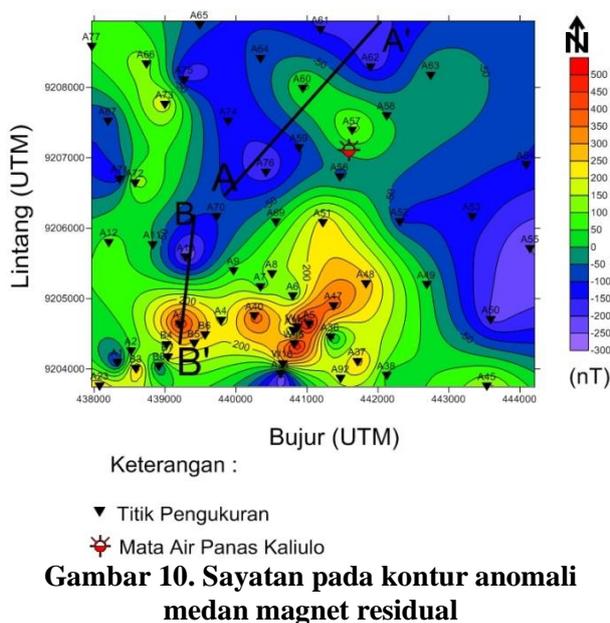
Proses selanjutnya adalah reduksi ke kutub. Pada proses ini Pada proses ini sudut inklinasi benda dibuat menjadi 90^0 dan sudut deklinasi menjadi 0^0 . Pola dipol pada data magnetik dihasilkan karena danya inklinasi vektor medan magnet bumi yang menginduksi kemagnetan batuan. Reduksi ke kutub (*reduction to the pole*) adalah proses tranformasi vektor kemagnetan induksi sehingga mempunyai arah vertikal seperti kondisi di kutub atau ekuator. Dengan dilakukan transformasi ini diharapkan pola anomali menjadi bersifat monopul sehingga interpretasi dan delineasi benda anomali menjadi lebih mudah [15]. Hasil reduksi ke kutub ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Kontur anomali medan magnet total setelah dilakukan reduksi ke kutub menggunakan *Magpick*

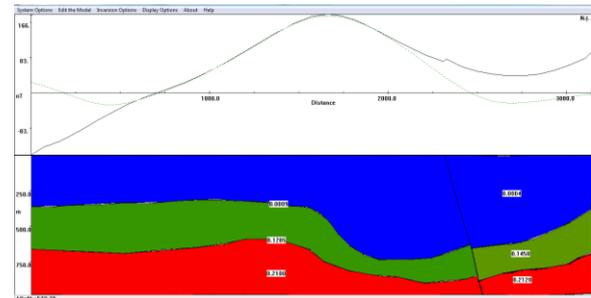
Pemodelan 2D

Tahap selanjutnya untuk lebih memudahkan interpretasi dibuatlah model bawah permukaan menggunakan perangkat lunak *Mag2D*. Sayatan dilakukan pada kontur anomali residual pada ketinggian 4000 meter dengan klosur yang berpasangan yaitu klosur (+) positif dan klosur (-) negatif seperti pada Gambar 10.



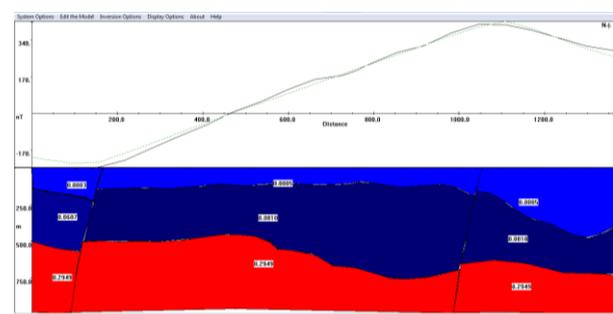
Pemodelan dengan sayatan diharapkan dapat menjelaskan struktur bawah permukaan daerah penelitian yang berlokasi di sekitar manifestasi mataair panas Kaliulo berupa adanya struktur sesar maupun sistem panas bumi yang diduga menjadi penyebab adanya anomali medan magnet total di daerah tersebut. Struktur geologi berupa sesar ini diakibatkan karena adanya gaya yang berasal dari dalam bumi atau kekuatan tektonik sehingga menyebabkan adanya struktur geologi.

Pemodelan pertama adalah hasil sayatan A-A' yang ditunjukkan pada Gambar 11. Sayatan ditarik dari ujung barat daya (A) menuju kearah timur laut (A') dengan sisi tenggara dibagian kanan dan sisi barat laut dibagian kiri.



Gambar 11. Hasil Pemodelan Sayatan A-A'

Dalam Gambar 11 pemodelan ini tersusun atas tiga lapisan batuan. Lapisan pertama merupakan lapisan batuan Gunungapi Gajahmungkur yang berupa batu pasir, breksi, dan batulempung dengan nilai suseptibilitas 0.0004 - 0,0009 SI dengan kedalaman hingga ± 600 m. Batu pasir dan batu lempung ini banyak ditemukan di sekitar sungai yang arahnya memotong garis sayatan A-A' pada formasi Kerek. Pada lapisan kedua merupakan batuan sedimen dari formasi batuan Kaligetas yang berupa batu pasir tufan dan batu lempung. Lapisan ini memiliki nilai suseptibilitas 0,1285 (SI) berada dikedalaman ± 250 hingga ± 800 meter. Kemudian lapisan batuan ketiga merupakan batuan yang masih berasal dari batuan sedimen formasi Kerek berupa batulempung. Lapisan batuan ini memiliki nilai suseptibilitas 0.2100 pada kedalaman sekitar ± 500 meter hingga 1000 meter. Berdasarkan pemodelan dapat diketahui bahwa terdapat sesar turun dengan arah barat laut – tenggara.



Gambar 12. Hasil Pemodelan sayatan B-B'

Selanjutnya pemodelan kedua adalah hasil sayatan B-B' yang ditunjukkan pada Gambar 12. Sayatan ditarik dari ujung timur laut (B) menuju kearah barat daya (B') dengan sisi tenggara dibagian kanan dan sisi barat laut dibagian kiri. Lapisan ini berada hingga kedalaman ± 500 m dengan nilai suseptibilitas 0.0005 (satuan SI). Selanjutnya lapisan batuan kedua merupakan formasi batuan gunung api Gajahmungkur yang terdiri dari breksi dengan aliran lava. Lapisan ini beradapada kedalaman ± 50 hingga ± 760 m dengan nilai suseptibilitas 0,0607-0,0810 (satuan SI). Kemudian lapisan ketiga ini terdiri dari batuan breksi vulkanik dari formasi batuan Kaligetas dengan nilai suseptibilitas sebesar 0,2949 (satuan SI). Lapisan ini berada pada kedalaman 300 hingga 1000 m.

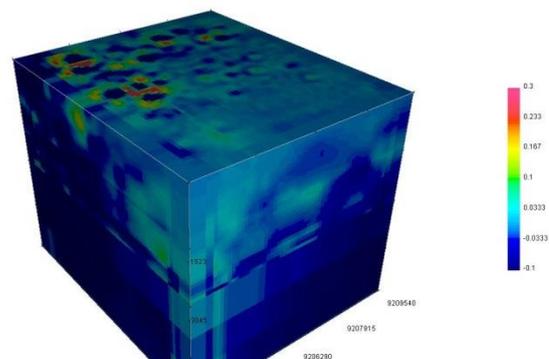
Berdasarkan pada pemodelan yang tertera pada Gambar 12 terlihat ada dua sesar yang terbentuk. Sesar pertama berada pada jarak sekitar 200 meter dari sisi kiri. Hal ini diperkuat dengan kondisi di lapangan sebagai indikasi sesar yaitu adanya sungai Lutung yang panjangnya berarah timur laut - barat daya yang tampak jelas memotong sayatan B-B'. Sesar kedua berada pada jarak sekitar 850 meter dari sesar pertama. Dengan melihat blok *hanging wall* yang relatif lebih turun dibandingkan dengan *footwall* di sebelah kanannya maka sesar ini merupakan sesar turun. Sesar turun ini berada pada jarak sekitar 1050 meter dari ujung kiri sayatan (B) pemodelan. Sesar ini diperkirakan berada di sepanjang sungai Klampok dengan arah barat daya-timurlaut.

Adanya sesar yang mengarah barat daya - timur laut ini memungkinkan munculnya pengaruh asosiasi zona lemah atau retakan dari daerah Diwak dan G.Ungaran yang diteruskan ke arah timur laut sampai titik mata air panas Kaliulo sebagai pengontrol keluarnya fluida panas yang menjadi penyebab munculnya matair panas Kaliulo. Berdasarkan kenampakan di permukaan terdapat rekahan di sekitar sungai Klampok, dan terdapat gelembung-gelembung air. Dengan melihat

keadaan ini dikatakan terletak di daerah zona lemah karena memiliki dua sesar maka fluida panas yang berasal dari sistem panasbumi G.Ungaran bergerak menuju timurlaut yang struktur batumannya memiliki permeabilitas yang tinggi sehingga dapat meloloskan fluida panas ke permukaan.

Pemodelan 3D

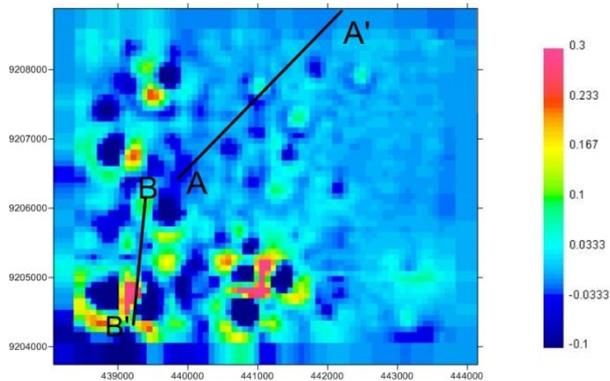
Pemodelan 3D merupakan pemodelan inversi yang mana memerlukan parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*). Pemodelan inversi 3D medan magnet total dibatasi oleh pengukuran suseptibilitas (Chouteau dan Shamsipour, 2015). Dalam penelitian ini yang menjadi parameter fisis adalah suseptibilitas batuan. Selain dapat membuat model persebaran nilai suseptibilitas dalam area pertambangan pemodelan inversi medan magnet total 3D juga dapat membuat model persebaran nilai suseptibilitas pada sistem panasbumi.



Gambar 13. Model 3D data anomali medan magnet Kaliulo dengan software Mag3D

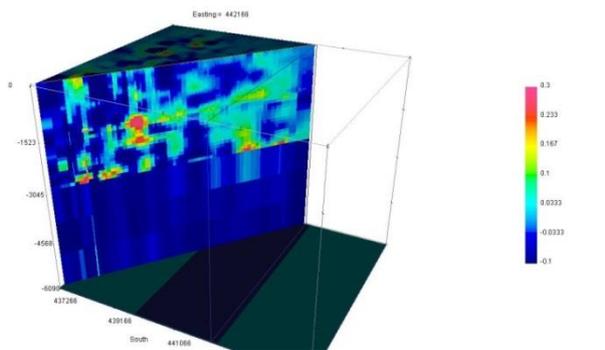
Data anomali medan magnet total ditampilkan dalam tiga koordinat (X,Y,dan Z) sehingga tampilan model berupa bentuk sebuah prisma atau kubus yang dapat dilihat pada Gambar 13. Sumbu X merupakan bujur (UTM) dibagian selatan, sumbu Y merupakan lintang (UTM) dibagian barat, dan sumbu Z

merupakan lapisan dibawah permukaan bumi atau kedalaman (meter).

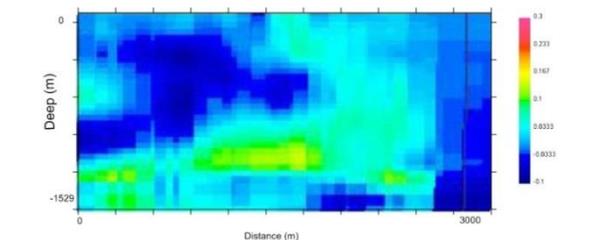


Gambar 14. Penampang atas dalam model 3D

Pada pemodelan 2-D dijelaskan sebelumnya bahwa di daerah sayatan A-A' terdapat sesar turun. Nilai suseptibilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan batuan disekitarnya dapat dikatakan bahwa batuan tersebut memiliki nilai kemagnetan yang lebih rendah, sehingga diduga pada lapisan ini merupakan zona lemah yang menjadi tempat Bergeraknya fluida panas ke permukaan daerah manifestasi mata air panas Kaliulo yaitu sesuai dengan pemodelan 2-D dengan ditemukannya sesar turun.

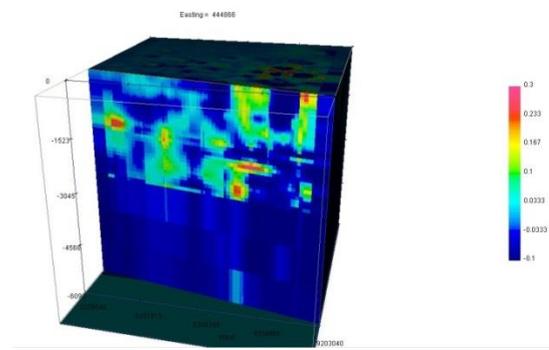


Gambar 15. Model inversi 3D anomali medan magnet total daerah sayatan A-A'

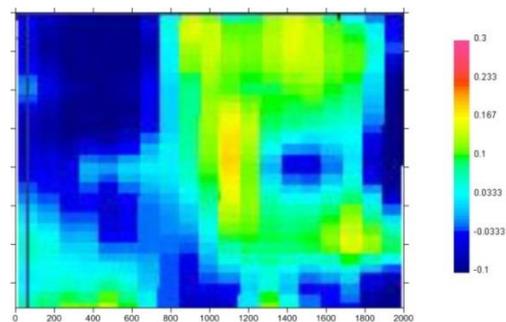


Gambar 16. Sayatan A-A' dalam pemodelan 3D

Selanjutnya sayatan kedua terletak di daerah Diwak. Pada pembahasan 2-D sayatan B-B' dijelaskan bahwa terdapat dua sesar yaitu sesar turun. Hasil sayatan B-B' secara 3-D disajikan dalam Gambar 17 dan Gambar 18. Sesar kedua berada 850 meter kearah kanan dengan didukung adanya sungai Klampok yang diduga mengalir di sepanjang sesar dengan arah timur laut - barat daya, sehingga hal ini dapat diduga menjadi jalan pergerakan fluida panas melalui sesar tersebut yang akan menuju mata air panas Kaliulo.



Gambar 17. Model inversi 3-D anomali medan magnet total daerah sayatan B-B'



Gambar 18. Sayatan B-B' dalam pemodelan 3-D

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan :

1. Peta Kontur anomali medan magnet total daerah manifestasi mata air panas Kaliulo

- menunjukkan adanya pasangan klosur positif dan klosur negatif, sehingga interpretasi secara kualitatif berdasarkan model 2-D dapat mengetahui keberadaan sesar dibawah permukaan sekitar mata air panas Kaliulo. Range suseptibilitas batuan hasil pemodelan bawah permukaan 3-D adalah -0.1 hingga 0.3 (satuan SI).
2. Berdasarkan hasil pemodelan 2-D dengan *mag2DC* dan 3-D dengan *mag3D* sumber panas manifestasi mata air panas Kaliulo diduga karena adanya sesar turun dengan arah timur laut – barat daya yang menghubungkan sumber mata air panas Diwak Derekan dengan Kaliulo.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Gaffar, E. Z., Wardhana, D. D., dan Widarto, D. S., 2007, *Studi Geofisika Terpadu di Lereng Selatan G. Ungaran, Jawa Tengah, dan Implikasinya Terhadap Struktur Panasbumi*, Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI, Kompleks LIPI Sangkuriang, Bandung.
- [2]. Zarkasyi, A., Rezky, Y., dan Nurhadi, M., 2011, *Keprospekan Panas Bumi Gunung Ungaran Berdasarkan Analisis Geosains Terpadu*, Buletin Sumber Daya Geologi Volume 6 Nomor 3, Bandung.
- [3]. Rezky, Y., Zarkasyi A., dan Risdianto D., 2012, *Sistem Panas Bumi dan Model Konseptual Daerah Panas Bumi Gunung Ungaran Jawa Tengah*, Buletin Sumber Daya Geologi, Volume 7, Nomor 3, 109-117, Bandung.
- [4]. Zarkasyi, A., dan Suhanto, E., 2013, *Pemodelan 3D Gaya Berat dan Magnet pada Sistem Panas Bumi Daerah Jaboi, Pulau Weh, Provinsi Aceh*, Buletin Sumber Daya Geologi Volume 8 Nomor 1, Bandung.
- [5]. Telford, M.W., Geldart L.P., Sheriff, R.E. dan Keys, D.A., 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, USA.
- [6]. Rosid, S., 2008, *Geomagnetic Method Lecture Note*, Physics Departement, FMIPA UI, Depok.
- [7]. Reynold, J. M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Wiley, UK.
- [8]. Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, USA.
- [9]. Macmillan, S., 2006, *Earth's Magnetic Field in Geophysics and Geochemistry*, Oxford, United Kingdom.
- [10]. Suhartono, N., 2012. *Pola Sistem Panas dan Jenis Geothermal Dalam Estimasi Cadangan Daerah Kamojang*, Jurnal Ilmiah MTG, Vol.5, No.2, UPN "Veteran", Yogyakarta.
- [11]. Oktikawati, A., Harmoko, U., dan Raharjo, I. B., 2013, *Karakterisasi Cap Rock dan Reservoir area Geotermal berdasarkan Studi Seismisitas dengan Metode SED*, Youngster Physics Journal, Vol.1, No.4, Hal 53-58, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [12]. Nuha A. M., 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.
- [13]. Arif, N., Lantu S. A., dan Maria, 2014, *Karakterisasi Panasbumi di Sumber Air Panas dengan Menggunakan Metode Geomagnet (Studi Kasus: Sumber Air Panas Panggo Kabupaten Sinjai)*. Prosiding Seminar Nasional Geofisikia, Makassar.
- [14]. Santoso, D., 2012, *Catatan Kuliah Eksplorasi Energi Geotermal*, ITB, Bandung.
- [15]. Gaffar, E. Z., Wardhana, D. D., dan Widarto, D. S., 2007, *Studi Geofisika Terpadu di Lereng Selatan G. Ungaran, Jawa Tengah, dan Implikasinya Terhadap Struktur Panasbumi*, Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI, Kompleks LIPI Sangkuriang, Bandung
- [16]. Grandis, H., 2009, *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, Bandung.
- [17]. Deniyatno, 2010, *Pemodelan kedepan (Foreard Modeling) 2 Dimensi data magnetic Untuk Identifikasi Bijih besi Di*

- Lokasi X, Propinsi Sumatra Barat, Jurnal Aplikasi Fisika, Volume 6 Nomor 2, Kendari.*
- [18]. *Daud, Y., 2010, Introduction to Geothermal System and Technology, Laboratorium Geofisika FMIPA, Universitas Indonesia, Jakarta.*