

PEMODELAN BAWAH PERMUKAAN MANIFESTASI MINERAL DENGAN METODE GEOMAGNETIK DAERAH PACITAN JAWA TIMUR

Fatimah

*Program Studi Teknik Geologi, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jalan Babarsari Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281
fatimah@sttnas.ac.id*

Abstrak

Kecamatan Tulakan, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur. Daerah ini merupakan bagian dari Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur yang merupakan busur magmatik Sunda-Banda berumur Oligo-Miosen, dimana terdapat alterasi dan indikasi adanya mineral bijih berharga. Data magnetik lapangan diambil pada area seluas 1 x 1 km, dengan metode looping pada lintasan grid berjarak 200 x 100 m. Kemudian, dilakukan koreksi data magnetik dan processing data dengan Oasis montaj. Dari peta anomali magnetik didapatkan nilai intensitas kemagnetan tinggi di bagian selatan merupakan batuan andesit-dasitik fresh (intrusive) sebagai host rock yang menyebabkan alterasi, di bagian tengah memiliki nilai intensitas kemagnetan rendah merupakan daerah struktur searah dengan arah sungai yang relative NE-SW, sedangkan di bagian utara dengan intensitas tinggi merupakan lava andesit fresh. Dari data citra terlihat pola kelurusan struktur geologi yang didominasi oleh struktur ekstensional dengan arah NE-SW dan E-W yang menjadi perangkap utama urat (vein) epitermal pembawa mineralisasi bijih utamanya Cu, Pb pada daerah penelitian.

Kata kunci: geomagnetik, metode looping, mineralisasi bijih

Abstract

Tulakan Subdistrict, Pacitan Regency, East Java Province. This area is part of the Southern Mountain Zone of East Java, which is the Sunda-Banda magmatic arc of Oligo-Miocene age, where there are alterations and indications of valuable ore minerals. Field magnetic data is taken in an area of 1 x 1 km, with the looping method on the grid trajectory within 200 x 100 m. Then, magnetic data correction and data processing were carried out with Oasis Montaj. From the magnetic anomaly map, the value of high magnetic intensity in the southern part is fresh (intrusive) andesite-dasitic rock as host rock which causes alteration, in the middle has a low magnetic intensity value which is in the direction of the relatively NE-SW river direction, whereas in the north with high intensity is fresh andesite lava. From the image data, it can be seen that the straightness pattern of the geological structure which is dominated by the extensional structure with the direction of NE-SW and E-W is the main trap of epithermal veins carrying ore mineralization mainly Cu, Pb in the study area.

Keywords: geomagnetic, looping method, ore mineralization

Keywords: Geomagnetic, Lopping method, ore mineralization

1. Pendahuluan

Daerah penelitian secara administratif terletak di Desa Kluwih, Kecamatan Tulakan, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur. Menurut [1] daerah penelitian termasuk dalam Zona Fisiografi Pegunungan Selatan Jawa Timur. Penyelidikan terdahulu yang dilakukan di beberapa daerah yang ada di Pegunungan Selatan Jawa Timur menemukan adanya indikasi mineralisasi. Prospek mineralisasi tersebut berada pada daerah sisa vulkanik yang telah tererosi dari Busur Sunda-Banda yang berumur Oligo - Miosen.

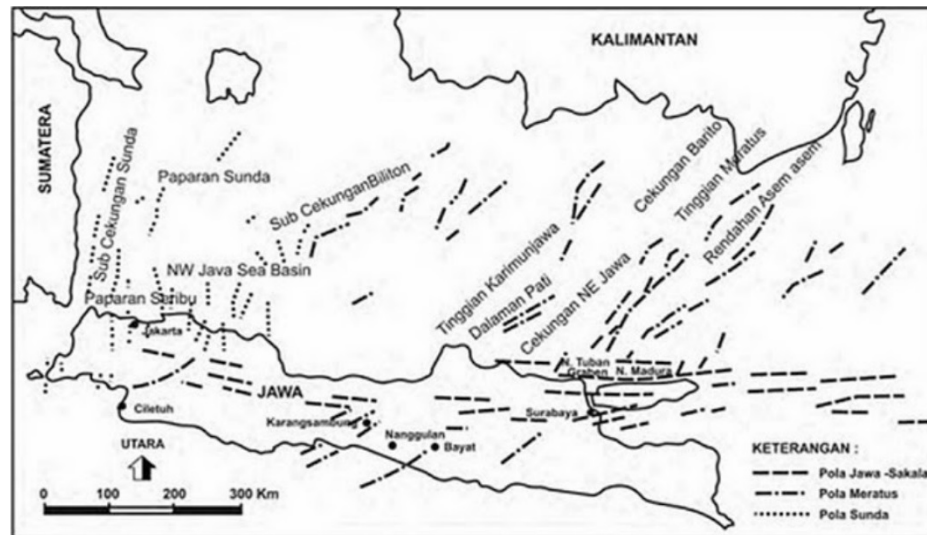
Pada penelitian di daerah Kluwih ini penulis akan menggunakan metode yang berbeda, yaitu dengan metode Analisa Geomagnetik dengan teknik pengambilan data gridding tanpa mengesampingkan data-data geologi di lokasi penelitian. Metode Geomagnetik merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan dalam survey pendahuluan pada geologi bawah permukaan dengan tingkat akurasi pengukuran yang relatif tinggi. Metode ini digunakan karena instrumentasi dan pengoperasian di lapangan yang relatif sederhana, mudah dan cepat jika dibandingkan dengan metode geofisika lainnya.

Data yang diperoleh dengan metode geomagnetik akan memberikan gambaran gambaran bawah permukaan daerah mineralisasi Kluwih dan sekitarnya yang diharapkan mampu menghasilkan informasi

Menggunakan satuan batuan bernama Formasi Besole, menyebutkan bahwa formasi ini tersusun oleh perulangan breksi vulkanik, batupasir, tuf, dan lava bantal, diendapkan dengan mekanisme turbidit, pada lingkungan laut dalam [2].

Satuan yang bernama Formasi Besole ini menjadi dua satuan yaitu Formasi Arjosari yang terdiri dari perselingan batupasir dan breksi, yang diendapkan pada lingkungan laut dangkal, dan Formasi Mandalika yang tersusun oleh perselingan breksi, batupasir, serta lava bantal diendapkan pada lingkungan laut dalam [2]. Terlepas dari perbedaan litologi, dan lingkungan pengendapan pada satuan (Tabel 1) yang bernama Formasi Besole ini, mempunyai penyebaran menempati morfologi terjal, dan berbukit-bukit. Oleh [6], satuan ini merupakan bagian dari kelompok batuan Old Andesit [1], seperti halnya yang terdapat di Kulon Progo. Jadi secara umum Formasi Besole tersusun oleh satuan batuan vulkanik (intrusi), lava dan vulkanoklastik (breksi, sisipan batupasir tufan).

Struktur geologi secara umum berpola seperti yang dikembangkan [3] yaitu pola Meratus (gambar 2), pola Sunda, dan pola Jawa. Terdapat beberapa kelurusan-kelurusan berarah timur laut - barat daya, kelurusan tersebut diyakini berupa struktur yang lebih tua yang mengikuti pola struktur Meratus. Selain itu, terdapat kelurusan yang berarah barat-timur yang diyakini bagian dari pola struktur Jawa dan juga terdapat kelurusan yang berarah utara-selatan yang mengikuti pola struktur Sunda. Namun, secara khusus kajian struktur geologi mengacu pada struktur-struktur lokal yang dibangun oleh kegiatan gunung api, seperti struktur geomorfologi melingkar, struktur perlapisan batuan yang berbentuk memancar dan melandai menjauhi pusat, pola aliran radier yang mengelilingi daerah pusat, dan struktur internal aliran lava dan intrusi.



Gambar 2. Pola Struktur Pulau Jawa [3]

1.2 Metode Geomagnetik

Metode geomagnetik merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi minyak bumi, panas bumi, batuan mineral, maupun untuk keperluan pemantauan (monitoring) gunung api. Metode ini mempunyai akurasi pengukuran yang relatif tinggi, instrument dan pengoperasian di lapangan relatif sederhana, mudah dan cepat jika dibandingkan dengan metode geofisika lainnya. Koreksi pembacaan praktis tidak perlu dilakukan.

Pada umumnya peta anomali medan magnetik (untuk geofisika terapan biasanya digunakan medan total atau medan vertikal) bersifat agak kompleks. Variasi medan lebih tak menentu dan terlokalisir sebagai akibat dari medan magnetik dipole yang merupakan besaran vektor. Peta anomali magnetik menunjukkan sejumlah besar anomali residu (sisa) yang merupakan hasil variasi yang besar bagian mineral magnetik yang terkandung dalam batuan dekat permukaan.

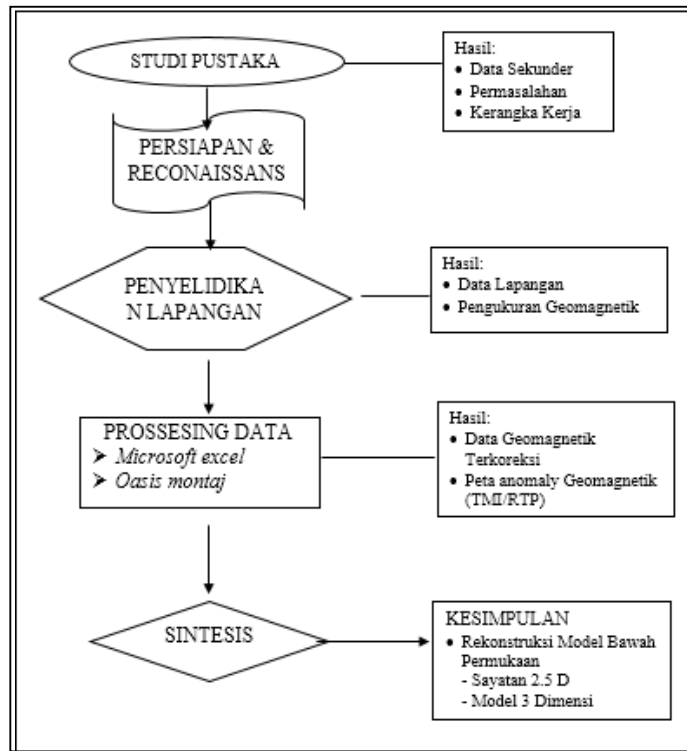
Dasar dari metode magnetik adalah gaya Coulomb antara dua kutub magnetik m_1 dan m_2 (e.m.u) yang berjarak r (cm) dalam bentuk:

$$\vec{F} = \frac{m_1 m_2}{\mu_0 r^2} \vec{r} \quad (\text{dyne}) \quad (1)$$

dengan μ_0 adalah permeabilitas medium dalam ruang hampa, tidak berdimensi dan berharga satu [8].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari pengumpulan studi pustaka daerah Kluwih, Pacitan baik geologi maupun geografi.



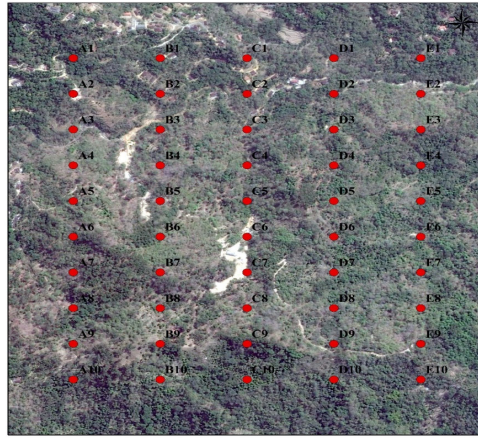
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

2.1 Akuisisi Data

Alat yang digunakan dalam survey metode magnetik adalah Proton Precision Magnetometer Geometrics model G-856. PPM dapat digunakan untuk mengukur medan magnet gradien maupun medan magnet total. Pengukuran medan magnet gradien dengan menggunakan dua buah sensor dan medan magnet total dengan menggunakan satu buah sensor. Beberapa peralatan bantu lainnya adalah:

1. GPS, untuk menentukan arah lintasan titik-titik pengukuran di lapangan.
2. Kompas geologi, untuk menentukan arah utara sensor PPM.
3. Catatan lapangan, untuk mencatat hasil pengukuran data magnetik, jam, hari, tanggal, kondisi cuaca dan lingkungan saat pengambilan data.

Akuisisi data magnetik dilakukan pada area seluas 1 x 1 km, lintasan survei dibuat grid dengan jarak spasi 100 meter (gambar 4) sehingga didapatkan 10 titik pengukuran dalam satu line. Kemudian, jarak antar line adalah 200 meter, sehingga terdapat 5 line pengukuran yaitu line A, B, C, D, dan E. Pengambilan data geomagnetik dilakukan dengan metode looping, yaitu dengan cara melakukan pengukuran yang dimulai dari base dan berakhir di base lagi. Pengukuran ini sekaligus mencatat nilai variasi harian dan intensitas medan magnet total.



Gambar 4. Design survei geomagnetik overlay dengan citra DEM di daerah Kluwih, Pacitan, Jawa Timur

Untuk meminimalkan kesalahan dalam pengambilan data geomagnetik, satu titik pengukuran dilakukan tiga kali pembacaan pada alat Proton Precision Magnetometer (PPM). Dari hasil pembacaan tersebut didapatkan nilai H.Obs dan waktu, dengan selalu mengamati kondisi geologi permukaan atau lingkungan survei yang semuanya dicatat dalam buku lapangan. Hasil dari tiga kali pembacaan dalam satu titik/lokasi pengukuran di lapangan tersebut selanjutnya dirata-rata dan dilakukan koreksi data magnetik untuk dapat dilakukan processing data dan modelling.

2.2 Pengolahan Data

Koreksi nilai IGRF terhadap data medan magnetik hasil pengukuran dilakukan karena nilai yang menjadi target survei magnetik adalah anomali medan magnetik (ΔH_r0). Nilai IGRF yang diperoleh dikoreksikan terhadap data kuat medan magnetik total dari hasil pengukuran di setiap stasiun atau titik lokasi pengukuran. Untuk memperoleh nilai anomali medan magnetik yang diinginkan, maka dilakukan koreksi terhadap data medan magnetik total hasil pengukuran pada setiap titik lokasi atau stasiun pengukuran, yang mencakup koreksi harian, IGRF dan topografi.

Koreksi harian (diurnal correction) merupakan penyimpangan nilai medan magnetik bumi akibat adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari. Waktu yang dimaksudkan harus mengacu atau sesuai dengan waktu pengukuran data medan magnetik di setiap titik lokasi (stasiun pengukuran) yang akan dikoreksi dituliskan dalam persamaan:

$$\Delta H = H_{total} \pm \Delta H_{harian} \quad (2)$$

Data hasil pengukuran medan magnetik pada dasarnya adalah kontribusi dari tiga komponen dasar, yaitu medan magnetik utama bumi, medan magnetik luar dan medan anomali. Koreksi IGRF dapat dilakukan dengan cara mengurangkan nilai IGRF terhadap nilai medan magnetik total yang telah terkoreksi harian pada setiap titik pengukuran pada posisi geografis yang sesuai. Persamaan koreksinya (setelah dikoreksi harian) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta H = H_{total} \pm \Delta H_{harian} \pm H_0 \quad (3)$$

Dimana $H_0 = \text{IGRF}$

Reduksi ke kutub adalah salah satu filter pengolahan data magnetik untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik. Filter tersebut diperlukan karena sifat dipole magnetik menyulitkan interpretasi data lapangan yang umumnya masih berupa asimetrik. Pada dasarnya reduksi ke kutub mencoba mentransformasikan medan magnet di suatu tempat menjadi medan magnet di kutub utara magnetik.

Untuk menginterpretasi anomali medan magnetik yang menjadi target survei, maka dilakukan koreksi efek regional yang bertujuan untuk menghilangkan efek anomali magnetik regional dari data anomali medan magnetik hasil pengukuran. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperoleh anomali regional adalah pengangkatan ke atas (upward continuation) hingga pada ketinggian-ketinggian tertentu, dimana peta kontur anomali yang dihasilkan sudah cenderung tetap dan tidak mengalami

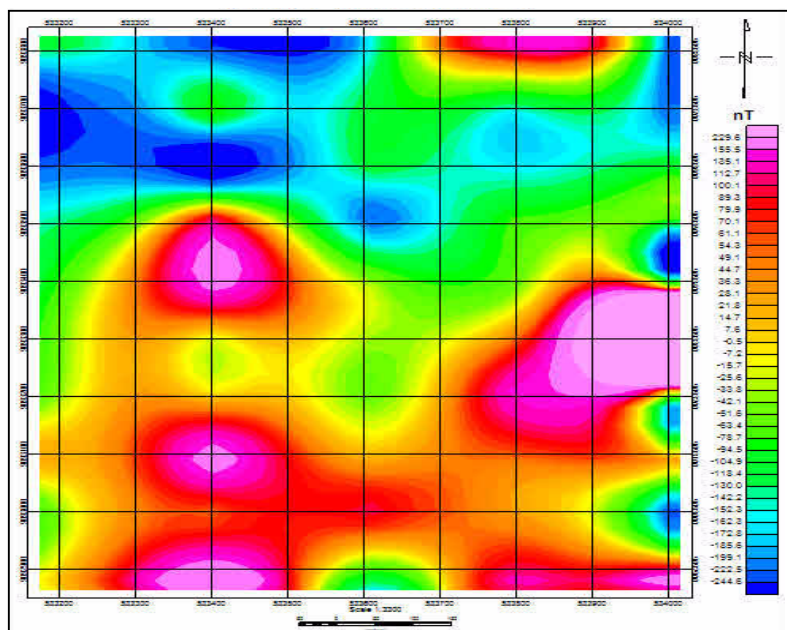
perubahan pola lagi ketika dilakukan pengangkatan yang lebih tinggi. Pengangkatan ke atas atau upward continuation merupakan proses transformasi data medan potensial dari suatu bidang datar ke bidang datar lainnya yang lebih tinggi.

Metode tilt derivative, yang merupakan cara cepat dan sederhana dalam memperkirakan kedalaman dari basement magnetik untuk area yang luas [4]. Sudut kemiringan memiliki banyak sifat menarik, misalnya karena sifat fungsi trigonometri arctan semua amplitudo kemiringan dibatasi pada nilai antara -90^0 dan $+90^0$, terlepas dari amplitudo vertikal atau nilai absolut dari gradien horisontal. Karena sudut kemiringan terdiri dari rasio derivatif vertikal dan horizontal, fungsi kemiringan yang dihasilkan tidak mengandung informasi tentang magnetisasi yang diinduksi dari benda penyebab.

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\partial \zeta}{\partial x} \right] \quad (4)$$

3. Hasil dan Analisis

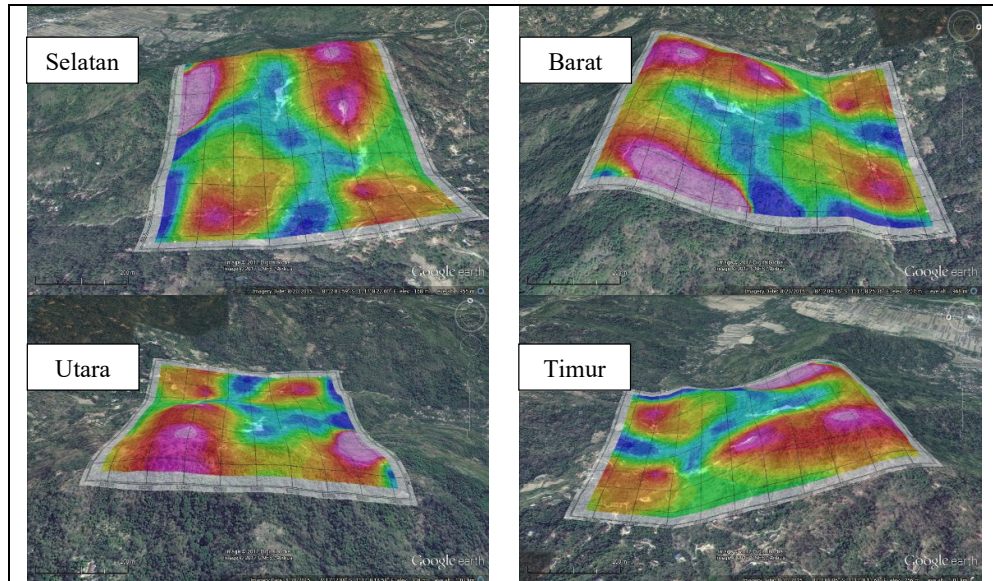
Dari hasil pengolahan data dengan menggunakan Oasis montaj akan didapat suatu peta anomali Total Magnetic Intensity (TMI). Pada peta TMI hasilnya masih mencakup anomali lokal dan masih dipengaruhi oleh 2 kutub magnet yang sifatnya dipole, sehingga peta TMI apabila diinterpretasi dengan memasukan aspek geologi terhadap benda anomali (target penelitian) tidak akan sesuai dan apabila di overlay dengan citra DEM pasti selalu bergeser tergantung dari faktor yang mempengaruhi seperti banyaknya noise yang terekam oleh alat. Interpretasi warna pada peta TMI yaitu mencerminkan nilai intensitas kemagnetan batuan, untuk warna merah memiliki nilai intensitas kemagnetan yang tinggi, hal ini dipengaruhi oleh komposisi mineral suatu batuan yang banyak mengandung Mg-Fe, untuk warna biru dan hijau memiliki nilai intensitas kemagnetan yang rendah.



Gambar 5. Peta Total Intensitas Magnetik daerah Kluwih, Pacitan, Jawa Timur

Dari analisis Reduce To Pole Selatan Intensitas Magnet 72.9 nT - 519.4 nT Andesit-dasitik *fresh* (*intrusive*) yang mendominasi geologi daerah penelitian yang diduga sebagai *host rock* yang menyebabkan adanya alterasi *argilic* yang menutup secara dominan pada bagian atas intrusi andesit-dasitik, pada alterasi ini sudah mulai terlihat mineral logam seperti *pyrite* (*disseminated*), masih belum bisa merubah nilai kemagnetan yang signifikan karena lebih didominasi oleh mineral lempung yang terbentuk (*kaolinite-illite*). Bagian tengah, intensitas magnet -194.7 nT - (-240.1) nT litologi Alterasi *silicified* yang hadir searah dengan arah sungai yang diduga terbentuk karena adanya struktur yang relative NE-SW dan W-E. Bagian utara intensitas magnet -247.4 nT - (-340.1) nT Tuff litik, daerah

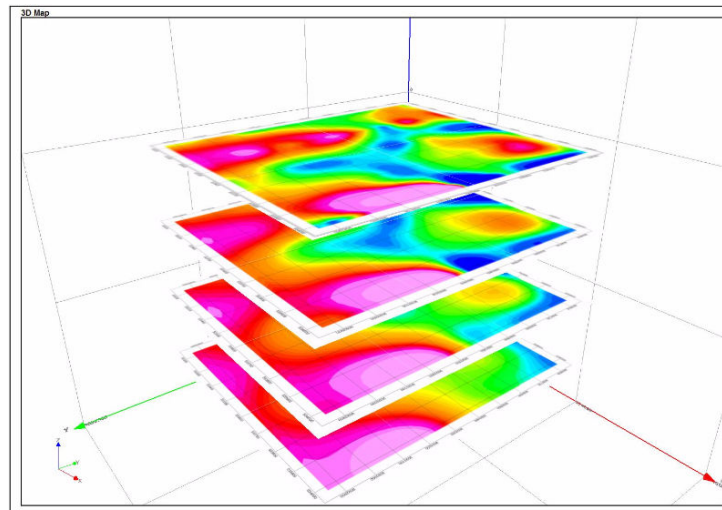
struktur searah dengan arah sungai yang relative NE-SW. Intensitas magnet 72.9 nT - 279.8 nT Lava andesit *fresh*, teralterasi lemah (Gambar 6).



Gambar 6. Peta RTP *overlay* dengan Citra DEM daerah Kluwih, Pacitan, Jawa Timur dilihat dari arah utara, selatan, timur, dan barat

Pemodelan Bawah Permukaan

Analisis data geomagnetik dan data geologi permukaan dikombinasikan untuk melakukan pemodelan bawah permukaan di daerah Kluwih, sehingga nantinya didapatkan model bawah permukaan yang sesuai dengan fakta di lapangan. Untuk pemodelan bawah permukaan digunakan data peta RTP dikarenakan dari hasil peta intensitas kemagnetan daerah penelitian yang sesuai adalah peta RTP (gambar 7).

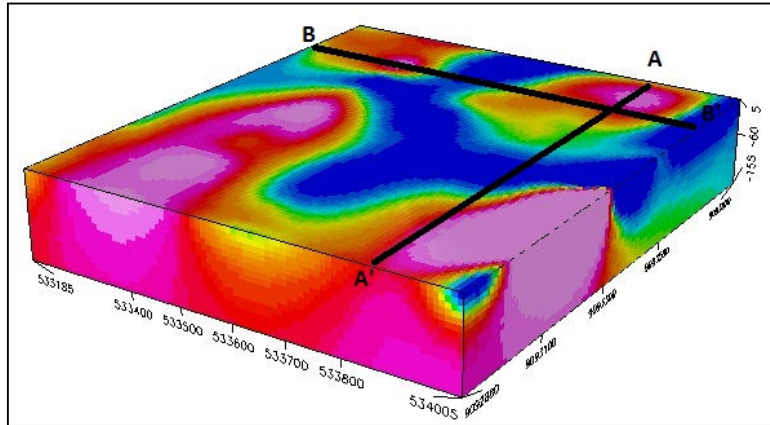


Gambar 7. Stacking 2D dengan kenampakan peta RTP full sesuai nilai upward

Peta RTP yang digunakan yaitu peta RTP asli, kemudian peta RTP yang telah di upward continuation dari ketinggian 50 m hingga 150 m. Hal ini dimaksudkan untuk dapat melihat perbedaan setiap peta dari hasil upward nya berdasarkan pada tiap nilai ketinggiannya. Langkah utama untuk melakukan modelling yaitu melakukan stacking atau penggabungan peta RTP sesuai dengan nilai

ketinggian secara urut dari yang paling atas adalah nilai peta RTP 0 dan paling bawah adalah peta RTP dengan upward continuation 150m. Berikut adalah data stacking dengan kenampakan 2D.

Pada tahap ini kemudian akan dilakukan sayatan 2.5 D dan model 3D. Untuk sayatan 2.5 D dilakukan dengan cara menyayat peta RTP dan untuk mendukung data kedalaman yaitu dengan cara melakukan pemindahan domain spasial atau domain waktu menjadi domain frekuensi (Fast Fourier Transform/FFT). Prinsip penampang 2.5 D yaitu trial and error, untuk data yang digunakan adalah data X, Y, dan Z serta hasil pendekatan FFT. Selain itu, Z di sini yang dimaksud adalah nilai dari hasil upward continuation dan nantinya dilihat rata-rata dari pendekatan perhitungan FFT sehingga datanya akan relatif sama (Gambar 8).



Gambar 8. Model 3D dan penampang 2.5 D hasil pengukuran data magnetik dengan menggunakan Oasis montaj

Prospek mineralisasi pada daerah Kluwih terdapat pada intrusi andesit-dasitik yang merupakan suatu tubuh gunung api bagian dari busur magmatik Sunda-Banda berumur Oligo-Miosen yang telah tererosi. Pada daerah penelitian berkembang struktur ekstensional yang mengakibatkan adanya rekahan-rekahan (open space) sehingga memungkinkan urat-urat (veins) tipe epithermal terbentuk. Struktur ekstensional tersebut mempunyai arah NE-SW dan E-W. Rekahan ini menjadi jalan keluar larutan hidrotermal dari dalam bumi yang menyebabkan batuan di sekitarnya teralterasi. Tipe alterasi yang dijumpai di lapangan yaitu silisifikasi, argilik, hingga propilitik. Lokasi pembentukan mineralisasi di daerah Kluwih berada pada setting vulkanik medial. Endapan bijih umumnya dijumpai dengan struktur stockwork. Urat-urat yang mengisi rekahan batuan didominasi oleh mineral kuarsa, pyrite, chalcopyrite, yang mengandung mineral bijih bernilai ekonomis utamanya tembaga (Cu) dan timbal (Pb).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di daerah Kluwih, Pacitan, Jawa Timur, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Daerah penelitian berada pada gunung api berumur Oligo-Miosen sehingga memiliki nilai intensitas kemagnetan tinggi, tetapi di beberapa lokasi didapatkan nilai intensitas kemagnetan yang rendah dikarenakan adanya larutan hidrotermal yang menyebabkan batuan teralterasi.
2. Nilai anomali pada peta Reduce To Pole berkisar antara nilai 519,4 nT hingga -340,1 nT.
3. Litologi yang didapatkan adalah batuan beku andesit-dasitik fresh dan teralterasi silisifikasi, argilik, hingga propilitik, tuff litik, serta lava andesit.
4. Struktur geologi pada daerah penelitian didominasi oleh struktur ekstensional dengan arah NE-SW dan E-W menjadi perangkap utama urat (vein) epitermal pembawa mineralisasi bijih utamanya tembaga (Cu) dan timbal (Pb).

5. Saran

Metode geomagnetik menggambarkan dengan baik litologi maupun struktur geologi secara horizontal, namun tidak untuk secara vertikal. Oleh karenanya untuk memperoleh gambaran geologi bawah permukaan terkait dengan kedalaman suatu target dalam kegiatan eksplorasi mineral diperlukan data pemoran.

Daftar Pustaka

- [1] Bemmelen, R. W. Van, 1949. The Geology of Indonesia. The Goge, Martinus Nijhoff, vol.IA
- [2] Nahrowi, T.Y., Suratman, S., Naida dan Hidayat, S. (1978). Geologi Pegunungan Selatan Jawa Timur. Bagian Eksplorasi PPTMGB Lemigas. Cepu.
- [3] Pulunggono, dan S. Martodjojo. 1994. Perubahan Tektonik Paleogene-Neogene Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa. Proceedings Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa. Hal 37-50
- [4] Salem, A. et al, 2008, Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives, GEOPHYSICS, 73(1), L1-L10
- [5] Samodra, H., Gafoer, S., dan Tjokrosoepoetro, S., 1992, Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa, skala 1:100.000, Pusat Penambangan Geologi, Bandung
- [6] Sartono, S. 1964. Stratigraphy and Sedimentation of the easternmost of Gunung Sewu (EastJava). Publikasi Teknik Seri Geologi Umum No. 1. Direktorat Geologi, Bandung.
- [7] Smyth, H., Hall, R., Hamilton, J., Kinny, P., East Java: Cenozoic Basins Volcanoes and Ancient Basement. Indonesian Petroleum Association, Proceedings 30th Annual Convention. Jakarta, 251-266, 2005
- [8] Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E., 1990, Applied geophysics, Cambridge University Press