

Pemodelan struktur bawah permukaan berdasarkan data anomali magnetik tereduksi ke kutub di kawasan prospek bijih emas desa paningkaban kecamatan Gumelar kabupaten Banyumas

Syimah Nur Rahmah Shabrina, Sehad*, Sukmaji Anom Raharjo

¹ Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah Indonesia
*e-mail: sehad@unsoed.ac.id

Abstrak – Penelitian dilakukan di kawasan prospek bijih emas Desa Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas. Penelitian bertujuan untuk memetakan data anomali magnetik dan memodelkan struktur geologi bawah permukaan secara dua dimensi (2D) berdasarkan analisis tilt derivative data anomali magnetik yang tereduksi ke kutub. Filter tilt derivative berfungsi untuk mempertegas batas struktur geologi khususnya sesar dan batuan intrusi, sehingga mempermudah proses interpretasi data anomali magnetik. Pengolahan data medan magnetik dilakukan diperoleh data anomali magnetik lokal. Selanjutnya data anomali lokal direduksi ke kutub, sehingga diperoleh nilai anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub sebesar -381,8 – 218,7 nT. Berdasarkan analisis tilt derivative, pola kontras sebaran anomali yang bernilai tinggi berada dalam arah timur – barat. Hal ini diinterpretasi sebagai pola sebaran struktur sesar dan tubuh batuan intrusi di daerah penelitian yang merupakan jalur mineralisasi emas. Pemodelan 2D telah dilakukan menggunakan software Geosoft Oasis Montaj v. 8.4 untuk mengetahui model struktur geologi bawah permukaan pada Lintasan AA', BB', dan CC'. Hasil-hasil pemodelan 2D menunjukkan bahwa pada Lintasan AA' terdapat satu batuan intrusi andesit, Lintasan B-B' terdapat dua batuan intrusi andesit, dan Lintasan C-C' terdapat satu batuan intrusi dan satu sesar. Batuan intrusi tersebut diperkirakan merupakan lokasi terjadinya mineralisasi emas.

Kata kunci: anomali magnetik, tilt derivative, reduksi ke kutub, mineralisasi emas, Desa Paningkaban

Abstract – The research was carried out in the gold ore prospect area of Paningkaban Village, Gumelar District, Banyumas Regency. This research aims to map magnetic anomaly data and model subsurface geological structures in two dimensions (2D) based on tilt derivative analysis of magnetic anomalies data which are reduced to the poles. The tilt derivative filter serves to reinforce the boundaries of geological structures, especially faults and intrusive rocks, thus facilitating the interpreting process of magnetic anomalies data. Magnetic field data processing is carried out to obtain local magnetic anomalies data. Furthermore, the local anomalies data are reduced to the poles, in order to obtain local magnetic anomalies data reduced to the poles with values ranging from -381.8–218.7 nT. Based on the tilt derivative analysis, the high-value anomaly contrast patterns are in the east - west direction. This can be interpreted as a pattern of distribution of fault structures and intrusive rock bodies in the research area which is a path of gold mineralization. 2D-modeling has been carried out using Geosoft Oasis Montaj v. 8.4 to obtain the subsurface geological structure model in the AA', BB', and CC' sections. The 2D-modeling results show that in the AA' section there is one andesitic intrusion, in the BB' section there are two andesite intrusions, and in the CC' section there are one intrusion and one fault. The intrusive rock is thought to be the location of gold mineralization.

Key words: Geoelectric, Geomagnetic, Liyangan Site

PENDAHULUAN

Secara umum potensi sumberdaya alam bawah permukaan, khususnya bijih emas di wilayah Kabupaten Banyumas relatif lebih tinggi dibandingkan dengan daerah-daerah di sekitarnya [1]. Luas wilayah di Kabupaten Banyumas yang diperkirakan prospek mengandung bijih emas adalah 16.000 ha. Meskipun lokasinya relatif tersebar, tetapi bijih emas berada pada jalur endapan aluvial yang

terus menyambung hingga ke kawasan lereng Gunungapi Slamet. Beberapa wilayah yang diestimasi prospek mengandung bijih emas adalah Kecamatan Gumelar, Ajibarang, Cilongok, Rawalo, Purwojati, Kebasen, Patikraja, Kemranjen, dan Somagede [2]. Meskipun jumlah kandungan emasnya belum diketahui, namun saat ini di beberapa wilayah tersebut telah berkembang kegiatan pertambangan bijih emas tradisional yang dikelola masyarakat. Umumnya masyarakat

menambang bijih emas dengan menggali pasir yang diduga mengandung butiran logam emas dalam sumur-sumur yang berkedalaman 50 – 100 m (seperti terlihat pada **Gambar 1**) yang diteruskan dengan pembuatan terowongan horisontal. Penggalian terowongan dilakukan secara acak ke kanan dan kiri, kemudian ke bawah lagi dengan kedalaman tidak pasti untuk mengikuti “jalur emas” tanpa memperhatikan dampak negatif, seperti tanah longsor dan lingkungan yang rusak.

Salah satu desa di Kecamatan Gumelar yang merupakan lokasi kegiatan penambangan emas adalah Desa Panningkaban [3]. Desa Panningkaban termasuk kawasan yang memiliki tipe lingkungan pengendapan, berbentuk endapan emas epitermal sulfidasi rendah [4]. Kondisi ini dicirikan dengan kehadiran mineral-mineral seperti emas (Au), elektum (Au-Ag), perak (Ag), pirit (FeS₂), arsenopirit (FeAsS), kalkopirit (CuFeS₂) dan galena (PbS) pada alterasi argilik [5]. Pengendapan emas epitermal sulfidasi rendah merupakan lingkungan yang dapat terbentuk dari suatu proses dilatasi fluida hidrotermal dengan kedalaman sekitar 1 – 2 km dengan suhu sekitar 150° – 300°C [6]. Kendala penambangan yang dialami oleh masyarakat tersebut adalah kurangnya teknologi, minimnya pemahaman zona-zona yang memiliki potensi mineral emas dan prospek pengembangannya, serta keterbatasan data dan informasi [1]. Oleh sebab itu hasil penelitian yang diperoleh ini diharapkan dapat membantu Pemerintah Daerah Kabupaten Banyumas dan masyarakat desa dalam memetakan potensi endapan bijih emas, sehingga dapat diambil kebijakan strategis di dalam mengelola sumberdaya alam bijih emas yang menguntungkan semua pihak dengan tidak merusak lingkungan.



Gambar 1. Salah satu sumur tambang emas yang dikelola oleh masyarakat Desa Panningkaban.

Penelitian geofisika metode magnetik pernah dilakukan di Desa Panningkaban untuk memodelkan struktur batuan bawah permukaan di kawasan pertambangan emas rakyat [3]. Hasil yang diperoleh menunjukkan ada intrusi batuan beku namun masih belum jelas polanya. Agar hasil pemodelan lebih jelas, maka pengolahan data pada penelitian ini menerapkan teknik pemfilteran *tilt derivative*. Teknik ini dapat diterapkan untuk mempertegas batas anomali magnetik terhadap batuan di sekitarnya. Selain itu metode *tilt derivative* ini juga dapat digunakan untuk memetakan struktur dan perlapisan batuan. Filter ini membatasi frekuensi anomali residual yang masuk dengan cara menerapkan fungsi tangensial. Oleh sebab itu, filter *tilt derivative* memasukkan dua keseimbangan dari efek pemfilteran yaitu *vertical derivative* dan *horizontal derivative* [7]. Filter *tilt derivative* juga dapat digunakan untuk pemetaan struktur geologi yang dangkal serta eksplorasi mineral emas epitermal [8].

LANDASAN TEORI

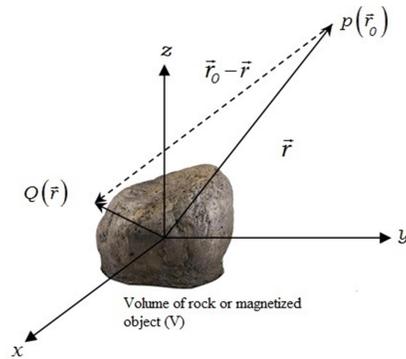
A. Metode Magnetik

Anomali magnetik merupakan medan magnet yang berasal dari sebaran benda atau batuan bawah permukaan bumi yang termagnetisasi. Telford et.al. [11] menyatakan suatu volume benda yang terdiri atas bahan-bahan magnetik dapat dianggap sebagai dipol magnetik seperti **Gambar 2**. Magnetisasi yang terjadi pada benda atau batuan tersebut tergantung dari rekam jejaknya selama benda itu berada di dalam medan magnetik utama bumi, atau dengan kata lain tergantung dari induksi magnetik yang diterima benda dari medan magnetik utama bumi. Berdasarkan **Gambar 2**, besar potensial magnetik di seluruh volume batuan dapat dirumuskan [9]:

$$V(\vec{r}_0) = -C_m M \frac{\partial}{\partial \alpha} \int \left[\frac{dV}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right] \quad (1)$$

dengan M adalah momen dipol magnetik per satuan volume dan C_m adalah suatu tetapan. Besar induksi magnetik total batuan tersebut dapat dirumuskan [9]:

$$\vec{B}(\vec{r}_0) = C_m \nabla \int_V \vec{M}(\vec{r}) \cdot \nabla \left[\frac{1}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \right] dV \quad (2)$$



Gambar 2. Anomali magnetik dari batuan atau benda anomali bawah permukaan bumi [9].

Medan induksi magnetik seperti ditunjukkan pada persamaan (2) disebut sebagai anomali magnetik yang berada bersama-sama dengan medan magnetik utama bumi B_0 berada di suatu titik lokasi pengukuran. Dengan demikian, medan magnetik total sebenarnya yang terukur pada peralatan di suatu titik lokasi pada permukaan bumi adalah gabungan antara medan magnetik utama bumi (B_0) dan anomali medan magnetik (B_{Δ}) dengan asumsi bahwa medan magnetik luar diabaikan. Secara umum formulasinya dapat dinyatakan [9]:

$$\vec{B}_T = \vec{B}_0 + \vec{B}(\vec{r}_0) \quad (3)$$

B. Reduksi ke Kutub

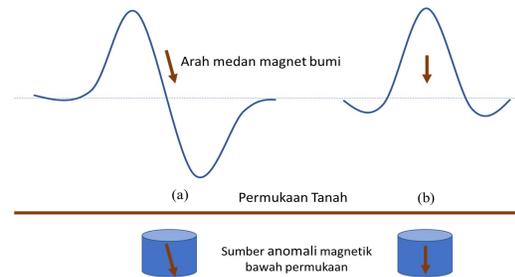
Reduksi ke kutub dapat dilakukan dengan membawa data anomali magnetik menuju kutub utara medan magnetik bumi sehingga kondisi data medan magnetik di daerah penelitian menjadi seperti di kutub utara (sudut inklinasi diasumsikan 90° dan deklinasi diasumsikan 0°). Hasil reduksi ke kutub menunjukkan anomali magnetik yang bersifat monopol dan memiliki pola yang simetris, dimana kurva anomali magnetik berbentuk setengah gelombang. Berdasarkan hasil reduksi ke kutub, benda atau sumber anomali dianggap berada tepat di bawah puncak kurva yang memiliki nilai anomali magnetik tertinggi mirip kurva anomali gravitasi. Proses reduksi data anomali magnetik di dalam domain frekuensi ke kutub dapat dinyatakan dengan persamaan [10]:

$$\Delta B_{\perp}(x, y) = H(x, y)\Delta B(x, y) \quad (4)$$

Dalam transformasi Fourier cepat (*Fast Fourier Transform*), persamaan (4) dapat dituliskan [10]:

$$F[\Delta T_r] = F[\psi_r]F[\Delta T] \quad (5)$$

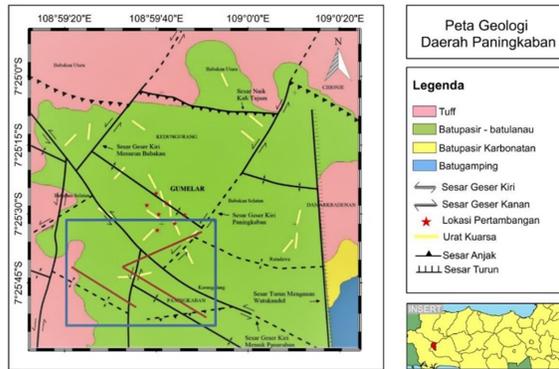
Penerapan $F[\psi_r]$ disebut sebagai reduksi ke kutub, sebab ΔT_r adalah anomali magnetik yang akan “diukur” di kutub utara magnetik bumi. Magnetisasi induksi dan medan magnetik *ambient* akan terarah secara vertikal ke bawah seperti terlihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Profil anomali magnetik (a) pada posisi *mid-latitude* dan (b) pada posisi di kutub (hasil reduksi ke kutub) [10].

C. Geologi Daerah Penelitian

Stratigrafi Desa Paningkaban dan sekitarnya terdiri atas tiga formasi batuan. Susunan formasi batuan dari yang tertua hingga termuda adalah Formasi Tapak, Formasi Kumbang, dan Formasi Halang. Pada Formasi Halang terdapat satuan batupasir-batulanau yang diestimasi berusia Miosen Tengah hingga Pliosen Awal dengan ketebalan 800 – 2.400 m [11]. Sedangkan Formasi Kumbang secara selaras diendapkan di atas Formasi Halang, yang terdiri dari breksi gunungapi, lava, tuff, batupasir tufaan yang berumur Miosen Atas [12]. Menurut Hutamadi dan Mulyana [13], struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian umumnya berupa sesar naik, sesar normal, dan sesar geser dengan arah baratlaut-tenggara hingga timurlaut-baratdaya serta perlipatan berupa sinklin dan antiklin pada arah relatif barat-timur. Mineralisasi terjadi di dalam batuan breksi berupa urat-urat logam *pyrite* halus yang mengisi rekahan. Keberadaan mineral *pyrite* biasanya merupakan indikasi awal dari jejak mineralisasi emas, karena emas dapat bersosialisasi dengan *pyrite*, sehingga mineral emas kemungkinan terdapat di dalam *pyrite*. Secara lengkap peta geologi daerah penelitian ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Peta geologi daerah Paningkaban – Cihonje dan sekitarnya [14].

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian adalah area pertambangan emas rakyat dan sekitarnya yang berada di Desa Paningkaban Kecamatan Gumelar Kabupaten Banyumas. Akuisisi data magnetik telah dilaksanakan pada bulan Mei – Nopember 2013. Sedangkan proses pengolahan data yang menggunakan filter reduksi ke kutub dilaksanakan pada bulan Juli – Desember 2022.

B. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas peralatan untuk akuisisi data di lapangan dan peralatan yang digunakan untuk pengolahan data di laboratorium. Peralatan lapangan terdiri atas *Proton Precession Magnetometer* (PPM) GSM-19T produk GEM System dengan ketelitian 0,05 nT, *Global Positioning System* (GPS) V produk Garmin, kompas, peta topografi, kamera digital, lembar data, dan sebagainya. Sedangkan peralatan di laboratorium terdiri atas laptop, serta beberapa perangkat lunak seperti Microsoft Excel, Surfer, Fortran, Oasis Montaj, dan sebagainya.

C. Pelaksanaan Penelitian

Pengukuran medan magnetik total dan posisi geografis dilakukan secara bersama menggunakan PPM dan GPS pada setiap *station*. Data yang dicatat selama pengukuran meliputi: kuat medan magnetik, posisi geografis, hari, tanggal, waktu (jam dan menit), serta kondisi lingkungan. Jarak antara satu *station* dan *station* berikutnya diusahakan sama dan teratur. Untuk mendapatkan data anomali magnetik,

maka dilakukan koreksi terhadap data kuat medan magnetik hasil pengukuran di setiap *station* yang meliputi koreksi harian, koreksi IGRF, dan koreksi topografi. Persamaan koreksinya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta H = H_{Total} - \Delta H_{Harian} - H_0 - \Delta H_{Topo} \quad (6)$$

H_{Total} adalah kuat medan magnetik total yang terukur di setiap *station*, ΔH_{Harian} adalah nilai koreksi harian, H_0 adalah medan magnetik utama bumi atau nilai IGRF, dan ΔH_{Topo} adalah koreksi topografi.

Data anomali magnetik yang diperoleh dari persamaan (6) masih terdistribusi pada permukaan topografi atau dituliskan $\Delta H(\lambda, \vartheta, h)$. Untuk pengolahan menuju tahap berikutnya, data harus direduksi ke bidang datar. Metode yang digunakan untuk mereduksi data dari topografi ke bidang datar adalah pendekatan Deret Taylor dengan persamaan [10]:

$$\Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)^{[i+1]} = \Delta H(\lambda, \vartheta, h) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(h-h_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} \Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)^{[i]} \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan (7), nilai $\Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)$ yang tersebar pada bidang datar dapat diestimasi melalui pendekatan, yaitu nilai $\Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)$ yang diperoleh dari proses iterasi ke- i dapat digunakan untuk mendapatkan nilai $\Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)$ pada iterasi ke $(i+1)$. Proses iterasi ini dilakukan secukupnya, sedemikian hingga nilai yang diperoleh menunjukkan konvergen [10].

Data anomali magnetik yang diperoleh dari persamaan (7) belum bersih dari efek magnetik regional. Oleh karena itu data anomali magnetik tersebut harus dibersihkan dari efek regional. Data anomali regional bisa diperoleh melalui proses pengangkatan data (*upward continuation*) hingga ketinggian tertentu, sehingga perubahan data memperlihatkan pola yang sangat halus. Persamaan pengangkatan data anomali ke atas dapat dituliskan [10]:

$$\Delta H(\lambda', \vartheta', h_0 + \Delta h) = \frac{\Delta h}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta H(\lambda, \vartheta, h_0)}{\sqrt{((\lambda-\lambda')^2 + (\vartheta-\vartheta')^2 + \Delta h^2)^{3/2}}} d\lambda d\vartheta \quad (8)$$

Data yang diperoleh, selanjutnya dikoreksikan terhadap data anomali magnetik yang dihasilkan persamaan (7), sehingga diperoleh data anomali magnetik lokal dengan persamaan:

$$\Delta H_L(\lambda, \vartheta, h_0) = \Delta H(\lambda', \vartheta', h_0) - \Delta H(\lambda', \vartheta', h_0 + \Delta h) \quad (9)$$

Data anomali lokal yang diperoleh dari persamaan (9) ini selanjutnya direduksi ke kutub. Metode ini bertujuan untuk menghilangkan efek sudut inklinasi dan deklinasi magnetik. Reduksi ke kutub data anomali magnetik diperlukan sebelum menerapkan *tilt derivative*, sebab data anomali memiliki sifat dipol yang menyulitkan interpretasi data lapangan yang pada umumnya masih berpola asimetrik [15]. Hasil dari reduksi ke kutub adalah data anomali magnetik yang bersifat monopol. Nilai inklinasi, deklinasi, dan waktu pengukuran merupakan parameter pengontrol hasil reduksi tersebut. Inklinasi adalah sudut antara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah. Adapun deklinasi adalah sudut antara utara medan magnetik dengan komponen horizontal yang dihitung dari arah utara menuju ke timur.

Filter *tilt derivative* merupakan salah satu metode analisis turunan yang digunakan untuk memperjelas batas-batas dan bentuk anomali yang menjadi target penelitian [16]. Filter *tilt derivative* dalam pengolahan data magnetik baik digunakan untuk membantu menentukan struktur dan perlapisan. Data anomali magnetik yang tereduksi ke kutub digunakan sebagai data untuk analisis *tilt derivative*. Hasil perpaduan keduanya membantu pemodelan, sehingga hasilnya terlihat lebih detail. *Tilt derivative* merupakan suatu fungsi tangensial yang dapat dirumuskan [16]:

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{h}{z_c} \right] \quad (10)$$

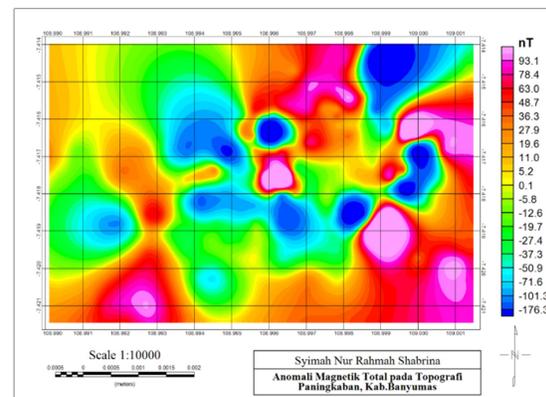
Berdasarkan hasil analisis *tilt derivative*, selanjutnya data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub dimodelkan secara dua dimensi (2D). Pemodelan bertujuan mengetahui struktur geologi bawah permukaan di sepanjang sayatan atau lintasan yang diletakkan di atas target atau benda anomali. Pemodelan dilakukan menggunakan *Geosoft Oasis Montaj*. Pemodelan ini melibatkan beberapa parameter seperti nilai IGRF, sudut inklinasi, sudut deklinasi, data elevasi, bentuk geometri, nilai suseptibilitas magnetik, dan lain-lain. Pemodelan dilakukan dengan cara mencocokkan kurva model dan kurva observasi. Apabila tidak sesuai, maka pemodelan harus diulang dengan mengubah beberapa parameter sehingga dicapai kesesuaian. Setelah melakukan pemodelan, maka model yang diperoleh tersebut

diinterpretasi. Hasil interpretasi dicocokkan dengan informasi geologi daerah tersebut untuk memperoleh korelasi yang baik antara data model dan peta geologi. Tubuh batuan yang telah teridentifikasi pada pemodelan tersebut akan dikaji mana yang membawa mineral emas, sebab umumnya mineral emas menempel pada tubuh batuan tertentu, tidak berbentuk bongkahan [17].

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengolahan Data

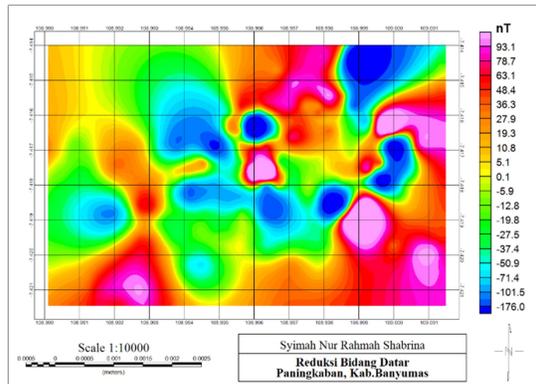
Daerah penelitian merupakan kawasan penambangan emas rakyat di Desa Paningkaban Kecamatan Gumelar Kabupaten Banyumas. Secara geografis daerah penelitian terletak pada posisi $108^{\circ}59'24.61''$ hingga $109^{\circ}0'5.11''$ BT dan $7^{\circ}24'50.51''$ hingga $7^{\circ}25'17.00''$ LS, dengan luas daerah penelitian kurang lebih $1,02 \text{ km}^2$. Data yang diperoleh di lapangan adalah kuat medan magnetik total. Setelah dilakukan koreksi IGRF dan harian, diperoleh data anomali magnetik total yang tersebar pada topografi dengan nilai berkisar $-176,3 - 93,1 \text{ nT}$, dimana peta konturnya ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Peta kontur anomali magnetik total daerah penelitian; Desa Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas.

Topografi daerah penelitian mempunyai tinggi permukaan yang tidak rata, sehingga masing-masing *station* pengukuran memiliki ketinggian yang berbeda-beda. Nilai ketinggian pada daerah penelitian ini kurang lebih bernilai 241,5 hingga 162,9 meter. Permukaan yang lebih tinggi terdapat di bagian barat daya dan timur laut. Sebagaimana telah dijelaskan di dalam Metode Penelitian, data anomali magnetik total perlu dibawa ke bidang datar menggunakan pendekatan Deret Taylor. Agar iterasi Deret

Taylor mencapai konvergen, maka bidang datar diambil pada ketinggian rata-rata topografi daerah penelitian [10], yaitu 191,37 meter. Peta kontur anomali magnetik total yang telah terdistribusi pada bidang datar ditunjukkan pada **Gambar 6**.

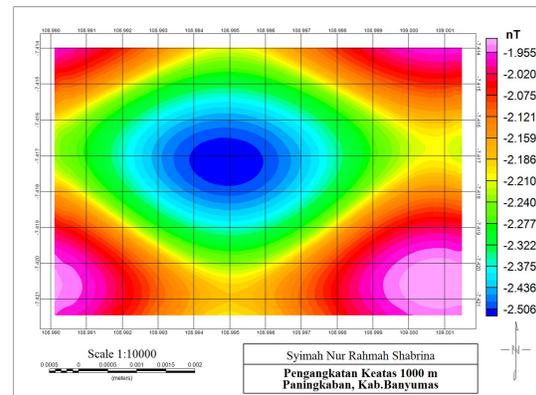


Gambar 6. Peta kontur anomali magnetik total daerah penelitian yang telah tereduksi ke bidang datar.

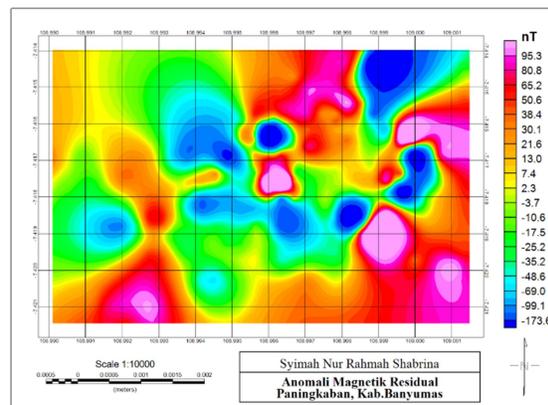
Koreksi medan magnetik regional dimulai dengan proses pengangkatan data anomali magnetik total ke atas. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan pola anomali magnetik yang berasal oleh sumber anomali yang dalam dan dan luas, yang disebut sebagai anomali magnetik regional. Pengangkatan ke atas juga berfungsi untuk menghilangkan *noise* dan efek-efek anomali magnetik dari sumber-sumber dangkal di permukaan bumi yang tidak menjadi target survei. Teknis pengangkatan ke atas dilakukan *step by step* hingga diperoleh pola kontur anomali yang sangat halus dengan interval nilai kecil. Pada penelitian ini, variasi ketinggian untuk pengangkatan ke atas adalah 200 m, 250 m, 300 m, 500 m, 800 m, 1.000 m, 1.200 m, 1.300 m, 1.400 m, dan 1.500 m. Hal ini dilakukan agar dapat melihat perubahan dan menganalisa pola kontur anomali dari setiap ketinggian tersebut. Hasil analisa menunjukkan bahwa data anomali magnetik regional diperoleh pada ketinggian pengangkatan 1.000 m seperti ditunjukkan pada **Gambar 7**.

Peta kontur anomali magnetik regional menunjukkan zona anomali tinggi dikelilingi zona anomali yang lebih rendah. Pada lingkungan pengendapan emas epitermal sulfida rendah, zona anomali magnetik tinggi yang dikelilingi zona anomali rendah dapat diasumsikan sebagai tubuh intrusi pada sumber yang dalam. Data anomali magnetik regional, selanjutnya dikoreksikan terhadap data anomali

magnetik total yang telah terdistribusi di bidang dasar sehingga diperoleh data anomali magnetik lokal. Anomali magnetik lokal adalah data anomali yang terbentuk akibat respon dari batuan bawah permukaan yang bersifat dangkal [18]. Data anomali magnetik lokal yang diperoleh memiliki nilai berkisar dari -173,6 – 95,3 nT dengan peta kontur ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 7. Peta kontur anomali magnetik regional daerah penelitian hasil pengangkatan pada ketinggian 1.000 m.

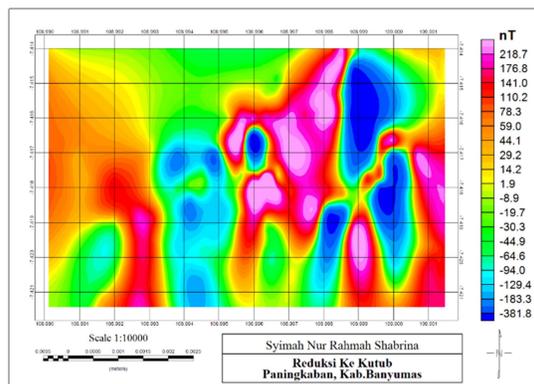


Gambar 8. Peta kontur anomali magnetik lokal daerah penelitian hasil koreksi efek regional.

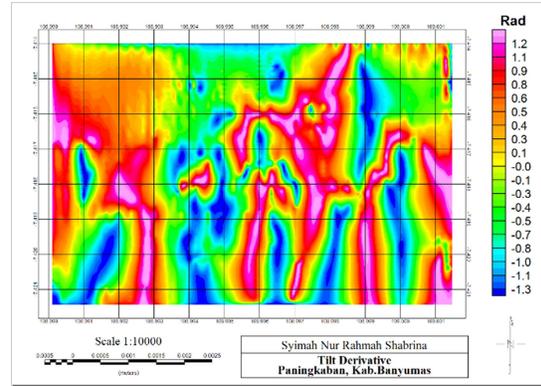
Data anomali lokal yang diperoleh, selanjutnya direduksi ke kutub. Sebagaimana telah dijelaskan pada bagian Metode Penelitian, reduksi ke kutub bertujuan untuk mereduksi efek dipol. Peta kontur anomali magnetik lokal seperti ditunjukkan pada **Gambar 8** masih bersifat dipol, sehingga posisi sumber anomali masih tidak tepat di atas pusat *closure* anomali. Oleh karena itu, pemfilteran dengan reduksi ke kutub cukup tepat dilakukan agar sumber anomali tepat berada di bawah pusat *closure* anomali magnetik. Proses reduksi ke kutub

dilakukan menggunakan Geosoft Oasis Montaj. Data yang direduksi ke kutub adalah data anomali magnetik lokal. Secara visual peta kontur anomali magnetik lokal hasil reduksi ke kutub dapat dilihat pada **Gambar 9**, dengan nilai anomali berkisar $-381,8 - 218,7$ nT. Berdasarkan informasi dari peta geologi, di daerah penelitian terdapat batuan breksi andesit serta sesar yang menunjukkan arah Selatan - Utara. Nilai anomali tinggi diinterpretasi sebagai batuan beku intrusi yang mengandung mineralisasi emas.

Filter *tilt derivative* merupakan salah satu filter yang sangat baik digunakan untuk interpretasi struktur geologi. Filter ini berfungsi mempertegas sumber anomali bawah permukaan. Hasil penerapan *tilt derivative* pada data anomali magnetik lokal yang telah direduksi ke kutub dapat ditunjukkan pada **Gambar 10**. Gambar ini menunjukkan bahwa estimasi nilai kontur anomali berada pada kisaran $-1,3-1,2$ radian. Jika dilihat perbandingan antara peta kontur anomali residual dan peta kontur *tilt derivative*, pada bagian selatan memiliki beberapa hasil yang konsisten dan tidak banyak perubahan. Bagian tersebut dapat diinterpretasi sebagai intrusi batuan beku dekat dengan permukaan. Namun pada bagian barat laut terdapat juga sumber anomali yang kontras. Hal ini diduga berasal dari sumber anomali yang lebih dalam. Bijih emas di daerah penelitian termasuk bijih emas dengan sulfida rendah sehingga batuan intrusi terdapat di dalam (bawah permukaan tanah) [17].



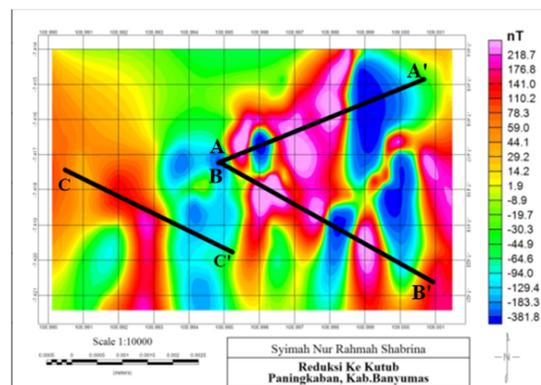
Gambar 9. Peta kontur anomali magnetik lokal daerah penelitian yang telah direduksi ke kutub.



Gambar 10. Peta konur *tilt derivative* terhadap data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub.

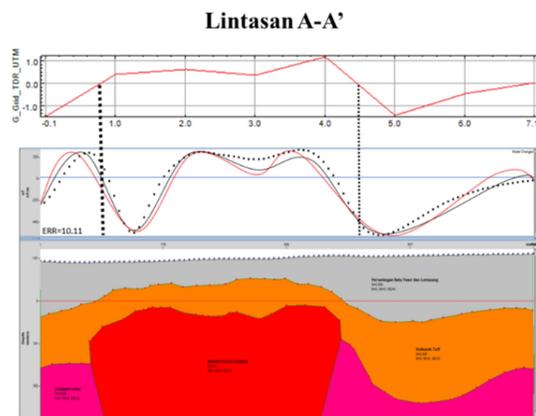
B. Hasil Pemodelan dan Interpretasi Data

Pemodelan data anomali magnetik lokal yang direduksi ke kutub didasarkan atas informasi peta kontur *tilt derivative*. Peta ini digunakan untuk memperkirakan zona alterasi yang dapat dilihat pada anomali rendah dan tertutup. Tertutupnya anomali tersebut menandakan sebagai obyek spesifik dengan ukuran yang tidak terlalu besar [16]. Anomali rendah ini juga diperkirakan bersumber dari zona alterasi yang mengandung mineral-mineral sulfida rendah yang biasanya berupa *pyrite*, *chlocopyrite*, *arsenopyrite*, serta sinabar di daerah penelitian [5]. Berdasarkan hasil analisis *tilt derivative*, penentuan lintasan model pada peta kontur anomali lokal yang direduksi ke kutub dapat dilakukan. Pada penelitian ini ditentukan tiga lintasan yaitu Lintasan AA' dengan panjang 710 m, Lintasan BB' dengan panjang 745 m dan Lintasan CC' dengan panjang sekitar 595 m. Secara visual posisi lintasan-lintasan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Lintasan pemodelan AA', BB', dan CC' pada peta anomali magnetik lokal hasil reduksi ke kutub.

Pemodelan dua dimensi (2D) data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub dilakukan di sepanjang lintasan-lintasan tersebut dengan metode *forward modelling*. Metode *forward modelling* merupakan metode pemodelan data anomali yang tidak langsung [19] atau memperkirakan nilai suseptibilitas magnetik batuan bawah permukaan dengan jalan membuat model benda anomali terlebih dahulu. Metode ini dilakukan secara *trial and error* sehingga mendapatkan bentuk dan nilai suseptibilitas magnetik yang cocok sesuai kondisi geologi bawah permukaan penelitian. Hasil-hasil pemodelan data anomali magnetik ditunjukkan pada **Gambar 12**, **Gambar 13**, dan **Gambar 14**.



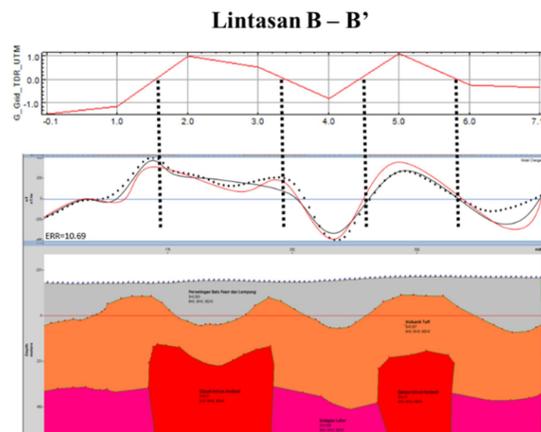
Gambar 12. Grafik *tilt derivative* dan hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan AA'.

Pola *tilt derivative* yang cenderung membentuk lengkung atas pada **Gambar 12** mengindikasikan keberadaan sumber anomali bawah permukaan di daerah penelitian. Fasa 0 (nol) yang ditunjukkan pada pola tersebut mengindikasikan batas struktur, yaitu batas antara batuan beku intrusi dengan batuan lingkungan di sekitarnya. Pemodelan *forward* terhadap data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan AA' secara 2D telah menghasilkan empat batuan, seperti terlihat pada **Gambar 12**. Hasil pemodelan juga menunjukkan bahwa batuan intrusi andesit terlihat menerobos lapisan batuan yang terdapat di atasnya, sehingga mengakibatkan terjadi patahan pada batuan di sekeliling batuan intrusi tersebut. Selanjutnya hasil interpretasi terhadap hasil-hasil pemodelan ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil interpretasi terhadap hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan AA'

Warna Model	Estimasi Kedalaman (m)	Kontras Suseptibilitas (dalam cgs)	Interpretasi
Grey	0 - 200	0,004	lapisan perselingan batu pasir dan lempung top soil
Orange	90 - 500	0,006	lapisan vulkanik tuff
Pink	350 - 700	0,008	lapisan endapan lahar
Red	200 - 700	0,010	batuan intrusi andesit

Pola *tilt derivative* yang cenderung membentuk dua buah lengkung atas mengindikasikan keberadaan dua buah benda anomali bawah permukaan. Fasa 0 seperti ditunjukkan pada pola *tilt derivative* tersebut menunjukkan batas struktur, yaitu batas fisis antara batuan intrusi dengan batuan lingkungan di sekitarnya, baik intrusi pertama maupun kedua. Pemodelan 2D dengan teknik *forward* terhadap data anomali magnetik lokal yang telah tereduksi ke kutub di sepanjang Lintasan BB' telah menghasilkan empat blok batuan, seperti terlihat pada **Gambar 13**. Selanjutnya hasil interpretasi litologi terhadap hasil pemodelan ditunjukkan pada **Tabel 2**.

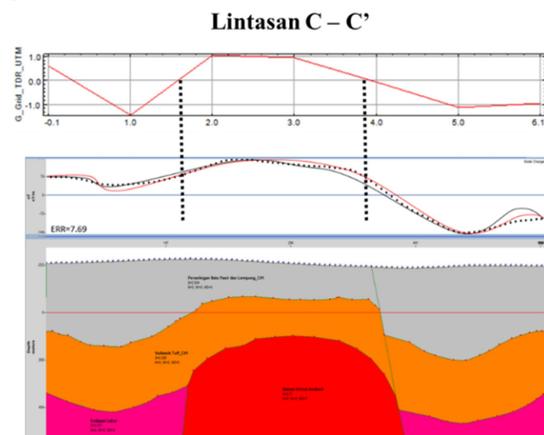


Gambar 13. Grafik *tilt derivative* dan hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan BB'.

Tabel 2. Hasil interpretasi terhadap hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan BB'

Warna Model	Estimasi Kedalaman (m)	Kontras Suseptibilitas (dalam cgs)	Interpretasi
Grey	0 - 200	0,004	lapisan perselingan batu pasir dan lempung top soil
Orange	90 - 600	0,006	lapisan vulkanik tuff
Pink	500 - 700	0,008	lapisan endapan lahar
Red	350 - 700	0,010	batuan intrusi andesit

Pola *tilt derivative* yang cenderung membentuk lengkung atas pada **Gambar 14** mengindikasikan keberadaan sumber anomali bawah permukaan di daerah penelitian. Fasa 0 yang ditunjukkan pada pola tersebut menunjukkan batas struktur, yaitu batas antara batuan intrusi dengan batuan lingkungan di sekelilingnya. Pemodelan *forward* secara 2D terhadap data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan CC' telah menghasilkan empat blok batuan, seperti terlihat pada **Gambar 14**. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa batuan intrusi andesit menerobos lapisan batuan yang terdapat di atasnya, sehingga mengakibatkan terjadi patahan pada batuan tersebut. Secara lengkap hasil interpretasi terhadap hasil-hasil pemodelan ditunjukkan pada **Tabel 3**.



Gambar 14. Grafik *tilt derivative* dan hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan CC'.

Tabel 3. Hasil interpretasi terhadap hasil pemodelan data anomali magnetik lokal tereduksi ke kutub pada Lintasan CC'

Warna Model	Estimasi Kedalaman (m)	Kontras Suseptibilitas (dalam cgs)	Interpretasi
■	0 - 300	0,004	lapisan perselingan batu pasir dan lempung top soil
■	100 - 600	0,006	lapisan vulkanik tuff
■	500 - 700	0,008	lapisan endapan lahar
■	250 - 700	0,010	batuan intrusi andesit

C. Pembahasan

Berdasarkan informasi geologi, daerah penelitian tersusun atas batuan bawah permukaan dari Formasi Halang, Formasi Tapak, endapan lahar dan satuan intrusi andesit [12,14]. Hasil interpretasi di tiga lintasan menunjukkan intrusi batuan beku andesit tekstur

porfiritik. Intrusi batuan beku ini diperkirakan berasal dari larutan hidrotermal (magma) yang bergerak naik melalui zona-zona bukaan pada sesar akibat proses tektonik dengan membawa mineral-mineral sulfida menerobos batuan di atasnya. Dalam perjalanan, larutan hidrotermal ini bereaksi dengan batuan-batuan yang dilaluinya, sehingga mengalami alterasi (ubahan mineral) pada batuan sampling sedimen (*host rock*). Naiknya larutan hidrotermal dibuktikan adanya intrusi magma pada zona timur daerah penelitian yang memotong satuan batupasir dari Formasi Halang. Selain itu ditemukan penyebaran urat (*vein*) yang diestimasi sebagai hasil alterasi hidrotermal [17].

Mineralisasi logam sulfida yang mengandung bijih emas diperkirakan terjadi di dalam batuan lempung pasir dalam bentuk urat *pyrite* halus dan sejenisnya yang mengisi rekahan dan pori-pori batuan itu. Batuan itu diperkirakan berasal dari endapan batuan beku yang tidak terurai dan batuan sampling sedimen klastik halus karbonatan yang berasal dari Formasi Tapak. Batuan sampling sedimen itu berubah menjadi propilit dan argilit, yang di berbagai tempat terpotong oleh urat kalsit dan kuarsa. Mineralisasi bijih sulfida tersebar secara tidak merata dalam batuan sampling sedimen yang berubah, secara setempat-setempat terakumulasi di dalam batuan ubahan dan urat-urat. Beberapa mineral sulfida seperti *pyrite*, galena, dan *chalcopyrite* diperkirakan banyak mengandung bijih emas yang berasosiasi dengan kalsit dan kuarsa [17]. Di daerah penelitian, proses mineralisasi ini terkontrol melalui struktur geologi dalam bentuk sesar dan kekar [20].

KESIMPULAN

Pemodelan struktur bawah permukaan berdasarkan data anomali magnetik tereduksi ke kutub di kawasan prospek bijih emas telah dilakukan di Desa Paningkaban Kecamatan Gumelar Kabupaten Banyumas, dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Data anomali magnetik lokal yang diperoleh memiliki nilai berkisar dari -173,6 – 95,3 nT, adapun data anomali magnetik lokal yang telah tereduksi ke kutub memiliki nilai anomali berkisar -381,8 – 218,7 nT.
2. Analisis *tilt derivative* yang dilakukan terhadap data anomali magnetik lokal yang telah tereduksi ke kutub berhasil mengidentifikasi lokasi dan batas-batas struktur antara batuan intrusi dengan batuan

- lain di sekelilingnya sehingga memudahkan proses pemodelan.
3. Hasil pemodelan pada tiga lintasan; AA', BB', dan CC' menunjukkan keberadaan batuan intrusi (0,01 cgs) yang diinterpretasi sebagai batuan andesit. Intrusi batuan ini diduga berasal dari larutan hidrotermal yang bergerak naik dengan membawa mineral-mineral sulfida.
 4. Mineralisasi logam sulfida yang mengandung bijih emas diperkirakan terjadi di dalam batuan lempung pasir dalam bentuk urat *pyrite* halus dan sejenisnya yang mengisi rekahan dan pori-pori batuan itu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Laboratorium Elektronika, Instrumentasi, dan Geofisika Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman atas alat *Proton Precession Magnetometer* (PPM) tipe GSM-19T dan *Global Positioning System* (GPS) V yang digunakan dalam akuisisi data medan magnetik di lapangan. Terimakasih juga disampaikan kepada tim survei magnetik yang telah bersusah payah dan bersinergi dalam melakukan akuisisi data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Aziz, "odel Pertambangan Emas Rakyat dan Pengelolaan Lingkungan Tambang di Wilayah Desa Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah", *Dinamika Rekayasa*, vol. 10, no. 1, pp. 20-28, 2014.
- [2] A. Widagdo, dan R. Setijadi, "Potensi Bencana Geologi Pada Penambangan Emas dan Lempung di Desa Cihonje Kecamatan Gumelar Kabupaten Banyumas", *Dinamika Rekayasa*, vol. 11, no. 1, pp. 11-15, 2015.
- [3] Sehad, S.A. Raharjo, dan O. Wibowo, "Pendugaan Model Sumber Anomali Magnetik Bawah Permukaan di Area Pertambangan Emas Rakyat Desa Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas", *Jurnal Fisika Indonesia*, vol. 18, no. 53, pp. 38-42, 2014.
- [4] R. Ernawati, A. Idrus, dan H.T.B.M. Petrus, "Mineralogi dan Geokimia Endapan Emas Epitermal di Paningkaban, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah" in *Prosiding Seminar Nasional XII Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta*, 2017.
- [5] S. Aminah, "Karakterisasi Batuan Bijih Emas", *Jurnal Elemen*, vol. 5, no. 2 .pp. 66-70, 2018.
- [6] Hasria, A. Idrus, I.W. Warmada, "Karakteristik Fluida Hidrotermal Endapan Emas Orogenik di Pegunungan Rumbia, Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi Tenggara", *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, vol.20, no.2, pp. 111-117, 2019.
- [7] O.G. Prihatiwi, "Identifikasi Sesar Pati di Wilayah Jawa Tengah Menggunakan Metode First Horizontal Derivative dan Second Vertical Derivative" in *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*, 2021.
- [8] A. Zaenudin, G.R. Pambudi, M. Sarkowo, , R.Z. Sinambela, "Analisis Zona Mineralisasi Emas Denganmetode Derivative dan Pemodelan 3D Anomali Gayaberat, Studi Kasus: Pongkor, Jawa Barat", *Seminar Nasional AvoER IX*. Palembang, 2019.
- [9] W.M. Telford, L.P. Geldart, and R.E. Sheriff, *Applied Geophysics*, New York: Cambridge University Press, 1990.
- [10] R.J. Blakely, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, New York: Cambridge University Press, 1995.
- [11] R.W. Van Bemmelen, *The Geology of Indonesia, Vol. II: Economic Geology*, Hague :Government Printing Office, 1949.
- [12] M. Djuri, H. Samodra, T.C. Amin, dan S. Gafoer, "Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal", Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G), Bandung, 1996.
- [13] R. Hutamadi dan Mulyana, "Evaluasi Sumberdaya dan Cadangan Bahan Galian untuk Pertambangan Skala Kecil Daerah Kabupaten Banyumas Provinsi Jawa Tengah" , Badan Geologi. Kementerian ESDM, Jakarta, 2011.
- [14] H. Fahmi, "Geologi, Alterasi, Mineralisasi Bijih, dan Karakteristik Fluida Hidrotermal pada Endapan Emas Epitermal Sulfidasi

- Rendah di Daerah Cihonje - Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Propinsi Jawa Tengah”, Skripsi, Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada, 2015,
- [15] P. Indratmoko, M.I. Nurwidyanto, ,
”T. Yulianto Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Parang Tritis Kabupaten Bantul DIY Dengan Metode Magnetik”, *Berkala Fisika*, vol. 12 no. 4, pp. 153-160, 2009.
- [16] M. Shahverdi, L. Namaki, M. Montahaei, F. Mesbahi, ”Interpretation Of Magnetic Data Based on Tilt Derivative Methods and Enhancement of Total Horizontal Gradient, A Case Study: Zanjan Depression”, *Journal of the Earth and Space Physics*, vol. 43, no. 1, pp. 101-113, 2017.
- [17] S. Indarto, Sudarsono, I. Setiawan, , H. Permana, A. AlKautsar, A. Yuliyanti, M.D Yuniati, ”Batuan Pembawa Emas pada Mineralisasi Sulfida Berdasarkan Data Petrografi dan Kimia Daerah Cihonje Gumelar Banyumas Jawa Tengah”, *Riset Geologi dan Pertambangan*, vol. 24, no. 2, pp. 115-130, 2014..
- [18] K.A. Nugroho, Y.S. Putra, R. Perdhana, ”Interpretasi Data Anomali Magnetik Bawah Permukaan pada Daerah Kabupaten Tulungagung dan Sekitarnya”, *Prisma Fisika*, vol. 9, no. 1, pp. 4-15, 2021.
- [19] Deniyatno, ”Pemodelan ke Depan (Forward Modeling) 2 Dimensi Data Magnetik untuk Identifikasi Bijih Besi di Lokasi X Propinsi Sumatera Barat”, *Jurnal Aplikasi Fisika*, vol. 6, no. 2, pp. 76-82, 2010.
- [20] A. Budhinayaka, ”Identifikasi Struktur Geologi dan Tubuh Intrusi Menggunakan Metode Gravitasi di Daerah Mineralisasi Emas Desa Paningkaban-Cihonje, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah”, Skripsi. Program Studi S1 Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, 2016.