# Interpretasi Data Anomali Magnetik Bawah Permukaan pada Daerah Kabupaten Tulungagung dan Sekitarnya

Kunto Adi Nugroho*, Yoga Satria Putra, Radhitya Perdhana

Prodi Geofisika, FMIPA Universitas Tanjungpura, FMIPA Universitas Tanjungpura
*Email : kunto_adi_nugroho_99@student.untan.ac.id
(Diterima 4 Desember 2020; Disetujui 25 Maret 2021; Dipublikasikan 1 April 2021)

**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk menginterpretasikan susunan litologi bawah permukaan dataran aluvium di Kabupaten Tulungagung dan sekitarnya menggunakan metode geomagnetik melalui pemodelan 2D. Pengolahan data dilakukan dengan membuat kembali peta anomali magnet total Lembar Tulungagung yang diterbitkan oleh Pusat Survei Geologi melalui digitasi. Peta didigitasi pada koordinat 111°44'30" BT hingga 111°57'00" BT dan 8°01'00" LS hingga 8°15'00" LS, dalam Zona UTM 49 S. Data magnetik kemudian diolah menggunakan transformasi reduksi ke kutub, transformasi kontinuitas ke atas, dan pemodelan 2D dengan metode pemodelan ke depan. Hasil analisis data menunjukkan bahwa anomali medan magnet di lokasi penelitian berkisar antara -261 nT sampai dengan 317,6 nT. Hasil pemodelan 2D menunjukkan bahwa susunan litologi bawah permukaan daerah aluvium terdiri dari 4 lapisan, lapisan pertama adalah aluvium, lapisan kedua adalah batulempung, lapisan ketiga adalah batugamping, dan lapisan dasar adalah batuan gunungapi yang terdiri dari breksi gunungapi, andesit, dan tuf.

**Kata Kunci :** *Metode Geomagnetik, Anomali Medan magnetik, Pemodelan 2D, Litologi Bawah Permukaan, Daerah Aluvium*

## 1. Latar Belakang

Berbagai fenomena geologi yang terjadi di permukaan merupakan bagian dari aktifitas batuan di bawah permukaan bumi yang tidak dapat terlihat secara kasat mata, sehingga diperlukan penelitian untuk mengetahui kondisi bawah permukaan bumi baik itu struktur dan kedalaman. Satu diantara metode yang tepat untuk melihat kondisi bawah permukaan bumi adalah metode geomagnetik. Pengambilan data pada metode geomagnetik dan pelaksanaannya di lapangan dapat dilakukan lebih cepat, mudah, dan sederhana [1].

Berdasarkan informasi geologi Lembar Tulungagung, daerah Kabupaten Tulungagung merupakan daerah dengan sistem geologi yang mempunyai formasi batuan dari periode tersier hingga kuarter. Pada daerah Kabupaten Tulungagung terdapat wilayah yang cukup menarik untuk diobservasi yaitu pada daerah dataran yang ditutupi aluvium dengan cakupan wilayah yang cukup luas hingga mencapai daerah Kabupaten Trenggalek. Pada daerah tutupan aluvium ini diduga terdapat formasi batuan lain di bawahnya yang tidak tersingkap hingga ke permukaan. Melalui penelitian menggunakan metode geomagnetik dapat memperkirakan jenis-jenis batuan yang ada di bawah lokasi ini. Informasi mengenai ketebalan sedimen dapat berguna dalam upaya mitigasi bencana alam berupa pergerakan tanah akibat gempa bumi [2], seperti yang pernah terjadi pada 22 Juni 2020, gempa bumi di selatan Pacitan dirasakan oleh penduduk hingga di daerah Tulungagung [3]. Informasi ketebalan sedimen pada daerah yang didominasi oleh tutupan aluvium pada daerah Kabupaten Tulungagung dan sekitarnya yang diperoleh dari interpretasi data anomali magnetik dapat menjadi data pendukung pada penelitian yang menggunakan metode geofisika lainnya seperti pengukuran mikrotremor yang menggunakan seperangkat seismograf. Selain itu, melalui analisis menggunakan metode geomagnetik dapat digunakan sebagai langkah awal untuk memahami kondisi dan struktur pelapisan bawah tanah [4], serta dapat memberi arti efisiensi dalam perencanaan pekerjaan pembangunan infrastruktur serta dapat digunakan dalam upaya eksplorasi potensi sumber daya alam bahan tambang seperti bahan tambang batuan andesit [5]. Hal ini serupa dengan lokasi yang menjadi target penelitian yang mana diduga terdapat sebaran batuan andesit pada lapisan dasar bawah permukaan dari Kabupaten Tulungagung dan sekitarnya.

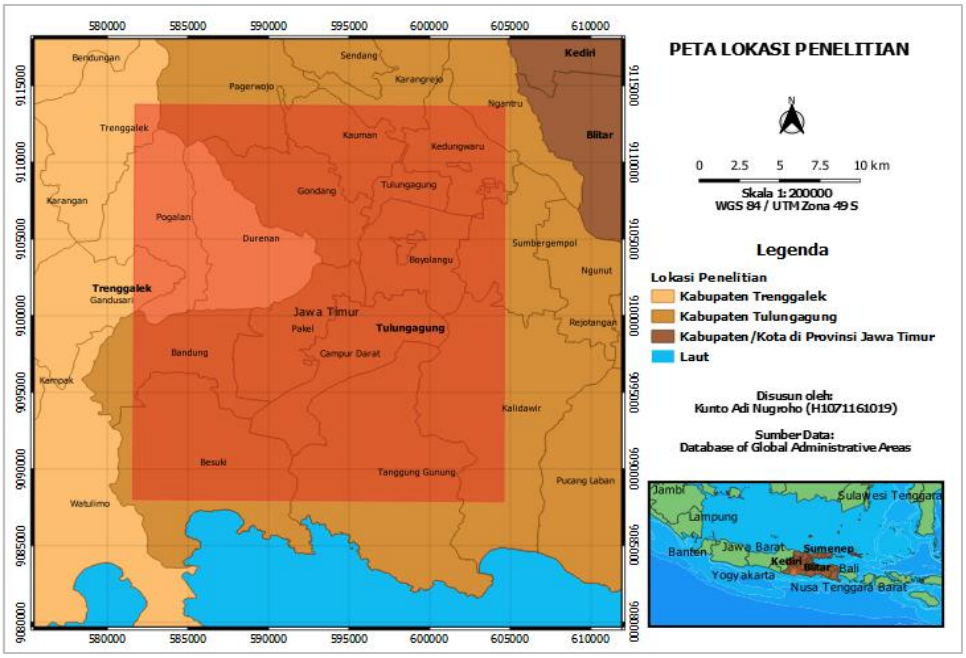
Penelitian menggunakan data anomali magnet di daerah endapan aluvium pernah dilakukan untuk mempelajari kajian proses sedimentasi di kawasan Kuala Gigieng, Aceh Besar [6]. Untuk penggunaan metode geomagnetik di daerah Kabupaten Tulungagung sendiri juga sudah pernah dilakukan sebelumnya. Pada penelitian di Desa Sukorejo Kecamatan Kalidawir untuk mengidentifikasikan sebaran mineral kromit, hasil penelitian berupa diperkirakan terdapat batuan yang mengandung

mineral kromit dengan nilai suseptibilitas 0,1083 dan 0,1184 pada medan magnet lokal sekitar 800 nT [7]. Kemudian pada penelitian di dearah Dusun Tirtosinawang Kecamatan Pucang Laban yang pada penelitiannya bertujuan untuk mengidentifikasikan mineral. Hasil pemodelan menunjukkan adanya bijih besi jenis hematit dengan nilai suseptibilitas 0,51 yang diperkirakan terdapat pada kedalaman 55,19 hingga 69,48 meter [8].

Berdasarkan metode geomagnetik yang sudah digunakan pada beberapa penelitian sebelumnya, maka dengan menggunakan metode geofisika yang sama, dilakukan interpretasi data anomali magnetik bawah permukaan pada daerah yang didominasi oleh aluvium yang mencakup wilayah dari Kabupaten Tulungagung dan Kabupaten Trenggalek. Persentase luasan wilayah penelitian daerah Kabupaten Tulungagung berkisar 83,78% dan Kabupaten Trenggalek berkisar 16,2% dari total luasan lokasi penelitian seluas sekitar 591,842 km$^2$ serta untuk luasan daerah aluvium berkisar 52,54% yaitu sekitar 310,941 km$^2$. Pada tahap interpretasi digunakan analisis kualitatif dan kuantitatif untuk membuktikan hipotesa dan mendapatkan tambahan informasi mengenai lapisan litologi bawah permukaan yang belum teridentifikasi pada informasi geologi.

## 2. Metodologi

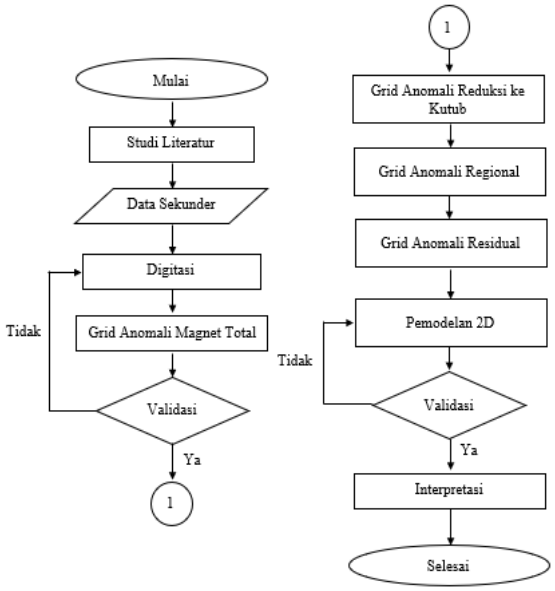
Lokasi penelitian berada di daerah Kabupaten Tulungagung dan sebagian kecil daerah Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur dengan batas koordinat antara 111°44'30" BT hingga 111°57'00" BT dan 8°01'00" LS hingga 8°15'00" LS, yang disajikan dalam peta dengan sistem koordinat UTM. Lokasi penelitian ditandai dengan kotak merah pada gambar 1. Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa peta anomali magnet total Lembar Tulungagung yang diterbitkan instansi Pusat Survei Geologi (PSG). Pengambilan data ketika di lapangan dilakukan oleh instansi Pusat Survei Geologi (PSG) menggunakan magnetometer gasing proton, berketelitian 1 nT. Untuk mencapai lokasi titik amat menggunakan kendaraan jip. Pada lokasi yang jalannya tidak memadai satu-satuya pilihan untuk mencapai titik pengamatan adalah membuat jalan rintisan. Nilai kemagnetan yang teramati ditafsir memiliki nilai error 10 nT. Penggambaran peta anomali magnet dilaksanakan dengan tangan. Nilai kontur anomali diinterpolasi bergemaris dari titik-titik amat terdekat. Penarikan garis-garis kontur anomali selanjutnya dilakukan oleh jurugambar pada instansi Pusat Survei Geologi (PSG) [9].




Gambar 1. Lokasi Penelitian [10].

Pengolahan data dimulai dari proses digitasi data sekunder hingga dihasilkan grid anomali magnet dan profil model 2D bawah permukaan lokasi target penelitian seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Pada tahap awal, digitasi dilakukan untuk mendapatkan data digital dari data sekunder, yaitu nilai anomali magnet beserta posisi koordinatnya. Setelah mendapatkan hasil digitasi dan dilakukan gridding ke dalam bentuk grid anomali magnet

total, grid tersebut kemudian divalidasi dengan cara membandingkan kesamaan nilai anomali magnetnya antara data hasil digitasi dengan data sekunder pada posisi koordinat yag sama. Grid anomali magnet total yang telah tervalidasi selanjutnya dilakukan transformasi reduksi ke kutub untuk menghilangkan pengaruh nilai inklinasi dan deklinasi lokasi penelitian sehingga menjadi berinklinasi 90° dan deklinasi 0°. Grid yang telah direduksi ke kutub kemudian ditransformasi kontinuitas ke atas. Tranformasi kontinuitas ke atas dilakukan untuk mendapatkan grid anomali regional. Interval ketinggian dalam tranformasi ini adalah 500 m, proses transformasi ini dilakukan hingga terlihat pola anomali yang cukup stabil dan teratur. Pola anomali magnet yang cukup stabil ini menggambarkan sebagai pola sebaran anomali regional. Setelah didapatkan grid anomali regional selanjutnya dibuat grid anomali residual dengan cara grid anomali reduksi ke kutub dikurang grid anomali regional. Grid anomali residual dipilih untuk dilakukan sayatan pemodelan 2D, karena target penelitian ini adalah interpretasi litologi batuan di bawah permukaan yang dangkal.




Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Grid anomali magnet total, anomali magnet reduksi ke kutub, anomali regional, dan anomali residual dianalisis secara kualitatif. Analisis dilakukan dengan cara melihat pola anomali magnet yang terbentuk, kemudian rentang nilai anomali pada masing-masing pola, serta posisi sebarannya di dalam grid. Selanjutnya diperkirakan jenis formasi batuan berdasarkan sebaran pola anomali tersebut.

Pada pemodelan 2D, profil model 2D yang sudah dibuat dianalisis secara kuantitatif. Analisis dilakukan dengan cara melihat kesesuian antara kurva observasi hasil sayatan dengan kurva pemodelan. Kesesuaian antara keduanya ditunjukkan dari nilai error yang dihasilkan kecil. Selanjutnya melihat parameter model yang dihasilkan dari metode pemodelan ke depan (*forward modelling*). Parameter model berupa nilai suseptibilitas dan model berupa kondisi geometri yang terdiri dari bentuk, posisi, maupun kedalaman batuan. Suseptibilitas menyatakan tingkat kerentanan batuan untuk terpengaruhi oleh medan magnet.

**Tabel 1.** Nilai suseptibilitas batuan.

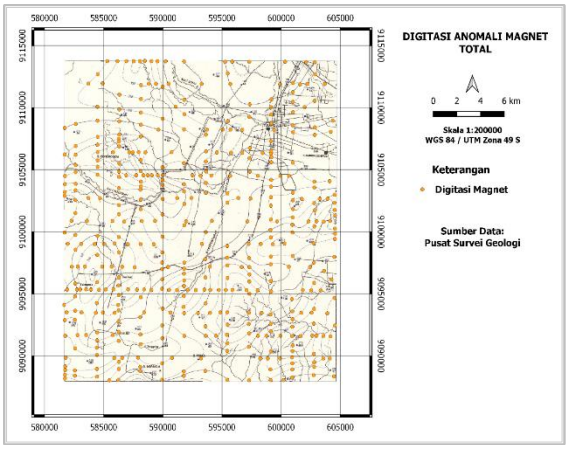
| Batuan | Tipe | Suseptibilitas × $10^{-3}$ (SI) | |
|---|---|---|---|
| | | Kisaran | Rata-rata |
| Sedimen | Dolomit | 0-0,9 | 0,1 |
| | Batugamping | 0-3 | 0,3 |
| | Batupasir | 0-20 | 0,4 |
| | Serpih | 0,01-15 | 0,6 |
| | Rata-rata sedimen | 0-18 | 0,9 |
| Metamorf | Amfibiolit | | 0,7 |
| | Sekis | 0,3-3 | 1,4 |
| | Filit | | 1,5 |
| | Gneiss | 0,1-25 | |
| | Kuarsit | | 4 |
| | Serpentin | 3-17 | |
| | Sabak | 0-35 | 6 |
| | Rata-rata metamorf | 0-70 | 4,2 |
| Beku | Granit | 0-50 | 2,5 |
| | Riolit | 0,2-35 | |
| | Dolorit | 1-35 | 17 |
| | Augit-Sienit | 30-40 | |
| | Olivin-diabas | | 25 |
| | Diabas | 1-160 | 55 |
| | Porfiri | 0,3-200 | 60 |
| | Gabro | 1-90 | 70 |
| | Basal | 0,2-175 | 70 |
| | Diorit | 0,6-120 | 85 |
| | Peridotit | 90-200 | 150 |
| | Andesit | | 160 |
| | Rata-rata beku asam | 0-80 | 8 |
| | Rata-rata beku basa | 0,5-97 | 25 |

Sumber: Telford *et al*. [11]

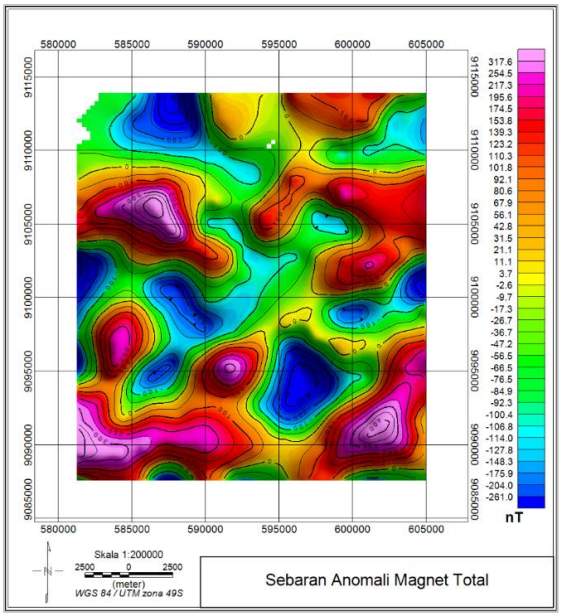
Profil model 2D hasil sayatan pada lokasi penelitian divalidasi dengan menggunakan hasil model sayatan magnetik CD dan DE pada gambar 12 dan 13 pada peta geologi Lembar Tulungagung. Model sayatan magnetik CD dan DE dibuat berdasarkan kondisi geometri yang ditampilkan pada sayatan geologi CD dalam peta geologi Lembar Tulungagung dan nilai suseptibilitas mengacu pada rentang nilai suseptibilitas pada tabel 1. Validasi dilakukan dengan melihat kesesuian nilai suseptibilitas antara profil model 2D sayatan magnetik CD dan DE dengan profil model 2D yang menjadi target penelitian.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Proses pengolahan data sekunder menjadi data digital menghasilkan titik digitasi. Total titik digitasi sebanyak 431 mengikuti kontur anomali magnet yang sama. Titik digitasi ini mendeskripsikan nilai anomali magnet beserta posisi koordinatnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.

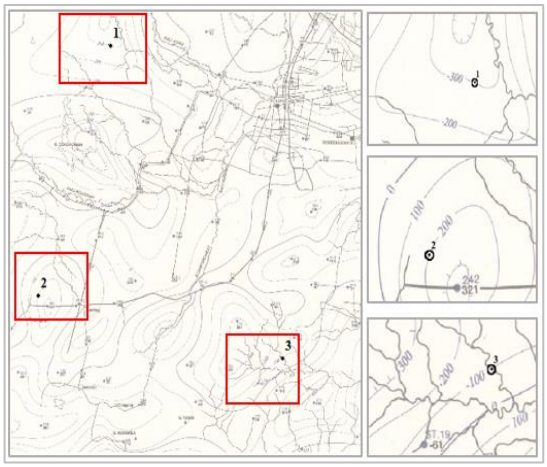



Gambar 3. Titik digitasi lembar anomali magnet pada lokasi penelitian.

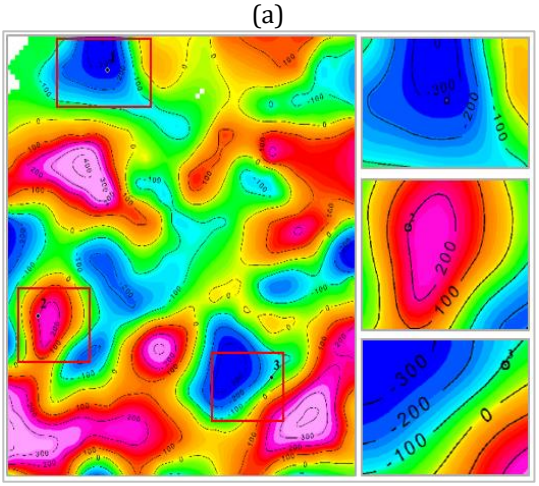



Gambar 4. Peta anomali magnet total pada lokasi penelitian.

Peta anomali magnet total pada lokasi penelitian hasil digitasi pada gambar 4 memiliki pola kontur sesuai dengan aslinya pada peta anomali magnet total yang diterbitkan oleh Pusat Survei Geologi [9]. Untuk meyakinkan bahwa hasil digitasi mendekati dengan data aslinya maka dilakukan validasi dengan cara melihat kesamaan nilai anomali magnet dari beberapa titik koordinat yang sama antara data asli dengan data hasil digitasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Pemilihan titik validasi dilakukan secara acak yaitu titik 1 (111°48’00” BT, 8°02’02,5488” LS), titik 2 (111°45’27,1701” BT, 8°10’00” LS), dan titik 3 (111°54’06,0332” BT, 8°12’00” LS). Dari ketiga titik validasi tersebut baik pada data asli maupun pada data hasil digitasi, kedua data ini memiliki nilai anomali yang sama. Titik 1 memiliki nilai anomali -300 nT, titik 2 memiliki nilai anomali 200 nT, dan titik 3 memiliki nilai anomali -100 nT. Karena ada kesesuaian antara keduanya, maka data hasil digitasi dapat diteruskan untuk pengolahan data selanjutnya.



(a)

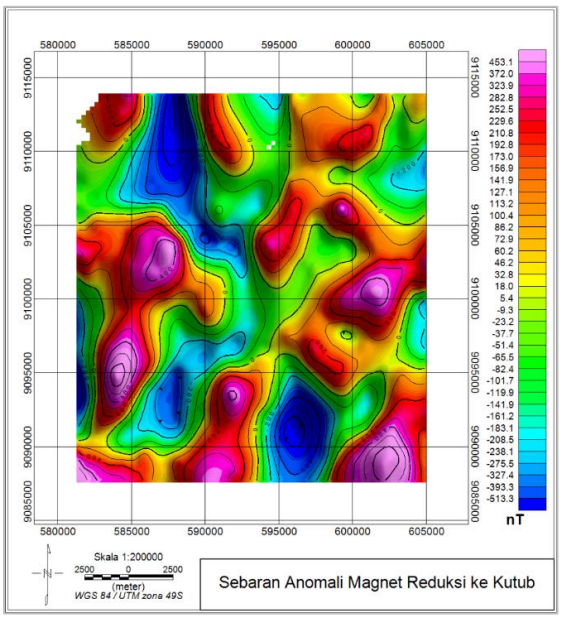


(b)

Gambar 5. (a) Anomali magnet total dari data asli (b) Anomali magnet total dari data hasil digitasi pada lokasi penelitian.

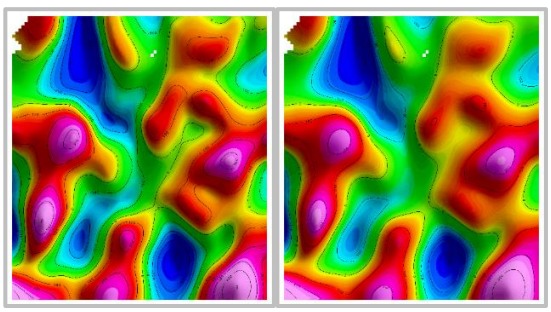
Pola anomali medan magnet total pada gambar 4 memberikan gambaran awal mengenai perkiraan jenis batuan penyusun yang memiliki nilai anomali medan magnet rendah, sedang, dan tinggi melalui perbedaan gradasi warna kontur. Anomali magnet total memiliki rentang nilai berkisar -261 nT hingga 317,6 nT. Secara umum sebaran pola anomali magnet rendah dengan warna biru memiliki rentang nilai anomali -261 nT hingga -114 nT, pola anomali magnet sedang dengan warna hijau memiliki rentang nilai anomali -106,8 nT hingga -2.6 nT, dan pola anomali magnet tinggi dengan warna merah memiliki rentang nilai anomali 3,7 nT hingga 317,6 nT.

Berdasarkan formasi batuan yang terdapat pada lokasi penelitian diperkirakan pola anomali tinggi disebabkan oleh batuan gunungapi yang memiliki suseptibilitas tinggi dari Formasi Mandalika. Pola anomali sedang diperkirakan disebabkan oleh batuan sedimen dari Formasi Arjosari, Formasi Campurdarat ataupun Formasi Nampol. Pola anomali rendah diperkirakan disebabkan oleh respons dari lapisan batuan sedimen yang cukup tebal di bawah permukaan.

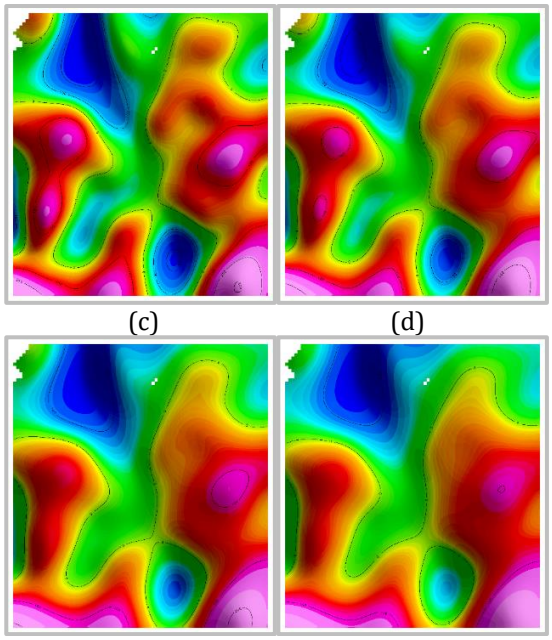



Gambar 6. Peta anomali magnet reduksi ke kutub pada lokasi penelitian.

Anomali magnet reduksi ke kutub merupakan anomali magnet total yang sudah ditransformasikan reduksi ke kutub. Reduksi ke kutub perlu dilakukan pada pengolahan data magnetik karena pada setiap pengambilan data magnetik di lapangan, data yang tercatat atau terekam pada alat pengambilan data masih dipengaruhi oleh nilai inklinasi dan deklinasi setempat. Gambar 6 merupakan peta hasil dari grid sebaran anomali magnet total pada lokasi penelitian yang telah dilakukan reduksi ke kutub. Terdapat peningkatan rentang nilai anomali magnet menjadi berkisar antara -513 nT hingga 453,1 nT. Hal ini karena dilakukan perubahan parameter medan magnet lokasi penelitian yang memiliki nilai inklinasi -35.438° dan deklinasi 0.727° menjadi berinklinasi 90° dan deklinasi 0°. Perubahan nilai inklinasi dan deklinasi ini menyebabkan sebaran anomali magnet dapat maksimal berada tepat di atas batuan penyebab anomali sehingga akan memudahkan dalam interpretasi selanjutnya.



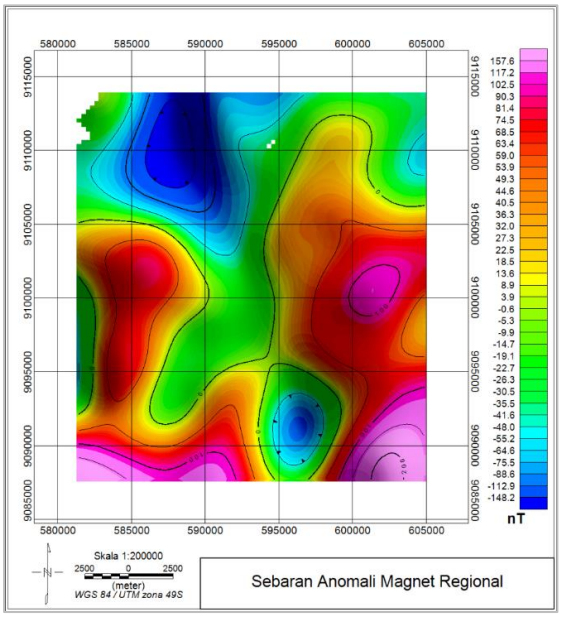
(a) (b)




Gambar 7. Kontinuasi ke atas pada lokasi penelitian dengan ketinggian (a) 500 m, (b) 1000 m, (c) 1500 m, (d) 2000 m, (e) 2500 m, dan (f) 2925 m.

Anomali magnet hasil dari reduksi ke kutub merupakan gabungan antara anomali regional dan residual, sedangkan yang menjadi target dari penelitian ini adalah anomali residual. Kontinuasi ke atas adalah cara dalam pengolahan data magnetik untuk memisahkan anomali regional dari anomali residual. Anomali regional ditandai dengan tingkat kerapatan garis kontur anomali yang tidak rapat dan adanya pendominanan *body* anomali yang merupakan pola mayor dengan meminimalisir pola-pola minor [5]. Gambar 7 menunjukkan proses kontinuasi ke atas pada lokasi penelitian dengan berbagai variasi ketinggian dari 500 m hingga mencapai batas maksimal yaitu 2925 m. Anomali magnet regional berkisar pada ketinggian 2500 m. Pada ketinggian 2500 m sudah tidak lagi menunjukkan perubahan pola anomali yang cukup signifikan karena sudah tidak terdapat lagi pola-pola minor anomali magnetik.

Anomali magnet regional merupakan anomali magnet yang terbentuk akibat respons dari batuan di bawah permukaan yang dalam [12]. Untuk menginterpretasi kondisi bawah permukaan yang dangkal juga perlu untuk mengetahui kondisi bawah permukaan yang dalam karena antara keduanya saling berhubungan. Batuan induk dari batuan yang berada di kedalaman yang dangkal berada pada kedalaman yang cukup dalam. Sehingga, anomali magnet regional juga perlu dilakukan interpretasi dalam penelitian ini. Gambar 8 menunjukkan sebaran anomali regional pada lokasi penelitian hasil dari proses kontinuasi ke atas. Sebaran anomali magnet regional memiliki rentang nilai -148,2 nT hingga 157,6 nT. Pola anomali rendah dengan warna biru memiliki rentang -148,2 nT hingga -48 nT. Pola anomali sedang dengan warna hijau memiliki rentang -41,6 nT hingga -0,6 nT dan pola anomali tinggi dengan warna merah memiliki rentang 13,6 nT hingga 157,6 nT.

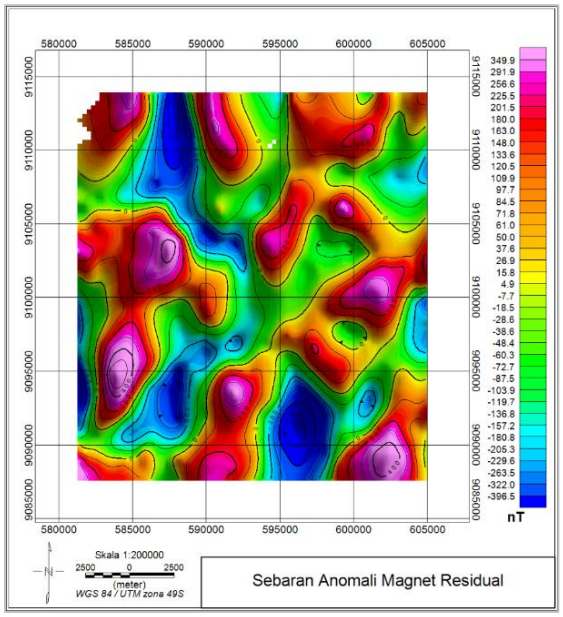



Gambar 8. Peta anomali regional pada lokasi penelitian.

Sebaran anomali regional menggambarkan kondisi batuan di bawah permukaan yang dalam. Pola anomali rendah pada bagian utara diperkirakan merupakan respons batuan sedimen dari Formasi Arjosari sedangkan pola anomali rendah pada bagian selatan diperkirakan merupakan respons dari batuan sedimen dari Formasi Campurdarat. Pola anomali sedang diperkirakan merupakan respons dari batuan sedimen Formasi Arjosari, Formasi Campurdarat ataupun Formasi Nampol. Pola anomali tinggi diperkirakan merupakan batuan gunungapi dari Formasi Mandalika baik yang berada di sisi timur maupun di sisi barat lokasi penelitian. Keduanya terlihat cenderung memanjang arah utara – selatan dimana semakin menuju ke arah selatan anomali semakin tinggi, diduga terdapat intrusi batuan terobosan di bawah batuan gunungapi pada sisi selatan.

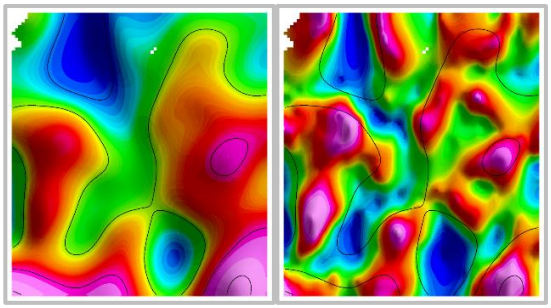
Anomali magnet residual merupakan anomali yang terbentuk akibat respons dari batuan di bawah permukaan yang dangkal [12]. Target penelitian ini adalah kondisi bawah permukaan pada kedalaman yang dangkal, sehingga perlu untuk mengetahui sebaran anomali magnet residual pada lokasi penelitian

ini. Peta anomali residual yang diperoleh dari pengurangan antara grid anomali reduksi ke kutub dengan grid anomali regional ditunjukkan pada gambar 9. Sebaran anomali residual memiliki rentang nilai -396,5 nT hingga -349,9 nT. Pola anomali rendah yang berwarna biru memiliki rentang -396,5 nT hingga -180,8 nT. Pola anomali sedang yang berwarna hijau memiliki rentang -157,2 nT hingga -7,7 nT dan pola anomali tinggi yang berwarna merah memiliki rentang 4,9 nT hingga 349,9 nT.



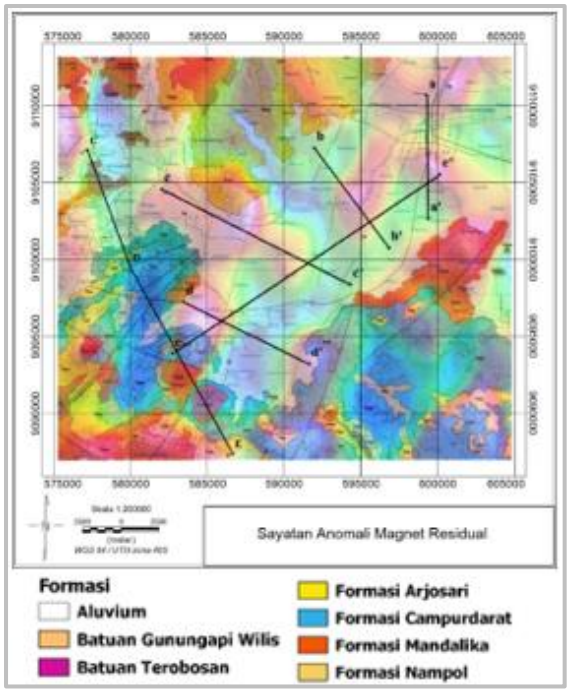

Gambar 9. Peta anomali residual pada lokasi penelitian.

Anomali residual ditandai dengan tingkat kerapatan garis kontur anomali yang rapat dan munculnya pola-pola anomali minor pada lokasi penelitian. Berdasarkan pola sebaran nilai anomali magnet, terdapat kemiripan pola antara anomali regional dengan anomali residual seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Pola anomali sedang terlihat semakin merata pada lokasi penelitian yang menandakan terdapat lapisan – lapisan batuan dekat permukaan yang mengandung sedikit mineral magnetik serta munculnya pola anomali tinggi pada bagian arah utara dari lokasi penelitian yang diperikirakan merupakan respons dari batuan gunungapi yang terletak pada kedalaman dangkal.

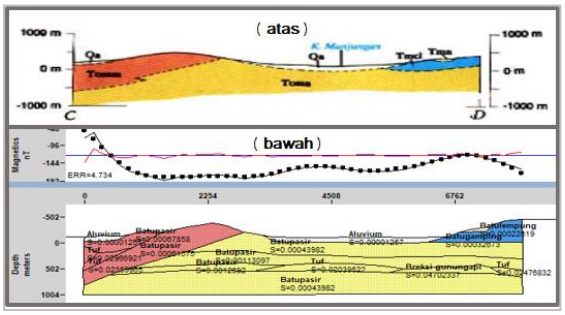


Gambar 10. Grid anomali regional (b) Grid anomali residual pada lokasi penelitian.

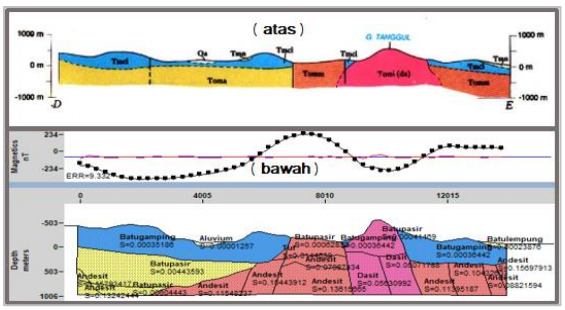
Pemodelan dua dimensi (2D) dilakukan untuk menginterpretasikan litologi batuan bawah permukaan pada lokasi penelitian. Berdasarkan data anomali magnetik terdapat berbagai variasi anomali magnet di bawah dataran aluvium pada lokasi penelitian pada gambar 6. Hal ini mengindikasikan terdapat juga informasi jenis batuan yang belum dijangkau pada informasi geologi yang sudah ada, sehingga sayatan dilakukan pada hamparan aluvium yang menjadi target penelitian. Posisi penarikan sayatan magnetik dilakukan pada peta anomali residual yang telah di-*overlay* dengan peta geologi lokasi penelitian pada gambar 6. Sayatan berjumlah 7 terdiri dari sayatan acuan meliputi sayatan C-D dengan panjang sekitar 7984 m dan azimut 160,78°, sayatan D-E dengan panjang lintasan sekitar 13800 m dan azimut 151,16° dengan arah penarikan masing-masing dari barat laut menuju tenggara serta sayatan target penelitian meliputi sayatan a-a' arah penarikan dari barat laut menuju tenggara dengan azimut 179,37° yang memiliki panjang sekitar 7980 m. Sayatan b-b' arah penarikan dari barat laut menuju tenggara dengan azimut 143,76°, panjang sekitar 7936 m. Sayatan c-c' arah penarikan dari barat laut menuju tenggara dengan azimut 117,2°, panjang sekitar 13971 m. Sayatan d-d' arah penarikan dari barat laut menuju tenggara dengan azimut 116,57°, panjang sekitar 9314 m dan sayatan e-e' arah penarikan dari barat daya menuju timur laut dengan azimut 56,25° dengan panjang sekitar 20918 m.




Gambar 11. Posisi sayatan pada *overlay* peta anomali residual dengan peta geologi lokasi penelitian.



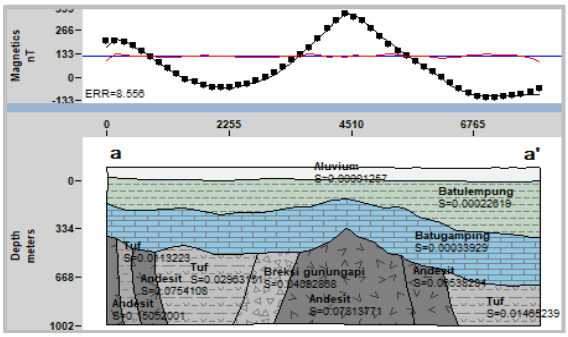

Gambar 12. Profil model 2D sayatan C-D (atas) berdasarkan informasi geologi (bawah) data magnetik Lembar Tulungagung.




Gambar 13. Profil model 2D sayatan D-E (atas) berdasarkan informasi geologi (bawah) data magnetik Lembar Tulungagung.

Berdasarkan pemodelan magnetik yang sudah dibuat pada sayatan C-D dan D-E. Litologi batuan pada sayatan tersebut terdiri dari aluvium yang memiliki suseptibilitas sekitar $0{,}01257\times10^{-3}$ SI yang tersusun oleh campuran kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur. Batulempung nilai suseptibilitas sekitar $(0{,}2262–0{,}2388)\times10^{-3}$ SI, batugamping sekitar $(0{,}3267–0{,}3519)\times10^{-3}$ SI, batupasir sekitar $(0{,}4147–6{,}0444)\times10^{-3}$ SI, tuf sekitar $(14{,}4639–29{,}6692)\times10^{-3}$ SI, breksi gunungapi sekitar $47{,}0234\times10^{-3}$ SI, dasit sekitar $(50{,}7178–56{,}3099)\times10^{-3}$ SI dan andesit sekitar $(70{,}8743–157{,}9342)\times10^{-3}$ SI.

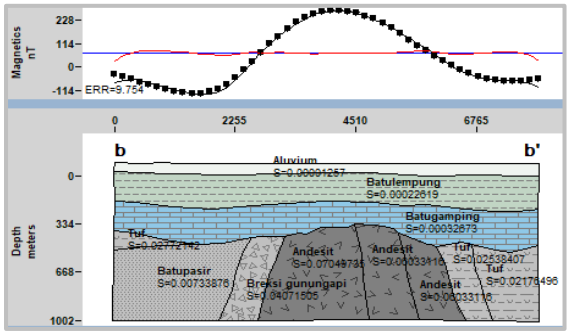
Pembuatan profil model 2D untuk sayatan a-a', b-b', c-c', d-d', dan e-e' untuk kedalaman diinterpretasi sekitar 1000 m di bawah permukaan laut mengacu pada profil model 2D sayatan C-D dan D-E pada gambar 12 dan 13 yang memiliki kedalaman 1000 m di bawah permukaan laut juga. Kedalaman pemodelan 2D dibuat serupa dengan referensi agar dapat mencakup semua lapisan batuan yang ada di lokasi penelitian. Prinsip pembuatan model yaitu menggunakan metode *forward modelling* melalui proses *trial* and *error* hingga mencapai nilai *error* sekecil mungkin dengan memperhatikan rentang suseptibilitas yang sesuai dengan jenis batuan yang diinformasikan pada peta geologi Lembar Tulungagung.




Gambar 14. Profil model 2D sayatan a-a'.

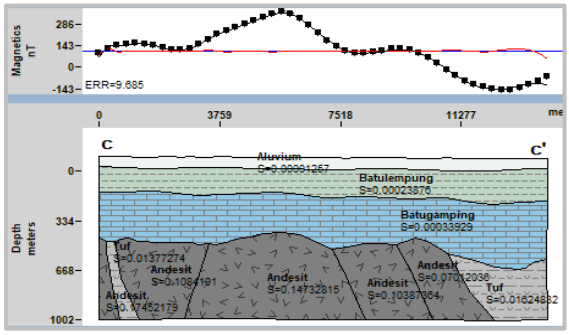
Gambar 14 merupakan profil model 2D bawah permukaan untuk sayatan a-a' yang memiliki nilai error 8,556 %. Susunan litologi batuan pada profil model 2D ini terdiri dari 4 lapisan. Lapisan pertama memiliki suseptibilitas $0{,}01257\times10^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai aluvium yang berada pada kedalaman sekitar 91 hingga -11 mdpl. Lapisan kedua memiliki suseptibilitas $0{,}2262\times10^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batulempung yang berada pada kedalaman sekitar 23 hingga -393 mdpl. Lapisan ketiga dengan suseptibilitas $0{,}3393\times10^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batugamping yang berada pada kedalaman sekitar -124 hingga -733 mdpl. Lapisan keempat memiliki variasi nilai suseptibilitas yang diduga terdiri dari beberapa batuan. Suseptibilitas $(11{,}3223\text{-}29{,}6315)\times10^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai tuf, suseptibilitas $40{,}9287\times10^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai breksi gunungapi, dan suseptibilitas $(65{,}3828\text{-}150{,}52)\times10^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batuan

andesit. Lapisan keempat berada pada kedalaman sekitar -329 hingga -1000 mdpl.



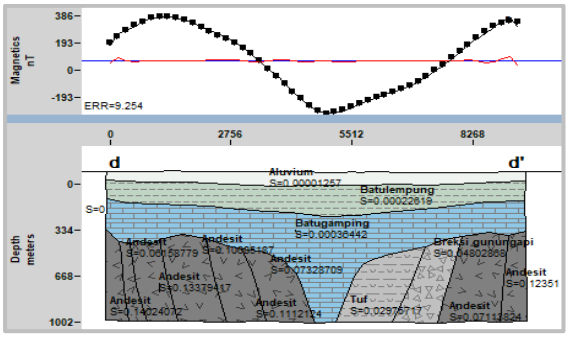

Gambar 15. Profil model 2D sayatan b-b'.

Hasil pemodelan yang ditampilkan pada gambar 15 menunjukkan profil model 2D pada sayatan b-b' yang memiliki nilai error 9,754 %. Berdasarkan pemodelan 2D, kondisi litologi batuan bawah permukaan terdiri dari 4 lapisan. Lapisan pertama dengan nilai suseptibilitas 0,01257×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai aluvium yang berada pada kedalaman sekitar 96 hingga -2 mdpl. Lapisan kedua dengan suseptibilitas 0,2262×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batulempung yang berada pada kedalaman sekitar 34 hingga -248 mdpl. Lapisan ketiga dengan nilai suseptibilitas 0,3267×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batugamping yang berada kedalaman sekitar -176 hingga -530 mdpl. Lapisan keempat berada pada kedalaman sekitar -330 hingga -1000 mdpl. Pada lapisan ini terdiri dari variasi nilai suseptibilitas. Batuan dengan nilai suseptibilitas sekitar 7,3388×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batupasir. Batuan dengan nilai suseptibilitas (21,7649-27,7214)××10-3 SI diinterpretasikan sebagai tuf, suseptibilitas 40,7151×10-3 SI diinterpretasikan sebagai breksi gunungapi, dan suseptibilitas (60,3312-70,4974)×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batuan andesit.



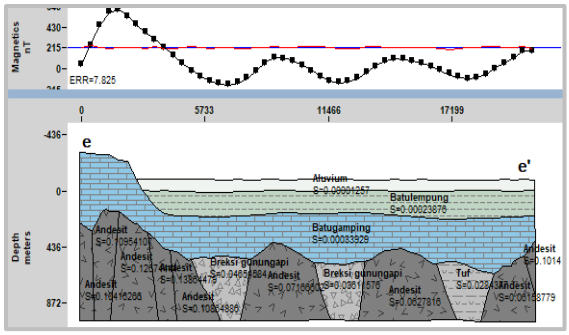

Gambar 16. Profil model 2D sayatan c-c'.

Gambar 16 menunjukkan hasil pemodelan pada sayatan c-c' dengan nilai error 9,685%. Pemodelan yang dibuat menghasilkan 4 lapisan litologi pada profil model 2D. Lapisan pertama yang memiliki suseptibilitas 0,01257×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai aluvium yang berada pada kedalaman sekitar 103 hingga 1 mdpl. Lapisan kedua yang memiliki suseptibilitas 0,2388×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batulempung yang berada pada kedalaman sekitar 31 hingga -221 mdpl. Lapisan ketiga yang memiliki suseptibilitas 0,3393×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batugamping yang berada pada kedalaman sekitar -133 hingga -664 mdpl. Lapisan keempat memiliki suseptibilitas yang beragam. Batuan dengan suseptibilitas (13,7727-16,2483)×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai tuf dan batuan dengan nilai suseptibilitas (70,1204-174,5218)×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batuan andesit. Lapisan keempat berada pada kedalaman sekitar -412 hingga -1000 mdpl.




Gambar 17. Profil model 2D sayatan d-d'.

Gambar 17 menampilkan hasil pemodelan 2D pada sayatan d-d' dengan nilai error pemodelan 9,254 %. Berdasarkan pemodelan yang dibuat, terdapat litologi batuan sebanyak 4 lapisan pada profil model 2D. Lapisan pertama dengan suseptibilitas 0,01257×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai aluvium yang berada pada kedalaman sekitar 96 hingga -11 mdpl. Lapisan kedua yang memiliki suseptibilitas 0,2262×10$^{-3}$ SI dinterpretasikan sebagai batulempung yang berada pada kedalaman sekitar 32 hingga -232 mdpl. Lapisan ketiga suseptibilitas 0,3644×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batugamping. Pada bagian tengah sayatan, batugamping ini memiliki ketebalan yang cukup dalam hingga mencapai dasar batas kedalaman pemodelan. Lapisan ini berada pada kedalaman sekitar -105 hingga -1000 mdpl. Lapisan keempat terbagi menjadi dua bagian yang terpisahkan oleh endapan sedimen batugamping. Batuan dengan nilai suseptibilitas (61,5878-140,241)×10$^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batuan andesit, batuan dengan suseptibilitas 48,0287×10$^{-3}$ SI dinterpretasikan sebagai breksi gunungapi, dan batuan dengan suseptibilitas 29,7572×10$^{-3}$ diinterpretasikan sebagai tuf. Lapisan keempat berada pada kedalaman sekitar -325 hingga -1000 mdpl.




Gambar 18. Profil model 2D sayatan e-e'.

Gambar 18 menampilkan profil model 2D yang memiliki error pemodelan sebesar 7,825%. Sayatan e-e' dibuat untuk menginterpretasi litologi batuan bawah permukaan yang cenderung tegak lurus dengan posisi sayatan lainnya. Dari pemodelan terdapat empat lapisan litologi. Lapisan pertama berupa aluvium yang memiliki suseptibilitas $0{,}01257\times10^{-3}$ SI yang berada pada kedalaman sekitar 97 hingga -11 mdpl. Lapisan kedua dengan suseptibilitas $0{,}2388\times10^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batulempung yang berada pada kedalaman sekitar 6 hingga -216 mdpl. Lapisan ketiga dengan dengan suseptibilitas $0{,}3393\times10^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batugamping yang berada pada kedalaman sekitar 6 hingga -240 mdpl, batuan ini tersingkap hingga ke permukaan pada ujung barat daya sayatan. Lapisan dasar berada pada kedalaman sekitar -140 hingga -1000 mdpl yang terdiri dari berbagai variasi nilai suseptibilitas. Suseptibilitas $28{,}4377\times10^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai tuf, batuan dengan suseptibilitas $(36{,}1158\text{-}46{,}5458)\times10^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai breksi gunungapi, dan batuan yang memiliki nilai suseptibilitas $(61{,}5878\text{-}138{,}6448)\times10^{-3}$ SI diinterpretasikan sebagai batuan andesit.

Parameter model hasil *forward modelling* pada pemodelan 2D sayatan target penelitian yaitu sayatan a-a', b-b', c-c', d-d', dan e-e' ditinjau dari nilai suseptibilitas yang dihasilkan dalam pemodelan menunjukkan bahwa rentang nilai suseptibilitas hasil pemodelan sesuai dengan rentang suseptibilitas batuan pada model sayatan C-D dan D-E dengan memperhatikan kondisi formasi batuan yang diperoleh dari informasi geologi Lembar Tulungagung pada lokasi penelitian. Selain itu, referensi nilai suseptibilitas mengacu pada tabel 1 dan penelitian-penelitian sebelumnya sebagai referensi. Dari penelitian sebelumnya mengenai metode geomagnetik, nilai suseptibilitas aluvium sebesar $0{,}01257\times10^{-3}$ SI yang terususun oleh material berupa batuan kerikil, kerakal, pasir, lempung dan lumpur [13] yang serupa dengan material penyusun aluvium pada lokasi penelitian. Batupasir memiliki rentang suseptibilitas sekitar $(7\text{-}9)\times10^{-3}$ SI dan breksi gunungapi memiliki suseptibilitas sekitar $(35\text{-}40)\times10^{-3}$ SI [14]. Batulempung memiliki rentang suseptibilitas sekitar $(0{,}1\text{-}0{,}7)\times10^{-3}$ SI [15]. Tuf memiliki rentang suseptibilitas sekitar $(10\text{-}30)\times10^{-3}$ SI [14] dan [15]. Batuan andesit memiliki rentang suseptibilitas sekitar $(61\text{-}230{,}5)\times10^{-3}$ SI [13] dan [16].

Berdasarkan profil model 2D yang sudah dibuat pada lokasi target penelitian, diperkirakan kondisi bawah permukaan dari dataran aluvium terdiri dari empat lapisan utama hingga kedalaman sekitar 1000 m di bawah permukaan laut. Berdasarkan nilai suseptibilitas yang dihasilkan dari setiap lapisan litologi, lapisan pada permukaan berupa aluvium, lapisan kedua berupa batuan sedimen yang didominasi oleh batulempung, lapisan ketiga berupa batuan sedimen yang didominasi oleh batugamping, dan lapisan dasar berupa batupasir dan batuan gunungapi yang berupa batuan andesit, tuf, dan breksi gunungapi.

Interpretasi jenis batuan pada profil model 2D yang sudah dibuat dengan memperhatikan sebaran formasi batuan yang ada pada lokasi penelitian, diperkirakan lapisan pada permukaan merupakan aluvium yang terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur. Lapisan batuan sedimen yang didominasi oleh batulempung diperkirakan respons dari Formasi Nampol. Lapisan batuan sedimen yang didominasi oleh batugamping diperkirakan respons dari Formasi Campurdarat. Lapisan dasar yang terdiri dari batuan gunung api, berupa tuf, breksi gunung api, dan andesit diperkirakan respons dari Formasi Mandalika dan batupasir yang diperkirakan respons. Pada lapisan dasar, endapan batupasir dan tuf di sekitar ujung barat laut pada sayatan b-b' diperkirakan merupakan bagian dari Formasi Arjosari yang menjemari dengan Formasi Mandalika. Pada lapisan batuan sedimen yang menuju selatan lokasi penelitian, batuan sedimen semakin tebal seperti yang ditunjukkan profil model 2D pada sayatan d-d' dimana, lapisan ketiga yang diperkirakan didominasi batuan sedimen batugamping respons dari Fomasi Campurdarat ini memiliki kedalaman hingga sekitar 1000 m di bawah permukaan laut yang merupakan batas kedalaman dalam pemodelan 2D pada lokasi penelitian.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1) Model 2D litologi bawah permukaan pada lokasi penelitian berbentuk penampang dua dimensi. Setiap penampang terdiri dari

lapisan lapisan bentuk model batuan yang disertai dengan informasi perkiraan nilai suseptibilitas masing-masing batuan yang berada di bawah permukaan daerah Kabupaten Tulungagung dan sekitarnya.

2) Kondisi litologi bawah permukaan berdasarkan pemodelan 2D yang sudah dilakukan, secara umum terdiri 4 lapisan. Lapisan atas merupakan aluvium, lapisan kedua merupakan batuan sedimen yang didominasi oleh batulempung yang diperkirakan bagian dari Formasi Nampol, lapisan ketiga merupakan batuan sedimen yang didominasi oleh batugamping yang diperkirakan bagian dari Formasi Campurdarat, dan lapisan dasar merupakan batupasir dan batuan gunung api yang didominasi oleh tuf, breksi gunungapi, dan andesit.

## 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada instansi Pusat Survei Geologi atas dukungan data dalam penelitian ini.

## Daftar Pustaka

[1] Singarimbun, A., Cyrke, A. N. B. dan Riva, C. F., Penentuan Struktur Bawah Permukaan Area Panas Bumi Patuha dengan Menggunakan Metoda Magnetik, Jurnal Matematika dan Sains, 18(2), 39-48, 2011.

[2] Wibowo, N.B., Sembri, J.N., Darmawan, D., Sumardi, Y., Afriliani, F., dan Mahmudah, S., Interpretasi Lapisan Sedimen berdasarkan Ground Profile Vs dengan Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Pacitan, Indonesian Journal of Applied Physics, 8(1), 32-42, 2018.

[3] Satria, Pakar UGM Ungkap Gempa Yang Sering Terjadi di Selatan Pacitan, Universitas Gajah Mada, ugm.ac.id/id/newsPdf/19600-pakar-ugm-ungkap-gempa-yang-sering-terjadi-di-selatan-pacitan, (diakses 22 November 2020).

[4] Utama, W., Warnana, D.D., Hilyah, A., Bahri, S., Syaifuddin, F., dan R Farida, H., Eksplorasi Geomagnetik Untuk Penentuan Keberadaan Pipa Air Di Bawah Permukaan Bumi, Jurnal Geosaintek, 2(3), 157-163, 2016.

[5] Nurhidayah, A., Wahyono, S.C., dan Siregar, S.S., Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Tambang Batuan Andesit Menggunakan Metode Magnetik Di Desa Awang Bangkal Kalimantan Selatan, Jurnal Fisika Flux, 16(2), 1-7, 2019.

[6] Maharani, Marwan, dan Ismail, N., Identifikasi Struktur Endapan Aluvial di Kawasan Kuala Gigieng, Aceh Besar, Berdasarkan Data Anomali Medan Magnetik Total Menggunakan Metode Pseudogravitasi dan Reduksi ke Kutub, Risalah Fisika, 3(1), 9-13, 2019.

[7] Perdhana, O.A., Suadi, D.A., dan Sujito, Aplikasi Metode Geomagnet untuk Mengidentifikasi Mineral Kromit Di Desa Sukorejo Kecamatan Kalidawir Kabupaten Tulungagung, Jurnal Online UM, jurnal-online.um.ac.id/article/do/detail-article/1/36/1420, (diakses 20 Agustus 2020).

[8] Ribut, M., Suaidi, D.A., dan Hidayat, S., Eksplorasi Kandungan Bijih Besi Di Dusun Tirtosinawang Kabupaten Tulungagung Menggunakan Metode Geomagnetik, Jurnal Online UM, jurnal-online.um.ac.id /article/do/detail-article/1/36/1117, (diakses 20 Agustus 2020).

[9] Marzuki dan Hayat, D.Z., Anomali Magnet Pendahuluan Lembar Tulungagung, Skala 1:100.000, Pusat Survei Geologi, 1990.

[10] Data of Global Administrative Areas, UC Davis, gadm.org/download_country_v3 .html, (diakses 1 Maret 2020).

[11] Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.E., Aplied Geophysics, Second Edition. Cambridge, University Press, 1990.

[12] Ryan, M.; Husain, J.R. dan Bakri, H., Studi Anomali Magnetik Total Untuk Pencarian Daerah Prospek Hidrokarbon Daerah Pulau Buru Provinsi Maluku, Jurnal Geomine,1(1), 1-5, 2015.

[13] Setiani, N.; Safani, J. dan Manan, A., Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Kota Kendari Berdasarkan Data Anomali Medan Magnetik Regional, Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia, 1(3), 1-8, 2019.

[14] Luthfi, A.N., Pemodelan Bawah Permukaan Maar Gunungapi Berdasarkan Analisis Data Magnetik (Studi Kasus di Daerah Ranu Segaran Merah, Desa Andungsari, Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo, Provinsi Jawa Timur), Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Malik Ibrahim, Malang, 2017.

[15] Wati, I.D.P., Interpretasi Metode Geomagnetik Untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan Pada Daerah Sekitar Amblesan Sumur Di Dusun Nanas Desa

Manggis Kecamatan Puncu Kabupaten Kediri, Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Malik Ibrahim, Malang, 2018.

[16] Darmawan, P.P.A., Eksplorasi Andesit Untuk Penentuan Desain Tambang Berdasarkan Data Geolistrik Dan Pengembangan Lapangan Baru Menggunakan Metode Geomagnetik Pada Daerah "X", Kokap, Kulon Progo, D.I Yogyakarta Andesit Eksploration For Determination Of Mine Design Based On Geolistric Data And New Field Development Using Geomagnetic Method In "X" Area, Kokap, Kulon Progo, D.I Yogyakarta, Skripsi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Yogyakarta, 2018.