

APLIKASI METODE MAGNETIK UNTUK IDENTIFIKASI SEBARAN BIJIH BESI DANGKAL DAN DALAM

Lia Fitria Rahmatillah*, Dina Gunarsih, Dewi Sartika, Akmal Muhni
Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik,
Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111 Indonesia

Email: lia.fitria.rahmatillah@usk.ac.id

(Received: Februari 2023 / Revised: March 2023 / Accepted: March 2023)

ABSTRAK

Identifikasi sebaran bijih besi menggunakan metode magnetik bertujuan untuk mengetahui sifat kemagnetan batuan. Metode magnetik mampu mengukur variasi intensitas medan magnet yang mencerminkan sifat kemagnetan batuan yang berada di bawah atau dekat permukaan bumi. Penelitian dilakukan di Desa Siron Blang, Kabupaten Aceh Besar, bertujuan untuk menentukan sebaran bijih besi dan dugaan model 2-dimensi bawah permukaan. Penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan hasil eksplorasi bawah permukaan Desa Siron Blang sebagai upaya menyingkapkan sumberdaya alam di lokasi penelitian agar menjadi perhatian pemerintah ataupun instansi terkait. Proses akuisisi data magnetik mengaplikasikan magnetometer jenis *proton precision magnetometer*. Pengolahan data memanfaatkan perangkat lunak *Oasis Montaj* yang mengaplikasikan penapisan *low pass filter* dan *high pass filter*, sehingga menghasilkan peta sebaran anomali dangkal dan dalam. Berdasarkan penapisan *low pass filter* didapat anomali menengah yang menyusup hingga ke batuan dasar pada lokasi penelitian. Berdasarkan penapisan *high pass filter* lokasi penelitian menunjukkan anomali endapan dangkal yang menyusup hingga ke anomali dalam. Pendugaan model bawah permukaan menggunakan MAG2DC bertujuan untuk menentukan kedalaman, suseptibilitas, dan keadaan geologi bawah permukaan. Berdasarkan dari hasil taksiran model 2-dimensi, pada lokasi penelitian terdapat tanah laterit sebagai *top soil* dan serpentin, serta peridotit sebagai *subsoil*. Lokasi penelitian memuat mineral bijih besi berupa hematit, limonit, goetit, pirotit, dan pirit.

Kata Kunci: metode magnetik, low pass filter, high pass filter, suseptibilitas, bijih besi.

1. PENDAHULUAN

Kapasitas bijih besi di Aceh cukup besar dan terdapat di seputar daerah seperti di Aceh Besar, Pidie, Aceh Barat Daya, Subussalam, Gayo Luwes, Aceh Timur, dan Aceh Selatan dengan jumlah endapan mencapai 92,3 juta ton [1]. Kajian mineral bijih besi di Aceh diperlukan karena logam ini sangat kaya di bumi yang dapat dimanfaatkan sebagai tumpuan dalam kehidupan. Penelitian ini sebagai kajian awal untuk dapat melakukan kegiatan eksploitasi secara optimal berdasarkan hasil eksplorasi guna meningkatkan perekonomian Aceh. Penelitian terdahulu yang telah dilakukan adalah mengidentifikasi mineral dan pengaruh variasi waktu *milling* terhadap sifat magnetik bijih besi yang terdapat di Desa Siron Blang [2]. Berdasarkan hal tersebut maka sangat menarik dilakukan penelitian yang mengkaji secara area untuk mengukur intensitas magnetik agar mengetahui sebaran bijih besi dangkal dan dalam dan menduga model 2-dimensi bawah permukaan.

Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika yang mengukur variasi intensitas medan magnetik. Variasi tersebut terjadi akibat sebaran batuan yang termagnetisasi dan perkembangan struktur geologi di bawah permukaan bumi. Kapabilitas suatu bahan untuk termagnetisasi bergantung pada suseptibilitas kemagnetan yang dimiliki bahan tersebut. Anomali magnetik merupakan variasi nilai kemagnetan suatu material dengan material lainnya.

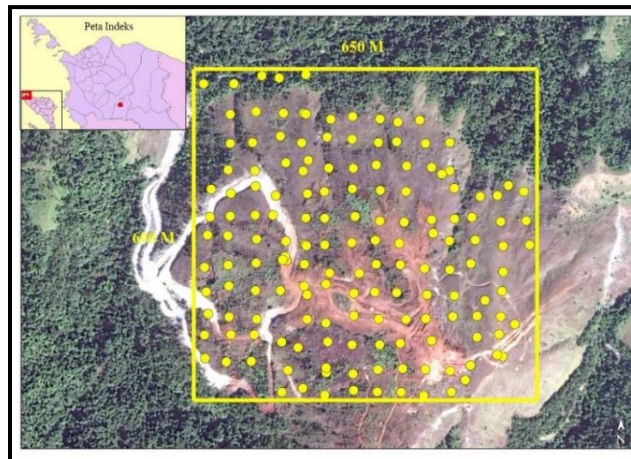
Bijih besi adalah bahan galian logam dan bernilai komersil. Mineral bijih besi berasal dari oksida dan oksida terhidrasi. Sedangkan mineral yang hanya menjadi sebagai bagian kecil dari bijih besi terdiri dari mineral karbonat dan mineral sulfida [3]. Suseptibilitas magnetik bijih besi bergantung dari nilai kandungan besi yang dimiliki oleh mineral tersebut. Besi mengandung material magnetik tinggi, sehingga penggunaan metode magnetik dalam survei mineral bijih besi sangat tepat.

2. METODE PENELITIAN

Metode geofisika bertujuan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan bumi berdasarkan sifat – sifat fisis dari batuan di bawah permukaan. Pada penelitian ini menggunakan metode magnetik yang mengukur sifat kemagnetan dari bahan di bawah permukaan bumi [4].

Pengambilan data dilakukan secara grid (Gambar 1) dengan jarak antar titik pengukuran 50 m dan disesuaikan dengan kondisi lapangan sebenarnya yang mencakup luasan area 390.000 m². Pengukuran mengaplikasikan dua unit alat magnetometer jenis *Proton Precision Magnetometer* (PPM). Alat pertama ditempatkan di *base station* yang berfungsi untuk menghitung variasi harian. Alat kedua digunakan untuk menghitung intensitas medan magnetik pada titik pengukuran. Kedua alat tersebut dinyalakan lalu diatur tanggal dan waktu secara bersamaan. Data pertama diukur di *base station*, kemudian dilakukan pengambilan data di setiap titik pengukuran dengan mengarahkan sensor ke arah utara magnet pada saat pengambilan data. Setelah selesai dilakukan pengukuran pada setiap titik pengukuran, maka kembali lagi ke *base station* untuk mengukur nilai variasi harian magnetik di *base station*.

Pada pengolahan data magnetik dilakukan koreksi diurnal dan IGRF [5], sehingga diperoleh nilai magnetik dari anomali. Penentuan bijih besi dangkal dan dalam menggunakan penapisan data reduksi ke ekuator, *low pass filter*, dan *high pass filter*[6]. Interpretasi penelitian berdasarkan kualitatif menggunakan perangkat lunak *Oasis Montaj*, dan interpretasi kualitatif menggunakan perangkat lunak *Mag2DC*.

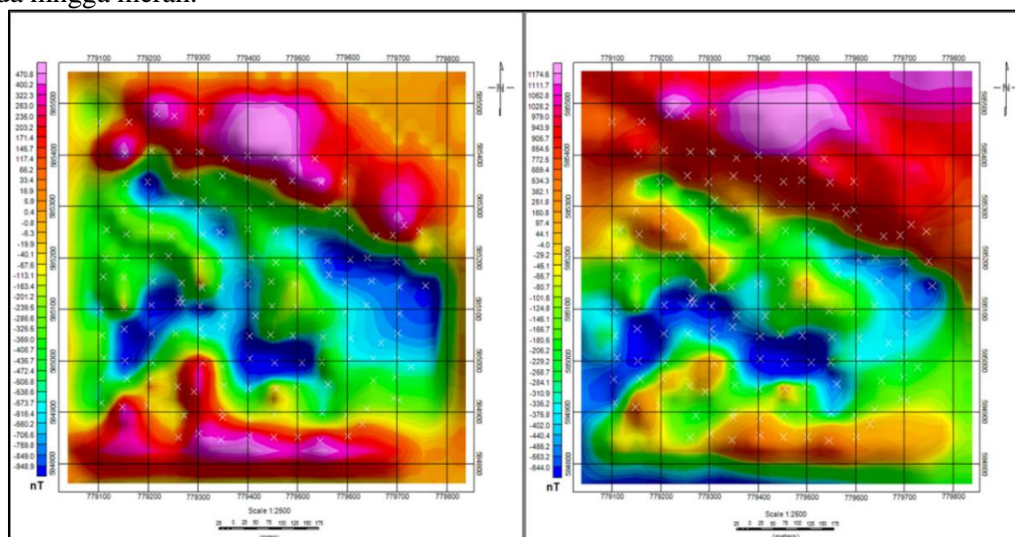


Gambar 1. Lokasi penelitian dan titik-titik pengukuran

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi kualitatif

Interpretasi kualitatif menghasilkan peta sebaran bijih besi dangkal dan dalam. Gambar 2 (kiri) merupakan peta kontur anomali magnet pada lokasi penelitian. Nilai intensitas magnetik tertinggi adalah 470.8 nT dan terendah -948.9 nT. Berdasarkan nilai inklinasi $-5,732^\circ$ dan deklinasi $-0,811^\circ$ pada data IGRF, maka letak anomali magnet berada di nilai minimum. Nilai minimum anomali magnet ditandai dengan skema berwarna biru dan diindikasikan sebagai bijih besi yang kontras terhadap skema berwarna hijau, kuning, dan merah muda hingga merah.



Gambar 2. Peta kontur anomali total ($I = -5,732^\circ$ dan $D = -0,811^\circ$) (kiri) dan peta kontur anomali total yang telah di reduksi ke ekuator ($I = 0^\circ$ dan $D = 0^\circ$) (kanan).

Akan tetapi, letak anomali magnetik tersebut belum tepat berada dibawah nilai minimum karena masih dipengaruhi oleh sudut inklinasi lokasi penelitian. Agar letak anomali magnet tepat berada dibawah nilai minimum, maka perlu dilakukan tahapan penapisan data (*filtering*) jenis reduksi ke ekuator. Hal tersebut untuk membawa anomali seolah-olah berada tepat di khatulistiwa magnet dengan inklinasi dan deklinasi 0° . Selain penapisan reduksi ke ekuator, juga dilakukan penapisan berdasarkan panjang gelombang yaitu *low pass filter* dan *high pass filter* yang menghasilkan anomali dangkal dan dalam, sehingga memudahkan dalam tahapan interpretasi secara kualitatif. Interpretasi kuantitatif berupa pendugaan model bawah permukaan mengikuti hasil interpretasi kualitatif. Sehingga hasil dari kedua interpretasi akurat.

a. Reduksi ke ekuator (*reduction to equator*)

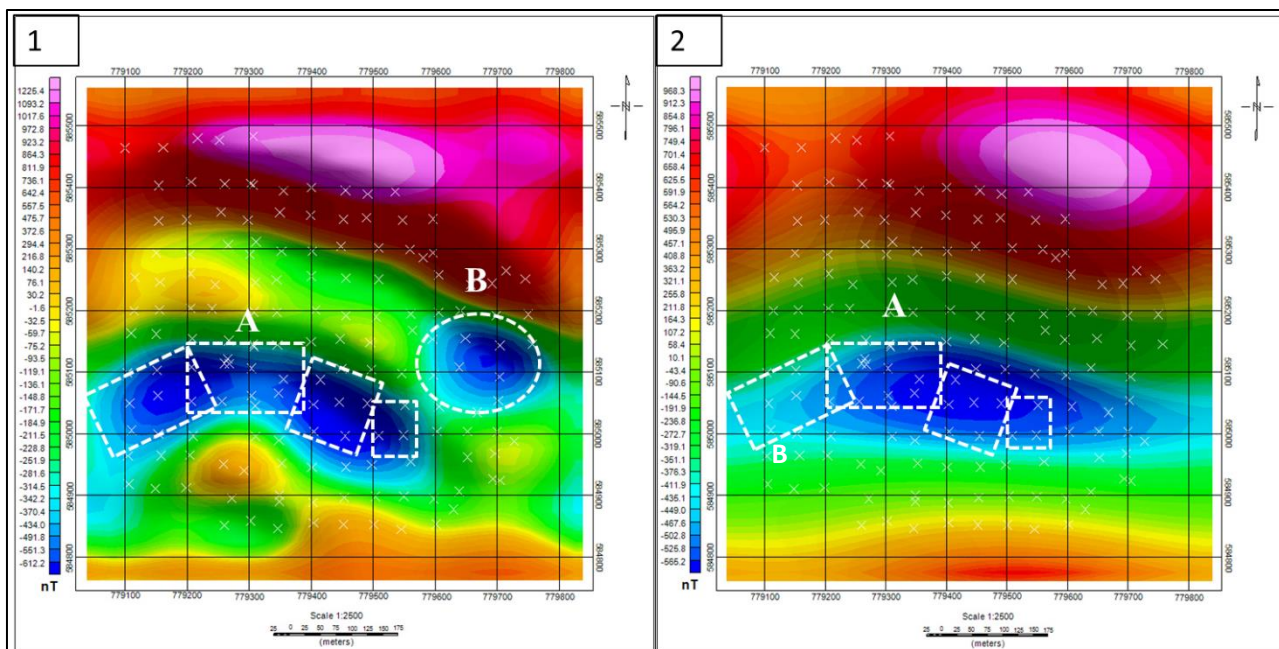
Gambar 2 (kanan) menunjukkan kontur anomali magnetik total yang telah dilakukan penapisan reduksi ke ekuator dengan nilai magnetik tertinggi 1174.6 nT dan terendah -644.0 nT. Anomali magnet yang telah di reduksi ke ekuator telah tepat berada pada nilai minimum yang ditandai dengan skim berwarna biru, sehingga kontur dengan nilai minimum diindikasikan adanya bijih besi.

Peta kontur anomali bijih besi tersebut merupakan gabungan peta penyebaran anomali bijih besi yang terdiri dari anomali bijih besi dangkal (*residual*) dan bijih besi dalam (*regional*) atau disebut sebagai peta penyebaran anomali total. Anomali total dapat dipisahkan untuk mengetahui dan membedakan tingkat penyebaran bijih besi dangkal (*residual*) dan dalam (*regional*) melalui tahapan penapisan (*filtering*) yang berdasarkan panjang gelombang yaitu *low pass filter* dan *high pass filter*.

b. *Low pass filter*

Penapisan *low pass filter* memotong anomali gelombang panjang tertentu, sehingga dihasilkan sumber anomali dalam atau sumber anomali menengah yang disebut anomali regional. Pemotongan gelombang anomali dilakukan pada kontur anomali magnet total yang telah dilakukan penapisan reduksi ke ekuator, agar anomali hasil pemotongan gelombang telah tepat berada di bawah ekuator magnet.

Pemotongan gelombang dilakukan pada pemotongan nilai panjang gelombang yang berbeda hingga mendapatkan pola kontur anomali yang merata (*smooth*). Pola kontur yang merata (*smooth*) merupakan pola kontur anomali regional yang dapat dianggap sebagai anomali batuan dasar. Pada penelitian ini dilakukan pemotongan gelombang panjang 200 meter dan 400 meter.



Gambar 3. Peta kontur anomali regional pada pemotongan gelombang panjang 200 m (1) dan 400 m (2).

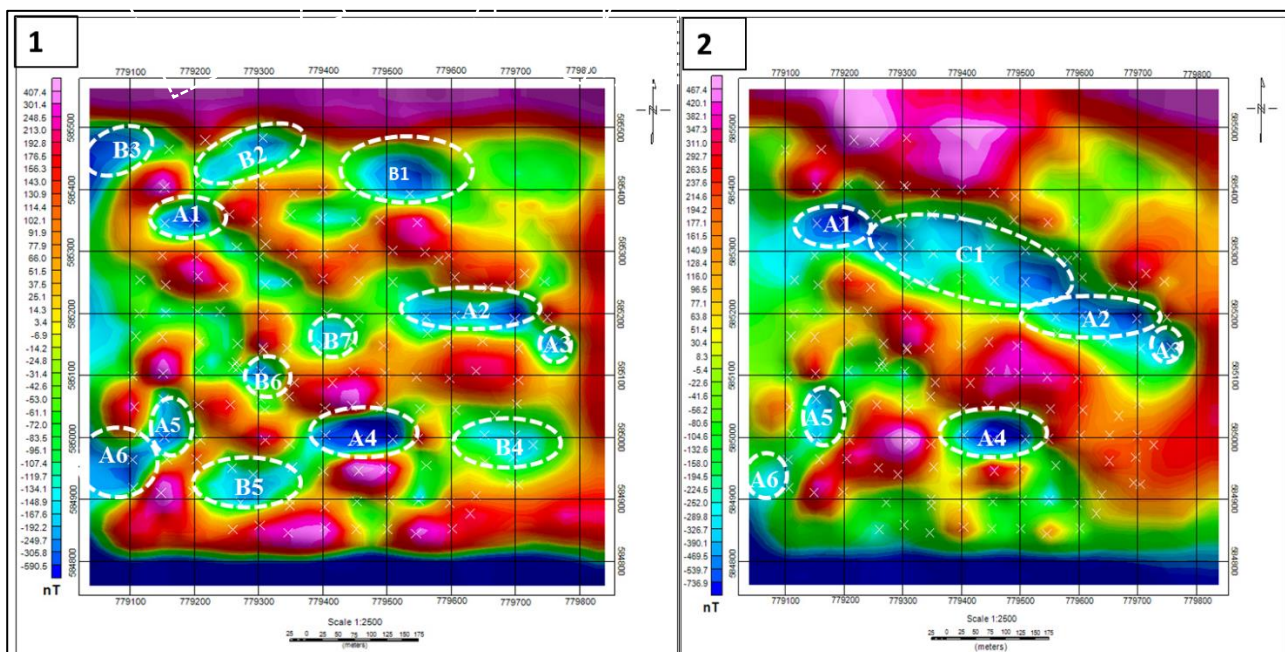
Anomali pada Gambar 3 (1) merupakan pemotongan gelombang panjang 200 meter yang ditunjukkan dengan skim berwarna biru. Pola kontur pada peta sebaran anomali bijih besi menunjukkan anomali menengah. Gambar 3 (2) pemotongan panjang gelombang 400 meter menunjukkan pola kontur anomali yang sudah merata (*smooth*), sehingga menunjukkan sebaran anomali dalam (*regional*) yang ditandai dengan skim

bewarna biru. Dari Gambar 3 (1 dan 2) memiliki kesesuaian pada pola kontur yang ditandai dengan label A. Pada pola kontur yang merata dapat disimpulkan anomali regional terdiri dari anomali batuan dasar dan anomali bijih besi yang menerus ke batuan dasar.

Dapat dilihat pada Gambar 3 (1) dengan pemotongan panjang gelombang 200 meter, anomali bijih besi yang ditandai dengan skem berwarna biru kotak A merupakan anomali menengah. Anomali pada kotak A juga terdapat pada Gambar 3 (2) dengan pemotongan gelombang 400 meter, sehingga dapat diasumsikan anomali bijih besi menerus ke batuan dasar. Sedangkan kotak B pada Gambar 5 (1) dengan pemotongan gelombang 200 meter, tidak menunjukkan kemenerusan dengan Gambar 5 (2) pada pemotongan gelombang 400 meter. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pada pemotongan gelombang 200 kotak B merupakan anomali menengah, akibat tidak terdapat kemenerusan terhadap batuan dasar.

c. *High pass filter*

Penapisan *high pass filter* memotong anomali gelombang pendek tertentu, sehingga dihasilkan anomali residual yang berasosiasi dengan material dangkal. Pada penelitian ini dilakukan penapisan *high pass filter* dengan pemotongan gelombang pendek pada panjang gelombang 200 meter dan 400 meter. Gambar 4 (1) di bawah ini anomali bijih besi residual ditunjukkan dengan skem berwarna biru. Anomali residual tersebut merupakan anomali dangkal yang terdapat pada lokasi penelitian. Namun terdapat juga anomali residual yang menerus ke lapisan yang lebih dalam seperti pada Gambar 4 (2).



Gambar 4. Peta kontur anomali residual pemotongan gelombang ≤ 200 meter (1) dan ≤ 400 meter (2)

Pada Gambar 4 (1) memperlihatkan lokalisasi sebaran anomali residual yang ditandai dengan label A1 hingga A6 dan B1 hingga B7. Pada peta kontur dapat dilihat skem yang kontras terhadap anomali mendominasi pola kontur. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa pada lokasi penelitian ketersediaan sebaran anomali magnetik dangkal lebih sedikit dibandingkan dengan ketersediaan sebaran material yang kontras terhadap anomali.

Gambar 4 (2) merupakan anomali residual dengan pemotongan gelombang pendek 400 meter, sehingga didapatkan pola kontur yang merata (*smooth*). Pola kontur yang merata ini mengindikasikan adanya anomali dalam. Anomali residual pada Gambar 4 (1) yang menerus ke anomali dalam berdasarkan pola kontur yang telah merata (*smooth*) pada Gambar 4 (2) ditunjukkan dengan label A1 hingga A6. Sedangkan label B1 hingga B7 merupakan anomali residual bijih besi yang dangkal dan tidak menerus ke anomali dalam. Sedangkan label C1 pada pemotongan gelombang 400 hanya terdapat di anomali dalam, sehingga dapat disimpulkan anomali pada label C1 merupakan anomali residual yang dalam. Untuk mengetahui kedalaman dari setiap anomali, maka perlu dilakukan interpretasi kuantitatif.

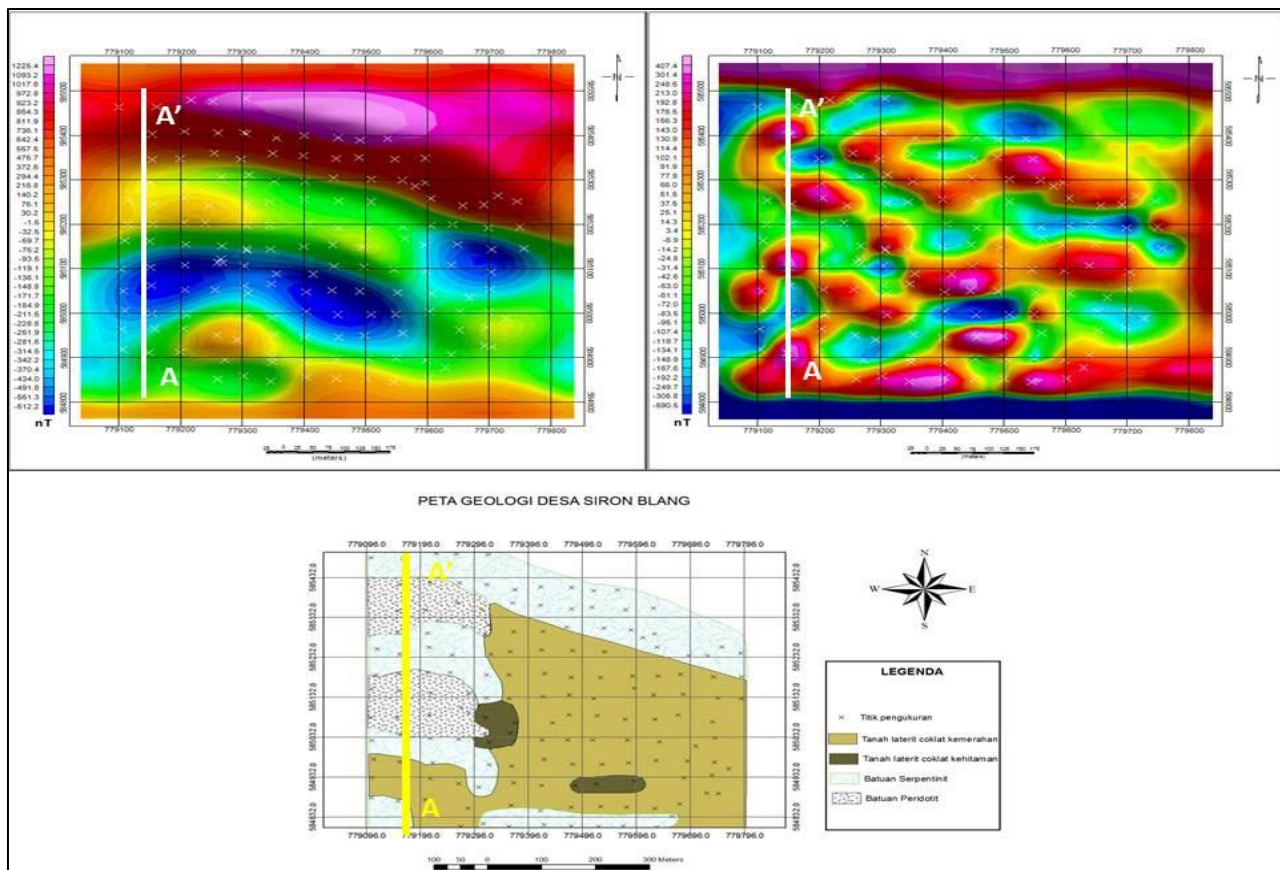
Interpretasi kuantitatif

a) Profil A-A'

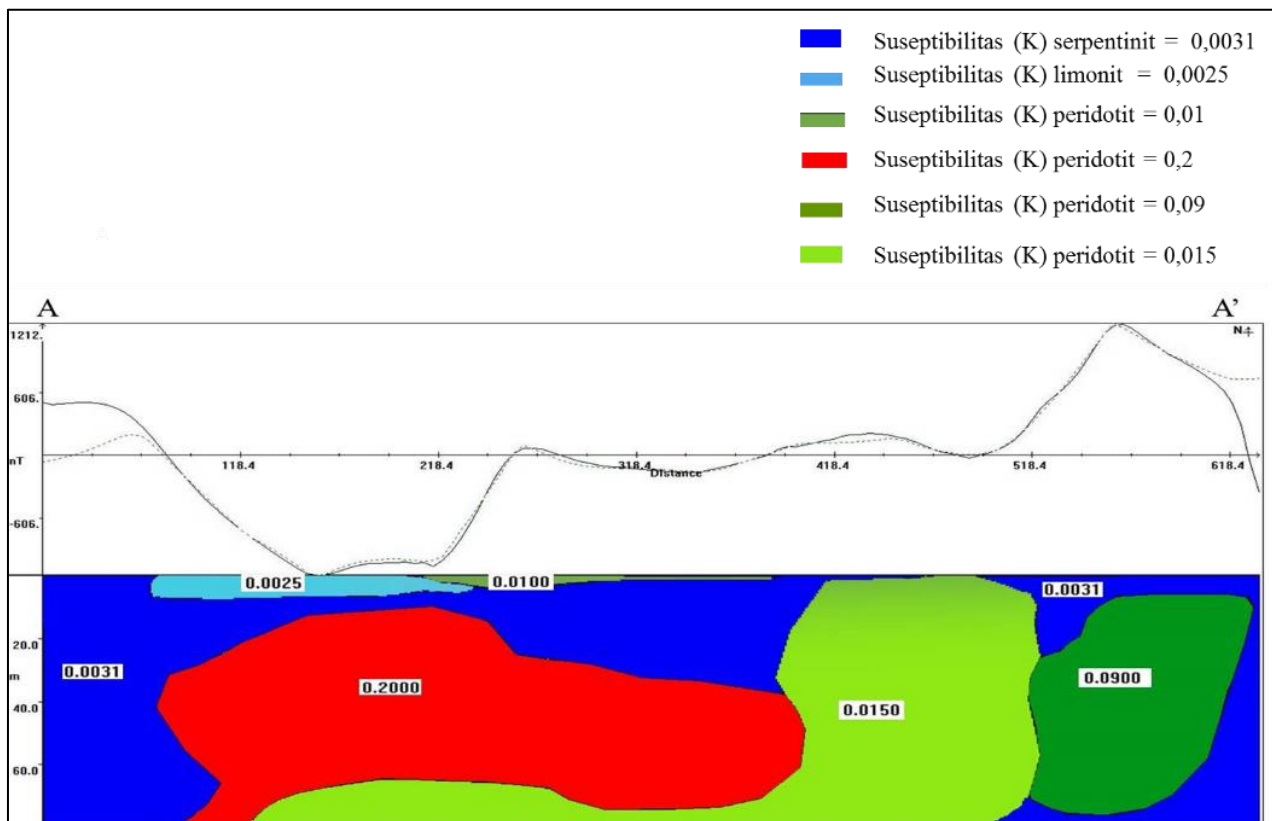
Pendugaan model bawah permukaan didasarkan pada interpretasi kualitatif peta kontur anomali pada pemotongan gelombang panjang 200meter (*low pass filter*) dan pemotongan gelombang pendek dengan panjang gelombang 200 meter (*high pass filter*), serta informasi dari pemetaan geologi (Gambar 5)

Gambar 6 adalah pendugaan model bawah permukaan berdasarkan profil A-A'. Lapisan paling dangkal terdiri dari endapan batuan serpentinit dengan suseptibilitas 0,0031 dan kisaran kedalaman dari dangkal hingga dalam sekitar 80 meter. Lapisan endapan serpentinit ini diduga menjadi latar belakang (*background*) pada lokasi profil A-A sehingga terdapat dari kedalaman dalam hingga permukaan. Pada lapisan paling dangkal juga terdapat endapan tanah laterit dengan kisaran kedalaman 2 meter hingga 4 meter yang mengandung massa mineral bijih besi limonit dengan range suseptibilitas 0,0025 dan termasuk suseptibilitas mineral bijih besi lain seperti goetit ($k = 0,0011$), pirotit ($k = 0,00046$), dan pirit ($k = 0,00005$).

Selain itu, pada anomali dangkal juga terdapat batuan peridotit dengan suseptibilitas yang berbeda 0,01 dan kedalaman sekitar 1 meter hingga 2 meter, serta suseptibilitas peridotit 0,015 dengan kisaran kedalaman 79 meter hingga 80 meter dari kedalaman paling dalam hingga permukaan. Peridotit dengan suseptibilitas yang berbeda diduga mengandung kadar unsur mineral logam yang berbeda pula. Pada lapisan kedalaman menengah hingga paling dalam terdapat endapan serpentinit dengan suseptibilitas 0,0031, endapan peridotit dengan suseptibilitas berbeda berupa tubuh batuan intrusif jenis batolit dan *dike* dengan suseptibilitas 0,2 dan kisaran kedalaman 50 meter hingga 65 meter, peridotit dengan suseptibilitas 0,015 dari kedalaman sangat dalam yang menerus hingga ke permukaan, serta peridotit dengan suseptibilitas 0,09 dan kisaran kedalaman 70 meter berupa batuan peridotit yang diduga tidak mengalami serpentinisasi seperti batuan sekitarnya. Peridotit adalah batuan beku ultrabasa yang menjadi batuan dasar untuk menghasilkan mineral logam seperti nikel dan apabila mengalami metamorfosis dapat berupa serpentinit. Lapisan peridotit yang berbentuk *dike* dan batolit dengan tubuh batuan besar dapat diduga adanya intrusi pada daerah penelitian.



Gambar 5. Informasi sayatan melintang A-A' dari peta kontur *low pass filter* (kiri atas), *high pass filter* (kanan atas), dan hasil pemetaan geologi.

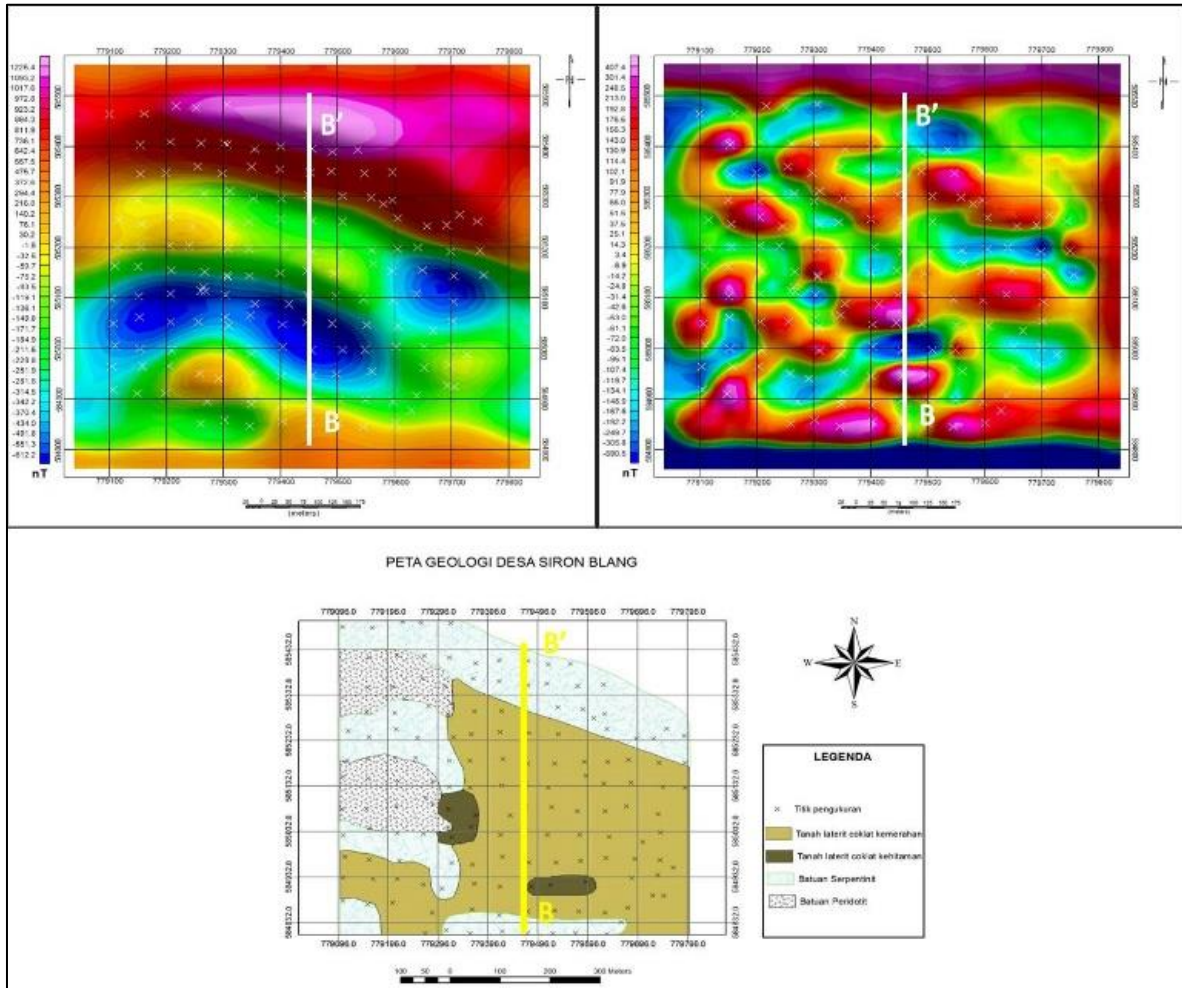


Gambar 6. Model bawah permukaan profil A-A'

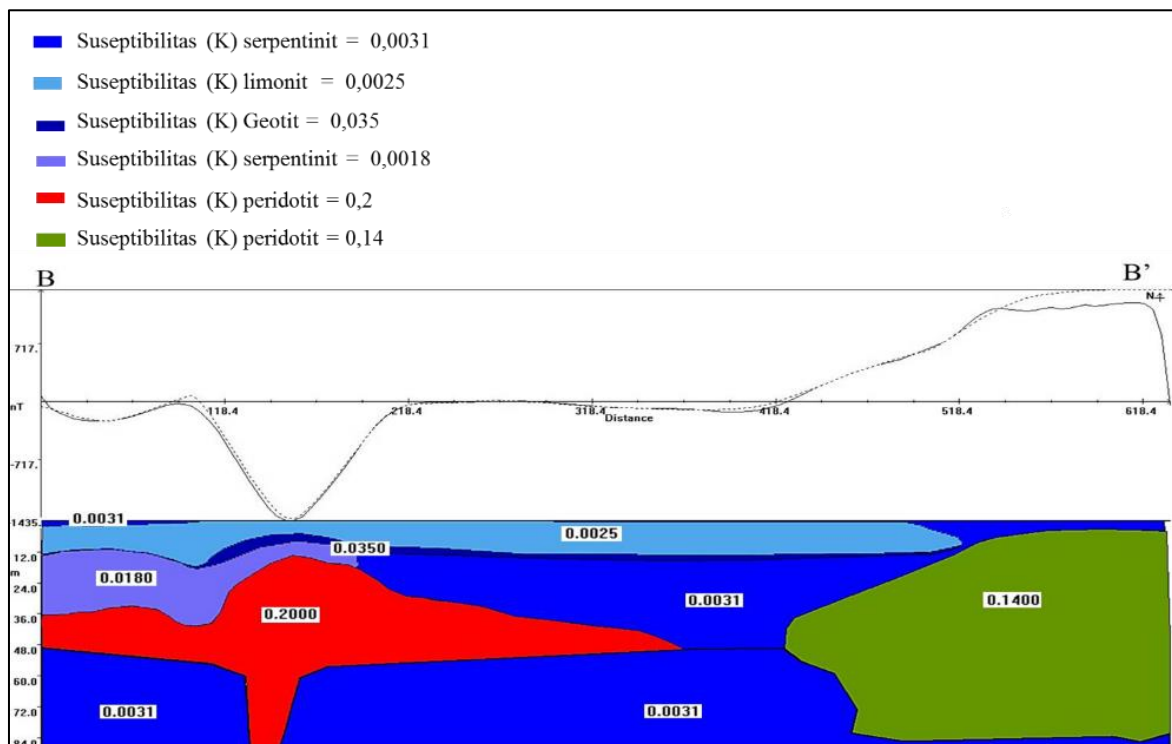
b) Profil B-B'

Sayatan kedua merupakan sayatan dari B-B' (Gambar 7). Dugaan bawah permukaan profil B-B' (Gambar 8) terdiri dari lapisan paling dangkal berupa endapan serpentinit dalam jumlah sedikit dengan suseptibilitas 0,0031 dan diselimuti oleh lapisan laterit yang mengandung mineral bijih besi limonit. Suseptibilitas material lapisan laterit adalah 0,0025. Suseptibilitas 0,0025 merupakan suseptibilitas limonit, namun juga termasuk kisaran (*range*) mineral bijih besi goetit ($k = 0,0011$), pirotit ($k = 0,00046$), dan pirit ($k = 0,00005$). Di bawah lapisan laterit terdapat lapisan hematit dengan range suseptibilitas 0,035. Lapisan dangkal ini merupakan lapisan hasil pelapukan lanjut dari batuan ultrabasa dan dominan oksida besi. Kisaran kedalaman lapisan dangkal dimulai dari permukaan hingga 10 meter. Lapisan dangkal merupakan lapisan yang terdiri dari akar tumbuhan, humus, oksida besi, dan sisa organik lainnya. Lapisan dangkal berwarna coklat kemerahan hingga coklat kehitaman merupakan kumpulan massa goetit dan limonit yang bersifat gembur dan kaya unsur Fe. Lapisan dalam atau menengah dengan kisaran kedalaman 10 meter dari permukaan hingga 40 meter yang terdiri dari endapan serpentinit dengan range suseptibilitas 0,0031 hingga 0,018 dan peridotit 0,14 hingga 0,2. Adanya perbedaan nilai suseptibilitas batuan dipengaruhi oleh unsur mineral logam yang dikandung oleh batuan tersebut. Serpentinit merupakan batuan metamorf yang mengalami serpentinisasi atau pelapukan dari batuan ultrabasa jenis peridotit. Peridotit adalah batuan beku ultrabasa yang menjadi batuan dasar untuk menghasilkan mineral logam seperti nikel dan apabila mengalami metamorfosis dapat berupa batuan serpentinit.

Endapan peridotit berbentuk tubuh batuan batolit berukuran besar yang dihubungkan dengan dike pada kedalaman yang lebih dalam dengan suseptibilitas 0,2 dan endapan peridotit dengan suseptibilitas 0,14 diduga tidak mengalami pelapukan atau serpentinisasi menjadi batuan serpentinit seperti batuan disekitarnya, sehingga masih memperlihatkan batuan asal sebagai peridotit. Lapisan paling dalam dengan kisaran kedalaman dari permukaan 40 meter hingga 80 meter terdiri dari endapan serpentinit dan peridotit berupa tubuh batuan intrusif *dike*, serta peridotit yang diduga tidak mengalami serpentinisasi. Adanya batuan ultrabasa peridotit yang membentuk badan intrusif jenis *dike* dan batolit memungkinkan bahwa kawasan penelitian merupakan kawasan intrusif yang sesuai dengan informasi geologi dari peta geologi lembar Banda Aceh.



Gambar 7. Informasi sayatan melintang B-B' dari peta kontur *low pass filter* (kiri atas), *high pass filter* (kanan atas), dan hasil pemetaan geologi.



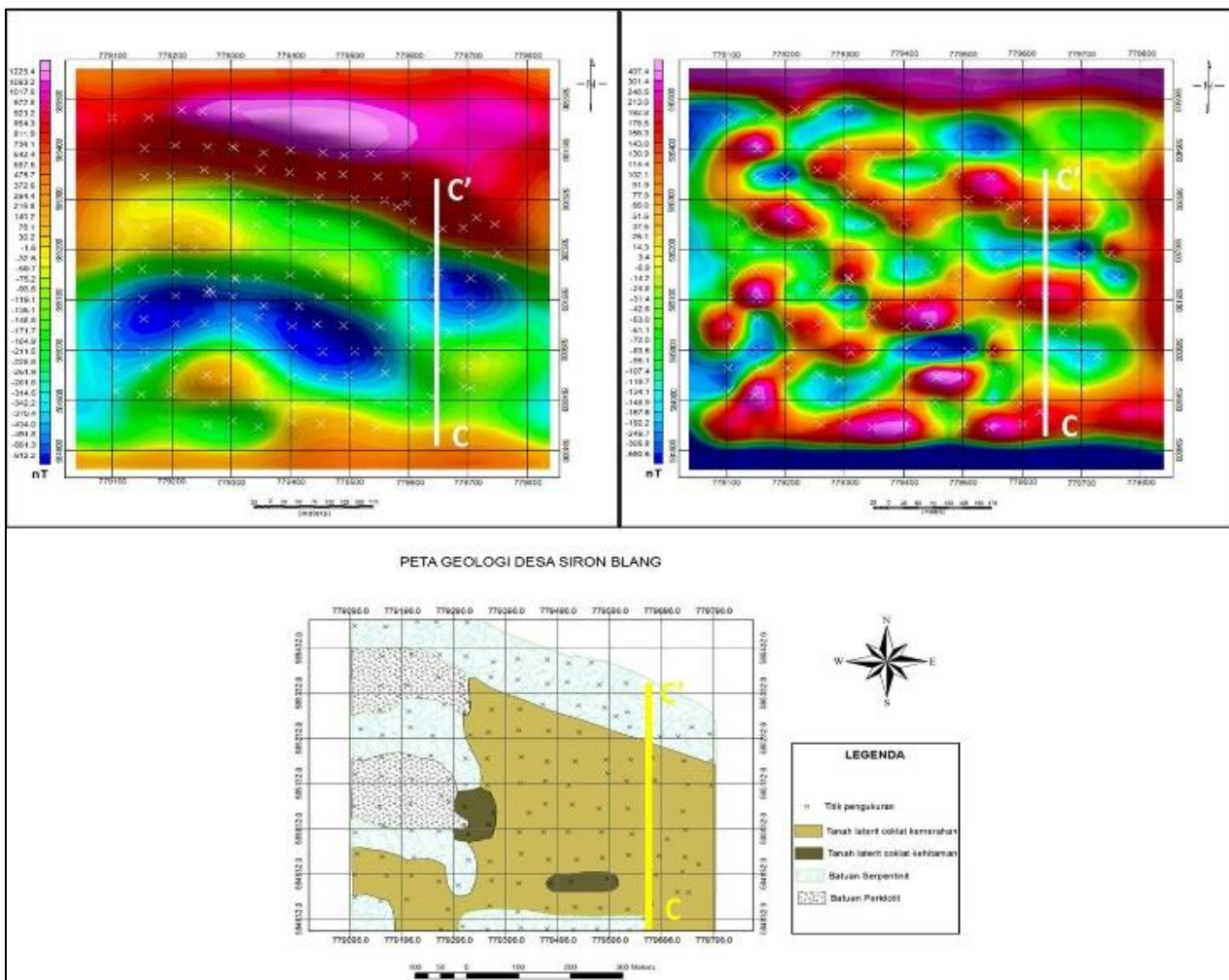
Gambar 8. Pendugaan model bawah permukaan profil B – B'

c) Profil C-C'

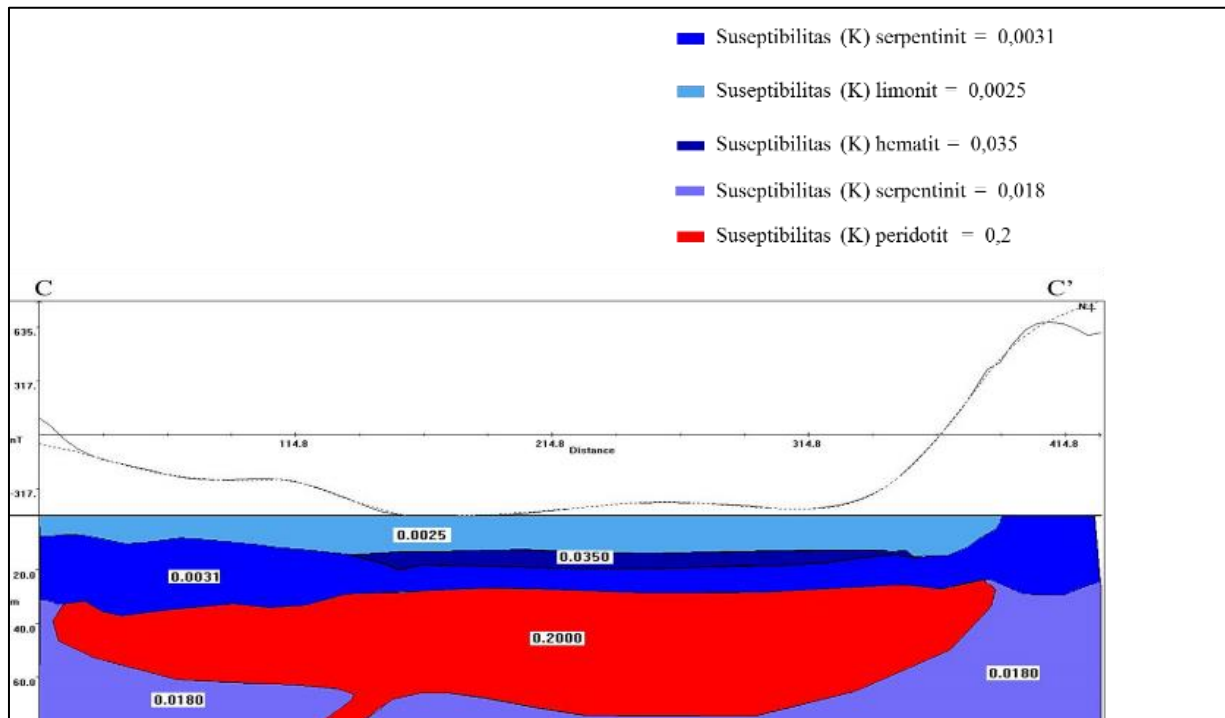
Gambar 10 merupakan pendugaan model bawah permukaan berdasarkan profil C-C' (Gambar 9). Lapisan dangkal merupakan lapisan dengan range suseptibilitas 0,0025 hingga 0,035 dan kisaran kedalaman dari permukaan hingga 10 meter yang terdiri dari hematit, limonit dan goetit ($k = 0,0011$), piritit ($k = 0,00046$), serta pirit ($k = 0,00005$). Lapisan dangkal merupakan lapisan yang terdiri dari akar tumbuhan, humus, oksida besi, dan sisa organik lainnya. Lapisan 1 berwarna coklat kemerahan hingga coklat kehitaman merupakan kumpulan massa goetit dan limonit yang bersifat gembur dan kaya unsur Fe.

Lapisan dangkal merupakan lapisan hasil pelapukan lanjut dari batuan ultrabasa dan dominan oksida besi. Batuan ultrabasa yang mengalami pelapukan yaitu batuan peridotit. Lapisan menengah dengan kisaran kedalaman 10 meter - 40 meter dari permukaan merupakan lapisan serpentin yang terendapkan dengan range suseptibilitas 0,018 hingga 0,0031, serta sedikit termasuk endapan batuan peridotit dengan suseptibilitas 0,2. Material dengan nilai suseptibilitas tinggi diduga mengandung unsur mineral logam. Serpentin merupakan batuan metamorf yang mengalami pelapukan atau serpentinisasi dari batuan asal yaitu peridotit.

Lapisan dalam memiliki kisaran kedalaman 40 meter dari permukaan hingga 80 meter yang terdiri dari endapan peridotit dan endapan serpentin. Batuan ultrabasa jenis peridotit membentuk badan intrusif berupa dike dan batolit yang menerobos endapan serpentin. Suseptibilitas magnet batuan peridotit pada model tinggi yaitu 0,2 diduga mengandung unsur mineral logam. Peridotit adalah batuan beku ultrabasa yang menjadi batuan dasar untuk menghasilkan mineral logam seperti nikel dan apabila mengalami serpentinisasi oleh mineral serpentin membentuk batuan metamorf berupa serpentin.



Gambar 9. Informasi sayatan melintang C-C' dari peta kontur *low pass filter* (kiri atas), *high pass filter* (kanan atas), dan hasil pemetaan geologi.



Gambar 10. Pendugaan model bawah permukaan profil C-C'

4. PENUTUP

Berdasarkan tiga model pendugaan bawah permukaan dan juga didukung oleh informasi dari hasil pemetaan geologi (*geological mapping*) serta peta geologi lembar Banda Aceh, maka secara garis besar area penelitian ditutupi oleh tanah laterit yang merupakan hasil pelapukan dari batuan ultrabasa yaitu peridotit yang mengalami metamorfosis dan terserpentinisasi menghasilkan batuan serpentinit dan unsur logam. Adanya singkapan batuan serpentinit di lokasi penelitian menegaskan bahwa area penelitian mengalami dasar pelapukan dari batuan serpentinit hingga menghasilkan tanah laterit. Singkapan batuan serpentinit juga mengindikasikan terjadinya serpentinisasi yang tinggi di wilayah penelitian, sehingga intensitas magnetisasi juga meningkat, namun stabilitas batuan menurun yang diindikasikan dari tingkat pelapukan pada lokasi penelitian. Tingkat pelapukan dapat dilihat dari kondisi *top soil* berupa tanah laterit dan singkapan batuan di atas permukaan yang lapuk.

Berdasarkan pemodelan, tanah laterit mengandung mineral bijih besi yang terdiri dari hematit dengan suseptibilitas 0,035 dan mineral bijih besi limonit dengan suseptibilitas 0,0025. Suseptibilitas mineral bijih besi goetit, pirotit, dan pirit juga termasuk dalam kisaran (*range*) suseptibilitas mineral hematit dan limonit, maka daerah penelitian diduga mengandung mineral bijih besi hematit, limonit, goetit, pirotit, dan pirit.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahwanto, Adi dan Jalil, Zulkarnain. 2013. Kajian Awal Karakteristik Mineral Magnetik Bijih Besi Mangamat, Aceh Selatan. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung. Volume 1, 203-206.
- [2] Putri, Deviyani Rusdyanti. 2014. Identifikasi Mineral dan Pengaruh Variasi Waktu Milling Terhadap Sifat Magnetik pada Batuan Bijih Besi Wilayah Lampakuk, Aceh Besar. FMIPA Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- [3] Johnstone, S.J. and Johnstone, M.G. 1961. *Minerals for the Chemical and Allied Industries Second Edition*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- [4] Schon, J.H. 2011. Handbook of Petroleum Exploration and Production : *Physical Properties of Rocks*. Elsevier. United Kingdom, hal:373-391.
- [5] Dobrin, M.B. and Savit, C.H. 1988. *Introduction to Geophysical Prospecting Fourth Edition*. McGraw-hill book company. Singapore, hal:633-672.
- [6] Telford, et al. 1990. *Applied Geophysics Ed. ke - 2*. Cambridge University Press , United States of America, hal:62-134.