

INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DI MUARA SUNGAI PROGO MENGGUNAKAN METODE MAGNETIK

Dewi Andri¹⁾ , Muhammad Irham¹⁾ dan Udi Harmoko¹⁾

¹⁾ Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

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

ABSTRACT

Progo fault is one of the active faults located in the south of Yogyakarta. Progo fault is suspected that located in Progo River estuary area, Banaran, DIY. However, studies are still needed to support the scientific basis of the position and the type of fault in Progo River estuary. Magnetic survey has been carried out in DIY Progo River estuary to determine the subsurface structure in the area. Data needed in the processing of magnetic data is a magnetic anomaly data obtained from the values of the total magnetic field strength has been corrected. In this study, magnetic data acquisition was carried out in 97 points by using a PPM (Proton Precession Magnetometer) geometrics 856X. Data Processing began with International Geomagnetic Reference Field (IGRF) correction and diurnal correction to get the total magnetic anomaly. The total magnetic anomaly contour created by using Surfer that has been used to process upward continuation and then made reduction to the poles. The result of research showed the total magnetic anomaly closure pair of positive and negative indicated a fault zone below the surface. Mag2D used to create 2D modelling to obtain the subsurface structure and susceptibility values. To reinforce the results of subsurface structure, 3- modelling has been created by used Mag3D. In 2D-modelling of subsurface structure is obtained in the form of fault zones in the west and the east of the River Progo. The interpretation is reinforced by the result of 3D-modelling in the area. There are two reserve faults in Progo River estuary area, first in the west of the Progo River and second in east Progo River to a depth of 1000 meters.

Keywords : *fault, total magnetic field anomaly, residual anomaly, susceptibility*

ABSTRAK

Sesar Progo merupakan salah satu sesar aktif yang ada di selatan Yogyakarta. Diduga Sesar Progo Berada di muara Sungai Progo, kecamatan Banaran, DIY. Namun masih dibutuhkan kajian-kajian sebagai pendukung secara ilmiah mengenai posisi serta jenis sesar di daerah muara Sungai Progo. Survei magnetik telah dilakukan di muara Sungai Progo DIY kecamatan Banaran, kabupaten Kulon Progo yang bertujuan untuk mengetahui struktur bawah permukaan di daerah tersebut. Data yang dibutuhkan dalam pengolahan data magnetik merupakan data anomali magnetik yang didapat dari nilai kuat medan magnet total yang telah dikoreksi. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran sebanyak 97 titik menggunakan satu set Proton Precession Magnetometer (PPM) Geometrics 856X. Untuk mendapatkan nilai anomali medan magnetik total dilakukan koreksi variasi harian dan koreksi *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF). Anomali medan magnet total dibuat kontur menggunakan *software* Surfer yang nantinya akan digunakan untuk proses pengangkatan keatas dan reduksi ke kutub. Hasil penelitian berupa anomali medan magnet total yang menunjukkan pasangan klosur positif-negatif yang mengindikasikan adanya sesar dibawah permukaan. Dilakukan pemodelan 2 dimensi menggunakan Mag2dc terlebih dahulu untuk mendapatkan struktur bawah permukaan serta nilai suseptibilitas batuan. Untuk memperkuat hasilnya, kemudian dilakukan pemodelan 3D dengan menggunakan Mag3DC. Pada pemodelan 2D didapatkan struktur bawah permukaan berupa zona sesar naik di barat dan di timur Sungai Progo. Penafsiran tersebut diperkuat dengan hasil pemodelan 3 dimensi di daerah tersebut. Terdapat dua sesar di daerah muara Sungai Progo, satu di barat Sungai Progo hingga kedalaman 1000 meter dan satu sesar di timur Sungai Progo.

Kata kunci : *sesar, anomali medan magnet total, anomali residual, suseptibilitas,*

PENDAHULUAN

Daerah selatan Pulau Jawa memiliki kondisi geologi yang sangat kompleks dikarenakan adanya pertemuan lempeng-lempeng yang membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng kompleks. Kondisi ini menjadikan daerah Pulau Jawa rawan terhadap bencana alam yang terjadi karena hasil pelepasan energi dan pertemuan kedua lempeng tersebut. Proses endogenik yang menghasilkan adanya gaya tektonik berperan dalam pembentukan struktur geologi. Aktivitas tektonik mempengaruhi kekuatan dan sifat fisik dari material yang dihasilkan selama proses deformasi. Adanya sistem sesar atau patahan menyebabkan deformasi batuan yang mengakibatkan munculnya sesar baru atau sesar minor. Ada beberapa sistem sesar yang diduga masih aktif yang menyebabkan wilayah Yogyakarta dan sekitarnya menjadi wilayah rentan gempa, yaitu Sesar Opak, Sesar Oyo, Sesar Dengkeng, Sesar Progo dan sesar lainnya yang belum teridentifikasi [1]

Sesar Progo diperkirakan terletak disekitar Sungai Progo, yaitu di bagian selatan Yogyakarta. Namun, dibutuhkan kajian tambahan mengenai letak persis serta struktur geologi sesar Progo. Untuk mengetahui posisi persis dan bagaimana struktur geologi sesar Progo maka dilakukan penelitian di muara Sungai Progo, yaitu di daerah Banaran, Galur, Kabupaten Kulon Progo, D.I.Yogyakarta.

Untuk mengetahui struktur bawah permukaan dapat digunakan beberapa metode geofisika, salah satunya adalah metode magnetik yang dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi besar bawah permukaan bumi. Metode magnetik cukup bagus digunakan sebagai survei pendahuluan karena juga memiliki ketelitian pengukuran yang cukup tinggi dan peralatan serta pengoperasian di lapangan relatif sederhana, mudah dan cepat [2]. Metode magnetik dapat menunjukkan variasi medan magnet bumi yang diukur di permukaan bumi. Hasil interpretasi

dengan metode ini bertujuan untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian.

DASAR TEORI

Medan Magnet Bumi

Medan magnet bumi merupakan medan dimana dapat dideteksi distribusi gaya magnet. Sifat kemagnetan bumi disebabkan oleh bumi yang berotasi. Nilai medan magnet bumi total setiap lokasi di berbagai belahan dunia tidak sama. Sumber medan magnet bumi terdiri dari 3 macam unsur medan magnet yang ada di bumi [3]. Tiga sumber medan magnet tersebut meliputi:

1. Medan Magnet Utama Bumi

Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu dan hasil yang terukur di permukaan bumi hampir seluruhnya disebabkan oleh sumber dari dalam bumi [4]. Untuk menyeragamkan nilai-nilai utama bumi, dibuat standar nilai yang diperbaharui 5 tahun sekali yang disebut *International Geomagnetics Reference Field* (IGRF).

2. Medan Magnet Luar

Medan magnet bumi juga dipengaruhi oleh medan magnet luar. Aktivitas bintang matahari dapat menyebabkan pengaruh magnetik terhadap medan magnet luar. Partikel-partikel yang terionisasi dalam lapisan ionosfer oleh radiasi matahari menghasilkan fluksitas arus yang menjadi sumber medan magnet luar.

3. Anomali Medan Magnet

Medan anomali magnet merupakan magnetisasi yang dibangkitkan oleh medan utama bumi dan dipengaruhi sifat kemagnetan batuan di bawah permukaan bumi. Variasi medan magnetik yang terukur di permukaan bumi merupakan target dari survei magnetik.

Metode Geomagnet

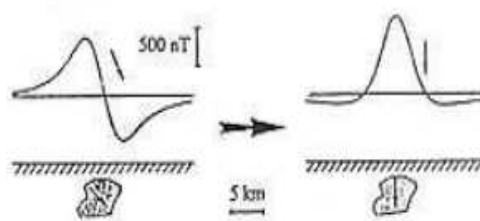
Metode magnetik merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan bumi berdasarkan nilai medan magnet pada batuan yang disebabkan oleh pengaruh medan magnet bumi saat pembentukan batuan tersebut. Pengamatan medan magnet biasanya didapat dari anomali magnetik daerah tersebut yang dipengaruhi suseptibilitas batuan tersebut. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan bentuk geometri, intrusi dan patahan. Metode magnetik didasarkan pada pengukuran variasi kecil medan magnet bumi yang disebabkan oleh perbedaan sifat magnetisasi batuan di bumi yang akhirnya menimbulkan medan magnet bumi yang tidak homogen atau disebut anomali magnetik [5].

Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas (*upward continuation*) merupakan cara untuk menghilangkan anomali lokal. Penentuan tinggi pengangkatan keatas dilakukan dengan cara *trial and error* dengan melihat kecenderungan pola kontur hasil kontinuasi. Prinsip dari kontinuasi ke atas adalah bahwa suatu medan magnet potensial dapat dihitung pada setiap titik di dalam suatu daerah berdasarkan sifat medan pada permukaan yang dilingkupi daerah tersebut.

Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub merupakan salah satu filter pengolahan data magnetik untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik. Metode reduksi ke kutub magnet bumi dapat mengurangi salah satu tahap rumit dalam interpretasi, dimana anomali medan magnet menunjukkan posisi bendanya sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1. Reduksi ini dilakukan dengan cara mengubah sudut inklinasi dan deklinasi menjadi 90^0 dan 0^0 .



Gambar 1. Anomali magnet (kiri) dan anomali hasil reduksi ke kutub (kanan) [6]

Sesar

Sesar merupakan bidang rekahan pada batuan yang mengalami pergeseran sejajar dengan bidang pecahannya. Sesar terjadi di sepanjang retakan kerak bumi yang terdapat slip antara dua sisi yang terdapat sesar tersebut [7].

Berdasarkan pergerakannya, sesar diklasifikasikan menjadi sesar normal, sesar naik dan sesar mendatar.

Sesar normal merupakan sesar yang memiliki *hanging wall* relatif turun terhadap *foot wall* atau *foot wall* yang relatif naik terhadap *hanging wall*. Sesar naik terjadi saat kerak bumi mengalami tekanan yang disebabkan oleh lempeng yang saling bertumbukan. Gerak pada sesar naik blok *hanging wall* relatif naik terhadap *foot wall*. Sesar mendatar atau sesar geser terjadi karena pergerakan mendatar lempeng bumi yang disebabkan oleh gaya gesekan. Gerak utama sesar ini adalah horizontal dan sejajar bidang sesarnya.

Geologi Regional

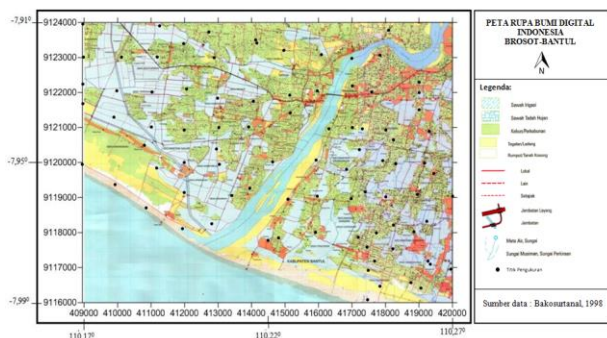
Sesar progo merupakan salah satu sesar yang masih aktif di Yogyakarta [1]. Daerah Kulon Progo merupakan tinggian yang dibatasi oleh tinggian dari rendahan Kebumen di bagian barat dan Yogyakarta timur [8]. Berdasarkan letaknya, Kulon Progo merupakan bagian dari zona Jawa Tengah bagian selatan maka daerah Kulon Progo merupakan salah satu plato yang sangat luas yang terkenal dengan nama Plato Jonggrangan [9]. Daerah ini

merupakan daerah *uplift* yang membentuk *dome* yang luas.

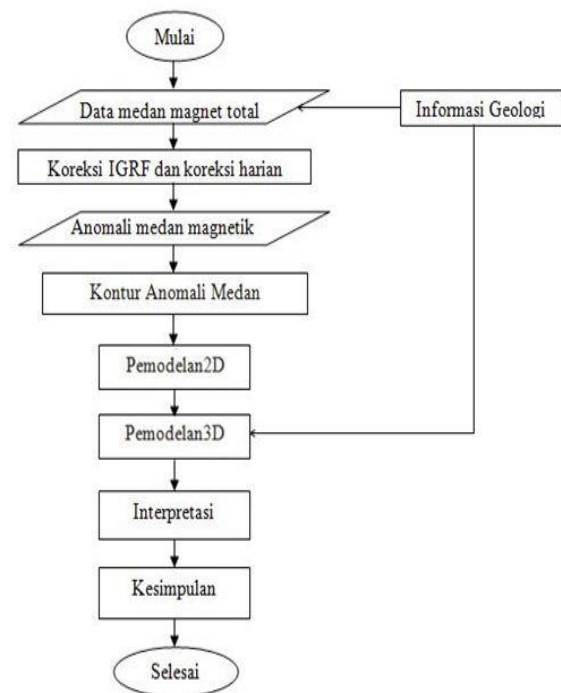
Struktur geologi yang dijumpai di Kubah Kulon Progo ini adalah kekar dan sesar. Pada kompleks pegunungan Kulon Progo terjadi penurunan cekungan sampai di bawah permukaan laut yang menyebabkan terbentuknya sinklin pada kaki selatan pegunungan Menoreh. Kulon Progo merupakan dataran rendah dan pada puncak Menoreh membentang pegunungan sisa dengan ketinggian sekitar 400 m.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah Satu set PPM (*Proton Precision Magnetometer*) *geometrics* G-856AX yang digunakan untuk mengukur nilai kuat medan magnet total di permukaan bumi, kompas geologi yang digunakan sebagai penunjuk arah utara dan GPS Garmin yang digunakan untuk membaca koordinat penelitian. Pengambilan data dilakukan dengan metode *looping* di daerah Muara Sungai Progo, Banaran, Galur, Kabupaten Kulon Progo, D.I.Yogyakarta. Secara geografis daerah penelitian berada pada koordinat $7,99^0$ LS dan $110,17^0$ BT sampai $7,91^0$ LS dan $110,27^0$ BT. Desain survei pengambilan data dilakukan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Survei pengambilan data



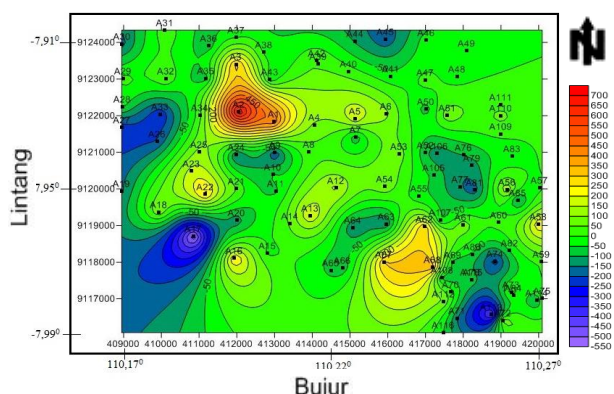
Gambar 3. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Medan Magnet

Anomali magnetik total merupakan nilai medan magnet yang dihasilkan oleh batuan di bawah permukaan bumi yang menjadi target penelitian dengan menggunakan metode magnetik ini. Tinggi atau rendahnya nilai anomali magnetik juga dipengaruhi dari keberadaan sebaran dan banyaknya mineral di bawah permukaan bumi.

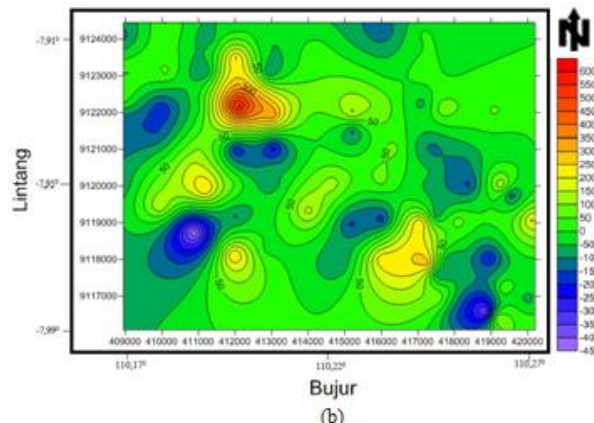
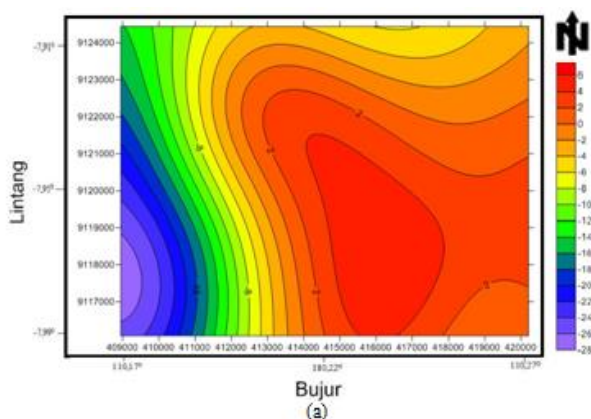
Nilai anomali total dihasilkan dengan menghilangkan pengaruh medan magnet utama dan medan magnet luar dengan dilakukan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) dan koreksi variasi harian. Peta anomali magnetik total sebagai respon batuan bawah permukaan di daerah penelitian dapat diplot dalam peta kontur menggunakan *software Surfer 11* seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta kontur medan anomali total daerah penelitian

Kontinuasi ke Atas

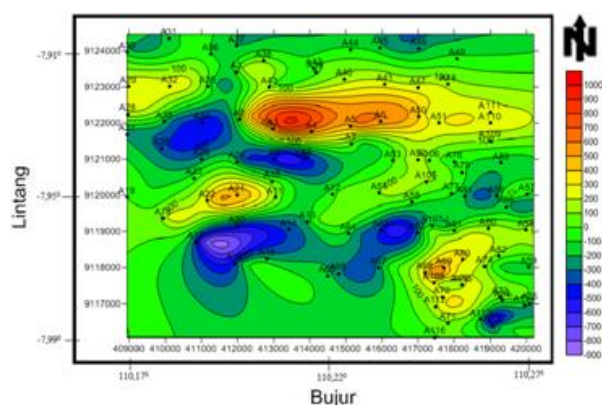
Data anomali total merupakan data anomali lokal yang bercampur dengan anomali magnetik lain yang berasal dari sumber yang sangat dalam dan luas di bawah permukaan bumi yang disebut dengan anomali magnetik regional. Target penelitian adalah struktur geologi bawah permukaan yang bersifat lokal, sehingga digunakan filter kontinuasi ke atas untuk memisahkan pengaruh yang disebabkan anomali regional yang sangat luas. Pada penelitian ini dilakukan pengangkatan ke atas setinggi 4000 m untuk memisahkan efek regional dan residual seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta kontur (a) anomali regional (b) anomali lokal setelah dilakukan pengangkatan ke atas 4000 m

Reduksi ke Kutub

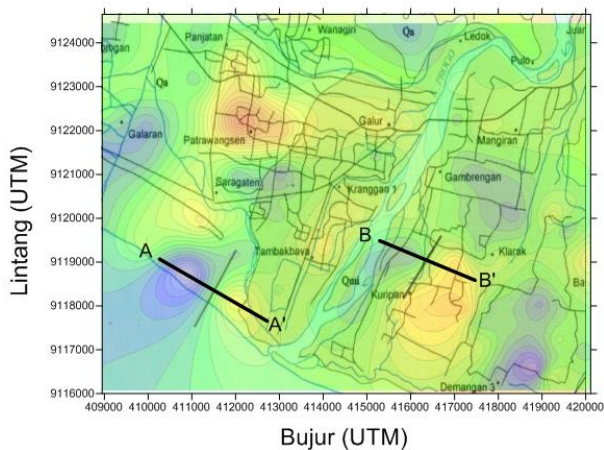
Reduksi ke kutub dilakukan untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik dan dilakukan dengan menggunakan *software magpick*. Data anomali magnetik total kemudian di reduksi ke kutub untuk mempermudah dalam interpretasi secara kualitatif. Hasil dari reduksi ke kutub menunjukkan klosur positif-negatif menjadi satu kutub. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta kontur reduksi ke kutub

Di bagian barat dan timur Sungai Progo terlihat adanya anomali rendah yang diduga terdapat benda penyebab anomali yang letaknya dekat dengan Sungai Progo dan pesisir pantai selatan. Pasangan klosur yang telah bersatu

diindikasikan adanya struktur geologi berupa patahan, sehingga pasangan klosur yang berada di dekat Sungai Progo dibuat sayatan kemudian dilakukan pemodelan menggunakan *software* Mag2DC (Gambar 7).



Gambar 7. Peta kontur residual dioverlay dengan peta Geologi Lembar Yogyakarta

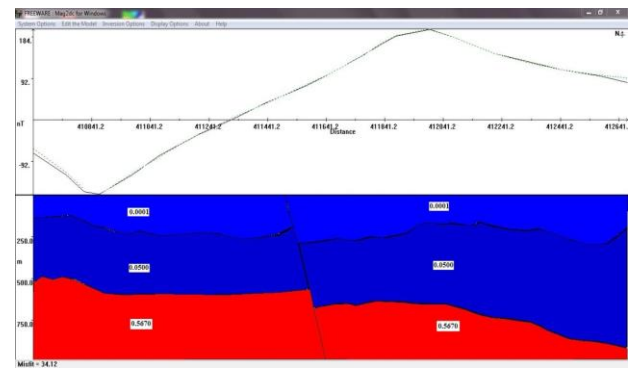
Pemodelan pada sayatan A-A' ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan pemodelan pada sayatan A-A' tersusun atas 3 lapisan batuan dengan nilai suseptibilitas yang berbeda. Lapisan pertama dalam pemodelan ini berupa kerakal, pasir, lanau dan lempung. Lapisan ini berada hingga kedalaman 295 meter dengan nilai suseptibilitas 0,0001 (satuan SI) yang merupakan dataran alluvium hasil endapan piroklastik erupsi Gunungapi Merapi.

Pada lapisan yang kedua merupakan batuan gamping dari formasi sentolo dengan suseptibilitas 0.0500 (satuan SI) yang berada pada kedalaman 128 meter hingga 900 meter.

Kemudian lapisan ketiga merupakan breksi atau tuff dari formasi Gunungapi muda yang berada pada kedalaman 490 meter hingga kedalaman 1000 meter dengan nilai suseptibilitas 0,567 (satuan SI). Lapisan ketiga memiliki nilai suseptibilitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan lapisan pertama dan kedua.

Pada pemodelan sayatan A-A' menunjukkan adanya sesar di bagian barat Sungai Progo. Berdasarkan hasil pemodelan terlihat permukaan bagian barat lebih naik terhadap permukaan di bagian timurnya, diperkirakan sesar tersebut merupakan sesar turun. Adanya sesar diperkuat dengan adanya kenampakan dipermukaan yaitu dengan adanya sungai (Sungai Progo) yang merupakan sungai patahan.

Gambar 8. Pemodelan 2 dimensi hasil sayatan A-A'



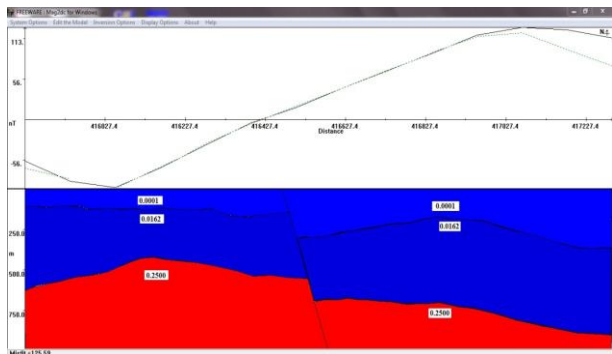
Pada sayatan B-B' yang ditarik dari barat-timur di bagian timur Sungai Progo didapatkan 3 lapisan batuan menggunakan pemodelan 2 dimensi. Pada lapisan pertama terdapat pasir pada endapan alluvial. Lapisan ini berada hingga kedalaman 350 meter dengan nilai suseptibilitas 0,0001 (satuan SI) yang merupakan dataran alluvium hasil rombakan dari batuan yang lebih tua.

Pada lapisan yang kedua merupakan batuan gamping yang merupakan batuan tersier (berumur tua) dengan suseptibilitas 0.0162 (satuan SI) yang berada pada kedalaman 150 meter hingga 900 meter.

Kemudian lapisan ketiga merupakan breksi atau tuff dari formasi Gunungapi muda yang berada pada kedalaman 500 meter hingga kedalaman 1000 meter dengan nilai suseptibilitas 0,600 (satuan SI).

Gambar 9 merupakan hasil dari pemodelan pada sayatan B-B' menunjukkan

adanya sesar turun pada kedalaman 250 meter yang merupakan batuan gamping.



Gambar 9. Pemodelan 2 dimensi hasil sayatan B-B'

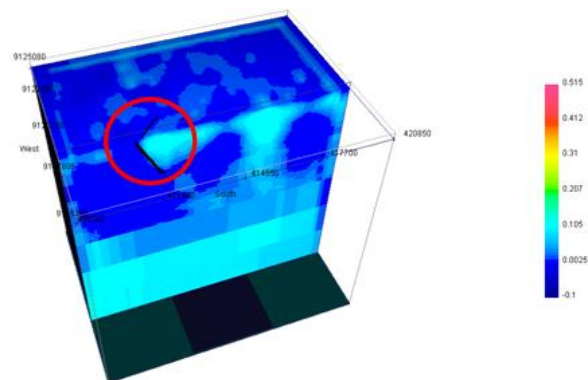
Pada hasil pemodelan pada sayatan A-A' dan B-B' dapat diinterpretasikan bahwa sesar Progo berada pada bagian timur Sungai Progo dan sesar pada bagian barat Sungai Progo merupakan sesar minor yang disebabkan oleh aktifitas tektonik. Hal ini dibuktikan pada analisis struktur Yogyakarta yang menyatakan bahwa terdapat struktur di bagian timur Sungai Progo yang dicurigai sebagai sesar Progo [10].

Pemodelan 3 Dimensi

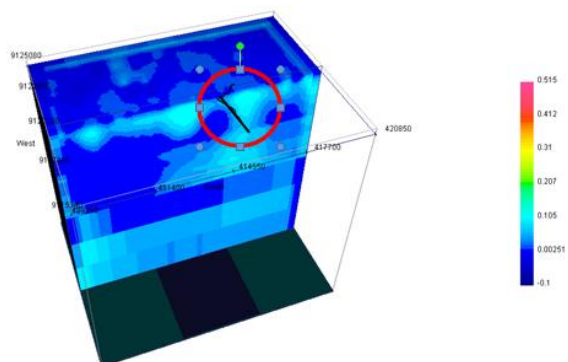
Untuk mengetahui kondisi bawah permukaan pada lokasi penelitian tidak cukup hanya dengan melakukan interpretasi kualitatif. Perlu dilakukan interpretasi kuantitatif untuk memastikan kondisi bawah permukaan berdasarkan pemodelan magnetik dan geologi. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan pemodelan 2 dimensi menggunakan *software* Mag2dc dan pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan Mag3D.

Pada pemodelan Mag3D terlihat jelas kontras suseptibilitas tinggi dan rendah, hal ini mengindikasikan terdapat struktur geologi di daerah tersebut. Seperti pada Gambar 10 terlihat jelas pada daerah yang diindikasikan terdapat dislokasi struktur geologi pada interpretasi kualitatif yang berada pada sayatan A-A' pada bujur 411400 dan lintang 9119000 dalam UTM

dan sayatan B-B' pada bujur 416500 dan lintang 9200000 dalam UTM. Kontras suseptibilitas yang ada di daerah tersebut diindikasikan terdapat struktur geologi pada kedalaman 250 sampai 300 meter.



(a)



(b)

Gambar 10. Hasil pemodelan 3 Dimensi (a) sayatan A-A' kedalaman (b) sayatan B-B' kedalaman

Sesar yang diduga sebagai sesar Progo berarah timur laut-barat daya [11]. Sesuai dengan hasil pemodelan 3 dimensi, bahwa diindikasikan arah sesar pada sayatan A-A' dan B-B' berarah timur laut-barat daya yang berarti searah dengan Sungai Progo.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengolahan data sampai pemodelan dapat diperoleh kesimpulan :

1. Pada hasil sayatan A-A' dan B-B' ditemukan struktur geologi berupa sesar pada bujur 411541 dan pada sayatan B-B' ditemukan sesar pada bujur 416527. Pada pemodelan 3 dimensi didapatkan kontras suseptibilitas pada sayatan A-A' pada bujur 411400 dan lintang 9119000 dalam UTM dan sayatan B-B' pada bujur 416500 dan lintang 9200000 dalam UTM.
2. Dari hasil pemodelan 2 dimensi dan 3 dimensi diinterpretasikan bahwa sayatan A-A' dan B-B' merupakan sesar turun yang berarah timur laut-barat daya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Daryono, 2010, *Aktivitas Gempa Bumi Tektonik Di Yogyakarta Menjelang Erupsi Merapi*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Yogyakarta.
- [2]. Maulana A, 2013, *Pemodelan 3D Magnetik Menggunakan Mag3D untuk Identifikasi Sebaran Bijih Besi di Daerah "RAM-UNILA"*, Volume 1 : UNILA.
- [3]. Telford, W.M., L.P. Geldart, dan R.E. Sheriff,. 1990, *Applied Geophysics, second edition*, Cambridge: University Press, London.
- [4]. Sarkowi, M. 2007. Gaya berat mikro antar waktu untuk analisa perubahan kedalaman muka air tanah (Studi Kasus Dataran Aluvial Semarang). Disertasi. ITB Bandung.
- [5]. Santosa, B. J., 2013, Magnetic Method Interpretation to Determine Subsurface Structure Around Kelud Volcano, *Indian Journal of Applied Research* 3(5): 328-331.
- [6]. Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, USA
- [7]. Williams, Collin F., 2004, *Heat Flow in the SAFOD Pilot Hole and Implications for The Strength of The San Andreas Fault*. Geophysical Research Letters. (Vol. 31, L15S14, doi: 10.1029/2003 GL019352, 2004).
- [8]. Sujanto, F.X., dan Roskamil, 1975, *The Geology and Hidrocarbon Aspects Of The South Central Java*, Indonesia Association of Geologist (IAGI), Bandung.
- [9]. Van Bemmelen, R.W., 1970, *The Geology of Indonesia*, volume 1. A.Haque. Netherlands.
- [10]. Barianto, D.H, Aboud, E., Setjadji. L.D., 2009, *Structural Analysis using Landsat TM, Gravity Data, and Paleontological Data from Tertiary Rocks in Yogyakarta, Indonesia*, Memoirs of The Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol 69, No. 2, 13 hal.
- [11]. Smyth, H., Hall R., 2005, *East Java : Cenozonic Basins, Volcanoes and Ancient Basement*. Proceedings, Indonesian Petroleum Association.