

Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Jalur Sesar Opak Berdasarkan Model Suseptibilitas dan Second Vertical Derivative dengan Metode Geomagnet

Desi Novi Dayana^{1*}, Nugroho Budi Wibowo², Denny Darmawan¹

¹Prodi Fisika Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta,

²Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Geofisika Yogyakarta

*E-mail: desidayana20@gmail.com

ABSTRACT

The aims of this study were to determine subsurface structure in Opak Fault line based on susceptibility model and SVD using geomagnet method. Data were acquired using Geometric Proton Precession Magnetometer type G-856 with 77 observation points and interval between each point was +2 km. Data were processed using diurnal correction, IGRF correction, SVD, and reduction to pole. The modelling was done by analyzing magnetic field anomaly which had been reduced to pole. The modelling of solid model showed that Semilir Formation with susceptibility of $(0 - 100) \times 10^{-3}$, Merapi Muda Formation with susceptibility of $(0 - 2) \times 10^{-3}$, and Nglanggran Formation with susceptibility of $(0,6 - 70) \times 10^{-3}$. The result from SVD and solid model showed the presence of Opak Fault.

Keywords: geomagnetic method, Opak Fault, SVD

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur bawah permukaan jalur Sesar Opak berdasarkan model suseptibilitas dan SVD dengan metode geomagnet. Pengambilan data dilakukan menggunakan *Proton Precession Magnetometer* Geometric tipe G-856 dengan 77 titik pengukuran dan jarak antar titik pengukuran +2 km. Pengolahan data dilakukan melalui koreksi variasi harian, koreksi IGRF, SVD, dan reduksi ke kutub. Pemodelan dilakukan dengan menganalisis anomali medan magnet yang telah direduksi ke kutub. Hasil pemodelan *solid model* menunjukkan bahwa Formasi Semilir dengan nilai suseptibilitas $(0 - 100) \times 10^{-3}$, Formasi Merapi Muda dengan nilai suseptibilitas $(0 - 2) \times 10^{-3}$, dan Formasi Nglanggran dengan nilai suseptibilitas $(0,6 - 70) \times 10^{-3}$. Hasil pemodelan SVD dan *solid model* menunjukkan keberadaan Sesar Opak.

Kata kunci: metode geomagnet, Sesar Opak, SVD

PENDAHULUAN

Indonesia terletak di antara pertemuan tiga lempeng tektonik dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik^[1]. Lempeng Indo-Australia bergerak menunjam ke bawah Lempeng Eurasia membentuk zona subduksi^[2]. Tumbukan antar lempeng tersebut akan menghasilkan akumulasi energi yang terjadi pada saat energi yang dihasilkan melampaui batas elastisitas lempeng dan akan memunculkan bidang patahan pada lempeng. Energi tersebut kemudian menjalar dalam bentuk gelombang gempa yang sampai ke permukaan bumi^[3].

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu propinsi di Indonesia yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia, sehingga DIY termasuk daerah yang rawan terhadap bencana gempabumi karena berada di dekat zona subduksi. Oleh karena itu, banyak sesar yang terbentuk akibat aktivitas kegempaan di zona subduksi^[4]. Pada tanggal 27 Mei 2006, daerah Yogyakarta dan sekitarnya diguncang gempa dengan kekuatan 5,9 SR yang menelan korban hingga 6.234 jiwa^[5].

Ahli kebumihan berpendapat bahwa kerusakan parah akibat gempa tersebut memang berada di sekitar jalur Sesar Opak yang dianggap berhubungan dengan aktivitas sesar tersebut^[6]. Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji jalur Sesar Opak dengan berbagai metode yang menyimpulkan bahwa Sesar Opak berada di timur dari dugaan jalur sesar yang terpetakan di peta geologi. Oleh karena itu, perlu dilakukan survey penelitian yang mencakup area sisi timur dari dugaan jalur sesar yang terpetakan di peta geologi. Metode geofisika yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan adalah metode geomagnet. Prinsip dasar dari metode geomagnet adalah mengukur perbedaan nilai medan magnet total akibat variasi suseptibilitas batuan^[7].

Data medan magnet total yang terukur masih dalam bentuk dipole sehingga diperlukan analisis untuk mengubah bentuk dipole menjadi monopole yaitu dengan *Reduce To Pole* (RTP)^[8]. Dalam penelitian ini, metode geomagnet digunakan untuk mengidentifikasi jalur Sesar Opak dengan menggunakan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) dan pemodelan *solid model*.

METODE

Pengambilan data geomagnet dalam penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 20 - 22 September 2017 dan 25 September 2017 dengan batas wilayah penelitian 430980 mT - 442864 mT dan 9113815 mU - 9144153 mU. Jumlah titik penelitian adalah 87 titik dengan spasi antar titiknya 2 km. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat PPM Geometric tipe G-856. Metode dalam penelitian ini menggunakan metode *looping* dimana satu PPM berfungsi sebagai *base* dan *rover*. Nilai medan magnet hasil pengukuran di lapangan merupakan nilai medan magnet total atau campuran dari medan magnet utama dan medan magnet luar, sedangkan target dari metode geomagnet adalah nilai anomali medan magnet di wilayah penelitian. Untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet perlu dilakukan koreksi terhadap nilai medan magnet utama yang diwakili oleh nilai IGRF dan dikoreksi terhadap nilai medan magnet luar yang diwakili oleh nilai variasi harian. Anomali medan magnet didapatkan dengan menggunakan rumus:

$$\vec{B}_A = \vec{B}_T - \vec{B}_M - \vec{B}_L \quad (1)$$

\vec{B}_T adalah medan magnet total bumi (nT), \vec{B}_M adalah medan utama bumi (nT), \vec{B}_A adalah anomali medan magnet (nT), dan \vec{B}_L adalah medan magnet luar (variasi harian) (nT). Anomali medan magnet yang dihasilkan masih bersifat dipole, sehingga untuk menjadikannya monopole perlu dilakukan proses *Reduction To Pole* (RTP). Selain itu, RTP juga berfungsi

untuk menunjukkan langsung posisi benda penyebab dari anomali di wilayah tersebut. Setelah diperoleh kontur anomali medan magnet hasil RTP, selanjutnya dilakukan sayatan yang memotong klosur rendah hingga tinggi dari anomali hasil RTP tersebut sehingga diperoleh model *solid model*. Untuk melihat lapisan batuan penyusun di wilayah penelitian, maka dilakukan reduksi nilai suseptibilitas yang mewakili tiap formasi batuan. Identifikasi jalur sesar dilakukan dengan cara membuat sayatan pada model *solid model*, sehingga kontras suseptibilitas di sekitar jalur sesar dan pola kemenerusan sesar dapat terlihat. Selain itu juga digunakan pemodelan *Second Vertical Derivative (SVD)* untuk memperjelas pola naik turun dari Sesar Opak. Nilai suseptibilitas batuan mengacu pada nilai suseptibilitas batuan dan mineral yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Table 1. Nilai Suseptibilitas Batuan ^[9]

Jenis	Suseptibilitas $\times 10^{-3}$ (SI)	
	Kisaran	Rata-rata
<i>Sedimentary</i>		
<i>Dolomite</i>	0 – 0,9	0,1
<i>Limestone</i>	0 – 3	0,3
<i>Sandstone</i>	0 – 20	0,4
<i>Shales</i>	0,01 – 15	0,6
<i>Av. 48 sedimentary</i>	0 – 18	0,9
<i>Metamorphic</i>		
<i>Amphibolite</i>		0,7
<i>Schist</i>	0,3 – 3	1,4
<i>Phyllite</i>		1,5
<i>Gneiss</i>	0,1 – 25	
<i>Quartzite</i>		4
<i>Serpentine</i>	3 – 17	
<i>Slate</i>	0 – 35	6
<i>Av. 61 metamorphic</i>	0 – 70	4,2
<i>Igneous</i>		
<i>Granite</i>	0 – 50	2,5
<i>Rhyolite</i>	0,2 – 35	
<i>Dolorite</i>	1 – 35	17
<i>Augite-syenite</i>	30 – 40	
<i>Olivine-diabase</i>		25
<i>Diabase</i>	1 – 160	55
<i>Porphyry</i>	0,3 – 200	60
<i>Gabbro</i>	1 – 90	70
<i>Basalts</i>	0,2 – 175	70
<i>Diorite</i>	0,6 – 120	85
<i>Phyroxenite</i>		125
<i>Peridotite</i>	90 – 200	150
<i>Andesite</i>		160
<i>Av. Acidic igneous</i>	0 – 80	8
<i>Av. Basic igneous</i>	0,5 – 97	25

Table 2. Nilai Suseptibilitas Mineral ^[9]

Jenis	Suseptibilitas $\times 10^{-3}$ (SI)	
	Kisaran	Rata-rata
<i>Graphite</i>		0,1
<i>Quartz</i>		-0,01
<i>Rock Salt</i>		-0,01
<i>Anhydrite, gypsum</i>		-0,01
<i>Calcite</i>	-0,001 – (-0,01)	
<i>Coal</i>		0,02
<i>Clays</i>		0,2
<i>Calcopyrite</i>		0,4
<i>Sphalerite</i>		0,7
<i>Cassiterite</i>		0,9
<i>Siderite</i>	1 – 4	
<i>Pyrite</i>	0,005 – 5	1,5
<i>Limonite</i>		2,5
<i>Arsenopyrite</i>		3
<i>Hematite</i>	0,5 - 35	6,5
<i>Chromite</i>	3 – 110	7
<i>Franklinite</i>		430
<i>Pyrohoite</i>	1 - 6000	1500
<i>Ilmenite</i>	300 - 3500	1800
<i>Magnetite</i>	1200 - 19200	6000



(a) Instrument Console



(b) Sensor

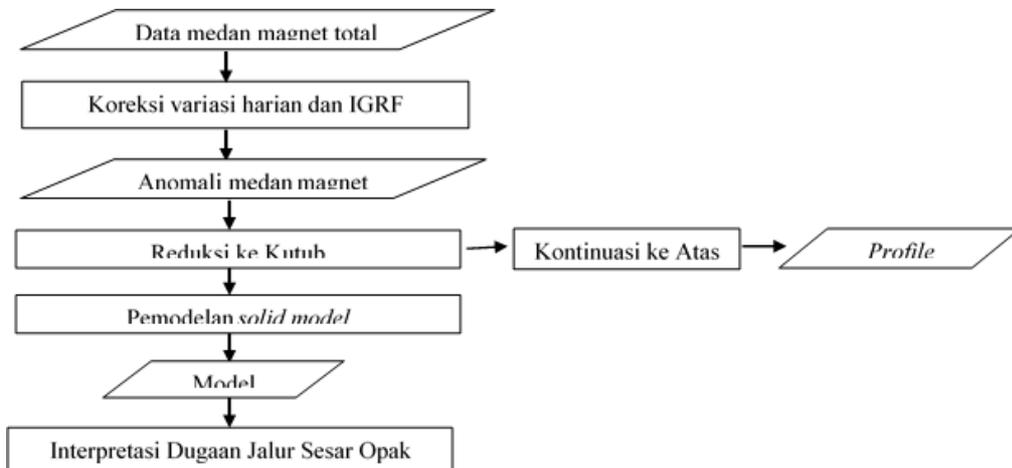


(c) Penopang Tiang



(d) Tongkat

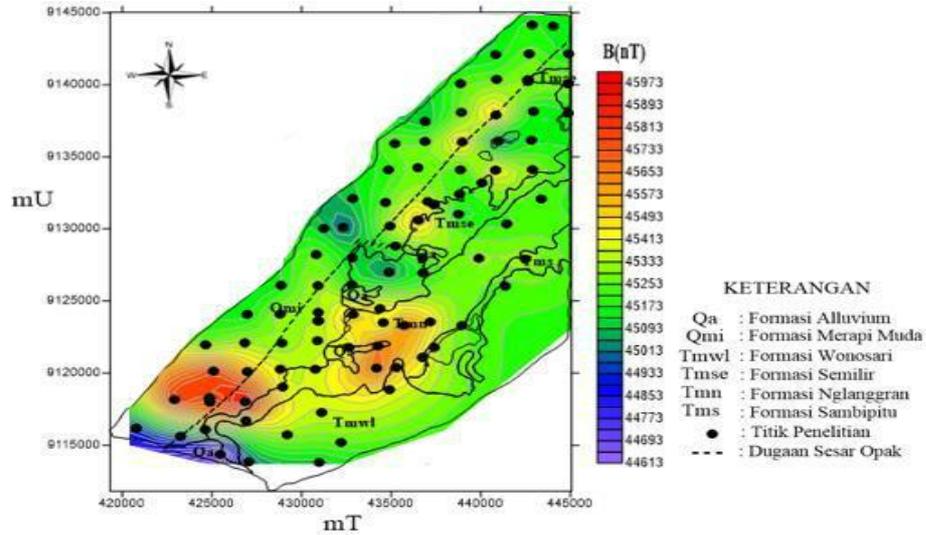
Gambar 1. (color online) Alat PPM Geometric Tipe G-856



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

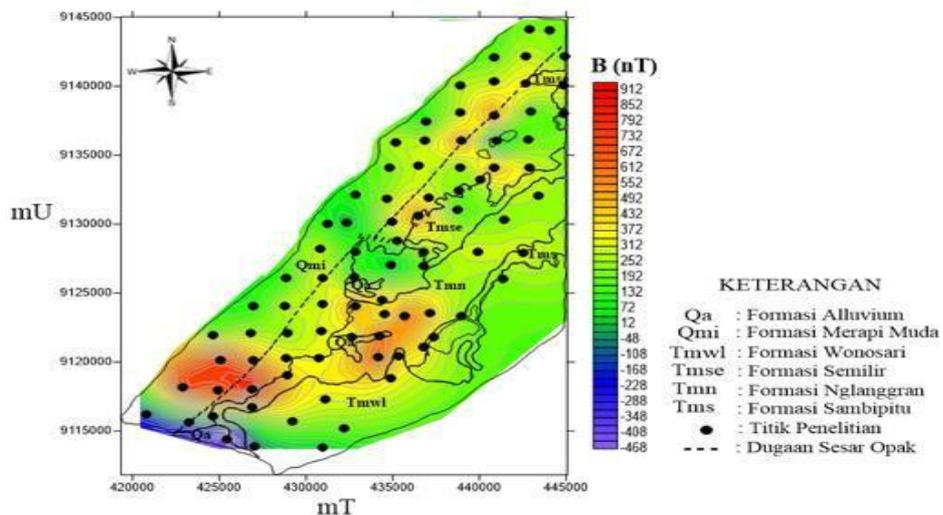
HASIL DAN PEMBAHASAN

Medan magnet total yang diperoleh dari hasil pengukuran berkisar antara 44.613 nT – 45.973 nT dan didapatkan kontur medan magnet total seperti pada Gambar 3. Terdapat anomali rendah di sisi selatan yang bersesuaian dengan sistem panas bumi yang ada di daerah tersebut dan anomali tinggi yang berada di barat daya hingga tenggara yang bersesuaian dengan batuan beku yang ada di wilayah tersebut.



Gambar 3. (color online) Kontur medan magnet total wilayah penelitian

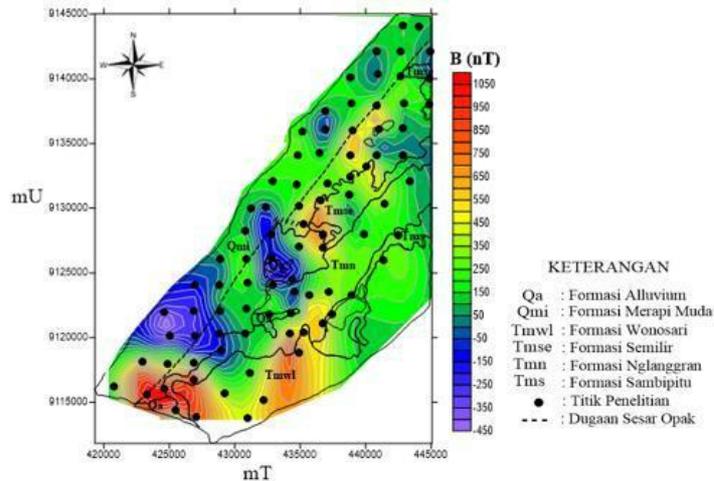
Medan magnet total yang diperoleh merupakan gabungan dari medan magnet utama bumi (IGRF) dan medan magnet sekuler (variasi harian), sehingga nilai medan magnet total yang terukur dikoreksi dengan IGRF dan variasi harian dan didapatkan nilai anomali medan magnet di wilayah penelitian berkisar antara -468 nT hingga 912 nT yang menghasilkan kontur anomali medan magnet seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. (color online) Kontur anomali medan magnet wilayah penelitian sebelum di-RTP

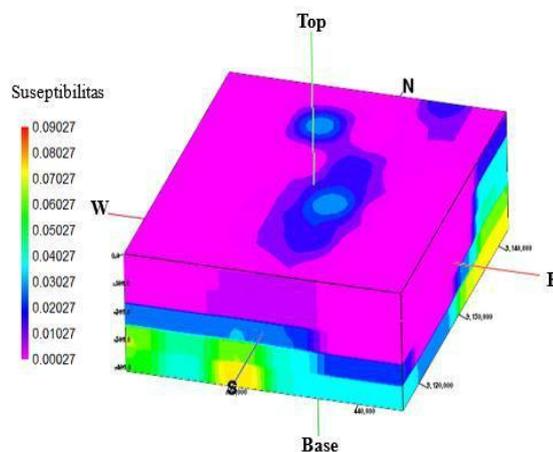
Klosur tertinggi dari anomali medan magnet berada pada Formasi Merapi Muda yaitu dengan nilai 912 nT, sedangkan klosur terendah berada pada Formasi Aluvium bagian selatan yaitu dengan nilai -468 nT. Klosur rendah pada Formasi Aluvium disebabkan oleh batuan jenis

lempung dan pasir yang memiliki nilai kemagnetan rendah dan adanya sumbangan dari panas bumi di daerah tersebut, sedangkan klosur tinggi pada Formasi Merapi Muda disebabkan karena wilayah ini merupakan wilayah perbatasan antara Formasi Merapi Muda dengan Formasi Nglanggran sehingga terdapat perbedaan susunan batuan yang menyebabkan nilai anomali di kawasan ini tinggi. Anomali medan magnet selanjutnya di-RTP (*Reduction To Pole*) agar diperoleh medan magnet yang bersifat monopole, sehingga diperoleh kontur anomali medan magnet hasil RTP seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. (*color online*) Kontur anomali medan magnet wilayah penelitian setelah di-RTP

Terdapat perubahan rentang nilai anomali medan magnet sebelum dan sesudah dilakukan proses RTP, dimana setelah RTP nilai anomali medan magnet di wilayah penelitian menjadi lebih tinggi yaitu -450 nT hingga 1050 nT. Klosur tinggi dominan berada di tenggara - selatan kawasan penelitian, sedangkan klosur rendah berada di barat daya dan juga beberapa titik yang tersebar di tengah dan utara kawasan penelitian. Setelah diperoleh anomali medan magnet hasil RTP, selanjutnya melakukan sayatan yang memotong klosur rendah – klosur tinggi untuk diperoleh model *solid model* berdasarkan nilai suseptibilitas batuan di wilayah penelitian. Model *solid model* di wilayah penelitian ditunjukkan pada Gambar 6.

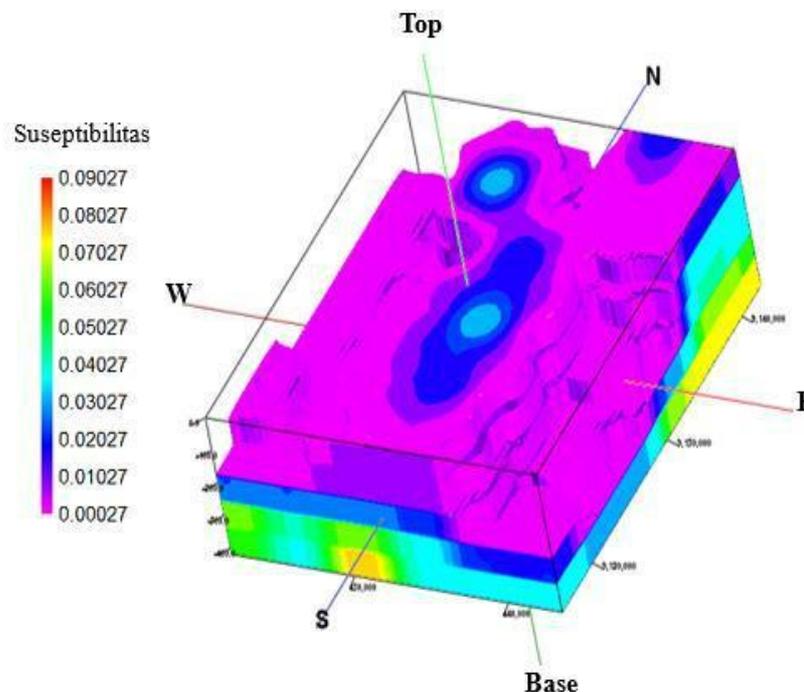


Gambar 6. (*color online*) Model *solid model* dengan nilai suseptibilitas 0 - 0,080 dalam satuan SI

Berdasarkan pemodelan *solid model*, diperoleh bahwa dibagian permukaan wilayah penelitian memiliki nilai suseptibilitas batuan yang kecil, dan semakin dalam nilai suseptibilitasnya semakin besar. Hal ini sesuai dengan umur batuan berdasarkan stratigrafi bahwa Formasi Semilir yang tersusun oleh batuan andesit memiliki nilai suseptibilitas yang besar dibandingkan Formasi Aluvium yang tersusun oleh lempung dan pasir, Formasi Merapi Muda dan Formasi Sambipitu yang tersusun oleh batuan pasir, Formasi Wonosari yang tersusun oleh batuan gamping, dan Formasi Nglanggran yang tersusun oleh batuan breksi.

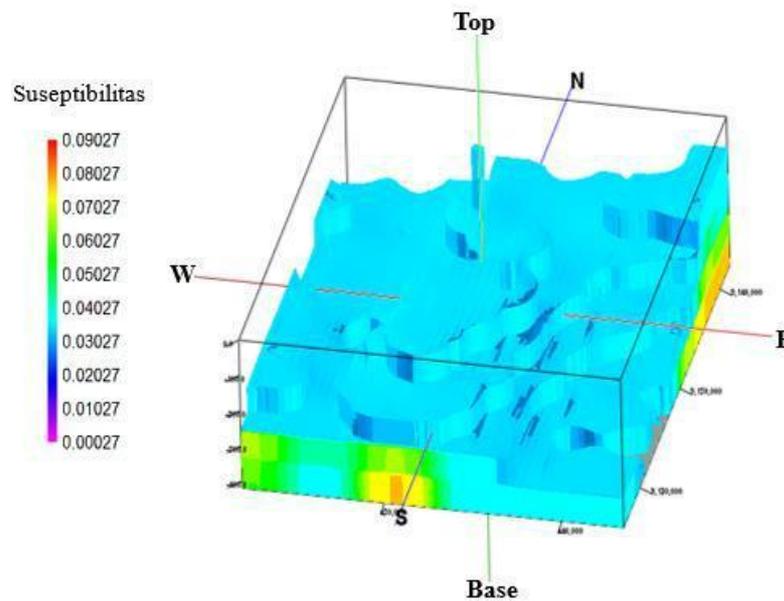
Pemodelan *solid model* direduksi berdasarkan nilai suseptibilitas batuan yang ditunjukkan oleh Gambar 7 hingga Gambar 9. Berdasarkan hasil tampilan pemodelan *solid model* daerah dengan nilai suseptibilitas 0,003 – 0,080 dalam SI menunjukkan rentang kedalaman 0 m – 350 m. Dari hasil reduksi nampak perbedaan kedalaman antara bagian barat, tengah, dan timur daerah penelitian. Di bagian barat daerah penelitian yang merupakan Formasi Merapi Muda terlihat kedalaman yang tidak begitu kontras di tiap bagian karena formasi ini memiliki rata-rata kedalaman yang sama, dan pada bagian utara Formasi Merapi Muda nampak nilai suseptibilitas yang lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya karena pada daerah ini didominasi oleh batuan *basalt* yang ada di daerah Berbah yaitu adanya lava bantal sehingga menyebabkan nilai anomalnya relatif lebih tinggi.

Bagian tengah daerah penelitian memiliki nilai suseptibilitas yang rendah dimana kawasan ini adalah perbatasan antara Formasi Merapi Muda dan Formasi Semilir. Kawasan ini bernilai rendah karena di permukaan ditemukan batuan jenis gamping (*limestone*) dan pasir. Walaupun kedalamannya dangkal batuan ini menyumbang nilai medan magnet rendah dalam pengukuran. Diduga pada wilayah ini juga terdapat adanya patahan karena memiliki kontras nilai suseptibilitas yang berbeda dengan sekitarnya.

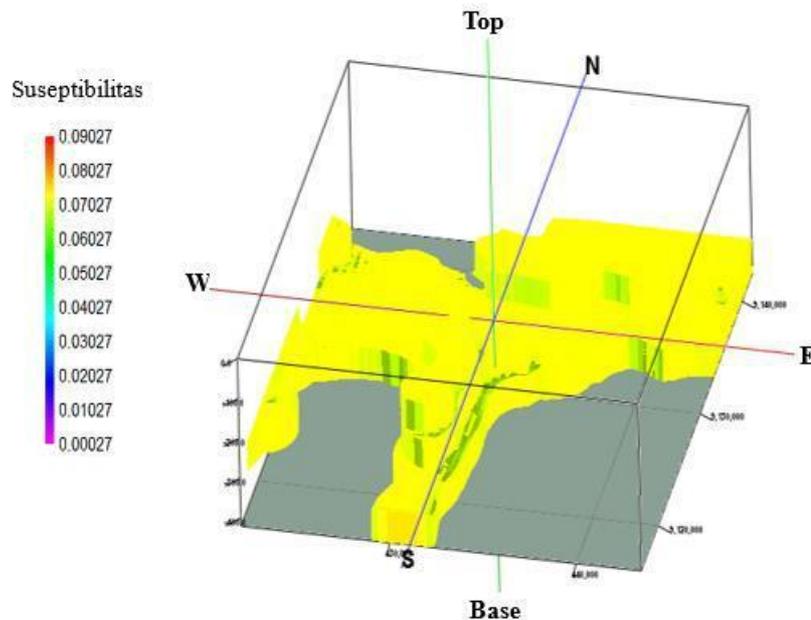


Gambar 7. (color online) Pemodelan *solid model* dengan nilai suseptibilitas 0,003 – 0,080 dalam satuan SI

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan nilai suseptibilitas batuan dengan kedalaman 0 m – 450 m. Dari tampilan tersebut nampak bahwa Formasi Semilir menjadi lapisan *bedrock* bagi formasi yang ada di sekitarnya yang ditandai dengan nilai suseptibilitas tertinggi. Formasi ini menjadi *bedrock* atau lapisan terbawah karena dihasilkan dari letusan gunungapi yang besar dan merusak. Hal ini dibuktikan dengan melimpahnya andesit dan ditemukannya tuff pada beberapa kawasan di formasi ini. Menurut Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI) berdasarkan penentuan umur fosil yang ditemukan, Formasi Semilir berumur ± 17 Juta tahun atau akhir Miosen Awal.

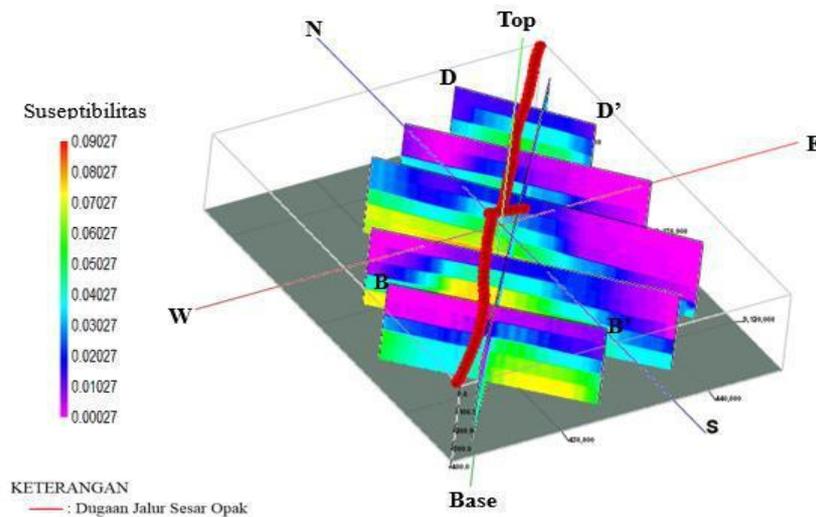


Gambar 8. (color online) Pemodelan *solid model* dengan nilai suseptibilitas 0,030 – 0,080 dalam satuan SI



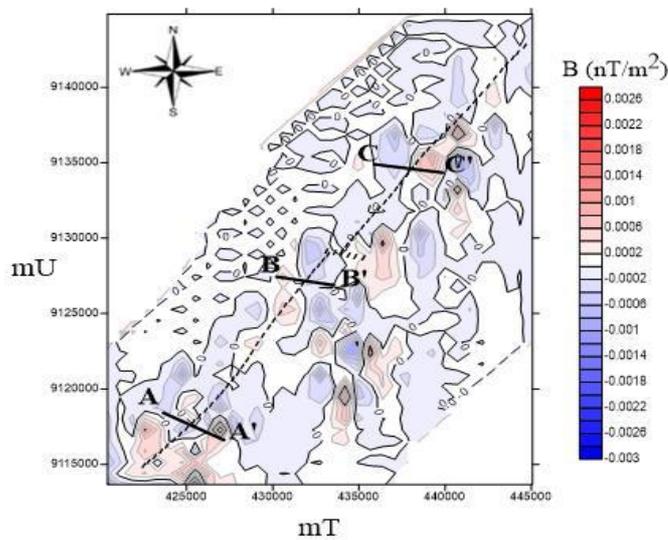
Gambar 9. (color online) Pemodelan *solid model* dengan nilai suseptibilitas 0,075 – 0,080 dalam satuan SI

Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan nilai suseptibilitas batuan dengan kedalaman 200 m – 450 m. Dari tampilan tersebut nampak bahwa Formasi Semilir menjadi lapisan *bedrock* bagi formasi yang ada di sekitarnya yang ditandai dengan nilai suseptibilitas tertinggi. Formasi ini menjadi *bedrock* atau lapisan terbawah karena dihasilkan dari letusan gunungapi yang besar dan merusak. Hal ini dibuktikan dengan melimpahnya andesit dan ditemukannya tuff pada beberapa kawasan di formasi ini. Menurut Ikatan Ahli Geologi Indonesia berdasarkan penentuan umur fosil yang ditemukan, Formasi Semilir berumur ± 17 Juta tahun atau akhir Miosen Awal^[10]. Untuk memperjelas kontras suseptibilitas batuan disekitar dugaan jalur Sesar Opak yang terpetakan di peta geologi, maka dilakukan sayatan pada pemodelan *solid model* yang ditunjukkan pada Gambar 10. Selain itu sayatan ini juga berfungsi untuk memperjelas pola kemenerusan dari dugaan jalur Sesar Opak.

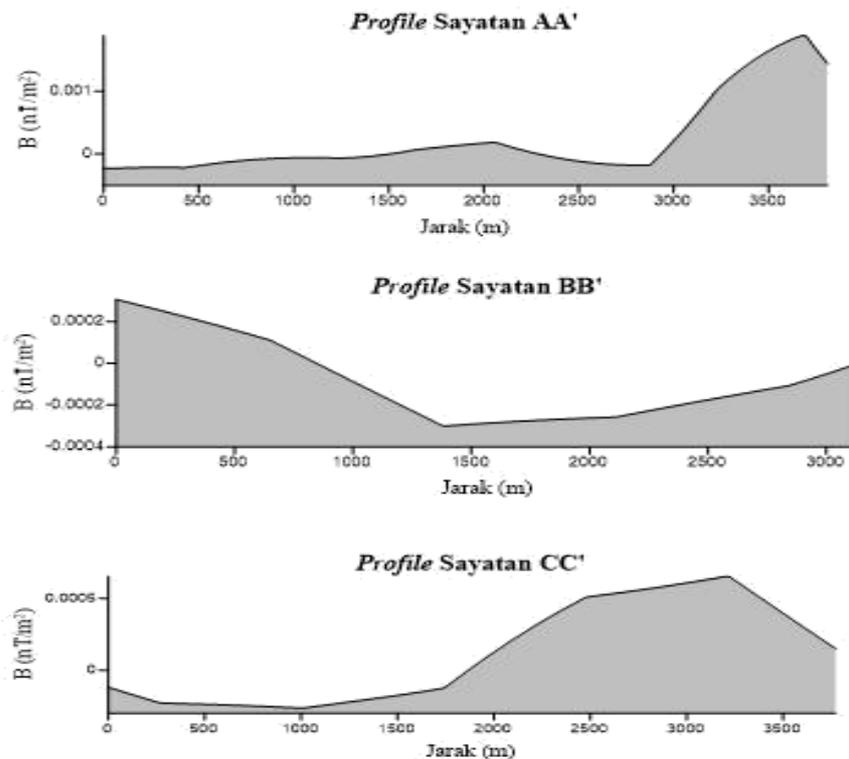


Gambar 10. (color online) Sayatan pada pemodelan *solid model* yang di-overlay dengan dugaan jalur Sesar Opak

Berdasarkan hasil sayatan pada pemodelan *solid model*, nampak bahwa kontras suseptibilitas terlihat jelas tepat pada dugaan jalur Sesar Opak hanya pada sayatan BB', DD' dan sayatan bagian tengah, sedangkan pada sayatan lainnya memperlihatkan bahwa kontras suseptibilitas tidak tepat pada jalur sesar tetapi ada dibagian barat dan timur dari dugaan jalur sesar.



Gambar 11. (color online) Pemodelan SVD wilayah penelitian



Gambar 12. Hasil *profile* sayatan pemodelan SVD

Untuk memperjelas pola naik turun atau dari dugaan jalur Sesar Opak yang terpetakan di peta geologi, maka digunakan pemodelan SVD. Selanjutnya membuat sayatan pada model SVD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11 untuk memperoleh *profile* dari sayatan yang ditunjukkan pada Gambar 12. Berdasarkan hasil sayatan AA' hingga CC', nampak pola naik dan turun yang menunjukkan keberadaan bloks sesar naik dan turun pada sisi barat dan timur jalur sesar. Hasil SVD memperkuat analisa keberadaan jalur Sesar Opak.

KESIMPULAN

Pemodelan *solid model* dan SVD menunjukkan bahwa Jalur Sesar Opak melewati 3 formasi batuan yaitu Formasi Semilir dengan nilai suseptibilitas $(0 - 100) \times 10^{-3}$, Formasi Merapi Muda dengan nilai suseptibilitas $(0 - 2) \times 10^{-3}$, dan Formasi Nglanggran dengan nilai suseptibilitas $(0,6 - 70) \times 10^{-3}$. *Solid model* dan SVD memperkuat analisa keberadaan jalur Sesar Opak.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Bock, Y., Prawirodirdjo., J.F Genrich., C.W Stevens., R. McCaffrey., Subarya., Puntodewo., Calais. 2003. Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System Measurements. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No. B8.
- 2 Andriyani, Gina., Sutomo Kahar., Moehammad Awaluddin., Irwan Meilano. 2012. Kajian Regangan Selat Bali Berdasarkan Data GNSS Kontinu Tahun 2009-2011. *Jurnal Geodesi UNDIP*, Vol. 1, No.1.
- 3 BMKG. 2017. Indonesia Rawan Gempa Bumi dan Tsunami. Diakses dari https://inatews.bmkg.go.id/new/about_inatews.php?urt=3 pada tanggal 21 Desember 2017.
- 4 Hamid, Ahmad Abu. 2007. *Gempa Bumi Tektonik di Yogyakarta dan Sekitarnya serta Bencana Alam Lainnya*. Makalah Pengabdian Pada Masyarakat (PPM).
- 5 Elnashai, Amr S., Sung Jig Kim., Gun Jin Yun., Djoni Sidarta. 2008. *The Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006*. University of Illinois at Urbana-Champaign.

- 6 Heningtyas. 2017. Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Metode Geomagnet di Jalur Sesar Oyo. Universitas Negeri Yogyakarta.
- 7 Dentith, Michael and Stephen T. Mudge. 2014. Cambridge University Press
- 8 Blakely, R.J. 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Edinburgh: Cambridge University Press.
- 9 Telford, W.M., L.P Geldart., R.E Sheriff. 2004. *Applied Geophysics Second Edition*. Edinburgh: Cambridge University Press.
- 10 IAGI. 2017.3. *Geologi Regional Pegunungan Selatan*. Diakses dari <http://sm-iagi.ft.ugm.ac.id/geologi-regional-pegunungan-selatan/> pada tanggal 21 Oktober 2017.