

**INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DENGAN METODE GEOMAGNET DI JALUR SESAR OYO**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh :
Heningtyas
12306144016

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2017**

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul "INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODE GEOMAGNET DI JALUR SESAR OYO" yang disusun oleh Heningtyas, NIM. 12306144016 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Metode Geomagnet Di Jalur Sesar Oyo" yang disusun oleh Heningtyas, NIM. 12306144016 ini telah dipertahankan di depan Dewan Pengaji pada tanggal 3 April 2017 dan dinyatakan lulus.

No	Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
1	<u>Nugroho Budi Wibowo, M.Si</u> NIP 198402232008011011	Ketua Pengaji		7-4-2017
2	<u>Denny Darmawan, M.Sc</u> NIP. 197912022003121002	Sekretaris Pengaji		7-4-2017
3	<u>Yosi Aprian Sari, M.Si</u> NIP. 197304072006041001	Pengaji Utama		7-4-2017
4	-	Pengaji Pendamping		-

Yogyakarta, 10 April 2017
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,
Dr. Hartono
NIP. 19620329 198702 1 002



HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Heningtyas

NIM : 12306144016

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Metode
Geomagnet Di Jalur Sesar Oyo

menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan saya tidak benar, maka sepenuhnya merupakan tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 20 Maret 2017

Yang menyatakan,

Heningtyas

NIM. 12306144016

MOTTO

“Jika kamu pikir kebetulan membuatmu salah arah,
mungkin Tuhan hanya ingin mengajakmu jalan-jalan.”

~ Almh. Melysa Wibowo Putri ~

Suatu hal baik kadang harus tertunda untuk hal baik lainnya.
Yang tidak boleh ditunda adalah bersyukurnya.

PERSEMBAHAN

Karya ini kupersembahkan untuk :

- Φ **Diriku sendiri** karena sudah kuat melewati perjuangan yang luar biasa ini, tetap bangkit setelah jatuh berulang kali dan karena tidak pernah berputus asa.
- Φ **Ibuk dan Bapak ku** untuk cinta kepadaku yang melebihi cinta pada dirinya sendiri. Terimakasih untuk setiap doa, dan jerih upaya agar aku menjadi anak yang pandai. Terimakasih untuk segala hal yang tidak akan mampu aku balas.
- Φ **Adik-adik ku** Hanif, Bagas, Yusuf, dan Adibah agar tidak takut bermimpi tinggi. Sekolah yang rajin ya, dan jadilah anak yang baik.

Dan semua orang yang menyayangiku... ♥

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang telah memberikan kekuatan sehingga skripsi yang berjdul ” Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Metode Geomagnet Di Jalur Sesar Oyo” dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi dan guna memperoleh gelar sarjana sains dari prodi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.

Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan skripsi ini.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M. Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Bapak Nur Kadarisman, M. Si selaku Ketua Program Studi Fisika yang telah membantu dalam hal administrasi skripsi ini.
3. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M. Si dan Bapak Denny Darmawan M. Sc. selaku pembimbing I dan II atas segala arahan, saran, dan perhatiannya dalam membimbing penulis menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih atas kesabaran yang tak terhingga dalam mendampingi penulis menghaapi segala rintangan selama penelitian sampai tahap penulisan.

4. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) yang telah mengizinkan dan membantu penulis untuk melakukan penelitian bersama BMKG.
5. Ibu dan Bapak tersayang, tercinta, tersabar, terbaik, dan tersegalanya yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk terselesaikannya skripsi ini
6. Teman petualang grup Sesar Oyo, Ika Kurniawati dan Meita Aulia Sari atas semangat yang luar biasa dalam melalui perjuangan skripsi ini bersama, serta teman se-grup Geofisika, Yustina, Umi, Rifka, Arif, dan Yuni yang sudah banyak menghabiskan waktu bersama belajar Geofisika.
7. Kru pengambilan data (Ika, Meita, Yustina, Danang, Didin, Akbar, Mas Khafid, Pak Agus BMKG dan Bu Nana BMKG) yang telah dengan ikhlas membantu proses pengambilan data baik grup seismik maupun geomagnet, serta keluarga Pak Joko yang telah menyediakan tempat dan fasilitas yang nyaman untuk beristirahat selama proses pengambilan data.
8. Mas Khafid dan Arditiya Wardana sebagai yang telah mengajarkan dan membantu banyak hal tentang geofisika sehingga terselesaikannya skripsi ini.
9. Teman berbagi suka, duka, dan segala cerita Rina, Kak Erma, dan Dea untuk banyak waktu kebersamaan yang menyenangkan.
10. Teman suka duka, Laila Nur Hanif seperjuangan sejak SMA, juga Fatya, Padma, dan Lala untuk banyak waktu kebersamaan selama 4 tahun di Fisika ini.
11. Forum Anak Kota Yogyakarta, yang telah menjadi rumah dan keluarga kedua yang begitu nyaman, *thanks for always being my home.*

12. Teman-teman Fisika E 2012 yang telah saling mendukung dan memotivasi baik selama proses belajar di Fisika UNY maupun selama pengerjaan skripsi ini.
13. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah memantau penyusunan tugas akhir skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis mengharapkan semoga skripsi ini dapat berguna serta memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya

Yogyakarta, 20 Maret 2017

Penulis,

Heningtyas
NIM. 12306144016

INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODE GEOMAGNET DI JALUR SESAR OYO

**Heningtyas
12306144016**

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di kawasan jalur Sesar Sungai Oyo Yogyakarta yang mencakup Kecamatan Imogiri, Kecamatan Dlingo, Kecamatan Panggang dan Kecamatan Paliyan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pola sebaran anomali medan magnet di sekitar jalur Sesar Oyo, mengetahui susunan formasi batuan di wilayah sekitar jalur Sesar Oyo, dan mengetahui jalur Sesar Oyo berdasarkan pemodelan geomagnet.

Pengambilan data dilakukan menggunakan PPM pada tanggal 14 – 15 Maret 2016 dengan 35 titik pengamatan dan spasi antar titik pengamatan 1,5 km. Pengolahan data dilakukan dengan koreksi variasi harian, koreksi IGRF, reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas. Pemodelan dilakukan dengan menganalisa anomali medan magnet yang telah direduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas dengan ketinggian 2500 m.

Hasil analisa menunjukkan rentang nilai anomali medan magnet di kawasan penelitian adalah 180 nT – 660 nT. Hasil pemodelan 2D menunjukkan kawasan penelitian didominasi oleh 3 formasi batuan utama yaitu batubasalt-andesitik Formasi Nglanggran, batupasir Formasi Sambipitu, dan batugamping Formasi Wonosari. Hasil pemodelan 3D menunjukkan Sesar Oyo merupakan sesar geser dengan kedalaman 150 – 300 m, jalur sesar tersebut terbagi menjadi 2 segmen yaitu dengan arah N120°E sepanjang 5,8 km dan N160°E dengan panjang 2,5 km.

Kata kunci : geomagnet, formasi batuan, Sesar Oyo.

SUBSURFACE INTERPRETATION USING GEOMAGNETIC METHOD IN OYO FAULT

Heningtyas
12306144016

ABSTRACT

This research had been conducted in Oyo River Fault area which include Imogiri Sub District, Dlingo Sub District, Panggang Sub District, and Paliyan Sub District. The aims of this study were to determine the distribution of magnetic field anomaly around Oyo Fault line area, to determine the structure of rocks around Oyo Fault line area, and to identify Oyo Fault line based on geomagnetic modeling.

Data were acquired on March 14th – 15th 2017, with 35 observation points and space between each point was 1,5 km. Data were processed using diurnal correction, IGRF correction, reduction to pole, and upward continuation. The modeling was done by analyzing magnetic field anomaly which had been reducted to pole and upward continuation at 2500 m height.

The results showed that the range of magnetic field anomaly in the study area is 180 nT – 660 nT. The result of 2D modeling showed that the study area is dominated by 3 rock formations which are basalts-andesitic of Nglanggran Formation, sandstone of Sambipitu Formation, and limestone of Wonosari Formation. The result of 3D modeling showed that Oyo Fault is strike-slip fault with 150 – 300 m depth. The fault is divided into 2 segments, which has direction N120°E with 5,8 km length, and N160°E with 2,5 km length.

Keyword : geomagnet, rock formation, Oyo Fault.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xix

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	6
C. Batasan Masalah.....	7
D. Rumusan Masalah	7
E. Tujuan Penelitian	7

F. Manfaat Penelitian	8
-----------------------------	---

BAB II. DASAR TEORI

A. Teori Medan Magnet	
1. Medan Magnet	9
2. Suseptibilitas Magnet.....	10
3. Anomali Medan Magnet	12
4. Variasi Harian	12
B. Transformasi	
1. Reduksi Ke Kutub.....	13
2. Kontinuasi Ke Atas	14
C. Medan Magnet Bumi.....	15
D. Medan Magnet Luar	17
E. Kemagnetan Material Bumi	19
F. <i>Proton Precession Magnetometer (PPM)</i>	20
G. Sesar	22
H. Pembagian Umur Geologi.....	24
I. Geologi Daerah Penelitian	25

BAB II. METODE PENELITIAN

A. Waktu Dan Tempat Penelitian	29
B. Alat Dan Bahan	
1. Perangkat Keras	29
2. Perangkat Lunak.....	30
C. Metode Penelitian.....	31
D. Akuisisi Data Medan Magnet.....	32

E. Pengolahan Data.....	33
1. Koreksi Variasi Harian Dan IGRF	33
2. Reduksi Ke Kutub	34
3. Kontinuasi Ke Atas	35
4. Pemodelan 2D	35
5. Pemodelan 3D	36

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Medan Magnet Total	37
B. Medan Magnet Regional	40
C. Medan Magnet Luar	42
D. Anomali Medan Magnet	44
E. Reduksi Ke Kutub	46
F. Kontinuasi Ke Atas	48
G. Pemodelan 2D	50
H. Pemodelan 3D	60
I. Interpretasi Sesar	65

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan	69
2. Saran.....	70

DAFTAR PUSTAKA	71
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	74
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Suseptibilitas Batuan.....	10
Tabel 2. Klasifikasi Badai Geomagnet Berdasarkan Indeks DST	18
Tabel 3. Jangka Skala Waktu Geologi	24
Tabel 4. Suseptiblitas Magnet Formasi Batuan Hasil Pemodelan 2D	56

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Peta Tektonik Kepulauan Indonesia Dan Zona Subduksi	2
Gambar 2. Distribusi <i>Aftershock</i> Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006	4
Gambar 3. Peta Lokasi Daerah Penelitian.....	5
Gambar 4. Kontinuasi Ke Atas Dari Permukaan Horizontal	15
Gambar 5. Elemen Medan Magnet Bumi	16
Gambar 6. Medan Magnet Utama Bumi	16
Gambar 7. Medan Inklinasi Utama	17
Gambar 8. Medan Dekinasi Utama.....	17
Gambar 9. Analogi <i>Proton Precession Magnetometer</i> (PPM) Dan <i>Spinning Top</i>	20
Gambar 10. Kedudukan Bidang Dan Arah Garis Ruang Sesar	22
Gambar 11. Jenis Sesar	22
Gambar 12. Bidang Sesar Untuk Menentukan Jenis Sesar	23
Gambar 13. Sketsa Peta Fisiografi Sebagian Pulau Jawa Dan Madura	24
Gambar 14. Stratigrafi Pegunungan Selatan	25
Gambar 15. Seperangkat Alat PPM	30
Gambar 16. Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	31
Gambar 17. Skema Pengolahan Data.....	33

Gambar 18. Koreksi IGRF Dari Web NOAA	34
Gambar 19. Kontur Medan Magnet Total Di Kawasan Penelitian	38
Gambar 20. Kontur Medan Magnet Total Yang Di- <i>Overlay</i> Dengan Batas Formasi Batuan Di Kawasan Penelitian.....	39
Gambar 21. Kontur IGRF Di Kawasan Penelitian.....	42
Gambar 22. Kontur Medan Magnet Yang Telah Dikoreksi Dengan Variasi Harian	43
Gambar 23. Kontur Anomali Medan Magnet	44
Gambar 24. Kontur Anomali Medan Magnet Yang Telah Di- <i>Overlay</i> Dengan Batas Formasi Batuan	46
Gambar 25 Kontur Anomali Medan Magnet Yang Telah Direduksi Ke Kutub.....	48
Gambar 26. Proses Kontinuasi Ke Atas Dengan Berbagai Ketinggian	49
Gambar 27. Sayatan Pada Anomali Medan Magnet Hasil Kontinuasi Ke Atas Dengan Ketinggian 2500 Untuk Pemodelan 2D	51
Gambar 28. Pemodelan 2 Sayatan AB Di Daerah Penelitian Pada Peta Geologi....	52
Gambar 29. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Sayatan AA'	54
Gambar 30. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Sayatan BB'	55
Gambar 31. Sayatan CC' Pada Anomali Medan Magnet Yang Telah Direduksi Ke Kutub Untuk Pemodelan 3D	61
Gambar 32. Model 3D Tampak Atas Sebelum Nilainya Direduksi	62
Gambar 33. Tampilan Formasi Wonosari Dengan Kedalaman 100 m	63
Gambar 34. Tampilan Formasi Sambipitu Dengan Kedalaman 200 m	64

Gambar 35. Tampilan Formasi Nglanggran Dengan Kedalaman 200 m.....	64
Gambar 36. Dugaan Keberadaan Sesar Oyo Berdasarkan Pemodelan 3D	66
Gambar 37. Perbedaan Kedalaman Batuan Di Sekitar Sesar Pada Kedalaman 200-300 M.....	67
Gambar 37. Perbedaan Kedalaman Batuan Di Sekitar Sesar Pada Kedalaman 300-500 M.....	68

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Mentah Hasil Pengukuran	75
Lampiran 2. Analisa Hitungan Anomali Medan Magnet.....	80
Lampiran 3. Pembuatan Desain Survey	88
Lampiran 4. Analisa Hasil Dan Pemodelan	95
Lampiran 5. <i>Gyromagnet Ratio</i> Pada PPM.....	120
Lampiran 6. Foto-Foto Kegiatan Pengambilan Data	121

BAB I

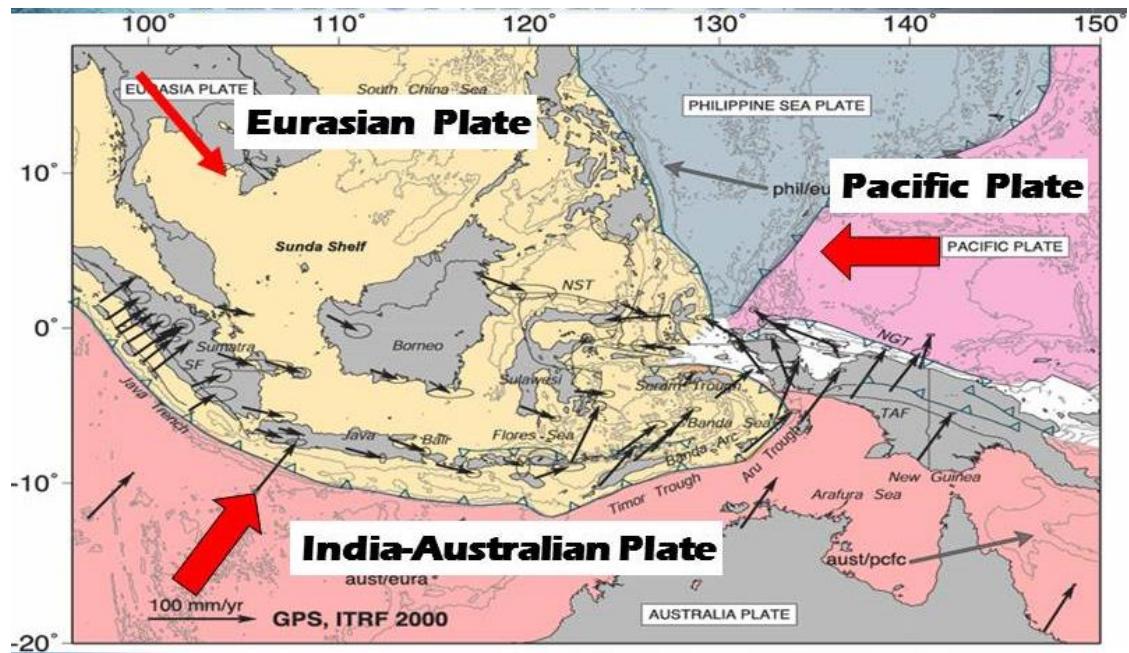
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang berada di antara dua benua besar. Indonesia juga merupakan daerah pertemuan tiga lempeng tektonik besar, salah satunya adalah pertemuan lempeng India-Australia dengan lempeng Eurasia yang berada di sepanjang lepas pantai Sumatra – Jawa sampai dengan Nusa Tenggara. Daerah pertemuan kedua lempeng tersebut menyebabkan salah satu lempeng relatif berada di bawah dan terus memberikan desakan pada lempeng yang lain. Peristiwa ini dikenal dengan subduksi. Lempeng India-Australia bergerak relatif ke arah utara dan menyusup ke dalam lempeng Eurasia karena lempeng India-Australia merupakan lempeng samudera yang relatif lebih tipis dan memiliki berat jenis yang lebih besar sehingga saat bertemu lempeng benua, lempeng samudera akan menunjam di bawahnya. Di sekitar lokasi pertemuan lempeng ini terdapat akumulasi energi desakan dari kedua lempeng yang melampaui batas elastisitas lempeng sehingga muncul bidang patahan pada lempeng. Pelepasan akumulasi energi tersebut terwujud dalam bentuk gempa bumi.

Zona pertemuan lempeng Eurasia dan India-Australia berada di laut sehingga apabila terjadi gempa bumi besar dengan kedalaman dangkal akan berpotensi menimbulkan tsunami. Daerah yang berada di sekitar zona subduksi menjadi daerah

yang rawan akan gempa bumi akibat dari gerakan kedua lempeng tersebut. Gambar 1 menunjukkan zona subduksi di Indonesia.



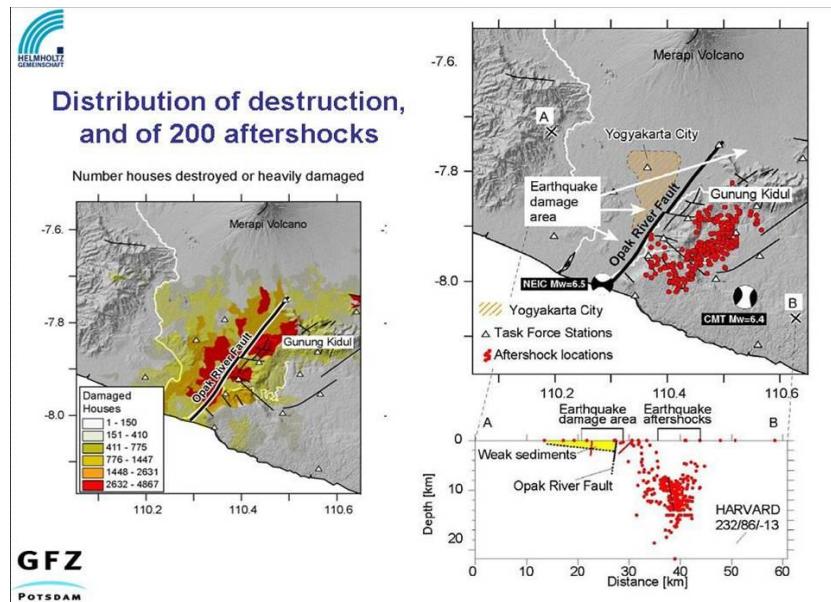
Gambar 1. Peta Tektonik Kepulauan Indonesia dan Zona Subduksi (Bock, 2003)

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu propinsi di bagian selatan Pulau Jawa yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Hal tersebut berarti DIY sekaligus masuk dalam zona subduksi. DIY juga memiliki sesar mayor seperti Sesar Opak maupun sesar-sesar minor yang meningkatkan resiko terjadinya gempa di DIY. Menurut sejarah, DIY setidaknya pernah tiga kali diguncang gempa dengan kekuatan besar, yaitu pada tahun 1867, 1943, dan 2006. Gempa DIY tahun 2006 atau lebih dikenal sebagai Gempa Jogja 2006, termasuk salah satu fenomena

gempa besar yang mengakibatkan cukup banyak kerusakan dan korban jiwa (Daryono dkk, 2009).

Gempa tektonik 27 Mei 2006 yang memiliki magnitudo gempa 5,9 skala Richter dirasakan sangat kuat di DIY bagian selatan dan sekitarnya. Penyebab utama gempa tersebut adalah sebuah sesar mayor di daerah Yogyakarta yang bernama Sesar Opak (Abidin, dkk, 2009). Penelitian lain dilakukan oleh *GeoForschungZentrum* pada tahun 2006 dengan merekam data *aftershock* 4 hari setelah terjadi gempa utama 27 Mei 2006 di Yogyakarta dengan durasi 3 hari melalui jejaring stasiun pengukuran gempa seismik yang berada di sekitar Sesar Opak dan di sekitar dugaan episenter gempa utama (Walter, 2008). Penelitian tersebut menghasilkan pernyataan bahwa hiposenter gempa susulan bukan di sepanjang Sesar Opak tapi cenderung di sekitar *unidentified fault* yang berjarak 10 – 15 km sebelah timur pegunungan Gunung Kidul seperti pada Gambar 2.

Persebaran gempa susulan berada di suatu sesar kecil di sebelah timur Sesar Opak. Merujuk pada peta geologi lembar Yogyakarta, sesar tersebut diperkirakan berada di sekitar Sungai Oyo, sehingga dalam penelitian sesar tersebut akan disebut jalur Sesar Oyo. Sesar Oyo tergolong sesar minor yang melintang di daerah Imogiri – Panggang DIY seperti terlihat pada Gambar 3. Sesar ini secara geografis terletak melintang melintasi 4 kecamatan pada 2 kabupaten yaitu Kecamatan Imogiri dan Dlingo di Kabupaten Bantul, serta Kecamatan Panggang dan Playen di Kabupaten Gunungkidul, dengan koordinat geografis: 434557mT – 441947 mT dan 9123510 mU – 9115862 mU.

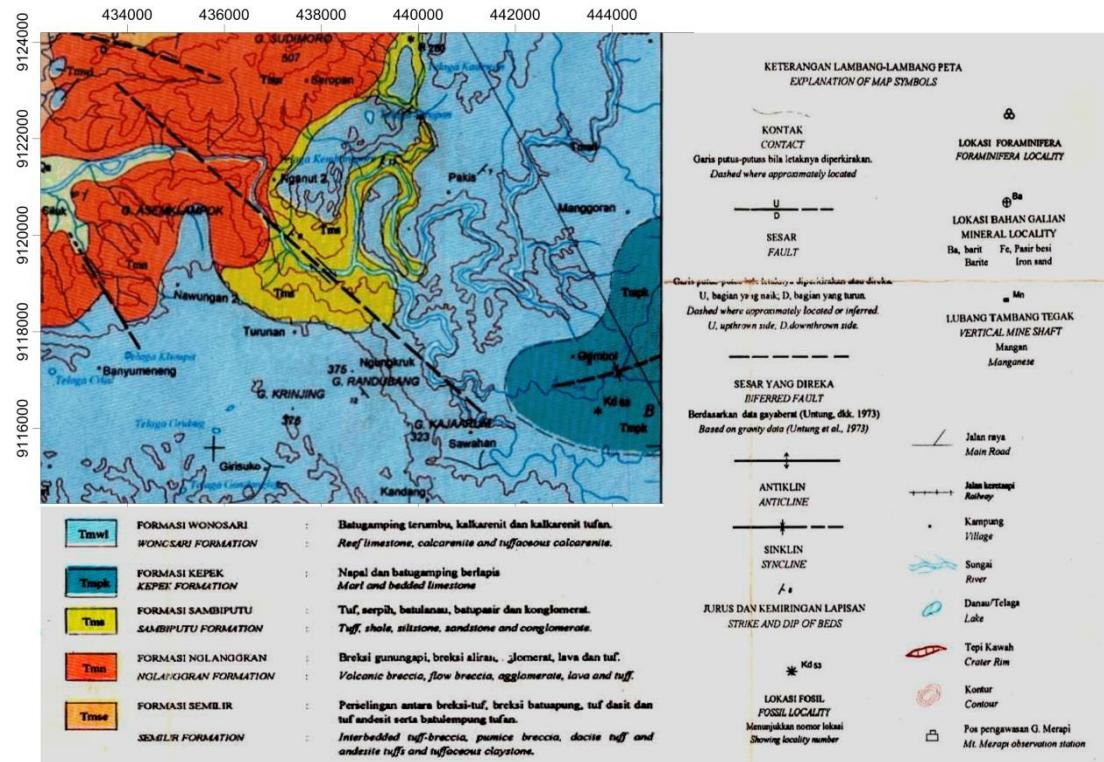


Gambar 2. Distribusi *aftershock* (gempa susulan) gempa Yogyakarta 27Mei 2006 (Walter dkk, 2008)

Menurut peta geologi lembar Yogyakarta, Sesar Oyo juga memotong 3 formasi batuan yang ada, yaitu Formasi Nglanggran, Formasi Sambipitu, dan Formasi Wonosari. Perbedaan formasi pada wilayah yang relatif sempit ini juga menyebabkan perbedaan struktur bawah permukaan. Berdasarkan data tersebut maka perlu adanya pengkajian mengenai keberadaan Sesar Oyo dan formasi batuan penyusun daerah tersebut. Hal ini diperlukan untuk meminimalisir dampak kerusakan yang diakibatkan oleh aktivitas Sesar Oyo.

Geofisika merupakan bagian dari ilmu geosains atau ilmu yang mempelajari tentang bumi, baik isi, lingkungan dan interaksinya dengan menggunakan metode-metode fisika. Metode-metode geofisika yang dapat digunakan untuk menginterpretasikan struktur bawah tanah antara lain metode geomagnet, metode

gravitasi, metode geolistrik, metode VLF dan metode mikroseismik. Penelitian ini menggunakan metode geomagnet karena dapat diterapkan untuk menginterpretasikan dan memodelkan struktur bawah tanah seperti kandungan mineral, struktur arkeologi, manifestasi minyak dan gas bumi, serta struktur geologi tertentu seperti formasi batuan atau sesar, berdasarkan perbedaan anomali medan magnet dan perbedaan suseptibilitas magnet.



Gambar 3. Peta Geologi Jalur Sesar Oyo

Penelitian yang pernah dilakukan dengan metode geomagnet di antaranya untuk mengidentifikasi jalur Sesar Opak di Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul (Fathonah, dkk, 2014), identifikasi jalur Sesar Grindulu di Kabupaten Pacitan (Seno, 2015), dan interpretasi strukur bawah tanah di Kecamatan Bribin Kabupaten Gunungkidul (Aziz, 2015), mengetahui nilai suseptibilitas magnetik lapisan tanah di Desa Pandensari Pujon, Malang (Eksanti, dkk, 2013), dan interpretasi bawah permukaan daerah Sesar Kali Kreo berdasarkan data magnetik (Purwaningsih, dkk, 2015). Oleh karena itu, metode ini diharapkan mampu menginterpretasikan dan memodelkan struktur formasi batuan bawah tanah dalam bentuk 2D maupun 3D, di sekitar Sesar Oyo.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan dapat didentifikasi masalah-masalah sebagai berikut :

1. DIY masuk dalam zona subduksi dan memiliki banyak sesar mayor maupun minor sehingga rawan akan gempa bumi.
2. Terbatasnya informasi terkait Sesar Oyo.
3. Informasi terkait struktur formasi batuan di sekitar Sesar Oyo terbatas pada peta geologi, bukan penelitian dengan menggunakan metode geomagnet.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah disampaikan, penelitian ini dibatasi pada :

1. Kawasan penelitian yang melingkupi Sesar Oyo mencakup 4 kecamatan pada 2 kabupaten yaitu Kecamatan Imogiri dan Dlingo di Kabupaten Bantul, serta Kecamatan Panggang dan Playen di Kabupaten Gunungkidul, dengan koordinat UTM : 434557mT – 441947 mT dan 9123510 mU – 9115862 mU.
2. Akuisisi data geomagnet menggunakan metode *looping*.
3. Nilai suseptibilitas batuan pada penelitian ini diperoleh menggunakan parameter dalam satuan Standar Internasional (SI).

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah yang telah disebutkan, maka diperoleh beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pola sebaran anomali medan magnet di sekitar jalur Sesar Oyo?
2. Bagaimana struktur bawah permukaan pada jalur Sesar Oyo?
3. Bagaimana jalur Sesar Oyo berdasarkan pemodelan geomagnet?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pola sebaran anomali medan magnet di sekitar jalur Sesar Oyo.
2. Mengetahui struktur bawah permukaan pada jalur Sesar Oyo
3. Mengetahui jalur Sesar Oyo berdasarkan pemodelan geomagnet.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menambah referensi tentang struktur bawah permukaan yang ada di wilayah Sesar Oyo.
2. Interpretasi jalur sesar dapat digunakan sebagai pertimbangan pemerintah dalam pembangunan di wilayah sekitar Sesar Oyo.

BAB II

DASAR TEORI

A. Teori Medan Magnet

1. Medan Magnet

Charles Augustin de Coulomb pada tahun 1785 menyatakan bahwa gaya magnet berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak antara dua muatan magnetik, yang persamaannya mirip hukum gaya gravitasi Newton. Dengan demikian, apabila dua buah kutub P_1 dan P_2 dari *monopole* magnet yang berlainan terpisah pada jarak r , maka persamaan gaya magnet dinyatakan sebagai

$$\mathbf{G}_m = \frac{1}{\mu} \frac{P_1 P_2}{r^2} \mathbf{r} \quad (1)$$

dengan \mathbf{G}_m adalah gaya magnet *monopole* pada P_1 dan P_2 , \mathbf{r} adalah vektor satuan berarah dari P_1 ke P_2 , P_1 dan P_2 adalah muatan kutub 1 dan 2 *monopole*, μ adalah permeabilitas medium magnetik (untuk ruang hampa $\mu = 1$).

Gaya magnet \mathbf{G}_m per satuan muatan P_1 didefinisikan sebagai kuat medan magnet terukur (\mathbf{H}). Dengan demikian dihasilkan kuat medan magnet pada muatan P_1 yang dapat dinyatakan sebagai,

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{F}}{P_1} = \frac{1}{\mu} \frac{P_1}{r^2} \mathbf{r} \quad (2)$$

dengan H adalah kuat medan magnet terukur.

Jika suatu benda terinduksi oleh medan magnet \mathbf{H} , maka besar intensitas magnet yang dialami oleh benda tersebut adalah (Reynold, 1995),

$$\mathbf{M} = k \mathbf{H} \quad (3)$$

dengan \mathbf{M} adalah intensitas magnetisasi dan k adalah suseptibilitas magnetik.

2. Suseptibilitas Magnet

Suseptibilitas magnet adalah kemampuan suatu material termagnetisasi yang ditentukan oleh nilai suseptibilitas kemagnetan k pada Persamaan 3. Faktor yang mempengaruhi nilai suseptibilitas magnet suatu material adalah litologi batuan dan kandungan mineral batuan. Tabel 1 menunjukkan nilai suseptibilitas magnet beragam batuan.

Tabel 1. Nilai Suseptibilitas Batuan (Telford, dkk, 2004)

Jenis	Kisaran ($\times 10^{-3}$)	Rata-Rata ($\times 10^{-3}$)
<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>Pyroxenite</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

Adanya medan magnet yang berasal dari bumi dapat mengakibatkan terjadinya induksi magnet pada batuan yang memiliki suseptibilitas. Induksi magnet \mathbf{F} dalam suatu material dipengaruhi medan eksternal \mathbf{F}_o dan magnetisasi material tersebut. Secara umum, persamaannya dapat dituliskan sebagai (Serway & Jewett, 2004):

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_o + \mathbf{F}_m \quad (4)$$

dengan \mathbf{F}_m adalah medan yang dihasilkan oleh material magnet dan dapat didefinisikan sebagai,

$$\mathbf{F}_m = \mu_o \mathbf{M} \quad (5)$$

dengan \mathbf{M} adalah momen magnet per unit volum dan μ_o adalah permeabilitas ruang hampa dengan nilai $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A m. Sedangkan medan eksternal \mathbf{F}_o dapat didefinisikan sebagai,

$$\mathbf{F}_o = \mu_o \mathbf{H} \quad (6)$$

dimana \mathbf{H} adalah kuat medan magnet dalam A/m sehingga persamaan 5 dan 6 disubstitusikan ke dalam persamaan 4 dapat dituliskan:

$$\mathbf{F} = \mu_o (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (7)$$

Subtitusi persamaan 3 ke persamaan 7, didapatkan persamaan induksi magnet \mathbf{F} (Telford, dkk, 2004):

$$\mathbf{F} = \mu_o (1 + k) \mathbf{H} = \mu_o \mu_r \mathbf{H} = \mu \mathbf{H} \quad (8)$$

dengan $\mu_r = (1 + k)$ adalah permeabilitas relatif, k adalah suseptibilitas magnet, dan $\mu = \mu_o \mu_r$ adalah permeabilitas bahan. Di udara nilai dari $\mu_o \approx 1$ sehingga persamaan 8 menjadi:

$$\mathbf{F} = \mu_r \mathbf{H} \quad (9)$$

3. Anomali Medan Magnet

Anomali medan magnet adalah hasil perhitungan dari medan magnet total dan medan magnet regional atau IGRF. \mathbf{T} adalah nilai medan magnet total dalam nT dan \mathbf{F} adalah nilai medan magnet regional dalam nT. Nilai anomali medan magnet dalam nT sebagai $\Delta T \ll |\mathbf{T}|$ dan arah \mathbf{T} sama dengan arah \mathbf{F} , maka dapat dituliskan (Blakely, 1996):

$$\Delta T = |\mathbf{T}| - |\mathbf{F}| \quad (10)$$

Jika $\Delta\mathbf{F}$ merepresentasikan simpangan dari \mathbf{F} karena adanya sumber medan magnet luar dalam nT, maka medan magnet total dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\mathbf{T} = \mathbf{F} + \Delta\mathbf{F} \quad (11)$$

Untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet ΔT dari kombinasi persamaan 10 dan persamaan 11, persamaannya dapat dituliskan menjadi:

$$\Delta T = T - \Delta F - F \quad (12)$$

dengan T adalah nilai medan magnet total dalam nT, ΔF adalah nilai variasi harian dalam nT, F adalah nilai IGRF dalam nT.

4. Variasi Harian

Variasi harian ΔF adalah representasi gangguan terhadap medan magnet regional \mathbf{F} karena adanya sumber medan magnet luar dalam nT, sehingga untuk mendapatkan nilai variasi harian, persamaannya dapat dituliskan sebagai (Gravmag, 2015):

$$\Delta F = \frac{t_n - t_a}{t_b - t_a} (T_b - T_a) \quad (13)$$

dengan t_n adalah waktu saat pengukuran dalam detik, t_a adalah waktu terukur di *base* awal dalam detik, t_b adalah waktu terukur di *base* akhir dalam detik, T_b adalah nilai medan magnet total pada *base* akhir dalam nT, dan T_a adalah nilai medan magnet total pada *base* awal dalam nT.

B. Transformasi

1. Reduksi ke Kutub

Baranov dan Naudy dalam Blakely (1996) mengembangkan metode transformasi untuk menyederhanakan interpretasi data magnet pada daerah berlintang rendah dan menengah yang dikenal dengan reduksi ke kutub. Proses transformasi reduksi ke kutub dapat mengurangi satu tahap kompleks dari proses interpretasi, di mana anomali medan magnet menunjukkan langsung posisi bendanya. Proses transformasi ini dilakukan dengan mengubah arah magnetisasi dan medan utama dalam arah vertikal. Hubungan antara medan potensial f dan distribusi sumber material s (Blakely, 1996):

$$f(P) = \int_R s(Q) \psi(P, Q) d\nu \quad (14)$$

dengan R adalah sumber material, P adalah titik observasi, Q adalah titik distribusi, dan $\psi(P, Q)$ adalah fungsi Green. Terdapat hubungan umum dalam domain Fourier antara anomali gravitasi atau anomali magnet yang diukur pada permukaan horizontal dan distribusi sumber penyebab yang terletak sepenuhnya di bawah permukaan.

Persamaan reduksi ke kutub ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$\mathcal{F}[\psi_t] = \frac{\Theta'_m \Theta'_f}{\Theta_m \Theta_f} \quad (15)$$

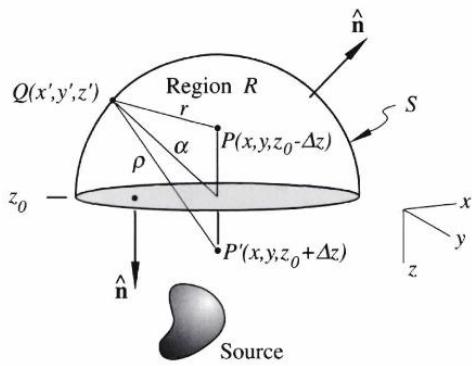
dengan $\mathcal{F}|\psi_r|$ adalah reduksi ke kutub, Θ_m adalah fungsi kompleks yang tergantung pada orientasi dipol, Θ_f adalah fungsi kompleks yang tergantung pada medan sekitar.

2. Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas dilakukan dengan mentransformasikan medan potensial yang diukur pada permukaan tertentu menuju ke medan potensial pada permukaan lain yang jauh dari sumber. Transformasi ini mengurangi anomali sebagai fungsi panjang gelombang. Semakin pendek panjang gelombang maka semakin besar atenuasinya. Konsep dasar dari transformasi ini berasal dari identitas ketiga teorema Green. Teorema ini menjelaskan bahwa apabila suatu fungsi U adalah harmonik, kontinyu, dan mempunyai turunan yang kontinyu di sepanjang daerah R , maka nilai U pada suatu titik P di dalam daerah R (Gambar 4) dapat dinyatakan dengan persamaan (Blakely, 1996):

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) dS \quad (16)$$

dengan S menunjukkan permukaan daerah R , n menunjukkan arah normal keluar, dan r adalah jarak dari titik P ke suatu titik permukaan S . Persamaan 16 menjelaskan prinsip dasar dari kontinuasi ke atas, bahwa suatu medan potensial dapat dihitung pada setiap titik di dalam suatu daerah berdasarkan sifat medan magnet pada permukaan yang melingkupi daerah tersebut.

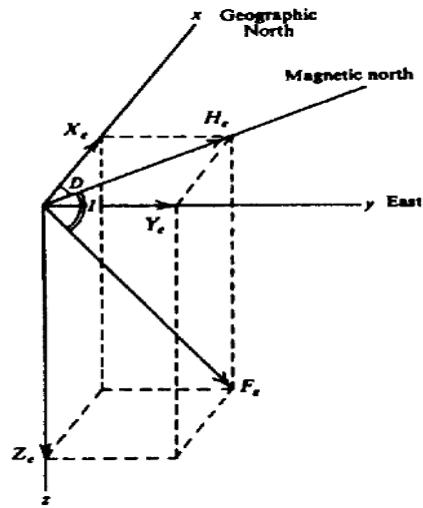


Gambar 4. Kontinuasi ke Atas dari Permukaan Horizontal (Blakely, 1996)

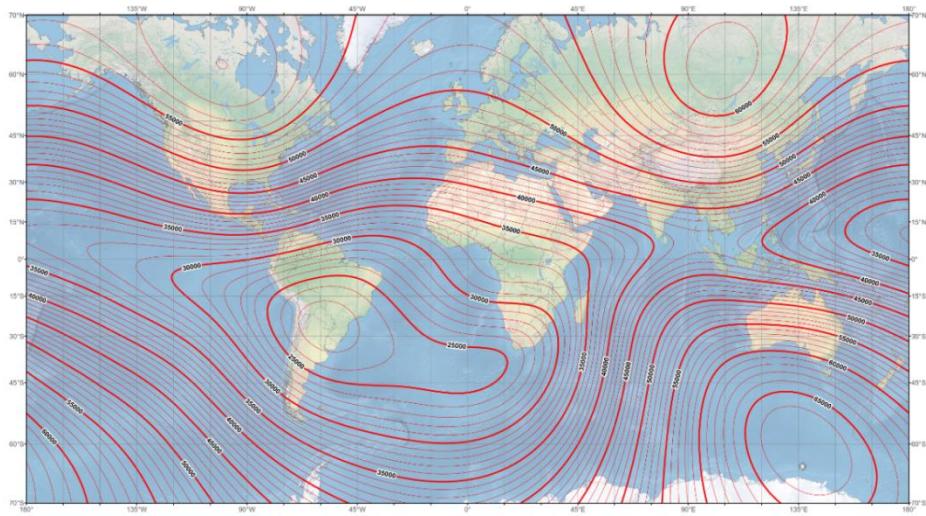
C. Medan Magnet Bumi

Komponen medan magnet bumi biasa disebut elemen medan magnet bumi yang mempunyai tiga arah utama dan dinyatakan dalam koordinat kartesian (Gambar 5), yaitu komponen arah utara X_e , komponen arah timur Y_e , dan komponen arah ke bawah Z_e . Isi dari elemen medan magnet bumi adalah deklinasi (D) yaitu sudut utara magnet bumi dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur (sudut antara utara magnet dan utara geografis), inklinasi (I) yaitu sudut antara medan magnet total dengan bidang horizontal yang dihitung dari horizontal menuju ke bidang vertikal ke bawah (sudut antara bidang horizontal dan vektor medan total), intensitas horizontal (H_e) adalah magnitudo dari medan magnet total pada arah horizontal, dan medan magnet total (F_e) adalah magnitudo dari vektor magnet total.

Karena medan magnet utama berubah terhadap waktu, maka untuk menyeragamkan nilai-nilai medan magnet utama dibuat standar nilai yang dikenal dengan IGRF. Nilai IGRF diperbaharui setiap 5 tahun sekali.

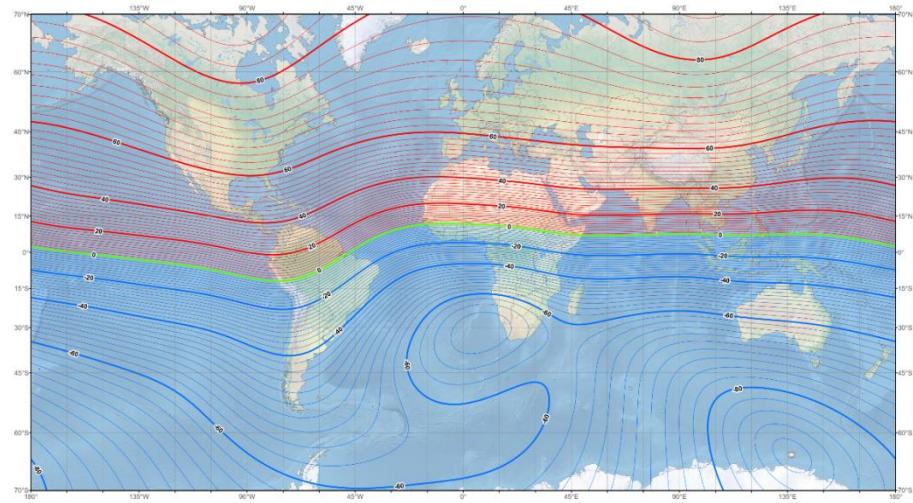


Gambar 5. Elemen Medan Magnet Bumi (Telford, dkk, 2004)

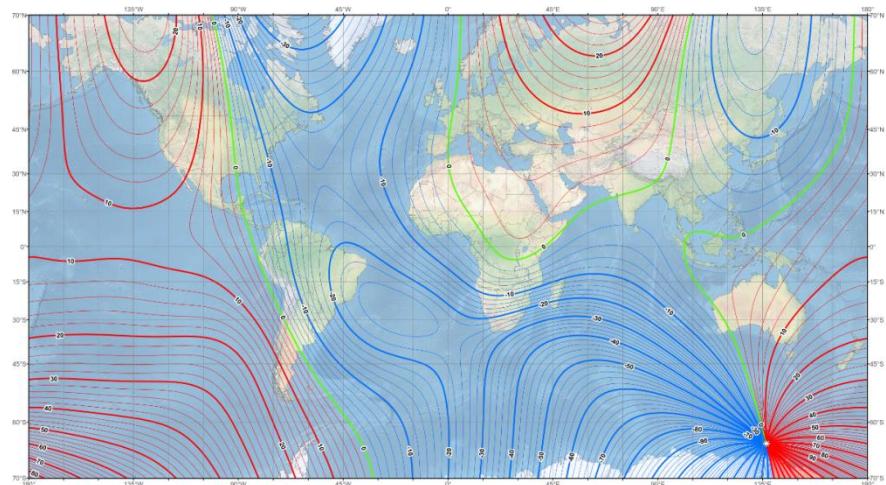


Gambar 6. Model Medan Magnet Dunia (NOAA, 2016)

Nilai total intensitas medan utama berkisar 25.000nT - 65.000nT dan untuk Pulau Jawa nilai medan utamanya berkisar ± 45.000 nT (Gambar 6). Sedangkan nilai deklinasi dan inklinasi berkisar -90° sampai 90° dan untuk di Pulau Jawa nilai deklinasinya berkisar 0° - 2° dan inklinasinya berkisar -20° sampai 40° ditunjukkan oleh Gambar 7 dan Gambar 8



Gambar 7. Medan Inklinasi Utama Bumi (NOAA, 2016)



Gambar 8. Model Deklinasi Utama Bumi (NOAA, 2016)

D. Medan Magnet Luar

Medan magnet luar berasal dari pengaruh luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Karena sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu jauh

lebih cepat (Telford, dkk, 2004). Beberapa sumber medan magnet dari luar antara lain:

- a. Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dengan siklus 11 tahun.
- b. Variasi harian dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari dan mempunyai jangkauan 30 nT.
- c. Variasi harian dengan periode 25 jam yang berhubungan dengan pasang surut bulan dan mempunyai jangkauan 2 nT.
- d. Badai geomagnet yang bersifat acak dan mempunyai jangkauan sampai dengan 1.000 nT.

Pengamatan badai geomagnet telah lama dilakukan dan yang pertama kali mengidentifikasi pola badai magnet adalah Moos. Moos mengamati terjadinya peningkatan mendadak dari komponen **H** geomagnet di Colaba, India. Chapman kemudian mendefinisikan kejadian tersebut sebagai ‘*magnetic storm*’. Chapman pertama kali mengamati dampak badai magnet di berbagai stasiun geomagnet di dunia. Sugiura dan Chapman mendefinisikan dampak tersebut sebagai *Disturbance Storm Time* (DST) yang direpresentasikan sebagai indeks yang menggambarkan gangguan pada komponen **H** geomagnet saat terjadi badai (Sugiura, 1964). Pengukuran DST dilakukan empat stasiun yang berlokasi di lintang rendah dan terdistribusi secara merata terhadap ekuator magnet, yaitu Hermanus, Kakioka, Honolulu, dan San Juan yang menghasilkan indeks DST skala global (INGV, 2015). Klasifikasi intensitas badai geomagnet berdasarkan pola indeks DST ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Indeks DST (INGV, 2015)

Klasifikasi DST	Intensitas DST (nT)
Lemah	$-50 < \text{DST} < -30$
Sedang	$-100 < \text{DST} < -50$
Kuat	$-200 < \text{DST} < -100$
Sangat Kuat	$\text{DST} < -200\text{nT}$

E. Kemagnetan Material Bumi

Setiap jenis material mempunyai sifat dan karakteristik tertentu dalam medan magnet. Hinze, dkk (2012) mengklasifikasikan material menjadi empat jenis berdasarkan nilai suseptibilitas magnet, yaitu diamagnet, paramagnet, ferromagnet, dan ferrimagnet.

1. Diamagnet

Diamagnet adalah bahan yang kulit elektronnya lengkap dan terisi oleh elektron yang berpasangan. Jika dipengaruhi oleh medan magnet luar, *spin* elektron akan menghasilkan arah momen magnet yang berlawanan dengan arah medan magnet luar sehingga akan menghasilkan resultan yang berarah negatif. Diamagnet memiliki nilai suseptibilitas $k < 0$ dalam satuan cgs. Contohnya adalah *bismuth*, *gypsum*, marmer, kuarsa, garam, seng dan emas (Siswoyo, dkk, 2010).

2. Paramagnet

Paramagnet adalah bahan yang jumlah elektron pada kulit atomnya tidak lengkap (sebagian ada elektron yang tidak berpasangan). Tanpa pengaruh kuat medan magnet luar, momen magnet memiliki arah orientasi yang acak. Jika ada pengaruh dari medan luar, maka momen magnet akan sejajar dengan medan tersebut. Paramagnet memiliki nilai suseptibilitas $0 < k < 10^{-6}$ dalam satuan cgs. Contohnya adalah *pyrite*, *zincblende*, dan *hematite* (Siswoyo, dkk, 2010).

3. Ferromagnet

Ferromagnet adalah bahan yang sifat kemagnetannya dipengaruhi oleh temperatur, yaitu pada temperatur di atas temperatur Curie akan kehilangan sifat kemagnetannya. Jika dimasukkan ke dalam medan magnet luar, magnetisasi bahan ini akan meningkat tajam. Ferromagnet memiliki nilai suseptibilitas $1 < k < 10^6$ dalam satuan cgs. Contohnya adalah besi, nikel, kobalt, dan baja (Siswoyo, dkk, 2010).

4. Ferrimagnet

Ferrimagnet adalah bahan yang sifat kemagnetannya seperti ferromagnet yaitu dipengaruhi oleh temperatur. Tanpa adanya pengaruh kuat medan magnet luar, arah momen magnetnya parallel dan saling berlawanan. Ferrimagnet memiliki nilai suseptibilitas $10^{-6} < k < 1$ dalam satuan cgs. Contohnya adalah *magnetit*, *ilmenite*, *pirhotit*, dan *hematit* (Siswoyo, dkk, 2010).

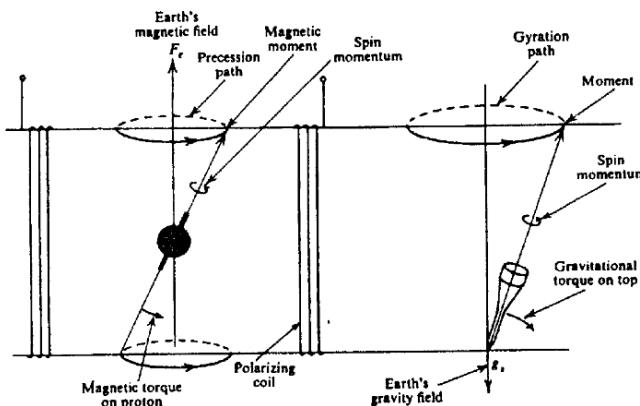
F. Proton Precession Magnetometer

Setiap proton adalah massa yang berputar dan membawa muatan listrik positif. Putaran muatan partikel ini menghasilkan momen magnet dan momentum angular pada arah sumbu putarnya. Sebagai akibatnya, sumbu proton akan berpresesi, seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Jumlah putaran sumbu proton di sekitar sumbu dalam waktu tertentu disebut frekuensi presesi proton (f). Nilai f tergantung pada momen magnet proton m , momentum angular proton \mathbf{L} , dan medan magnet bumi \mathbf{T} yang dapat dinyatakan dalam persamaan (Telford, dkk, 2004):

$$f = \frac{m}{2\pi\mathbf{L}} \mathbf{T} = \frac{e\mathbf{T}}{2\pi} \quad (17)$$

dengan konstanta $G = \frac{m}{L}$ adalah *gyromagnet ratio* dan faktor dari $\frac{2\pi}{G} = 23,487 \pm 0,002$ nT/Hz, maka persamaannya dapat dituliskan sebagai:

$$T = 23,48f \quad (\text{nT}) \quad (18)$$



Gambar 9. Analogi *Proton Precession* dan *Spinning-Top* (Telford, dkk, 2004)

Proton Precession Magnetometer (PPM) adalah suatu sensor untuk mengukur induksi medan magnet total \mathbf{F} yang prinsip kerjanya didasarkan pada putaran muatan partikel. Komponen utama PPM secara umum terdiri dari sumber proton, medan magnet polarisasi yang sangat kuat dan diarahkan searah dengan medan magnet bumi, kumparan yang dililitkan pada sumber proton, penguat untuk menguatkan tegangan induksi di dalam kumparan, dan pengukur frekuensi. Sensor ini berisi zat cair yang kaya akan proton (*methanol* atau *kerosene*). Di dalam sensor ini terdapat koil atau kumparan yang melingkupi zat cair yang kaya akan proton tersebut. Koil ini dihubungkan dengan sumber arus dan rangkaian penghitung frekuensi. Jika arus listrik dilewatkan melalui koil tersebut, maka akan timbul medan magnet dan mempolarisasikan proton pada arah koil. Pada saat arus diputus, koil akan dihubungkan dengan rangkaian penghitung frekuensi,

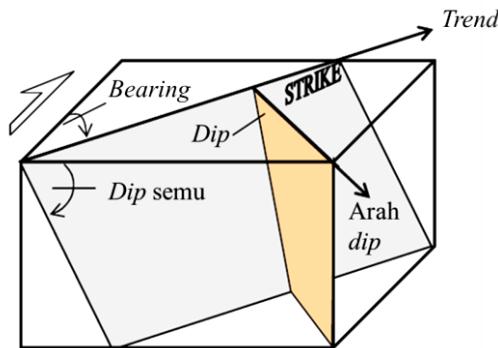
sementara proton akan berpresesi pada arah medan magnet bumi. Gerakan momen magnet proton akan menghasilkan medan magnet siklik yang menginduksi arus pada kumparan dengan interval ~ 3 detik sebelum proton berhenti berpresesi. Selama interval waktu tersebut, penghitung frekuensi akan mengukur frekuensi presesi proton. Nilai frekuensi presesi proton yang terukur, kemudian diolah dan nilai medan magnet total ditampilkan pada layar PPM (Telford, dkk, 2004).

G. Sesar

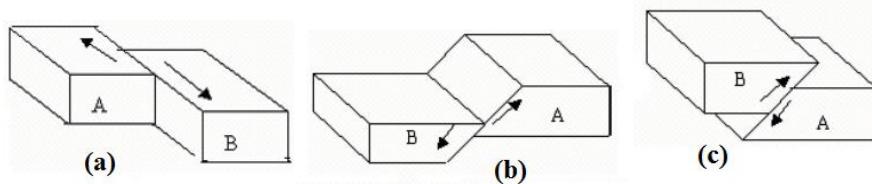
Sesar adalah suatu rekaan pada batuan yang terbentuk ketika salah satu bagian yang retak bergeser relatif terhadap bagian yang lain. Sesar terjadi karena batuan mengalami efek tegangan yang melampaui kekuatan elastisitasnya. Pergeseran blok batuan yang retak tersebut dapat terjadi dalam ukuran jarak yang sangat kecil sampai dengan skala yang lebih besar atau disebut dengan daerah sesar skala regional.

Setiap sesar memiliki komponen-komponen yaitu arah (*strike*), dan sudut kemiringan (*dip*). *Strike* atau jurus adalah garis yang dibentuk dari perpotongan bidang sesar dengan bidang horizontal ditinjau dari arah utara ke arah timur dengan sudut antara 0 sampai 360 derajat dan *dip* sesar merupakan sudut yang dibentuk oleh bidang sesar terhadap bidang horizontal dengan sudut kemiringan antara 0 sampai 90 derajat. *Strike* dan *dip* ditunjukkan pada Gambar 10.

Dalam keadaan yang sebenarnya, permukaan sesar dapat mempunyai keadaan yang berbeda dan gerakannya dapat mempunyai arah yang berlainan sepanjang permukaannya. Gerakan sesar dapat dibedakan menjadi tiga seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



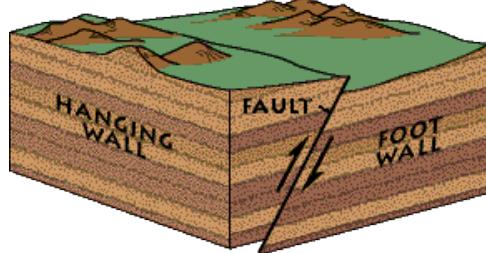
Gambar 10. Kedudukan Bidang Dan Arah Garis Ruang (Sukartono, 2013).



Gambar 11. Jenis Sesar : A) Sesar Geser, (B) Sesar Turun, (C) Sesar Naik (Ibrahim Dan Subardjo, 2005)

Gambar 11 (a) menunjukkan sesar geser di mana tidak ada perbedaan ketinggian dari kedua bidang yang dilalui sesar. Gaya yang membentuk sesar ini adalah gaya tekan horizontal yang tinggi dan tekanan vertikal yang rendah. Daerah di sekitar sesar ini memiliki kecuraman yang beragam. Terdapat pula struktur lain seperti rekahan, lipatan, dan struktur bunga.

Gambar 11 (b) dan (c) menunjukkan sesar naik dan turun. Cara untuk menentukan suatu sesar naik atau turun adalah dengan melihat bidang yang dibentuk oleh posisi *hanging* terhadap *footwall* seperti ditunjukkan Gambar 12. Secara sederhana, *footwall* adalah yang bentuknya menyerupai sepatu. Apabila *hanging* relatif di bawah *footwall*, maka sesar tersebut merupakan sesar turun. Sesar naik dan turun merupakan sesar yang paling umum dijumpai.



Gambar 12. Bidang Sesar Untuk Menentukan Jenis Sesar (USGS, 2016)

Sesar turun disebut sesar normal atau *gravity fault*. Secara umum sesar normal terjadi sebagai akibat dari hilangnya pengaruh gravitasi sehingga batuan menuju posisi seimbang (isotasi). Sesar turun biasanya ditandai dengan adanya lembah dan lereng yang curam. Sedangkan sesar naik atau *thrust fault reverse fault* ditandai dengan adanya pemisahan pada suatu bentuk yang terus menerus, adanya lapisan yang hilang, pelurusan sungai, dan terputusnya kesinambungan bentuk-bentuk geologi, misal bentuk bentang alam yang sangat berlainan dalam wilayah yang relatif sempit.

H. Pembagian Umur Geologi

Tidak diketahui dengan pasti berapa juta tahun yang lalu bumi ini terbentuk. Untuk memperkirakannya para ahli melakukan penelitian dengan menganalisa gejala geologi yang terdapat di kulit bumi kemudian menyusun dalam skala waktu geologi. Skala waktu geologi ditunjukkan pada Tabel 3.

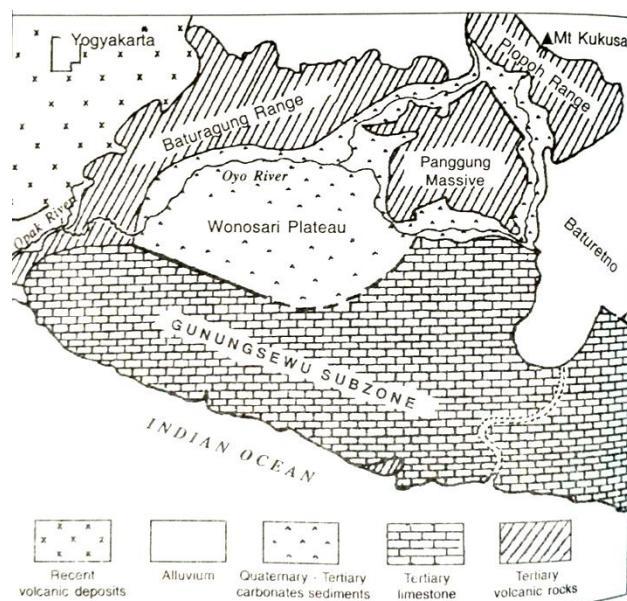
Tabel 3. Jangka Skala Waktu Geologi (Wolf, dkk pada Sukandarrumidi, 1994)

ZAMAN	KALA	JANGKA WAKTU ($\times 10^6$ tahun yang lalu)		
Kquarter	Holosen	Sekarang	-	?
	Pleistosen	?	-	0,6
Tersier	Pliosen	0,6	-	11
	Miosen	11	-	25

	Oligosen	25	-	40
	Eosen	40	-	60
	Paleosen	60	-	70
Kapur		70	-	135
Jura		135	-	180
Trias		180	-	225
Perm		225	-	270
Pensylvanian		270	-	330
Mississippian		330	-	350
Devon		350	-	400
Silur		400	-	440
Ordovisium		440	-	500
Kambrium		500	-	600
Pra Kambrium		600	-	4500

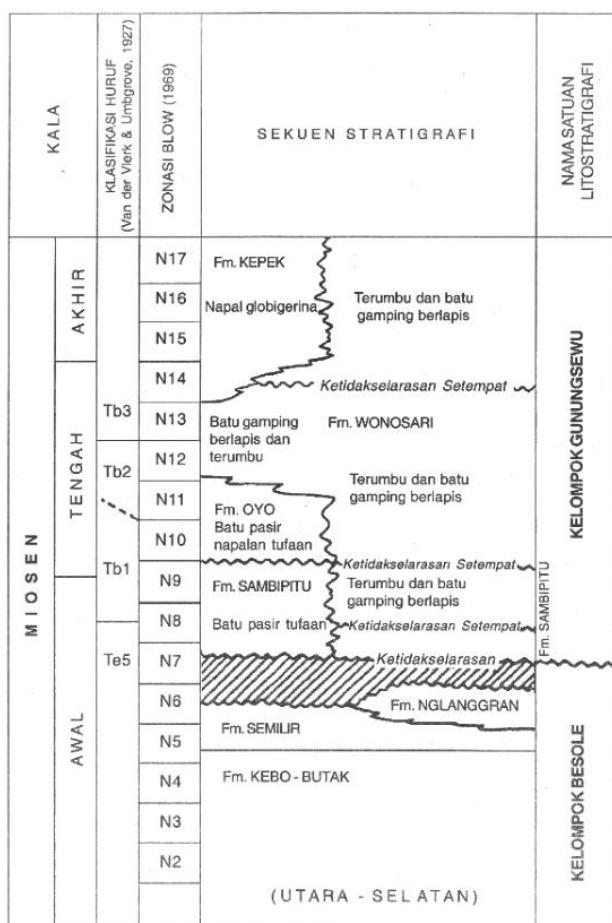
I. Geologi Daerah Penelitian

Menurut pembagian fisiografi pulau Jawa, wilayah Jawa Tengah dapat dibagi menjadi dua zona, yaitu Zona Solo dan Zona Pegunungan Selatan. Zona Pegunungan Selatan dapat dibagi menjadi tiga subzona, yaitu Subzona Baturagung, Subzona Wonosari dan Subzona Gunung Sewu (Bemmelen, 1949).



Gambar 13. Sketsa Peta Fisiografi Sebagian Pulau Jawa (Van Bemmelen, 1949).

DIY termasuk di dalamnya kawasan penelitian yang terdiri dari Formasi Nglanggran–Wonosari, termasuk ke zona Pegunungan Sewu seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Stratigrafi pegunungan selatan yang berada di wilayah DIY dan umur pembentukannya menurut Toha dan Suyoto (1994) dalam Bahagiarti (2005) ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Stratigrafi Pegunungan Selatan (Bahagiarti, 2005)

1. Formasi Semilir

Formasi Semilir merupakan sedimen laut dalam yang diendapkan melalui proses aliran gravitasi distal (*distal gravity flows*). Batuan penyusun formasi ini terdiri dari tufan dasitik, batupasir, batupasir tufan, batuapung, aglomerat, batulempung, batulanau, serpih, dan breksi. Penyebaran breksi di dalam

formasi ini berupa sisipan-sisipan yang melensa atau membentuk visual lapisan seperti kaca di formasi utama. Formasi Semilir berumur miosen awal.

2. Formasi Nglanggran

Formasi Nglanggran mempunyai hubungan selaras dan bersilang jari dengan Formasi Semilir bagian atas. Batuan penyusun utama adalah breksi vulkanik basalt, andesit, endapan lava, aglomerat, breksi polimiks, dan batupasir tufan. Batuan ini sebagian diendapkan di daratan dan sebagian lainnya diendapkan di lingkungan laut secara *gravity flow* pada kala Oligosen hingga Miosen tengah. Sumber material pembentuk Formasi Nglanggran adalah kompleks gunungapi tersier yang puncak-puncaknya antara lain Gunung Blencong dan Nglanggran.

Litologi Formasi Nglanggran didominasi oleh lava dan breksi basalt-andesit yang memiliki kesamaan dengan formasi “Andesit Tua” (yang sekarang menjadi Formasi Kaligesing dan Formasi Dukuh) di pegunungan Menoreh, serta Formasi Besole di Pegunungan Selatan Jawa Timur. Hal ini mengindikasikan bahwa periode pembentukan formasi-formasi ini relatif serentak dan telah terjadi aktivitas magmatisme yang menghasilkan batuan vulkanik andesitik tersebut.

3. Formasi Sambipitu

Batuan utama penyusun formasi ini terdiri dari napal, batulempung, pasir gampingan, dan batupasir tufan secara berselang-seling. Sedimen laut ini memiliki hubungan selaras di atas Formasi Nglanggran. Namun di beberapa tempat formasi Sambipitu mempunyai kontak yang menjari dengan formasi

Nglanggran bagian atas. Formasi Sambipitu berumur miosen awal hingga awal miosen tengah. Formasi ini bersama dengan Formasi Semilir maupun Formasi Nglanggran merupakan basal dan sebagai alas (*bedrock*) batuan karbonat Gunungsewu.

Di hilir Sungai Widoro, Formasi Sambipitu memiliki litologi berupa batupasir gampingan dan mengandung kuarsa yang cukup melimpah serta struktur sedimen silangsiur jenis palung dan planar dengan bidang-bidang per lapisan bergelombang dan sedikit erosional. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen tersebut terjadi dari proses pengendapan arus yang aktif.

4. Formasi Oyo

Batuhan penyusun Formasi Oyo teletak di sungai Oyo terdiri dari batugamping pasiran dengan struktur berlapis, kalkarenit, batupasir gampingan, dan batupasir napal-tufan. Hubungan Formasi Oyo dengan Formasi Sambipitu adalah tidak selaras. Di daerah Gunungsewu kontak langsung antara Formasi Oyo dengan Formasi Sambipitu sulit ditentukan batas-batasnya. Formasi Oyo berumur Miosen Tengah.

5. Formasi Wonosari

Formasi Wonosari tersusun dari batugamping berlapis, batugamping masif, dan batugamping terumbu. Ciri fisik yang spesifik pada formasi ini adalah rongga-rongga yang terbentuk dari hasil pelarutan mineral-mineral kalsit dan dolomit. Formasi ini di beberapa bagian menunjukkan hubungan selaras dengan Formasi Oyo dan Sambipitu, sebagian lain menjari. Formasi Wonosari diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga Plesteosen.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan pengambilan data geomagnet dalam penelitian ini dilakukan dengan mengukur besar medan magnet total di titik-titik yang telah ditentukan pada kawasan penelitian. Kegiatan pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 14 – 15 Maret 2016 dengan batas wilayah penelitian 434557mT – 441947 mT dan 9123510 mU – 9115862 mU seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Kawasan penelitian mencakup 4 kecamatan di 2 kabupaten, yaitu Kecamatan Imogiri dan Kecamatan Dlingo di Kabupaten Bantul, serta Kecamatan Panggang dan Kecamatan Paliyan di Kabupaten Gunungkidul.

B. Alat dan Bahan Penelitian

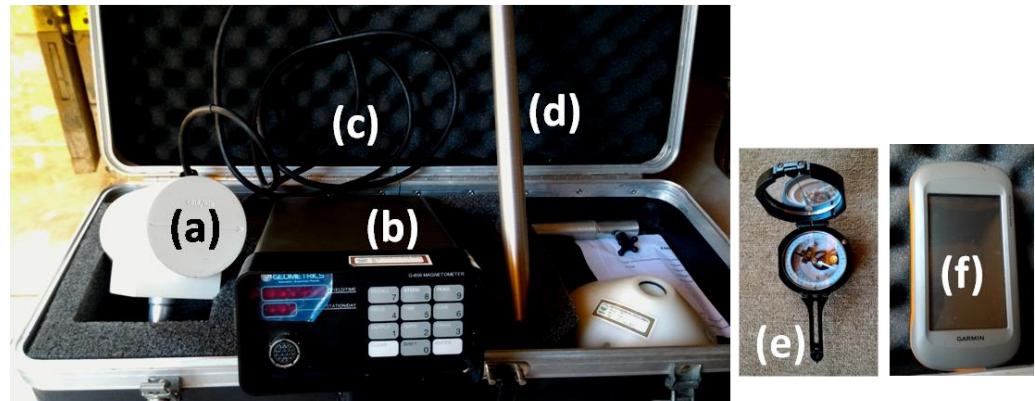
1. Perangkat Keras

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Satu set *Proton Precession Magnetometer* (PPM) jenis G-856 milik BMKG Yogyakarta yang ditunjukkan pada Gambar 15, terdiri dari: (a) sensor untuk mengukur besar medan magnet total; (b) *Instrument console* untuk membaca keluaran atau nilai medan magnet total dalam satuan nT, (c) kabel untuk menghubungkan sensor dengan *instrument console*, (d) tongkat untuk menyangga sensor saat pengukuran, (e) kompas geologi untuk mengetahui arah utara atau

north (N) bumi, dan (f) *Global Positioning System* (GPS) Garmin untuk mengetahui koordinat titik pengukuran.

- b. Lembar pencatatan data pengukuran dan kondisi lingkungan.



Gambar 15. Seperangkat Alat PPM

2. Perangkat Lunak

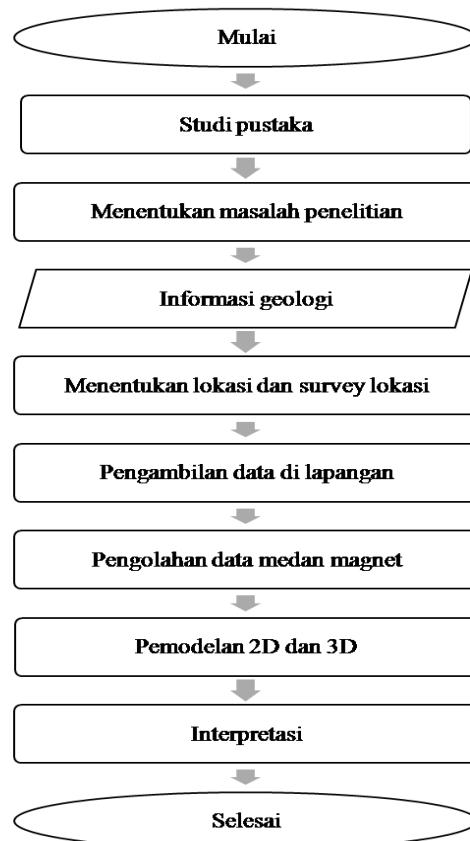
Perangkat lunak atau *software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. *Surfer 12* untuk membuat desain survey dan model kontur data penelitian serta sebagai *converter* koordinat geografis *longitude-latitude* menjadi UTM atau sebaliknya.
- b. *Global Mapper 13* untuk membuat desain survey dan sebagai input ke GPS *portable*.
- c. *Google Earth* untuk membuat jalur akuisisi data dan penentuan lokasi *base station*.
- d. *Oasis Montaj* untuk pemodelan data magnet pada tahap mereduksi ke kutub, atenuasi ke atas, dan pemodelan 2D.

- e. *Magblox* untuk memasukkan data geologi daerah penelitian sebelum diolah menjadi model 3D.
- f. *Bloxer* untuk mengedit pemodelan 3D dan mengubah format pemodelan dari *layer-layer* agar dapat diolah oleh *software Rockwork*.
- g. *Rockwork* untuk pemodelan 3D.
- h. *Microsoft Office 2007* untuk mengolah dan menyusun data serta publikasi.

C. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki tahapan yang ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 16.



Gambar 16. Tahapan Penelitian

D. Akuisisi Data Medan Magnet

Pengambilan data geomagnet diawali dengan kalibrasi alat. Kalibrasi dilakukan dengan melakukan proses *tuning* atau memilih kuat sinyal (*signal strength*) yang sesuai dengan harga medan magnet di kawasan penelitian. Untuk wilayah Indonesia yang terletak di selatan katulistiwa nilainya berkisar 45.000 nT.

Metode pengukuran dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu *looping* dan *base and rover*. Cara *looping* hanya menggunakan satu alat, dengan pengukuran harus diawali dan diakhiri di *base*. Sedangkan cara *base and rover* menggunakan dua alat, yaitu satu alat diletakkan di *base* untuk mencatat variasi harian medan magnet dan satu alat lainnya mengukur titik-titik pengukuran yang telah ditentukan. Cara pengambilan data medan magnet yang digunakan dalam penelitian ini adalah cara *looping*, sehingga satu alat digunakan sekaligus untuk mencatat variasi harian medan magnet dan pengukuran medan magnet di setiap titik.

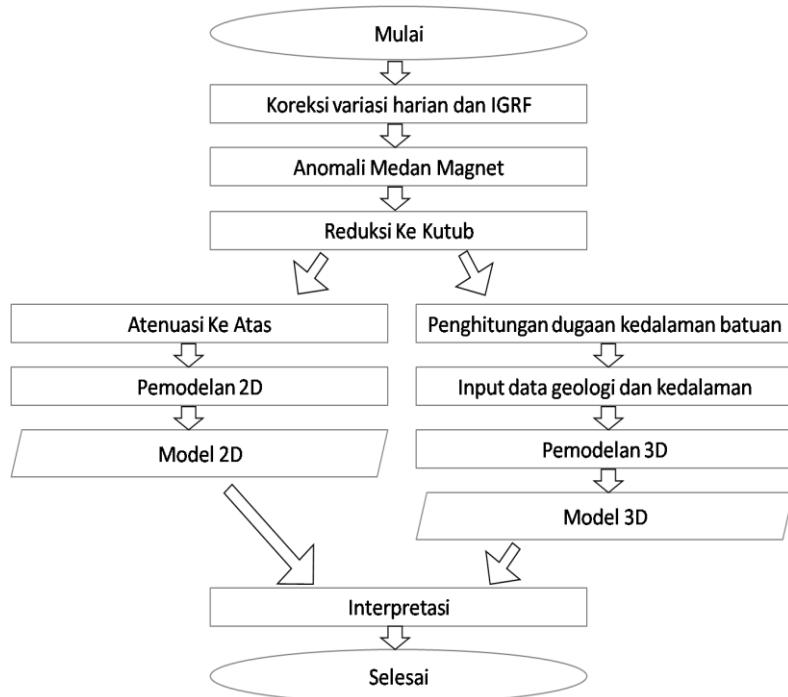
Desain titik pengukuran berjumlah 35 dengan jarak antar titik adalah 1,5 km. Titik pengukuran yang dekat dengan benda-benda yang memiliki kemagnetan besar seperti tiang listrik, pembatas jalan, jembatan dan yang tidak dapat dijangkau karena medan yang ekstrim harus dilakukan *offside* (geser).

Pengambilan data medan magnet di setiap titik diawali dengan mengeset serangkaian alat PPM. Kemudian indikator N (*north*) pada sensor diarahkan ke arah utara bumi dengan menggunakan kompas. Setelah itu nilai medan magnet terbaca pada *instrument console*. Pengukuran di setiap titik dilakukan sebanyak 5 kali,

dengan selisih waktu tiap pembacaan sekitar 15 detik. Hal tersebut dimaksudkan untuk memberikan waktu pada proton-proton dalam sensor untuk kembali berpresesi. Hasil pembacaan medan magnet dan kondisi lingkungan di sekitar titik pengukuran kemudian dicatat ke dalam tabel pengamatan yang telah disiapkan.

E. Pengolahan Data

Pengolahan data mentah berupa nilai medan magnet total sampai pemodelan dan interpretasi ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 17 . Data yang diperoleh dari pengukuran di lapangan merupakan data medan magnet total di kawasan penelitian. Data tersebut harus dikoreksi untuk memperoleh nilai anomali medan magnet. Koreksi yang diterapkan adalah koreksi variasi harian dan koreksi IGRF.



Gambar 17. Skema Pengolahan Data

1. Koreksi Variasi Harian dan Koreksi IGRF

Koreksi variasi harian dan koreksi IGRF merupakan dua koreksi utama untuk memperoleh anomali medan magnet yang sesungguhnya. Nilai variasi harian (ΔF) dapat diperoleh melalui persamaan 13. Setelah melakukan koreksi variasi harian, selanjutnya adalah koreksi IGRF. Koreksi ini bersifat global, diperoleh dari web NOAA (ngdc.noaa.gov) seperti ditunjukkan pada Gambar 18. Setelah dilakukan kedua koreksi tersebut, maka dapat diperoleh nilai anomali medan magnet yang sesungguhnya dari persamaan 12.

The screenshot shows the 'Magnetic Field Estimated Values' page from ngdc.noaa.gov. The interface is divided into several sections:

- Calculate Magnetic Field:** Contains fields for Latitude (7.9385940543938° S), Longitude (110.46755110337° E), Elevation (197.0 m Mean sea level), Model selection (WMM (2014-2019) selected), Start Date (Year 2016, Month 3, Day 14), End Date (Year 2016, Month 3, Day 14), and Step size (1.0).
- Lookup Latitude / Longitude:** A section for entering a zip code, country, or city, with dropdown menus for U.S. Zip Code, Country, and City.
- Magnetic Field:** A summary table showing the model used (IGRF12), coordinates, and elevation. It also includes a table of magnetic field components and total field for specific dates.

Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2016-03-14	0.9672°	-32.8673°	37,846.5 nT	37,841.1 nT	638.9 nT	-24,453.4 nT	45,059.2 nT
Change/year	-0.0424°/yr	0.1502°/yr	39.0 nT/yr	39.4 nT/yr	-27.4 nT/yr	115.5 nT/yr	-30.0 nT/yr

Gambar 18. Koreksi IGRF dari web NOAA

2. Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub dilakukan untuk menghilangkan pengaruh inklinasi dan deklinasi dari data medan magnet. Salah satu filter ini mengubah medan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnet bumi. Filter ini juga mengubah arah medan yang tadinya *dipole* menjadi *monopole* agar anomalinya semakin jelas terlihat. Reduksi ke kutub ini dilakukan dengan menggunakan software *Oasis Montaj*.

3. Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas merupakan proses pemfilteran data anomali medan magnet terhadap ketinggian yang berfungsi untuk mengoreksi pengukuran medan magnet dan menghilangkan pengaruh *noise* yang tidak diinginkan di permukaan tempat pengukuran. Dengan kontinuasi ke atas ini diharapkan anomali lokal akan hilang dan anomali regional akan semakin jelas terlihat polanya (konturnya). Proses ini dilakukan dengan menggunakan software *Oasis Montaj*.

4. Pemodelan 2D

Pemodelan ini untuk memprediksi struktur formasi batuan secara 2D. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan salah satu fitur software *Oasis Montaj* yaitu *Gm-Sys*. Data yang digunakan sebagai dasar pembuatan model 2D adalah plot anomali medan magnet yang sudah diatenuasi di ketinggian 2500 m. Hal ini dengan pertimbangan kontur yang terbentuk pada atenuasi 2500 m sudah mulai teratur, sudah tidak ada perubahan rentang nilai apabila diatenuasi lebih tinggi lagi. Sebelum dilakukan pemodelan, data anomali medan magnet disayat sesuai dengan target penelitian.

Proses penyayatan dilakukan untuk mendapatkan *sample* nilai anomali medan magnet yang akan dimodelkan.

5. Pemodelan 3D

Pemodelan 3D digunakan untuk memprediksi struktur formasi batuan berdasarkan data anomali medan magnet hasil reduksi ke kutub. Sebelum pemodelan dengan *software Rockwork*, data anomali medan magnet dianalisis dengan menggunakan *software Magblox* dan *Bloxer*. *Software Magblox* digunakan untuk memasukkan informasi geologi seperti koordinat lokasi, jarak antar titik pengukuran, nilai dugaan kedalaman batuan dan nilai IGRF rata-rata. Setelah memasukkan data yang diperlukan, maka *software Magblox* akan mengolah data tersebut menjadi model dalam bentuk *layer-layer*. Setelah itu, data dalam *layer* yang diperkirakan kurang tepat bisa diedit dengan *software Bloxer*. *Software Bloxer* juga mengubah format keluaran *software Magblox* agar dapat diolah oleh *software Rockwork*. Tahapan terakhir adalah pemodelan 3D di *software Rockwork*. Seluruh informasi data geologi dari proses analisa akan diproses menjadi sebuah model 3D berdasarkan nilai suseptibilitas.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

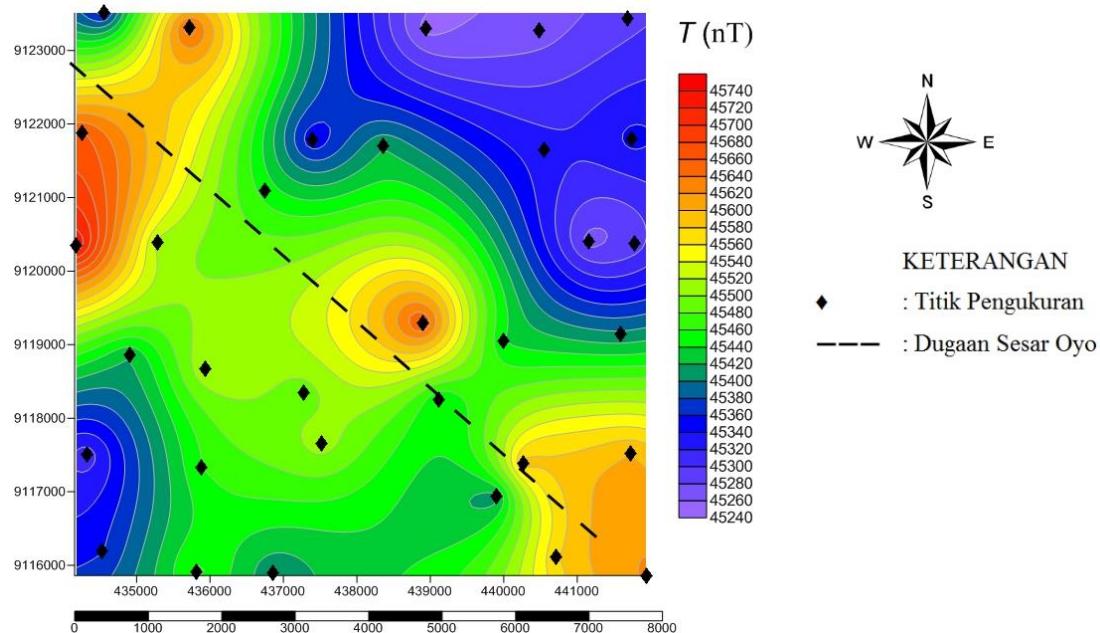
Penelitian identifikasi Sesar Oyo berdasarkan pengukuran medan magnet di lapangan bertujuan untuk mengetahui anomali medan magnet di lokasi penelitian. Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran lapangan dengan metode geomagnet adalah magnetometer. Magnetometer yang digunakan adalah *Proton Precession Magnetometer* (PPM). PPM dapat digunakan untuk mengukur medan magnet gradien dan medan magnet total. Pada penelitian ini, PPM digunakan untuk mengukur nilai medan magnet total.

Medan magnet total hasil pengukuran masih dipengaruhi oleh medan magnet luar, medan magnet utama, dan anomali medan magnet itu sendiri. Sehingga untuk mengetahui besarnya anomali medan magnet, maka medan magnet luar dan medan magnet utama perlu direduksi. Medan magnet luar direduksi dengan koreksi variasi harian, dan medan magnet utama direduksi dengan koreksi IGRF. Anomali medan magnet hasil reduksi masih dipengaruhi medan magnet regional dan medan magnet lokal. Sehingga untuk mengetahui medan magnet regional di kawasan penelitian, perlu dilakukan pemisahan dengan reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas.

A. Medan Magnet Total

Nilai medan magnet total yang diperoleh dari pengukuran berkisar pada 45.240 nT – 45.740 nT. Untuk mengetahui pola sebaran medan magnet total dilakukan proses interpolasi sehingga membentuk kontur medan magnet total yang ditunjukkan

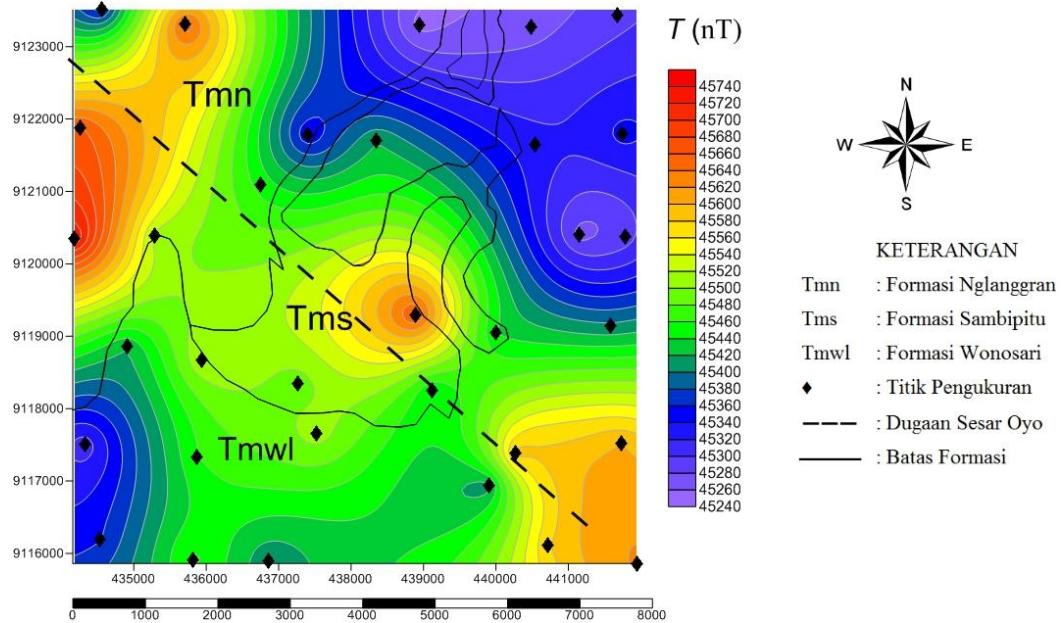
pada Gambar 18. Skala warna pada Gambar 18 menunjukkan adanya klosur tinggi, sedang dan rendah. Klosur tinggi berwarna jingga sampai merah dengan rentang nilai 45.580 nT – 45.740 nT berada di barat laut kawasan penelitian. Klosur sedang berwarna hijau sampai kuning dengan rentang nilai 45.440 nT – 45.560 nT tersebar memanjang dari barat laut – tengah – hingga ujung tenggara kawasan penelitian. Klosur rendah berwarna biru keunguan dengan rentang nilai 45.440 nT – 45.560 nT berada di bagian barat daya dan timur laut kawasan penelitian.



Gambar 19. Kontur Medan Magnet Total Di Kawasan Penelitian

Kontur medan magnet total pada Gambar 19 belum menunjukkan pengaruh geologi regional terhadap nilai anomali, sehingga untuk mengetahui pengaruh geologi regional terhadap nilai medan magnet total hasil pengukuran, maka kontur medan

magnet tersebut di-overlay dengan batas formasi batuan di lokasi penelitian, yang ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Kontur Medan Magnet Total Di Kawasan Penelitian Yang Mencakup 3 Formasi Batuan Yaitu Formasi Nglanggran, Sambipitu Dan Wonosari

Kontur medan magnet dapat memberikan gambaran awal tentang lokasi-lokasi yang memiliki nilai medan magnet tinggi dan rendah. Secara umum klosur tinggi berada di Formasi Nglanggran, klosur sedang sebagian besar berada di Formasi Sambipitu, Wonosari dan sedikit berada di Formasi Nglanggran. Sedangkan klosur rendah berada di Formasi Wonosari.

Formasi Nglanggran memiliki nilai medan magnet dengan klosur sedang sampai tinggi. Hal tersebut dikarenakan Formasi Nglanggran terdiri dari batuan hasil letusan

Gunungapi Purba Nglanggran seperti lava, tufan, breksi, dan didominasi oleh batuan beku jenis basal andesitik. Batuan beku jenis basal memiliki nilai suseptibilitas yaitu $(0,2\text{--}175)\times10^{-3}$, sehingga memiliki nilai kemagnetan yang tinggi.

Formasi Sambipitu memiliki klosur medan magnet sedang hingga tinggi. Hal tersebut karena Formasi Sambipitu terdiri dari napal, lempung, tufan dan didominasi oleh batuan pasir. Batupasir memiliki nilai suseptibilitas yaitu $(0\text{--}20)\times10^{-3}$, sehingga memiliki nilai kemagnetan yang sedang. Di bagian tengah kawasan penelitian terdapat satu titik pengukuran yang memiliki klosur tinggi yaitu di Formasi Sambipitu yang berbatasan dengan Formasi Wonosari. Hal tersebut dimungkinkan karena adanya campuran batuan dari Formasi Sambipitu dan Wonosari yang menyebabkan tingginya nilai anomali medan magnet.

Formasi Wonosari memiliki klosur rendah sampai sedang. Formasi Wonosari bagian selatan memiliki klosur sedang dan bagian utara memiliki klosur rendah. Formasi Wonosari terdiri dari batuan sedimen dan *karst* atau batugamping. Suseptibilitas batugamping paling rendah bila dibandingkan dengan batubasal dan batupasir yaitu $(0\text{--}3)\times10^{-3}$ sehingga memiliki nilai kemagnetan yang paling rendah.

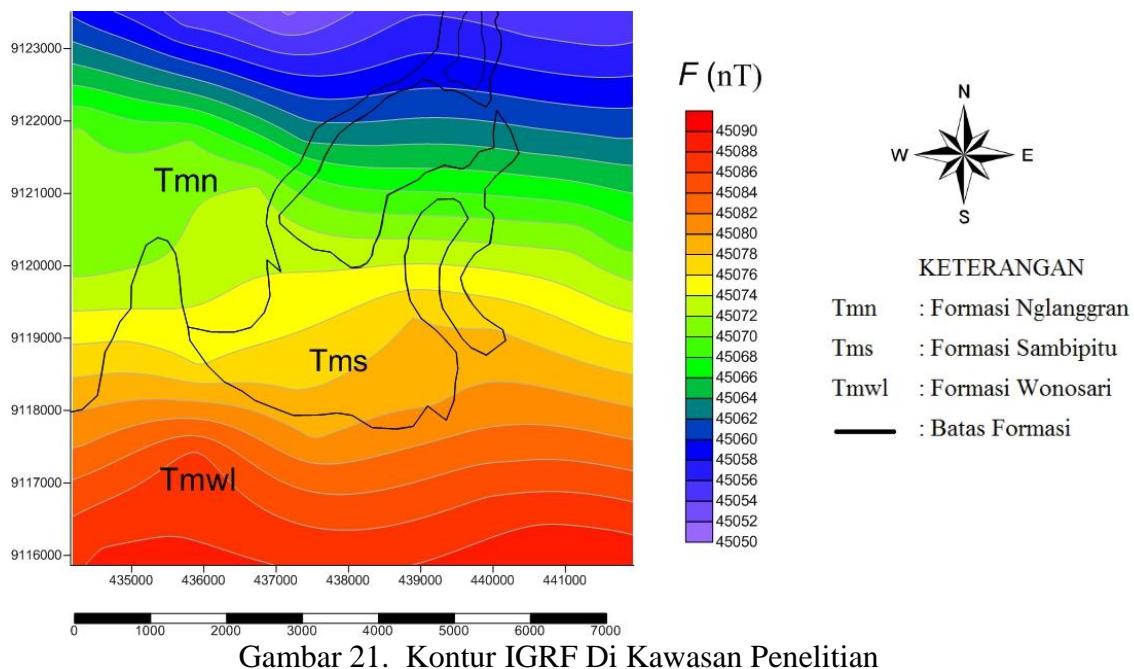
B. Medan Magnet Regional

Medan magnet regional merupakan medan magnet utama bumi. Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu. Untuk menyeragamkan nilai-nilai medan utama magnet bumi, dibuat standar nilai yang disebut *International Geomagnetics*

Reference Field (IGRF). IGRF adalah nilai matematis standar dari medan magnet utama bumi akibat rotasi dan jari-jari bumi. Nilai-nilai IGRF diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar 1 juta km². Nilai pengukuran tersebut diperoleh dari lembaga yang terlibat dalam pengumpulan dan penyebarluasan data medan magnet dari satelit, observatorium, dan survei di seluruh dunia. Data tersebut kemudian digabungkan menjadi sebuah pemodelan medan magnet utama bumi. Model IGRF hanya dapat menunjukkan nilai medan magnet bumi secara umum dan tidak dapat secara detail menunjukkan anomali medan magnet di tiap daerah.

Pemodelan IGRF dapat diakses melalui web NOAA. Model tersebut diperbaharui setiap 5 tahun sekali dengan pertimbangan terdapat perubahan medan magnet bumi selama lima tahun tersebut. Perubahan bisa disebabkan oleh proses ionisasi di permukaan atau atmosfer bumi maupun dari dalam bumi. Model serta perhitungan IGRF yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data IGRF yang dirilis NOAA pada tahun 2014 dan valid sampai Desember 2019.

Kontur medan magnet regional IGRF di kawasan penelitian ditunjukkan pada Gambar 21. Nilai IGRF di daerah penelitian berkisar 45.000 nT, yaitu 45.030,7 nT - 45.089,7 nT. Bagian selatan kawasan penelitian memiliki klosur yang lebih tinggi dibandingkan yang di bagian utara. Rata-rata nilai IGRF di kawasan penelitian adalah 45.070,35 nT.



Gambar 21. Kontur IGRF Di Kawasan Penelitian

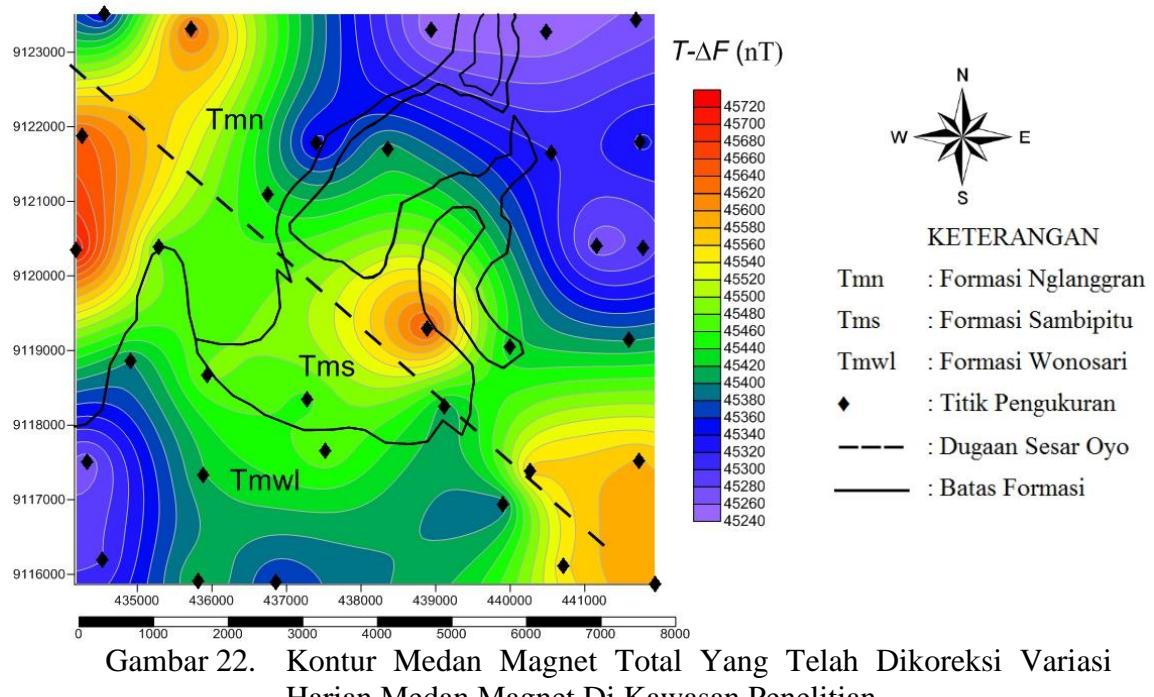
C. Medan Magnet Luar

Medan magnet luar yang disebut sebagai variasi harian (*diurnal correction*) merupakan penyimpangan nilai medan magnet bumi akibat adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari. Hal ini juga dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh medan magnet di luar bumi yang cukup mempengaruhi, seperti badai matahari dan aktifitas lain di lapisan ionosfer. Untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet, perlu dilakukan koreksi variasi harian agar pengaruh medan magnet luar tersebut hilang

Berdasarkan perhitungan (Lampiran 2), nilai variasi harian pada saat pengukuran berkisar antara 0 – 67,6 nT. Berdasarkan klasifikasi indeks DST pada Tabel 2, nilai tersebut termasuk dalam kategori lemah dan sedang, sehingga dapat diabaikan atau

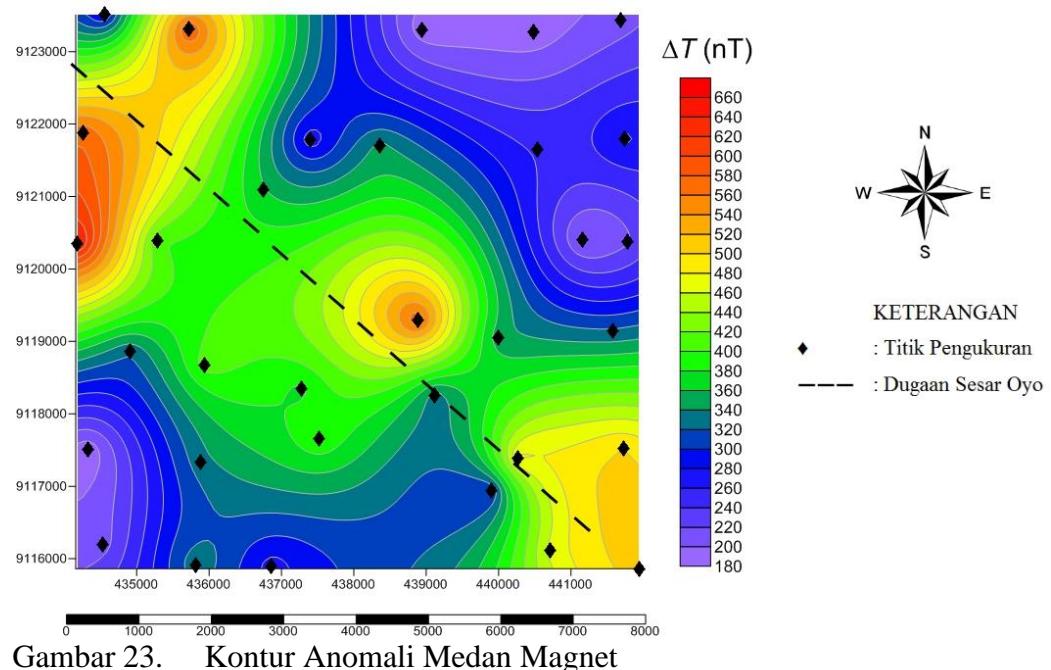
dianggap tidak berpengaruh terhadap nilai medan magnet. Hal tersebut juga menunjukkan bahwa selama pengukuran tidak terjadi badai geomagnet oleh permukaan matahari.

Gambar 22 menunjukkan kontur medan magnet total yang telah dikoreksi dengan variasi harian. Setelah dilakukan koreksi variasi harian pola kontur medan magnet tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Hal ini juga menunjukkan bahwa variasi harian medan magnet tidak signifikan mempengaruhi medan magnet total. Sehingga dapat disimpulkan bahwa anomali medan magnet dipengaruhi oleh perbedaan nilai kemagnetan atau suseptibilitas batuan yang berada di bawah permukaan.



D. Anomali Medan Magnet

Anomali medan magnet sering juga disebut dengan medan magnet lokal (*crustal field*). Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral bermagnet seperti *magnetite* dan *titanomagnetite* yang berada di kerak bumi.



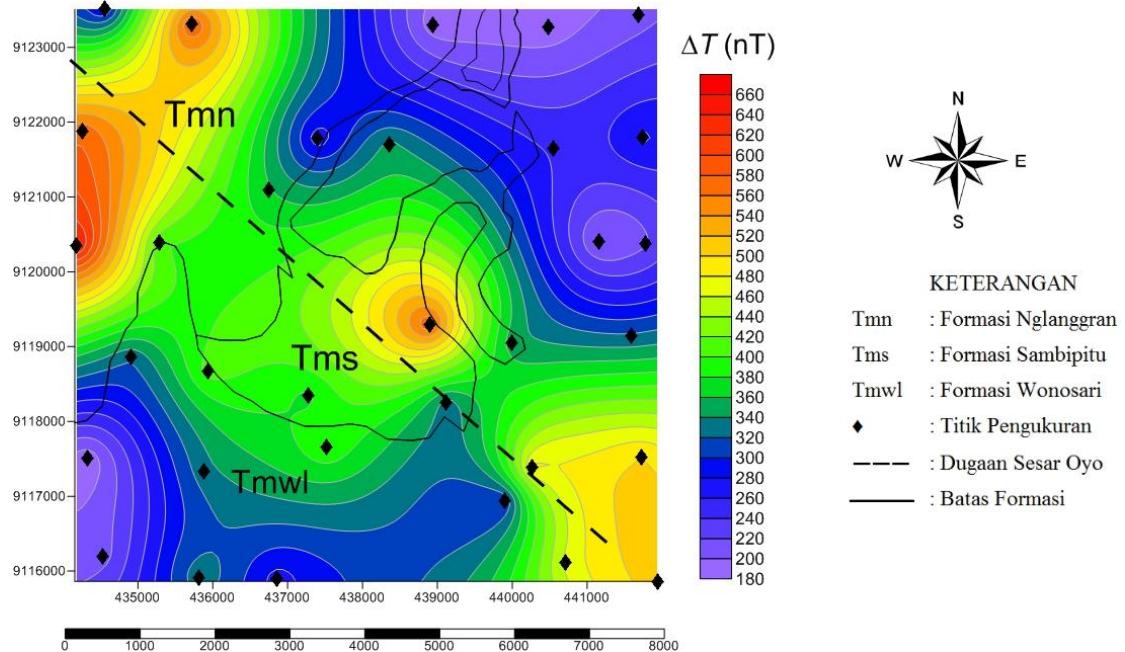
Gambar 23. Kontur Anomali Medan Magnet

Gambar 23 menunjukkan pola sebaran anomali medan magnet di kawasan penelitian yang memiliki kisaran nilai anomali medan magnet antara 180 nT – 660 nT. Kawasan penelitian memiliki kisaran nilai anomali medan magnet yang cukup lebar namun klosur-klosurnya masih memiliki kecenderungan yang sama. Klosur tinggi berwarna jingga sampai merah berada di barat laut kawasan penelitian dengan rentang nilai 500 nT – 660 nT. Klosur sedang berwarna hijau sampai kuning tersebar memanjang dari barat laut – tengah – hingga ujung tenggara kawasan penelitian

dengan rentang nilai 360 nT – 480 nT. Klosur rendah berwarna biru keunguan berada di bagian barat daya dan timur laut kawasan penelitian, dengan rentang nilai 180 nT – 340 nT. Variasi nilai anomali medan magnet ini terjadi karena kawasan penelitian tersusun atas 3 formasi batuan yang berbeda, yaitu Formasi Nglanggran, Formasi Sambipitu, dan Formasi Wonosari dengan rentang suseptibilitas yang berbeda-beda. Formasi Nglanggran didominasi oleh batuan beku jenis basalt dengan nilai suseptibilitas (berdasarkan Tabel 1) yaitu $(0,2\text{--}175)\times10^{-3}$, Formasi Sambipitu didominasi oleh batuan sedimen dengan jenis batupasir dengan kisaran nilai suseptibilitas $(0\text{--}20)\times10^{-3}$, dan Formasi Wonosari didominasi oleh batuan karst dengan nilai suseptibilitas $(0\text{--}3)\times10^{-3}$. Ketiga batuan yang mendominasi tersebut memiliki nilai suseptibilitas yang sangat berbeda sehingga menghasilkan rentang nilai kemagnetan yang cukup lebar. Untuk mengetahui pengaruh formasi geologi terhadap anomali medan magnet, maka kontur tersebut di-overlay dengan batas formasi geologi, yang ditunjukkan pada Gambar 24.

Nilai anomali medan magnet sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi lokasi titik pengambilan data. Titik yang berada di Formasi Wonosari memiliki nilai anomali medan magnet relatif lebih rendah dibandingkan dengan nilai anomali medan magnet yang berada di wilayah Formasi Sambipitu. Nilai anomali medan magnet yang berada di wilayah Formasi Sambipitu lebih rendah dari Formasi Nglanggran. Hal itu disebabkan karena batuan beku jenis breksi yang menyusun Formasi Nglanggran

memiliki nilai suseptibilitas yang paling tinggi dibandingkan batupasir maupun batugamping yang menyusun Formasi Sambipitu dan Formasi Wonosari.



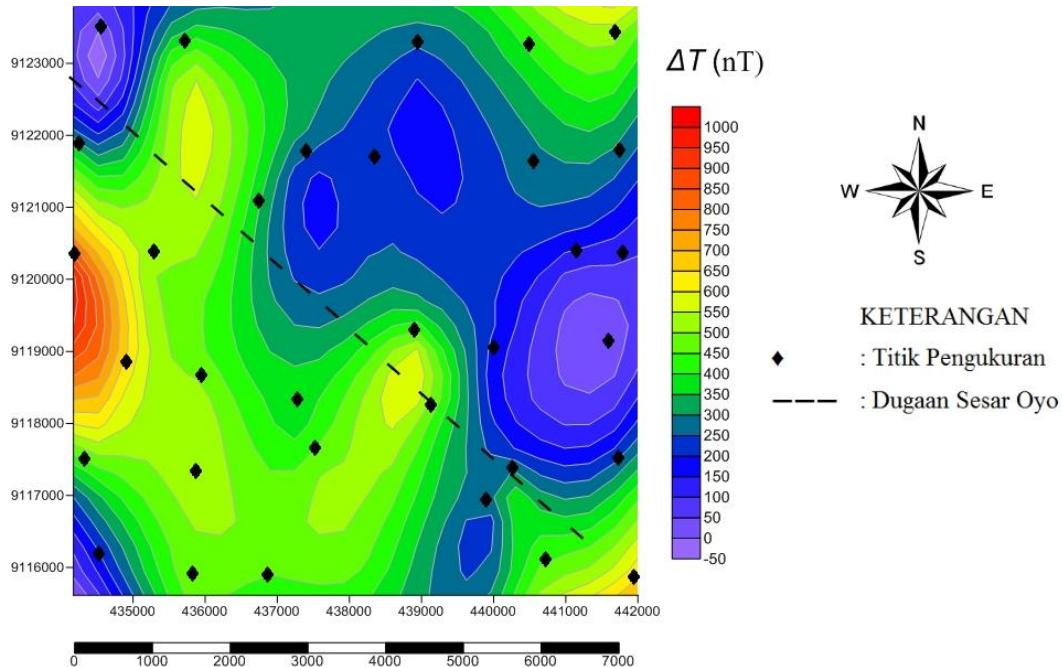
Gambar 24. Kontur Anomali Medan Magnet Mencakup 3 Formasi Batuan Yaitu Formasi Nglanggran, Sambipitu Dan Wonosari

E. Reduksi ke Kutub

Medan magnet bumi selalu bervariasi terhadap posisi dan waktu, atau disebut dengan *dipole*. Medan magnet hasil pengukuran dan koreksi masih berupa *dipole* karena koreksi-koreksi tersebut tidak dapat menunjukkan benda penyebab anomali secara tepat. Tujuan dilakukan reduksi ke kutub adalah untuk menempatkan daerah-daerah dengan anomali maksimal berada tepat di atas benda penyebab anomali.

Reduksi ke kutub atau *Reduction To Pole* (RTP) dilakukan dengan mengubah parameter medan magnet bumi pada daerah penelitian yang memiliki rata-rata nilai

deklinasi 0.96° dan inklinasi -32° menjadi kondisi di kutub yang memiliki deklinasi 0° dan inklinasi 90° , sehingga arah medan magnet yang awalnya *dipole* menjadi *monopole*. Data anomali medan magnet yang telah di-RTP ditunjukkan pada Gambar 25.



Gambar 25. Kontur Anomali Medan Magnet Yang Sudah Dilakukan Proses Reduksi Ke Kutub

Terdapat perubahan rentang nilai anomali medan magnet sebelum dan sesudah dilakukan proses RTP. Nilai anomali medan magnet sebelum di-RTP berkisar antara $180 \text{ nT} - 660 \text{ nT}$ sedangkan setelah di RTP nilainya menjadi $-50 - 1000 \text{ nT}$. Klosur tinggi ditunjukkan dengan warna kuning – merah dengan rentang nilai $650 - 1000 \text{ nT}$ berada di sebelah barat kawasan penelitian, klosur sedang berwarna hijau dengan

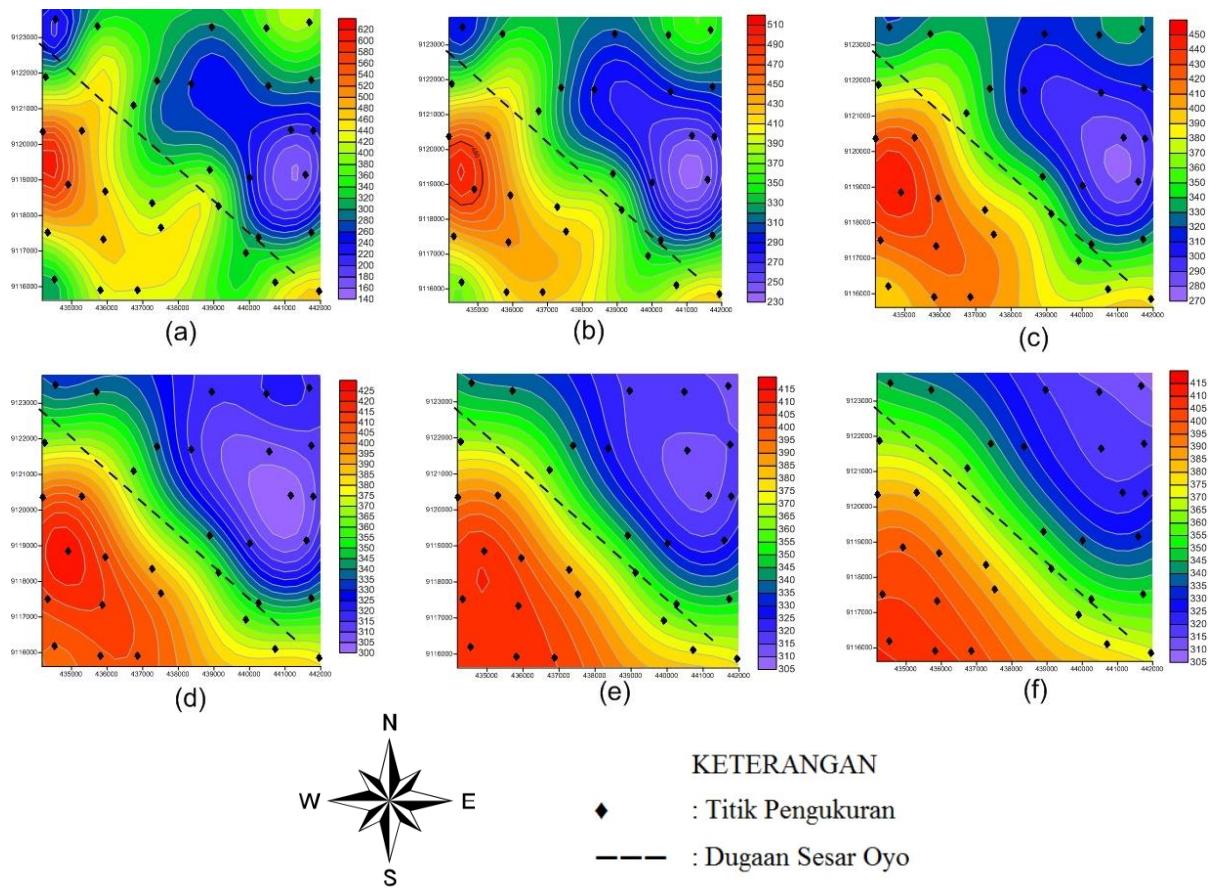
rentang nilai 300 – 550 nT berada di bagian tengah, dan klosur rendah dengan warna biru dengan rentang nilai -50 – 250 nT berada di sebelah timur kawasan penelitian.

F. Kontinuasi ke Atas

Peta anomali medan magnet hasil reduksi ke kutub belum menunjukkan anomali regional daerah penelitian, namun masih berupa anomali regional dan anomali lokal. Masih tercampurnya antara anomali regional dan anomali lokal akan mempersulit interpretasi, sehingga perlu dilakukan pemisahan antara keduanya. Proses pemisahan tersebut dilakukan dengan tahap kontinuasi ke atas, sehingga didapatkan anomali regional dengan cara mengurangi anomali hasil reduksi ke kutub dengan anomali lokal.

Kontinuasi ke atas menggunakan proses *low pass filtering*, yaitu untuk memfilter anomali lokal dan menyisakan anomali regional saja. Proses ini berguna untuk mengoreksi medan potensial pada tempat yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketinggian tempat pengukuran.

Dalam penelitian ini proses kontinuasi ke atas dilakukan dengan pengangkatan pada ketinggian 100 m, 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, dan 2500 m. Hal tersebut dimaksudkan untuk melihat perbedaan anomali regional daerah penelitian pada tiap-tiap ketinggian kontinuasi yang diterapkan. Pola anomali yang sudah tidak menunjukkan perubahan secara signifikan dipilih sebagai dasar untuk proses berikutnya yaitu pemodelan. Proses kontinuasi di berbagai ketinggian ditunjukkan pada Gambar 26.



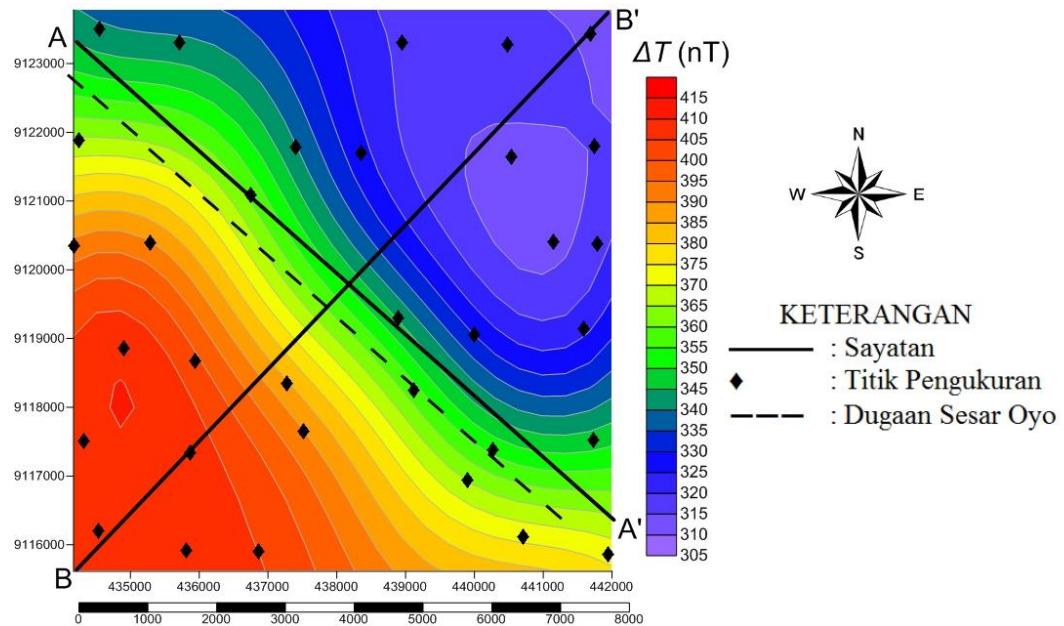
Gambar 26. Proses Kontinuasi Ke Atas Dengan Ketinggian (a) 100 m, (b) 500 m, (c) 1000 m, (d) 1500 m, (e) 2000 m, (f) 2500 m

Proses kontinuasi pada penelitian ini berhenti pada ketinggian 2500 m karena memperlihatkan adanya pola anomali yang cukup jelas dan sudah tidak berubah secara signifikan. Hal ini juga dapat menggambarkan bahwa hasil kontinuasi ke atas pada ketinggian 2500 m merupakan nilai anomali regional tanpa adanya *noise* dan anomali lokal. Dari Gambar 26 terlihat adanya peningkatan keteraturan pola anomali medan magnet seiring dengan naiknya filter yang diaplikasikan.

Peta kontur anomali medan magnet hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 2500 m menggambarkan susunan batuan di kawasan penelitian. Kontur kontinuasi tersebut menunjukkan daerah yang memiliki batuan dengan suseptibilitas tinggi dan rendah. Klosur tinggi menunjukkan keberadaan batuan dengan suseptibilitas tinggi seperti batuan beku dari gunungapi dan klosur rendah menunjukkan keberadaan batuan dengan suseptibilitas rendah seperti batuan sedimen. Untuk menjelaskan lapisan-lapisan batuan di kawasan penelitian perlu dilakukan pemodelan 2D dan 3D dengan menggunakan kontur anomali medan magnet hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 2500 m.

G. Pemodelan 2D

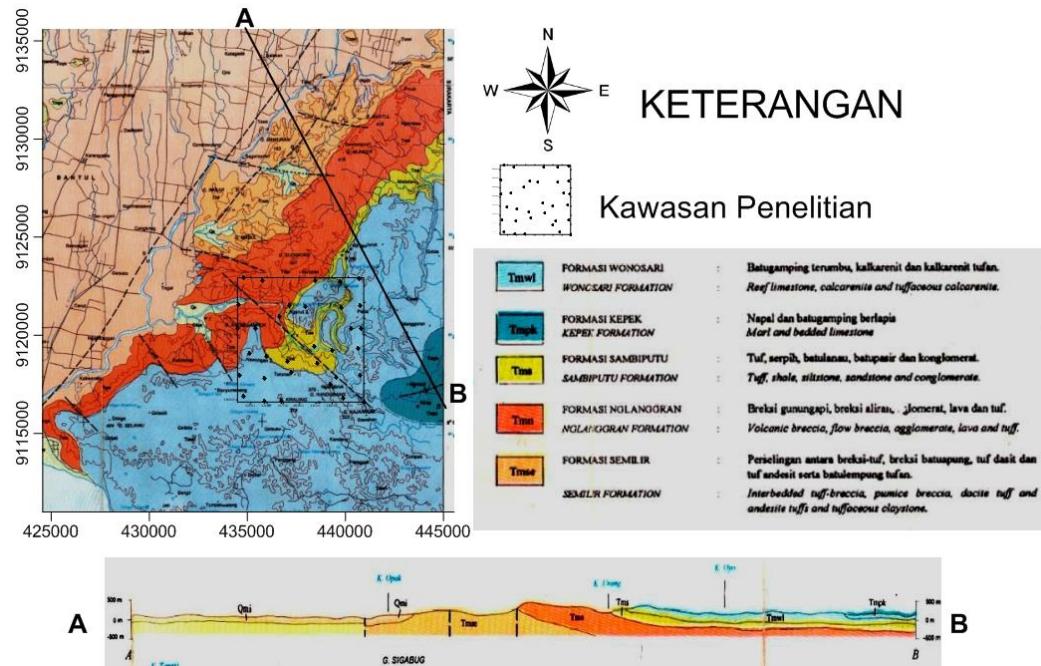
Pemodelan 2D dilakukan dengan melakukan sayatan di jalur-jalur tertentu sesuai dengan target penelitian. Target pada penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi jalur Sesar Oyo. Berdasarkan peta geologi, dugaan Sesar Oyo memiliki karakteristik sesar geser, sehingga dimungkinkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari formasi batuan di sekitar jalur sesar. Maka untuk memperjelas formasi batuan di sekitar jalur sesar dilakukan 2 sayatan yaitu sayatan AA' sejajar sesar dan sayatan BB' tegak lurus sesar seperti ditunjukkan pada Gambar 27.



Gambar 27. Sayatan (*Slice*) Pada Anomali Medan Magnet Hasil Kontinuasi Ke Atas Dengan Ketinggian 2500 m

Pembuatan model 2D merujuk pada referensi peta geologi lembar Yogyakarta seperti ditunjukkan pada Gambar 28. Pada peta terdapat sayatan AB yang melewati 6 formasi dengan kedalaman 500 m. Sayatan AB melalui formasi yang terdapat di daerah penelitian sehingga sayatan tersebut dapat dijadikan referensi untuk pemodelan 2D.

Peta gelogi lembar Yogyakarta menunjukkan bahwa Formasi Nglanggrang merupakan *bedrock* atau batuan dasar dari formasi yang terdapat di daerah penelitian. Lapisan di atasnya adalah Formasi Sambipitu dan formasi paling atas yang mendominasi permukaan adalah Formasi Wonosari. Di atas Formasi Wonosari terdapat sedikit formasi Kepek yang juga hanya berada di permukaan.



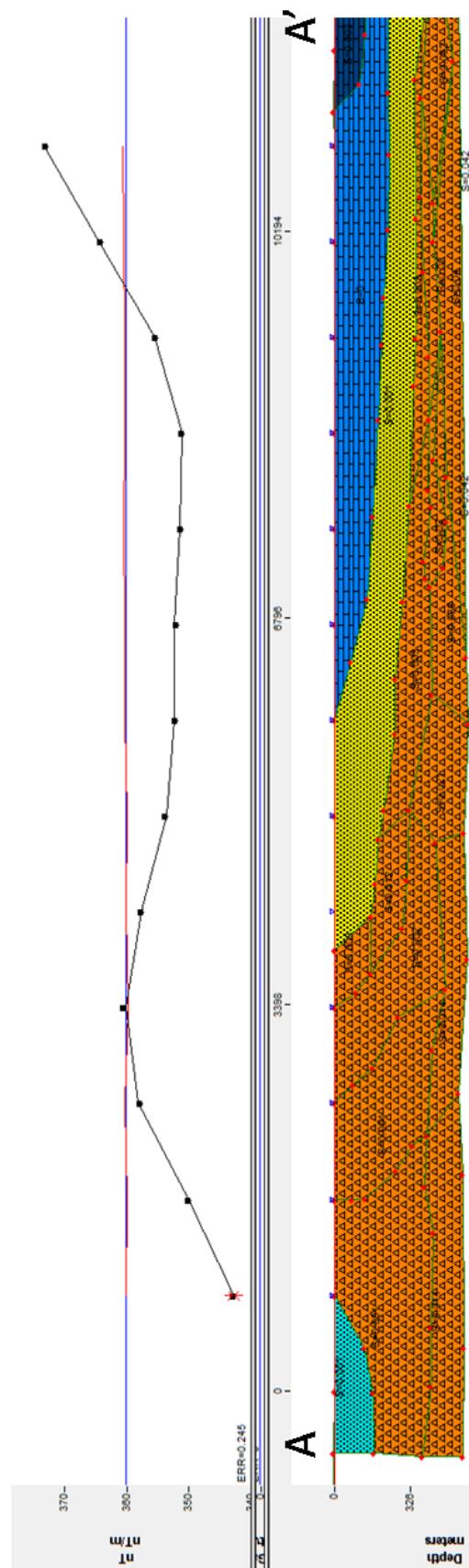
Gambar 28. Pemodelan 2D Sayatan AB Di Daerah Penelitian

Pembuatan model 2D dilakukan dengan metode *trial and error*, yaitu dengan mengubah-ubah parameter model seperti nilai suseptibilitas, lebar dan kedalaman atau bentuk dari tiap formasi sehingga model dapat menggambarkan formasi batuan kawasan penelitian serta memiliki kesesuaian dengan referensi. Nilai suseptibilitas dapat menunjukkan jenis batuan, sedangkan kedalaman pada tiap-tiap formasi batuan dapat menunjukkan umur dari tiap-tiap lapisan.

Dari sayatan AA' dan BB' dibuat model struktur bawah permukaan dengan kedalaman 500 m. Hal ini mengacu pada pemodelan sayatan AB pada peta geologi (Gambar 28) yang memiliki kedalaman 500 m. Kedalaman pemodelan 2D dipilih sama dengan referensi agar dapat mencakup semua lapisan batuan yang berada di

kawasan penelitian. Hasil pemodelan struktur bawah permukaan untuk sayatan AA' ditunjukkan pada Gambar 29 dan pemodelan struktur bawah permukaan untuk sayatan BB' ditunjukkan pada Gambar 30. Nilai suseptibilitas dan kedalaman per lapisan batuan ditunjukkan pada Tabel 4.

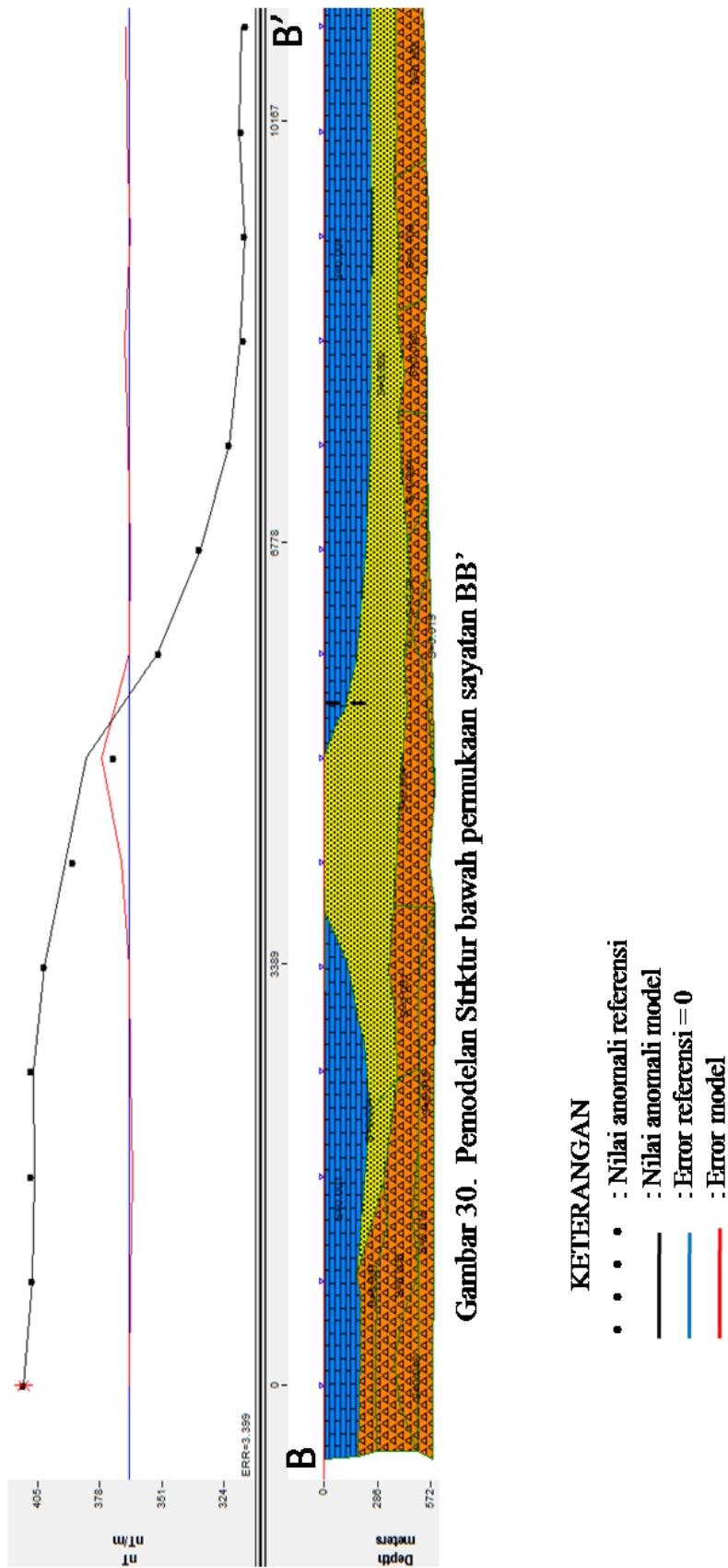
Pemodelan 2D memiliki 2 bagian utama yaitu bagian atas atau bagian referensi dan bagian bawah yaitu bentuk model. Bagian atas pada gambar pemodelan menunjukkan nilai anomali medan magnet. Bagian bawah pemodelan menunjukkan struktur batuan. Pemodelan ini terdiri dari blok-blok batuan yang memiliki nilai suseptibilitas dan kedalaman. Kesesuaian referensi dengan model ditunjukkan dalam angka *error* yang terletak di bagian kiri. Pemodelan sayatan AA' memiliki nilai *error* 0,245 dan pemodelan sayatan BB' memiliki nilai *error* 3,4.



Gambar 29. Penodelan Struktur bawah permukaan sayatan AA'

KETERANGAN

- • • : Nilai anomali referensi
- : Nilai anomali model
- : Error referensi = 0
- : Error model



Gambar 30. Pemodelan Struktur bawah permukaan sayatan BB'

Tabel 4. Nilai Suseptibilitas Dan Kedalaman Formasi Batuan Di Kawasan Penelitian Berdasarkan Hasil Pemodelan 2D

No	Model	Suseptibilitas ($\times 10^{-3}$)	Formasi batuan	Kedalaman (m)	Batuan yang dominan
1		1 – 160 (<i>Basalt</i>)	Nglanggran	0 – 500	Breksi basalt
2		2 – 4 (<i>Sandstone</i>)	Sambipitu	0 – 400	Pasir
3		0,1 – 1 (<i>Limestone</i>)	Wonosari	0 – 250	Gamping / <i>karst</i>
4		1 (<i>Av. Sedimentary</i>)	Endapan aluvium	0 - 100	Lempung dan pasir
5		2 (<i>Limestone</i>)	Kepek	0 - 100	Gamping / <i>karst</i>

Berdasarkan pemodelan, Formasi Nglanggran memiliki nilai suseptibilitas batuan yang rentangnya cukup lebar yaitu, $(1-160) \times 10^{-3}$. Merujuk pada Tabel 1, batuan ini termasuk dalam batubasal. Rentang nilai suseptibilitas ini berbeda di tiap kedalaman. Pada kedalaman 0 – 300 meter batu basal pada Formasi Nglanggran memiliki rentang suseptibilitas $(1-20) \times 10^{-3}$ dan pada kedalaman 300-500 meter rentang nilai suseptibilitasnya $(30-160) \times 10^{-3}$. Nilai suseptibilitas $(40-160) \times 10^{-3}$ hanya terdapat di bagian timur kawasan penelitian, yaitu pada bagian tenggara dengan kedalaman 350 –

500 m di mana suseptibilitasnya $(42-52) \times 10^{-3}$ dan timur laut dengan kedalaman 300 – 500 m di mana suseptibilitasnya $(100-160) \times 10^{-3}$. Selebihnya, nilai suseptibilitas batuan di Formasi Nglanggran berkisar antara $(1-40) \times 10^{-3}$.

Formasi Sambipitu memiliki nilai suseptibilitas yang rentangnya tidak terlalu lebar yaitu $(2-4) \times 10^{-3}$ dan berada pada kedalaman 0 – 400 m. Formasi ini didominasi oleh batupasir. Karena sebagian besar formasi ini merupakan daerah aliran sungai Oyo, diperkirakan sedimen jenis batupasir yang terdapat di formasi ini merupakan campuran antara batupasir jenis gamping dari Formasi Wonosari dan batupasir jenis tuf dari Gunungapi Nglanggran secara berselang seling. Sehingga nilai suseptibilitas Formasi Sambipitu berada di antara nilai suseptibilitas Formasi Wonosari dan Nglanggran.

Formasi Wonosari memiliki nilai suseptibilitas yang paling rendah dan rentangnya tidak lebar yaitu $(0,1-1) \times 10^{-3}$ dan berada pada kedalaman 0 – 250 m. Formasi ini didominasi oleh batugamping. Di ujung timur laut formasi ini terdapat sedikit perbedaan suseptibilitas, yaitu $(1-3) \times 10^{-3}$. Hal ini disebabkan oleh letaknya yang sudah mendekati Formasi Kepek. Formasi Kepek juga didominasi oleh batugamping namun jenisnya yang berbeda dengan batugamping yang berada di Formasi Wonosari.

Berdasarkan hasil kedua pemodelan terdapat tiga jenis batuan utama dari tiga formasi yang mendominasi kawasan penelitian. Formasi Nglanggran ditunjukkan

oleh bagian berwarna oranye, Formasi Sambipitu berwarna kuning dan Formasi Wonosari ditunjukkan oleh bagian berwarna biru. Formasi Nglanggran didominasi oleh batuan breksi jenis basal (*basalts*), Formasi Sambipitu didominasi oleh batuan sedimen jenis pasir (*sandstone*), dan Formasi Wonosari didominasi oleh batuan sedimen jenis gamping (*limestone*).

Variasi nilai anomali medan magnet dipengaruhi oleh formasi batuan penyusun kawasan penelitian. Formasi yang paling banyak menyumbang nilai variasi anomali medan magnet adalah Formasi Nglanggran karena memiliki nilai suseptibilitas yang paling besar yaitu $(1-160) \times 10^{-3}$, sehingga ketebalan Formasi Nglanggran dimungkinkan mempengaruhi nilai variasi medan magnet di kawasan tersebut. Hal tersebut dikarenakan ketebalan formasi merepresentasikan banyak sedikitnya partikel batuan termagnetisasi yang terdapat di bagian tersebut. Semakin banyak partikel yang termagnetisasi menyebabkan tingginya nilai anomali medan magnet.

Nilai anomali medan magnet sepanjang sayatan AA' memiliki rentang nilai dari 340–370 nT. Di ujung A atau barat laut kawasan penelitian memiliki nilai paling rendah yaitu 340 nT, di bagian tengah memiliki nilai sedang yaitu 350 – 360 nT, dan di ujung A' atau tenggara kawasan penelitian memiliki nilai tinggi yaitu 370 nT. Di bagian barat laut memiliki nilai anomali medan magnet yang paling rendah karena total ketebalan Formasi Nglanggran hanya berkisar 350 karena di kedalaman 150 meter pertama yang juga merupakan daerah perbatasan dengan formasi lain terdapat endapan aluvium. Endapan aluvium memiliki nilai suseptibilitas yang rendah yaitu

1×10^{-3} . Di bagian tengah nilai anomali medan magnetnya tinggi dikarenakan terdapat Formasi Nglanggran yang memiliki ketebalan 500 meter. Di ujung tenggara atau ujung A' memiliki nilai anomali paling tinggi padahal Formasi Nglanggran di bagian ini ketebalannya hanya 100 meter. Hal ini dimungkinkan karena nilai suseptibilitas Formasi Nglanggran di bagian ini paling tinggi sehingga mampu mendominasi kedua formasi lain di atasnya.

Nilai anomali medan magnet sepanjang sayatan BB' memiliki rentang nilai dari 320 – 405 nT. Di ujung B atau barat daya kawasan penelitian memiliki nilai yang paling tinggi yaitu 405 nT. Di bagian tengah memiliki nilai yang sedang yaitu \pm 375 nT, dan di ujung B' atau timur laut kawasan penelitian memiliki nilai yang paling rendah yaitu 320 nT.

Di bagian barat daya memiliki nilai anomali medan magnet yang paling tinggi karena ketebalan Formasi Nglanggran paling besar yaitu 400 meter mulai dari kedalaman 100 – 500 meter. Di bagian tengah nilai anomali medan magnetnya mulai menurun dikarenakan ketebalan Formasi Nglanggran yang semakin menipis dan di bagian tersebut mulai terdapat Formasi Sambipitu. Di ujung barat daya atau ujung B' memiliki nilai anomali paling rendah karena ketebalan formasi Nglangran di bagian ini hanya berkisar 100 – 150 meter di bagian dasar kawasan penelitian.

Kedalaman suatu batuan terutama batuan beku juga mempengaruhi nilai suseptibilitas batuan tersebut. Semakin dalam letak batuan, maka nilai suseptibilitasnya juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan batuan tidak banyak

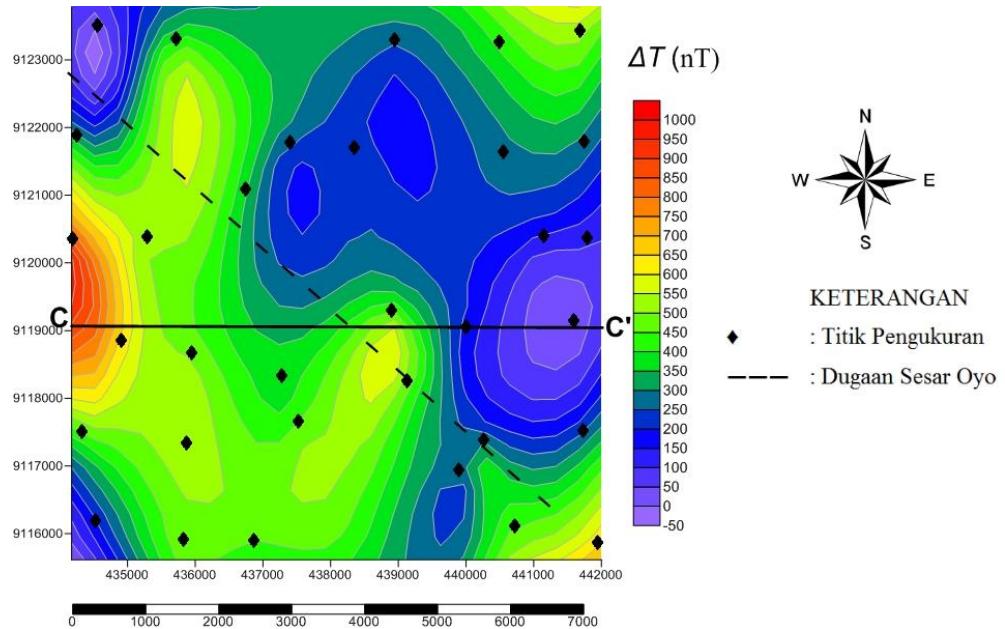
mengalami kontak dengan udara luar dan air sehingga tidak mengalami pengikisan maupun perubahan struktur. Selain itu, variasi nilai suseptibilitas batuan berdasarkan kedalaman juga dikarenakan perbedaan densitas batuan tersebut. Semakin dalam letak batuan dimungkinkan memiliki densitas atau kerapatan yang semakin besar, sehingga jumlah partikel yang termagnetisasi juga semakin banyak. Sedangkan batuan yang berada di permukaan memiliki nilai densitas yang lebih kecil sehingga jumlah partikel yang termagnetisasi semakin sedikit. Hal ini berasosiasi dengan pembentukan batuan tersebut. Formasi Nglanggran merupakan batuan beku hasil aliran lava gunungapi purba Nglanggran. Lava yang mengalir memiliki nilai kerapatan yang berbeda-beda. Semakin tua aliran lava tersebut maka letaknya semakin di bawah dan akan tertutup aliran lava dari letusan berikutnya, sehingga lava yang berada di paling bawah mengalami tekanan dan menjadi semakin padat sehingga memiliki densitas yang lebih besar.

Hasil pemodelan jika dibandingkan dengan referensi peta geologi sudah memiliki kesesuaian, baik dari susunan lapisan tiap formasi batuan maupun kedalamannya. Untuk memperjelas bentuk pemodelan maka dilakukan pemodelan 3D dengan menggunakan *software* Rockwork.

H. Pemodelan 3D

Pemodelan 3D dilakukan pada kontur anomali medan magnet yang telah direduksi ke kutub. Penyayatan dilakukan untuk mendapatkan *sample* nilai tertinggi dan terendah daerah penelitian. Untuk memperoleh rentang nilai tertinggi dan

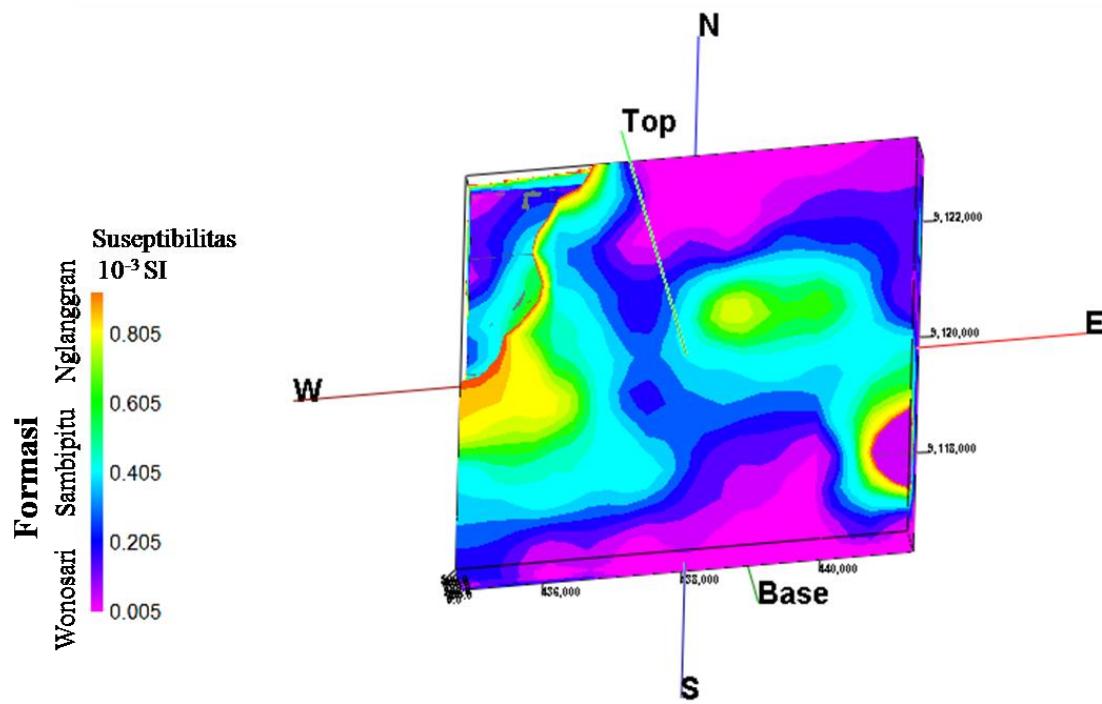
terendah pada peta kontur maka dilakukan sayatan CC' seperti ditunjukkan pada Gambar 31. *Sample* nilai anomali medan magnet menggunakan interval 50 m. Pemodelan 3D berdasarkan nilai suseptibilitas batuan di sekitar kawasan penelitian. Hasil pemodelan 3D ditunjukkan pada Gambar 32 –34.



Gambar 31. Sayatan (*Slice*) Pada Anomali Medan Magnet Hasil Kontinuasi Ke Atas Dengan Ketinggian 2500 M

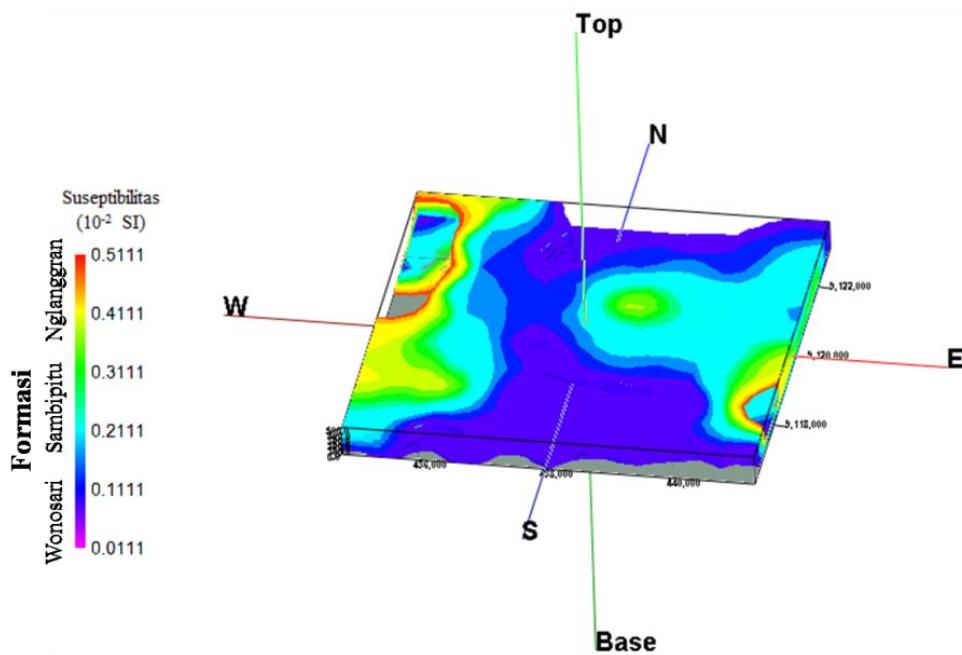
Gambar 32 menunjukkan pemodelan kawasan penelitian yang utuh dan tampak ketiga formasi berdasarkan warna. Warna magenta – biru tua menunjukkan Formasi Wonosari seperti ditunjukkan pada Gambar 32. Warna biru muda - toska menunjukkan Formasi Sambipitu seperti ditunjukkan pada Gambar 33, dan warna hijau – merah menunjukkan Formasi Nglanggran. Formasi Nglanggran memiliki nilai

suseptibilitas yang paling besar dan rentangnya paling lebar. Terlihat pada Gambar 34 Formasi Nglanggran menjadi *bedrock* dan mendasari formasi-formasi di atasnya.

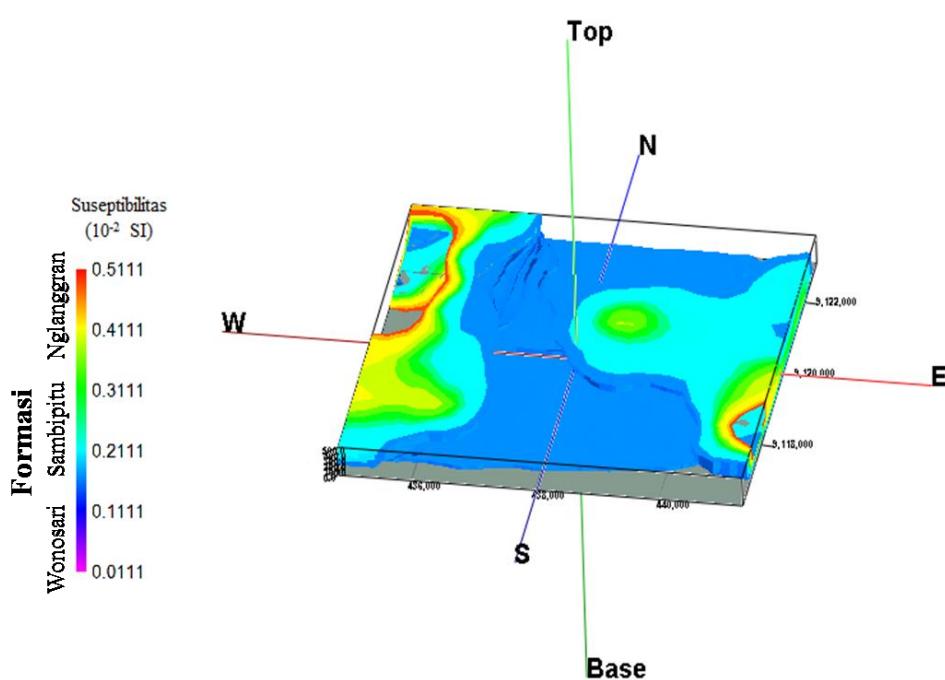


Gambar 32. Model 3D Tampak Atas Belum Di Reduksi

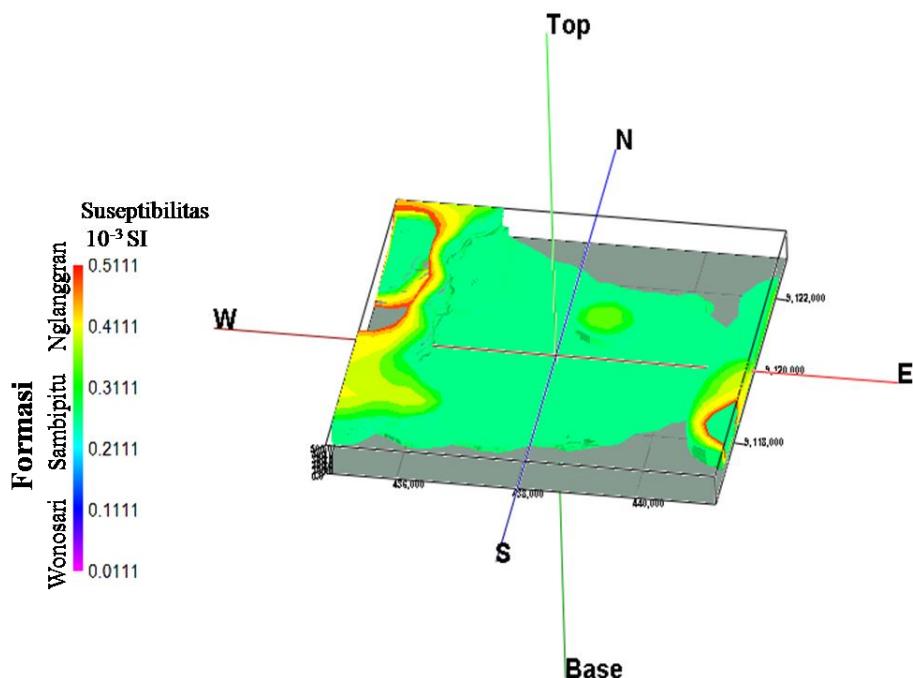
Model 3D sudah memiliki kesesuaian bentuk dengan model 2D dan peta geologi. Formasi Nglanggran memiliki suseptibilitas tinggi terdapat di bagian barat dengan kedalaman mulai dari 0 – 500 m dan menjadi *bedrock* untuk formasi batuan yang lain mulai kedalaman 300 – 350 m. Formasi Sambipitu dengan suseptibilitas sedang tersusun selaras dengan Formasi Nglanggran dan di beberapa lokasi tersusun menjari. Formasi Wonosari terletak di permukaan bersama formasi Kepek, terletak selaras dan menjari dengan Formasi Sambipitu.



Gambar 32. Tampilan Formasi Wonosari Kedalaman 0-100 m



Gambar 33. Tampilan Formasi Wonosari Kedalaman 200 m

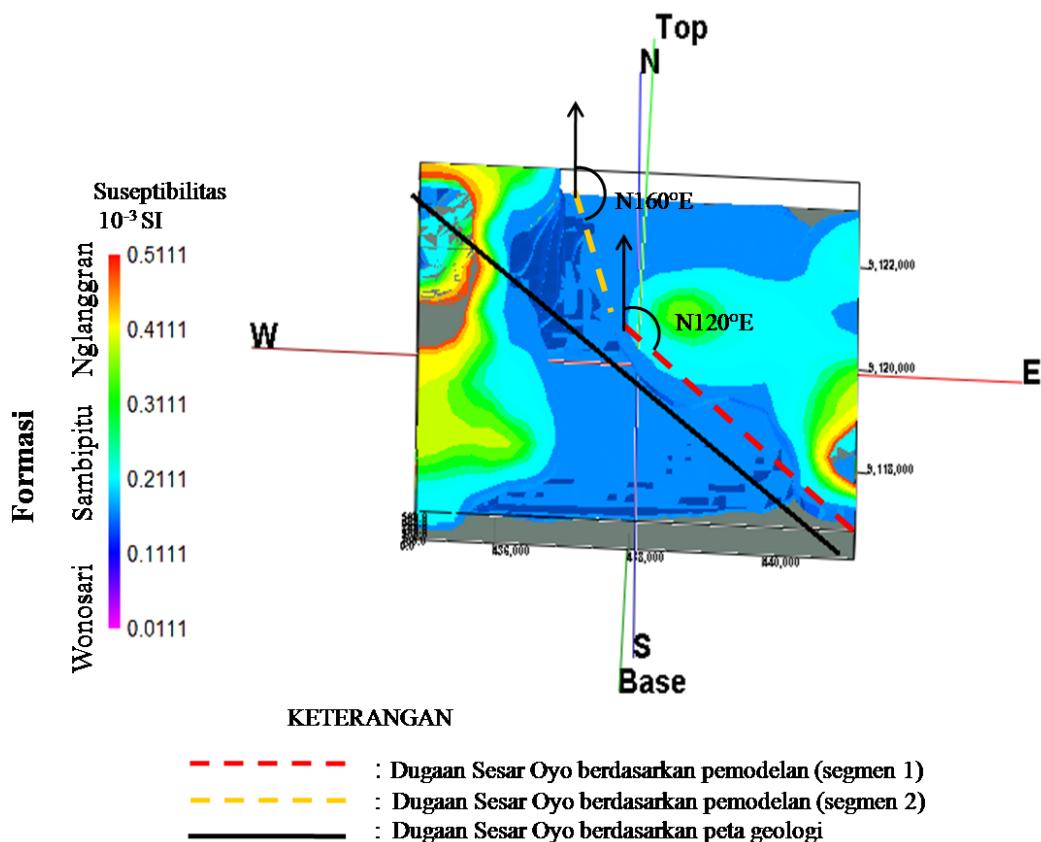


Gambar 34. Tampilan Formasi Sambipitu Kedalaman 300 m

Hasil kedua pemodelan juga dapat digunakan untuk memperkirakan usia pembentukan batuan. Batuan yang berada di paling bawah memiliki usia yang paling tua. Semakin ke permukaan usia formasi tersebut semakin muda. Berdasarkan kedua model baik 2D maupun 3D diperkirakan Formasi Nglanggran memiliki usia yang paling tua karena letaknya yang berada di paling bawah atau sebagai *bedrock*. Kemudian diikuti Formasi Sambipitu kemudian Formasi Wonosari dan Kepek. Menurut referensi, Formasi Nglanggran terbentuk pada masa Oligomiosen hingga Miosen tengah, Formasi Sambipitu berumur Miosen Awal hingga awal Miosen Tengah dan Formasi Wonosari berumur Miosen Tengah hingga diperkirakan Plesteosen (Bahagiarti, 2005) seperti ditunjukkan Gambar 14.

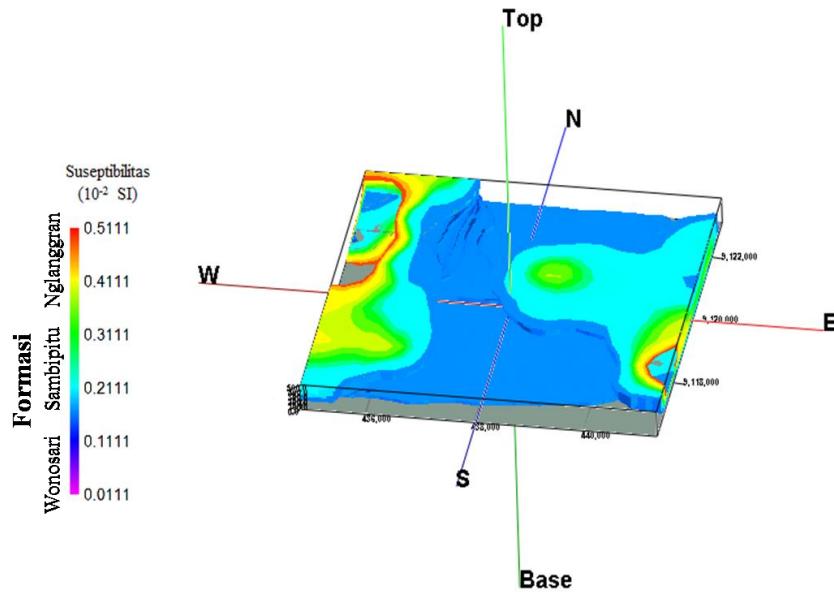
I. Identifikasi Jalur Sesar

Untuk mengidentifikasi jalur sesar maka perlu dilihat kedalaman batuan di sekitar jalur sesar. Apabila terdapat perbedaan kedalaman di sekitar jalur sesar, maka sesar tersebut merupakan sesar naik atau turun, sedangkan bila tidak ada perbedaan kedalaman batuan maka sesar tersebut merupakan sesar geser. Berdasarkan hasil pemodelan, tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada kedalaman batuan yang berada di sekitar jalur sesar, sehingga menguatkan asumsi bahwa jalur Sesar Oyo tersebut merupakan sesar geser.

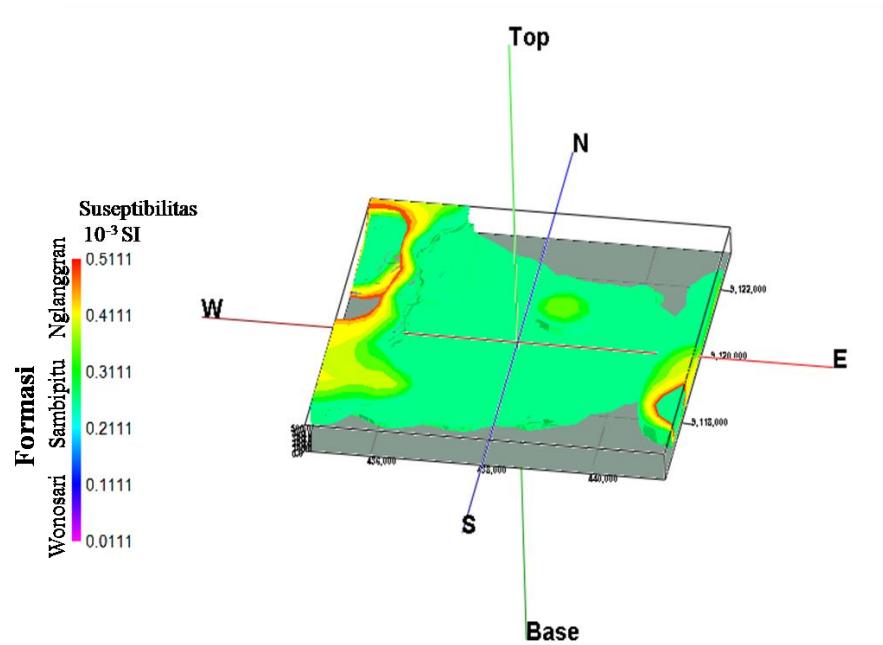


Gambar 35. Dugaan Keberadaan Sesar Oyo Berdasarkan Peta Geologi Dan Pemodelan 3D

Gambar 35 menunjukkan adanya perbedaan ketinggian formasi batuan Wonosari. Perbedaan ketinggian tersebut hanya berkisar 100-200 meter. Perbedaan ketinggian ini diidentifikasi sebagai dugaan jalur sesar berdasarkan pemodelan. Posisi dugaan jalur sesar berdasarkan pemodelan berada di timur laut dan sejajar dengan dugaan jalur sesar berdasarkan peta geologi, memanjang dari arah tenggara sampai barat laut dan patah ke arah utara ketika bertemu dengan Formasi Nglanggran, sehingga dugaan sesar berdasarkan pemodelan ini terbagi menjadi 2 segmen. Segmen pertama memanjang dari arah tenggara melewati 2 formasi yaitu Formasi Wonosari dan Formasi Sambipitu sepanjang 5,8 km dengan arah N120°E. Segmen kedua memanjang dari ujung segmen pertama sepanjang 2,5 km dengan arah N160°E. Patahnya sesar ini menjadi 2 segmen dimungkinkan karena energi pembentukan sesar tidak mampu menembus batuan di Formasi Nglanggran yang memiliki kepadatan sangat tinggi dengan kecepatan yang sama sehingga arah sesar diblokkan ketika menembus formasi tersebut.



Gambar 36. Perbedaan Kedalaman Batuan Di Sekitar Sesar Pada Kedalaman 200-300 m Atau Sekitar Formasi Wonosari



Gambar 37. Perbedaan Kedalaman Batuan Di Sekitar Sesar Pada Kedalaman 300-500 m Atau Sekitar Formasi Nglanggran

Sesar Oyo ini diperkirakan berada di kedalaman 150 – 300 meter atau pada perbatasan tumpukan selaras dari Formasi Wonosari dengan Formasi Sambipitu seperti tampak pada Gambar 36. Hal ini ditunjukkan dengan sudah tidak adanya perbedaan ketinggian batuan di sekitar sesar pada Formasi Nglanggran yang berada di kedalaman lebih dari 300 m pada Gambar 37. Jalur sesar ini juga diduga berasosiasi dengan keberadaan jalur Sungai Oyo baik sungai permukaan maupun bawah permukaan. Menurut Bahagiarti (2005), sungai bawah tanah yang berada di Plato Wonosari berada di kawasan karst atau camping dan tidak bisa menembus bagian batuan beku (bagian *bedrock* nya). Hal ini dikarenakan batuan beku memiliki kepadatan yang besar sehingga tidak mampu ditembus air.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian “Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Metode Geomagnet Di Jalur Sesar Oyo” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sebaran anomali medan magnet di kawasan penelitian memiliki nilai 180 nT – 660 nT dan terbagi menjadi tiga klosur, yaitu: tinggi, sedang, dan rendah. Klosur tinggi berada di barat laut kawasan penelitian dengan rentang nilai 500 nT – 660 nT, klosur sedang tersebar memanjang dari barat laut – tengah – hingga ujung tenggara kawasan penelitian dengan rentang nilai 360 nT – 480 nT. Klosur rendah berada di bagian barat daya dan timur laut kawasan penelitian, dengan rentang nilai 180 nT – 340 nT.
2. Struktur formasi batuan di kawasan penelitian didominasi oleh 3 formasi utama yaitu formasi Nglanggran, Sambipitu, dan Wonosari. Formasi Nglanggran didominasi batuan basal andesitik yang memiliki nilai suseptibilitas $(1-160) \times 10^{-3}$ dengan kedalaman bervariasi, yaitu pada bagian barat laut dengan kedalaman 0 – 300 meter memiliki rentang suseptibilitas $(1-20) \times 10^{-3}$, pada kedalaman 300 – 500 meter rentang nilai suseptibilitasnya $(30-160) \times 10^{-3}$, pada bagian tenggara dengan kedalaman 350 – 500 m suseptibilitasnya $(42-52) \times 10^{-3}$ dan timur laut dengan kedalaman 300 – 500 m suseptibilitasnya $(100-160) \times 10^{-3}$. Formasi Sambipitu

memiliki nilai suseptibilitas $(2-4) \times 10^{-3}$ berada pada kedalaman 0 – 400 m. Formasi Wonosari memiliki nilai suscepabilitas $(0,1-1) \times 10^{-3}$ berada pada kedalaman 0 – 250 m

3. Dugaan jalur sesar Oyo berdasarkan hasil pemodelan diidentifikasi sebagai sesar geser, terbagi menjadi dua segmen yaitu : segmen pertama memanjang dari arah tenggara melewati Formasi Wonosari dan Formasi Sambipitu sepanjang 5,8 km dengan arah N120°E dan segmen kedua memanjang dari ujung segmen pertama sepanjang 2,5 km dengan arah N160°E. Dugaan jalur Sesar Oyo memiliki kedalaman 150 – 300 meter atau pada perbatasan tumpukan selaras dari Formasi Wonosari dengan Formasi Sambipitu.

B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan jarak antar titik pengambilan data yang lebih rapat untuk mengetahui secara detail batas-batas antar formasi batuan.
2. Penelitian selanjutnya terkait identifikasi jalur sesar dengan pemodelan 3D dapat memperhitungkan parameter sesar (*dip, strike, rake*).

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, HZ., Andreas, H., Meilano, I., Gamal, M., Gumilar I., Abdullah, C. I., 2009. *Deformasi Koseismik Dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 Dari Hasil Survey GPS*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 4 No.4, 275-284.
- Aziz, Khafid Nur. 2015. *Interpretasi Struktur Bawah Tanah dan Pemodelan 2D dengan Metode Geomagnet di Wilayah Karst Bribin, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, DIY*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Bahagiarti, Sari Kusumayudha. (2005). *Hidrogeologi Karst dan Geometri Fraktal di Daerah Gunungsewu*. Yogyakarta: Adi Cita.
- Bemmelen. Van, R. W,. 1949. *The Geology Of Indonesia*. Nederland : Martinus Nyhoff, The Hague.
- Blakely, R.J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Edinburgh: Cambridge University Press.
- Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Genrich, J.F., Stevens, C.W., McCaffrey, R., Subarya, C., Puntodewo, S.S.O., dan Calais, E. 2003. *Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System Measurements*. Journal Of Geophysical Research, Vol. 108, No, B8.
- Daryono. 2009. *Pengkajian Local Site Effect di Graben Bantul Menggunakan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Jurnal Kebencanaan Indonesia Vol. 2, No.1 Mei 2009. Yogyakarta: PSBA.
- Eksanti, Solikha Diah ; Siti Zulaikah, Dan Abdullah Fuad. 2013. *Penerapan Metode Geomagnet Untuk Mengetahui Nilai Suseptibilitas Magnetik Lapisan Tanah Dibandingkan Dengan Pengukuran Suseptibilitas Magnetik Secara Langsung Di Desa Pandensari Pujon, Malang*. Malang : Universitas Negeri Malang
- Gravmag. (2015). *Magnetic Data Acquisition*. Diakses dari [http://gravmag.ou.edu/mag_measure/magnetic_measure.html pada tanggal 12 Oktober 2016](http://gravmag.ou.edu/mag_measure/magnetic_measure.html).

Hinze, W.J., von Frese, R.R.B., and Saad, A.H. (2012). *Gravity and Magnetic Exploration*. Edinburgh: Cambridge University Press.

Ibrahim, Gunawan, dan Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*, Jakarta : Badan Meteorologi dan Geofisika.

INGV. (2015). *DST Index*. Diakses dari http://roma2.rm.ingv.it/en/themes/23/geomagnetic_indices/27/dst_index pada tanggal 14 Oktober 2016

Fathonah, Ira Maya; Nugroho Budi Wibowo, dan Yosaphat Sumardi. (2014). *Identifikasi Jalur Sesar Opak Berdasarkan Analisis Data Anomali Medan Magnet dan Geologi Regional Yogyakarta*. *Indonesian Journal of Applied Physics* (2014) Vol 4. No 2. Hlm. 192-200.

NOAA. (2016). *The World Magnetic Model*. Diakses dari <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/DoDWMM.shtml> pada tanggal 12 Oktober 2016

NOAA. (2016). *Magnetic Field Calculators*. Diakses dari <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm> pada tanggal 12 Oktober 2016

Purwaningsih Retno; Khumaedi Dan Hadi Susanto. 2015. *Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Sesar Kali Kreo Berdasarkan Data Magnetik*. Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Rahardjo, Wartono. 2007. *Foraminiferal Biostratigraphy of Southern Mountains Tertiary Rocks, Yogyakarta Special Province*. Seminar dan Workshop Pegunungan Selatan, Yogyakarta (tidak diterbitkan).

Reynold, J.M., 1995. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Mold, Clwyd, North Wales, United Kingdom.

Seno, Aryo. 2015. *Identifikasi Jalur Sesar Minor Grindulu Berdasarkan Anomali Medan Magnet*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta

Serway, R.A. and Jeweet, J.W. (2004). *Physics for Scientists and Engineers Six Edition*. Belmont: Thomson Brooks/Cole.

Siswoyo, dkk. (2010). *Interpretasi Anomali Magnetik Pada Penentuan Lokasi Baru Stasiun Magnet (Stasiun Geofisika Angkasa Jayapura)*. Laporan Penelitian. Stasiun BMKG Jayapura

Sugiura, M. (1964). *Hourly Values of Equatorial Dst for The IGY. Annals of The International Geophysical Year Volume 35*. Hlm 1-45.

Sukandarrumidi. 1994. *Geologi Sejarah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Sukartono. 2013. *Buku Panduan Panduan Geologi Struktur*. Laboratorium Geologi Dinamis. STTNAS.

Surono, Toha, B., dan Sudarno, I. 1992. *Peta Geologi Lembar SurakartaGiritontro, Jawa, Skala 1: 100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.F. (2004). *Applied Geophysics Second Edition*. Edinburgh: Cambridge University Press.

USGS. 2016. *Hanging Wall and Foot Wall*. Diakses dari <https://geomaps.wr.usgs.gov/parks/deform/ghangft.html> paa tanggal 10 Oktober 2016.

Walter, T. R., dkk 2008. *The 26 May 2006 Magnitude 6.4 Yogyakarta Earthquake South Of Mt. Merapi Volcano. Did Lahar Deposits Amplify Ground Shaking And Thus Lead To Disaster?*, Geochem. Geophys. Geosyst., 9, Q05006, doi: 10.1029/2007GC001810

<http://digilib.unila.ac.id/131/12/BAB%20III.pdf>

Lampiran 1. Data Hasil Pengamatan

Daerah : Imogiri, Dlingo, Paliyan, dan Panggang

Tanggal : 14 – 15 Maret 2016

Metode : Geomagnet

No Titik	Elevasi	Waktu	Koordinat (UTM)		Pengukuran (nT)	Kondisi Lingkungan
			x (m)	y (m)		
BASE 1	197	9:07:59	441315	9122453	45308	Dekat pemakaman, ada ruang terbuka, di atas jalan berbatu, dekat jalan aspal, sekitar 50 m dari pemukiman warga, ada kabel listrik
		9:08:14			45317	
		9:08:57			45310	
		9:09:07			45307	
		9:09:17			45314	
G12	145	9:28:18	441746	9121794	45316	Dekat perumahan warga, di pinggir jalan aspal, sekitar 30 m ada kabel listrik
		9:38:17			45377	
		9:38:29			45342	
		9:38:40			45353	
G18	156	9:59:44	441783	9120377	45286	Di dekat kebun jati, pinggir jalan, sekitar 100 m dari perumahan dan 50 m dari tiang listrik
		9:59:44			45303	
		10:00:04			45314	
		10:04:48			45264	
		10:05:06			45283	
G17	85	10:24:03	441154	9120400	45261	Di pinggir jalan dekat ladang jagung, tidak ada rumah dan tiang listrik, jalan blok
		10:24:18			45253	
		10:24:31			45316	
		10:24:44			45274	
		10:24:59			45260	
G24	136	10:47:37	441586	9119142	45385	Di depan rumah warga, belakang masjid tidak ada tiang listrik, jalan blok
		10:47:52			45409	
		10:48:21			45418	
		10:48:37			45406	
		10:48:50			45432	
G11	192	11:08:09	440544	9121647	45337	Di kebun rumput gajah, sekitar 100 m dari dari rumah warga dan tiang listrik
		11:09:50			45283	
		11:10:22			45329	
		11:10:37			45347	
		11:10:50			45343	
G4	203	11:28:47	438943	9123302	45219	Rumah baru dibangun

		11:31:07			45262	(masih ada cor-coran), sekitar 30m dari tiang dan kabel listrik, jalan blok
		11:31:43			45266	
		11:32:06			45263	
		11:32:24			45257	
G10	232	11:44:07	438353	9121704	45381	Di kebun singkong, di atas tanah berbatu, ada singkapan, pinggir jalan blok
		11:46:24			45422	
		11:46:40			45438	
		11:56:03			45429	
		11:56:20			45424	
G9	256	11:52:08	437396	9121780	45330	Di dekat kebun singkong, lahan kosong di atas tanah yang disemen, tidak ada tiang listrik, jalan blok
		11:52:23			45343	
		12:52:42			45333	
		12:53:20			45344	
		12:53:35			45366	
G2	328	13:06:24	435714	9123309	45679	Di pinggir jalan blok, jauh dari rumah, tidak ada tiang listrik
		13:06:44			45663	
		13:07:01			45639	
		13:07:19			45619	
		13:08:21			45672	
G1	220	13:24:59	434557	9123510	45316	Di kebun / hutan, tidak ada rumah, listrik/tiang listrik/kabel listrik. Tanah dan batuan merah (sedimen)
		13:26:00			45322	
		13:26:18			45337	
		13:29:31			45378	
		13:29:51			45400	
G7	39	13:51:22	434257	9121881	45657	Di tengah kebun, sekitar 30 m dari tiang listrik, tidak ada rumah warga
		13:51:42			45655	
		13:52:00			45646	
		13:52:18			45660	
		13:54:09			45697	
G15	36	14:10:35	436745	9121092	45437	Di pinggir sungai, banyak singkapan, dekat perbukitan, di pinggir jalan blok. Dekat rumah warga
		14:11:48			45461	
		14:11:48			45458	
		14:12:03			45455	
		14:12:18			45452	
G13	214	15:00:27	434184	9120353	45727	Di kebun jati, dekat jalan raya, sekitar 30 m dari tiang listrik. Tidak ada perumahan.
		15:00:44			45758	
		15:01:17			45737	
		15:01:46			45736	
		15:02:17			45732	
G19	331	15:13:24	434904	9118857	45438	Di pinggir jalan aspal, ada tiang listrik, dekat rumah warga, ada kabel
		15:14:16			45416	
		15:14:50			45406	

		15:15:28			45412	
		15:15:43			45434	
G5	217	16:41:59	440485	9123272	45263	Di kebun jati, pinggir danau / waduk, di dekat perkampungan, tidak dekat dengan tiang listrik
		16:42:11			45283	
		16:42:24			45270	
		16:42:37			45259	
		16:42:49			45278	
G6	207	16:53:26	441684	9123434	45273	Di perkampungan, pinggir jalan blok, ada kabel listrik
		16:53:50			45319	
		16:54:09			45273	
		15:54:09			45303	
		16:55:04			45296	
BASE 1	197	17:03:04	441315	9122453	45254	Dekat pemakaman, ada ruang terbuka, di atas jalan berbatu, dekat jalan aspal, sekitar 50 m dari pemukiman warga, ada kabel listrik
		17:04:23			45295	
		17:05:17			45291	
		17:05:35			45280	
		17:05:54			45293	
BASE 2	344	5:58:12	440030	9128061	45351	Di perkebunan, sekitar 30m dari rumah warga dan masjid. Tidak ada tiang listrik
		5:58:29			45365	
		5:58:50			45360	
		5:59:11			45363	
		5:54:29			45366	
G16	67	7:11:40	438893	9119292	45665	Di dekat rumah warga, jalan blok, sekitar 100 m dari sungai
		7:11:59			45657	
		7:12:21			45666	
		7:12:42			45653	
		7:13:01			45686	
G23	66	8:00:25	440001	9119054	45450	Di pinggir jalan blok, sebelah bukit dan kebun jagung. Tidak ada rumah warga dan listrik.
		8:01:16			45452	
		8:01:54			45444	
		8:02:29			45421	
		8:02:45			45432	
G30	131	8:25:52	441729	9117521	45640	Pinggir jalan, tidak ada rumah, tidak ada tiang listrik, di samping kebun jagung, di bawah pohon besar
		8:26:25			45597	
		8:26:48			45594	
		8:27:09			45636	
		8:27:46			45531	
G29	151	8:43:54	440266	9117385	45585	Di pinggir sungai, di tengah kebun jagung, dekat rumah warga, ada kandang sapi
		8:44:31			45588	
		8:45:38			45589	

		8:46:22			45579	
		8:45:38			45589	
G35	143	9:10:16	440714	9116113	45581	Pinggir jalan, jauh dari tiang listrik, ada kabel listrik, pas tikungan jalan aspal,
		9:10:59			45581	
		9:11:03			45568	
		9:13:33			45588	
		9:13:53			45567	
G36	136	9:30:26	441947	9115862	45469	Pinggir jalan blok, dekat kandang ayam, di kebun jati, tidak ada listrik, 100 m dari sungai
		9:30:50			45672	
		9:31:13			45646	
		9:32:10			45679	
		9:33:44			45647	
G34	170	9:53:51	439898	9116935	45418	Di kebun, dekat rumah warga, 50 m dari kabel listrik
		9:54:56			45403	
		9:55:12			45413	
		9:55:37			45407	
		9:56:15			45412	
G22	203	10:12:25	439121	9118252	45431	Di kebun jagung, tidak ada rumah dan listrik
		10:12:46			45440	
		10:13:07			45437	
		10:13:27			45431	
		10:14:36			45455	
G27	339	10:44:30	437521	9117656	45520	Di perkebunan, jauh dari rumah warga dan tidak ada listrik, jalan blok
		10:47:32			45519	
		10:47:32			45496	
		10:49:06			45499	
		10:50:38			45520	
G21	304	11:01:56	437271	9118342	45491	Di pinggir jalan, sekitar 30 m dari tiang listrik, tidak ada rumah,
		11:02:18			45473	
		11:03:02			45494	
		11:14:38			45495	
		11:05:10			45490	
G20	368	11:13:48	435940	9118673	45528	Di kebun, pinggir jalan aspal, sekitar 30 m dari tiang dan kabel listrik,
		11:14:36			45537	
		11:14:59			45539	
		11:16:36			45452	
		11:16:56			45544	
G14	250	11:31:54	435288	9120392	45479	Di sawah, tidak ada listrik, jalan blok
		11:32:49			45510	
		11:34:30			45519	
		11:35:41			45517	
		11:36:46			45542	
G26	151	11:55:00	435877	9117334	45465	Di kebun, pinggir jalan

		11:55:40			45463	aspal, tidak ada tiang dan kabel listrik, tidak ada rumah
		11:56:36			45449	
		11:57:02			45453	
		11:57:46			45468	
G32	361	12:04:48	435818	9115910	45428	Di pinggir jalan blok, dekat jalan aspal, tidak ada rumah warga dan tiang listrik,
		12:05:09			45489	
		12:05:57			45473	
		12:06:25			45465	
		12:06:51			45470	
G33	349	12:24:33	436860	9115901	45431	Di tengah kebun, pinggir jalan blok, tidak ada tiang dan kabel listrik, tidak ada rumah warga
		12:25:04			45386	
		12:26:02			45396	
		12:26:39			45392	
		12:27:03			45409	
G25	367	12:00:11	434322	9117512	45300	Di dekat pos ronda, dekat sawah, 50m dari tiang listrik, pinggir jalan semen
		12:00:39			45295	
		12:01:25			45328	
		12:01:51			45334	
		12:04:02			45287	
G31	366	14:38:25	434530	9116197	45354	Di kebun, dekat jalan blok, jauh dari rumah warga dan listrik
		14:39:07			45366	
		14:39:55			45356	
		14:41:18			45354	
		14:41:45			45362	
BASE 2	373	15:50:33			45293	Di perkebunan, sekitar 30m dari rumah warga dan masjid. Tidak ada tiang listrik
		15:51:10	440030	9128061	45290	
		15:51:36			45306	
		15:52:35			45286	
		15:53:26			45292	

Lampiran 2. Analisis Anomali Medan Magnet

No.	No. Titik	Koordinat Geografis (UTM)		Elevasi	Waktu	Pembacaan (nT)	Rata-Rata Pembacaan	Variasi Harian	Koreksi Variasi Harian	IGRF	Anomali Medan Magnet (nT)
1	BASE 1	441315	9122453	197	0.381051	45308	45311.2	0	45311.2	45059.2	252
						45317					
						45310					
						45307					
						45314					
2	G12	441746	9121794	145	0.399954	45316	45347	1.6350409	45348.63504	45061.8	286.8350409
						45377					
						45342					
						45353					
3	G18	441783	9120377	156	0.417977	45286	45290	-3.193996	45293.194	45069.1	224.093996
						45303					
						45314					
						45264					
						45283					
4	G17	441154	9120400	85	0.433692	45261	45272.8	4.5533265	45277.35333	45071.1	206.2533265
						45253					
						45316					
						45274					

						45260					
5	G24	441586	9119142	136	0.450178	45385	45410	-5.979332	45415.97933	45075.3	340.679332
						45409					
						45418					
						45406					
						45432					
6	G11	440544	9121647	192	0.46525	45337	45327.8	7.2829997	45335.083	45063.4	271.6829997
						45283					
						45329					
						45347					
						45343					
7	G4	438943	9123302	203	0.480016	45219	45253.4	8.5602378	45261.96024	45056.8	205.1602378
						45262					
						45266					
						45263					
						45257					
8	G10	438353	9121704	232	0.492995	45381	45418.8	9.6829017	45428.4829	45063.7	364.7829017
						45422					
						45438					
						45429					
						45424					
9	G9	437396	9121780	256	0.520019	45330	45343.2	12.020333	45355.22033	45063.4	291.8203334
						45343					
						45333					
						45344					
						45366					

10	G2	435714	9123309	328	0.546641	45679	45654.4	-14.323126	45668.72313	45056	612.723126
						45663					
						45639					
						45619					
						45672					
11	G1	434557	9123510	220	0.560646	45316	45350.6	-15.53449	45366.13449	45058.4	307.7344899
						45322					
						45337					
						45378					
						45400					
12	G7	434257	9121881	39	0.577988	45657	45663	-17.034579	45680.03458	45070.2	609.8345788
						45655					
						45646					
						45660					
						45697					
13	G15	436745	9121092	36	0.591463	45437	45452.6	-18.200091	45470.80009	45072.1	398.700091
						45461					
						45458					
						45455					
						45452					
15	G13	434184	9120353	214	0.625905	45727	45738	-21.179245	45759.17925	45070	689.1792452
						45758					
						45737					
						45736					
						45732					
16	G19	434904	9118857	331	0.635234	45438	45421.2	-	45443.18615	45076.5	366.6861536

						45416		21.986154			
						45406					
						45412					
						45434					
18	G5	440485	9123272	217	0.696111	45263	45270.6	27.251882	45297.85188	45055.6	242.2518822
						45283					
						45270					
						45259					
						45278					
19	G6	441684	9123434	207	0.695921	45273	45292.8	27.235464	45320.03546	45054.3	265.7354637
						45319					
						45273					
						45303					
						45296					
20	BASE 1	441315	9122453	197	0.711697	45254	45282.6	-28.6	45311.2	45059.2	252
						45295					
						45291					
						45280					
						45293					
21	BASE 2	440030	9128061	344	0.248498	45351	45361	0	45361	45031.3	329.7
						45365					
						45360					
						45363					
						45366					
22	G16	438893	9119292	67	0.300238	45665	45665.4	8.4787817	45656.92122	45078	578.9212183
						45657					

						45666					
						45653					
						45686					
						45450					
						45452					
23	G23	440001	9119054	66	0.334558	45444	45439.8	14.102727	45425.69727	45078.3	347.3972734
						45421					
						45432					
						45640					
						45597					
24	G30	441729	9117521	131	0.351944	45594	45599.6	16.951873	45582.64813	45082.5	500.1481266
						45636					
						45531					
						45585					
						45588					
25	G29	440266	9117385	151	0.364729	45589	45586	19.046912	45566.95309	45083.6	483.3530877
						45579					
						45589					
						45581					
						45581					
26	G35	440714	9116113	143	0.383296	45568	45577	22.089517	45554.91048	45089.3	465.6104826
						45588					
						45567					
						45469					
						45672					
27	G36	441947	9115862	136	0.396998	45646	45622.6	24.334771	45598.26523	45089.7	508.565229

						45679					
						45647					
28	G34	439898	9116935	170	0.413313	45418	45410.6	27.008288	45383.59171	45085.5	298.091712
						45403					
						45413					
						45407					
						45412					
29	G22	439121	9118252	203	0.425882	45431	45438.8	29.068049	45409.73195	45079.3	330.4319507
						45440					
						45437					
						45431					
						45455					
30	G27	437521	9117656	339	0.449903	45520	45510.8	33.004356	45477.79564	45079.8	397.9956444
						45519					
						45496					
						45499					
						45520					
31	G21	437271	9118342	304	0.462093	45491	45488.6	35.001907	45453.59809	45077.8	375.7980933
						45473					
						45494					
						45495					
						45490					
32	G20	435940	9118673	368	0.469016	45528	45520	36.136482	45483.86352	45075.7	408.1635176
						45537					
						45539					
						45452					

						45544					
33	G14	435288	9120392	250	0.482176	45479	45513.4	38.292973	45475.10703	45071.1	404.0070271
						45510					
						45519					
						45517					
						45542					
34	G26	435877	9117334	151	0.497509	45465	45459.6	40.805654	45418.79435	45086.8	331.994346
						45463					
						45449					
						45453					
						45468					
35	G32	435818	9115910	361	0.504051	45428	45465	41.87764	45423.12236	45088.3	334.8223597
						45489					
						45473					
						45465					
						45470					
36	G33	436860	9115901	349	0.517965	45431	45402.8	44.157792	45358.64221	45088	270.6422077
						45386					
						45396					
						45392					
						45409					
37	G25	434322	9117512	367	0.50113	45300	45308.8	41.398926	45267.40107	45082	185.401074
						45295					
						45328					
						45334					
						45287					

						45354					
38	G31	434530	9116197	366	0.611181	45366					
						45356	45358.4	59.433028	45298.96697	45087.8	211.1669725
						45354					
						45362					
						45293					
39	BASE 2	440030	9128061	373	0.661019	45290	45293.4	67.6	45225.8	45030.7	195.1
						45306					
						45286					
						45292					

Lampiran 3. Tahap Pembuatan Desain Survei

A. Mengubah Koordinat Pengukuran Menggunakan *Software Surfer 12*

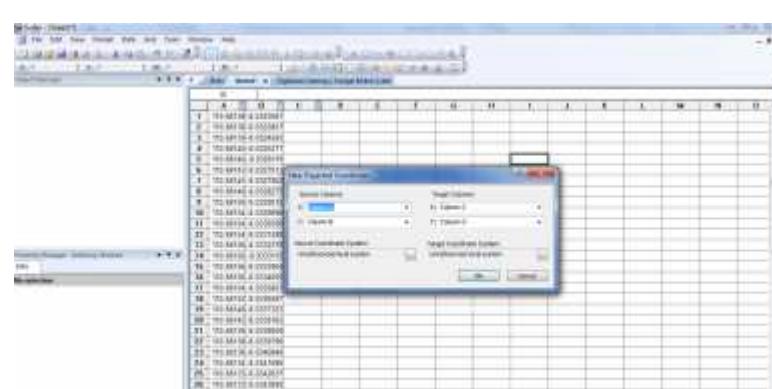
Koordinat yang digunakan dalam pembuatan desain survey bisa menggunakan koordinat UTM atau koordinat Geografi (*Longitude* dan *Latitude*), berikut adalah cara mengubah koordinat Geografi ke koordinat UTM:

1. Buka *software Surfer 12* pilih *New Worksheet* (ctrl+W), pada kolom x dan y diisi dengan koordinat geografi yang akan diubah ke koordinat UTM seperti berikut ini.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	-103.891000 0.3323987														
2	-103.891000 0.3323987														
3	-103.891000 0.3323987														
4	-103.891000 0.3323987														
5	-103.891000 0.3323987														
6	-103.891000 0.3323987														
7	-103.891000 0.3323987														
8	-103.891000 0.3323987														
9	-103.891000 0.3323987														
10	-103.891000 0.3323987														
11	-103.891000 0.3323987														
12	-103.891000 0.3323987														
13	-103.891000 0.3323987														
14	-103.891000 0.3323987														
15	-103.891000 0.3323987														
16	-103.891000 0.3323987														
17	-103.891000 0.3323987														
18	-103.891000 0.3323987														
19	-103.891000 0.3323987														
20	-103.891000 0.3323987														
21	-103.891000 0.3323987														
22	-103.891000 0.3323987														
23	-103.891000 0.3323987														
24	-103.891000 0.3323987														
25	-103.891000 0.3323987														
26	-103.891000 0.3323987														
27	-103.891000 0.3323987														
28	-103.891000 0.3323987														
29	-103.891000 0.3323987														
30	-103.891000 0.3323987														
31	-103.891000 0.3323987														
32	-103.891000 0.3323987														
33	-103.891000 0.3323987														
34	-103.891000 0.3323987														
35	-103.891000 0.3323987														
36	-103.891000 0.3323987														
37	-103.891000 0.3323987														
38	-103.891000 0.3323987														
39	-103.891000 0.3323987														
40	-103.891000 0.3323987														
41	-103.891000 0.3323987														
42	-103.891000 0.3323987														
43	-103.891000 0.3323987														
44	-103.891000 0.3323987														
45	-103.891000 0.3323987														
46	-103.891000 0.3323987														
47	-103.891000 0.3323987														
48	-103.891000 0.3323987														
49	-103.891000 0.3323987														
50	-103.891000 0.3323987														
51	-103.891000 0.3323987														
52	-103.891000 0.3323987														
53	-103.891000 0.3323987														
54	-103.891000 0.3323987														
55	-103.891000 0.3323987														
56	-103.891000 0.3323987														
57	-103.891000 0.3323987														
58	-103.891000 0.3323987														
59	-103.891000 0.3323987														
60	-103.891000 0.3323987														
61	-103.891000 0.3323987														
62	-103.891000 0.3323987														
63	-103.891000 0.3323987														
64	-103.891000 0.3323987														
65	-103.891000 0.3323987														
66	-103.891000 0.3323987														
67	-103.891000 0.3323987														
68	-103.891000 0.3323987														
69	-103.891000 0.3323987														
70	-103.891000 0.3323987														
71	-103.891000 0.3323987														
72	-103.891000 0.3323987														
73	-103.891000 0.3323987														
74	-103.891000 0.3323987														
75	-103.891000 0.3323987														
76	-103.891000 0.3323987														
77	-103.891000 0.3323987														
78	-103.891000 0.3323987														
79	-103.891000 0.3323987														
80	-103.891000 0.3323987														
81	-103.891000 0.3323987														
82	-103.891000 0.3323987														
83	-103.891000 0.3323987														
84	-103.891000 0.3323987														
85	-103.891000 0.3323987														
86	-103.891000 0.3323987														
87	-103.891000 0.3323987														
88	-103.891000 0.3323987														
89	-103.891000 0.3323987														
90	-103.891000 0.3323987														
91	-103.891000 0.3323987														
92	-103.891000 0.3323987														
93	-103.891000 0.3323987														
94	-103.891000 0.3323987														
95	-103.891000 0.3323987														
96	-103.891000 0.3323987														
97	-103.891000 0.3323987														
98	-103.891000 0.3323987														
99	-103.891000 0.3323987														
100	-103.891000 0.3323987														

Gambar L1. Mengonversi Koordinat dengan *software Surfer 12*

2. Kemudian pilih *Data* → *New Project Coordinates*.



Gmabar L2. Memilih Kolom yang Akan Dikonversi Dan Letak Kolom Target

3. Kolom *Source Columns* dan *Target Columns* digunakan untuk menentukan kolom yang akan diubah dan tempat setelah dilakukan perubahan.
 4. Pada kolom *Source Coordinates System* pilih *Predefined Geographic (lat/lon) World Geodetic System 1984* pilih OK.
 5. Pada kolom *Target Coordinates System* pilih *Predefined Projected Systems UTM WGS84* kemudian pilih zona daerah pengukuran (misal WGS84 UTM Zona 49S) pilih OK.
 6. Kemudian pilih OK, kemudian muncul hasil konversi koordinat geografis (long Lat) menjadi koordinat UTM.

B. Pembuatan Desain Survey

1. Buka *Microsoft Excel* masukkan koordinat awal daerah penelitian, pilih jarak antar titik yaitu 1500 m

Gambar L3. Memasukkan Data Koordinat Geografis Ke Software Microsoft Excel

Baris nomor 16 merupakan koordinat pusat daerah penelitian.

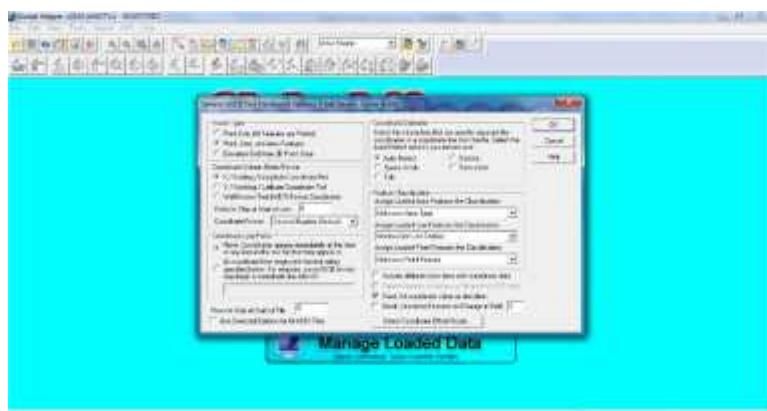
2. Buka software Surfer 12 buka New Worksheet (ctrl+W) copy dan paste kolom A, B, dan C ke Surfer 12 seperti berikut.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	4146811	9111877	81																							
2	4152611	9111877	81																							
3	4157811	9111877	81																							
4	4163011	9111877	81																							
5	4168211	9111877	81																							
6	4173411	9111877	81																							
7	4178611	9111877	81																							
8	4183811	9111877	81																							
9	4189011	9111877	81																							
10	4194211	9111877	81																							
11	4199411	9111877	81																							
12	4194611	9111877	81																							
13	4199811	9111877	81																							
14	4195011	9111877	81																							
15	4195211	9111877	81																							
16	4195411	9111877	81																							
17	4195611	9111877	81																							
18	4195811	9111877	81																							
19	4196011	9111877	81																							
20	4196211	9111877	81																							
21	4196411	9111877	81																							
22	4196611	9111877	81																							
23	4196811	9111877	81																							
24	4197011	9111877	81																							
25	4197211	9111877	81																							
26	4197411	9111877	81																							
27	4197611	9111877	81																							
28	4197811	9111877	81																							
29	4198011	9111877	81																							
30	4198211	9111877	81																							
31	4198411	9111877	81																							
32	4198611	9111877	81																							
33	4198811	9111877	81																							
34	4199011	9111877	81																							
35	4199211	9111877	81																							
36	4199411	9111877	81																							
37	4199611	9111877	81																							
38	4199811	9111877	81																							
39	4199911	9111877	81																							
40	4199911	9111877	81																							

Gambar L4. Memasukkan Data Koordinat Geografis Ke *Software Surfer 12*

3. Kemudian simpan data tersebut dalam format *DAT Data (*.dat)* atau *TXT Text Data (*.txt)*

- 1) Buka *software Global Mapper Open Your Own Data Files* buka simpanan data kemudian muncul kotak dialog berikut :

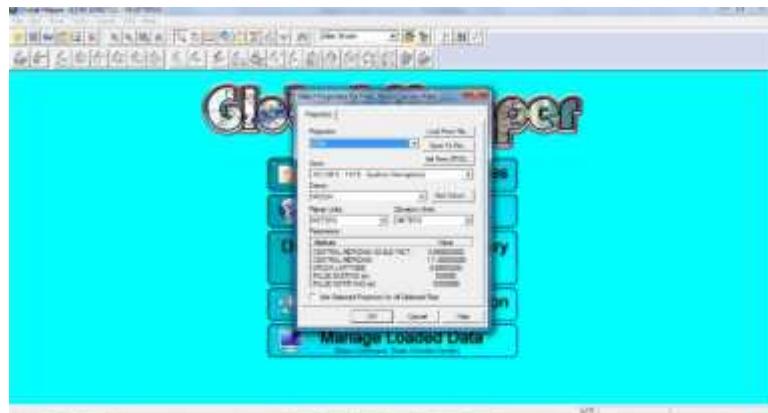


Gambar L5. Pengaturan awal *Software Global Mapper*

- 2) Pada kolom *Import Type* pilih *Point Only (All Features are Points)* dan *Coordinate Column Order/Format* bisa pilih *X/Easting/Longitude Coordinate First* atau *Y/Northing/Latitude Coordinate First* dengan

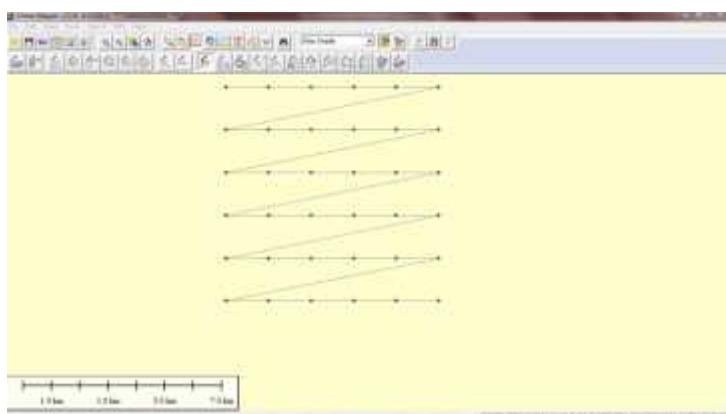
menyesuaikan input kolom A dan B pada *software Surfer* 12 pilih OK

pilih OK kemudian muncul kotak dialog seperti berikut:



Gambar L6. Pengaturan Lokasi Dalam *Software Global Mapper*

- 3) Pada kolom *Projection* pilih UTM, lalu pada *Zone* menyesuaikan dengan daerah penelitian, pada Datum pilih WGS84 pilih OK kemudian akan muncul hasil seperti berikut.



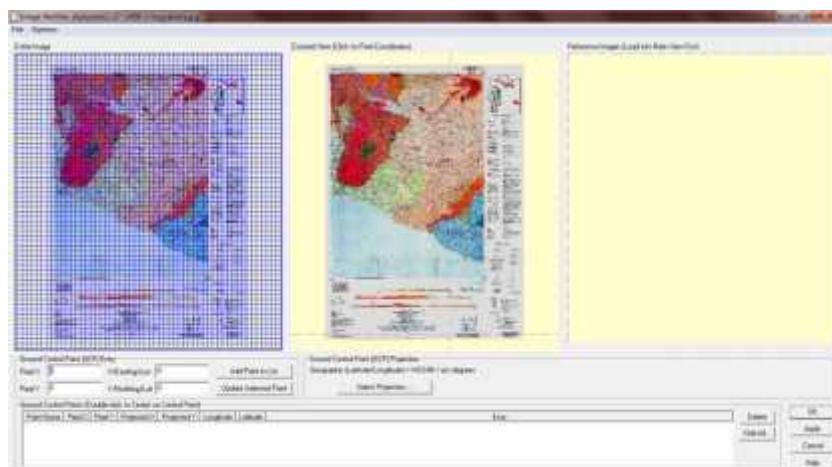
Gambar L7. Tampilan Awal Letak Titik Pengambilan data di *Software Global Mapper*

- 4) Kemudian pilih *File* pilih *Export Vector Format* pilih *GPX (GPS eXchange Format)* *File* atau *KML/KMZ* pilih OK pilih OK dan simpan dengan nama file yang diinginkan *save*.

5) Buka *software Google Earth* pilih *Open* pilih file format dalam bentuk *GPX (GPS eXchange Format) File* atau *KML/KMZ* pilih *Open*.

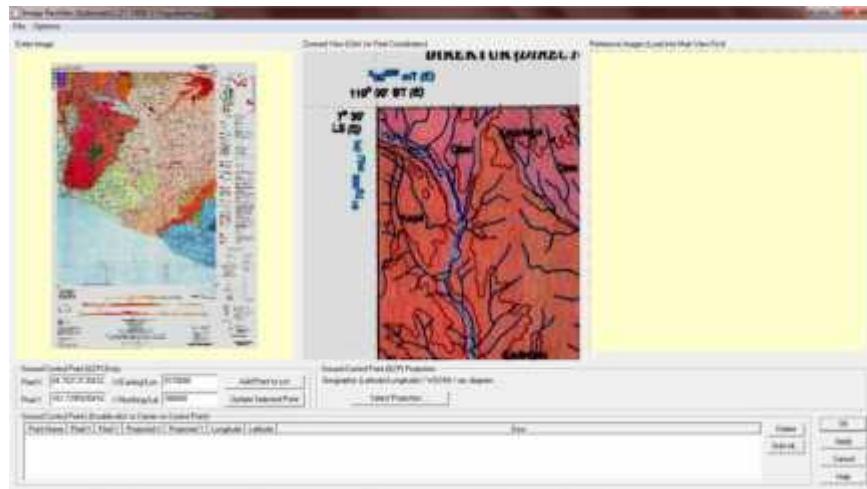
a. Jika ingin menggunakan peta geologi

- 1) Sebelum membuat desain pada peta geologi, peta harus difokuskan hanya di daerah penelitian saja , akan dibuat desain dengan cara seperti berikut.
 - a) Buka *software Global Mapper* *Open Your Own Data Files* pilih peta geologi pilih OK pilih Yes dan akan muncul hasil seperti berikut.



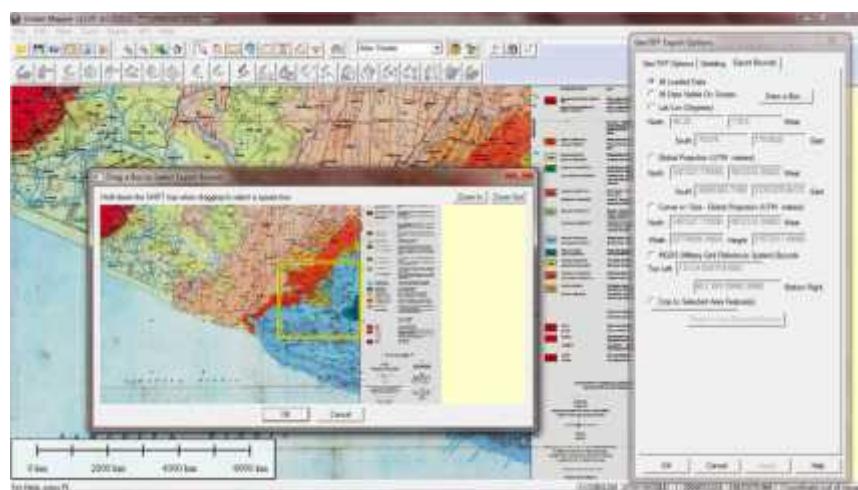
Gambar L8. Memilih Peta Geologi yang Akan Digunakan Sebagai Desain Survey

- b) *Zoom* pada batas peta dengan menahan klik kiri lalu memperluas area kotak zoom.
- c) Pada bagian *Select Projection* pilih *Projection : UTM , Zone : -49, dan Datum : WGS 84* , lalu pilih OK.
- d) Input koordinat batas sesuai dengan yang tertera pada peta geologi → pilih *Add To Point List* → pilih nama titik → OK. Lakukan cara yang sama untuk minimal 2 masukan titik. Lalu pilih OK – OK .



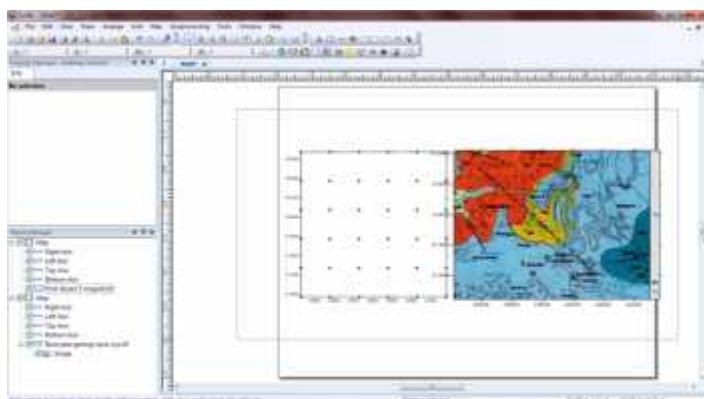
Gambar L9. Memasukkan Titik Koordinat Batas Peta

1. Kemudian jika ingin menyimpan hasil, pilih *File* *Export Raster/Image*
Format pilih *GeoTIFF* pilih *OK* pilih *OK* lagi, kemudian akan muncul kotak dialog *GeoTIFF Export Options*. Jika ingin menyimpan langsung tanpa menghilangkan daerah yang dianggap tidak perlu langsung pilih *OK* dan jika ingin menghilangkan daerah yang dianggap tidak perlu, maka pilih *Export Bounds* pilih *Draw a Box* blok daerah yang akan diambil pilih *OK*. Maka hasilnya seperti berikut.



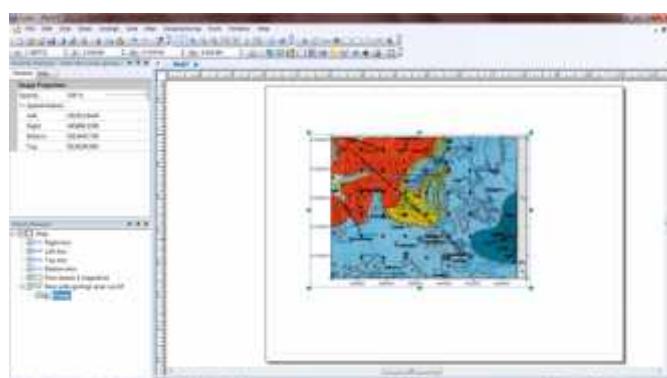
Gambar L10. Memfokuskan Peta di Lokasi Penelitian

- 2) Buka *software Surfer 12* *New Plot* (ctrl+N) Pilih *New Base Map*
pilih peta geologi yang akan dibuat desain survei.
- 3) Pilih *New Post Map* pilih koordinat yang akan dimasukkan (dalam format *DAT Data (*.DAT)*)
- 4) Blok kedua file dengan cara menahan klik kiri lalu ditarik sampai terbentuk bujur sangkar yang mencakup kedua *file*



Gambar L11. Langkah *Overlay* Titik Pengambilan Data dengan Peta Geologi di Daerah Penelitian

- 5) Pada *menu bar* pilih *Map* pilih *Overlay Maps* dan akan muncul hasil seperti berikut.



Gambar L12. Hasil *Overlay* Titik Pengambilan Data dengan Peta Geologi di Daerah Penelitian

- 6) Kemudian simpan ke dalam format *Surfer document (*.SRF)*

Lampiran 4. Tahap Pengolahan Data

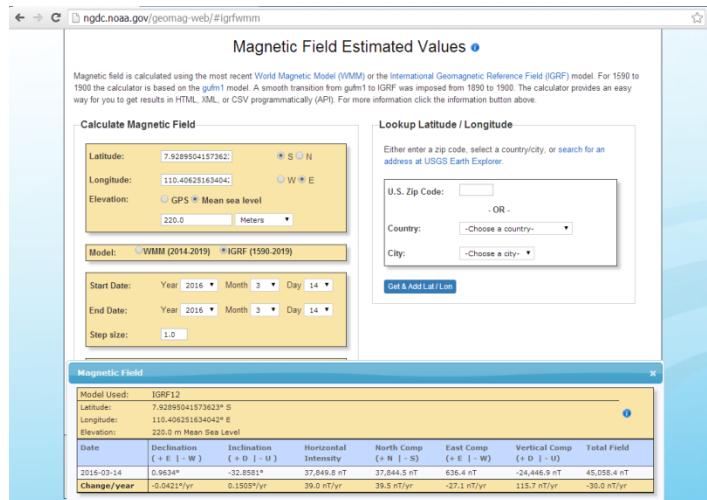
A. Koreksi IGRF

1. Mengakses *website NOAA* → pilih *Geomagnetic Data and Models* → pilih *Magnetic Fields* pada pilihan *Online Calculators* → pilih *Magnetic Fields* dan akan muncul kotal dialog seperti berikut.

The screenshot shows the NOAA Magnetic Field Calculators page. At the top, there are tabs for 'Declination', 'U.S. Historic Declination', 'Magnetic Field', and 'Magnetic Field Component Grid'. The 'Magnetic Field' tab is selected. Below the tabs, the title 'Magnetic Field Calculators' is displayed. Underneath it, the section 'Magnetic Field Estimated Values' is shown. A note states: 'Magnetic field is calculated using the most recent World Magnetic Model (WMM) or the International Geomagnetic Reference Field (IGRF) model. For 1900 to 1900 the calculator is based on the gulf1 model. A smooth transition from gulf1 to IGRF was imposed from 1890 to 1900.' The 'Calculate Magnetic Field' form contains fields for Latitude (S or N), Longitude (W or E), Elevation (GPS or Mean sea level), Model (WMM or IGRF), Start Date, End Date, Step size, and Result format (HTML, XML, CSV). To the right, there is a 'Lookup Latitude / Longitude' form for entering a U.S. Zip Code, Country, or City, along with a 'Get & Add Lat / Lon' button. At the bottom of the page, there are links for NOAA, NESDIS, NGDC, Geomagnetism, and contact information.

Gambar L13. Tampilan Web NOAA Untuk Mengetahui Nilai IGRF di Lokasi Penelitian

2. Pada kolom *Latitude* dan *Longitude* diisi dengan koordinat titik pengambilan data dalam bentuk koordinat geografi dan diperhatikan pula lokasi penelitian pada lokasi lintang utara atau lintang selatan dan bujur barat atau bujur timur, pada kolom *Elevation* dipilih *Mean Sea Level* dan satuan dalam meter, *Start Date* dan *End Date* dipilih hari selama pengambilan data, untuk *Step size* tidak perlu diganti, dan untuk *Result format* dalam bentuk HTML serta jika ingin menyimpan menggunakan *printscreen* atau sejenisnya.



Gambar L14. Informasi Nilai IGRF Di Salah Satu Titik Pengambilan Data Penelitian

B. Menghitung Anomali Medan Magnet

1. Membuka *software Microsoft Excel* → memasukan hasil pengambilan data → menghitung nilai koreksi variasi harian (ΔF) dengan persamaan:

$$\Delta F = \frac{t_n - t_a}{t_b - t_a} (T_b - T_a)$$

dengan t_n adalah waktu saat pengukuran dalam detik, t_a adalah waktu yang terukur di *base* awal (detik), t_b adalah waktu yang terukur di *base* akhir (detik), T_b adalah nilai medan magnet total pada *base* akhir dalam nT, dan T_a adalah nilai medan magnet total pada *base* awal dalam nT.

2. Menghitung nilai anomali medan magnet dengan persamaan:

$$\Delta T = T - \Delta F - F$$

T adalah nilai medan magnet dalam nT, ΔF adalah nilai variasi harian dalam nT, F adalah nilai IGRF daerah penelitian dalam nT. Hasilnya seperti pada

Lampiran 2.

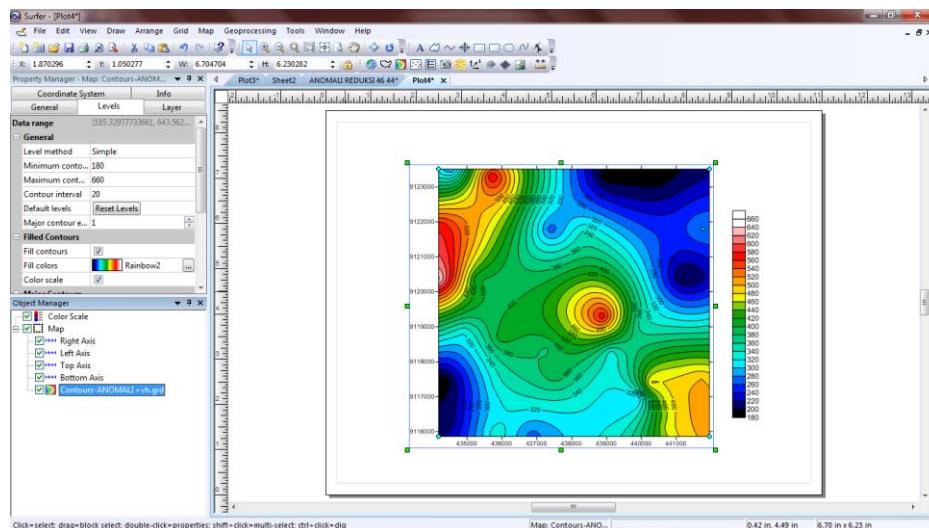
C. Membuat Kontur Anomali Medan Magnet

1. Buka *software Surfer 12* → *new datasheet* → masukkan data koordinat dan nilai anomali medan magnet

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	x	y	mili	name										
2	441746	9121794	286	83504	12									
3	441783	9120377	224	09400	18									
4	441154	9120400	206	25333	17									
5	441586	9119142	335	17933	24									
6	440544	9121647	271	68300	11									
7	438943	9123302	203	16024	4									
8	438353	9121704	364	78290	10									
9	437396	9121780	291	2033	9									
10	435770	9119210	610	773449	2									
11	434507	9122510	177	773449	1									
12	434507	9121881	609	83458	7									
13	436745	9121092	398	70009	15									
14	434184	9120353	689	17925	13									
15	434904	9119857	365	69815	19									
16	440485	9123272	242	25184	5									
17	441684	9123434	265	73546	6									
18	438893	9119292	578	92122	16									
19	440001	9119054	347	39727	23									
20	441729	9117521	503	14813	30									
21	440266	9117385	483	35309	29									
22	440714	9116113	485	61048	35									
23	440714	9116113	485	61048	36									
24	439986	9116095	295	09111	34									
25	439121	9119252	330	2196	22									
26	437521	9117654	397	99664	27									
27	437271	9118342	375	78909	21									
28	435940	9119673	408	16352	20									
29	435288	9120392	404	00703	14									
30	435877	9117334	331	99435	26									

Gambar L15. Pembuatan kontur anomali medan magnet

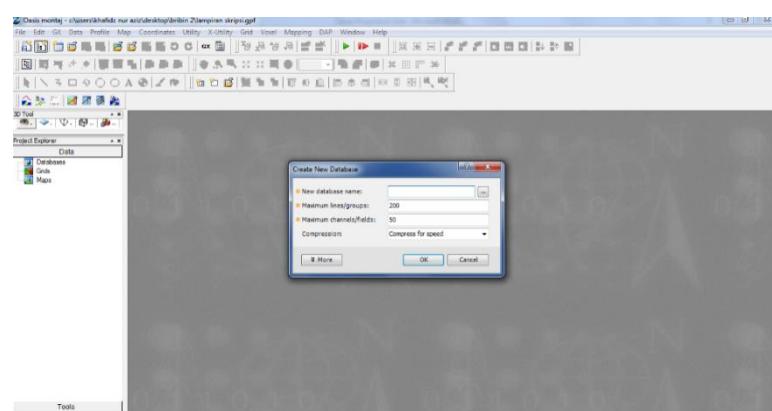
2. Simpan dalam format DAT atau TXT.
3. Pilih Grid – data – pilih data anomali medan magnet yang telah disave.
4. Pilih OK – OK – simpan dengan nama file yang diinginkan – save. Lalu program akan melakukan *contouring*. Setelah selesai, *close report* (tidak perlu disave)
5. Buka *New Plot – New Contour Map* – pilih file dalam format *.grd. kemudian akan muncul kontur yang belum berwarna. Setelah itu atur peta kontur agar lebih mudah dalam pembacaan (*visualisasi*). Kotak pengaturan kontur berada di kotak sebelah kiri.



Gambar L16. Pengaturan kontur anomali medan magnet

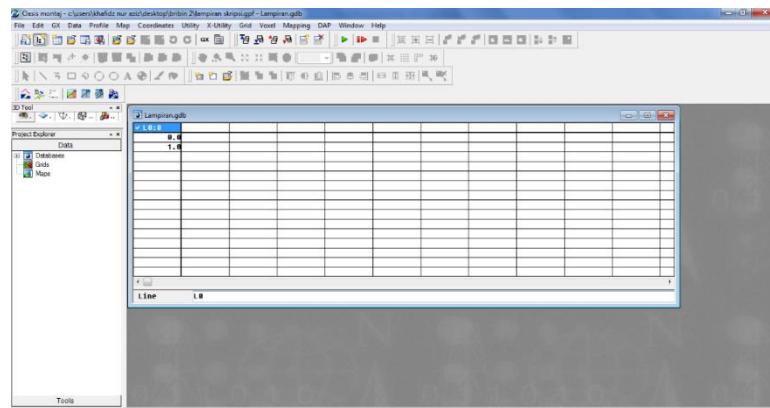
D. Reduksi ke Kutub

1. Untuk membuat reduksi ke kutub, kontur anomali medan magnet harus ditampilkan terlebih dahulu di jendela *software Oasis*. Karena *software Oasis* tidak dapat membaca keluaran dari *software Surfer*.
2. Buka *software OASIS Montaj 6.4* → pilih *File* → *Project* → *New* → simpan *project* dengan nama yang diinginkan (disatukan dalam satu folder)
3. Pilih *Data* → *New Database* dan akan muncul kotak dialog seperti berikut.



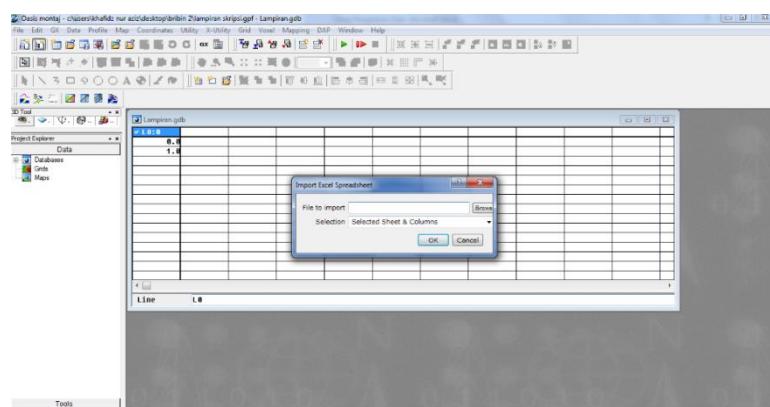
Gambar L17. Membuat Kontur Anomali Medan Magnet di *software Oasis*

- Pada *New Database Name* isikan dengan nama file yang diinginkan, untuk nilai *Maximum Lines/Groups* dan *Maximum Channel/Fields* menyesuaikan dengan jumlah data dan jika tidak banyak menggunakan nilai secara *default*, dan pada *Compression* pilih *Compress for Speed* → pilih OK dan akan muncul seperti berikut.



Gambar L18. Membuat Kontur Anomali Medan Magnet di *software Oasis*

- Pilih *Data* → *Import* → *Excel Spreadsheet* → *Single Sheet* → *Yes* dan akan muncul seperti berikut.



Gambar L19. Membuat Kontur Anomali Medan Magnet 4

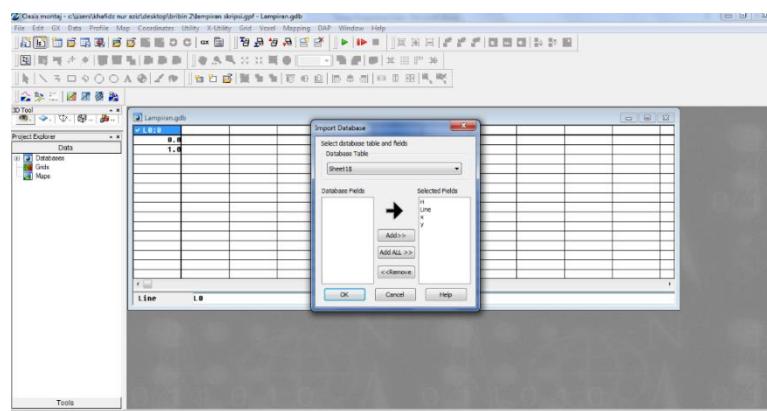
- Buat file yang berisi koordinat titik dan nilai medan magnet dalam file Microsoft Exel 97-2003

A screenshot of Microsoft Excel 97-2003 showing a data table. The table has three columns: X, Y, and ha. The data consists of approximately 40 rows of coordinates and values. The Excel interface includes a ribbon bar at the top with tabs like Home, Insert, Page Layout, Formulas, Data, Review, and View. The main area shows the data grid.

X	Y	ha
2	441746	9121794
3	441783	9120377
4	441820	9119953
5	441586	9119142
6	440548	9121647
7	438943	9123302
8	438353	9121704
9	437753	9123300
10	435714	9123309
11	434557	9123510
12	434257	9121881
13	434054	9121870
14	434804	9118857
15	440485	9123772
16	441315	9122453
17	441729	9128053
18	438894	9119592
19	441729	9117521
20	440266	9117885
21	440714	9116113
22	439121	9116113
23	439898	9116935
24	439121	9118252
25	437521	9117656
26	437273	9118356
27	437540	9118673
28	437540	375.7981

Gambar L20. Data Anomali Medan Magnet di *Software Microsoft Excel 97-2003*

- Pada *File to Import* pilih *Microsoft Excel* yang akan digunakan (format *Microsoft Excel* dalam *Excel 97-2003*) dan pada *Selection* pilih *Selected Sheet and Columns* → pilih OK dan akan muncul seperti berikut.

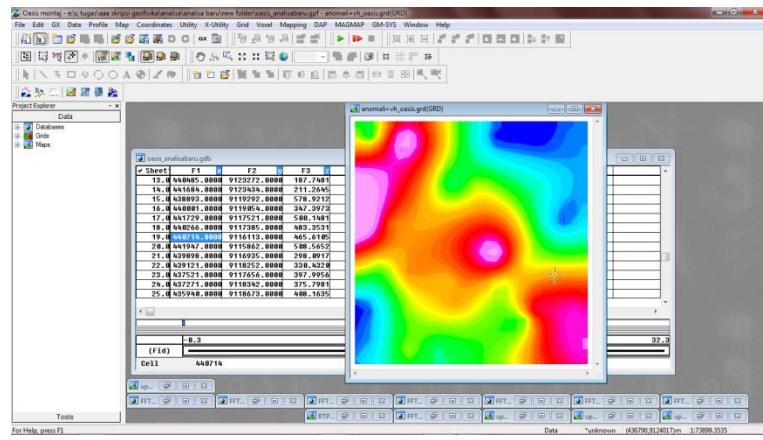


Gambar L21. Membuat Kontur Anomali Medan Magnet di *software Oasis*

- Kemudian pilih *import – OK*. Secara *default* pada kolom x dan y tidak akan muncul angka namun muncul **, untuk memunculkan angkanya dengan cara melebarkan kolom tersebut.

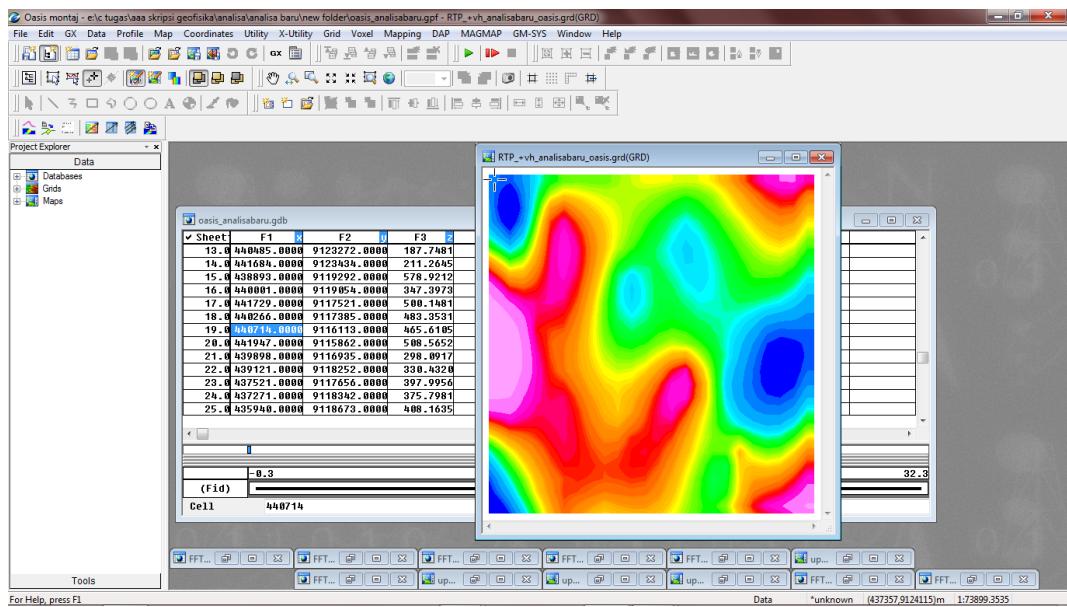
- Pilih *Grid* → *Gridding* → pilih format yang akan digunakan (*Krigging*) → *Dialog Controls*. Pada *Channel to Grid* pilih H, pada *Name of New Grid File* pilih *Browser* untuk meletakkan dan

menyimpan file dengan nama yang diinginkan, pada *Grid Cell Size* tidak perlu diisikan → pilih OK dan akan muncul hasil seperti berikut.



Gambar L22. Hasil Kontur Anomali Medan Magnet di *software Oasis*

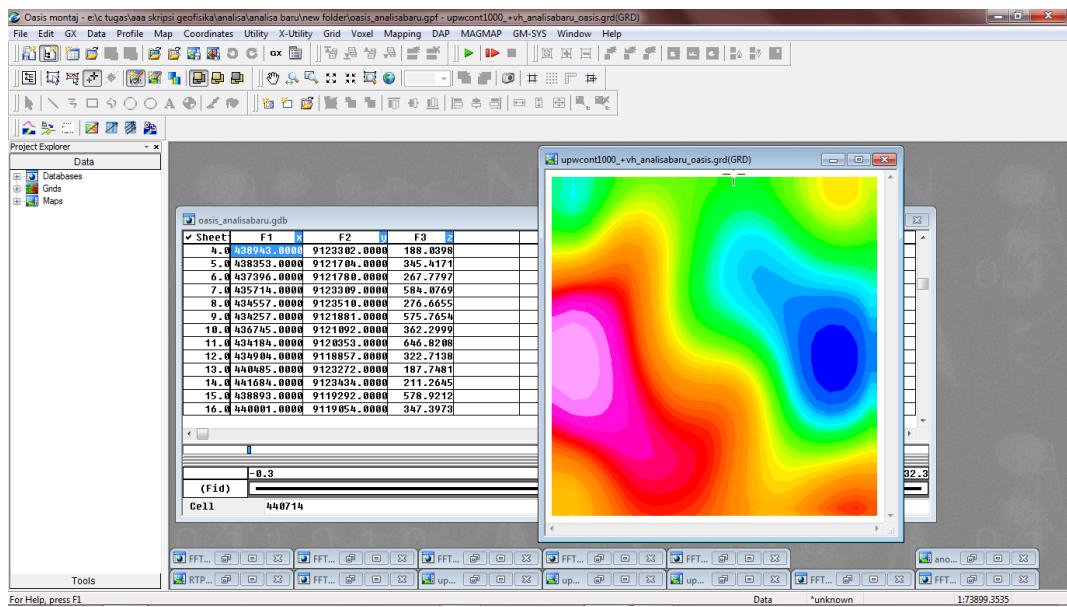
9. Selanjutnya memulai proses reduksi ke kutub. Perlu ditampilkan salah satu fitur dari software *Oasis Montaj* ini. *Load Menu* → pilih *magmap.omn* → pilih menu bar *MAGMAP* → *MAGMAP 1-Set Filtering* dan akan muncul kotak dialog. Pada *Name of Input (Original) Grid File* pilih simpanan file yang akan di RTP, pada *Name of Output (Processed) Grid File* buka browser untuk menyimpan hasil RTP, pada *Name of Filter Control File* buka browser pilih *_krigid.con* karena menggunakan analisis Krigging, pada *Output Pre-Processing Grid* dibuat *default*.
10. Pilih *SetConFile* → *First Filter to Apply* → pilih *Reduce to Magnetic Pole* → pilih OK dan akan muncul kotak dialog. Pada kolom *Geomagnetic Inclination (degrees from horizontal)* dan *Geomagnetic Declination (degrees from azimuth)* diisi dengan nilai pada daerah pengambilan data dan pada *Amplitude Correction Inclination* tidak perlu diisi → pilih OK dan akan muncul hasil seperti berikut.



Gambar L23. Hasil Kontur Reduksi ke Kutub

E. Kontinuasi ke Atas

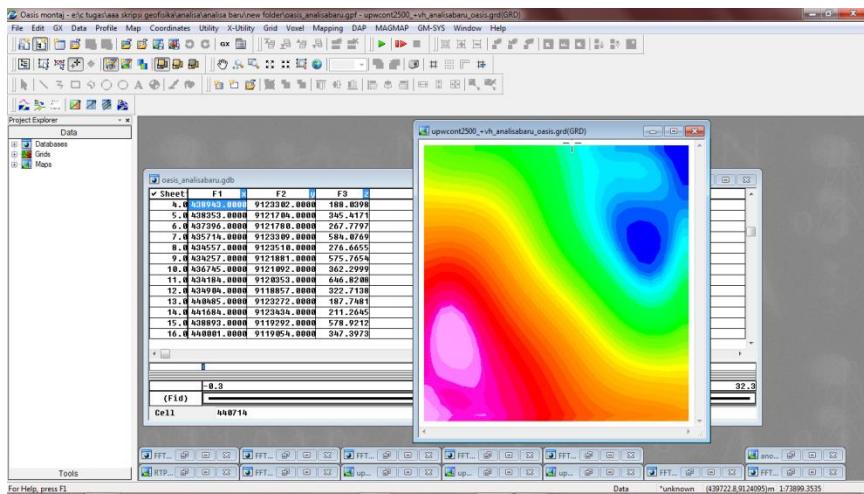
1. Pilih menu bar *MAGMAP* → *MAGMAP 1- Set Filtering* dan akan muncul kotak dialog. Pada *Name of Input (Original) Grid File* pilih simpanan file hasil reduksi ke kutub, pada *Name of Output (Processed) Grid File* buka *browser* untuk menyimpan hasil *Upward Continuation*, pada *Name of Filter Control File* buka *browser* pilih *_krigid.con* karena menggunakan analisis *Krigging*, pada *Output Pre-Processing Grid?* dibuat *default*. Pilih *SetConFile* → *First Filter to Apply* → pilih *Upward Continuation* akan muncul kotak dialog
2. Pada kolom *Distance to Upward Continue (in ground units)* diisi dengan ketinggian dari permukaan yang kita inginkan dan satuan dalam meter → pilih OK dan akan muncul hasil seperti berikut.



Gambar L24. Hasil Kontur Kontinuasi ke Atas dengan ketinggian 1500 m

3. Karena proses *Upward Continuation* tidak hanya dilakukan sekali, oleh karena itu untuk melakukan kembali proses tersebut, terdapat dua cara melakukannya dan pilih salah satu cara saja (jangan digabungkan) yaitu sebagai berikut:
 - a. Sama seperti langkah E nomor 1, pada *Name of Output (Processed) Grid File* buka browser untuk menyimpan hasil *Upward Continuation* dengan nama yang berbeda dari proses sebelumnya → seperti langkah E nomor 2 pada kolom *Distance to Upward Continue (in ground units)* diisi dengan ketinggian dari permukaan yang kita inginkan (lebih tinggi dari proses pertama atau sebelumnya) dan satuan dalam meter → pilih OK.
 - b. Sama seperti langkah E nomor 1 namun pada *Name of Input (Original) Grid File* buka simpanan hasil dari proses *Upward Continuation* sebelumnya, pada *Name of Output (Processed) Grid File* buka browser untuk menyimpan hasil *Upward Continuation* dengan nama yang berbeda

dari proses sebelumnya → seperti langkah **E** nomor 2 pada kolom *Distance to Upward Continue (in ground units)* diisi dengan ketinggian dari permukaan yang sama dengan nilai pada proses sebelumnya dan satuan dalam meter → pilih OK.

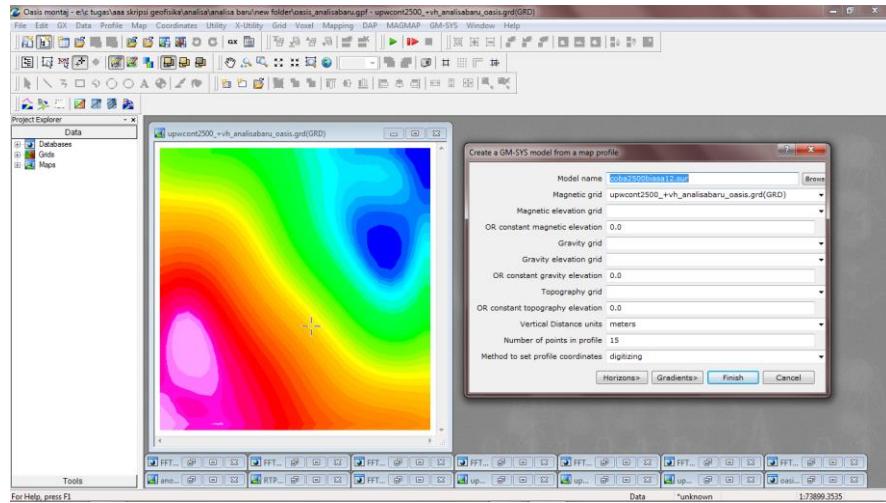


Gambar L25. Hasil Kontur Kontinuasi ke Atas dengan ketinggian 2500 m

F. Pemodelan 2D

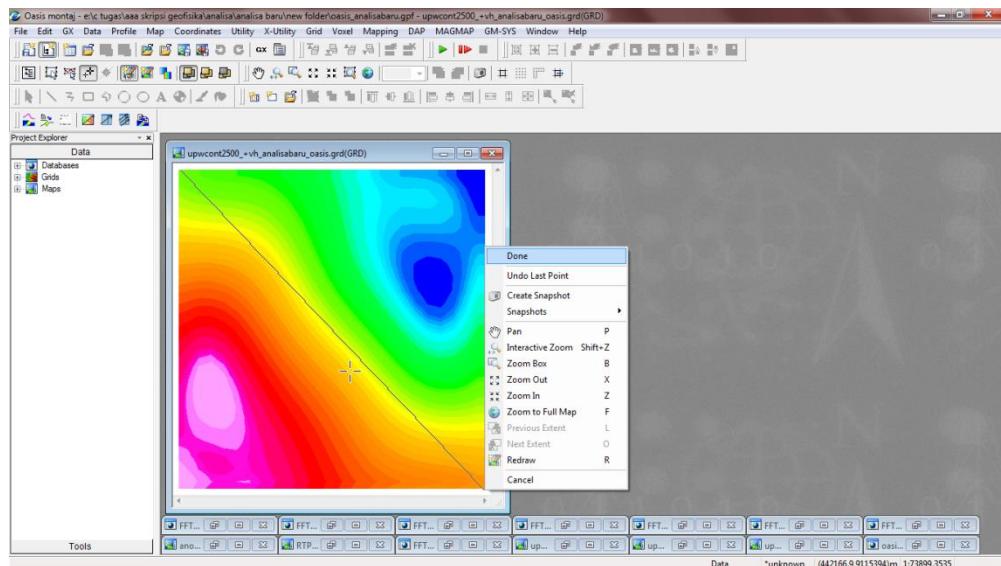
1. Sebelum membuat model, ditentukan kontur anomali medan magnet hasil *Upward Continuation*, kemudian dilakukan sayatan pada daerah yang diinginkan. Pertama dengan memunculkan fitur pemodelan 2D yaitu : GX – *load menu* – pilih gm-sys.omn – open. Maka menu untuk pemodelan 2D akan muncul.
2. Pilih menu bar GM-SYS – *new model – from map profile*. Perlu diperhatikan bahwa kontur hasil atenuasi harus sudah terbuka dan siap disayat.

3. Beri nama yang diinginkan pada bagian *model name*. Pada bagian *Magnetic grid* pilih file atenuasi yang siap disayat. Pada bagian *number of point* diisi jumlah titik *control error* pada model. Pilih *Finish*.



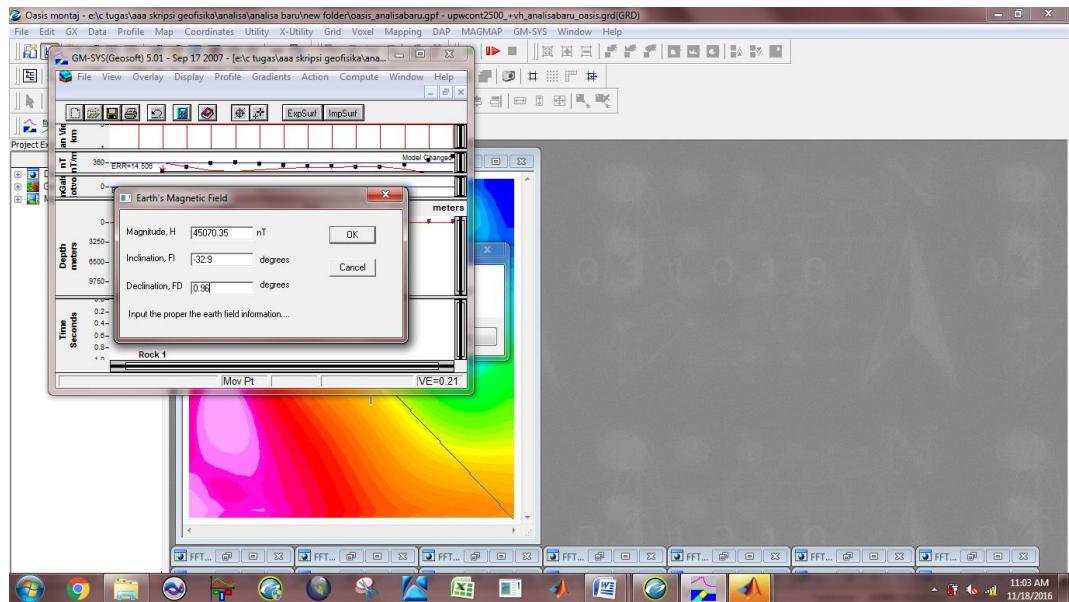
Gambar L26. Awal pemodelan 2D dengan *software Oasis Montaj*

4. Lalu sayat sesuai dengan keinginan. Pada penelitian ini digunakan sayatan sejajar sesar dan tegak lurus sesar. Cara penyayatan adalah klik kursor pada ujung sayatan - menarik kursor – klik kiri satu kali – klik kanan – *done*.



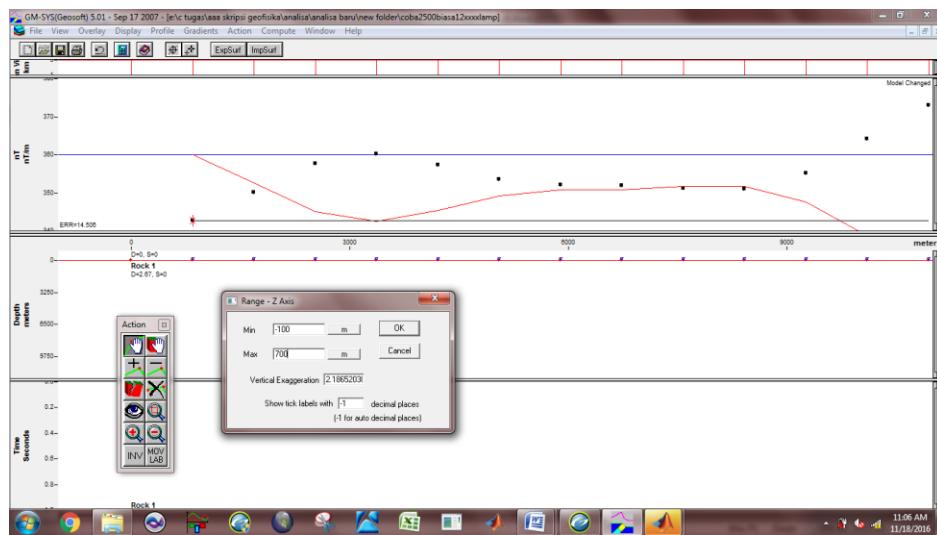
Gambar L27. Penyayatan kontur atenuasi untuk pembuatan model 2D

5. Software oasis kemudian akan secara otomatis membuka menu di jendela baru yaitu GM-SYS. Sebelum memulai pemodelan, perlu diisikan data rata-rata IGRF, inklinasi, dan deklinasi.



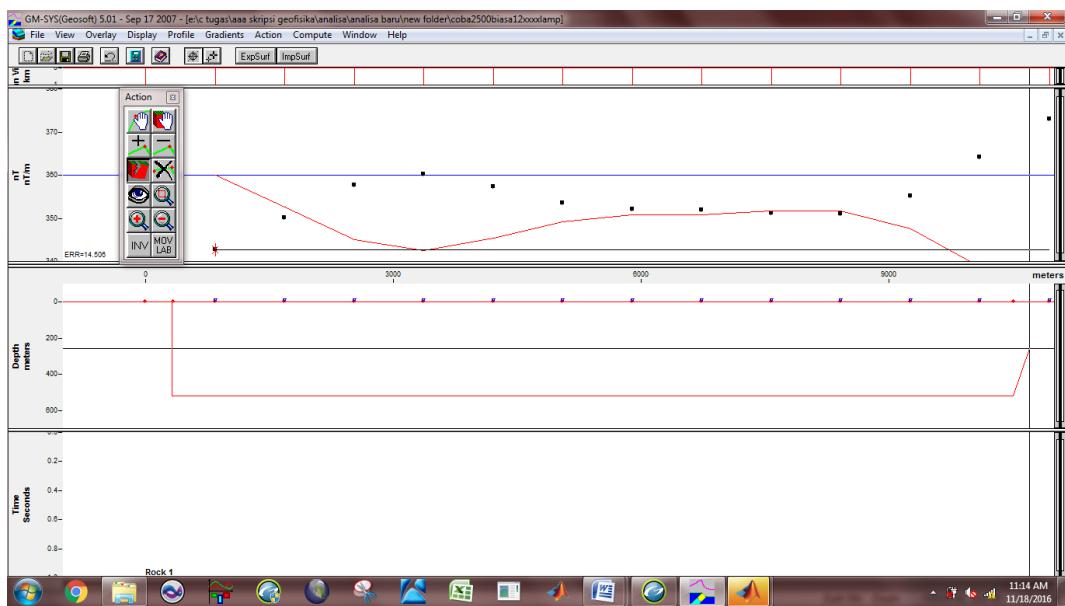
Gambar L28. Tampilan Awal Software GM-SYS

6. Untuk mengganti jangkauan kedalaman, klik kanan pada bagian *depth – change range* – lalu diubah sesuai dengan keinginan - OK



Gambar L29. Tampilan awal GM-SYS untuk pemodelan 2D

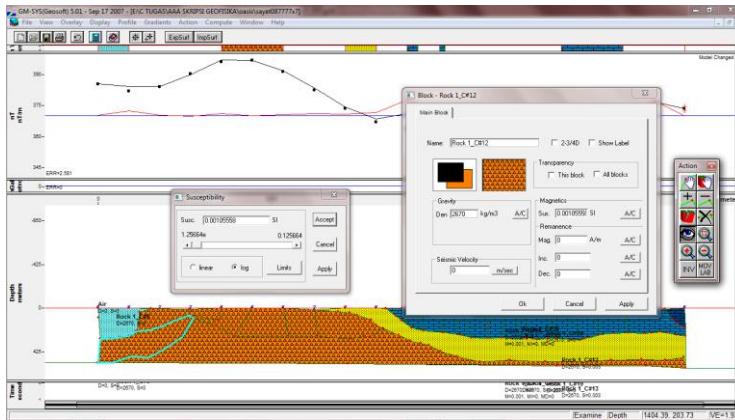
7. Kotak *Action* adalah *tools* dalam pembuatan model. Garis merah merupakan indikator *error*. Pembuatan model se bisa mungkin membuat garis merah dapat berhimpit dengan garis biru, dan garis hitam bisa mengikuti titik-titik hitam, sehingga nilai *error* menjadi kecil.
8. Langkah pertama pilih *add points* pada kotak *action* – tambahkan titik di tepi garis merah dengan titik biru (kotak bawah). Kemudian hubungkan kedua titik tersebut dengan memilih bagian *split block*. Klik pada titik pertama, klik pada bagian bawah sesuai dengan kedalaman yang diinginkan, klik ke kanan segaris dengan titik kedua, dan klik ketiga pada poin tepi kedua – setelah *block* tertutup membentuk bujur sangkar, pilih *accept block*.



Gambar L30. Pembuatan *block* dasar model 2D

9. Untuk memodifikasi atau membuat model dapat dilakukan dengan menambah titik, membuat blok baru, menghapus blok dan menyatukan blok-blok. Untuk mengubah suseptibilitas model batuan dilakukan dengan memilih *examine* pada kotak *action* – klik blok yang ingin diubah – klik panel A/C pada bagian

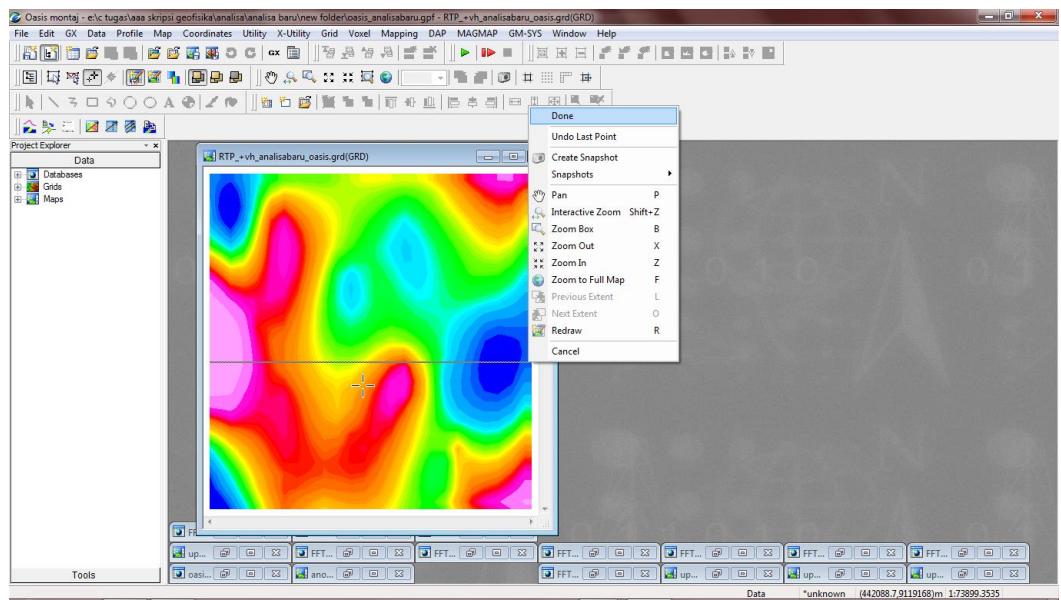
suseptibilitas lalu muncul kotak baru sebagai pengubah suseptibilitas – ubah sampai sesuai dan nilai *error* mengecil. Mengubah satuan suseptibilitas dapat dilakukan dengan pilih *display – anomaly units* – pilih sesuai keinginan.



Gambar L31. Tampilan pemodelan 2D dengan *software Oasis Montaj*

G. Pemodelan 3D

1. Buka *Software Oasis Montaj*. Buka file kontur anomali medan magnet yang sudah di RTP.
2. Pilih data – *new database* – beri nama sesuai yang diinginkan – OK
3. Pilih *grid – utilities – grid profile*. Pada bagian *grid 1* dipilih peta yang mau disayat untuk pemodelan kedalaman - bagian *new line name* diberi nama untuk model kedalaman – *sample interval* diisi sesuai dengan kebutuhan – Ok - Ok
4. Kemudian sayat dari ujung kiri ke ujung kanan. Penyayatan sekiranya dapat mencakup nilai terendah dan tertinggi – klik kiri – tarik kursor sampai ujung sayatan – klik kiri satu kali – klik kanan – *done*.



Gambar L32. Menyayat peta kontur RTP untuk mendapatkan sample nilai anomali medan magnet untuk pemodelan 3D

5. Buka *utility – make distance channel – Ok*. Maka akan muncul satu kolom lagi di bagian paling kanan.
6. *Data – export – other* – pilih format *.csv – beri nama sesuai keinginan.
7. Buka *Software Surfer* – file – *open file* – buka data file dalam format csv yang tadi telah disimpan dari *software Oasis Montaj*. Ubah kolom dari : x | y | G atenuasi | distance → menjadi distance | G atenuasi dengan judul tiap kolom dihapus.
8. *File – save as* – format *.DAT – beri nama sesuai keinginan – *save*
9. Buka *Software Oasis Montaj* – *grid – x utilities – dummies*. Kemudian akan muncul kotak dialog. Pada bagian *input* masukkan file RTP yang belum diatenuasi, beri nama *output* sesuai keinginan - *OK*
10. Buka *surfer – map contour* – nama simpanan dari *software Surfer 12* sebelumnya – lalu pada kolom kiri pilih *general – save* – pilih format

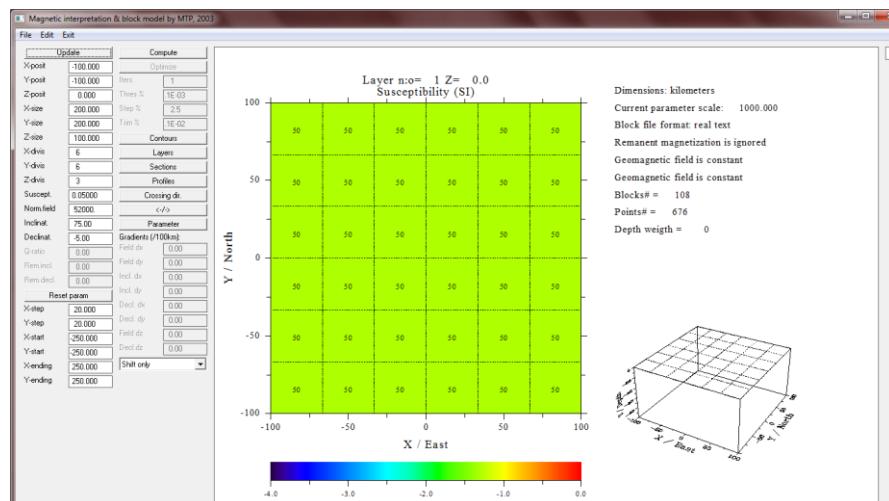
*.DAT. Buka *worksheet* – buka nama *file* simpanan dalam format *.DAT sebelumnya – salin kolom 1, 2, dan 3

11. Buka *software Surfer* lagi – *general – grid info – grid geometry – copy* bagian x *minimum* sampai y *spacing* – kemudian *paste* di excel lalu ubah dari km menjadi m dengan dibagi 1000.

12. Buka *software Magblox* – pilih *cancel*. Pada bagian kiri bawah pilih *ignore*. Lalu masukkan data sesuai keterangan berikut berdasarkan data yang telah diperoleh dari *software surfer* yang sudah disalin ke *Ms. Excel*:

X posit	: X min	Norm Field	: Rata-rata IGRF di lokasi penelitian
Y posit	: Y min	Inclin	: Nilai inklinasi
Z posit	: 0	Declin	: Nilai deklinasi
X size	: X maximum	X step	: x spacing
Y size	: X minimum	Y step	: y spacing
Z size	: 0	X start	: x min
X divis	: 6 (sesuai keinginan)	Y start	: y min
Y divis	: 6 (sesuai keinginan)	X ending	: x max
Z divis	: 6 (sesuai keinginan)	Y ending	: y max
Sucept	: nilai susptibilitas rata-rata		

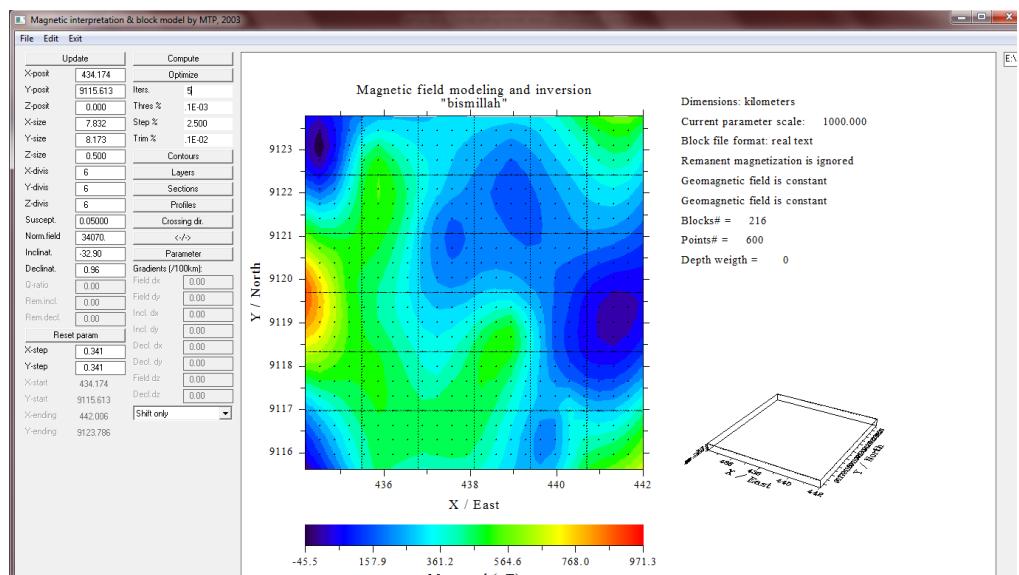
Untuk setiap langkah pengisian data harus selalu diakhiri dengan klik *update*.



Gambar L33. Pengisian Data Awal di Software Magblox

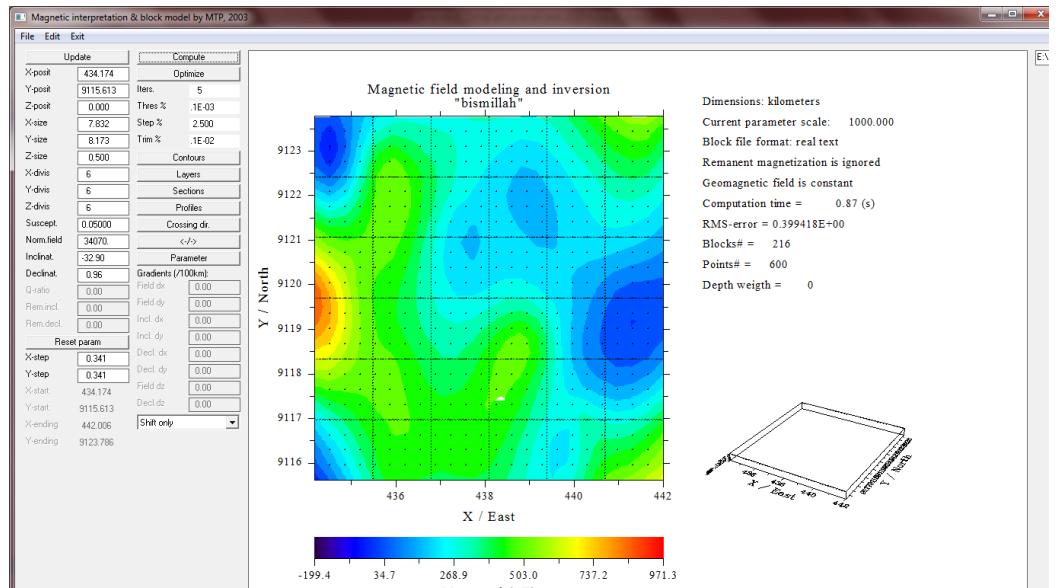
Pilih *exit – save* dua kali dengan nama yang sama – lalu buka *Software Surfer* – lalu buat kolom berikut – beri nama sesuai keinginan (misal : model3d) sesuai judul di kolom paling atas. Kolom x km diisi koordinat x dalam km, kolom y km diisi koordinat y dalam km, dan HA adalah nilai hasil RTP. Save dengan format *.DAT

13. Buka *Software Magblox* – *open* – buka format simpanan pertama dengan format *.inp – *file – read data – model3d.dat*

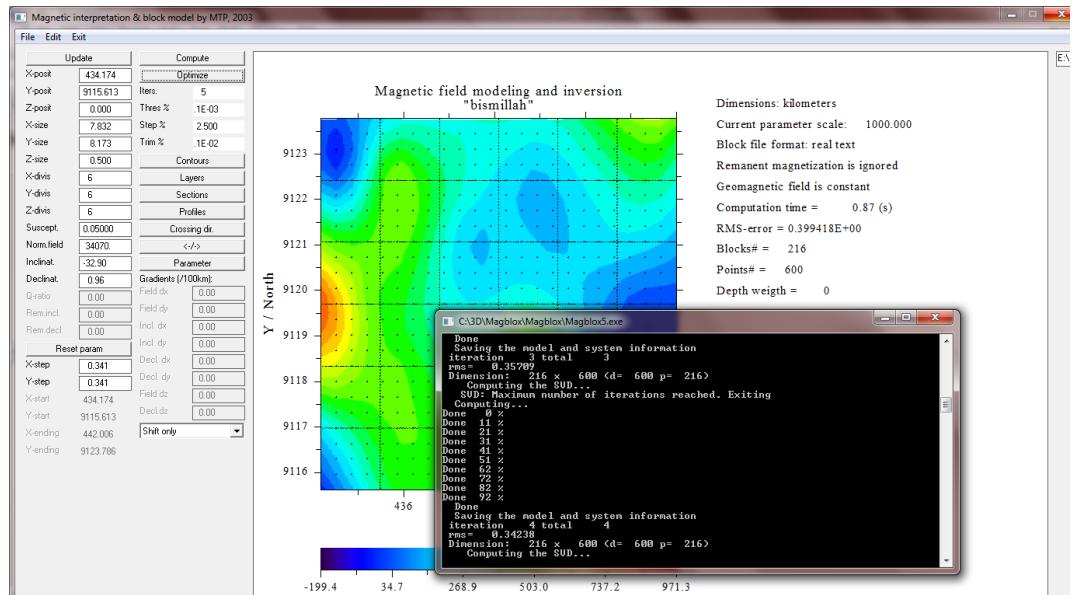


Gambar 34. Proses read data anomali medan magnet yang telah di-RTP pada software Magblox

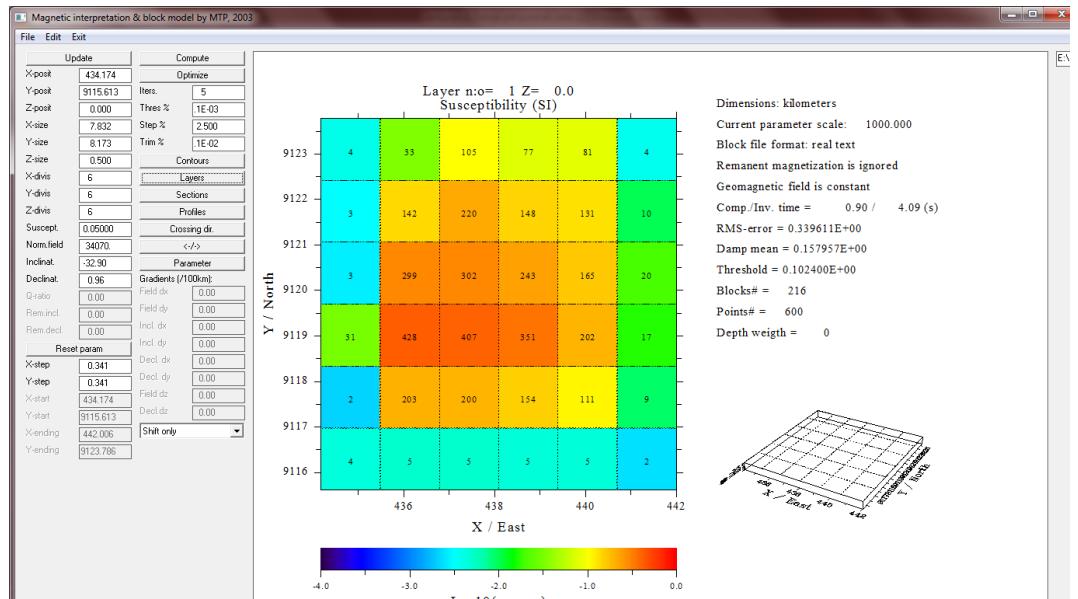
14. Pada bagian iterasi diganti 5 kali atau sesuai dengan kebutuhan – *compute – optimize – loading* – tunggu sampai selesai lalu cek *layer per layer*.



Gambar L35. Tampilan setelah data anomali medan manet di-computize oleh software *Magblox*

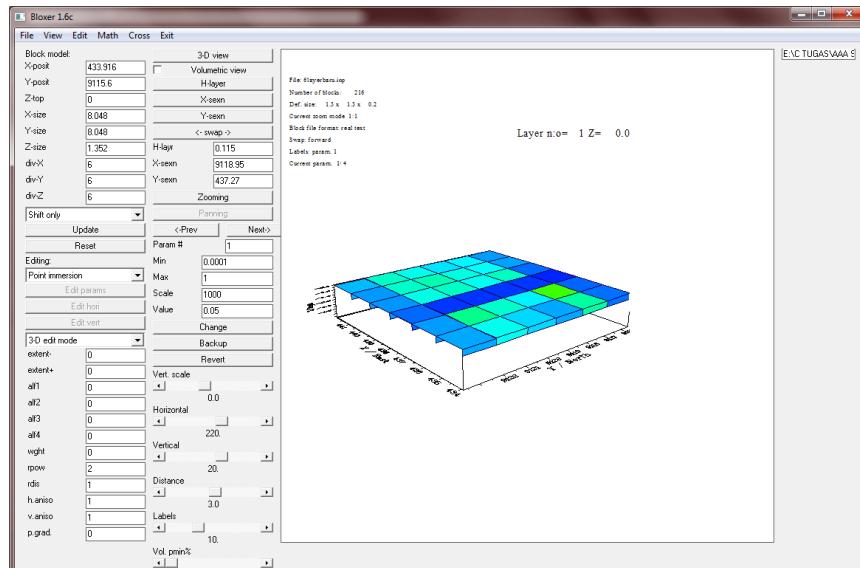


Gambar L36. Proses Loading iterasi pembuatan model per layer



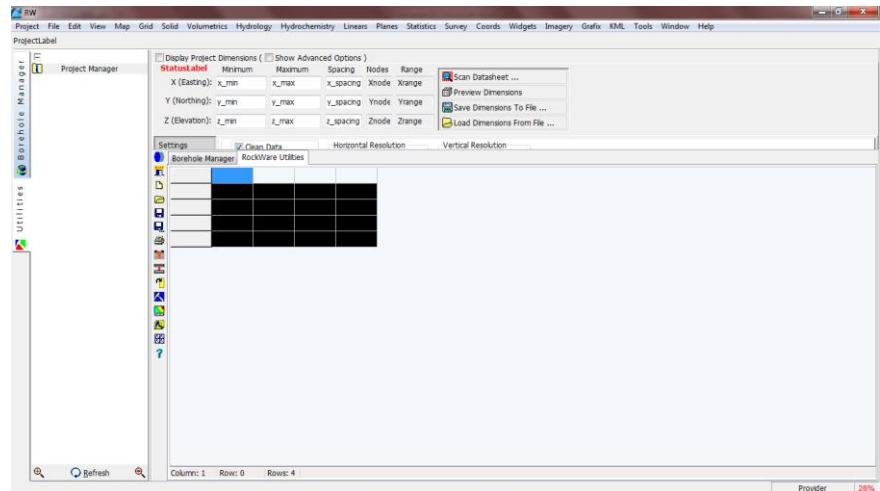
Gambar L37. Tampilan Layer 1 hasil iterasi anomali medan magnet

15. *Exit – OK – save* dua kali dengan nama yang sama namun format berbeda.
16. Apabila diperlukan, *blox-blox* bisa diubah dengan menggunakan *Software Bloxer*.
17. Buka *software bloxer – edit – edit single blox* – ganti nilai *value* sesuai keinginan dengan terlebih dahulu meng-klik kanan *blox* yang ingin diganti nilai suseptibilitasnya. *Edit params* – klik kiri pada *blox* – klik kanan.
18. Setelah selesai mengedit, *save model as *.INP*

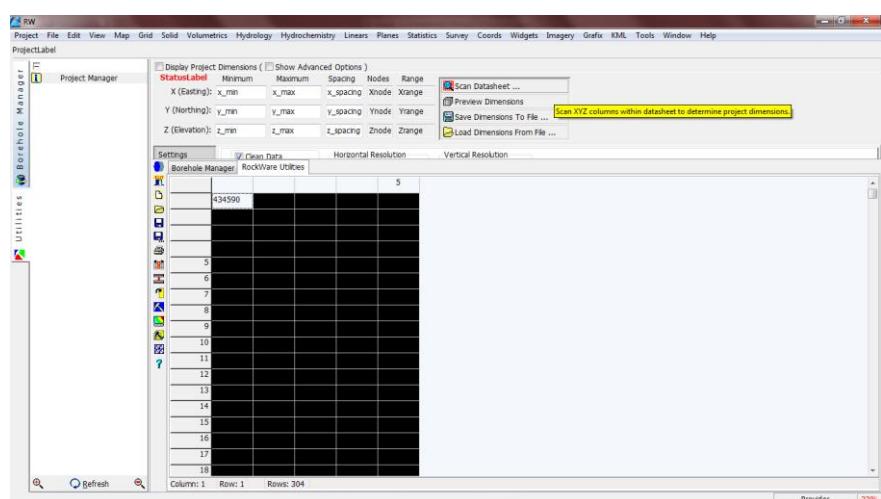


Gambar L38. Edit Model Menggunakan Software Bloxer

19. Buka *Ms. Excel – new sheet – drag file* hasil *software Bloxer* yang dalam format *.blx ke *excel sheet – klik pada kolom A – data – Text To Columns – delimited – Ok*. Lalu konversi satuan x dan y dari km menjadi m dengan dikalikan 1000 – *save as Excel 97-2003*.
 20. Buka *software Rockwork – single complete – Utilities* (di sebelah kiri) - *new sheet – copy paste* nilai dari *excel sheet* ke *rockwork sheet* (x, y, z, dan nilai g atau suseptibilitas).
- ***. *Software Rockwork* dapat digunakan untuk membuat model 3D dengan data bor dan data magnetik. Apabila menggunakan data bor, pilih *Borehole Manager*. Apabila menggunakan data magnetik pilih *Utilities*.

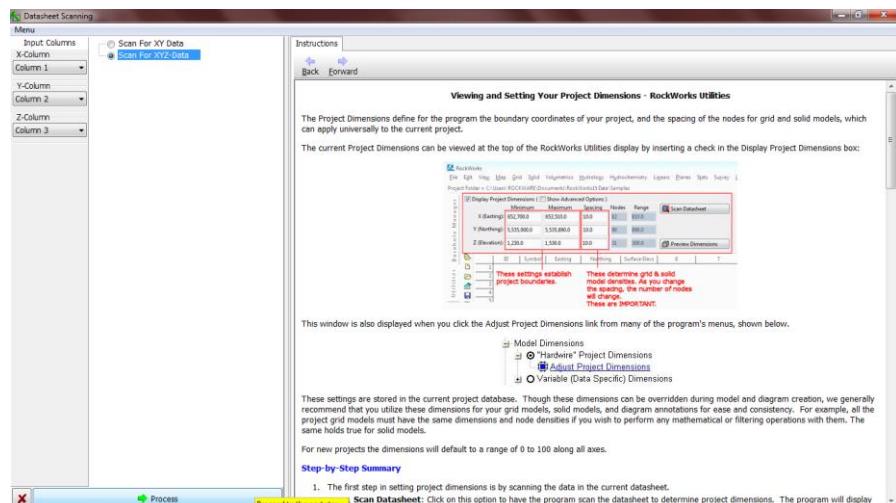


Gambar L49. Tampilan Awal Software Rockwork

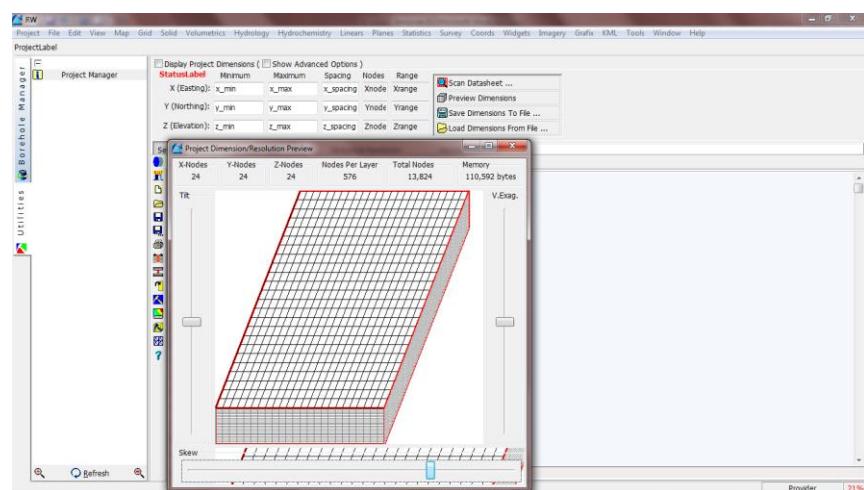


Gambar L50. Memasukkan Data ke Software Rockwork

21. Pilih XYZG – *scan datasheet* – process. Apabila ingin melihat pilih *preview grade* – *preview dimension*.

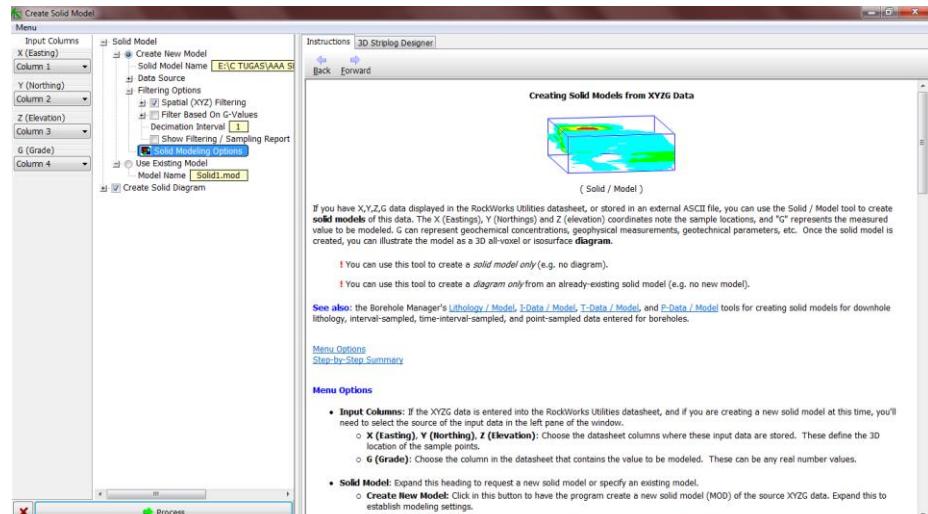


Gambar L51. Scan Data di *Software Rockwork*



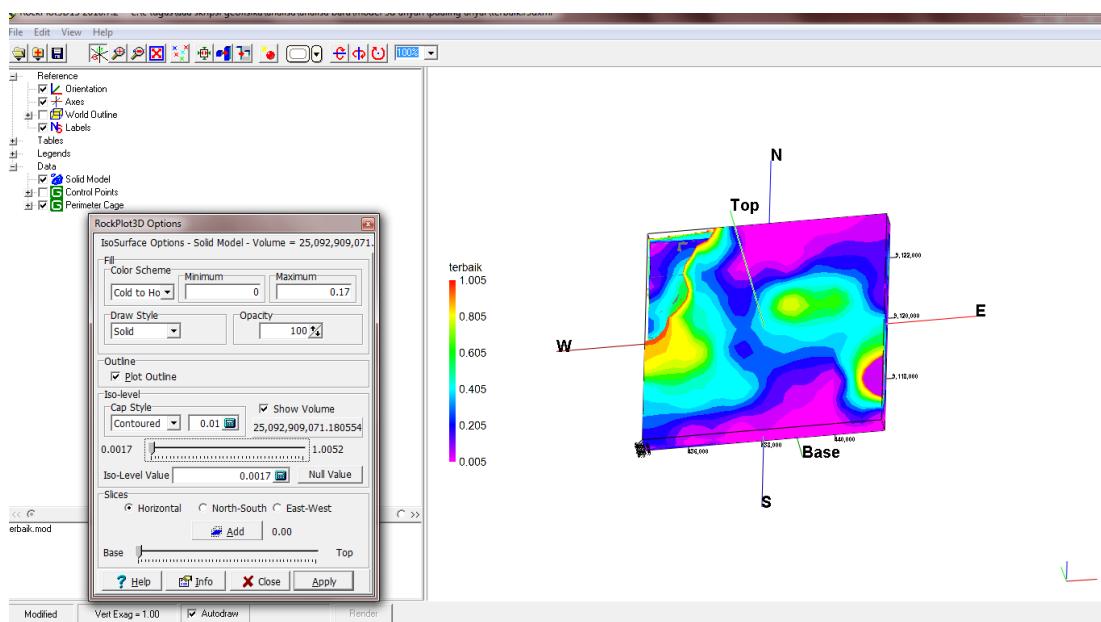
Gambar L52. Preview Dimensi Model 3D Di *Software Rokwork*

22. Pada menu bar pilih *solid – model* – munculkan tanda + di semua poin – *create new model - solid model name* – lalu beri nama model 3D sesuai keinginan – *process – yes – Ok*.



Gambar L53. Pengaturan Awal Tampilan Model 3D Dan Penyimpanan

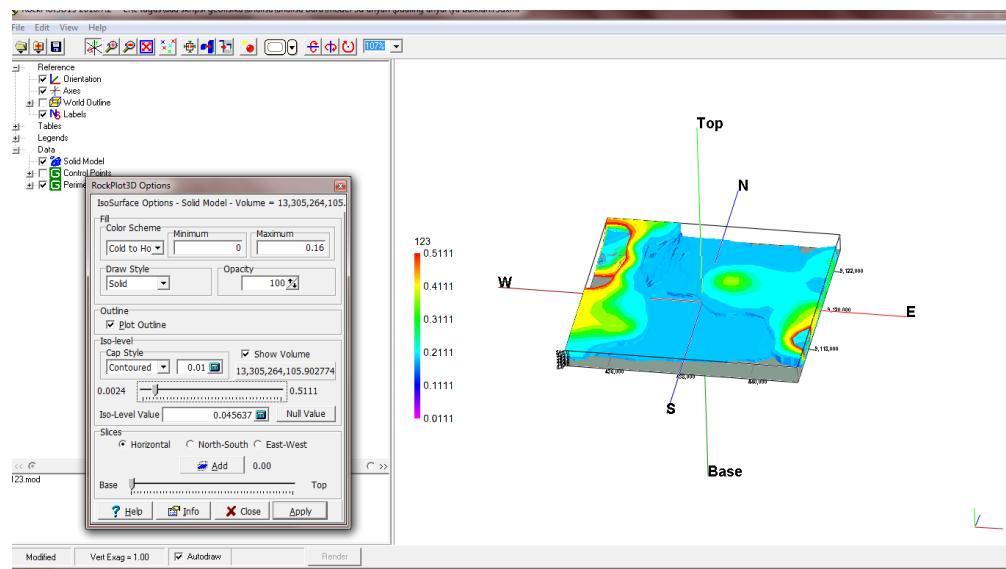
23. Pada bagian *solid modeling option* pilih *inverse distance (anisotropic)* – *OK* – *process* – *yes* – buka simpanan *file* dalam format *.MOD . *Control point* tidak perlu dicentang.



Gambar L54. Tampilan Model 3D

24. Kemudian *Software Rockwork* akan mengolah data menjadi model 3D. Untuk mempermudah dalam menginterpretasi, model dapat diputar dan disaring berdasarkan nilai suseptibilitasnya. Cara memunculkan tools

untuk melihat model secara detail adalah dengan klik kanan *solid model – option*.



Gambar L55. Tampilan Model 3D Dapat Diputar Dan Disaring Berdasarkan Nilai Suseptibilitas

Lampiran 5. Gyromagnetic Ratio pada Proton Precession Magnetometer (PPM)

Rasio Giromagnet adalah perbandingan dari momentum magnetik pada sebuah partikel dengan momentum angulernya.

$$G = \frac{m}{L}$$

dengan G adalah rasio giromagnetik proton, m adalah momentum magnetik dan L adalah momentum sudut. Nilai rasio giromagnetik dari proton adalah

$$G = 2,67522 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \text{ T}^{-1}$$

$$= 2,67522 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ nT}^{-1}$$

Pinsip kerja PPM adalah mengukur frekuensi putaran proton dalam berpresesi. Untuk mengetahui nilai medan magnet terukur pada PPM dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$f = \frac{m}{2\pi L} T = \frac{G}{2\pi} T$$

dengan f adalah frekuensi presesi proton dalam Hz, dan T adalah nilai medan magnet terukur dalam nT. Maka nilai medan magnet dapat diketahui dari :

$$\begin{aligned} T &= \frac{2\pi}{G} f \\ &= \frac{2 \times 3,14}{2,67522 \times 10^{-1}} f (\text{s nT} \cdot \frac{1}{s}) \end{aligned}$$

$$T = 23,487 f \quad (\text{nT})$$

Lampiran 6

Foto-Foto Kegiatan Pengambilan Data



