

**INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAN IDENTIFIKASI JALUR SESAR MAYOR GRINDULU BERDASARKAN
DATA ANOMALI MEDAN MAGNET**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

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



Oleh :
Liddiyah Agustyaningrum
NIM 14306141047

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN IDENTIFIKASI JALUR SESAR MAYOR GRINDULU BERDASARKAN DATA ANOMALI MEDAN MAGNET

Disusun oleh:

Liddiyah Agustyaningrum
NIM 14306141047

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan
Ujian Tugas Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan.


Yogyakarta, 10 September 2018

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Denny Darmawan, M.Sc
NIP. 19791202 200312 1 002


Nugroho Budi Wibowo, M.Si
NIP. 19840223 200801 1 011

Mengetahui,
Ketua Program Studi Fisika


Nur Kadarisman, M.Si
NIP. 19640205 199101 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi dengan judul
**INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAN IDENTIFIKASI JALUR SESAR MAYOR GRINDULU
BERDASARKAN DATA ANOMALI MEDAN MAGNET**


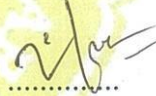

Disusun oleh:
Liddiyah Agustyaningrum
NIM 14306141047

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji Tugas Akhir Skripsi
Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Pada tanggal 21 September 2018

Dewan Penguji

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Denny Darmawan, M.Sc. NIP. 19791202 200312 1 002	Ketua Penguji		<u>25-09-2018</u>
Laila Katriani, M.Si. NIP. 19850415 201212 2 001	Penguji Utama		<u>25-09-2018</u>
Nugroho Budi Wobowo, M.Si. NIP. 19840223 200801 1 011	Sekretaris Penguji		<u>27-09-2018</u>

Yogyakarta, 28 September 2018

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 : Liddiyah Agustiyaningrum
NIM : 14306141047
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Interpretasi Struktur Bawah Permukaan dan Identifikasi Jalur
Sesar Mayor Grindulu Berdasarkan Data Anomali Medan
Magnet

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, 10 September 2018

Yang menyatakan,



Liddiyah Agustiyaningrum

NIM. 14306141047

MOTTO

“Sejatinya hidup adalah tentang pengabdian”

“ Menghargai dan menghormati orang lain adalah bentuk lain dari menghargai diri sendiri”

“ Yakinlah ada sesuatu yang menantimu selepas banyak kesabaran yang kau jalani, hingga membuatmu terpana dan lupa betapa pedihnya rasa sakit”

(Ali bin Abi Thalib)

PERSEMBAHAN

Karya ini kupersembahkan untuk :

- Φ **Diriku sendiri** yang telah berjuang melewati berbagai proses menuju pendewasaan dalam berbagai aspek pembelajaran.
- Φ **Ibuku dan Bapakku** yang telah menghantarkan sampai ke jenjang ini dengan segala do'a, daya dan upaya yang beliau berikan.
- Φ **Nenekku dan Kakekku** yang telah menasehati dan memberikan do'a dan bimbingan kepadaku.
- Φ **Mas Irgham** yang telah memberikan masukan dan arahan dalam menjalani perkuliahan.

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 berjudul ” Interpretasi Struktur Bawah Permukaan dan Identifikasi Jalur Sesar Mayor Grindulu Berdasarkan Data Anomali Medan Magnet” 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.

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 Denny Darmawan M. Sc. dan Bapak Nugroho Budi Wibowo, M. Si 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 menghadapi 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. Ibu Dian dan Pak Riyadi yang telah menemani proses akuisisi data di lapangan.
7. Bapak Himo selaku Kepala Desa Tinatar yang telah memberikan bantuan dan arahan tentang prosedur pengajuan penelitian.
8. Tim Pacitan Khoirul Ummah, Rizka Zuliyanti, Ulfa Fadhilah, dan Neneng Novesha Dewi atas suka dukanya dalam menjalani tahapan survei hingga akuisisi data di lapangan.
9. Arif dan Deden yang telah membantu akuisisi data di lapangan.
10. Rani Trisdawati yang telah menjadi asisten geologi pribadi.
11. Teman-teman Geofisika 2014 yang telah berbagi suka duka dalam proses belajar.
12. Teman-teman Fisika E 2014 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 membantu 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, 10 September 2018

Penulis,



Liddiyah Agustyaningrum

NIM. 14306141047

INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN IDENTIFIKASI JALUR SESAR MAYOR GRINDULU BERDASARKAN DATA ANOMALI MEDAN MAGNET

Liddiyah Agustivaningrum

14306141047

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di kawasan jalur Sesar Mayor Grindulu yang mencakup Kecamatan Pacitan dan Kecamatan Arjosari Kabupaten Pacitan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pola persebaran anomali medan magnet di kawasan jalur Sesar Mayor Grindulu, mengetahui struktur bawah permukaan di kawasan jalur Sesar Mayor Grindulu, dan mengidentifikasi jalur Sesar Mayor Grindulu berdasarkan pemodelan magnetik.

Pengambilan data dilakukan menggunakan *Proton Precession Magnetometer* (PPM) pada tanggal 24 – 26 Agustus 2017 dengan 37 titik pengukuran dan spasi antar titik pengamatan 500-1000 m. Pengolahan data dilakukan dengan koreksi IGRF, koreksi variasi harian, reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas. Pemodelan dilakukan berdasarkan nilai anomali medan magnet yang telah direduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas dengan ketinggian 1000 m.

Hasil analisa menunjukkan bahwa rentang nilai anomali medan magnet di kawasan penelitian adalah -700 nT hingga 400 nT. Hasil pemodelan 2D menunjukkan bahwa struktur bawah permukaan Sesar Mayor Grindulu diperkirakan memotong lapisan batu pasir, batu gamping, batu tuf, dan batu breksi di daerah penelitian. Hasil pemodelan 3D menunjukkan bahwa jalur Sesar Mayor Grindulu memiliki karakteristik sesar geser yang berada pada formasi batuan yang sama (Formasi Toma).

Kata kunci : anomali medan magnet, struktur bawah permukaan, Sesar Mayor Grindulu.

INTERPRETATION OF SUBSURFACE STRUCTURE AND IDENTIFICATION OF GRINDULU FAULT LINE BASED ON MAGNETIC FIELD ANOMALIES

Liddiyah Agustivaningrum
14306141047

ABSTRACT

This study was conducted in the Grindulu Fault line area located at Pacitan District and Arjosari District in Pacitan Regency. The aims of this study were to determine the distribution pattern of magnetic field anomalies in the Grindulu Fault line, to identify the subsurface structure in the Grindulu Fault line area, and to identify the Grindulu Fault line based on magnetic modeling.

Data acquisition was carried out using *Proton Precession Magnetometer* (PPM) on August 24-26, 2017 with 37 measurement points and the space between each measurement point was 500 to 1000 m. Data processing was done using IGRF correction, diurnal correction, reduce to pole transformation, and upward continuation transformation. Modeling process was done based on magnetic field anomalies that have been transformed using reduce to the pole (RTP) transformation and upward continuation transformation at 1000 m.

The results of data analysis showed that the range of magnetic field anomalies in the study area ranged from -700 nT to 400 nT. 2D modeling result showed that the subsurface structure of the Grindulu Fault is guessed to cut through the rock layers that consist of sandstone, limestone, tuff, and breccia in the study area. 3D modeling result showed that the Grindulu Fault is a strike-slip fault and that it is only cut through one rock formation (Arjosari Formation).

Keywords : magnetic field anomalies, subsurface structure, Grindulu 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	5
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah.....	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Kemagnetan	
1. Suseptibilitas Magnet	8
2. Induksi Magnet	10
B. Medan Magnet Bumi.....	11
C. Medan Magnet Luar	14
D. Anomali Medan Magnet	15
E. Kemagnetan Material Bumi	16
F. Transformasi	
1. Reduksi ke Kutub	17
2. Kontinuasi ke Atas	18
G. <i>Proton Precession Magnetometer</i>	19
H. Sesar	21
I. Pembagian Umur Geologi.....	23
J. Geologi Daerah Penelitian	24

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
B. Instrumen Penelitian	
1. Perangkat Keras	29
2. Perangkat Lunak	32
C. Metode Penelitian	32
D. Akuisisi Data Medan Magnet	34
E. Pengolahan Data	35
1. Koreksi IGRF	35
2. Koreksi Variasi Harian	36
3. Reduksi Ke Kutub	36
4. Kontinuasi Ke Atas.....	36
5. Pemodelan 2D.....	36
6. Pemodelan 3D.....	37

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Medan Magnet Total	40
B. Koreksi Topografi.....	43

C. Medan Magnet Regional	44
D. Medan Magnet Luar	46
E. Anomali Medan Magnet	48
F. Reduksi Ke Kutub	49
G. Kontinuasi Ke Atas	50
H. Pemodelan 2D	52
I. Identifikasi Jalur Sesar	65

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	74
B. Saran.....	75

DAFTAR PUSTAKA	76
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	78
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Nilai Suseptibilitas Batuan Metamorf.....	8
Tabel 2. Nilai Suseptibilitas Batuan Beku	9
Tabel 3. Nilai Suseptibilitas Mineral Batuan	9
Tabel 4. Nilai Suseptibilitas Batuan Sedimen.....	10
Tabel 5. Jangka Skala Waktu Geologi	24
Tabel 6. Nilai Suseptibilitas, Kedalaman Batuan dan Formasi Batuan di Daerah Penelitian Berdasarkan Hasil Pemodelan 2D.....	61

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Peta Tataan Tektonik Kepulauan Indonesia	1
Gambar 2. Peta Kelurusan Struktur Sesar Grindulu	3
Gambar 3. Elemen-Elemen Medan Magnet Bumi	11
Gambar 4. Model Medan Magnet Bumi	13
Gambar 5. Model Inklinasi Medan Magnet Bumi	13
Gambar 6. Model Deklinasi Medan Magnet Bumi	14
Gambar 7. Kontinuasi ke Atas pada Permukaan Horizontal.....	18
Gambar 8. Analogi <i>Proton Precession Magnetometer</i> (PPM) dan <i>Spinning Top</i> ...	20
Gambar 9. <i>Normal Faults</i> atau Sesar Turun	22
Gambar 10. <i>Reverse Faults</i> atau Sesar Naik	22
Gambar 11. Sesar Geser (a) <i>Left-lateral strike slip faults</i> (b) <i>Right-lateral strike slip faults</i>	23
Gambar 12. Pegunungan Selatan Bagian Barat dan Timur	25
Gambar 13. Peta Geologi Daerah Penelitian.....	25
Gambar 14. Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian	27
Gambar 15. Titik-titik Pengukuran di Daerah Penelitian.....	28
Gambar 16. GPS Garmin Tipe 78S.....	29
Gambar 17. Satu Set PPM Merk <i>Geometric</i> Tipe G-856	30
Gambar 18. Kompas Geologi.....	30
Gambar 19. Meteran	31
Gambar 20. Palu Geologi.....	31

Gambar 21. Diagram alir penelitian.....	33
Gambar 22. Koreksi IGRF pada <i>website</i> NOAA	35
Gambar 23. Kontur Medan Magnet Total Daerah Penelitian	40
Gambar 24. Kontur Medan Magnet Total di- <i>overlay</i> Peta Geologi	41
Gambar 25. (a) Kontur Topografi, (b) Kontur Medan Magnet Total Daerah Penelitian.....	43
Gambar 26. (a) <i>Profile</i> Sayatan Topografi, (b) <i>Profile</i> Sayatan Medan Magnet Total.....	44
Gambar 27. Kontur IGRF Daerah Penelitian.....	45
Gambar 28. Data Plot Indeks Dst pada Tanggal 24-26 Agustus 2017.....	46
Gambar 29. (a) Kontur Medan Magnet Total, (b) Kontur Medan Magnet Total yang dikoreksi Variasi Harian.....	47
Gambar 30. Kontur Anomali Medan Magnet di Daerah Penelitian.....	48
Gambar 31. Kontur Anomali Medan Magnet yang telah di RTP.....	50
Gambar 32. Hasil Kontur Kontinuasi ke Atas (a) Ketinggian 200 m, (b) Ketinggian 400 m, (c) Ketinggian 600 m, (d) Ketinggian 800 m, (e) Ketinggian 1000 m.....	51
Gambar 33. Sayatan pada Anomali Medan Magnet Hasil Kontinuasi ke Atas dengan Ketinggian 1000 m.....	52
Gambar 34. Pemodelan 2D Sayatan AA' pada Peta Geologi Gultaf <i>et al</i>	54
Gambar 35. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Sayatan AA'	55
Gambar 36. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Sayatan BB'	56
Gambar 37. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Sayatan CC'	57
Gambar 38. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Sayatan DD'	58

Gambar 39. Verifikasi Batuan di Lapangan pada Sayatan AA' (a) Batu Pasir, (b) Batu Gamping, (c) Batu Intrusi Basalt, (d) Batu Pasir.....	59
Gambar 40. Verifikasi Batuan di Lapangan pada Sayatan BB' (a) Batu Pasir, (b) Batu Gamping, (c) Batu Pasir.....	59
Gambar 41. Verifikasi Batuan di Lapangan pada Sayatan CC' (a) Endapan Pasir, (b) Batu Gamping, (c) Batu Lempung	60
Gambar 42. Hasil Pemodelan 3D Nilai Suseptibilitas 0-0,01586.....	67
Gambar 43. Tampilan Sayatan AA', BB' dan CC' pada Pemodelan 3D yang di- <i>overlay</i> dengan Dugaan Jalur Sesar Mayor Grindulu.....	67
Gambar 44. Tampilan Sayatan DD' dan EE' pada Pemodelan 3D yang di- <i>overlay</i> dengan Dugaan Jalur Sesar Mayor Grindulu.....	68
Gambar 45. Interpretasi Peta Geologi	68
Gambar 46. Sayatan 2D Anomali Medan Magnet Hasil SVD.....	69
Gambar 47. Nilai SVD Anomali Medan Magnet (a) Sayatan AA', (b) Sayatan BB', (c) Sayatan CC', (d) Sayatan DD', (e) Sayatan EE', (f) Sayatan FF'	70
Gambar 48. Nilai SVD Anomali Medan Magnet (a) Sayatan GG', (b) Sayatan HH' (c) Sayatan II', (d) Sayatan JJ', (e) Sayatan KK'	71
Gambar 49. Hasil SVD 3D dari Anomali Medan Magnet	72

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Mentah Hasil Pengukuran.....	78
Lampiran 2. Perhitungan Anomali Medan Magnet.....	86
Lampiran 3. Pembuatan Desain Survei	90
Lampiran 4. Tahapan Pengolahan Data	95
Lampiran 5. Dokumentasi	115

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan daerah pertemuan 3 lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Indo-Australia di bagian selatan, Lempeng Eurasia di bagian utara, dan Lempeng Pasifik di bagian timur. Ketiga lempeng tersebut saling aktif bergerak satu sama lain sehingga mengakibatkan terbentuknya zona subduksi. Zona subduksi adalah daerah pertemuan dua lempeng dimana salah satu lempeng relatif berada di bawah lempeng lainnya dan terus memberikan desakan pada lempeng lainnya. Gambar 1 menunjukkan peta tatanan tektonik Kepulauan Indonesia.



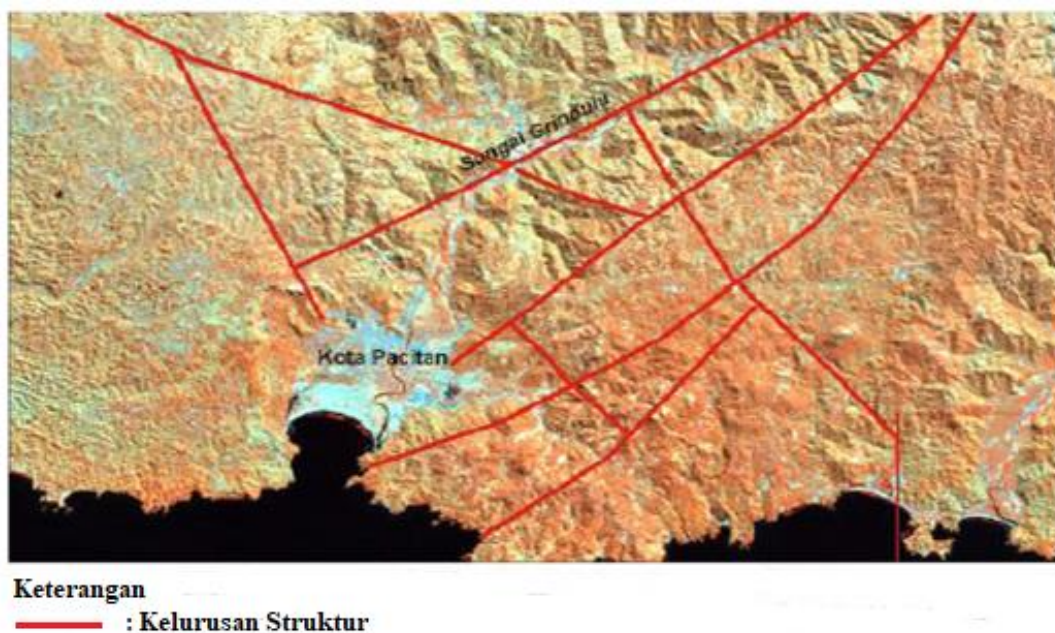
Gambar 1. Peta Tatanan Tektonik Kepulauan Indonesia (Bock *et al.*, 2003)

Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke utara dan menyusup ke bawah Lempeng Eurasia karena Lempeng Indo-Australia merupakan lempeng samudra yang memiliki berat jenis lebih besar dibandingkan lempeng benua sehingga lempeng samudra akan menunjam di bawahnya. Adanya akumulasi energi hasil desakan akibat pertemuan dua lempeng yang melampaui batas elastisitasnya mengakibatkan muncul bidang patahan atau sesar. Sesar adalah pergeseran antara dua blok batuan baik secara mendatar, ke atas maupun relatif ke bawah blok lainnya. Pergeseran antar blok mengakibatkan adanya akumulasi energi, sehingga menimbulkan gempa bumi. Hal ini menunjukkan bahwa kawasan sesar atau patahan merupakan zona yang rawan terhadap gempa bumi.

Pulau Jawa bagian selatan merupakan daerah yang rawan terjadi gempa bumi karena terdapat banyak patahan atau sesar yang aktif. Beberapa di antaranya adalah Sesar Cimandiri, Sesar Opak, dan Sesar Grindulu. Sesar Cimandiri terletak di Jawa Barat, Sesar Opak di Yogyakarta, sedangkan Sesar Grindulu di Jawa Timur. Penelitian di kawasan Sesar Grindulu relatif masih minim dibandingkan dengan penelitian di kawasan Sesar Opak dan Sesar Cimandiri.

Penelitian mengenai Sesar Cimandiri yang pernah dilakukan yaitu penentuan karakteristik Sesar Cimandiri segmen Pelabuhan Ratu-Citarik dengan metode magnet bumi (Syirojudin, 2010) dan Sesar Cimandiri bagian timur dan implikasinya terhadap longsoran di Citatah Padalarang, Jawa Barat (Zakaria, 2009) . Penelitian mengenai Sesar Opak antara lain kajian pendahuluan Sesar Opak dengan metode gravitasi (Nurwidyanto, 2011) dan identifikasi jalur Sesar Opak berdasarkan analisis data

anomali medan magnet dan geologi regional Yogyakarta (Fathonah, 2011). Penelitian mengenai Sesar Grindulu yang telah dilakukan yaitu identifikasi Sesar Minor Grindulu berdasarkan data anomali medan magnet (Nurrohman, 2015) dan pemodelan anomali gravitasi dan identifikasi sesar lokal dalam penentuan jenis sesar di Pacitan (Parera, 2015), dimana kedua penelitian tersebut masih terbatas pada sesar minor atau sesar lokal yang diteliti.



Gambar 2. Peta Kelurusan Struktur Sesar Grindulu (Hidayat *et al.*, 2012)

Kabupaten Pacitan terletak di Pulau Jawa bagian selatan yang berpotensi terhadap gempa bumi akibat aktivitas lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia. Catatan sejarah menunjukkan bahwa gempa bumi di Kabupaten Pacitan yang terjadi pada tahun 1859 berkekuatan 7 SR, tahun 2013 berkekuatan 5,5 SR dengan kedalaman 10 km, dan gempa bumi pada tanggal 14 Juli 2014 berkekuatan 5,6 SR dengan

kedalaman 10 km. Berdasarkan goncangan gempa tersebut, Kabupaten Pacitan berskala IV MMI (*Modified Mercali Intensity*) (BMKG, 2014).

Sesar Grindulu pada Gambar 2 merupakan jalur patahan yang searah dengan jalur Sungai Grindulu. Sesar ini merupakan sesar mayor di Kabupaten Pacitan yang memiliki potensi untuk aktif di masa yang akan datang, sehingga diperlukan langkah-langkah mitigasi untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya gempabumi akibat aktivitas Sesar Mayor Grindulu. Salah satu langkah mitigasi yaitu dengan mengetahui karakteristik Sesar Mayor Grindulu. Oleh karena itu, peneliti ingin mengkaji Sesar Mayor Grindulu menggunakan metode geomagnet.

Melihat kondisi geografis Pacitan yang berbukit-bukit, maka metode geomagnet adalah metode yang paling relevan untuk diterapkan. Peneliti memfokuskan pada metode geomagnet dengan memanfaatkan nilai suseptibilitas atau sifat kemagnetan batuan dengan melihat pola anomali medan magnet di daerah penelitian. Hasilnya diharapkan dapat menggambarkan struktur bawah permukaan di jalur Sesar Mayor Grindulu. Penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode geomagnet untuk mengidentifikasi jalur sesar di antaranya adalah identifikasi jalur Sesar Minor Grindulu berdasarkan data anomali medan magnet (Nurrohman, 2015), dan interpretasi struktur bawah permukaan dengan metode geomagnet di jalur Sesar Oyo (Heningtyas, 2017). Oleh karena itu, metode ini diharapkan mampu untuk menginterpretasi struktur bawah permukaan di kawasan jalur Sesar Mayor Grindulu sehingga peneliti melakukan penelitian dengan judul **“Interpretasi Struktur Bawah**

Permukaan dan Identifikasi Jalur Sesar Mayor Grindulu Berdasarkan Data Anomali Medan Magnet”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut :

1. Indonesia merupakan daerah pertemuan 3 lempeng, sehingga terdapat zona subduksi yang rawan akan bencana.
2. Aktivitas sesar mampu menimbulkan gempa bumi.
3. Kabupaten Pacitan merupakan daerah yang dilalui oleh jalur Sesar Mayor Grindulu.
4. Penelitian mengenai identifikasi pada jalur Sesar Mayor Grindulu belum pernah dilakukan menggunakan metode geomagnet.

C. Batasan Masalah

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

1. Kawasan penelitian yang mencakup Jalur Sesar Mayor Grindulu meliputi 2 kecamatan, yaitu Kecamatan Pacitan dan Kecamatan Arjosari dengan koordinat $8^{\circ}1'75,02''$ LS sampai $8^{\circ}1'28,33''$ LS dan $111^{\circ}0'57,63''$ BT sampai $111^{\circ}1'24,65''$ BT.
2. Akuisisi medan magnet menggunakan metode *looping*.

3. Nilai suseptibilitas batuan pada penelitian ini menggunakan satuan Standar Internasional (SI).

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah di atas dapat diperoleh beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pola persebaran nilai anomali medan magnet di kawasan Jalur Sesar Mayor Grindulu ?
2. Bagaimana pemodelan struktur bawah permukaan di kawasan Jalur Sesar Mayor Grindulu berdasarkan persebaran nilai anomali medan magnet?
3. Bagaimana identifikasi Jalur Sesar Mayor Grindulu berdasarkan persebaran nilai anomali medan magnet ?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui pola persebaran nilai anomali medan magnet di kawasan Jalur Sesar Mayor Grindulu.
2. Mengetahui struktur bawah permukaan di kawasan Jalur Sesar Mayor Grindulu berdasarkan persebaran nilai anomali medan magnet.
3. Mengidentifikasi Jalur Sesar Mayor Grindulu berdasarkan persebaran nilai anomali medan magnet.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menambah informasi mengenai struktur bawah permukaan di kawasan jalur Sesar Mayor Grindulu.
2. Menjadi pertimbangan pemerintah dalam kegiatan pembangunan dan mitigasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Kemagnetan

1. Suseptibilitas Magnet

Kemampuan suatu material untuk termagnetisasi digambarkan oleh nilai suseptibilitas magnet (k). Suseptibilitas magnet (k) merupakan parameter fisis dari batuan yang dicari pada pengukuran geomagnet. Faktor yang mempengaruhi nilai suseptibilitas adalah litologi dan mineral-mineral penyusun batuan. Nilai suseptibilitas batuan ditunjukkan pada Tabel 1-4.

Jika sebuah material dengan nilai suseptibilitas magnet (k) diletakkan pada medan magnet luar dengan kuat medan magnet \mathbf{H} (A/m), maka material tersebut akan terinduksi oleh medan magnet luar sehingga memiliki nilai intensitas magnetisasi \mathbf{M} (A/m) yang ditunjukkan oleh (Telford *et al.*, 2004):

$$\mathbf{M} = k \mathbf{H} \quad (1)$$

Tabel 1. Nilai Suseptibilitas Batuan Metamorf (Telford *et al.*, 2004)

Nama Batuan	Kisaran ($\times 10^{-3}$)	Rata-rata ($\times 10^{-3}$)
<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

Tabel 2. Nilai Suseptibilitas Batuan Beku (Telford *et al.*, 2004)

Nama Batuan	Kisaran ($\times 10^{-3}$)	Rata-rata ($\times 10^{-3}$)
<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

Tabel 3. Nilai Suseptibilitas Mineral Batuan (Telford *et al.*, 2004)

Mineral	Kisaran ($\times 10^{-3}$)	Rata-rata ($\times 10^{-3}$)
<i>Graphite</i>		0,1
<i>Quartz</i>		-0,01
<i>Rock salt</i>		-0,01
<i>Anhydrite, gypsum</i>		-0,01
<i>Calcite</i>	-0,001- -0,01	
<i>Coal</i>		0,02
<i>Clays</i>		0,2
<i>Chalcopyrite</i>		0,4
<i>Sphalerite</i>		0,7
<i>Cassiterite</i>		0,9
<i>Siderite</i>	1-4	
<i>Pyrite</i>	0,05-5	1,5
<i>Limonite</i>		2,5
<i>Arsenopyrite</i>		3
<i>Hematite</i>	0,5-35	6,5
<i>Chromite</i>	3-110	7
<i>Franklinite</i>		430
<i>Pyrrhotite</i>	1-6000	1500
<i>Ilmenite</i>	300-3500	1800
<i>Magnetite</i>	1200-19200	6000

Tabel 4. Nilai Suseptibilitas Batuan Sedimen (Telford *et al.*, 2004)

Nama Batuan	Kisaran ($\times 10^{-3}$)	Rata-rata ($\times 10^{-3}$)
<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

2. Induksi Magnet

Adanya medan magnet yang berasal dari bumi menyebabkan terjadinya induksi magnet. Induksi magnet **B** adalah medan magnet total yang masih dipengaruhi oleh medan magnet bumi **B₀** dan medan magnet hasil induksi **B_m** dari material yang memiliki nilai suseptibilitas. Secara umum ditunjukkan pada persamaan 2 (Serway & Jeweet, 2004):

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_m \quad (2)$$

dengan **B₀** didefinisikan sebagai:

$$\mathbf{B}_0 = \mu_0 \mathbf{H} \quad (3)$$

dengan μ_0 adalah permeabilitas ruang hampa dengan nilai $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A m, sedangkan **B_m** didefinisikan sebagai:

$$\mathbf{B}_m = \mu_0 \mathbf{M} \quad (4)$$

Persamaan 3 dan 4 disubstitusikan ke persamaan 2 sehingga diperoleh:

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (5)$$

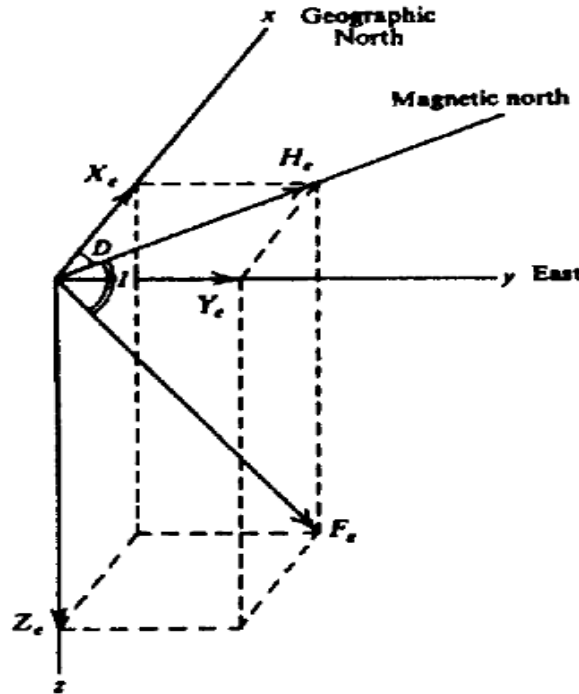
Substitusi persamaan 1 dan 5 ke persamaan 6, sehingga didapatkan persamaan induksi magnet \mathbf{B} sebagai berikut (Telford *et al.*, 2004)

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_0 (1 + k) \mathbf{H} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H} \quad (6)$$

dengan $\mu_r = (1+k)$ adalah permeabilitas relatif.

B. Medan Magnet Bumi

Medan magnet bumi memiliki komponen atau elemen-elemen dengan tiga arah utama yang dinyatakan dalam koordinat kartesian (Gambar 3) dengan X_e komponen arah utara, Y_e komponen arah timur, dan Z_e komponen arah vertikal (Telford *et al.*, 2004).



Gambar 3. Elemen-Elemen Medan Magnet Bumi (Telford *et al.*, 2004)

Elemen-elemen medan magnet bumi terdiri atas:

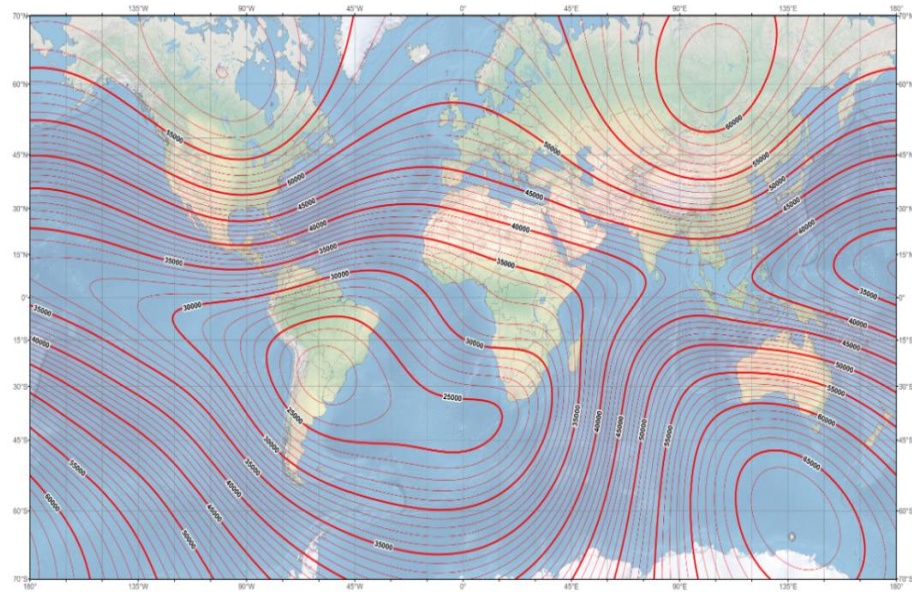
1. Deklinasi (D), yaitu sudut antara utara magnet bumi dengan komponen horizontal yang dihitung dari arah utara menuju timur (sudut antara utara magnet bumi dan utara geografis).
2. Inklinasi (I), yaitu sudut antara medan magnet total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah (sudut antara bidang horizontal dan vektor medan magnet total).
3. Komponen horizontal (H_e), yaitu magnitudo dari medan magnet total pada arah horizontal.
4. Medan magnet total (F_e), yaitu magnitudo dari vektor medan magnet total.

Berdasarkan analisis harmonik sferis dari medan magnet terukur di permukaan bumi, hampir 99% dari medan magnet yang terukur berasal dari dalam bumi yang disebut medan magnet utama bumi (Telford *et al.*, 2004). Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu relatif lebih lambat yang disebut variasi sekuler. Untuk menyeragamkan nilai medan magnet utama bumi dibuat standar nilai yang disebut *International Geomagnetism Reference Field* (IGRF) yang diperbaharui setiap 5 tahun sekali. Nilai IGRF dapat diperoleh dari website NOAA.

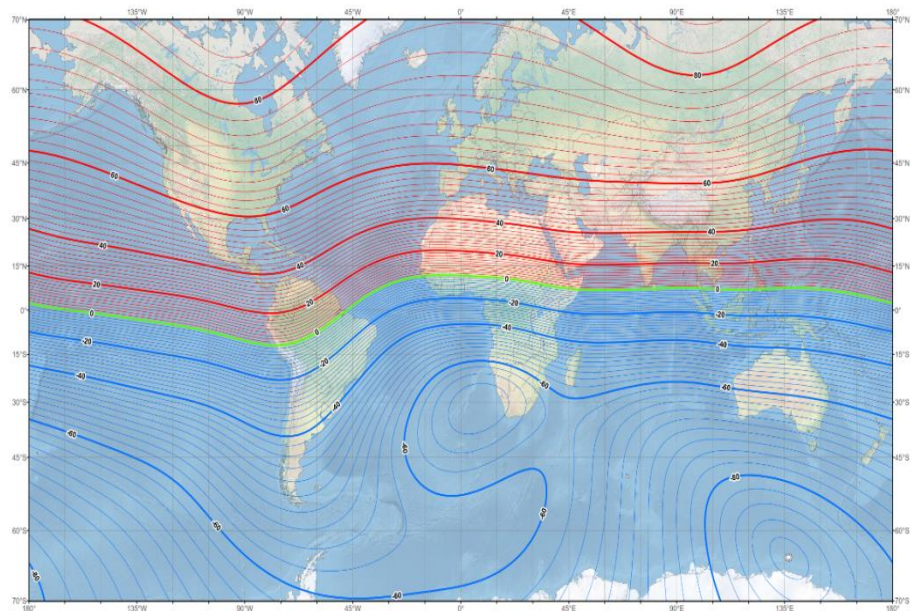
Nilai total intensitas medan utama berkisar 25.000 nT - 65.000 nT dan untuk Pulau Jawa nilai medan utamanya berkisar ± 45.000 nT (Gambar 4). Nilai deklinasi dan inklinasi berkisar -90° sampai 90° dan untuk Pulau Jawa nilai deklinasinya berkisar 0°

- 2° dan inklinasinya berkisar -20° sampai 40° ditunjukkan oleh Gambar 5 dan Gambar

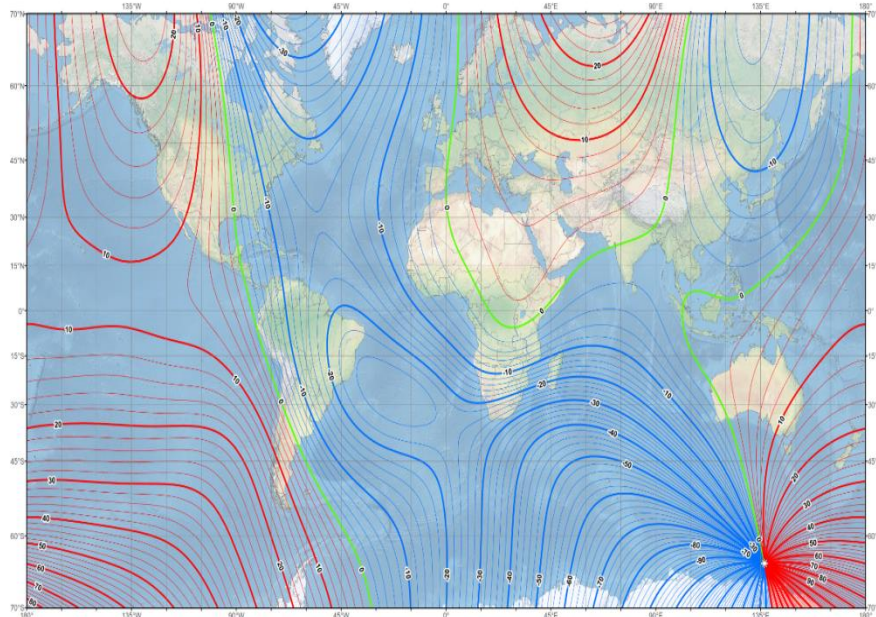
6.



Gambar 4. Model Medan Magnet Bumi (NOAA, 2015)



Gambar 5. Model Inklinasi Medan Magnet Bumi (NOAA, 2015)



Gambar 6. Model Deklinasi Medan Magnet Bumi (NOAA, 2015)

C. Medan Magnet Luar

Medan magnet luar adalah medan magnet yang berasal dari pengaruh luar bumi. Medan magnet luar ini menyumbang porsi yang kecil dalam pengukuran medan magnet total. Medan magnet luar ini disebabkan oleh adanya arus listrik di ionosfer yang bervariasi sangat cepat terhadap waktu (Telford *et al.*, 2004). Beberapa hal yang mempengaruhi medan magnet luar antara lain:

1. Siklus 11 tahun sekali yang berhubungan dengan bintik matahari.
2. Variasi harian matahari dengan periode 24 jam yang berkisar hingga 30 nT dan bervariasi terhadap ketinggian lintang maupun musim serta dipengaruhi oleh adanya angin matahari dan arus di ionosfer.

3. Variasi harian dengan periode 25 jam yang berhubungan dengan pasang surut bulan dan mempunyai jangkauan 2 nT.
4. Badai magnetik yaitu gangguan yang bersifat sementara dengan jangkauan hingga lebih dari 1.000 nT.

Medan magnet luar ini juga harus direduksi sehingga perlu dilakukan koreksi variasi harian. Untuk mendapatkan nilai variasi harian, digunakan persamaan (Gravmag, 2015):

$$B_{VH} = \frac{t_n - t_a}{t_b - t_a} (B_b - B_a) \quad (7)$$

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

D. Anomali Medan Magnet

Anomali medan magnet merupakan nilai hasil perhitungan medan magnet setelah dikoreksi IGRF dan variasi harian. Adanya anomali medan magnet disebabkan oleh variasi susunan mineral-mineral magnetik yang terkandung dalam batuan. Karena arah B sama dengan B_{IGRF} dan B_{VH} maka nilai anomali medan magnet ΔB ditunjukkan pada persamaan 8 (Telford *et al.*, 2004):

$$\Delta B = B - B_{IGRF} \pm B_{VH} \quad (8)$$

dengan B adalah nilai medan magnet total dalam nT, B_{IGRF} adalah nilai IGRF yang mewakili medan magnet utama bumi \mathbf{B}_0 dalam nT, B_{VH} adalah nilai variasi harian dalam nT.

E. Kemagnetan Material Bumi

Setiap jenis material mempunyai sifat dan karakteristik tertentu dalam medan magnet. Material diklasifikasikan menjadi empat jenis berdasarkan nilai suseptibilitas magnet, yaitu diamagnet, paramagnet, ferromagnet, dan ferrimagnet (Hinze *et al.*, 2012).

1. Diamagnet

Diamagnet adalah material 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 $k < 0$ atau negatif.

2. Paramagnet

Paramagnet adalah material yang memiliki jumlah elektron tidak lengkap (sebagian ada elektron yang tidak berpasangan) pada kulit atomnya. Tanpa pengaruh kuat medan magnet luar, momen magnet memiliki arah orientasi yang acak, sehingga apabila ada pengaruh dari medan magnet luar, maka momen magnet akan sejajar

dengan medan tersebut. Paramagnet memiliki nilai suseptibilitas yang positif namun sangat kecil berkisar antara $0 < k < 10^{-3}$ dalam satuan SI.

3. Ferromagnet

Ferromagnet adalah material 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 secara signifikan. Material yang bersifat ferromagnet memiliki nilai suseptibilitas yang selalu positif dan lebih besar dari $k > 1$.

4. Ferrimagnet

Ferrimagnet adalah material 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 $10^{-3} < k < 0$ SI.

F. Transformasi

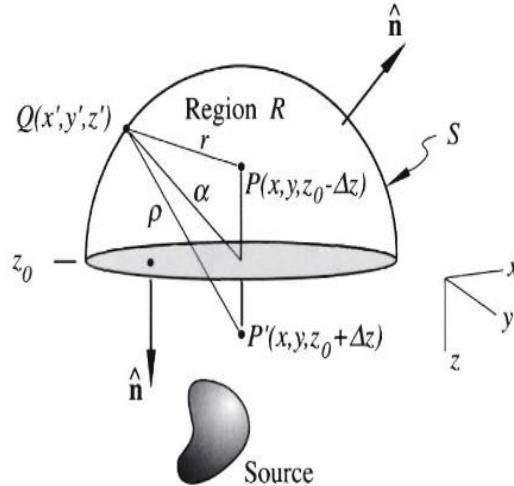
1. Reduksi ke kutub

Proses transformasi reduksi ke kutub atau *Reduction to pole* (RTP) merupakan tahapan untuk memposisikan benda penyebab anomali secara tepat berada pada arah vertikal dengan mengubah arah magnetisasinya. Proses ini dilakukan dengan mengubah nilai deklinasi $0,91^\circ$ dan inklinasi -33° pada daerah penelitian menjadi

berada di daerah kutub yang memiliki nilai deklinasi 0° dan inklinasi 90° . Hal tersebut menjadikan medan magnet yang awalnya bersifat *dipole* menjadi *monopole*.

2. Kontinuasi ke atas

Kontinuasi ke atas dilakukan dengan mentransformasi medan potensial yang diukur di permukaan tertentu ke medan potensial pada permukaan lainnya yang lebih jauh dari sumber. Persamaan 9 menjelaskan prinsip dasar dari proses kontinuasi ke atas, yaitu suatu medan potensial dapat dihitung pada setiap titik di dalam suatu daerah berdasarkan sifat medan pada permukaan yang melingkupi daerah tersebut. Proses ini dilakukan untuk mereduksi anomali yang berasal dari sumber yang dangkal dengan melihat kecenderungan pola kontur hasil kontinuasi ke atas pada ketinggian tertentu.



Gambar 7. Kontinuasi ke Atas pada Permukaan Horizontal (Blakely, 1996)

Konsep dasar transformasi ini berasal dari identitas ketiga Teorema Green. Teorema ini menjelaskan bahwa apabila suatu fungsi U bersifat harmonik, kontinu dan

mempunyai turunan yang kontinu di sepanjang daerah R maka nilai U pada suatu titik P di dalam daerah R (Gambar 7) dapat dinyatakan dalam persamaan (Blakely, 1996):

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) dS \quad (9)$$

dengan S menunjukkan permukaan daerah R , n menunjukkan arah normal keluar, dan r adalah jarak dari titik P ke suatu titik di permukaan S .

G. Proton Precession Magnetometer

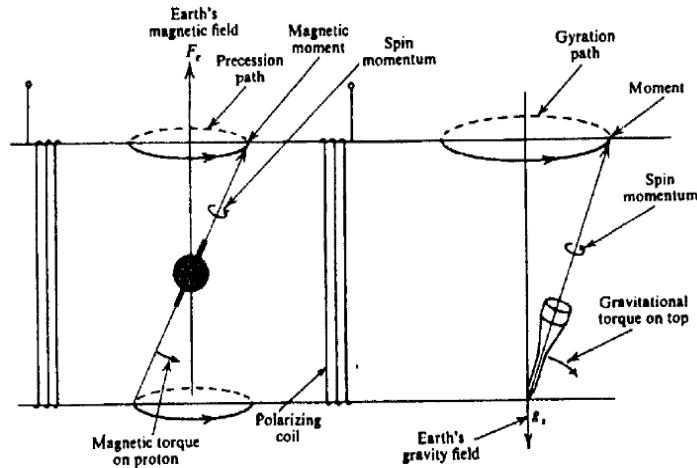
Proton Precession Magnetometer atau PPM merupakan alat untuk mengukur medan magnet total atau B . Alat ini terdiri dari tabung sensor dan tabung *console*. Tabung sensor berisi koil atau kumparan yang melingkupi zat cair yang kaya akan proton (*kerosin* atau minyak tanah), sedangkan pada tabung *console* terdapat baterai, *amplifier*, dan rangkaian penghitung frekuensi atau *counter*.

Prinsip kerja PPM didasarkan pada putaran dari partikel bermuatan. Putaran dari partikel bermuatan ini menghasilkan momen magnet dan momentum angular pada arah sumbu putarnya. Setiap proton adalah massa yang berputar dan membawa muatan listrik positif, sehingga sumbu proton akan berpresesi, seperti ditunjukkan pada Gambar 8. 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 L , dan medan magnet bumi B yang dapat dinyatakan dalam persamaan (Telford *et al.*, 2004):

$$f = \frac{m}{2\pi L} B = \frac{GB}{2\pi} \quad (10)$$

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

$$B = 23,48f \quad (\text{nT}) \quad (11)$$



Gambar 8. Analogi *Proton Precession* dan *Spinning-Top* (Telford *et al.*, 2004)

Pada saat pengukuran, tabung sensor dihubungkan dengan kabel penghubung ke tabung *console* dan tongkat penyangga sensor. Ketika antara tabung sensor dan tabung *console* belum dihubungkan maka tidak ada arus yang melalui kumparan sehingga tidak ada medan magnet di sekitar kumparan yang mengakibatkan proton-proton di dalam sensor mempolarisasikan diri ke arah medan magnet bumi. Namun, ketika tabung sensor dan tabung *console* sudah dihubungkan maka terdapat arus yang melewati kumparan sehingga menimbulkan medan magnet baru di sekitar kumparan. Hal ini mengakibatkan proton-proton tersebut mempolarisasikan diri pada medan magnet kumparannya. Pada saat menekan tombol READ pada tabung *console* yang artinya memutus arus, pada saat tersebut kumparan 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 *et al.*, 2004).

H. Sesar

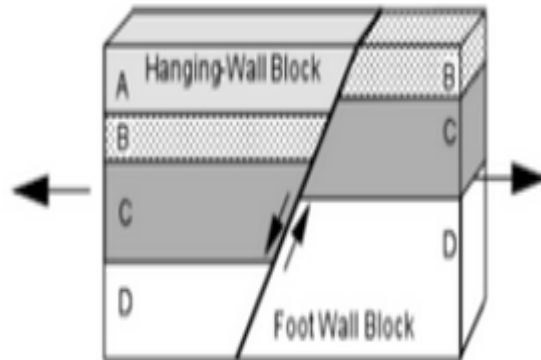
Sesar atau patahan merupakan struktur retakan yang mengalami pergeseran (Noor, 2012). Sesar terjadi karena batuan mengalami efek tegangan yang melampaui kekuatan elastisitasnya. Pergeseran blok batuan yang retak tersebut dapat terjadi dalam jarak yang sangat kecil sampai dengan skala yang lebih besar atau disebut dengan daerah sesar skala regional.

Dalam keadaan yang sebenarnya, permukaan sesar dapat mempunyai keadaan yang berbeda dan gerakannya dapat mempunyai arah yang berlainan sepanjang permukaannya. Gerakan sesar dapat diklasifikasikan menjadi tiga, antara lain:

a. *Normal Faults*

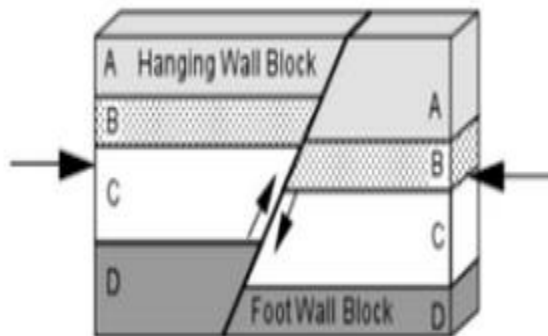
Normal faults atau sesar turun adalah patahan yang terjadi karena gaya tegangan tensional horizontal pada batuan yang bersifat retas dimana *hanging block* telah

mengalami pergeseran relatif ke arah bagian bawah terhadap *footwall block* yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. *Normal Faults* atau Sesar Turun (Noor, 2012)

b. *Reverse Faults*

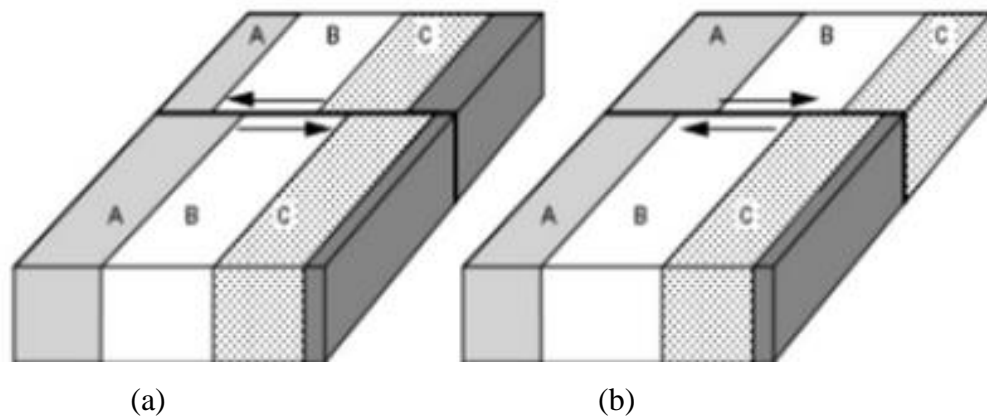


Gambar 10. *Reverse Faults* atau Sesar Naik (Noor, 2012)

Reverse faults atau sesar naik adalah patahan yang terjadi karena gaya tegasan kompresional horizontal pada batuan yang bersifat retas, dimana *hanging block* berpindah relatif ke arah atas terhadap *footwall block* yang ditunjukkan pada Gambar 10.

c. *Strike Slip Faults*

Strike slip faults atau sesar geser adalah patahan yang pergerakannya berarah horizontal mengikuti arah pergerakannya. Patahan jenis *strike slip faults* dapat dibagi menjadi dua tergantung pada sifat pergerakannya. Dengan mengamati pada salah satu sisi bidang patahan yang berlawanan maka jika bidang pada salah satu sisi bergerak ke arah kiri disebut patahan *left-lateral strike slip faults*. Jika bidang patahan pada sisi lainnya bergerak ke arah kanan disebut *right-lateral strike slip faults* yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Sesar Geser (a) *Left-lateral strike slip faults* (b) *Right-lateral strike slip faults*

I. Pembagian Umur Geologi

Untuk mempermudah menganalisa gejala geologi dan memperkirakan umur batuan, para ahli geologi membagi waktu geologi menjadi satuan-satuan yang lebih

kecil serta memberi nama pada tiap-tiap satuan tersebut dalam skala waktu geologi yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Jangka Skala Waktu Geologi (Noor, 2012)

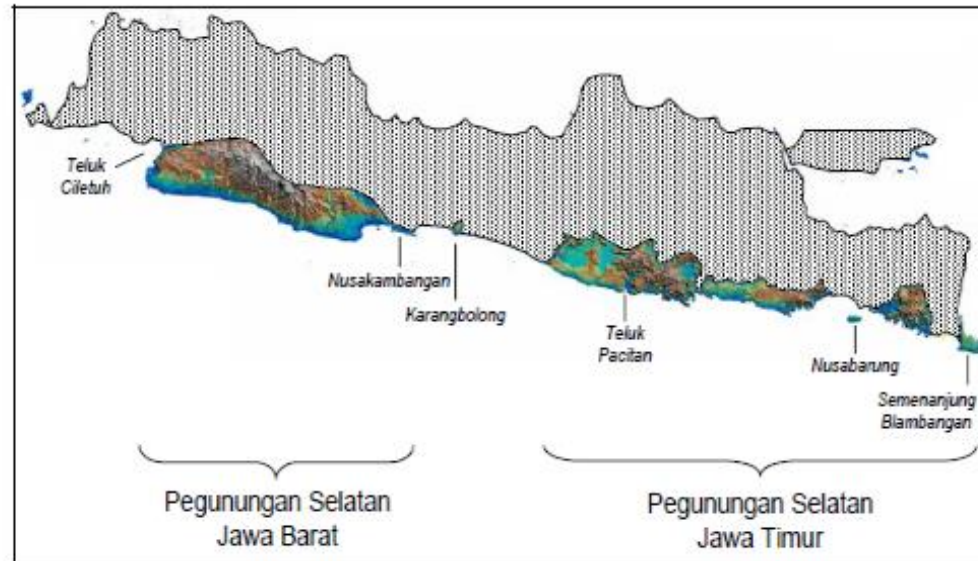
Zaman	Kala	Jangka Waktu ($\times 10^6$ tahun yang lalu)		
Kwartar	Holosen	Sekarang	-	?
	Pleistosen	?	-	0,6
Tersier	Pliosen	0,6	-	11
	Miosen	11	-	25
	Oligosen	25	-	40
	Eosen	40	-	60
	Paleosen	60	-	70
Kapur		70	-	135
Jura		135	-	180
Trias		180	-	225
Perm		225	-	270
Pensylvanian		270	-	330
Mississippian		330	-	350
Devon		350	-	400
Silur		400	-	440
Ordovisium		440	-	500
Kambrium		500	-	600
Pra Kambrium		600	-	4500

J. Geologi Daerah Penelitian

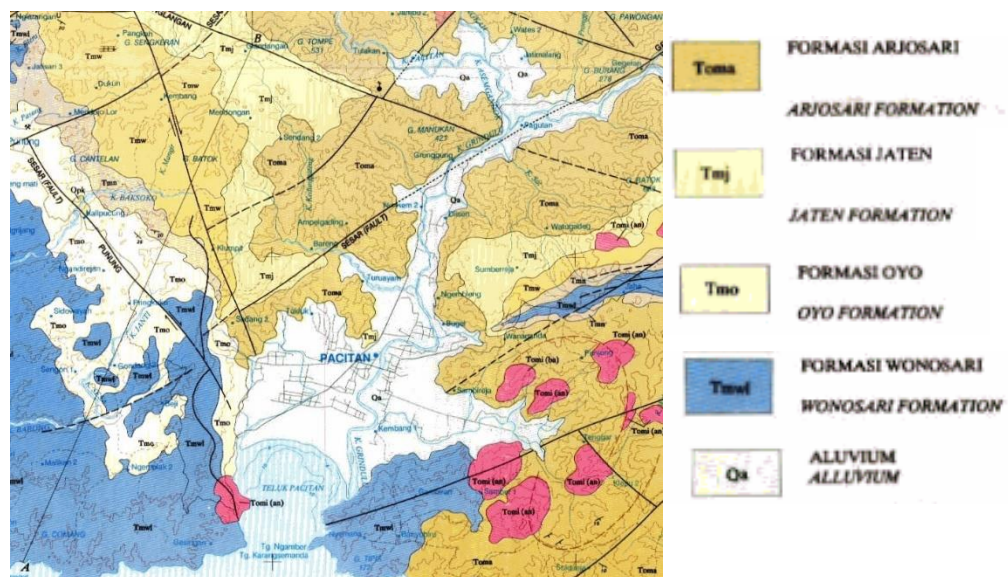
Secara fisiografi daerah Pacitan dan sekitarnya terletak pada jalur Pegunungan Selatan Jawa Timur yang termasuk dalam Formasi Andesit Tua. Pegunungan Selatan bagian timur memanjang dari Yogyakarta hingga Semenanjung Blambangan yang ditunjukkan pada Gambar 12 (Bemmelen, 1949).

Pada daerah Pacitan dan sekitarnya berkembang struktur seperti lipatan, sesar, dan kekar (Sampurna dan Samodra, 1997). Salah satu sesar yang berada di daerah

Pacitan adalah Sesar Grindulu. Sesar Grindulu merupakan sesar aktif yang terbentuk awal Miosen dengan orientasi barat daya-timur laut (Gultaf *et al.*, 2015).



Gambar 12. Pegunungan Selatan Bagian Barat dan Timur (Bemmelen, 1949)



Gambar 13. Peta Geologi Daerah Penelitian (Samodra *et al.*, 1992)

Berdasarkan peta geologi, daerah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 13 terdiri atas beberapa formasi batuan antara lain: Formasi Toma, Formasi Tmj, Formasi Oyo, Formasi Qa, dan Formasi Tmwl (Samodra *et al.*, 1992). Untuk susunan formasi dari yang paling tua ke paling muda yaitu Formasi Arjosari (Toma), Formasi Jaten (Tmj), Formasi Oyo (Tmo), Formasi Wonosari (Tmwl) dan Formasi Alluvium (Qa) yang ditunjukkan pada Gambar 14.

1. Formasi Toma (Arjosari)

Formasi Toma terbentuk pada Oligosen akhir hingga awal Miosen yang tersusun atas batu konglomerat aneka bahan, batu pasir, batu lanau, batu gamping, batu lempung, napal pasiran, batu pasir berbatu apung bersisipan breksi gunung api, lava, dan tuf.

2. Formasi Tmj (Jaten)

Formasi Tmj terbentuk awal Miosen yang tersusun atas batu konglomerat, batu pasir konglomeratan, batu pasir tufan, batu lumpur, batu lanau lignit, serpih karbonan dan tuff setempat belerang.

3. Formasi Tmo (Oyo)

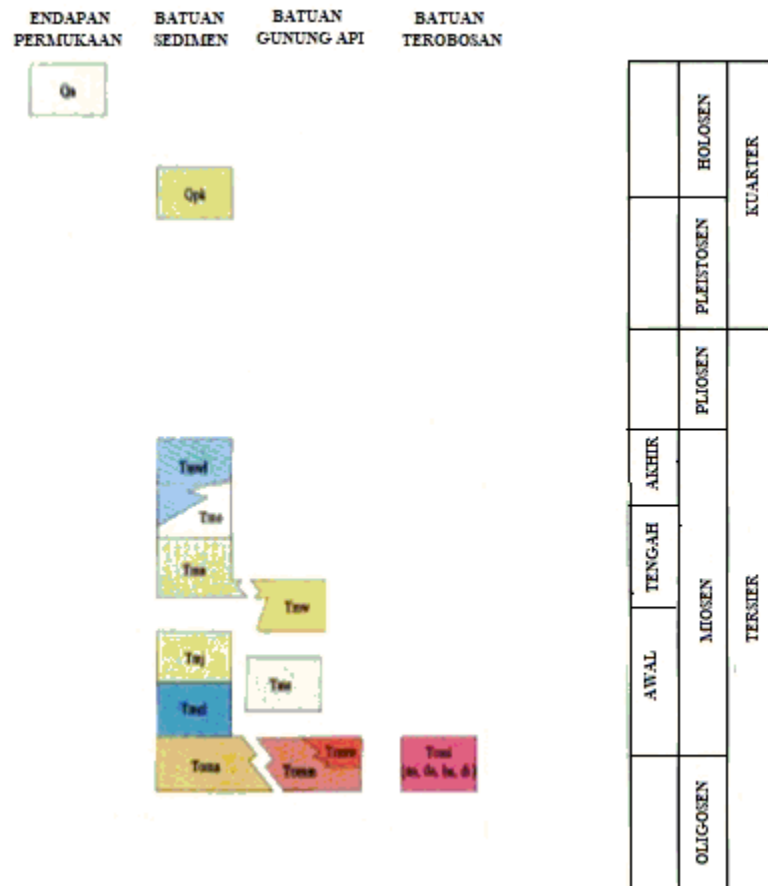
Formasi Tmo terbentuk akhir Miosen yang tersusun atas batu pasir gampingan, batu pasir tufan, batu lanau gampingan, batu gamping tufan, napal pasiran dan napal tufan.

4. Formasi Tmwl (Wonosari)

Formasi Tmwl terbentuk akhir Miosen hingga awal Pliosen yang tersusun atas batu gamping terumbu, batu gamping berlapis, batu gamping berkepingan, batu gamping pasir dan napal.

5. Formasi Qa (Alluvium)

Formasi Qa terbentuk pada waktu Holosen yang tersusun atas kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur.



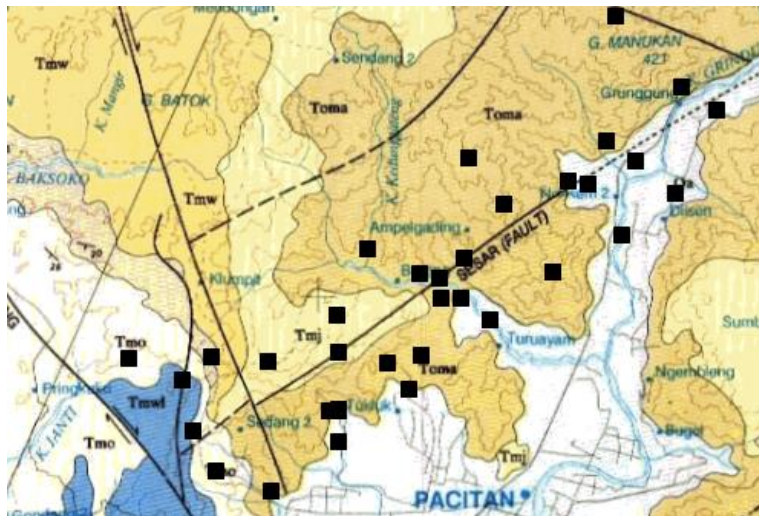
Gambar 14. Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian (Samodra *et al.*, 1992)

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan akuisisi data geomagnet dalam penelitian ini dilakukan dengan mengukur besar medan magnet total pada titik-titik daerah penelitian yang telah ditentukan. Kegiatan akuisisi data geomagnet dilakukan selama 3 hari pada tanggal 24-26 Agustus 2017 dengan batas wilayah penelitian 81°75,02" LS sampai 81°28,33" LS dan 111°0'57,63" BT sampai 111°1'24,65" BT. Daerah penelitian mencakup 2 kecamatan, yaitu Kecamatan Pacitan dan Kecamatan Arjosari Kabupaten Pacitan dengan 37 titik pengukuran seperti ditunjukkan pada Gambar 15.



KETERANGAN

■ : Titik Pengukuran

Gambar 15. Titik-Titik Pengukuran di Daerah Penelitian

B. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Berikut merupakan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan :

1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a) *Global Positioning System* (GPS) merek Garmin tipe 78S (Gambar 16) untuk mengetahui koordinat dan elevasi titik penelitian.



Gambar 16. GPS Garmin Tipe 78S

- b) Satu set *Proton Precession Magnetometer* (PPM) merk *Geometric* jenis G-856 yang ditunjukkan pada Gambar 17 terdiri dari (1) sensor untuk mengukur medan magnet, (2) *console* untuk mengetahui pembacaan medan magnet yang terukur, (3) kabel konektor untuk menghubungkan sensor dengan *console*, (4) tongkat untuk menyangga sensor saat dilakukan pengukuran.



Gambar 17. Satu Set PPM Merk *Geometric* Tipe G-856

- c) Kompas geologi (Gambar 18) untuk menunjukkan arah utara magnet.



Gambar 18. Kompas Geologi

- d) Jam digital untuk mengetahui waktu pengukuran.
- e) Peta geologi untuk mengetahui kondisi lapangan.
- f) Laptop untuk mengolah data yang diperoleh.
- g) Kamera untuk mendokumentasikan kegiatan dan singkapan-singkapan yang terlihat di permukaan.

- h) Meteran (Gambar 19) untuk mengukur panjang singkapan batuan di lapangan.



Gambar 19. Meteran

- i) Palu geologi (Gambar 20) untuk mengambil sampel batuan di lapangan.



Gambar 20. Palu Geologi

- j) Lembar kerja untuk mencatat data yang diperoleh, seperti koordinat titik penelitian, waktu pengukuran, nilai medan magnet yang terukur, kondisi cuaca dan kondisi lingkungan.

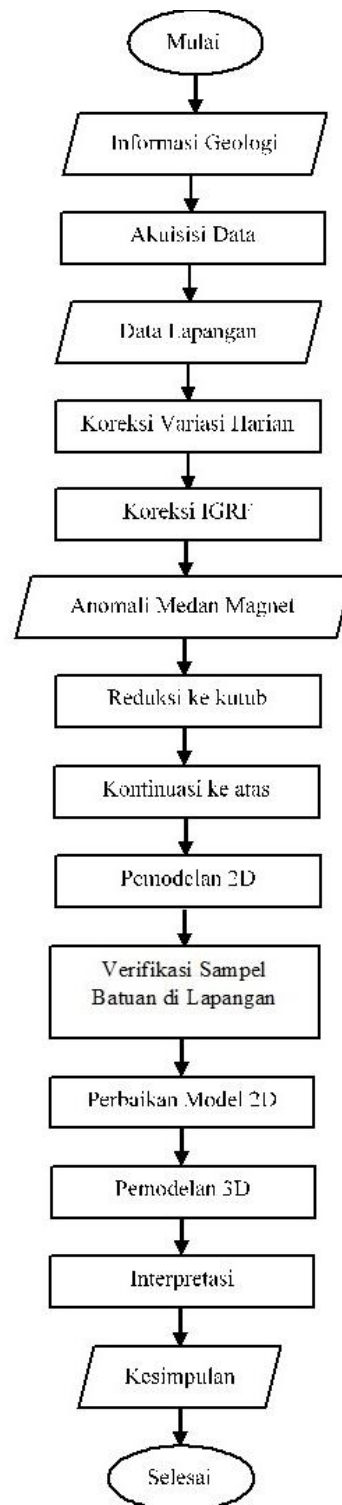
2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak atau *software* yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a) Surfer 12 untuk membuat desain survei, model kontur data penelitian, serta mengkonversi koordinat.
- b) Microsoft Excel untuk mengolah data yang diperoleh, seperti perhitungan koreksi IGRF, koreksi variasi harian, nilai anomali medan magnet.
- c) Microsoft Office 2017 untuk menyusun data.
- d) Global Mapper 13 untuk membuat desain survei dan input koordinat ke GPS.
- e) Coordinator-Collect Coordinate untuk mengetahui jalur menuju titik penelitian.
- f) Oasis Montaj 6.4.2 untuk melakukan reduksi ke kutub, kontinuasi ke atas, penyayatan, dan pemodelan.
- g) Magblox untuk memasukkan data geologi daerah penelitian sebelum diolah menjadi model 3D.
- h) Bloxer untuk mengedit pemodelan 3D dan mengubah format pemodelan dari *layer-layer* agar dapat diolah pada *software* Rockwork.
- i) Rockwork untuk pembuatan model 3D.

C. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki tahapan yang ditunjukkan pada diagram alir (Gambar 21).



Gambar 21. Diagram Alir Penelitian

D. Akuisisi Data Medan Magnet

Proses akuisisi data medan magnet diawali dengan mengkalibrasi alat, yaitu dengan melakukan proses *tuning* atau memilih sinyal (*signal strength*) paling kuat yang sesuai dengan nilai medan magnet di kawasan daerah penelitian. Nilai medan magnet di kawasan Sesar Mayor Grindulu bervariasi antara 45.062- 45.102 nT.

Akuisisi data dalam penelitian ini menggunakan metode *looping* dengan satu sensor. Dalam metode ini, satu sensor berfungsi untuk merekam data nilai medan magnet di titik *base* maupun nilai medan magnet di titik-titik penelitian.

Desain survei titik-titik penelitian berjumlah 37 titik dengan jarak antar titik 500-1000 m. Beberapa titik penelitian yang mengalami *offside* (pergeseran titik) dikarenakan dekat dengan benda-benda yang memiliki kemagnetan besar seperti tiang listrik dan jembatan. Untuk daerah dengan medan yang ekstrim sehingga menyulitkan proses akuisisi data, maka titik pengukuran ditempatkan pada daerah yang mudah dijangkau dan jauh dari gangguan, asalkan sudah dapat mewakili formasi batuan yang terdapat pada peta geologi.

Proses akuisisi data medan magnet di awal titik penelitian dilakukan dengan *setting* pada serangkaian alat PPM. Kemudian indikator N (*north*) pada sensor diarahkan ke arah utara magnet dengan menggunakan kompas. Setelah itu dilakukan pembacaan nilai medan magnet yang terukur di setiap titik penelitian sebanyak 3 atau 5 kali pada *console*. Pengukuran nilai medan magnet di setiap titik pengukuran membutuhkan waktu sekitar 5 menit. Pembacaan nilai medan magnet yang berulang

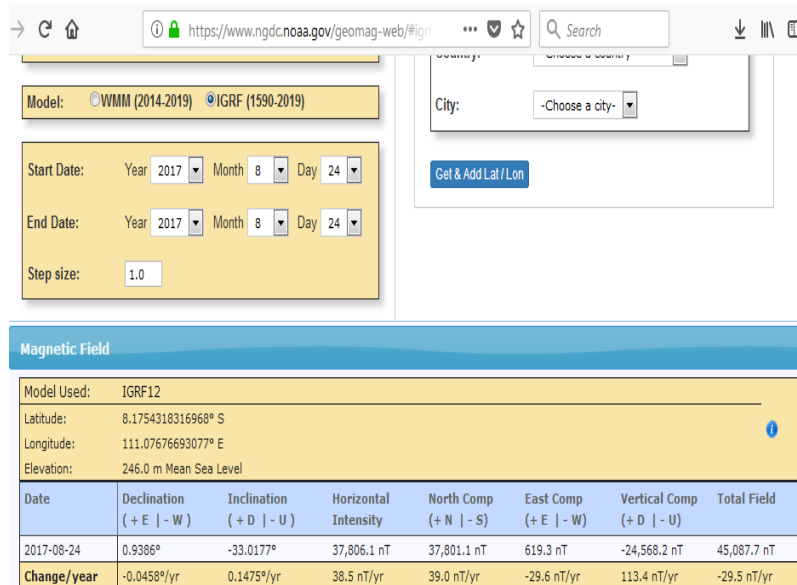
kali tersebut diberi selang waktu agar proton-proton yang berada dalam sensor tersebut kembali berpresesi. Nilai medan magnet kemudian dicatat dalam lembar kerja dan diberi keterangan mengenai kondisi lingkungan di sekitar titik penelitian.

E. Pengolahan Data

Pengukuran nilai medan magnet di lapangan berupa nilai medan magnet total yang kemudian dilakukan koreksi IGRF dan variasi harian untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet di daerah penelitian.

1. Koreksi IGRF

Koreksi IGRF merupakan koreksi yang dilakukan untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet yang sesungguhnya. Koreksi IGRF atau *International Geographic Reference Field* merupakan koreksi yang bersifat global yang datanya didapatkan dari *website* NOAA (www.ngdc.noaa.gov) seperti ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Koreksi IGRF pada *website* NOAA

2. Koreksi Variasi Harian

Koreksi variasi harian dilakukan karena nilai medan magnet yang terukur juga dipengaruhi oleh aktivitas ionisasi di atmosfer. Koreksi variasi harian dilakukan berdasarkan persamaan 7.

3. Reduksi ke kutub

Reduksi ke kutub merupakan proses untuk menghilangkan pengaruh deklinasi dan inklinasi dari data medan magnet. Proses reduksi ke kutub ini dilakukan agar nilai medan magnet yang bersifat *dipole* menjadi *monopole* sehingga anomali medan magnet lebih jelas terlihat. Proses reduksi ke kutub ini menggunakan *software* Oasis Montaj 6.4.2.

4. Kontinuasi ke atas

Kontinuasi ke atas merupakan proses pemfilteran data anomali medan magnet terhadap ketinggian. Hal ini berfungsi untuk menghilangkan nilai anomali lokal atau anomali yang berasal dari sumber-sumber di permukaan sehingga dapat memperjelas nilai anomali regional yang ditunjukkan oleh pola konturnya. Proses kontinuasi ke atas dilakukan menggunakan *software* Oasis Montaj 6.4.2 setelah proses reduksi ke kutub.

5. Pemodelan 2D

Pemodelan 2D dilakukan setelah diperoleh kontur anomali medan magnet yang telah dikontinuasi ke atas. Pemodelan ini dilakukan untuk memprediksi susunan struktur batuan bawah permukaan secara 2D. Pemodelan dilakukan dengan *software* Oasis Montaj 6.4.2. Data yang digunakan sebagai dasar pembuatan model 2D adalah

plot anomali medan magnet yang sudah dikontinuasi ke atas pada ketinggian 1000 m dengan mempertimbangkan keteraturan bentuk kontur yang terbentuk ketika *trial and errors*. Sebelum dilakukan pemodelan, data anomali medan magnet disayat sesuai dengan target penelitian. Proses penyayatan dilakukan untuk mendapatkan sampel nilai anomali medan magnet yang akan dimodelkan. Pada penelitian ini dibuat model 2D dengan lima sayatan yang disesuaikan dengan target penelitian dan informasi geologi di sekitarnya.

6. Pemodelan 3D

Pemodelan 3D dilakukan setelah pemodelan 2D selesai. Hal ini dikarenakan nilai suseptibilitas yang akan dimasukkan saat pemodelan 3D disesuaikan dengan suseptibilitas dari model 2D. Pada pemodelan 3D yang digunakan sebagai kontur awal yang akan disayat adalah kontur anomali medan magnet hasil reduksi ke kutub. *Software-software* yang digunakan dalam pemodelan 3D ini adalah Rockwork, Magblox, dan Bloxer. 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 (koordinat x dan y dalam kilometer), 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* dapat diedit lagi dengan *software* Bloxer menyesuaikan dengan model 2D. *Software* Bloxer juga mengubah format keluaran *software* Magblox agar dapat diolah oleh *software* Rockwork. Tahapan terakhir adalah

pemodelan 3D yang dilakukan dengan *software* Rockwork. Seluruh informasi data geologi dari proses analisa akan diproses menjadi sebuah model 3D berdasarkan nilai suseptibilitas.

BAB IV

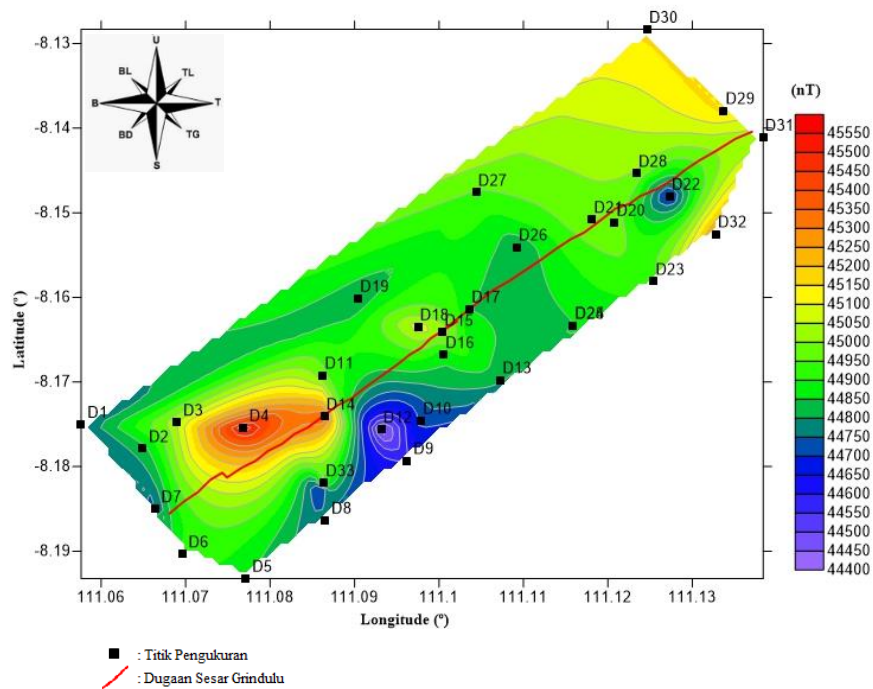
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Interpretasi struktur bawah permukaan pada kawasan Sesar Mayor Grindulu berdasarkan pengukuran medan magnet bertujuan untuk mengetahui persebaran nilai anomali medan magnet, struktur bawah permukaan dan identifikasi jalur sesar tersebut. Alat yang digunakan untuk akuisisi medan magnet di kawasan Sesar Mayor Grindulu adalah *Proton Precession Magnetometer* (PPM) merk *Geometric* tipe G-856.

Medan magnet yang terukur dengan menggunakan PPM merupakan medan magnet total yang terdiri atas medan magnet utama bumi, medan magnet luar, dan anomali medan magnet. Anomali medan magnet menjadi target metode geomagnet dikarenakan anomali medan magnet merepresentasikan struktur bawah permukaan pada kawasan tersebut. Anomali medan magnet diperoleh dengan melakukan koreksi variasi harian dan IGRF pada nilai medan magnet total. Nilai anomali medan magnet setelah dilakukan kedua koreksi tersebut dipengaruhi oleh medan magnet regional maupun lokalnya. Oleh karena itu, pada hasil perhitungan nilai anomali medan magnet tersebut dilakukan proses reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas untuk memperjelas sumber anomali medan magnet yang menjadi target penelitian.

A. Medan Magnet Total

Nilai medan magnet total hasil pengukuran di lapangan berkisar antara 44.400–45.550 nT. Distribusi nilai medan magnet total dapat diketahui dengan melakukan interpolasi nilai medan magnet total pada titik-titik pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 23.

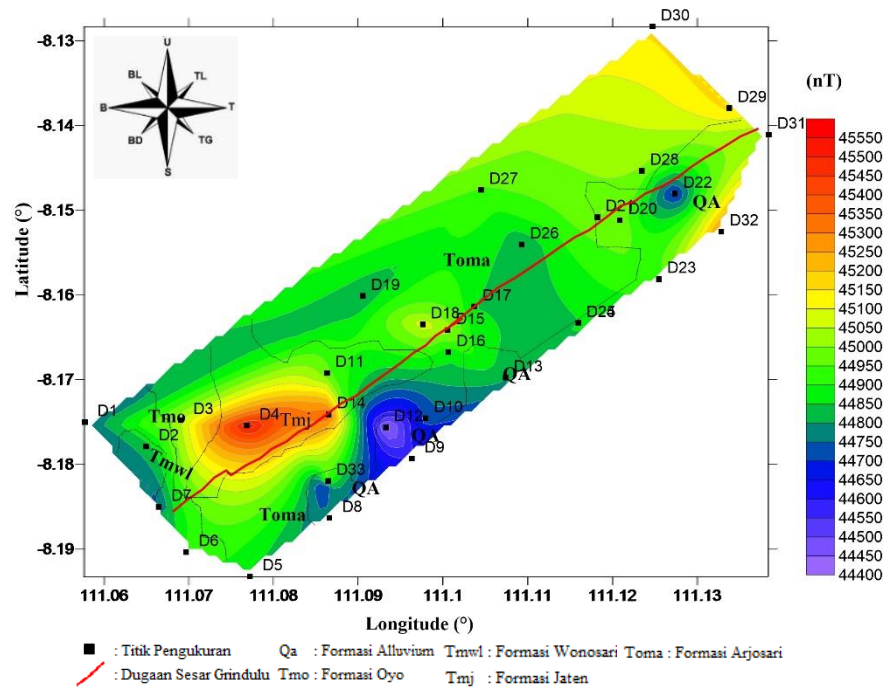


Gambar 23. Kontur Medan Magnet Total Daerah Penelitian

Skala warna pada kontur di atas menunjukkan adanya klosur rendah, sedang, hingga tinggi. Klosur rendah sebagian besar berada di bagian selatan daerah penelitian dengan nilai medan magnet total hasil pengukuran 44.400-44.800 nT. Klosur sedang sebagian besar berada di bagian tengah hingga bagian utara daerah penelitian dengan nilai medan magnet total berkisar antara 44.800-45.100 nT. Klosur tinggi sebagian

besar berada di bagian barat daya daerah penelitian dengan nilai medan magnet total berkisar antara 45.100-45.550 nT.

Gambar 23 belum dapat menunjukkan pengaruh geologi regional daerah penelitian terhadap medan magnet total, sehingga kontur medan magnet total tersebut perlu di-*overlay* dengan batas formasi batuan pada daerah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 24.



Gambar 24. Kontur Medan Magnet Total di-*overlay* dengan Peta Geologi

Kawasan Sesar Mayor Grindulu terdiri atas lima formasi batuan antara lain: Formasi Alluvium (Qa), Formasi Oyo (Tmo), Formasi Wonosari (Tmwl), Formasi Jaten (Tmj) dan Formasi Arjosari (Toma). Formasi Alluvium (Qa) terdiri atas material kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur. Formasi Oyo (Tmo) terdiri atas batu pasir gampingan, batu pasir tufan, batu lanau gampingan, batu gamping tufan,

napal pasiran, dan napal tufan. Formasi Wonosari (Tmwl) terdiri atas batu gamping terumbu, batu gamping berlapis, batu gamping berkepingan, batu gamping pasiran dan napal. Formasi Jaten (Tmj) terdiri atas batu konglomerat, batu pasir konglomeratan, batu pasir tufan, batu lumpur, batu lanau, lignit, serpih karbonan, dan tuf serta mengandung sedikit belerang, sedangkan Formasi Arjosari (Toma) terdiri atas konglomerat aneka bahan, batu pasir, batu lanau, batu gamping, batu lempung, napal pasiran, batu pasir berbatu apung bersisipan breksi gunung api, lava, dan tuf.

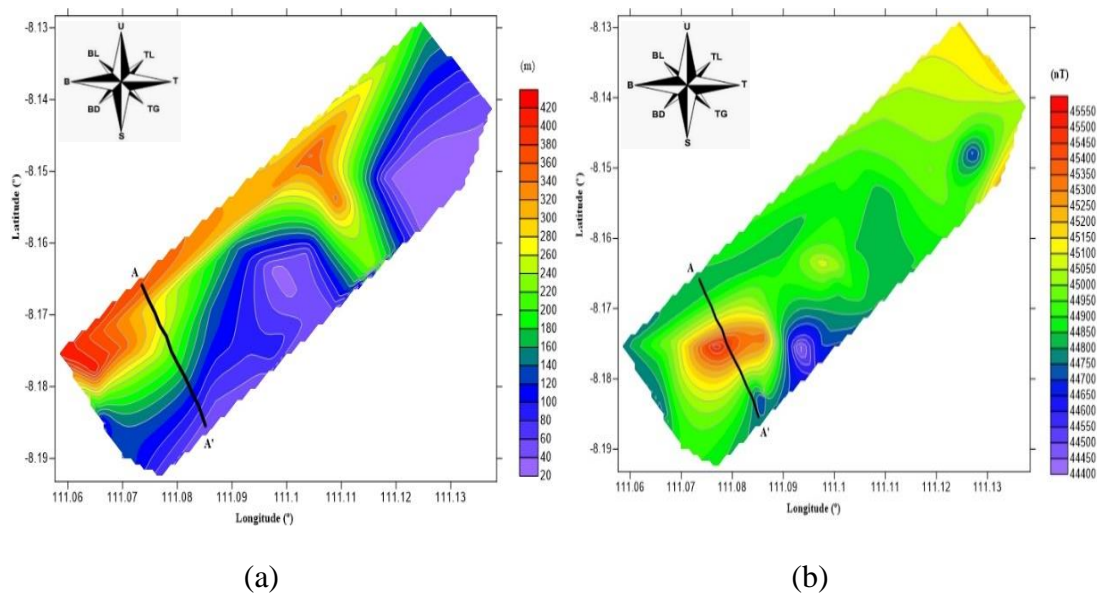
Gambar 24 menunjukkan bahwa klosur medan magnet total di kawasan jalur Sesar Mayor Grindulu bervariasi dari klosur rendah, sedang, dan tinggi. Klosur rendah sebagian besar berada pada Formasi Qa, klosur sedang mencakup beberapa formasi di antaranya Formasi Tmo, Tmwl dan Toma, sedangkan klosur tinggi berada pada Formasi Tmj.

Formasi Qa memiliki nilai medan magnet rendah dikarenakan Formasi Qa ini merupakan hasil endapan sungai dengan material atau batuan yang memiliki nilai suseptibilitas rendah seperti kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur. Formasi Tmo, Tmwl, dan Toma memiliki nilai medan magnet sedang dikarenakan formasi ini terdiri atas berbagai material penyusun seperti batu pasir, batu lempung, batu gamping yang memiliki nilai suseptibilitas rendah dan batu tuf, batu breksi yang memiliki nilai suseptibilitas tinggi. Formasi Tmj memiliki nilai medan magnet tinggi dikarenakan pada formasi ini terdapat intrusi basalt yang muncul hingga permukaan

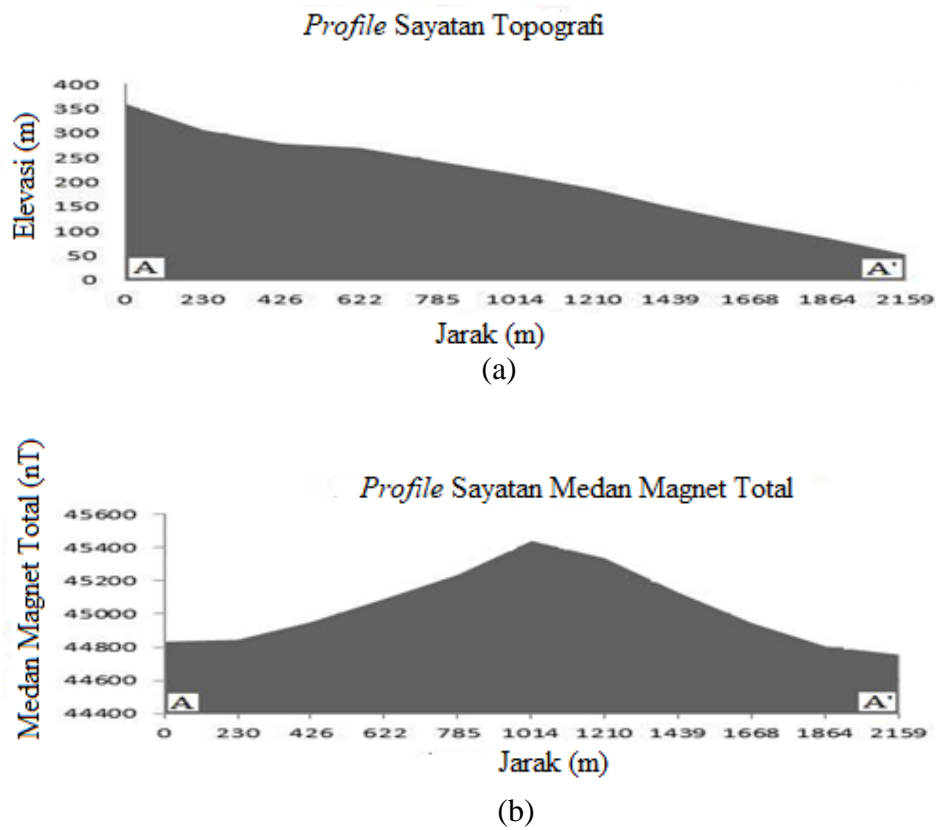
sepanjang 12,4 m, dimana batuan tersebut memiliki nilai suseptibilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan batuan sedimen yang mendominasi daerah penelitian.

B. Koreksi Topografi

Koreksi topografi atau ketinggian dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketinggian atau elevasi titik pengukuran terhadap nilai medan magnet total. Elevasi titik pengukuran di daerah penelitian berkisar antara 20 m sampai 420 m. Untuk mengetahui ada tidaknya keterkaitan antara topografi terhadap medan magnet total di daerah penelitian dilakukan sayatan pada koordinat yang sama pada kedua kontur yang ditunjukkan pada Gambar 25.



Gambar 25. (a) Kontur Topografi, (b) Kontur Medan Magnet Total Daerah Penelitian



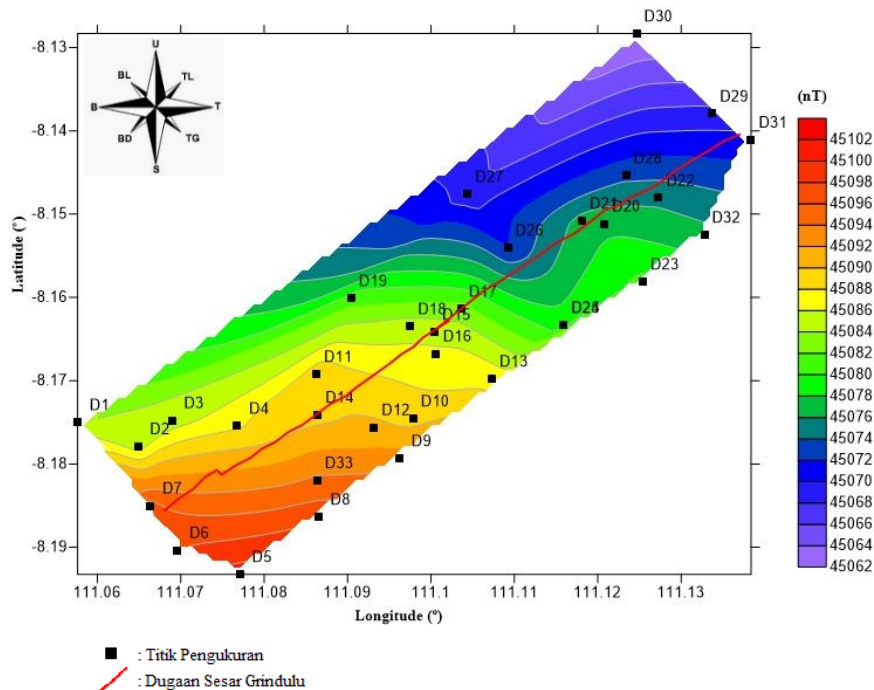
Gambar 26. (a) *Profile Sayatan Topografi*, (b) *Profile Sayatan Medan Magnet Total*

Berdasarkan *profile* sayatan topografi dan medan magnet total terlihat tidak ada hubungan antara ketinggian daerah penelitian dengan nilai medan magnet terukur. Hal tersebut ditunjukkan oleh hasil sayatan AA' pada kontur topografi dan medan magnet total pada Gambar 26. Sebagai contoh pada jarak 0-622 m pada *profile* sayatan topografi nampak daerah yang lebih tinggi namun menghasilkan nilai medan magnet yang tidak besar. Pada *profile* sayatan topografi pada jarak 622-1014 m dengan elevasi yang lebih rendah dibandingkan dengan jarak 0-622 m menghasilkan nilai medan

magnet total yang lebih besar. Oleh karena itu, tidak perlu dilakukan proses reduksi ke bidang datar karena antara topografi dan nilai medan magnet total tidak berhubungan.

C. Medan Magnet Regional

Medan magnet regional merupakan medan magnet utama bumi yang berubah terhadap waktu sehingga untuk menyeragamkan nilai-nilai medan magnet utama bumi dibuat standar nilai yang disebut dengan *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF). Nilai IGRF tersebut diperbaharui setiap 5 tahun sekali dimana nilai-nilai tersebut diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan 1 juta km².



Gambar 27. Kontur IGRF Daerah Penelitian

Model IGRF menunjukkan nilai medan magnet utama bumi, secara umum yang dapat diakses melalui *website* NOAA. Letak astronomi Indonesia yang berada di selatan ekuator memberikan nilai IGRF yang berkisar ± 45.000 nT. Nilai IGRF yang

mencakup daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 27 yang berkisar antara 45.062-45.102 nT.

Kontur IGRF daerah penelitian menunjukkan bahwa bagian selatan memiliki klosur yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian utara daerah penelitian. Rata-rata nilai IGRF di daerah penelitian adalah 45.084 nT.

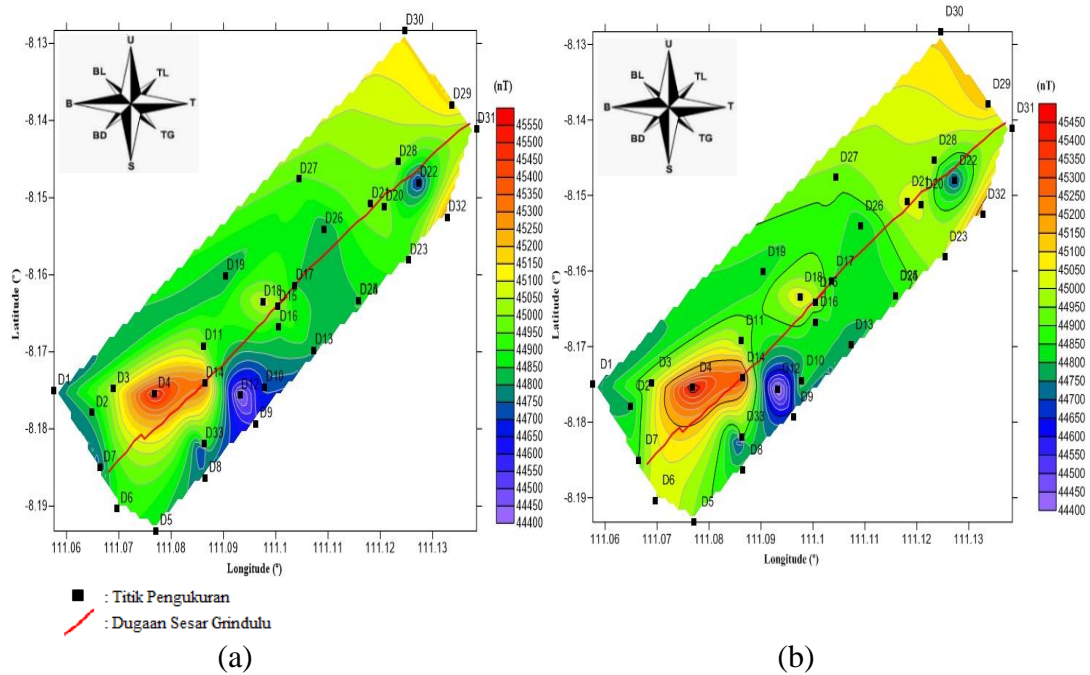
D. Medan Magnet Luar

Medan magnet luar merupakan medan magnet yang berasal dari pengaruh luar bumi yang disebabkan oleh adanya arus listrik di ionosfer. Medan magnet luar ini mempengaruhi nilai medan magnet total hasil pengukuran, sehingga dilakukan koreksi variasi harian untuk memisahkan medan magnet total dan anomali medan magnet. Koreksi variasi harian berfungsi untuk mereduksi pengaruh medan magnet luar pada saat pengukuran. Berdasarkan hasil perhitungan, koreksi variasi harian pada kawasan Sesar Mayor Grindulu bervariasi antara -164 nT hingga 83 nT.



Gambar 28. Data Plot Indeks Dst pada Tanggal 24-26 Agustus 2017

Nilai medan magnet total pada tanggal 24-26 Agustus 2017 berdasarkan ISGI (*International Service of Geomagnetic Indices*) tidak dipengaruhi oleh aktivitas badai magnetik. Gambar 28 menunjukkan nilai indeks Dst pada tanggal 24-26 Agustus 2017.

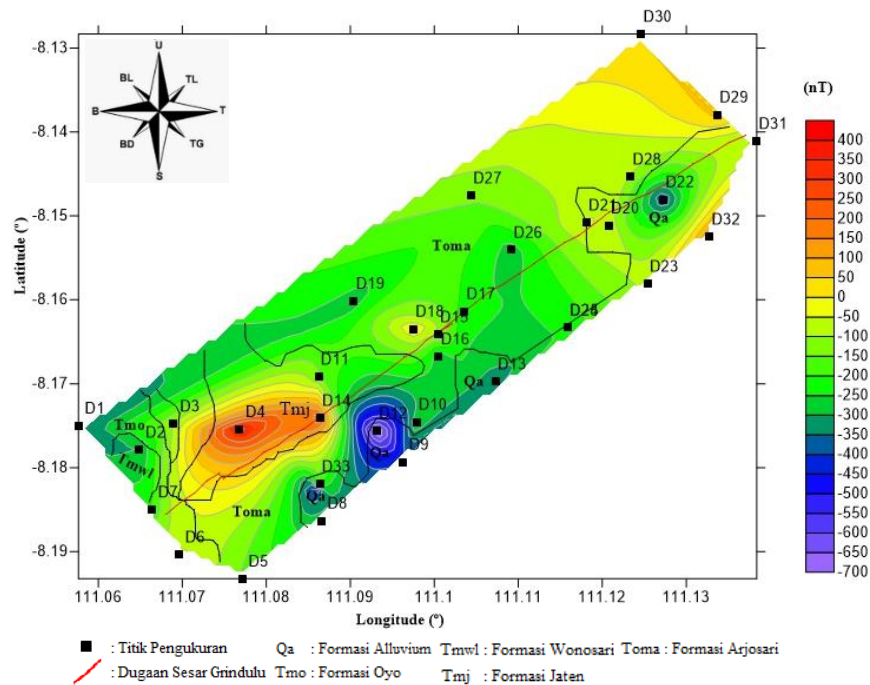


Gambar 29. (a) Kontur Medan Magnet Total, (b) Kontur Medan Magnet Total yang dikoreksi Variasi Harian

Gambar 29 (a) menunjukkan kontur medan magnet total dan Gambar 29 (b) menunjukkan kontur medan magnet total yang telah dikoreksi variasi harian. Setelah dilakukan koreksi variasi harian, peta kontur medan magnet total tidak menunjukkan adanya perubahan yang signifikan. Hal ini menunjukkan medan magnet total yang terukur di lapangan tidak dipengaruhi secara signifikan oleh medan magnet luar.

E. Anomali Medan Magnet

Anomali medan magnet merupakan nilai residu yang dihasilkan dari koreksi pada nilai medan magnet total. Anomali medan magnet mencerminkan batuan yang mengandung mineral-mineral bersifat magnetik yang berada di bawah permukaan. Gambar 30 menunjukkan pola persebaran nilai anomali medan magnet di daerah penelitian yang berkisar antara -700 nT sampai 400 nT. Nilai anomali medan magnet pada daerah penelitian memiliki rentang nilai yang cukup lebar dikarenakan adanya 5 variasi formasi batuan yang berbeda.



Gambar 30. Kontur Anomali Medan Magnet di Daerah Penelitian

Gambar 30 menunjukkan bahwa di daerah penelitian terdapat klosur rendah, sedang hingga tinggi. Nilai anomali medan magnet yang dihasilkan berkorelasi dengan mineral-mineral magnetik penyusun batuan di daerah penelitian, dimana batuan yang

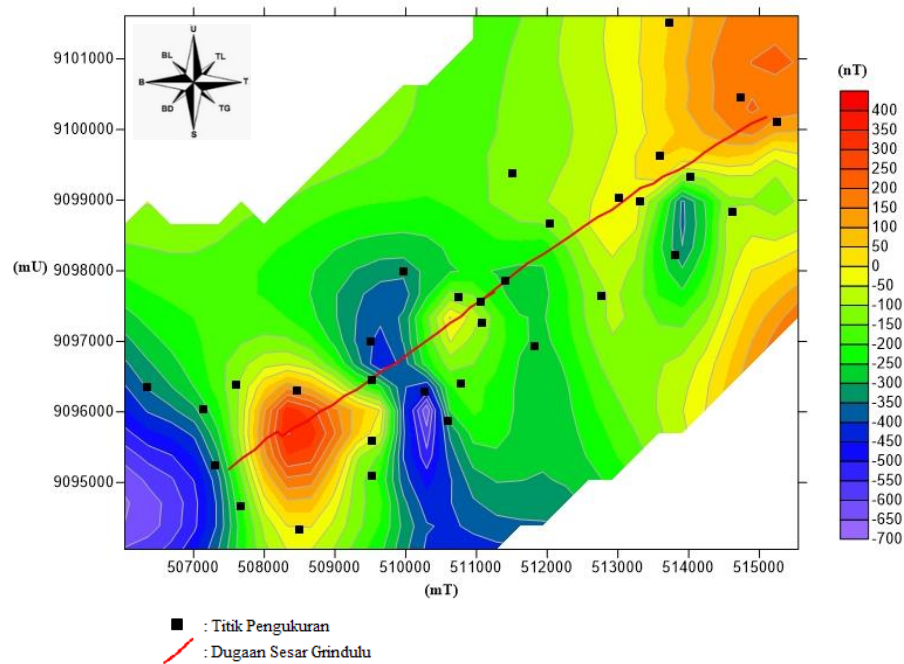
tersusun atas banyak mineral-mineral magnetik akan menyumbangkan nilai suseptibilitas yang besar dan sebaliknya. Formasi Qa di daerah penelitian didominasi oleh endapan pasir sungai dan batu pasir yang memiliki rentang nilai suseptibilitas rendah dengan rentang nilai anomali medan magnet -700 nT sampai -400 nT. Pada Formasi Toma, Tmwl, dan Tmo di daerah penelitian terdapat berbagai macam batuan seperti batu gamping, batu pasir, batu lempung, batu breksi dan batu tuf sehingga dihasilkan nilai anomali medan magnet yang lebar dengan rentang nilai -400 nT sampai 50 nT, sedangkan pada Formasi Tmj daerah penelitian terdapat batu pasir konglomeratan dan intrusi basalt yang muncul hingga permukaan dengan rentang nilai anomali medan magnet berkisar antara 50 nT sampai 400 nT.

F. Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub atau *Reduction to pole* (RTP) merupakan tahapan untuk memposisikan benda penyebab anomali secara tepat berada pada arah vertikal dengan mengubah arah magnetisasinya. Proses ini dilakukan dengan mengubah nilai deklinasi 0.91° dan inklinasi -33° pada daerah penelitian menjadi berada di daerah kutub yang memiliki nilai deklinasi 0° dan inklinasi 90° . Hal tersebut menjadikan medan magnet yang awalnya bersifat *dipole* menjadi *monopole*. Data anomali medan magnet yang telah dilakukan proses RTP ditunjukkan pada Gambar 31.

Setelah dilakukan proses RTP, pola kontur anomali medan magnet di daerah penelitian mengalami perubahan, namun masih dalam rentang skala antara -700 nT sampai 400 nT. Klosur tinggi yang berada pada bagian barat daya cenderung ke tengah

dan memiliki rentang nilai anomali medan magnet -50 nT sampai 400 nT. Klosur sedang tersebar di bagian tengah daerah penelitian dan memiliki rentang nilai anomali medan magnet berkisar antara -300 nT sampai -50 nT. Klosur rendah berada tepat di barat daya dan selatan daerah penelitian dengan rentang nilai anomali medan magnet berkisar antara -700 nT sampai -300 nT.

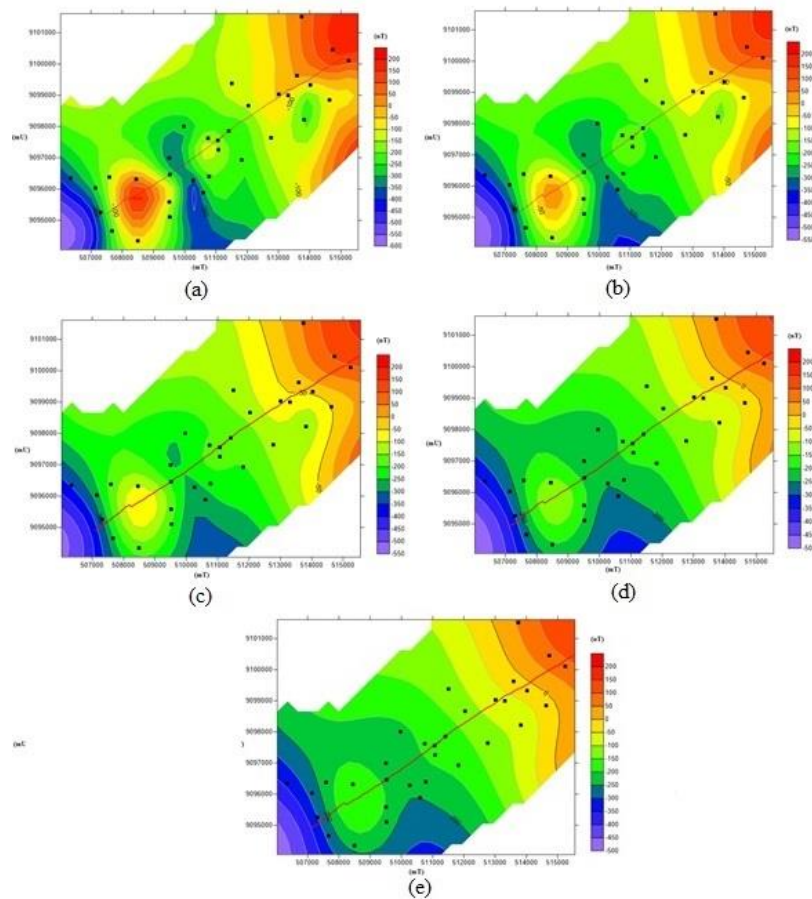


Gambar 31. Kontur Anomali Medan Magnet yang telah di RTP

G. Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas dilakukan melalui proses *low pass filtering* untuk memisahkan anomali lokal dan regional daerah penelitian. Proses ini dilakukan pada ketinggian 200 m, 400 m, 600 m, 800 m, dan 1000 m. Pada ketinggian 1000 m pola kontur anomali medan magnet sudah tidak berubah secara signifikan sehingga sudah mewakili anomali regional di daerah penelitian. Oleh karena itu, peta kontur anomali

medan magnet hasil kontinuasi ke atas pada ketinggian 1000 m digunakan pada pengolahan lebih lanjut untuk pemodelan 2D dan 3D. Proses kontinuasi ke atas pada berbagai ketinggian ditunjukkan pada Gambar 32. Peta kontur anomali medan magnet hasil dari kontinuasi ke atas pada ketinggian 1000 m menggambarkan keberadaan batuan yang memiliki nilai suseptibilitas tinggi dan rendah.



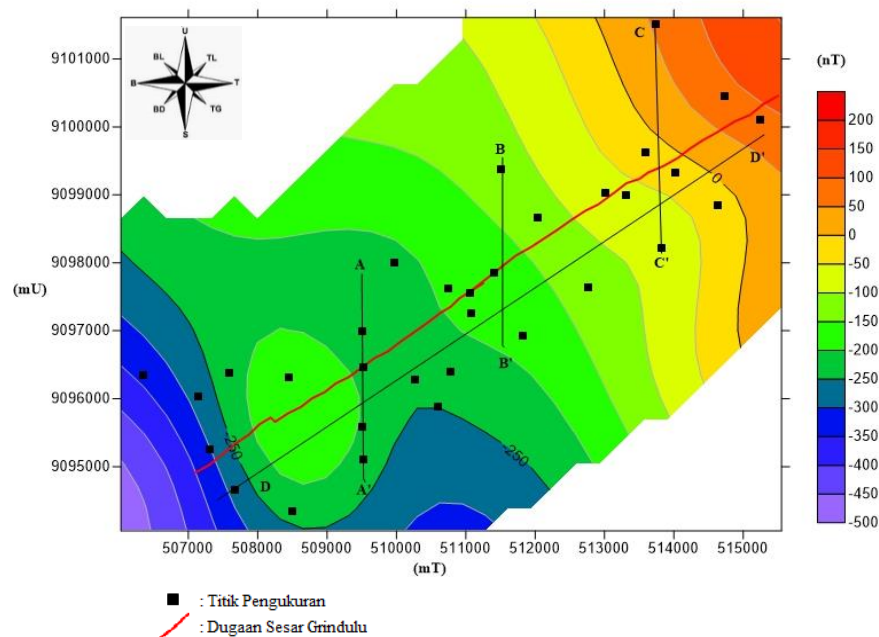
Gambar 32. Hasil Kontur Kontinuasi ke Atas (a) Ketinggian 200 m, (b) Ketinggian 400 m, (c) Ketinggian 600 m, (d) Ketinggian 800 m, (e) Ketinggian 1000 m

Klosur tinggi menggambarkan keberadaan batuan yang memiliki nilai suseptibilitas tinggi seperti batuan beku, sedangkan untuk klosur rendah

menggambarkan keberadaan batuan yang memiliki nilai suseptibilitas rendah seperti batuan sedimen. Untuk menjelaskan variasi susunan lapisan-lapisan batuan bawah permukaan dilakukan pemodelan 2D dan 3D dengan menggunakan kontur anomali medan magnet hasil kontinuasi ke atas pada ketinggian 1000 m.

H. Pemodelan 2D

Untuk pemodelan 2D dilakukan sayatan pada jalur-jalur tertentu sesuai dengan tujuan penelitian. Tujuan penelitian ini adalah untuk menginterpretasi struktur bawah permukaan di jalur Sesar Mayor Grindulu. Sesar Mayor Grindulu memiliki karakteristik sesar geser yang berorientasi barat daya-timur laut (Gultaf *et al.*, 2015).



Gambar 33. Sayatan pada Anomali Medan Magnet Hasil Kontinuasi ke Atas dengan Ketinggian 1000 m

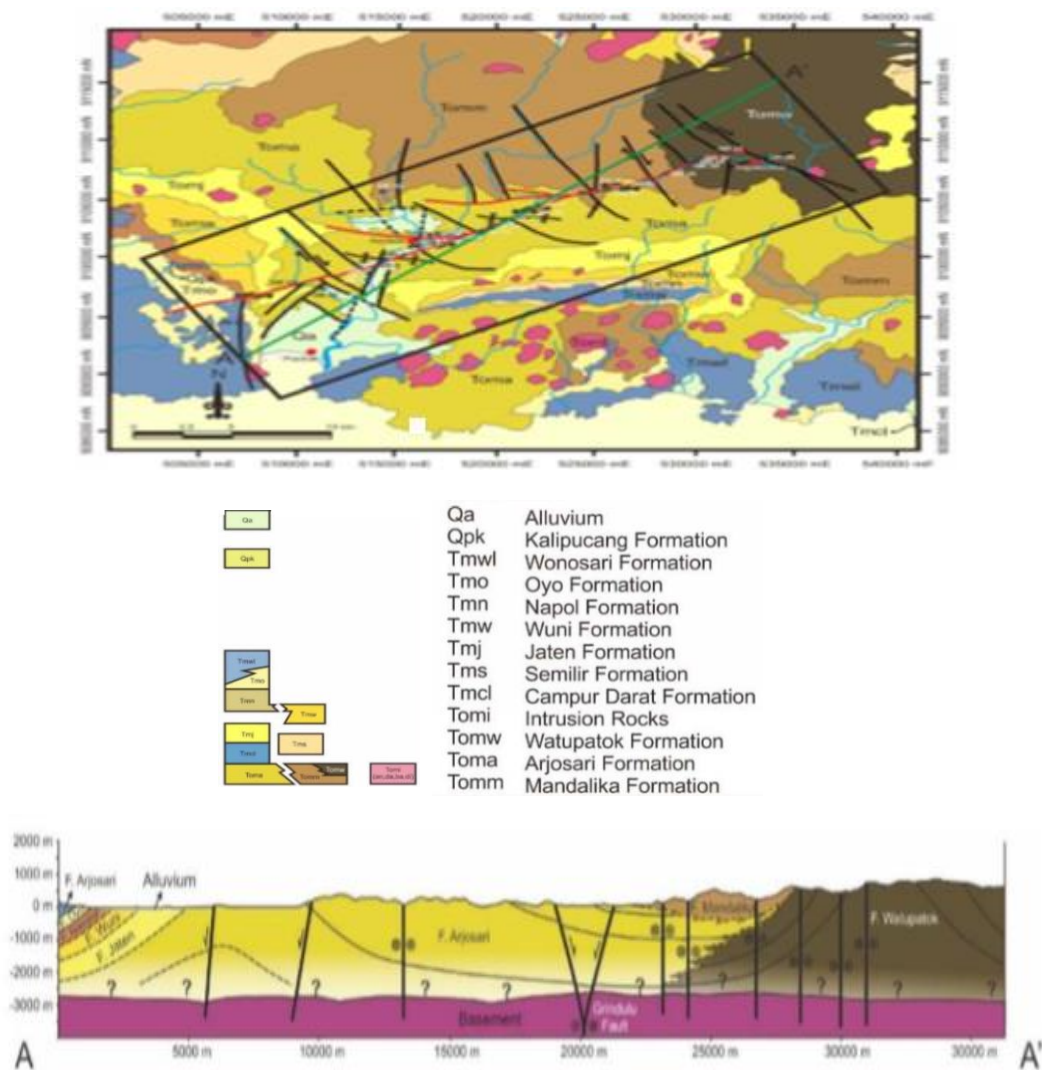
Karakteristik sesar geser adalah tidak menunjukkan adanya kontras nilai suseptibilitas pada jalur sesar, sehingga akan sulit untuk diidentifikasi. Untuk memperjelas struktur bawah permukaan di jalur sesar maka dilakukan penyayatan dengan 3 sayatan memotong dan 1 sayatan sejajar dengan sesar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 33.

Pembuatan model 2D pada sayatan AA', BB', dan CC' merujuk pada Peta Geologi Lembar Pacitan. Pada peta ini sayatan AB yang berada di dekat daerah penelitian melewati 5 formasi dengan kedalaman 500 m. Peta Geologi Lembar Pacitan menunjukkan bahwa Formasi Toma merupakan batuan dasar di daerah penelitian. Lapisan di atasnya adalah Formasi Tmj kemudian di atasnya lagi Formasi Tmo yang berselingan dengan Formasi Tmwl. Untuk lapisan yang paling atas adalah Formasi Qa seperti yang ditunjukkan Gambar 13.

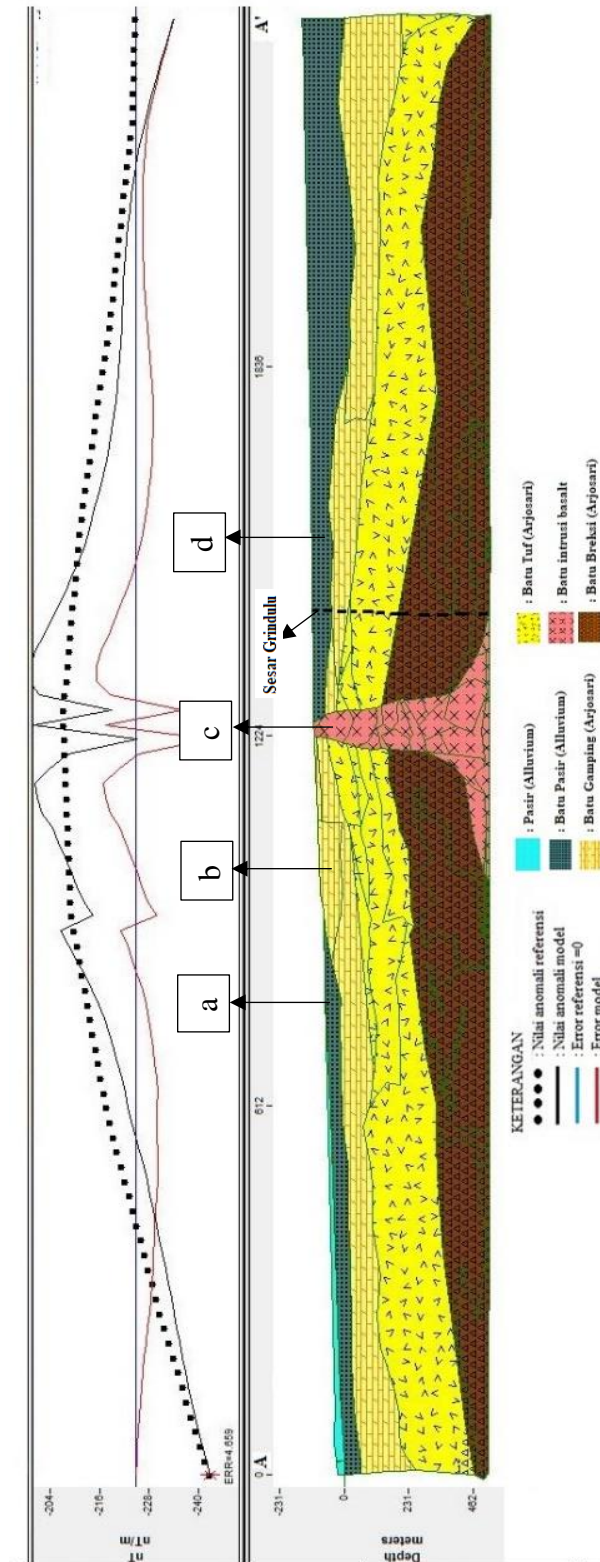
Pembuatan model 2D untuk sayatan DD' merujuk pada penelitian Gultaf *et al.* (2015), dimana sayatan AA' (Gambar 34) melewati 7 formasi batuan dimana batuan dasar di daerah sayatan adalah Formasi Toma, Formasi Tomm yang berselingan dengan Formasi Tomw, sedangkan formasi yang mencakup daerah penelitian terdiri atas 5 formasi yang susunannya sama dengan sayatan AB yang ditunjukkan pada Gambar 13.

Pemodelan 2D memiliki 2 bagian utama yaitu bagian atas yang menunjukkan nilai anomali medan magnet dan bagian bawah yang menunjukkan model struktur batuan bawah permukaan. Pemodelan 2D ini terdiri atas blok-blok batuan yang memiliki nilai suseptibilitas dan kedalaman yang beragam. Selain itu pemodelan 2D

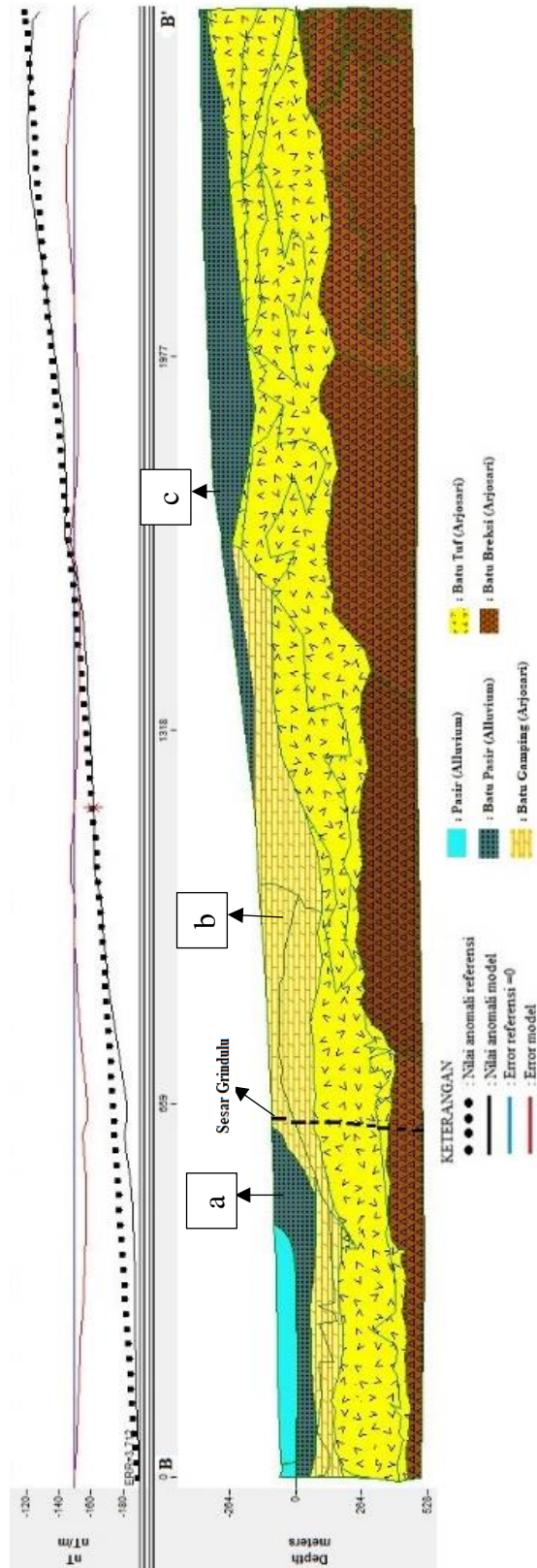
ini juga mempertimbangkan fakta-fakta yang berada di lapangan dengan melakukan *sampling* batuan di daerah penelitian. Kesesuaian referensi dengan model ditunjukkan dalam angka *error* yang terletak di bagian kiri. Pemodelan sayatan AA' memiliki nilai *error* 4,6, pemodelan sayatan BB' memiliki nilai *error* 3,7, pemodelan sayatan CC' memiliki 5,7 dan pemodelan DD' memiliki *error* 6,1.



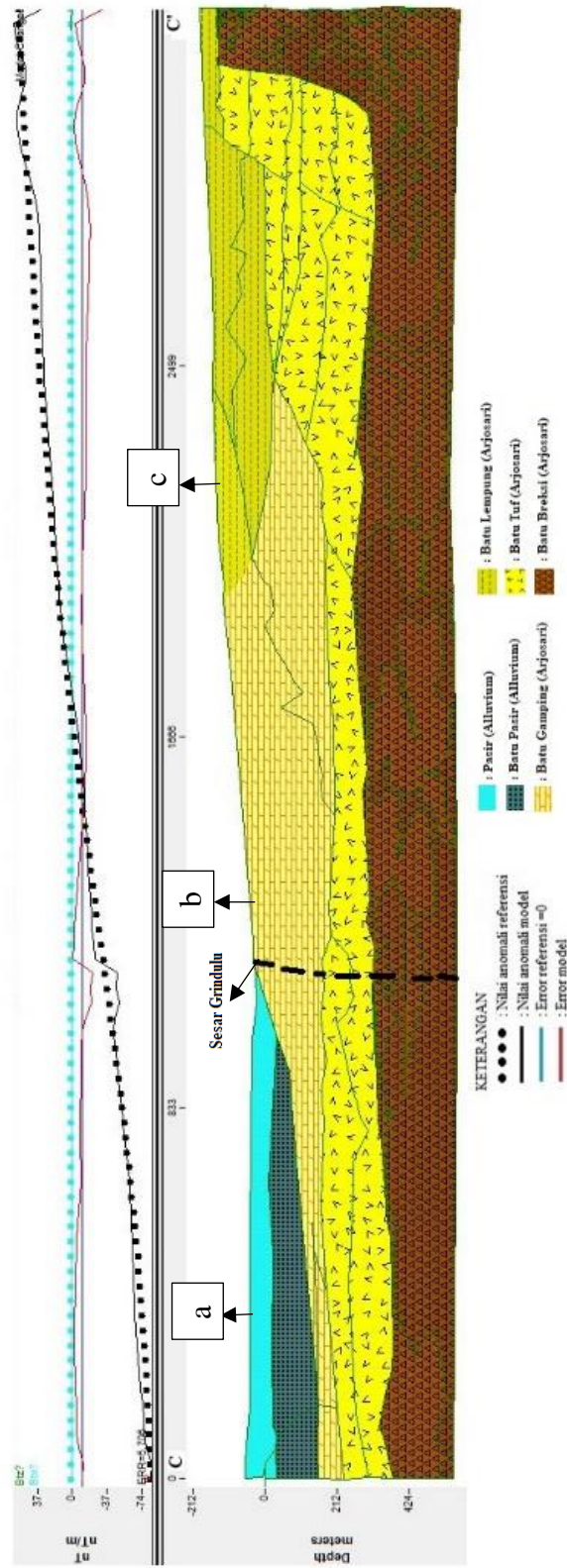
Gambar 34. Pemodelan 2D Sayatan AA' pada Peta Geologi Gultaf *et al.* (2015)



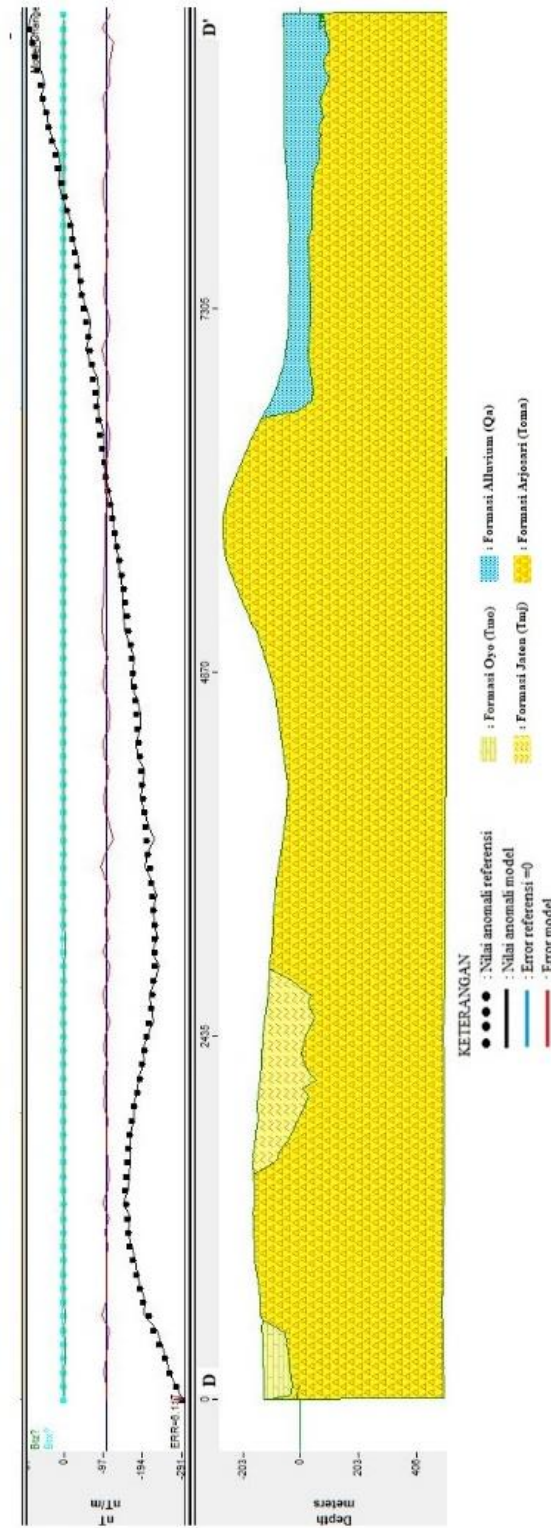
Gambar 35. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Sayatan AA'



Gambar 36. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Sayatan BB'



Gambar 37. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Sayatan CC'



Gambar 38. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Sayatan DD'



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 39. Verifikasi Batuan di Lapangan pada Sayatan AA' (a) Batu Pasir, (b) Batu Gamping, (c) Batu Intrusi Basalt, (d) Batu Pasir



(a)

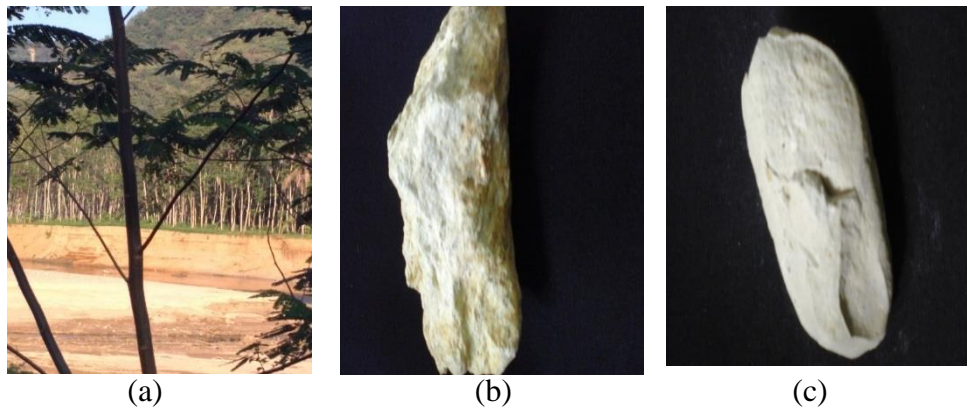


(b)



(c)

Gambar 40. Verifikasi Batuan di Lapangan pada Sayatan BB' (a) Batu Pasir, (b) Batu Gamping, (c) Batu Pasir



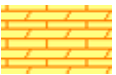
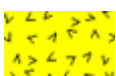

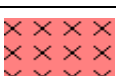
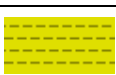



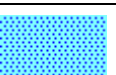


Gambar 41. Verifikasi Batuan di Lapangan pada Sayatan CC' (a) Endapan Pasir, (b) Batu Gamping, (c) Batu Lempung

Pemodelan 2D untuk sayatan AA' ditunjukkan pada Gambar 35. Sayatan AA' melewati 3 formasi batuan yaitu dari ujung selatan Formasi Qa, kemudian bagian tengah Formasi Toma dan paling utara adalah Formasi Tmj. Pada Formasi Qa di bagian selatan daerah penelitian terdapat pasir dan batu pasir pada kedalaman 0 m hingga 90 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(0-2) \times 10^{-3}$. Pada bagian tengah sayatan terdapat Formasi Toma yang terdiri atas batu gamping pada kedalaman 0 m hingga 315 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(2,2-2,8) \times 10^{-3}$. Untuk batuan penyusun di bawahnya diperkirakan batu tuf pada kedalaman 316 m hingga 523 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(5,1-6,4) \times 10^{-3}$ dan batu breksi pada kedalaman 524 m hingga 557 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(33-68) \times 10^{-3}$, sedangkan pada Formasi Tmj terdapat batu pasir pada kedalaman 0 m hingga 107 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(0-2) \times 10^{-3}$ dan intrusi basalt sepanjang 12,4 m di bagian tengah pada kedalaman 0 m hingga 557 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(12,5-165) \times 10^{-3}$. Berdasarkan

pemodelan 2D pada sayatan AA' ini diperkirakan keberadaan sesar memotong lapisan batu pasir, batu gamping, batu tuf dan batu breksi di daerah penelitian.

Tabel 6. Nilai Suseptibilitas, Kedalaman Batuan dan Formasi Batuan di Daerah Penelitian Berdasarkan Hasil Pemodelan 2D

No.	Model	Suseptibilitas	Batuan (Formasi Batuan)	Kedalaman (m)
1.		$(0-2) \times 10^{-3}$	Pasir (Alluvium)	(0 sampai 91)
2.		$(0-2) \times 10^{-3}$	Batu Pasir (Alluvium)	(0 sampai 211)
3.		$(2,2-2,8) \times 10^{-3}$	Batu Gamping (Arjosari)	(0 sampai 336)
4.		$(5,1-6,4) \times 10^{-3}$	Batu Tuf (Arjosari)	(38 sampai 523)
5.		$(33-68) \times 10^{-3}$	Batu Breksi (Arjosari)	(38 sampai 665)
6.		$(12,5-165) \times 10^{-3}$	Batu intrusi basalt	(0 sampai 557)
7.		$(2,2-2,8) \times 10^{-3}$	Batu lempung (Arjosari)	(0 sampai 203)
8.		$(2,2-2,8) \times 10^{-3}$	Formasi Oyo (Tmo)	(0 sampai 104)
9.		$(5,1-68) \times 10^{-3}$	Formasi Arjosari (Toma)	(0 sampai 775)
10.		$(2,1-3,9) \times 10^{-3}$	Formasi Jaten (Tmj)	(0 sampai 192)
11.		$(0-2) \times 10^{-3}$	Formasi Alluvium (Qa)	(0 sampai 150)

Pemodelan 2D sayatan BB' ditunjukkan pada Gambar 36. Sayatan BB' melewati 2 formasi batuan dari bagian selatan yaitu Formasi Qa dan bagian utara yaitu Formasi Toma. Bagian selatan daerah penelitian pada Formasi Qa terdapat pasir dan

batu pasir pada kedalaman 0 m hingga 166 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(0-2) \times 10^{-3}$, sedangkan pada Formasi Toma terdapat batu gamping pada bagian tengah dari kedalaman 0 m hingga 336 m dengan rentang suseptibilitas $(2,2-2,8) \times 10^{-3}$ dan batu pasir pada kedalaman 0 m hingga 211 m di bagian utara sayatan BB' daerah penelitian dengan rentang nilai suseptibilitas $(0-2) \times 10^{-3}$. Untuk batuan penyusun di bawahnya diperkirakan batu tuf pada kedalaman 212 m hingga 465 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(5,1-6,4) \times 10^{-3}$ dan batu breksi pada kedalaman 466 m hingga 665 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(33-68) \times 10^{-3}$. Berdasarkan pemodelan 2D pada sayatan BB' ini diperkirakan keberadaan sesar memotong lapisan batu gamping, batu tuf dan batu breksi di daerah penelitian.

Pemodelan 2D sayatan CC' ditunjukkan pada Gambar 37. Sayatan ini melewati 2 formasi yaitu pada bagian selatan terdapat Formasi Qa dan bagian tengah hingga paling utara termasuk Formasi Toma. Pada Formasi Qa terdapat endapan pasir sungai dari kedalaman 0 m hingga 91 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(0-2) \times 10^{-3}$. Lapisan di bawah endapan pasir diperkirakan terdapat batu pasir pada kedalaman 92 m hingga 208 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(0-2) \times 10^{-3}$, sedangkan pada Formasi Toma bagian tengah sayatan ini dijumpai batu gamping pada kedalaman 0 m hingga 292 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(2,2-2,8) \times 10^{-3}$, sedangkan batu lempung pada bagian utara sayatan ini diperkirakan berada pada kedalaman 0 m hingga 203 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(2,2-2,8) \times 10^{-3}$. Untuk batuan penyusun di bawahnya diperkirakan batu tuf pada kedalaman 38 m hingga 400 m dengan rentang nilai

suseptibilitas $(5,1-6,4) \times 10^{-3}$ dan batu breksi pada kedalaman 38 m hingga 639 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(33-68) \times 10^{-3}$. Berdasarkan pemodelan 2D pada sayatan CC' ini diperkirakan keberadaan sesar memotong lapisan batu gamping, batu tuf dan batu breksi di daerah penelitian.

Pemodelan 2D sayatan DD' ditunjukkan pada Gambar 38. Sayatan ini melewati 4 formasi yaitu Formasi Tmo, Formasi Toma, Formasi Tmj dan Formasi Qa. Pada bagian barat dimulai dengan Formasi Tmo, Formasi Toma, Formasi Tmj dan yang paling timur adalah Formasi Qa. Formasi Tmo daerah penelitian didominasi oleh batu gamping yang diperkirakan berada pada kedalaman 0 m hingga 104 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(2,2-2,8) \times 10^{-3}$. Formasi Toma didominasi oleh batuan yang berasal dari material gunung api seperti breksi vulkanik dan batu tuf dari kedalaman 0 m hingga 775 m. Formasi Tmj didominasi oleh batu pasir pada kedalaman 0 m hingga 192 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(2,1-3,9) \times 10^{-3}$, sedangkan Formasi Qa didominasi oleh endapan pasir, lumpur, lempung, kerakal, kerikil pada kedalaman 0 m hingga 150 m dengan rentang nilai suseptibilitas $(0-2) \times 10^{-3}$.

Pada Formasi Tmo daerah penelitian ditemukan singkapan batu gamping yang dimungkinkan genesanya terendapkan di lingkungan laut kemudian mengalami pengangkatan sehingga muncul di permukaan. Hal ini berkorelasi dengan daerah penelitian yang dekat dengan zona Pantai Selatan, dimana geologi daerah Pacitan dan sekitarnya berkaitan erat dengan proses pengangkatan aktif Pantai Selatan yang ditunjukkan dengan banyak tersingkapnya batuan gamping di daerah penelitian seperti

pada Formasi Oyo. Pada Formasi Qa daerah penelitian terdapat material seperti kerakal, kerikil, pasir, batu pasir, lanau, lempung dan lumpur yang dimungkinkan berasal dari hasil endapan Sungai Grindulu maupun aktivitas marin.

Pada Formasi Toma daerah penelitian terdapat batu tuf, batu gamping, batu lempung, dan breksi vulkanik. Formasi ini didominasi oleh material gunung api seperti breksi vulkanik yang dimungkinkan terbentuk dari longsoran material yang dipicu oleh tingginya densitas, kemudian mengalami pelapukan dan tertransport ke lingkungan pengendapan. Untuk batu tuf yang termasuk dalam batuan piroklastik dimungkinkan berasal dari lemparan gunung api tersier di dekat daerah penelitian yang kemudian terbawa oleh angin dan jatuh secara perlahan, terendapkan, kemudian terkompaksi menjadi batuan tuf.

Pada Formasi Tmj daerah penelitian ditemukan batu pasir konglomeratan, dan intrusi basalt. Batu pasir yang terbentuk pada formasi ini dimungkinkan berasal dari sedimentasi lapukan batuan dari Formasi Toma, yang terendapkan pada suatu lingkungan dan mengalami kompaksi sehingga terbentuk batu pasir, sedangkan intrusi basalt berasal dari aktivitas gunung api tersier di dekat daerah penelitian yang terbentuk di bawah permukaan kemudian menerobos batuan di sekitarnya sehingga muncul di permukaan.

I. Identifikasi Jalur Sesar

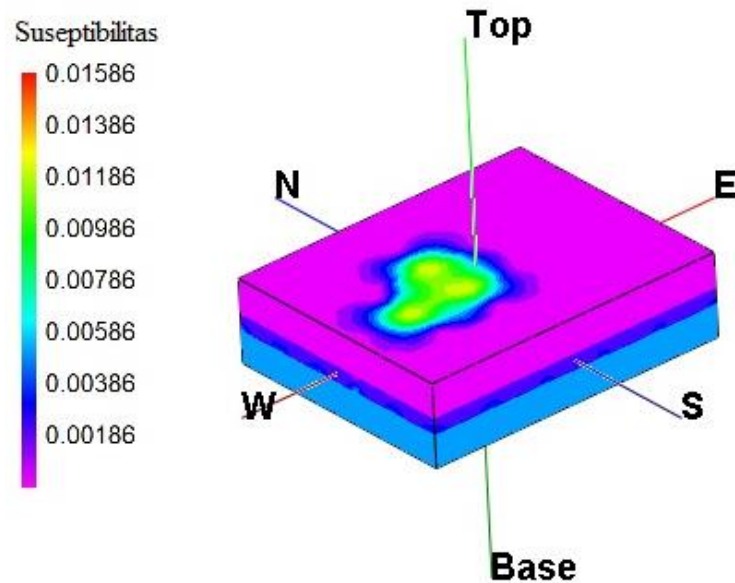
Identifikasi jalur sesar dilakukan berdasarkan model suseptibilitas batuan 2D dan 3D, analisis *Second Vertical Derivatif* (SVD), survey geologi serta referensi. Berdasarkan kontras nilai suseptibilitas batuan, sesar normal (baik naik atau turun) memiliki karakter kontras yang jelas. Kontras tersebut mengindikasikan adanya perbedaan blok batuan di sekitar jalur sesar, sedangkan untuk karakter sesar geser kontras tersebut tidak terlihat di sekitar jalur sesar.

Pemodelan 3D nilai suseptibilitas dilakukan dengan tujuan untuk mempermudah interpretasi kontras nilai suseptibilitas batuan di daerah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 42. Nilai suseptibilitas batuan tersebut merepresentasikan mineral-mineral magnetik yang menyusun batuan di daerah penelitian. Daerah Pacitan yang mencakup daerah penelitian tersusun atas berbagai formasi batuan antara lain Formasi Tmo, Formasi Qa, Formasi Toma, dan Formasi Tmj. Berbagai formasi batuan tersebut menyumbangkan nilai suseptibilitas masing-masing.

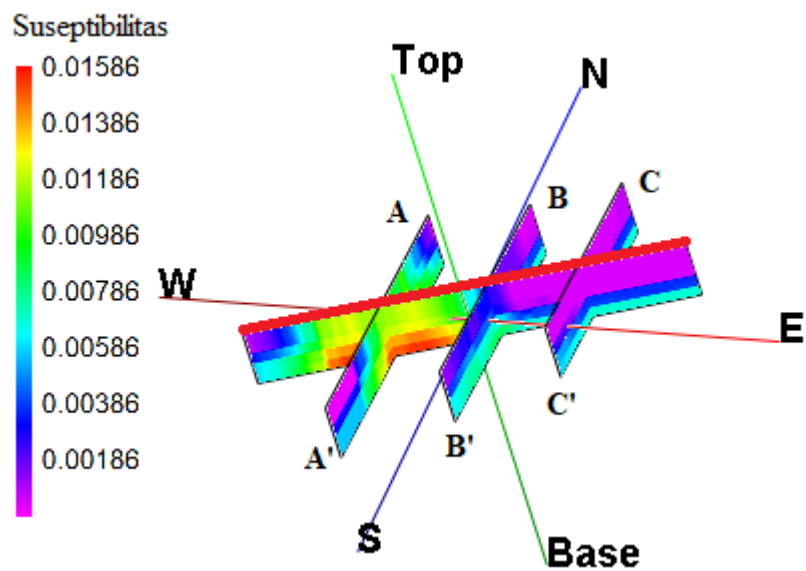
Lapisan paling atas daerah penelitian sebagian besar tersusun atas material atau batuan seperti pasir, batu pasir, batu lempung, dan batu gamping yang memiliki nilai suseptibilitas rendah berkisar 0-0,00386 yang ditunjukkan dengan warna magenta hingga biru muda. Material atau batuan-batuan tersebut berasal dari berbagai formasi batuan di daerah penelitian seperti Formasi Tmo, Formasi Qa, Formasi Toma, dan Formasi Tmj. Pada bagian barat daerah penelitian terdapat intrusi basalt yang memiliki nilai suseptibilitas tinggi berkisar 0,00986-0,01586 yang ditunjukkan dengan warna hijau hingga merah. Intrusi tersebut diperkirakan dikontrol oleh adanya patahan atau

sesar yang berada di daerah penelitian, dimana patahan tersebut menjadi jalur naiknya magma yang kemudian membeku hingga permukaan dan menjadi intrusi basalt. Untuk lapisan di bawahnya diperkirakan berasal dari Formasi Toma daerah penelitian yaitu batu tuf dari hasil lemparan gunung api tersier dan batu breksi vulkanik yang merupakan hasil longsoran material yang telah mengalami pelapukan dan pengendapan dengan nilai suseptibilitas 0,00386-0,00786 yang ditunjukkan dengan warna biru tua hingga toska.

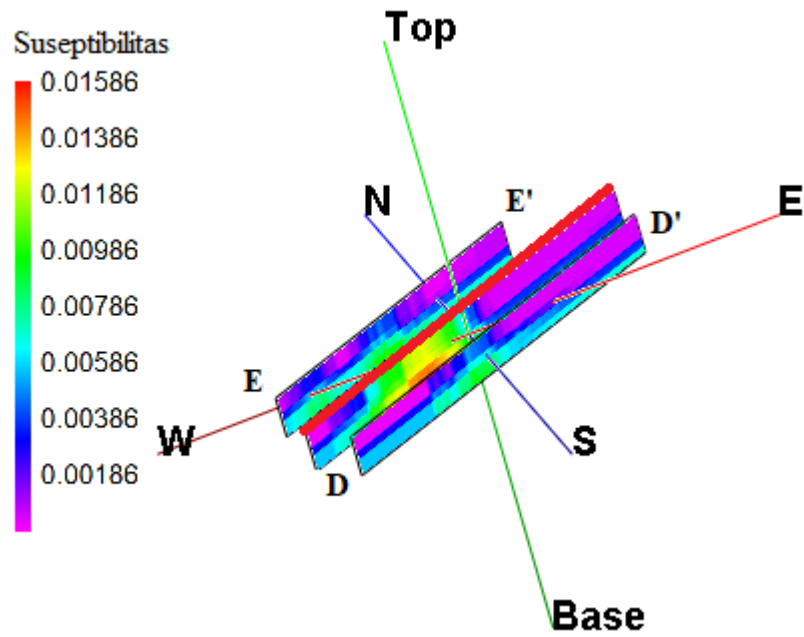
Menurut informasi, keberadaan Sesar Mayor Grindulu diperkirakan memiliki karakteristik sesar geser dan berada pada formasi batuan yang sama (Formasi Toma) (Gultaf *et al.*, 2015). Berdasarkan penelitian dengan metode gravitasi (Indrianti, 2013), diperkirakan bahwa Sesar Mayor Grindulu memiliki karakteristik sesar geser yang mencapai batuan dasar (*basement*) dan tidak terlihat kontras nilai densitas batuanannya. Dengan melihat pemodelan 3D metode magnetik pada 3 sayatan memotong jalur sesar (AA', BB' dan CC') dan 2 sayatan sejajar jalur sesar (DD' dan EE') juga tidak terlihat adanya kontras nilai suseptibilitas di sekitar jalur sesar tersebut yang ditunjukkan pada Gambar 43-44. Dugaan sesar geser ini didukung juga oleh interpretasi peta geologi (Gambar 45) dimana pada bagian timur laut daerah penelitian terdapat Formasi Toma yang dipisahkan oleh Sungai Grindulu. Hal ini mengakibatkan Formasi Toma di daerah penelitian seperti terpisah menjadi 2 blok, dimana celah antara 2 blok tersebut diisi oleh Formasi Qa (hancuran dari Formasi Toma itu sendiri).



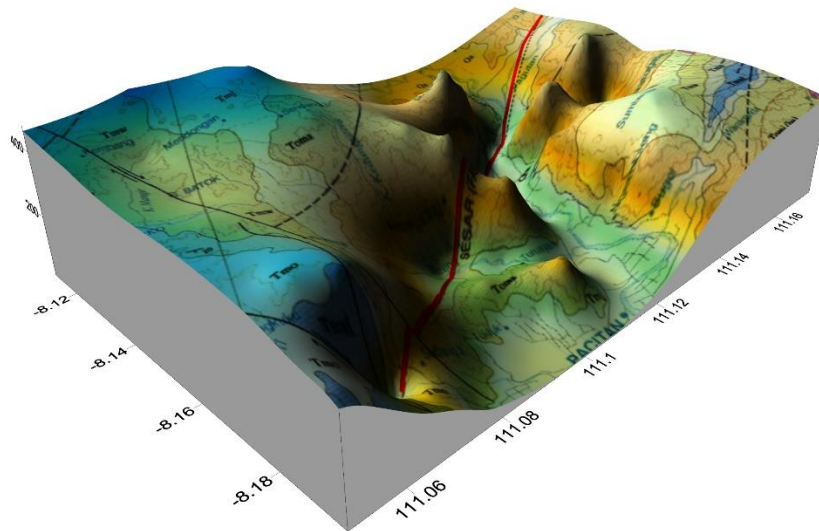
Gambar 42. Hasil Pemodelan 3D Nilai Suseptibilitas 0-0,01586



Gambar 43. Tampilan Sayatan AA', BB' dan CC' pada Pemodelan 3D yang di-*overlay* dengan Dugaan Jalur Sesar Mayor Grindulu

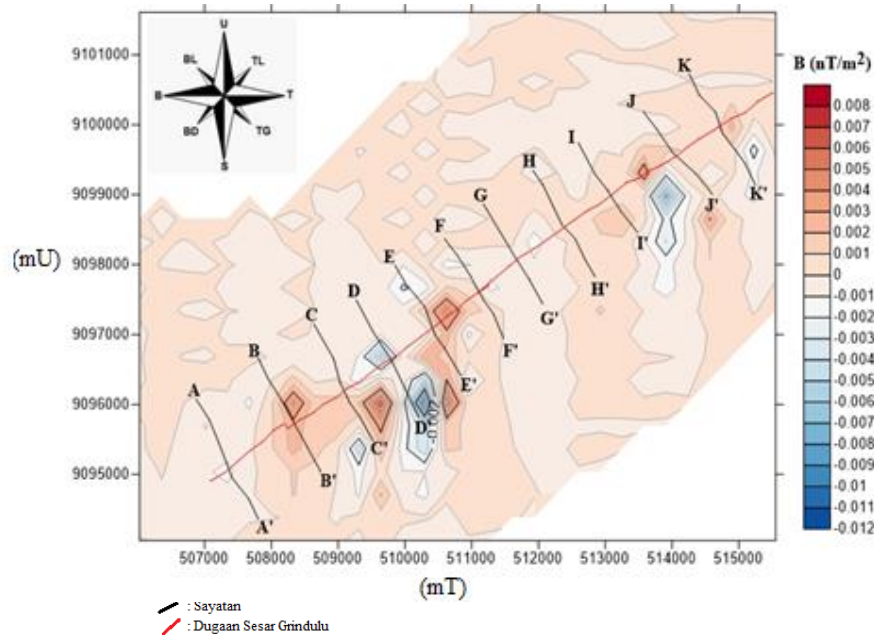


Gambar 44. Tampilan Sayatan DD' dan EE' pada Pemodelan 3D yang di-overlay dengan Dugaan Jalur Sesar Mayor Grindulu

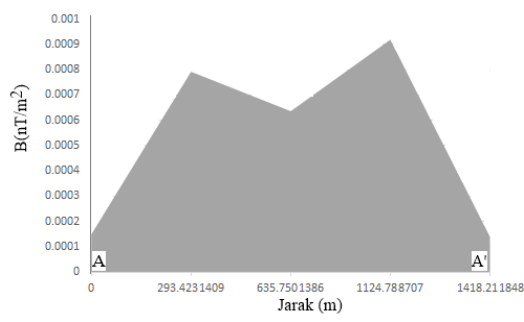


Gambar 45. Interpretasi Peta Geologi

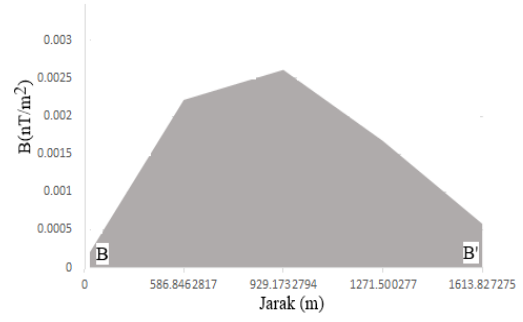
SVD merupakan sebuah *tools* dalam pengolahan metode geomagnet yang berguna untuk mengetahui pola kemenerusan dan karakteristik dari suatu sesar atau patahan. Pengolahan SVD menggunakan anomali lokal yang diperoleh dengan cara mereduksi anomali regional. Pola sesar ini ditunjukkan dengan melihat kontras nilai turunan kedua dari anomali medan magnet (*Second Vertical Derivatif*) yang berada di sepanjang jalur sesar tersebut. Jika terdapat kontras warna yang signifikan antara blok bagian barat dan blok timur pada jalur sesar, maka dimungkinkan sesar di wilayah penelitian berupa sesar naik atau sesar turun. Namun, jika tidak terdapat kontras warna yang signifikan pada blok bagian barat dan timur di sepanjang jalur sesar maka dimungkinkan berupa sesar geser. Hasil SVD 2D ditunjukkan pada Gambar 46.



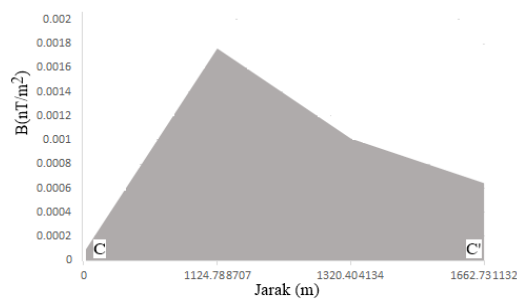
Gambar 46. Sayatan 2D Anomali Medan Magnet Hasil SVD



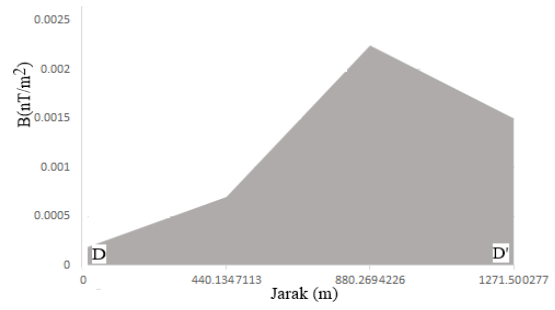
(a)



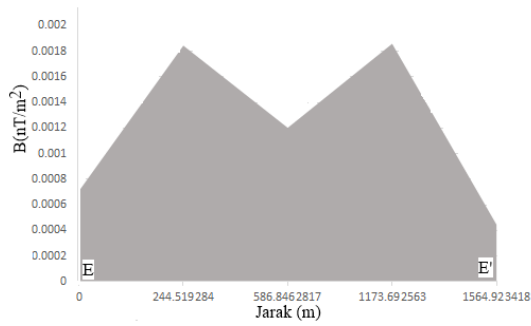
(b)



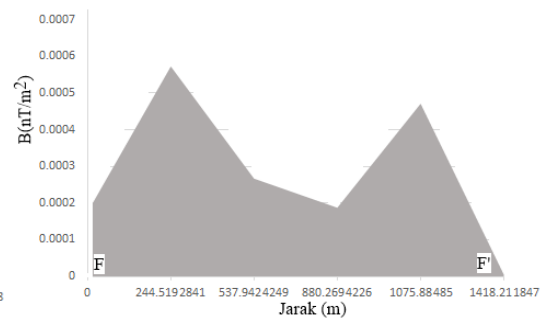
(c)



(d)

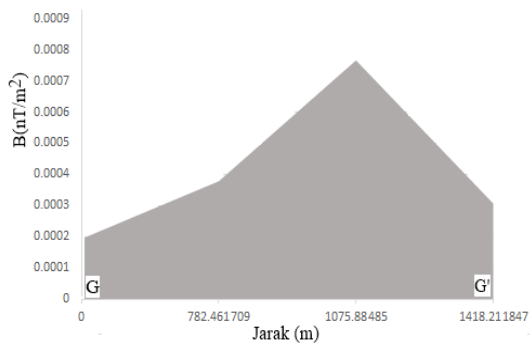


(e)

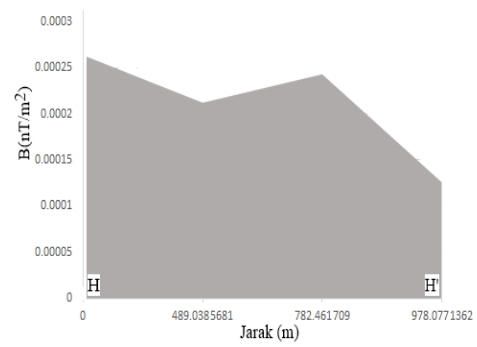


(f)

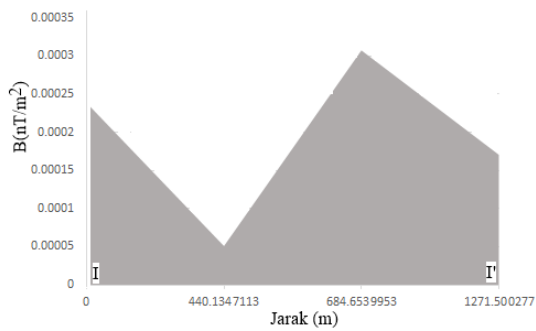
Gambar 47. Nilai SVD Anomali Medan Magnet (a) Sayatan AA', (b) Sayatan BB', (c) Sayatan CC', (d) Sayatan DD', (e) Sayatan EE', (f) Sayatan FF'



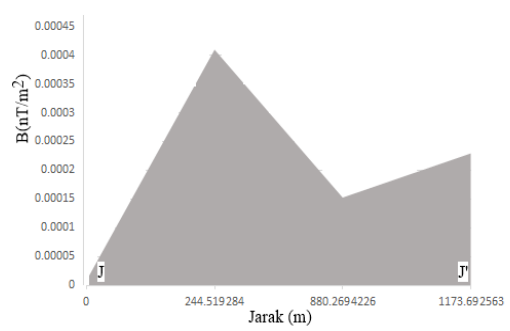
(a)



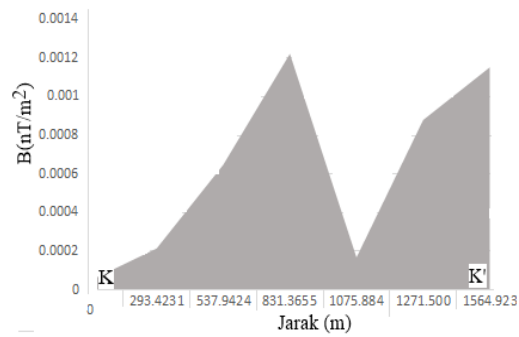
(b)



(c)

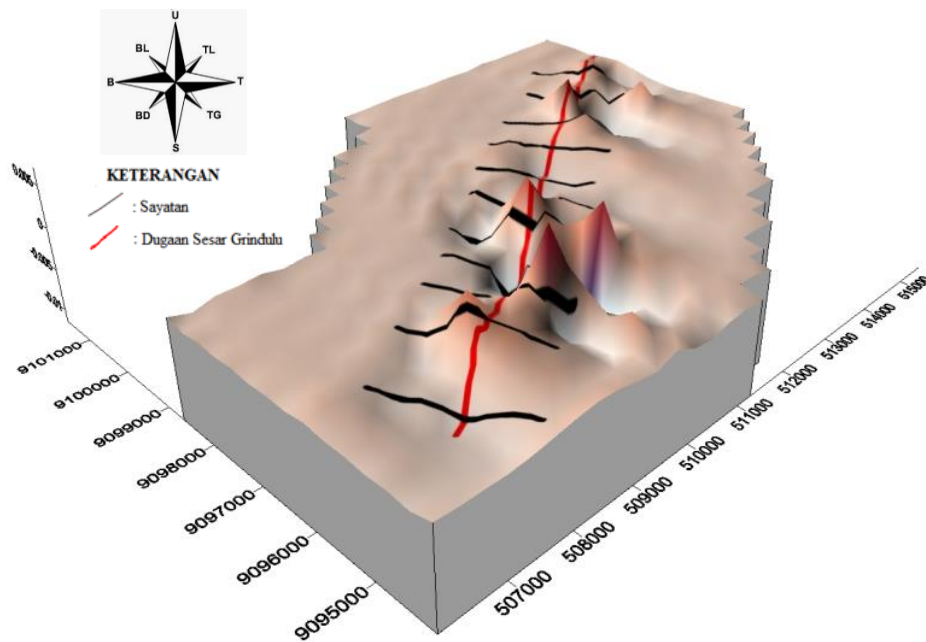


(d)



(e)

Gambar 48. Nilai SVD Anomali Medan Magnet (a) Sayatan GG', (b) Sayatan HH' (c) Sayatan II', (d) Sayatan JJ', (e) Sayatan KK'



Gambar 49. Hasil SVD 3D dari Anomali Medan Magnet

Pada Gambar 46 terdapat sayatan AA' hingga KK' yang memotong jalur Sesar Grindulu, kemudian data dari *profile* sayatan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 47-48. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Pacitan, Sesar Mayor Grindulu digambarkan sebagai sesar geser dimana blok barat dan blok timur bergerak relatif sejajar. Dari *profile* sayatan (AA', EE', FF', HH', II', JJ' dan KK') pola kontur SVD 2D didapatkan hasil bahwa sebagian besar blok barat dan timur yang berada di sepanjang jalur sesar bergerak relatif sejajar. Hal ini menunjukkan bahwa Sesar Mayor Grindulu memiliki karakteristik sesar geser.

Untuk memperjelas pola kemenerusan sesar maka dibuat model 3D dari kontur SVD yang ditunjukkan pada Gambar 49. Hasil SVD 3D dari kontur anomali medan

magnet menggambarkan kenampakan blok barat dan timur relatif sejajar pada sepanjang jalur sesar tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian “Interpretasi Struktur Bawah Permukaan dan Identifikasi Jalur Sesar Mayor Grindulu Berdasarkan Data Anomali Medan Magnet” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai persebaran anomali medan magnet di kawasan jalur Sesar Mayor Grindulu berkisar -700 nT sampai 400 nT dan terbagi menjadi klosur rendah, sedang, hingga tinggi. Klosur rendah sebagian besar berada pada Formasi Qa dengan rentang nilai anomali medan magnet berkisar -700 nT sampai -400 nT. Klosur sedang berada pada Formasi Toma, Tmwl, dan Tmo dengan rentang nilai anomali medan magnet berkisar -400 nT sampai 50 nT. Klosur tinggi sebagian besar berada pada Formasi Tmj dengan rentang nilai anomali medan magnet berkisar 50 nT sampai 400 nT.
2. Struktur bawah permukaan di kawasan jalur Sesar Mayor Grindulu pada Formasi Qa didominasi oleh endapan pasir, batu pasir, lumpur, lempung, kerakal, kerikil dengan rentang nilai suseptibilitas $(0-2) \times 10^{-3}$. Formasi Tmj terdapat intrusi basalt dengan rentang nilai suseptibilitas $(12,5-165) \times 10^{-3}$ dan batu pasir dengan rentang nilai suseptibilitas $(0-2) \times 10^{-3}$. Formasi Toma terdapat batu gamping dan batu lempung dengan rentang nilai suseptibilitas $(2,2-2,8) \times 10^{-3}$, batu tuf dengan rentang nilai suseptibilitas $(5,1-6,4) \times 10^{-3}$ dan batu breksi dengan rentang nilai suseptibilitas $(33-68) \times 10^{-3}$.

3. Dugaan jalur Sesar Mayor Grindulu memiliki karakteristik sesar geser yang berada pada formasi batuan yang sama (Formasi Toma) sehingga tidak terlihat kontras nilai suseptibilitas batuan di kawasan jalur sesar tersebut.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh disarankan untuk:

1. Perlu dilakukan penelitian dengan jarak antar titik pengambilan data yang lebih rapat untuk mengetahui secara detail batas-batas antara formasi batuan.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan metode lain untuk menginterpretasi struktur bawah permukaan dan mengidentifikasi jalur Sesar Mayor Grindulu.

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, Van, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia Vol, IA*. Netherland: Martinus Nijhoff, The Hauge.
- Blakely, R.J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Edinburgh: Cambridge University Press.
- BMKG. (2014). *Peta Goncangan Gempabumi di Kabupaten Pacitan*. Diakses dari <http://www.bmkg.go.id> pada tanggal 19 November 2017.
- Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Genrich, J.F., Stevens, C.W., McCaffrey, R., Subarya, C., Puntodewo, S.S.O., & Calais, E. (2003). *Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System Measurements*. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2001JB000324>. Diakses pada tanggal 15 Desember 2017.
- Fathonah, I.M. (2010). *Identifikasi Jalur Sesar Opak Berdasarkan Analisis Data Anomali Medan Magnet dan Geologi Regional Yogyakarta*. Skripsi. Program Studi Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Gravmag. (2015). *Magnetic Data Acquisition*. Diakses dari http://gravmag.ou.edu/mag_measure/magnetic_measure.html pada tanggal 1 Juni 2018.
- Gultaf, H., Sapiie, B., Syaiful, M., Bachtiar, A., Fauzan, A.P. (2015). *Paleostress Analysis of The Grindulu Fault in Pacitan and Surrounding Area and Its Implication to The Regional Tectonic of East Java*. Proceedings. Indonesian Petroleum Association.
- Heningtyas. (2017). *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Metode Geomagnet di Jalur Sesar Oyo*. Skripsi. Program Studi Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hidayat, E., Kumoro, Y., Raharjo, P.D., & Puswanto, E. (2012). *Kajian Tektonik Aktif pada Patahan Grindulu untuk Mendukung Mitigasi Bencana Gempabumi dan Gerakan Tanah di Wilayah Pacitan*. Balai Informasi dan Konservasi Kebumian Karangsambung. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

- Hinze, W.J., Von Frese, R.R.B., dan Saad, A.H. (2012). *Gravity and Magnetic Exploration*. Edinburgh: Cambridge University Press.
- NOAA.(2015). *Magnetic Field Calculators*. Diakses dari <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm> pada tanggal 1 Juni 2018.
- NOAA.(2015). *The World Magnetic Model*. Diakses dari <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/DoDWMM.shtml> pada tanggal 1 Juni 2018.
- Noor, Djauhari. (2012). *Pengantar Geologi*. Fakultas Teknik. Universitas Pakuan.
- Nurrohman, A.S. (2015). *Identifikasi Jalur Sesar Minor Grindulu Berdasarkan Data Anomali Medan Magnet*. Program Studi Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Nurwidyanto, M.I., (2011). *Kajian Pendahuluan Sesar Opak dengan Metode Gravitasi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada.
- Parera, A.F.T. (2015). *Pemodelan Tiga Dimensi Anomali Gravitasi dan Identifikasi Sesar Lokal dalam Penentuan Jenis Sesar di Daerah Pacitan*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Jakarta.
- Samodra, H., Gafoer, S., & Tjokrosapoetro, S. (1992). *Peta Geologi Lembar Pacitan*. Bandung : Direktorat Geologi.
- Sampurna dan Samodra, H, Gafoer. (1997). *Peta Geologi lembar Ponorogo, Jawa*.
- Serway, R.A. dan Jewett, J.W. (2004). *Physics for Scientists and Engineers Six Edition*. Belmont: Thomson BrooksCole.
- Syirojudin, M. (2010). *Penentuan Karakteristik Sesar Cimandiri Segmen Pelabuhan Ratu-Citarik dengan Metode Magnet Bumi*. Skripsi. Jurusan Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.E., (2004). *Applied Gophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Zakaria, Z. (2009). *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*. Laboratorium Geologi Teknik, Program Studi Teknik Geologi. Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran.

Lampiran 1. Data Mentah Hasil Pengukuran

Daerah : Kecamatan Pacitan dan Arjosari Kabupaten Pacitan

Tanggal : 24-26 Agustus 2017

No.	Nama Titik	Elevasi (m)	Waktu	Koordinat		Pengukuran (nT)
				X	Y	
1	BASE 1	70	8:02	510888	9096036	45,003
			8:02			45,011
			8:02			45,015
			8:03			45,015
			8:03			45,030
2	D1	421	8:42	506348	9096353	44,768
			8:43			44,816
			8:44			44,730
			8:44			44,723
			8:45			44,744
3	D2	413	9:02	507145	9096035	44,827
			9:02			44,831
			9:03			44,829
			9:03			44,829
			9:03			44,827
4	D3	370	9:22	507595	9096379	44,615
			9:24			44,595
			9:24			44,625
			9:25			45,606
			9:29			45,798

5	D4	246	9:56	508456	9096307	45,599
			9:57			45,513
			9:57			45,515
			9:57			45,495
			10:01			45,616
6	BASE 2	70	10:43	510888	9096036	45,131
			10:43			45,131
			10:43			45,131
			10:43			45,131
			10:43			45,131
7	D5	58	11:40	508494	9094338	44,849
			11:43			44,868
			11:43			44,858
			11:44			44,885
			11:45			44,852
8	D6	152	12:22	507664	9094656	44,927
			12:23			44,947
			12:23			44,908
			12:23			44,945
			12:24			44,920
9	D7	89	12:37	507310	9095247	44,723
			12:37			44,731
			12:42			44,737
			12:42			44,725
			12:43			44,724
10	BASE 3	70	13:20	510888	9096036	44,910
			13:20			44,913
			13:20			44,914
			13:21			44,903
			13:21			44,910
11	D8	35	14:08	509530	9095100	44,788
			14:09			44,773
			14:09			44,781
			14:09			44,780
			14:09			44,703

12	D9	50	14:27	510600	9095876	44,479
			14:27			44,624
			14:27			44,623
			14:27			44,608
			14:27			44,655
13	D10	97	14:45	510781	9096403	44,712
			14:46			44,735
			14:46			44,699
			14:47			44,719
			14:47			44,759
14	BASE 4	70	15:01	510888	9096036	44,757
			15:06			44,815
			15:07			44,743
			15:07			44,761
			15:08			44,779
15	D11	137	15:33	509500	9096994	44,996
			15:33			44,952
			15:33			44,944
			15:33			44,932
			15:34			44,966
16	D12	79	16:14	510263	9096285	44,428
			16:14			44,426
			16:14			44,449
			16:15			44,410
			16:15			44,333
17	D13	40	16:43	511820	9096932	44,858
			16:43			44,802
			16:44			44,799
			16:44			44,821
			16:44			44,811
18	D14	46	16:52	511371	9097254	44,924
			16:53			44,918
			16:53			44,868
			16:53			44,928
			16:53			44,926

19	BASE 5	70	17:04	510888	9096036	44,842
			17:04			44,852
			17:04			44,845
			17:04			44,841
			17:05			44,838
20	BASE 6	36	8:17	511345	9097314	44,848
			8:17			44,774
			8:17			44,779
			8:17			44,783
			8:18			44,772
21	D14	117	8:51	509520	9096454	45,334
			8:51			45,363
			8:52			45,349
			8:54			45,355
			8:54			45,354
22	D15	40	9:31	511064	9097553	44,988
			9:32			45,047
			9:32			45,023
			9:32			45,067
			9:33			45,057
23	D16	32	9:41	511074	9097263	44,857
			9:45			44,864
			9:46			44,850
			9:46			44,883
			9:48			44,852
24	BASE 7	36	9:57	511345	9097314	44,896
			9:57			44,903.60
			9:58			44,893.40
			9:58			44,801
			9:58			44,825
25	D17	56	10:16	511414	9097859	44,706
			10:16			44,879
			10:17			44,882
			10:17			44,889
			10:17			44,888

26	D18	34	10:41	510742	9097627	45,062
			10:42			45,035
			10:42			45,130
			10:43			45,126
			10:43			45,105
27	D19	155	10:59	509962	9097997	44,842
			10:59			44,744
			11:00			44,805
			11:00			44,802
			11:00			44,817
28	BASE 8	36	11:24	511345	9097314	45,109
			11:27			44,815
			11:27			44,805
			11:28			44,779
			11:34			44,787
29	D20	26	12:16	513307	9098988	44,985
			12:17			44,973
			12:19			44,981
			12:23			45,005
			12:27			44,987
30	D21	48	12:40	513013	9099027	45,011
			12:47			45,028
			12:47			44,983
			12:48			44,987
			12:49			45,010
31	D22	19	13:42	514024	9099331	44,669
			13:43			44,656
			13:43			44,670
			13:44			44,677
			13:46			44,635
32	D23	24	14:05	513815	9098219	44,913
			14:06			44,931
			14:06			44,939
			14:06			44,918
			14:06			44,943

33	BASE 9	36	14:30	511345	9097314	44,826
			14:37			44,770
			14:38			44,751
			14:40			44,767
			14:42			44,771
34	D24	236	14:58	512766	9097644	44,909
			14:59			44,849
			14:59			44,825
			14:59			44,830
			14:59			44,826
35	D25	240	15:05	512766	9097644	45,085
			15:06			45,077
			15:07			45,071
			15:08			45,057
			15:08			45,053
36	D26	351	15:18	512031	9098668	44,805
			15:19			44,813
			15:19			44,821
			15:19			44,809
			15:20			44,792
37	D27	367	15:34	511501	9099382	44,845
			15:35			44,850
			15:37			44,994
			15:37			45,019
			15:37			45,020
38	D28	60	16:17	513592	9099630	44,915
			16:17			45,017
			16:18			44,989
			16:19			45,014
			16:19			45,046
39	D29	73	16:39	514731	9100449	45,160
			16:40			45,153
			16:41			45,141
			16:41			45,207
			16:42			45,162

40	D30	192	17:37	513732	9101513	45,111
			17:38			45,234
			17:38			45,209
			17:38			45,180
			17:38			45,083
41	D31	39	18:03	515245	9100101	45,000
			18:03			45,000
			18:03			44,983
			18:03			45,001
			18:03			45,014
42	D32	30	18:14	514627	9098838	45,341
			18:14			45,271
			18:14			45,291
			18:14			45,277
			18:15			45,294
43	BASE 10	36	18:49	511345	9097314	44,855
			18:49			44,816
			18:49			44,835
			18:49			44,853
			18:49			44,844
44	BASE 11	52	10:38	509531	9095561	44,815
			10:38			44,860
			10:38			44,825
			10:38			44,815
			10:43			44,860
45	D33	60	10:48	509514	9095586	45,041
			10:52			45,022
			10:53			44,966
46	D34	76	11:25	509382	9095561	44,701
			11:26			44,721
			11:27			44,734
			11:28			44,706
			11:29			44,705

47	D35	62	11:43	509521	9095556	44,796
			11:48			44,816
			11:48			44,826
48	D36	64	11:52	509510	9095551	44,618
			11:58			44,591
			12:00			44,566
49	BASE 12	52	12:10	509531	9095561	44,922
			12:14			44,881
			12:15			44,875

Lampiran 2. Perhitungan Anomali Medan Magnet

Daerah : Kecamatan Pacitan dan Arjosari Kabupaten Pacitan

Tanggal 24-26 Agustus 2017

Nama Titik	Koordinat		Elevasi (m)	t_n (s)	B (nT)	B_{IGRF} (nT)	B_{VH} (nT)	ΔB (nT)
	X	Y						
BASE1	510888	9096036	70	8:02	45015	45091	-	-
D1	506348	9096353	421	8:43	44756	45084	29	-358
D2	507145	9096035	413	9:02	44829	45085	43	-300
D3	507595	9096379	370	9:24	45048	45085	59	-96
D4	508456	9096307	246	9:57	45548	45088	83	376
BASE ₂	510888	9096036	70	10:43	45131	45091	-	-
D5	508494	9094338	58	11:43	44862	45101	-84	-154
D6	507664	9094656	152	12:23	44929	45098	-140	-28
D7	507310	9095247	89	12:40	44728	45097	-164	-204
BASE ₃	510888	9096036	70	13:20	44910	45091	-	-
D8	509530	9095100	35	14:08	44765	45097	-63	-268

Nama Titik	Koordinat		Elevasi (m)	t_n (s)	B (nT)	B_{IGRF} (nT)	B_{VH} (nT)	ΔB (nT)
	X	Y						
D9	510600	9095876	50	14:27	44598	45093	-87	-407
D10	510781	9096403	97	14:46	44725	45089	-113	-251
D11	509500	9096994	137	15:33	44958	45090	16	-148
D12	510263	9096285	79	16:14	44409	45091	42	-723
D13	511820	9096932	40	16:43	44818	45087	59	-329
BASE 5	510888	9096036	70	17:04	44844	45091	-	-
BASE 6	511345	9097314	36	8:17	44791	45086	-	-
D14	509520	9096454	117	8:52	45351	45089	25	236
D15	511064	9097553	40	9:32	45036	45085	54	-103
D16	511074	9097263	32	9:45	44861	45087	63	-288
BASE 7	511345	9097314	36	9:57	44863	45086	-	-

Nama Titik	Koordinat		Elevasi (m)	t_n (s)	B (nT)	B_{IGRF} (nT)	B_{VH} (nT)	ΔB (nT)
	X	Y						
D17	511414	9097859	56	10:16	44848	45083	-1	-233
D18	510742	9097627	34	10:42	45091	45083	-2	8,9
D19	509962	9097997	155	10:59	44802	45081	-3	-276
BASE 8	511345	9097314	36	11:28	44859	45086	-	-
D20	513307	9098988	26	12:20	44986	45077	-22	-69
D21	513013	9099027	48	12:46	45004	45077	-33	-39
D22	514024	9099331	19	13:43	44661	45076	0.7	-415
D23	513815	9098219	24	14:05	44929	45081	-68	-83
BASE 9	511345	9097314	36	14:37	44777	45086	-	-
D24	512766	9097644	236	14:58	44848	45079	5,4	-236
D25	512766	9097644	240	15:08	45069	45079	7,4	-18
D26	512031	9098668	351	15:19	44808	45072	11	-275

Nama Titik	Koordinat		Elevasi (m)	t_n (s)	B (nT)	B_{IGRF} (nT)	B_{VH} (nT)	ΔB (nT)
	X	Y						
D27	511501	9099382	367	15:36	44946	45069	15	-138
D28	513592	9099630	60	16:18	44996	45074	25	-103
D29	514731	9100449	73	16:40	45164	45069	31	65
D30	513732	9101513	192	17:37	45163	45062	46	56
D31	515245	9100101	39	18:03	44999	45071	52	-123
D32	514627	9098838	30	18:14	45294	45077	55	163
BASE 10	511345	9097314	36	18:49	44841	45086	-	-
BASE 11	509531	9095561	52	10:39	44835	45095	-	-
D33	509514	9095586	60	10:51	45009	45094	7,4	-92
BASE 12	509531	9095561	52	12:13	44893	45095	-	-

Contoh perhitungan anomali medan magnet berdasarkan persamaan 8 :

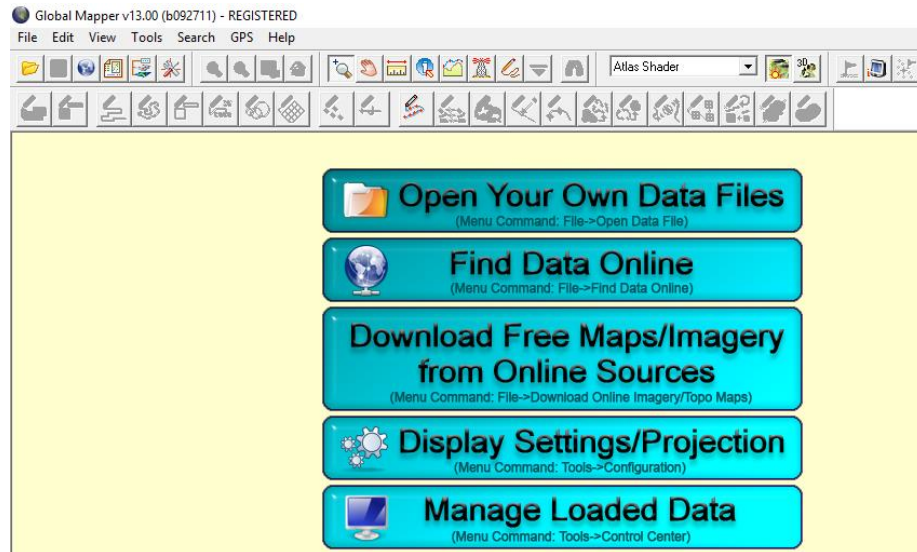
$$\Delta B = 45091 - 45083 + (-2) \quad \text{atau} \quad \Delta B = 45091 - 45083 - (+2)$$

$$\Delta B = 6 \text{ nT}$$

$$\Delta B = 6 \text{ nT}$$

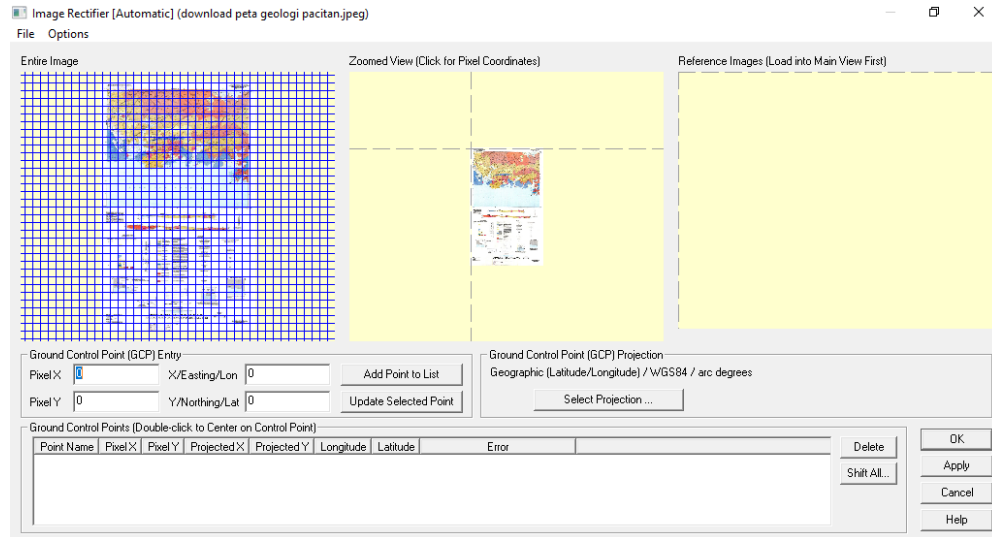
Lampiran 3. Pembuatan Desain Survei

1. Buka *Software* Global Mapper seperti pada Gambar L1 → klik *Open Your Own Data File* → pilih *file* peta yang akan diregister → *Open* → *Yes*.

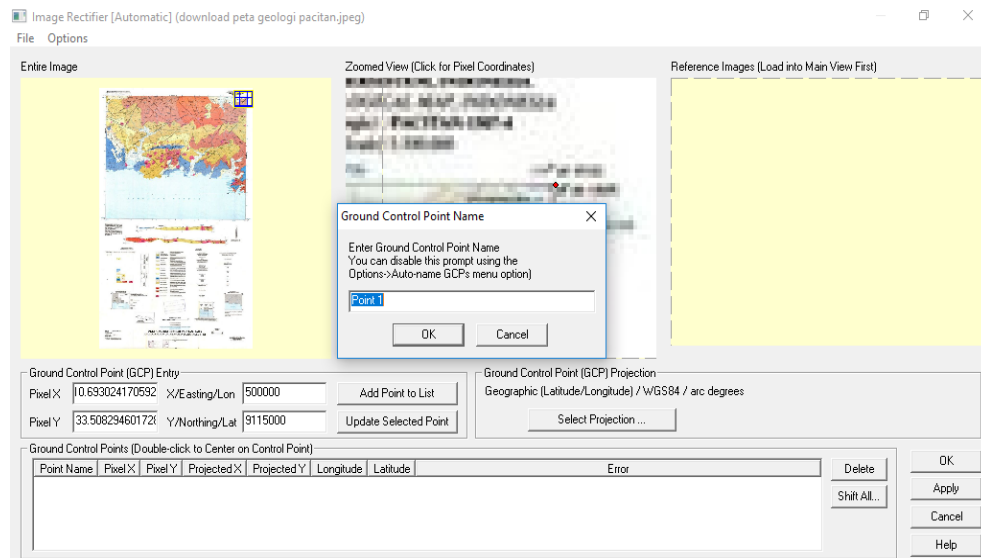


Gambar L1. Tampilan Awal *Software* Global Mapper

2. Setelah muncul kotak dialog *Image Rectifier* seperti pada Gambar L2, kemudian pilih *Select Option* dan pilih proyeksi koordinat yang diinginkan pada *Projection* → UTM atau *Geographic*.
3. Kemudian pilih salah satu ujung peta blok hingga membentuk persegi panjang → klik tepat pada pojok ujung peta hingga muncul titik berwarna merah → mengisi titik koordinat yang tercantum seperti pada Gambar L3 → klik *Add Point to List* → OK.

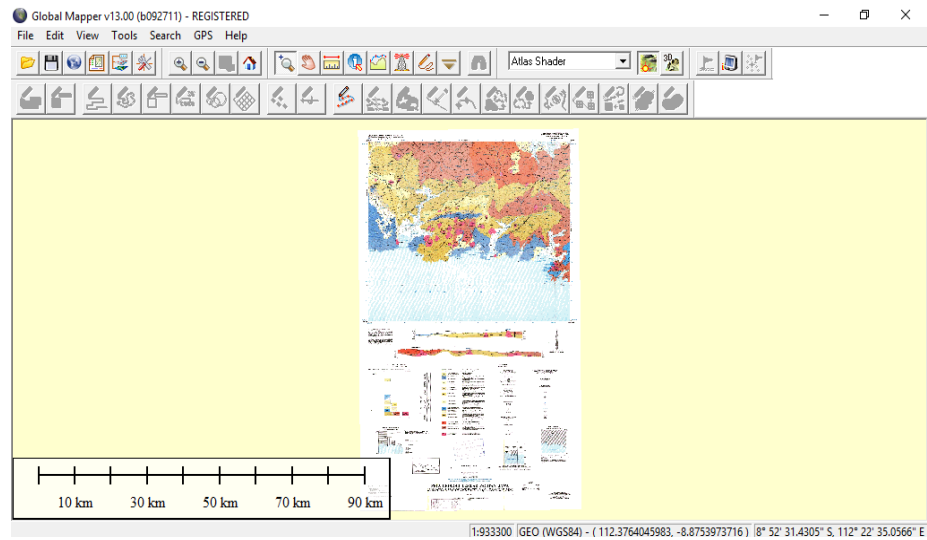


Gambar L2. Tampilan Kotak Dialog *Image Rectifier*



Gambar L3. Mengisi Titik Koordinat Peta

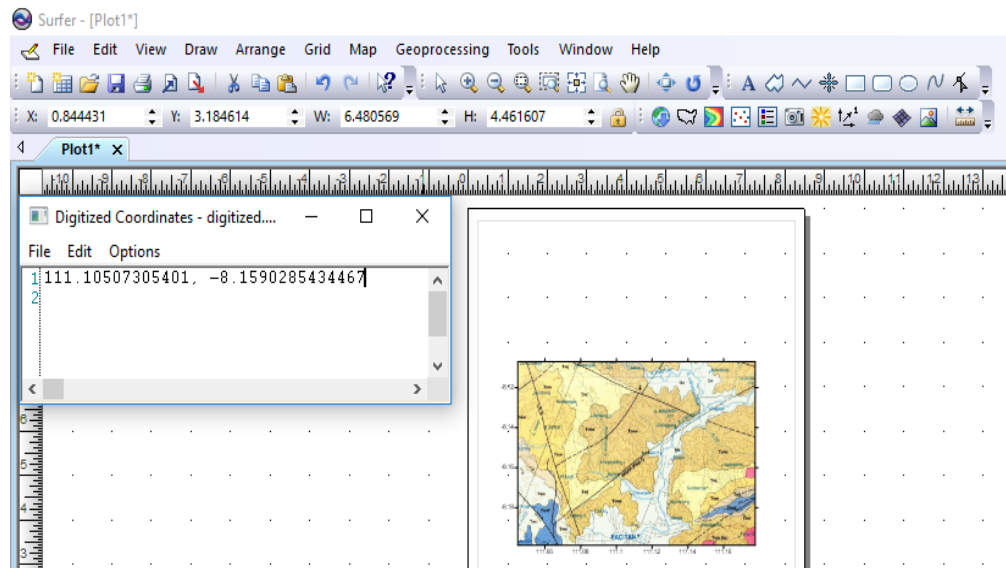
4. Selanjutnya ulangi langkah 3 pada ujung peta yang lain. Hasil *register* peta pada *software* Global Mapper akan muncul seperti pada Gambar L4.



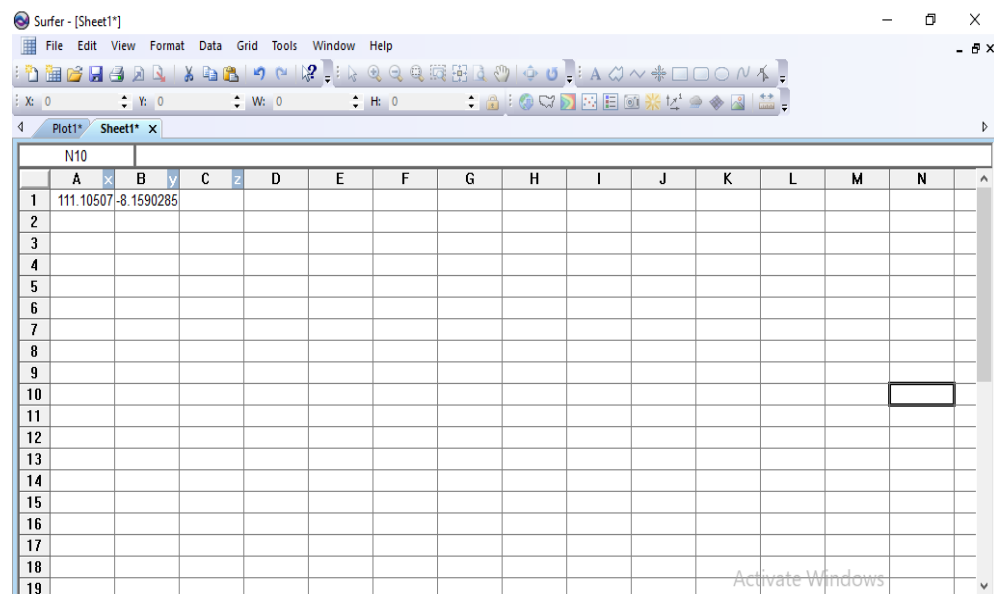
Gambar L4. Hasil *Register Peta* pada *Software Global Mapper*

5. Buka *software* Surfer, pilih menu *Map* → *New* → *Base Map* → pilih peta geologi yang telah *diregister*.
6. Untuk membuat desain survei terlebih dahulu mengetahui target penelitian kemudian pilih satu titik di dekat daerah penelitian dengan cara pilih menu *Map* → *Digitize* → klik titik yang dekat target hingga muncul kotak dialog *Digitized Coordinates* seperti pada Gambar L5.
7. Kemudian klik koordinat yang berada pada kotak dialog *Digitized Coordinates* dan *Copy*.
8. Buka *Worksheet* dengan pilih menu *File* → *New* → *Worksheet* hingga muncul tampilan seperti pada Gambar L6.
9. Kemudian buka Microsoft Excel tentukan titik-titik koordinat sesuai target dengan menjumlahkan atau mengurangi jarak antar titik-titik koordinat.

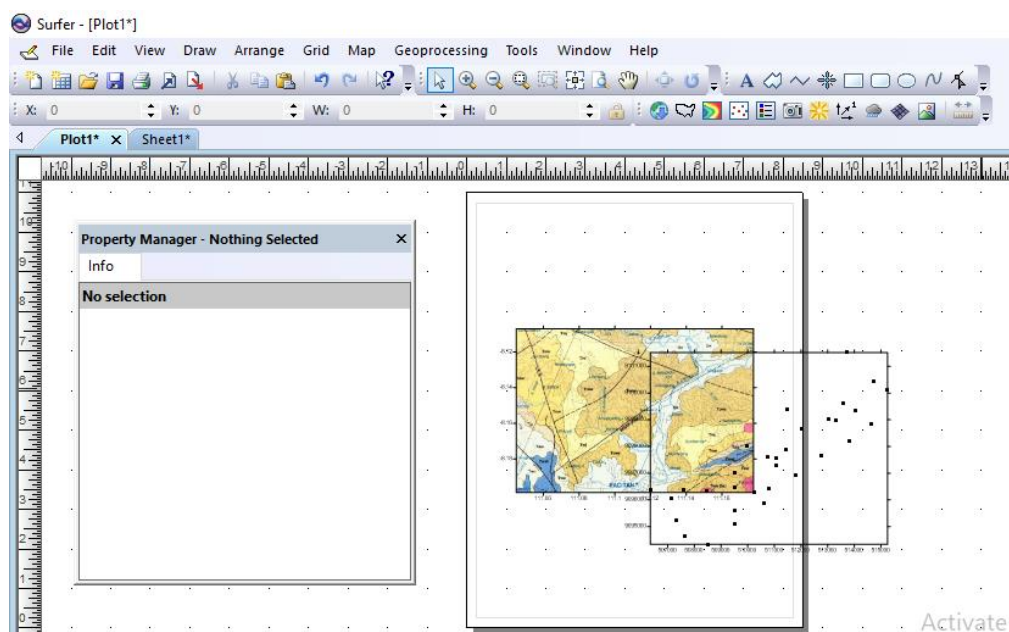
10. Selanjutnya *Copy* titik-titik koordinat dari Microsoft Excel ke *Worksheet*.
11. Pilih *New Post Map* hingga muncul seperti pada Gambar L7.
12. Pilih menu *Map* → klik *Overlay Maps* hingga muncul seperti pada Gambar L8.



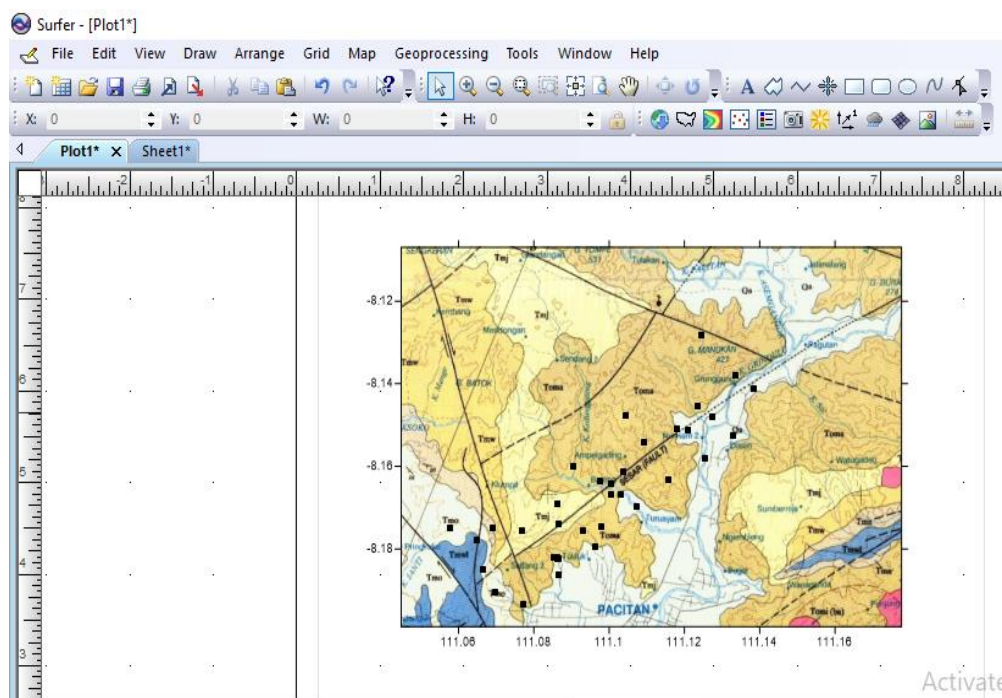
Gambar L5. Kotak Dialog *Digitized Coordinates*



Gambar L6. Tampilan *Worksheet*



Gambar L7. Tampilan Sebelum di-Overlay dengan Titik-Titik Pengukuran

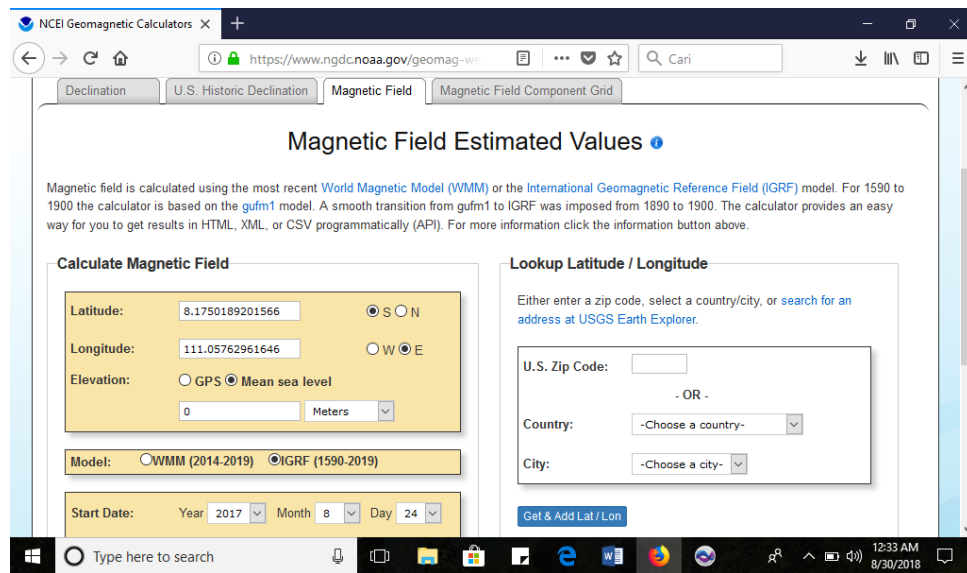


Gambar L8. Tampilan Setelah di-Overlay dengan Titik-Titik Pengukuran

Lampiran 4. Tahapan 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 Gambar L9.



The screenshot shows a web browser window with the URL <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-we>. The page title is "NCEI Geomagnetic Calculators". The main heading is "Magnetic Field Estimated Values". Below the heading, there is a paragraph explaining the calculation method: "Magnetic field is calculated using the most recent World Magnetic Model (WMM) or the International Geomagnetic Reference Field (IGRF) model. For 1590 to 1900 the calculator is based on the *gufm1* model. A smooth transition from *gufm1* to IGRF was imposed from 1890 to 1900. The calculator provides an easy way for you to get results in HTML, XML, or CSV programmatically (API). For more information click the information button above."

The form is divided into two main sections: "Calculate Magnetic Field" and "Lookup Latitude / Longitude".

Calculate Magnetic Field:

- Latitude:** Input field with value 8.1750189201566. Radio buttons for S and N, with N selected.
- Longitude:** Input field with value 111.05762961646. Radio buttons for W and E, with E selected.
- Elevation:** Radio buttons for GPS and Mean sea level, with Mean sea level selected. Below is an input field for elevation in meters, with the value 0.
- Model:** Radio buttons for WMM (2014-2019) and IGRF (1590-2019), with IGRF (1590-2019) selected.
- Start Date:** Year: 2017, Month: 8, Day: 24.

Lookup Latitude / Longitude:

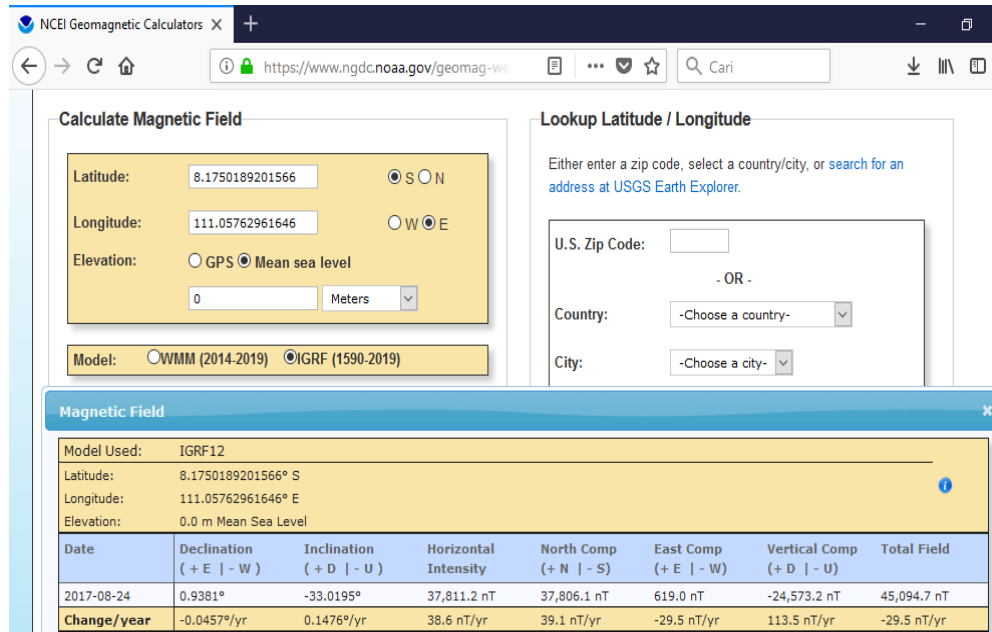
Either enter a zip code, select a country/city, or search for an address at USGS Earth Explorer.

- U.S. Zip Code:** Input field.
- OR -**
- Country:** Dropdown menu with "-Choose a country-".
- City:** Dropdown menu with "-Choose a city-".

A "Get & Add Lat / Lon" button is located at the bottom right of the form.

Gambar L9. Tampilan *website* NOAA Untuk Mengetahui Nilai IGRF di Daerah Penelitian

2. Pada kolom *Latitude* dan *Longitude* diisi dengan koordinat titik pengambilan data dalam bentuk koordinat geografi dan diperhatikan juga 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. Hasil IGRF seperti pada Gambar L10.



Gambar L10. Informasi Nilai IGRF di Salah Satu Titik Pengukuran

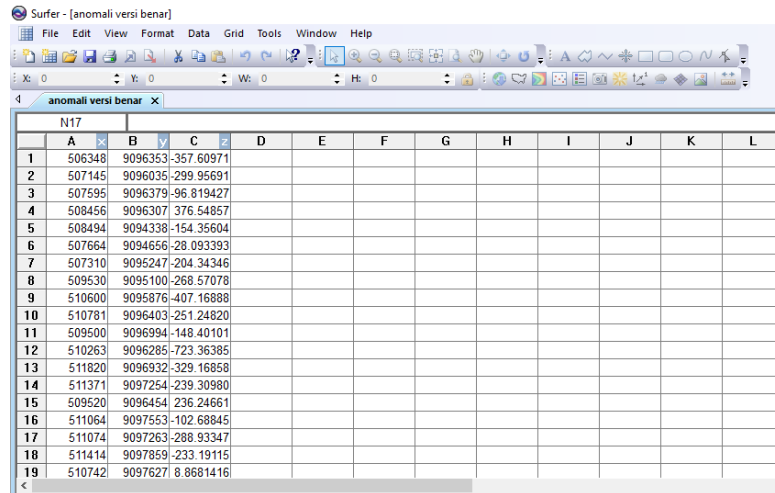
B. Menghitung Anomali Medan Magnet

1. Membuka *software* Microsoft Excel → memasukkan hasil pengambilan data → menghitung nilai koreksi variasi harian (B_{VH}) dengan persamaan 7.
2. Kemudian menghitung nilai anomali medan magnet dengan persamaan 8.

C. Membuat Kontur Anomali Medan Magnet

1. Buka *software* Surfer 12 pilih *File* → *New* → *Worksheet*.
2. Memasukkan data pada *worksheet* dengan format kolom A = koordinat x, kolom B = koordinat y, kolom C = nilai anomali medan magnet seperti Gambar L11, kemudian simpan dalam ekstensi txt.

- Pilih *Grid* → *Data* → pilih data anomali medan magnet yang telah disimpan.
Setelah muncul dialog *Grid Data* → pilih *Natural Neighbor* pada *Gridding Method* kemudian klik OK.

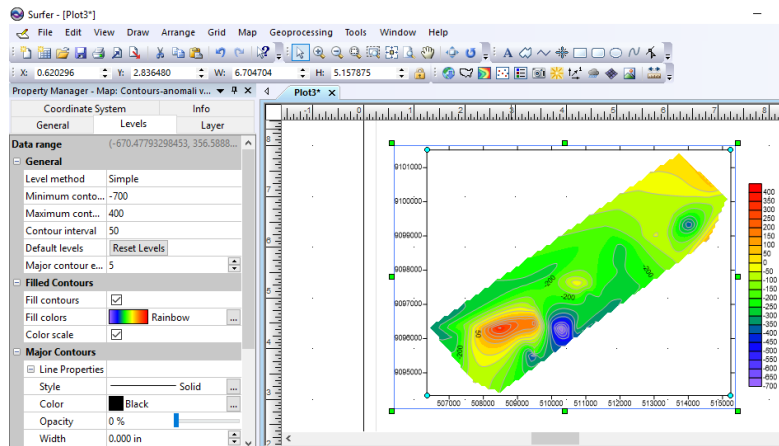


The screenshot shows the Surfer software interface with a data grid titled 'anomali versi benar'. The grid contains magnetic anomaly data points for 19 stations. The columns are labeled A through L, and the rows are numbered 1 through 19. The data values are as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	506348	9096353	-357.60971									
2	507145	9096035	-299.95691									
3	507595	9096379	-96.819427									
4	508456	9096307	376.54857									
5	508494	9094338	-154.35604									
6	507664	9094656	-28.093393									
7	507310	9095247	-204.34346									
8	509530	9095100	-268.57078									
9	510600	9095876	-407.16888									
10	510781	9096403	-251.24820									
11	509500	9096994	-148.40101									
12	510263	9096285	-723.36385									
13	511820	9096932	-329.16858									
14	511371	9097254	-239.30980									
15	509520	9096454	236.24661									
16	511064	9097553	-102.68845									
17	511074	9097263	-288.93347									
18	511414	9097859	-233.19115									
19	510742	9097627	8.8681416									

Gambar L11. Pembuatan Kontur Anomali Medan Magnet

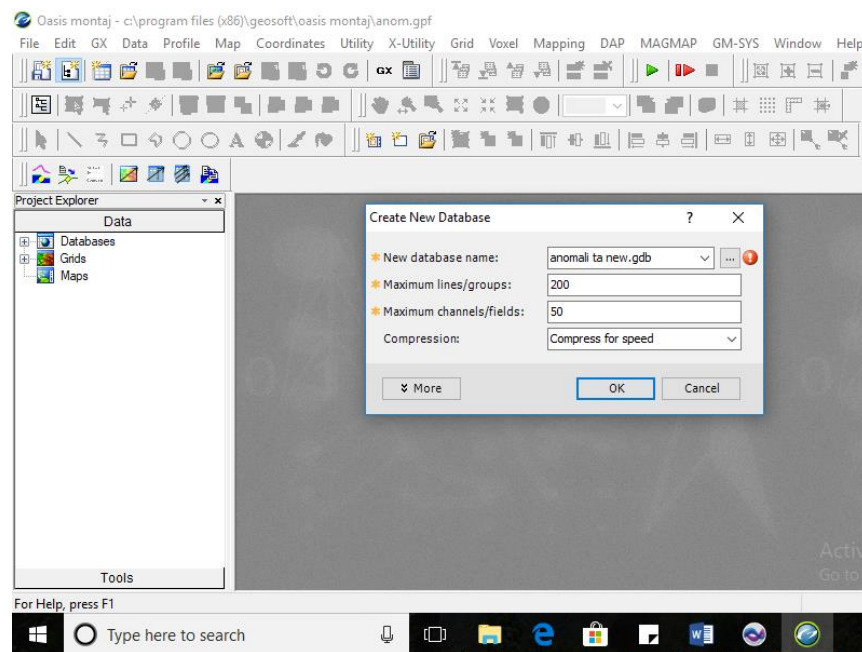
- Buka *New Plot* → *Map* → *New* → *Contour Map* → pilih *file* dalam format *.grd.
Kemudian atur peta kontur agar lebih mudah dalam pembacaan pada kotak pengaturan kontur di sebelah kiri seperti pada Gambar L12.



Gambar L12. Hasil Kontur Anomali Medan Magnet

D. Reduksi Ke Kutub

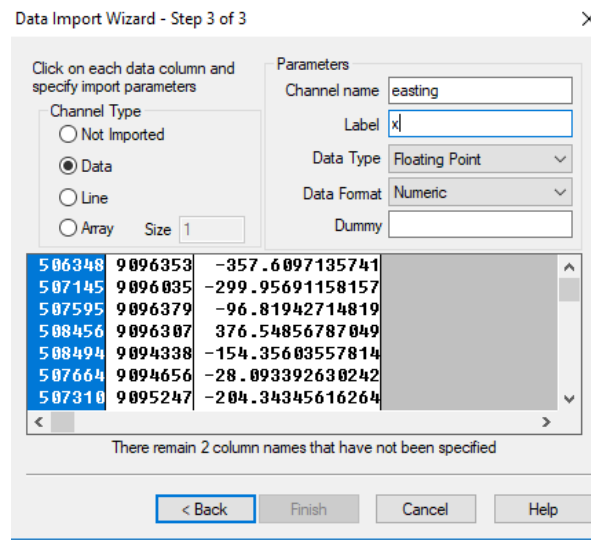
1. Membuka terlebih dahulu *file* anomali medan magnet untuk kemudian melakukan proses reduksi ke kutub pada *software* Oasis Montaj.
2. Buka *software* Oasis Montaj → pilih *File* → *Project* → *New* → simpan *project* dengan nama yang diinginkan.
3. Pilih menu *Data* → *New Database* dan akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar L13 dan simpan nama *file* kemudian klik OK.



Gambar L13. Membuat Kontur Anomali Medan Magnet di *Software* Oasis Montaj

4. Pilih menu *Data* → *Import* → *Ascii* untuk mengimpor data sehingga akan muncul kotak dialog *Import Wizard*. Kemudian pilih data anomali medan magnet dalam ekstensi .txt dan pilih *Next* untuk *Data Import Wizard Step 1-2*.

5. Pada *Data Import Wizard Step 3 of 3* klik kolom pertama kemudian isi pada bagian *Parameters*. *Channel name* diisi *easting* dan *Label* diisi x seperti pada Gambar L14. Kemudian klik kolom kedua *Channel name* diisi *northing* dan *Label* diisi y. Selanjutnya klik kolom ketiga *Channel name* diisi *anomali* dan *Label* diisi z kemudian klik *Finish* dan simpan *template*.



Gambar L14. Tampilan Nama *Channel* dan *Label*

6. Setelah itu akan muncul kotak dialog *Create New Database*, pada bagian *New Database Name* isi dengan nama yang diinginkan kemudian disimpan dan klik OK. Hasil *import* data ditunjukkan seperti pada Gambar L15.
7. Untuk mengatur koordinat yang digunakan pilih menu *Coordinates* → *Change X,Y Coordinates* maka akan muncul kotak dialog *Set current X,Y channels* seperti pada Gambar L16.

Oasis montaj - c:\program files (x86)\geosoft\oasis montaj\anom.gpf - [anomali ta new.gdb]

File Edit GX Data Profile Map Coordinates Utility X-Utility Grid Voxel Mapping DAP MAGMAP GM-SYS Window Help

Project Explorer

	Easting	Northing	anomaly
0.0	506340	9096353	-357.6097135741000
1.0	507145	9096835	-299.9569115815700
2.0	507595	9096379	-96.8194271481900
3.0	508456	9096307	376.5485678704900
4.0	508494	9094338	-154.3560355781400
5.0	507664	9094656	-28.0933926302420
6.0	507310	9095247	-204.3434561626400
7.0	509530	9095100	-268.570779886200
8.0	510600	9095876	-407.1688804554100
9.0	510781	9096403	-251.2481973434500
10.0	509500	9096994	-148.4010135135100
11.0	510263	9096285	-723.3638513513500
12.0	511820	9096932	-329.1685810810800
13.0	511371	9097254	-239.3097972972900
14.0	509520	9096454	236.2466135458100
15.0	511064	9097553	-102.6884462151400
16.0	511074	9097263	-288.9334661354700

Gambar L15. Tampilan Hasil *Import Data*

Set current X,Y channels

Current X (Easting) easting

Current Y (Northing) northing

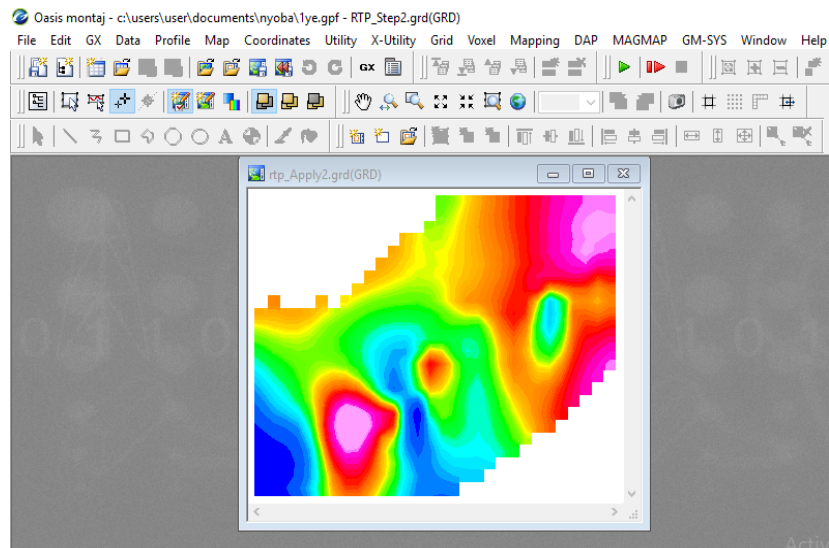
Current Z (Elevation) anomaly

OK Cancel

Gambar L16. Pengaturan Koordinat

8. Pilih menu *Grid* → *Gridding* → *Minimum Curvatur* → *Dialog Controls*, maka akan muncul kotak *Minimum curvature Gridding*. Pada bagian *Channel to Grid* pilih anomali kemudian beri nama *file grid* dan pilih OK.
9. Untuk memunculkan menu *MAGMAP* pada Oasis Montaj maka pilih menu *GX* → *Load menu* kemudian muncul kotak dialog *Load menu* pilih *magmap.omn* dan *Open* sehingga muncul menu *MAGMAP*.

10. Untuk tahapan *Reduce To Pole* (RTP) maka pilih menu *MAGMAP* → *Step by Step Filtering* → *Prepare Grid* sehingga muncul kotak dialog *FFT2 grid pre-processing* kemudian simpan.
11. Setelah itu pilih menu *MAGMAP* → *Step by Step Filtering* → *Apply Filter*. Pada kotak dialog *Name of input Transform File* pilih *file* hasil *output* yang telah disimpan sebelumnya dan beri nama kemudian klik OK, sehingga muncul hasil RTP seperti pada Gambar L17.

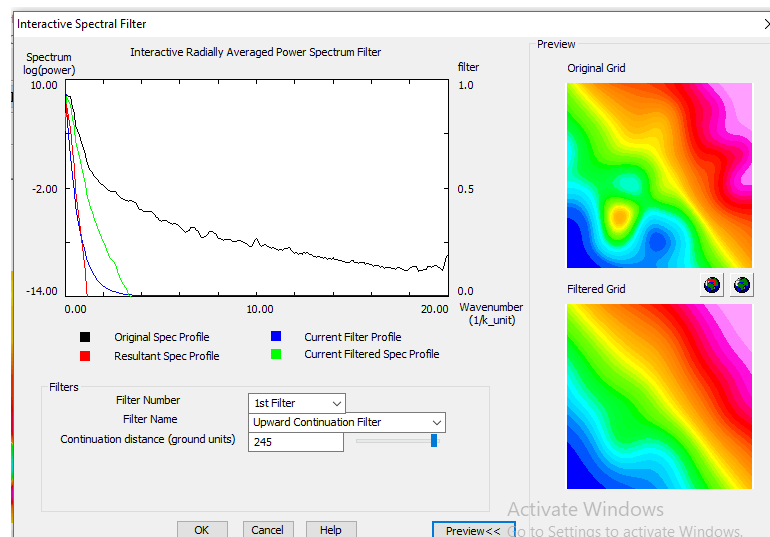


Gambar L17. Hasil RTP

E. Kontinuasi Ke Atas

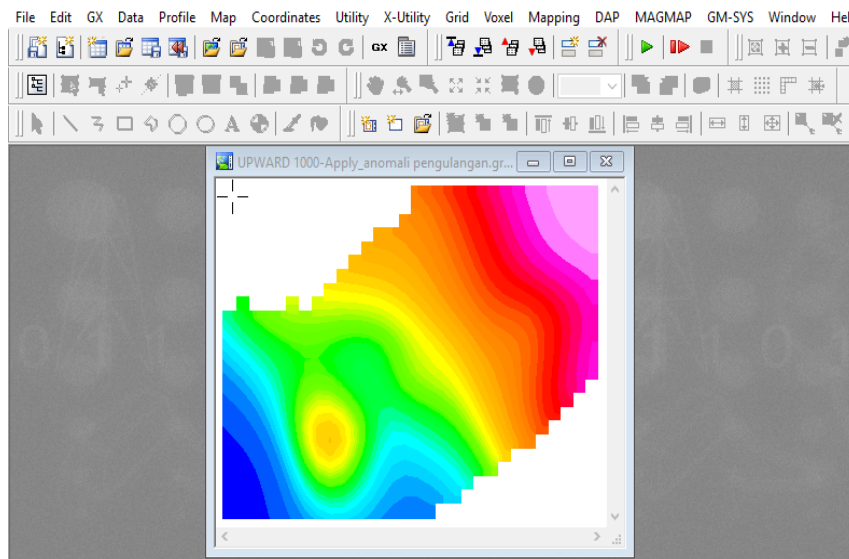
1. Pilih menu *MAGMAP* → *Interactive Filtering* → *Prepare Grid* maka akan muncul kotak dialog *FFT2 grid pre-processing*. Pilih hasil RTP pada kolom *Name of Input (Original) Grid File* dan beri nama pada kolom *Name of Input (Original) Grid File* sesuai yang diinginkan kemudian pilih *Start*.

2. Pilih menu *MAGMAP* lagi → *Interactive Filtering* → *Forward FFT* maka akan muncul dialog *FFT2IN* pada kolom *Name of Input pre-processed Grid File* pilih hasil pengolahan pada langkah 1 kemudian klik OK.
3. Kemudian pilih menu *MAGMAP* lagi → *Interactive Filtering* → *Radial Average Spectrum* maka akan muncul dialog *FFT2RSPC*. Pada kolom *Name of Input Transform (grid) File* pilih file hasil pengolahan langkah 1. Pada kolom *Name of Output Spectrum File* beri nama sesuai yang diinginkan kemudian klik OK.
4. Pilih menu *MAGMAP* → *Interactive Filtering* → *Interactive Spectrum Filters* maka akan muncul kotak dialog *Interactive Spectral Filter*. Pada bagian *Filters* kolom *Filter Name* pilih *Upward Continuation Filter* maka akan muncul kolom *Continuation distance* kemudian isi ketinggian yang diinginkan. Untuk melihat perubahan anomali medan magnet setelah dilakukan proses kontinuitas ke atas klik *Preview* sehingga muncul seperti Gambar L18 dan klik OK.



Gambar L18. *Preview* Hasil Kontinuasi ke Atas

5. Pilih menu *MAGMAP* → *Interactive Filtering* → *Apply Filter* maka akan muncul dialog *FFT2FLT*. Pada kolom *Name of Input Transform File* pilih *file* hasil langkah 1 kemudian pada kolom *Name of Output Grid File* isikan nama sesuai yang diinginkan. Pada kolom *Name of Reference (Original) Grid File* pilih *file* hasil proses RTP kemudian klik OK maka akan muncul hasil proses kontinuitas ke atas seperti pada Gambar L19.

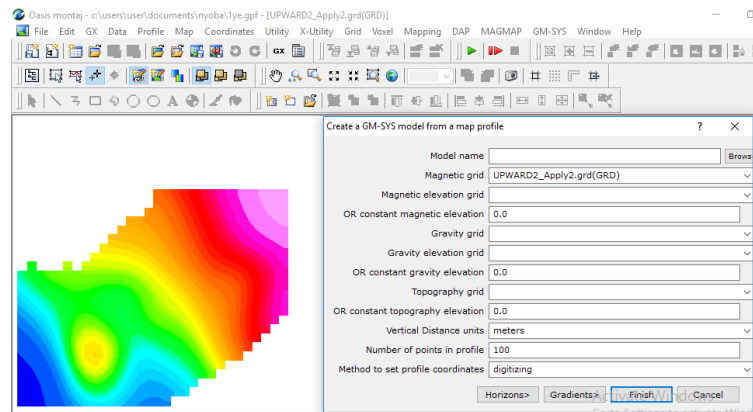


Gambar L19. Hasil Kontinuitas ke Atas

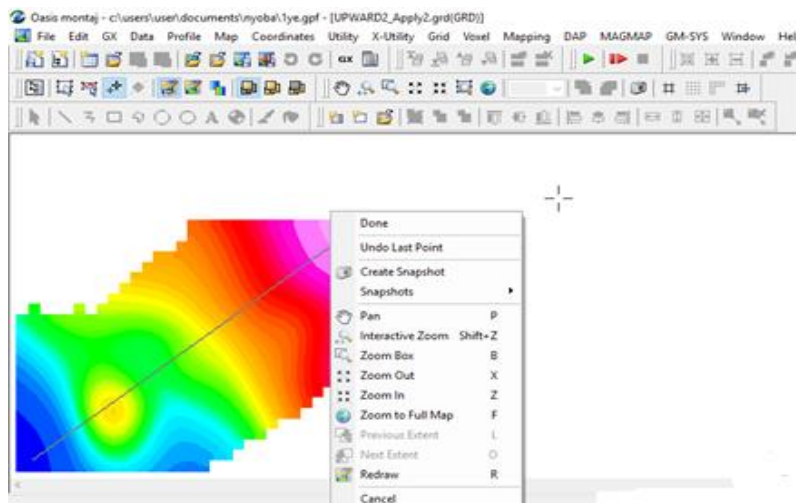
F. Pemodelan 2D

1. Sebelum membuat model, tentukan kontur anomali medan magnet hasil kontinuitas ke atas, kemudian dilakukan sayatan pada daerah yang diinginkan. Pertama dengan memunculkan fitur pemodelan 2D yaitu : pilih menu *GX* → *Load Menu* pilih *gmsys.omn* → *Open*. Maka menu untuk pemodelan 2D akan muncul.

2. Pilih menu *GM-SYS* → *New Model* → *From Map Profile* kemudian beri nama sesuai yang diinginkan pada *model name* seperti pada Gambar L20 dan klik *Finish*.
3. Kemudian sayat sesuai dengan keinginan. Pada penelitian ini digunakan sayatan memotong sesar dan sejajar sesar. Cara penyayatan dengan klik cursor pada ujung sayatan kemudian menarik cursor dan klik kiri satu kali selanjutnya klik kanan pilih *Done* seperti Gambar L21.

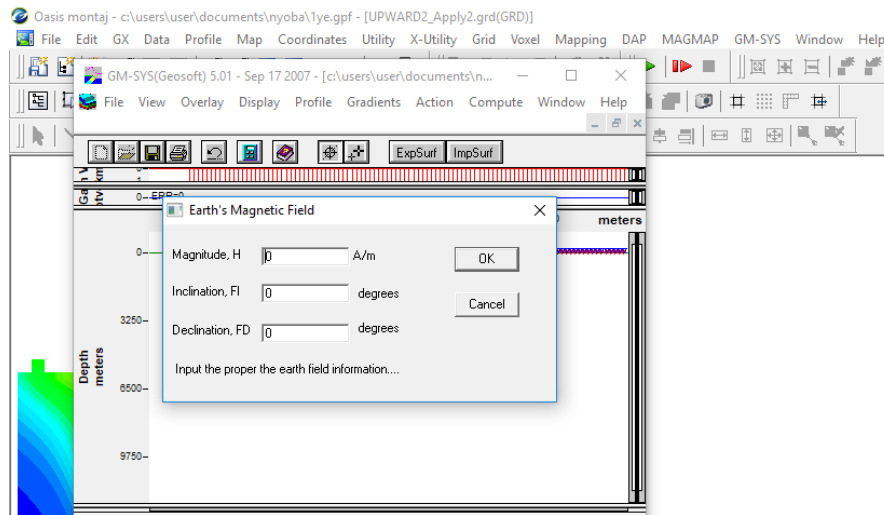


Gambar L20. Tampilan Awal Pemodelan 2D pada *Software* Oasis Montaj



Gambar L21. Penyayatan Kontur Kontinuasi ke Atas

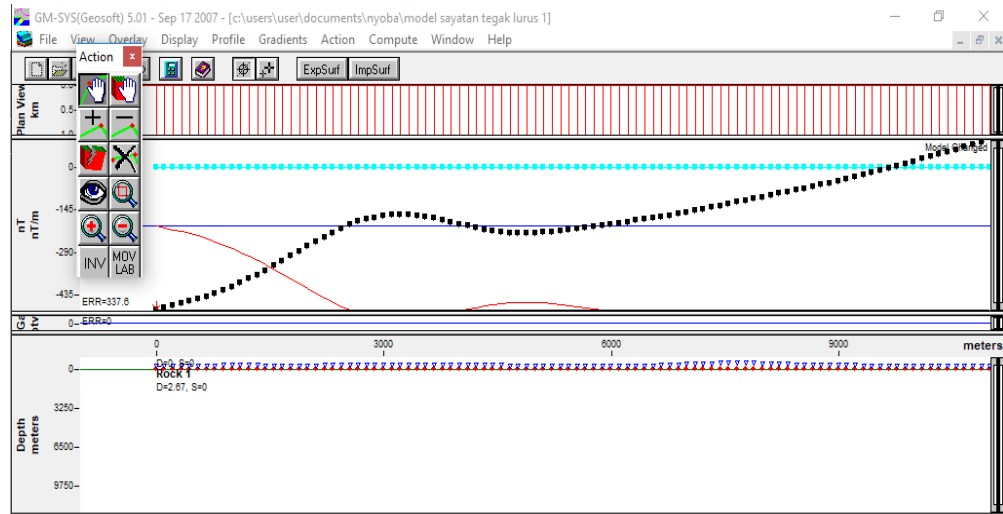
4. *Software* Oasis Montaj kemudian akan secara otomatis membuka menu di jendela baru yaitu GM-SYS. Sebelum memulai pemodelan, perlu diisikan data rata-rata IGRF, inklinasi, dan deklinasi seperti pada Gambar L22.



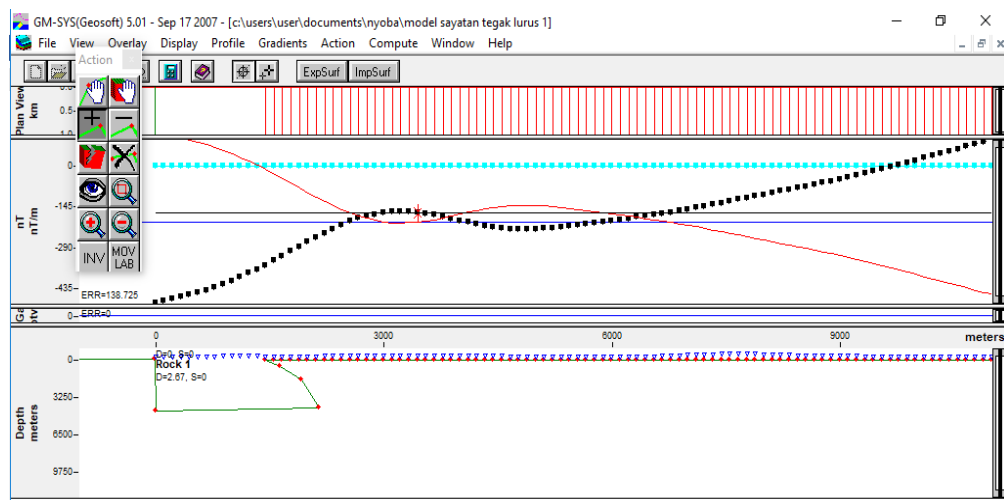
Gambar L22. Memasukkan nilai IGRF, Inklinasi dan Deklinasi Daerah Penelitian

5. Selanjutnya akan muncul tampilan pemodelan pada *GM-SYS* seperti pada Gambar L23. Pada *GM-SYS* bagian atas menunjukkan nilai anomali medan magnet, sedangkan bagian bawah menunjukkan pemodelan struktur batuan. Pembuatan model sebisa mungkin membuat garis merah dapat berhimpit dengan garis biru, dan garis hitam bisa mengikuti titik-titik hitam, sehingga nilai *error* menjadi kecil.
6. Kotak *Action* adalah *tools* dalam pembuatan model. Untuk membuat blok batuan, maka pilih *Add points* pada kotak *Action* kemudian tambahkan titik dengan menarik

garis di antara dua titik pada garis merah dan hubungkan dengan *split block*. Pilih *Accept new block* maka akan muncul seperti pada Gambar L24.



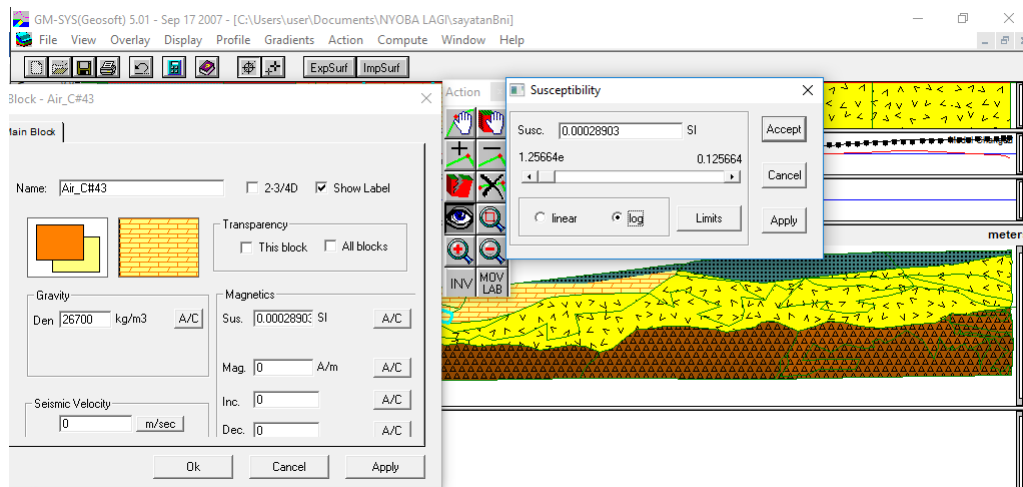
Gambar L23. Tampilan Awal *GM-SYS*



Gambar L24. Pembuatan Blok Batuan pada *GM-SYS*

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 kemudian muncul kotak dialog baru sebagai pengubah suseptibilitas dan ubah sampai nilai *error* mengecil seperti pada Gambar L25. Untuk mengubah satuan suseptibilitas dapat dilakukan dengan pilih *Display* → *Anomaly Units* → pilih sesuai keinginan.



Gambar L25. Tampilan Pemodelan 2D pada 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

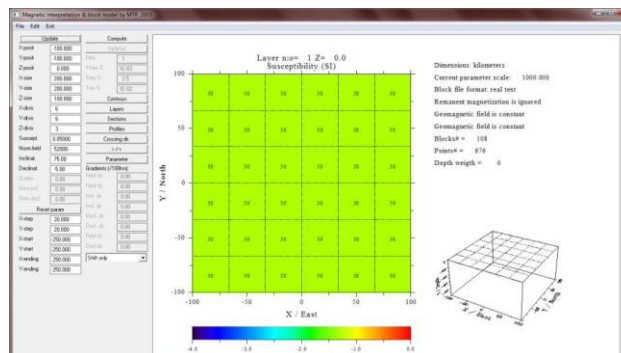
untuk model kedalaman → *Sample Interval* diisi sesuai dengan kebutuhan → OK → OK.

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*.
5. Pilih menu *Utility* → *Make Distance Channel* → *OK*. Maka akan muncul satu kolom lagi di bagian paling kanan.
6. Pilih menu *Data* → *Export* → *Other* → pilih format *.csv → beri nama sesuai keinginan.
7. Buka *software* Surfer, pilih *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. Pada bagian *Input* masukkan *File* RTP yang belum diatenuasi, beri nama *Output* sesuai keinginan → OK.
9. Buka Surfer 12 → *Map Contour* → nama simpanan dari *software* Surfer 12 sebelumnya → kemudian 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.

10. 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.
11. Buka *software* Magblox seperti Gambar L26 → pilih *cancel*. Pada bagian kiri bawah pilih *ignore*. Kemudian masukkan data sesuai keterangan berikut berdasarkan data yang telah diperoleh dari *software* surfer yang sudah disalin ke Microsoft Excel:

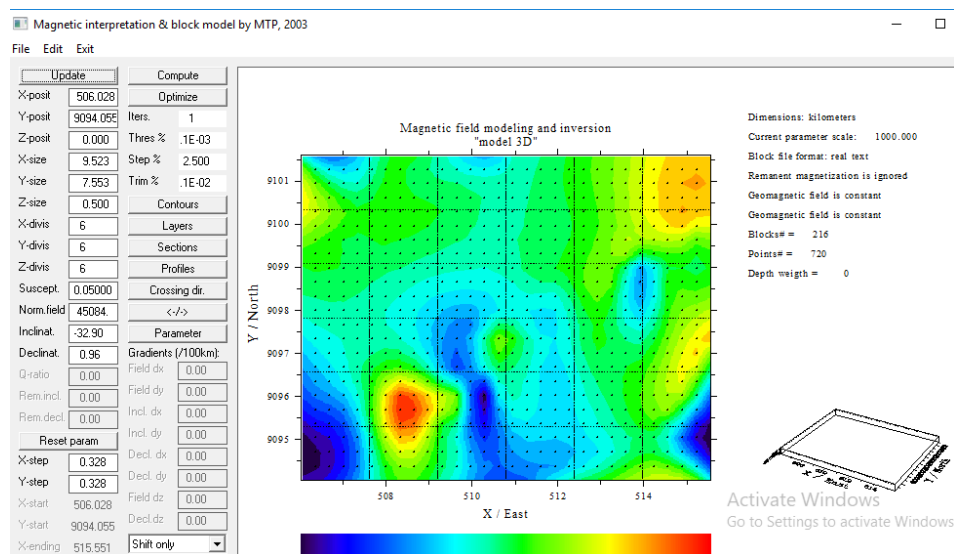
X posit	: X min	Norm Field	: Rata-rata IGRF
Y posit	: Y min		di daerah penelitian
Z posit	: 0	Inclin	: Nilai inklinasi
X size	: X maximum	Declin	: Nilai deklinasi
Y size	: X minimum	X step	: x spacing
Z size	: 0	Y step	: y spacing
X divis	: 6 (sesuai keinginan)	X start	: x min
Y divis	: 6 (sesuai keinginan)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

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



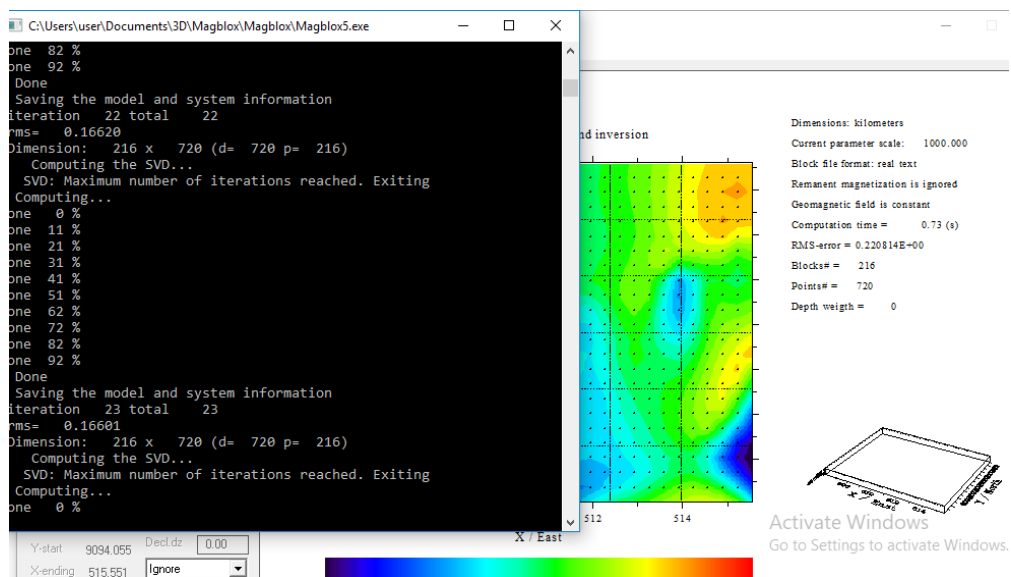
Gambar L26. Pengisian Data Awal di *Software* Maxblox

12. Kemudian pilih *exit* → *save* dua kali dengan nama yang sama → selanjutnya buka *Software* Surfer → buat kolom berikut → beri nama sesuai keinginan (misal : model 3D) sesuai judul di kolom paling atas. Kolom x km diisikan koordinat x dalam km, kolom y km diisikan 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* → model 3D.dat maka akan muncul seperti pada Gambar L27.

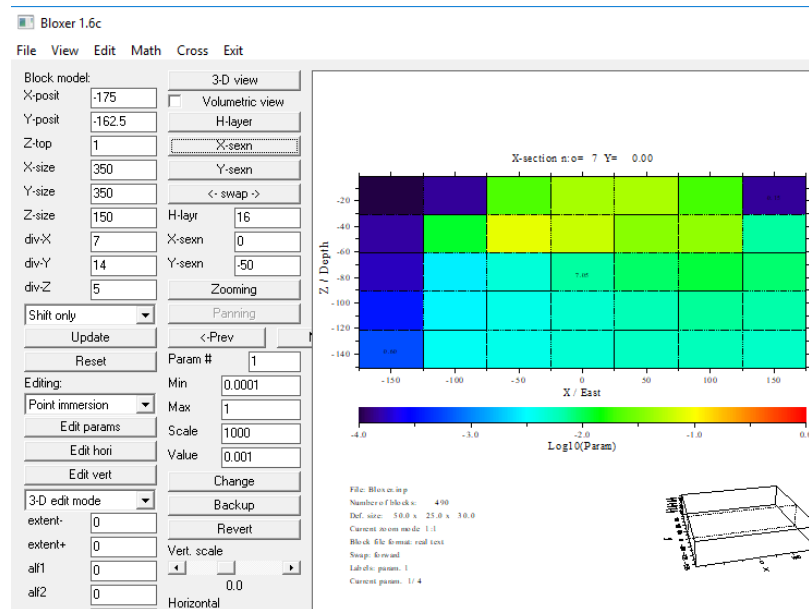


Gambar L27. Tampilan Maxblox setelah *Read Data* Anomali Medan Magnet

14. Pada bagian iterasi seperti pada Gambar L28 diganti 5 kali atau sesuai dengan kebutuhan → *Compute* → *Optimize* → *Loading* → tunggu sampai selesai kemudian cek *Layer* per *Layer* seperti pada Gambar L29.



Gambar L28. Proses Iterasi



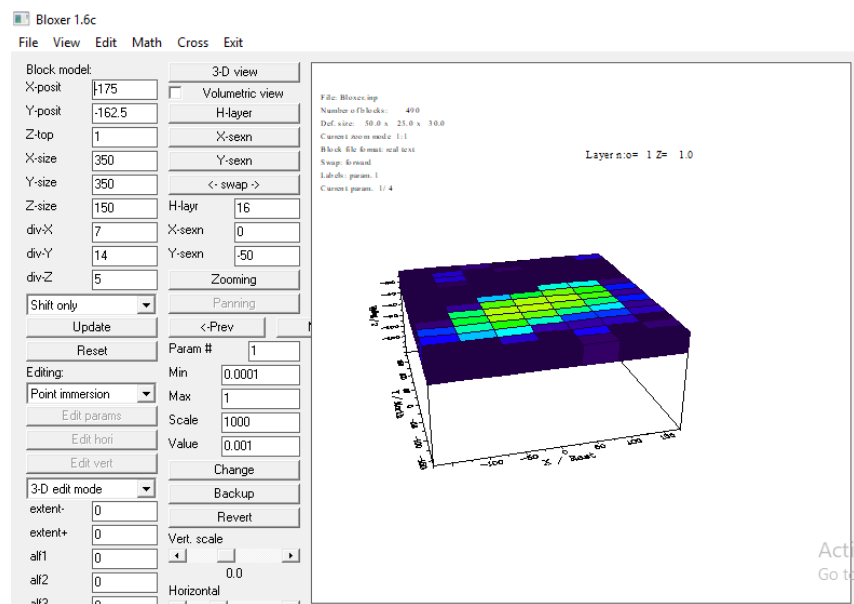
Gambar L29. Tampilan Layer 1

15. Klik *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 seperti pada Gambar L30, *Save Model as *.INP*

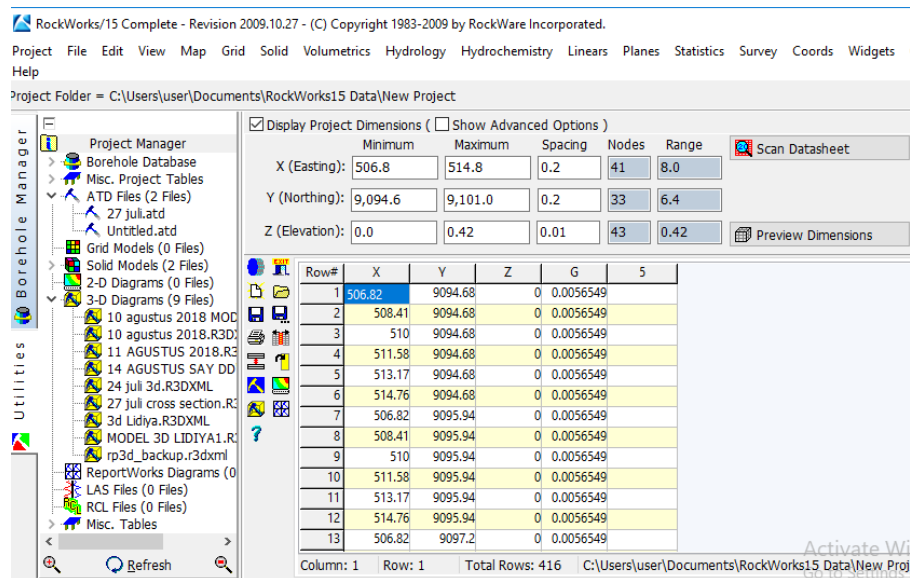


Gambar L30. *Edit Model* menggunakan *Software* Bloxer

19. Buka Microsoft Excel → *New Sheet* → *Drag file* hasil *Software* Bloxer 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*.

20. Buka *Sheet* baru kemudian buat data dengan format | koordinat x (m) | koordinat y (m) | kedalaman (m) | suseptibilitas | kemudian salin data.

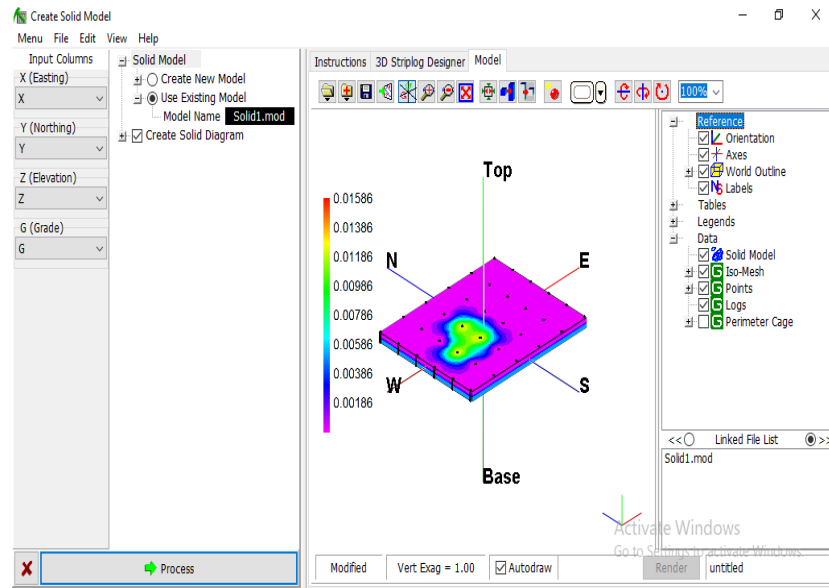
21. Buka *software* Rockwork kemudian *Paste* data dari langkah 20 ke *sheet* pada *software* Rockwork seperti pada Gambar L31.



Gambar L31. Pengisian Data Awal pada *Software* Rockwork

22. Pilih menu *Solid* → *Model* kemudian munculkan tanda (+) di semua poin selanjutnya pilih *Create New Model* → *Solid Model Name* beri nama model 3D sesuai keinginan → *Process* → *Yes* → OK maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar L32.

23. 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 dengan klik kanan *Solid Model* → *Option*.



Gambar L32. Hasil Pemodelan 3D

Lampiran 5. Dokumentasi

