

**INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN
IDENTIFIKASI JALUR SESAR DI KECAMATAN BAGELEN
KABUPATEN PURWOREJO DENGAN METODE GEOMAGNET**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Disusun oleh:

Fery Catur Saputri Hayuning Tiyas

14306144002

**PROGRAM STUDI 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 DI KECAMATAN BAGELEN KABUPATEN PURWOREJO MENGGUNAKAN METODE GEOMAGNET

Disusun oleh:

Fery Catur Saputri Hayuning Tiyas

NIM 14306144002

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh dosen pembimbing untuk dilaksanakan
Ujian Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, April 2018

Disetujui,

Pembimbing II,

Pembimbing I,



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



Nugroho Budi Wibowo, M.Si,
NIP 19840223 200801 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

**INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN
IDENTIFIKASI JALUR SESAR DI KECAMATAN BAGELEN
KABUPATEN PURWOREJO MENGGUNAKAN METODE GEOMANET**

Disusun oleh:

Fery Catur Saputri Hayuning Tiyas
14306144002

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri
Yogyakarta

Pada tanggal 24 April 2018

TIM PENGUJI

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Nugroho Budi Wibowo, M.Si Ketua Penguji/ Pembimbing I		04 - 05 - 2018
Denny Darmawan, M.Sc Sekretaris/Pembimbing II		04 - 05 - 2018
Bambang Ruwanto, M.Si Penguji Utama		04 - 05 - 2018

Yogyakarta, 15 Mei 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,



Dr. Hartono
NIP. 19620329 198702 1 002

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Fery Catur Saputri Hayuning Tiyas

NIM : 14306144002

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Interpretasi Struktur Bawah Permukaan dan Identifikasi Jalur
Sesar di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo dengan Metode
Geomagnet.

menyatakan bahwa karya ini merupakan hasil karya saya sendiri. Sejauh pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau ide dari orang lain selain yang saya gunakan sebagai kutipan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Apabila terdapat kelalaian dalam penulisan, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, April 2018

Yang menyatakan,

Fery Catur Saputri Hayuning Tiyas

14306144002

MOTTO

“Tidak ada kesuksesan yang bisa dicapai seperti membalikkan telapak tangan. Tidak ada keberhasilan tanpa kerja keras, keuletan, dan kedisiplinan”. Chairul Tanjung

Bukan sesuatu yang mencari kita, tetapi kita yang mencari sesuatu itu. Imbangi kerja kerasmu dengan bersyukur. Karena ridho-Nya adalah segalanya.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Betapa bersyukur saya atas limpahan nikmat yang tidak mampu saya hitung atas apa-apa yang telah Allah S.W.T berikan untuk saya. Salah satunya adalah nikmat karena terselesaikannya Tugas Akhir Skripsi ini. Bukan hanya hasil murni dari diri saya sendiri, melainkan hasil penyemangatan, pengorbanan, serta doa dari orang-orang di sekitar saya. Oleh karena itu, karya ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu saya yang telah memberikan apa saja yang beliau miliki untuk saya. Saya tahu, seberapa beratnya langkah beliau untuk mengantarkan saya menyelesaikan tugas ini. Terimakasih atas kesabaran, nasihat, dan pengorbanan lain baik moral maupun materi yang sampai kapanpun tidak dapat saya balas.
2. Alm. Bapak saya atas pendidikan dan berbagai pengorbanan yang sangat besar untuk saya. Segala yang diberikan masih sangat teringat dan menemani langkah yang saya lalui walaupun engkau sudah tidak ada di dunia.
3. Kakak-kakak saya atas berbagai macam bantuan yang telah diberikan kepada saya, terimakasih untuk semuanya.
4. Pembimbing-pembimbing saya atas ilmu, bantuan serta motivasi yang selalu diberikan kepada saya selama ini.
5. Semua orang di sekitar saya yang selalu mendukung dan menyayangi saya dalam keadaan apapun.

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa tercurah atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala nikmat-Nya, sehingga Tugas Akhir Skripsi yang berjudul “Interpretasi Struktur Bawah Permukaan dan Identifikasi Jalur Sesar di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo Menggunakan Metode Geomagnet” ini dapat terselesaikan.

Terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini tidak lepas dari berbagai pihak yang turut membantu dan memberikan berbagai bentuk dukungan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan ucapan terimakasih kepada pihak-pihak tersebut.

1. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah berkenan untuk mengesahkan Tugas Akhir Skripsi ini.
2. Ketua Jurusan Pendidikan Fisika yang telah membantu dalam hal perizinan.
3. Ketua Program Studi Fisika yang telah menyetujui penelitian ini dan membantu pelengkapan administrasi.
4. Bapak Sumarna, M.Si., M.Eng., selaku penasihat akademik yang telah mendampingi dan menasihati penulis dari awal hingga akhir perkuliahan.
5. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M. Si., selaku pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan banyak bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi ini.
6. Bapak Denny Darmawan M. Sc., selaku pembimbing II yang sangat sabar memberi masukan dan memotivasi penulis.

7. Bapak Bambang Ruwanto, M.Si., selaku penguji utama yang berkenan untuk menambah ilmu pengetahuan penulis.
8. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Yogyakarta yang bersedia untuk bekerjasama membantu penulis dalam pengambilan data.
9. Keluarga yang selalu menjadi tempat mencurahkan segala sesuatu, tempat yang selalu nyaman karena dukungan, doa, serta kasih sayang yang selalu penulis rasakan.
10. Teman-teman tim geofisika khususnya Gandes, Ayu, Bagus dan teman-teman Fisika E yang selalu setia menemani.
11. Keluarga Mamak Kos yang telah memberikan tempat, fasilitas, dan berbagai bantuan dari mulai survei sampai pengambilan data.
12. Mbak Tyas, Mas Khafid, Mbak Gina, dan Mbak Rini yang selalu mau direpotkan untuk membantu menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi ini.
13. Gandes, Azka, Ayu, Bagus, Dika, Umi, Isna yang selalu sempat untuk meluangkan waktu untuk bersama.
14. Serta semua pihak yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa berbagai kesalahan dan kekurangan masih banyak dalam tulisan ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terimakasih apabila pembaca berkenan untuk memberikan kritik maupun saran demi penulisan Tugas Akhir Skripsi yang lebih baik. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Yogyakarta, April 2018
Penulis,

Fery Catur Saputri Hayuning Tiyas
14306144002

**INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN
IDENTIFIKASI JALUR SESAR DI KECAMATAN BAGELEN
KABUPATEN PURWOREJO DENGAN METODE GEOMAGNET**

Fery Catur Saputri Hayuning Tiyas

14306144002

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola sebaran anomali medan magnet, mengetahui struktur bawah permukaan serta mengidentifikasi jalur sesar di kawasan jalur sesar Kecamatan Bagelen dengan menggunakan metode geomagnet. Penelitian dilakukan di Desa Kalirejo, Clapar, Hargorejo, Soko, Semagung, Semono, Sokoagung, dan Somorejo Kecamatan Bagelen. Pengambilan data dibatasi pada koordinat $7^{\circ}46'40,58'' - 7^{\circ}49'23,99''$ LS dan $110^{\circ}1'22,65'' - 110^{\circ}3'33,46''$ BT.

Penelitian dilakukan menggunakan satu set alat *Proton Precession Magnetometer* merek *Geometrics* tipe G-856. Pengukuran dilakukan pada 75 titik pengukuran di Kecamatan Bagelen dengan jarak antar titik 500m. Tahapan pengolahan data dilakukan dengan koreksi variasi harian, koreksi IGRF, koreksi topografi, reduksi ke kutub, kontinuasi ke atas, SVD, serta pemodelan 2D dan 3D.

Nilai anomali medan magnet pada wilayah penelitian berada pada rentang -500 nT sampai 862 nT. Nilai tersebut disumbangkan oleh formasi-formasi batuan penyusun wilayah penelitian yaitu Kebobutak, Andesit, Dasit, dan Aluvium. Berdasarkan hasil pemodelan 2D, 3D maupun analisis SVD, diketahui bahwa keberadaan jalur sesar di kawasan penelitian bukan merupakan suatu jalur sesar yang berkemenerusan melainkan berupa segmen-segmen pada daerah tertentu.

Kata kunci : Kecamatan Bagelen, metode geomagnet, sesar.

SUBSURFACE INTERPRETATION AND FAULT IDENTIFICATION IN BAGELEN PURWOREJO USING GEOMAGNETIC METHOD

Fery Catur Saputri Hayuning Tiyas

14306144002

ABSTRACT

The purposes of this study were to determine magnetic field anomaly distribution, to determine subsurface structure, and to identify the fault line of Bagelen subdistrict using geomagnetic method. The study was located in Kalirejo, Clapar, Hargorejo, Soko, Semagung, Semono, Sokoagung, and Somorejo villages Bagelen subdistrict. Data acquisition was limited to coordinates of $7^{\circ}46'40,58''$ - $7^{\circ}49'23,99''$ S and $110^{\circ}1'22,65''$ - $110^{\circ}3'33,46''$ E.

The study was conducted using a set of G-856 Geometrics *Proton Precession Magnetometer*. Measurements were located at 75 points in Bagelen subdistrict with distance between each point was 500m. Data analysis were performed using diurnal correction, IGRF correction, topographic correction, reduction to pole, upward continuation, SVD, 2D and 3D modelling.

The range of magnetic field anomaly values in the study area were -500 nT to 862 nT. The value was contributed by rock formations that composed the study area which were Kebobutak, Andesit, Dasit, and Aluvium. Based on the results of 2D modelling, 3D and SVD analysis, it was known that the existence of the fault line in the study area is not a continuous fault line but in the form of segments in certain areas.

Keywords: Bagelen subdistrict, geomagnetic method, fault.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	6
C. Batasan Masalah	7
D. Rumusan Masalah	7
E. Tujuan Penelitian	8
F. Manfaat Penelitian	8
BAB II DASAR TEORI	9
A. Teori Medan Magnet.....	9
1. Suseptibilitas Batuan dan Mineral	9
2. Medan Magnet	11
3. Medan Magnet Bumi	12
4. Medan Magnet Luar	16
5. Anomali Medan Magnet	17
6. Kemagnetan Material Bumi.....	17
B. Koreksi Medan Magnet.....	19
1. IGRF (International Geomagnetic Reference Field)	19
2. Variasi Harian	20
3. Topografi	20

C. Transformasi	21
1. Reduksi ke Kutub (<i>Reduce to pole</i>)	21
2. Kontinuasi ke atas (<i>Upward Continuation</i>).....	22
D. <i>Proton Precession Magnetometer</i> (PPM).....	23
E. Sesar	25
F. Geologi Regional Wilayah Penelitian.....	27
1. Formasi Nanggulan.....	29
2. Formasi Kebo Butak	30
3. Formasi Jonggrang.....	30
4. Formasi Sentolo	30
5. Andesit.....	31
6. Dasit.....	31
7. Formasi Aluvium	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
A. Waktu dan Tempat Penelitian	32
B. Instrumen Penelitian	32
1. Perangkat Keras	32
2. Perangkat Lunak	34
C. Tahapan Penelitian.....	35
D. Akuisisi Data Penelitian.....	35
E. Pengolahan Data	36
1. Koreksi Variasi Harian	37
2. Koreksi IGRF.....	37
3. Koreksi Topografi.....	37
4. Anomali Medan Magnet.....	39
5. Reduksi ke Kutub	39
6. Kontinuasi ke Atas.....	40
7. Second Vertical Derivative.....	40
8. Pemodelan 2D.....	40
9. Pemodelan 3D.....	41
10. Interpretasi Data.....	41
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	42
A. Medan Magnet Total.....	43
B. Koreksi Topografi	46

C. Medan Magnet Luar.....	50
D. Medan Magnet Utama Bumi.....	52
E. Anomali Medan Magnet	54
F. Reduksi ke Kutub.....	57
G. Kontinuitas ke Atas	58
H. Pemodelan 2D	61
I. Pemodelan 3D.....	75
J. Second Vertical Derivative (SVD)	84
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	90
A. Kesimpulan	90
B. Saran	91
DAFTAR PUSTAKA.....	92
LAMPIRAN.....	95

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai suseptibilitas batuan dan mineral	10
Tabel 2. Klasifikasi <i>Dst</i>	16
Tabel 3. Nilai suseptibilitas dan kedalaman formasi di wilayah penelitian berdasarkan pemodelan 2D	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sebaran zona subduksi di Indonesia (Hochstein dan Sudarman, 2008).	2
Gambar 2. Peta bahaya gempa bumi di Kabupaten Purworejo (BPBD, 2014).	3
Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian (Rahardjo et al., 1995).	4
Gambar 4. Elemen medan magnet bumi (Telford et al., 2004).	12
Gambar 5. Model medan magnet bumi Epoch-2015.0 untuk deklinasi medan utama (NOAA, 2018).....	13
Gambar 6. Model medan magnet bumi Epoch-2015.0 untuk inklinasi medan utama (NOAA, 2018).....	14
Gambar 7. Model medan magnet bumi Epoch-2015.0 untuk intensitas horizontal medan utama (NOAA, 2018).	14
Gambar 8. Model medan magnet bumi Epoch-2015.0 untuk intensitas medan total utama (NOAA, 2018).....	15
Gambar 9. Kontinuasi ke atas dari permukaan horizontal (Blakely, 1996).	23
Gambar 10. Gerak presesi proton (Campbell, 2003).	23
Gambar 11. Skema instrumen pada PPM (Campbell, 2003).	24
Gambar 12. Kedudukan bidang dan arah garis ruang (Sukartono, 2013).....	26
Gambar 13. Jenis-Jenis Sesar (a) Normal Fault, (b) Thrust Fault, dan.....	26
Gambar 14. Bidang sesar (USGS, 2017).	27
Gambar 15. Fisiografi Jawa dan Madura (Bammelen, 1949).	28
Gambar 16. Stratigrafi Kulon Progo dan sekitarnya (Rahardjo, et al., 1995).....	29
Gambar 17. Set alat PPM merek Geometrics tipe G-856, (a) sensor, (b) instrument console, (c) kebel penghubung, (d) tongkat penyangga.	33
Gambar 18. (a) GPS merek Garmin tipe 78s, (b) Kompas geologi.	34
Gambar 19. Diagram alir penelitian.....	35
Gambar 20. Skema pengolahan data.....	38
Gambar 21. Koreksi IGRF (NOAA, 2017).....	39
Gambar 22. Kontur medan magnet total di wilayah penelitian.	44
Gambar 23. . Kontur medan magnet total yang sudah di-overlay dengan batas formasi dan dugaan jalur sesar.....	45

Gambar 24. Kontur topografi wilayah penelitian di-overlay dengan batas formasi.	47
Gambar 25. Sayatan dan profil topografi dengan medan magnet total, (a) sayatan pada kontur topografi, (b) sayatan pada kontur medan magnet total, (c) profil topografi dan medan magnet total.....	49
Gambar 26. Indeks Dst real time 6-9 September 2017 (ISGI, 2017).....	50
Gambar 27. Kontur medan magnet total setelah koreksi variasi harian.	51
Gambar 28. Kontur nilai IGRF daerah penelitian.....	52
Gambar 29. Kontur medan magnet total setelah koreksi IGRF.....	53
Gambar 30. Kontur anomali medan magnet di wilayah penelitian.....	54
Gambar 31. Kontur anomali medan magnet hasil reduksi ke kutub.....	57
Gambar 32. Kontur kontinuasi ke atas dengan variasi ketinggian.....	60
Gambar 33. Penampang G-H pada peta geologi lembar Yogyakarta.....	62
Gambar 34. (a) Letak sayatan pada kontur hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 1000m, (b) Letak sayatan pada peta geologi.....	63
Gambar 35. Model hasil sayatan A-A'	68
Gambar 36. Model sayatan B-B'	69
Gambar 37. Model sayatan C-C'	70
Gambar 38. Model sayatan D-D'.....	71
Gambar 39. Model sayatan E-E'.....	72
Gambar 40. Tampilan model 3D wilayah penelitian pada kedalaman 0-500m....	76
Gambar 41. Tampilan model 3D dengan nilai suseptibilitas.....	77
Gambar 42. Tampilan model 3D dengan nilai suseptibilitas.....	77
Gambar 43. Tampilan model 3D dengan nilai suseptibilitas.....	78
Gambar 44. Tampilan model 3D dengan nilai suseptibilitas.....	79
Gambar 45. Tampilan model 3D dengan nilai suseptibilitas.....	79
Gambar 46. Hasil sayatan model 3D.	81
Gambar 47. Hasil overlay sayatan dengan koordinat dugaan jalur sesar.....	82
Gambar 48. Hasil overlay sayatan dengan koordinat dugaan jalur sesar.....	83
Gambar 49. Penampang 3D hasil SVD.....	84
Gambar 50. Profil cross section sesar bagian selatan.	85

Gambar 51. Profil cross section sesar bagian tengah.....	87
Gambar 52. Profil cross section sesar bagian utara.	89

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Pengamatan Menggunakan Metode Geomagnet.....	96
Lampiran 2. Analisis Nilai Anomali Medan Magnet.....	101
Lampiran 3. Pembuatan Desain Survei.....	111
Lampiran 4. Tahap Pengolahan Data.....	118
Lampiran 5. Persamaan Reduksi ke Kutub.....	148
Lampiran 6. Persamaan Kontinuasi ke Atas.....	151
Lampiran 7. <i>Gyromagnetic Ratio</i>	155
Lampiran 8. Dokumentasi Pengambilan Data.	156

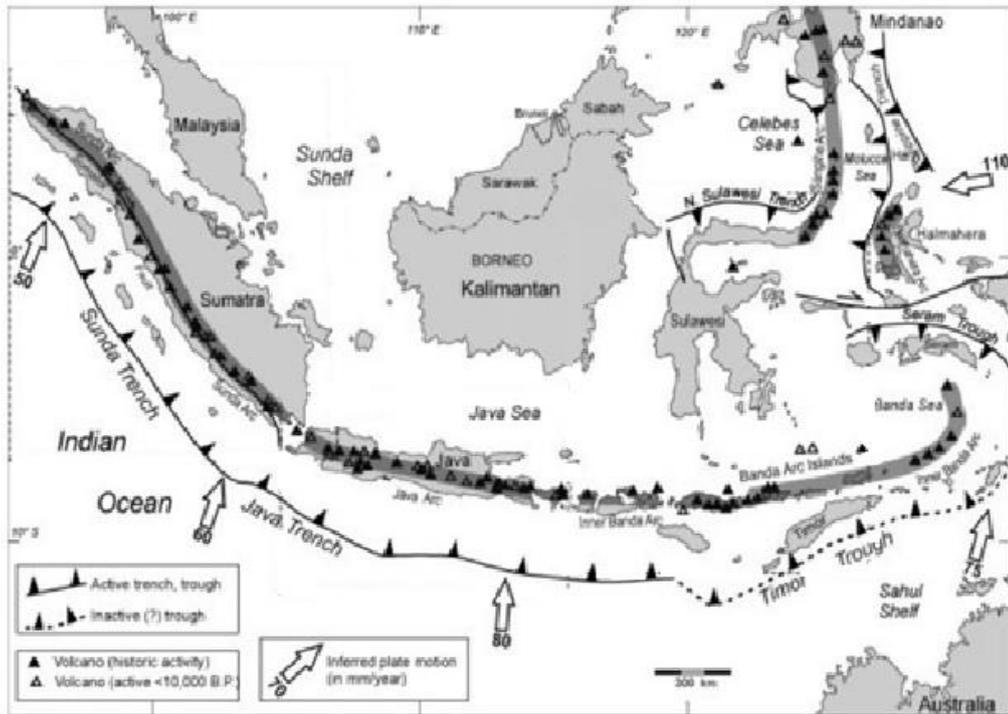
BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang secara geografis terletak di antara dua benua besar, yaitu Benua Asia dan Benua Australia. Selain terletak di antara dua benua tersebut, Indonesia juga diapit oleh dua samudera, yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Indonesia juga menjadi salah satu negara yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Indo-Australia di bagian selatan Indonesia, Lempeng Eurasia di bagian utara, dan Lempeng Pasifik di bagian timur (Ibrahim dan Subarjo, 2005). Oleh karena itu, Indonesia menjadi wilayah yang memiliki banyak aktivitas tektonik, khususnya di wilayah yang dekat dengan zona pertemuan antarlempeng (Daryono, 2009).

Wilayah pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia merupakan salah satu wilayah yang memiliki aktivitas tektonik paling aktif. Pertemuan antarlempeng tersebut dikenal dengan nama zona subduksi. Zona subduksi merupakan zona pertemuan lempeng di mana salah satu lempeng menyusup ke dalam perut bumi dan lempeng lainnya terangkat ke permukaan (Noor, 2014). Akibat dari peristiwa tersebut, terjadi akumulasi energi di sekitar zona subduksi. Akumulasi energi memicu adanya aktivitas tektonik seperti gempa bumi serta terjadinya tsunami apabila zona subduksi berada di bawah di laut. Persebaran zona subduksi di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 1.

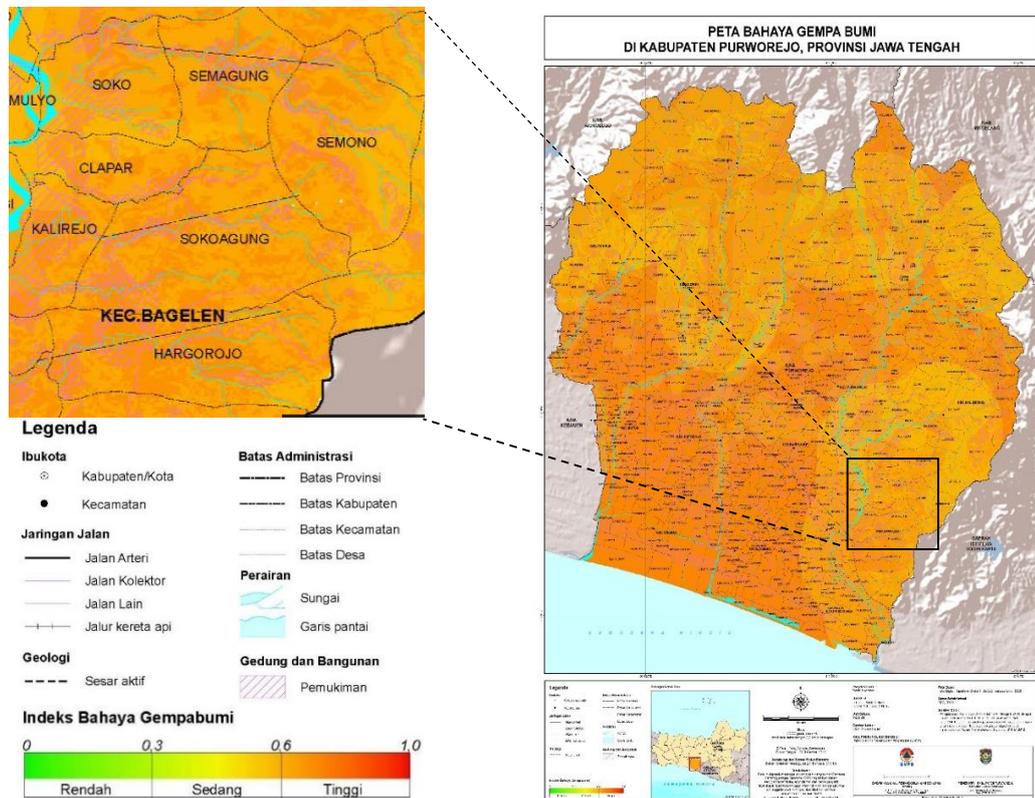


Gambar 1. Sebaran zona subduksi di Indonesia (Hochstein dan Sudarman, 2008).

Berdasarkan Gambar 1 diketahui bahwa hampir seluruh pulau di Indonesia dilalui oleh zona subduksi. Daerah yang paling rawan terjadi gempa tektonik adalah daerah sepanjang zona subduksi atau zona patahan (Petersen *et al.*, 2007). Indonesia juga menjadi salah satu wilayah yang rawan akan gempa bumi. Selain menimbulkan gempa, pertemuan zona subduksi juga menghasilkan jalur pegunungan api. Jalur gunung api di Indonesia di antaranya tersebar di Pulau Sumatera, Jawa, dan Nusa Tenggara. Akibat lain adalah terbentuknya cekungan yang juga tersebar di Sumatera dan Jawa.

Kabupaten Purworejo merupakan salah satu wilayah di Pulau Jawa yang berada dekat dengan zona subduksi. Selain itu, Kabupaten Purworejo memiliki banyak persebaran sesar mayor maupun sesar minor. Kabupaten Purworejo juga

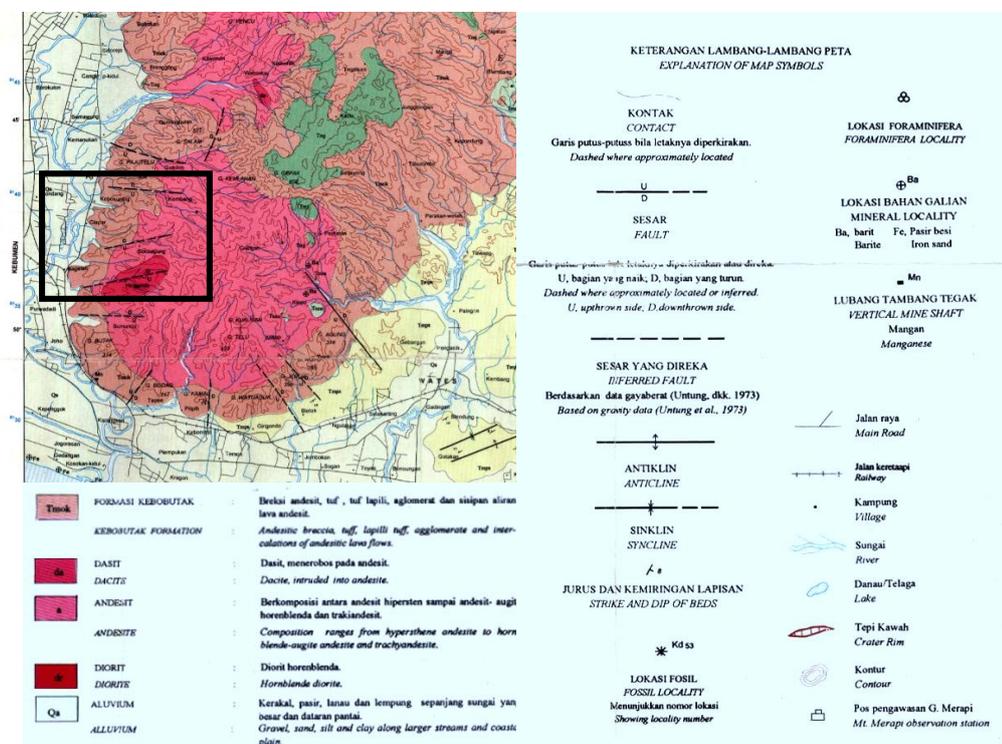
memiliki risiko yang besar terhadap berbagai bencana alam yang ditimbulkan oleh aktivitas tektonik.



Gambar 2. Peta bahaya gempa bumi di Kabupaten Purworejo (BPBD, 2014).

Kecamatan Bagelen merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Purworejo yang berbatasan dengan wilayah Yogyakarta. Berdasarkan Gambar 2, diketahui bahwa Kecamatan Bagelen memiliki tingkat kerawanan gempa bumi sedang sampai tinggi. Kecamatan Bagelen masuk ke dalam tiga kecamatan yang pada rentang tahun 2013 sampai Maret 2017 menjadi titik kejadian gempa bumi yaitu pada tahun 2014 (BPBD, 2014). Menurut kepala divisi kebencanaan Kecamatan Bagelen, gempa besar tahun 2006 di Yogyakarta juga berdampak pada beberapa wilayah di Kecamatan Bagelen.

Berdasarkan peta geologi (Gambar 3), diketahui bahwa formasi batuan di Kecamatan Bagelen tersusun atas empat formasi, yaitu Formasi Aluvium, Kebo Butak, Andesit, dan Dasit. Selain itu, Kecamatan Bagelen juga memiliki persebaran sesar minor yang cukup banyak. Diperkirakan sesar minor tersebut merupakan jenis sesar naik turun yang memotong struktur bawah permukaan yang berbeda. Sesar (*fault*) adalah satu bentuk rekahan pada lapisan batuan bumi yang sudah mengalami pergerakan dimana satu blok batuan bergerak relatif terhadap blok yang lain (Williams *et al.*, 2004). Pergerakan dapat berupa gerak relatif turun, relatif naik, ataupun relatif mendatar terhadap blok yang lain. Pergerakan dari suatu sesar bisa mengakibatkan gempa bumi dan daerah sekitar jalur sesar menjadi wilayah yang berbahaya. Walaupun persebaran sesar minor cukup banyak, penelitian yang membahas sesar minor di daerah ini terbatas.



Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian (Rahardjo et al., 1995).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode geofisika yang merupakan bagian dari ilmu geosains atau ilmu yang mempelajari tentang bumi, lingkungan dan interaksinya dengan menggunakan metode-metode fisika. Metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan antara lain metode *gravity*, mikroseismik, geomagnet, geolistrik serta berbagai metode lain. Penelitian dengan metode geofisika yang pernah dilakukan di wilayah Kecamatan Bagelen antara lain zonasi rawan bencana tanah longsor dengan metode analisis GIS (Dewi *et al.*, 2017), studi alterasi dan mineralisasi di sekitar Gunung Agung, Kabupaten Kulonprogo-Purworejo (Ansori dan Dery, 2013) serta studi kerentanan gerakan massa batuan dan daerah rawan longsor lahan di Kabupaten Purworejo (Sutarno, 2012).

Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode geomagnet. Metode geomagnet dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan dengan memanfaatkan nilai suseptibilitas batuan. Metode geomagnet dapat digunakan untuk mengidentifikasi manifestasi minyak dan gas bumi, kandungan mineral serta keberadaan pipa di bawah permukaan tanah. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan menggunakan metode ini di antaranya digunakan untuk interpretasi struktur bawah permukaan menggunakan data magnetik dan panas bumi di wilayah Mesir (All, 2015), mengidentifikasi jalur Sesar Grindulu di Kabupaten Pacitan (Seno, 2015), menginterpretasi struktur bawah tanah pada sistem Sungai Bribin (Aziz, 2015), menginterpretasi struktur bawah permukaan di jalur Sesar Oyo (Heningtyas, 2017) serta untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan Ranu Segaran Duwes Kabupaten Probolinggo (Juanita, 2016).

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan di sekitar wilayah Kecamatan Bagelen merupakan penelitian mengenai studi tanah longsor. Penelitian yang membahas secara spesifik mengenai sesar minor dan interpretasi struktur bawah permukaan dengan metode geomagnet di Kecamatan Bagelen masih terbatas. Penelitian menggunakan metode geomagnet ini diharapkan dapat digunakan untuk menambah referensi mengenai interpretasi struktur bawah permukaan dan identifikasi jalur sesar minor yang ada di Kecamatan Bagelen. Berdasarkan tingkat kerawanan terjadinya bencana dan persebaran sesar minor, penelitian dilakukan di wilayah Kecamatan Bagelen khususnya di delapan desa yakni Desa Kalirejo, Clapar, Hargorejo, Soko, Semagung, Semono, Sokoagung, dan Somorejo.

B. Identifikasi Masalah

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

1. Kabupaten Purworejo merupakan kawasan yang rawan akan bencana alam akibat aktivitas tektonik khususnya potensi bahaya gempa bumi.
2. Kabupaten Purworejo merupakan wilayah yang memiliki banyak persebaran jalur sesar minor.
3. Terbatasnya informasi terkait struktur bawah permukaan di kawasan Kecamatan Bagelen, khususnya informasi yang diperoleh menggunakan pendekatan geofisika terutama metode geomagnet.
4. Terbatasnya penelitian terkait identifikasi jalur sesar di Kecamatan Bagelen.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dipaparkan di atas, penelitian ini dibatasi oleh:

1. Kawasan penelitian melingkupi kawasan jalur sesar yang terletak pada $7^{\circ}46'40,58'' - 7^{\circ}49'23,99''$ LS dan $110^{\circ}1'22,65'' - 110^{\circ}3'33,46''$ BT yang melingkupi 8 desa, yakni Desa Kalirejo, Clapar, Hargorejo, Soko, Semagung, Semono, Sokoagung, dan Somorejo di Kecamatan Bagelen.
2. Nilai suseptibilitas yang digunakan dinyatakan dalam satuan Standar Internasional (SI).
3. Akuisisi data menggunakan metode *looping*.

D. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pola persebaran anomali medan magnet di kawasan jalur sesar Kecamatan Bagelen?
2. Bagaimana struktur bawah permukaan di kawasan jalur sesar yang terletak di Kecamatan Bagelen berdasarkan metode geomagnet?
3. Bagaimana identifikasi jalur sesar di kawasan jalur sesar Kecamatan Bagelen berdasarkan metode geomagnet?

E. Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui pola sebaran anomali medan magnet di kawasan jalur sesar Kecamatan Bagelen.
2. Mengetahui struktur bawah permukaan di kawasan jalur sesar yang terletak di Kecamatan Bagelen berdasarkan metode geomagnet.
3. Mengidentifikasi keberadaan dugaan jalur sesar di kawasan jalur sesar Kecamatan Bagelen berdasarkan metode geomagnet.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan :

1. Dapat menambah informasi tentang kawasan sesar yang terletak di delapan desa di Kecamatan Bagelen, yakni Desa Kalirejo, Clapar, Hargorejo, Soko, Semagung, Semono, Sokoagung, dan Somorejo.
2. Interpretasi jenis batuan dapat dijadikan sebagai gambaran struktur bawah permukaan daerah tersebut.
3. Interpretasi jalur sesar pada wilayah penelitian dapat digunakan sebagai upaya awal untuk meningkatkan kewaspadaan bencana yang mungkin ditimbulkan oleh aktivitas sesar.
4. Dapat sebagai pertimbangan bagi masyarakat apabila akan mendirikan bangunan di wilayah jalur sesar serta mempertimbangkan informasi struktur bawah permukaan.

BAB II

DASAR TEORI

A. Teori Medan Magnet

1. Suseptibilitas Batuan dan Mineral

Suseptibilitas magnet adalah kemampuan suatu material termagnetisasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai suseptibilitas magnet suatu material adalah litologi dan kandungan mineral batuan. Besarnya nilai suseptibilitas batuan ditunjukkan pada persamaan berikut (Telford *et al.*, 2004).

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

dengan \mathbf{H} adalah kuat medan magnet terukur dalam A/m, \mathbf{M} adalah momen magnet per satuan volume (magnetisasi) yang terukur dalam A/m, dan k adalah suseptibilitas magnet.

Batuan jenis sedimen memiliki nilai suseptibilitas rata-rata terendah dibandingkan dengan bahan yang lain, sedangkan batuan yang memiliki nilai suseptibilitas terbesar terdapat pada batuan beku dasar. Nilai suseptibilitas ini dipengaruhi oleh banyaknya mineral ferrimagnet yang terkandung di dalamnya, terutama magnetit dan pirhotit. Tabel 1 menunjukkan nilai suseptibilitas mineral dan batuan.

Tabel 1. Nilai suseptibilitas batuan dan mineral (Telford *et al.*, 2004).

<i>Type</i>	<i>Susceptibility</i> × 10 ⁻³ (dalam SI)	
	<i>Kisaran</i>	<i>Average</i>
<i>Sedimentary</i>		
<i>Dolomite</i>	0-0,9	0,1
<i>Limestone</i>	0-3	0,3
<i>Sandstone</i>	0-20	0,4
<i>Shales</i>	0,01-15	0,4
<i>Av. 48 Sedimentary</i>	0-18	0,9
<i>Metamorphic</i>		
<i>Phyllite</i>		1,5
<i>Gneiss</i>	0,1-25	
<i>Quartzite</i>		4
<i>Serpentine</i>	3-17	
<i>Slate</i>	0-35	6
<i>Av. 61 metamorphic</i>	0-70	4,2
<i>Igneous</i>		
<i>Granite</i>	0-50	2,5
<i>Rhyolite</i>	0,2-35	
<i>Dolorite</i>	1-35	17
<i>Augite-syenite</i>	30-40	
<i>Phorhyry</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>Andesite</i>		160
<i>Av. Acidic igneous</i>	0-80	8
<i>Av. Basic igneous</i>	0,8-97	25
<i>Minerals</i>		
<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>Sphalerite</i>		0,7
<i>Siderite</i>	1-4	
<i>Pyrite</i>	0,05-5	1,5
<i>Pyrrhotite</i>	1-6000	1500
<i>Magnetit</i>	1200-19200	6000

2. Medan Magnet

Adanya medan magnet bumi dapat mengakibatkan terjadinya induksi magnet. Induksi magnet ini terjadi pada batuan yang memiliki suseptibilitas. Induksi magnet \mathbf{B} pada suatu material dipengaruhi adanya medan magnet luar \mathbf{B}_0 dan magnetisasi material tersebut. Secara umum, persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut (Serway dan Jeweet. 2004).

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

dengan

$$\mathbf{B}_m = \mu_0 \mathbf{M} \quad (3)$$

serta

$$\mathbf{B}_0 = \mu_0 \mathbf{H} \quad (4)$$

\mathbf{B}_m merupakan medan yang dihasilkan oleh material magnet, \mathbf{M} adalah momen magnet per satuan volume, dan μ_0 adalah permeabilitas ruang hampa dengan nilai $4\pi \times 10^{-7}$ Weber/Am dan \mathbf{H} adalah kuat medan magnet dalam A/m.

Dengan mensubstitusikan persamaan (3) dengan (4) ke persamaan (2), maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

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

Substitusi persamaan (1) ke persamaan (5) (Telford *et al.*, 2004),

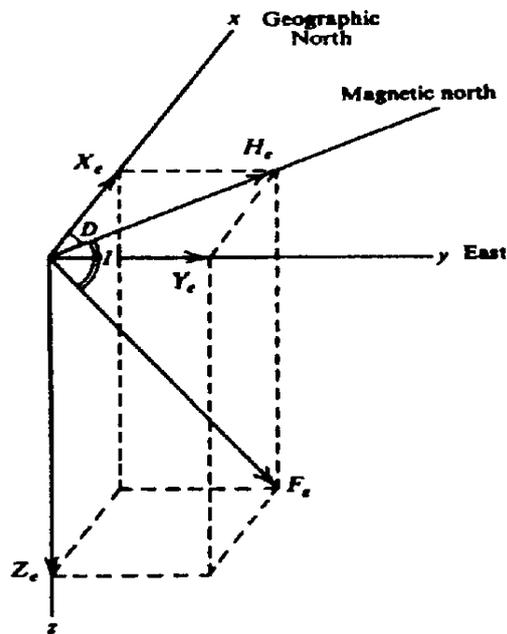
$$\mathbf{B} = \mu_0(1 + k)\mathbf{H} = \mu_0\mu_r\mathbf{H} = \mu\mathbf{H} \quad (6)$$

dengan $\mu_r = (1 + k)$ adalah permeabilitas relatif, k adalah suseptibilitas magnet, $\mu = \mu_0\mu_r$ adalah permeabilitas bahan, di mana μ_0 di udara mendekati 1, maka persamaan (6) menjadi sebagai berikut.

$$\mathbf{B} = \mu_r \mathbf{H} \quad (7)$$

3. Medan Magnet Bumi

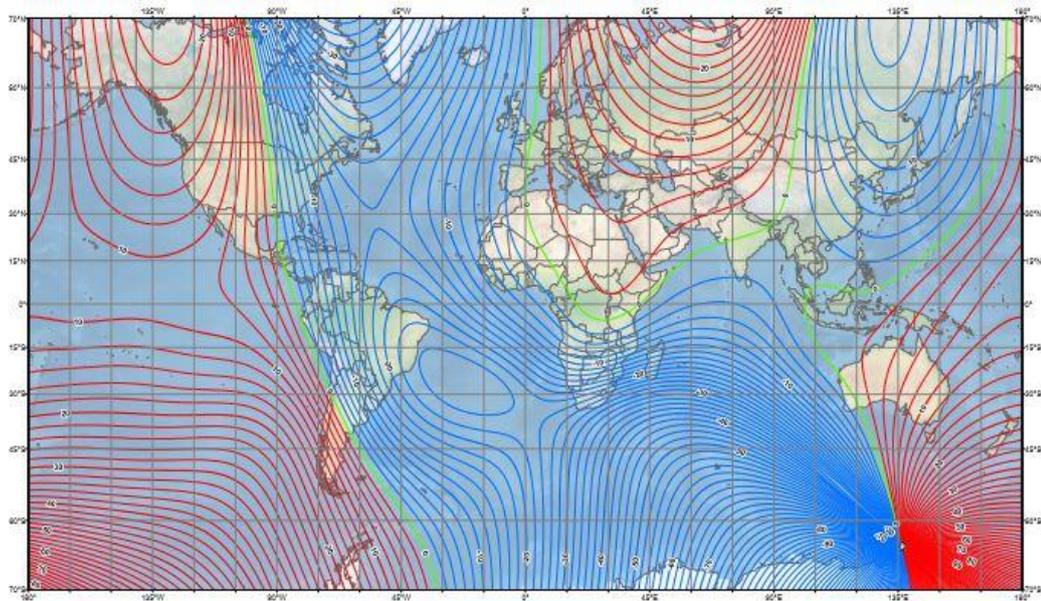
Komponen medan magnet bumi atau elemen medan magnet bumi memiliki tiga arah utama. Arah elemen medan magnet bumi dinyatakan dalam koordinat Kartesian seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Elemen medan magnet bumi (Telford et al., 2004).

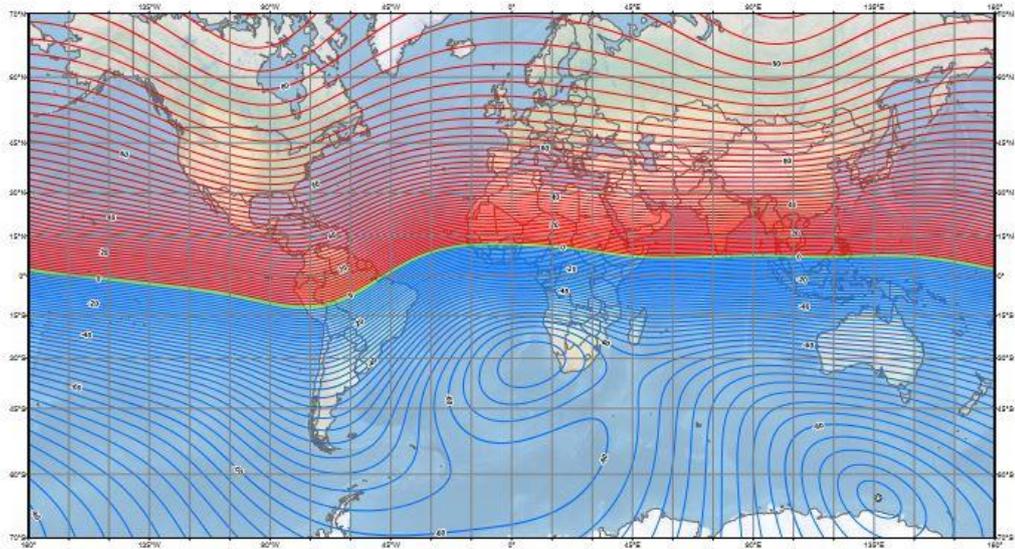
Komponen arah utara ditunjukkan oleh X_e , komponen arah timur ditunjukkan oleh Y_e , dan komponen arah bawah ditunjukkan oleh Z_e . Pada elemen medan magnet bumi, terdapat empat komponen berupa deklinasi, inklinasi, intensitas horizontal serta medan magnet total. Deklinasi (D) merupakan sudut antara utara magnet bumi dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur atau disebut juga sudut antara utara magnet dengan utara geografis.

Inklinasi (I) merupakan sudut antara medan magnet total dengan bidang horizontal yang dihitung dari horizontal menuju ke bidang vertikal ke bawah atau biasa disebut sudut antara bidang horizontal dengan vektor medan magnet total. Intensitas horizontal (H_e) sendiri merupakan magnitudo dari medan magnet total pada arah horizontal dan medan magnet total (F_e) merupakan magnitudo dari vektor magnet total (Telford *et al.*, 2004). Gambar 4 merupakan nilai dari deklinasi, inklinasi, dan model medan magnet bumi secara global.



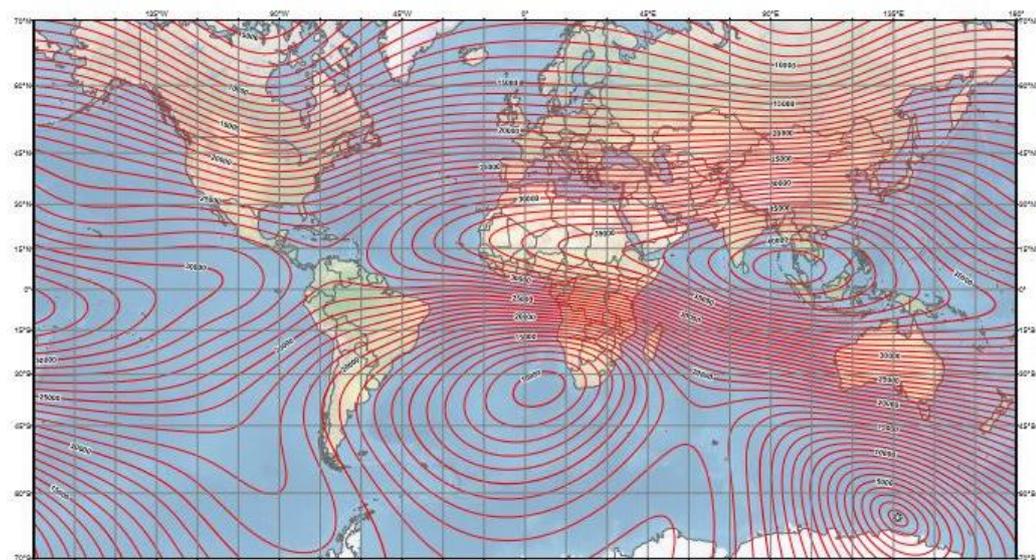
Gambar 5. Model medan magnet bumi Epoch-2015.0 untuk deklinasi medan utama (NOAA, 2018).

Gambar 5 menunjukkan nilai deklinasi utama bumi yang memiliki kisaran antara -90° sampai 90° dengan interval kontur sebesar 2° . Kontur merah menunjukkan nilai deklinasi positif, kontur biru menunjukkan nilai deklinasi negatif, dan kontur hijau menunjukkan *zero line*. Wilayah Pulau Jawa memiliki kisaran nilai deklinasi sebesar 0° sampai 2° (NOAA, 2018).



Gambar 6. Model medan magnet bumi Epoch-2015.0 untuk inklinasi medan utama (NOAA, 2018).

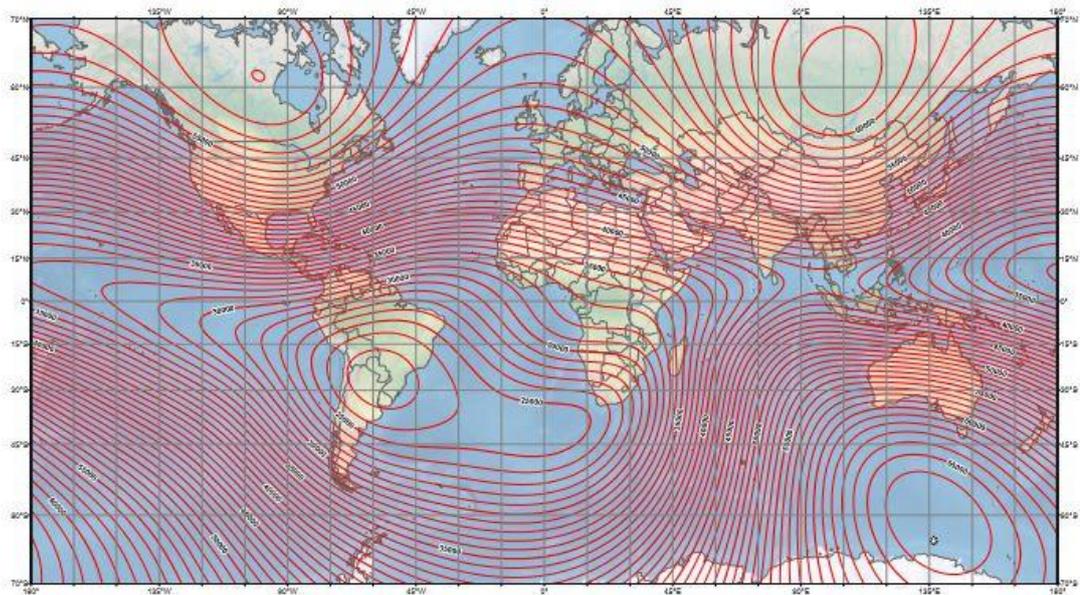
Gambar 6 menunjukkan nilai inklinasi utama bumi yang memiliki kisaran sama dengan sudut deklinasi yaitu antara -90° sampai 90° . Kontur merah menunjukkan nilai inklinasi positif, kontur biru menunjukkan nilai inklinasi negatif, dan kontur hijau menunjukkan *zero line*. Wilayah Pulau Jawa memiliki kisaran nilai inklinasi sebesar -20° sampai -40° (NOAA, 2018).



Gambar 7. Model medan magnet bumi Epoch-2015.0 untuk intensitas horizontal medan utama (NOAA, 2018).

Gambar 7 menunjukkan intensitas horizontal bumi yang memiliki kisaran 1.000 nT sampai 41.000 nT. Kontur merah menunjukkan nilai inklinasi positif, kontur biru menunjukkan nilai inklinasi negatif, dan kontur hijau menunjukkan *zero line*. Wilayah Pulau Jawa memiliki intensitas horizontal sebesar 33.000 nT sampai 39.000 nT (NOAA, 2018).

Nilai IGRF pada permukaan bumi berkisar antara 30.000 nT pada arah horizontal di dekat ekuator dan 60.000 nT di dekat kutub. Nilai IGRF di Indonesia khususnya Pulau Jawa memiliki nilai ± 45.000 nT yang dimodelkan juga pada *World Magnetic Model* (WMM) seperti pada Gambar 8 (IAGA, 2017).



Gambar 8. Model medan magnet bumi Epoch-2015.0 untuk intensitas medan total utama (NOAA, 2018).

4. Medan Magnet Luar

Medan magnet luar merupakan medan magnet yang terjadi akibat pengaruh dari luar bumi. Medan tersebut dipengaruhi oleh aktivitas ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh radiasi sinar matahari. Sumber medan magnet luar ini berhubungan dengan adanya aliran arus listrik yang mengalir pada lapisan ionosfer. Oleh karena itu, perubahan medan magnet tersebut terhadap waktu berubah lebih cepat. Berikut beberapa sumber medan magnet luar (Telford *et al.*, 2004).

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

Untuk mengetahui ada tidaknya badai geomagnet dapat diketahui dari tabel *disturbance storm time* (Dst) yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Dst (INGV, 2017)

Klasifikasi Dst	Intensitas Dst (nT)
Lemah	$-50 < Dst < -30$
Sedang	$-100 < Dst < -50$
Kuat	$-200 < Dst < -100$
Sangat Kuat	$Dst < -200$

5. Anomali Medan Magnet

Anomali medan magnet merupakan nilai dari hasil perhitungan medan magnet total dengan medan magnet regional atau IGRF. \mathbf{H} adalah nilai medan magnet total dalam satuan nT dan \mathbf{F} adalah nilai medan magnet regional dalam nT. Nilai anomali medan magnet $\Delta H \ll |\mathbf{H}|$ di mana \mathbf{H} dan \mathbf{F} memiliki arah yang sama, maka dapat dituliskan seperti pada persamaan (8) berikut (Blakely, 1996).

$$\Delta H = |\mathbf{H}| - |\mathbf{F}| \quad (8)$$

Apabila terdapat sumber medan magnet luar, maka $\Delta \mathbf{F}$ merupakan simpangan dari \mathbf{F} dalam nT. Oleh karena itu, nilai anomali medan magnet dirumuskan oleh persamaan sebagai berikut (Blakely, 1996).

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

dengan \mathbf{H} merupakan nilai medan magnet total dalam nT, $\Delta \mathbf{F}$ merupakan nilai variasi harian dalam nT, dan \mathbf{F} merupakan nilai IGRF dalam nT.

6. Kemagnetan Material Bumi

Material dengan jenis yang berbeda memiliki sifat serta karakteristik yang berbeda-beda pula dalam medan magnet. Material diklasifikasikan menjadi empat macam berdasarkan nilai suseptibilitas magnet, yaitu diamagnet, paramagnet, ferromagnet, dan ferrimagnet (Hinze *et al.*, 2013).

a. Diamagnet

Diamagnet merupakan bahan di mana elektron yang mengorbit inti atom mengisi penuh bagian kulit atomnya dalam jumlah genap dan saling berpasangan.

Selain itu, arah spin elektron pada bahan diamagnet juga terbagi ke dalam dua arah yang saling berlawanan. Apabila tidak ada pengaruh medan magnet luar, maka momen magnetnya nol. Apabila bahan ditempatkan pada medan magnet, elektron akan dikenai gaya dari luar yang menyebabkan adanya presesi yang menghasilkan momentum sudut ke arah medan magnet luar dan momen magnet yang berlawanan. Beberapa contoh bahan diamagnet adalah kuarsa, *hailt*, marmer, dan emas. Bahan diamagnet sendiri memiliki nilai suseptibilitas berkisar 10^{-5} dalam SI (Hinze *et al.*, 2013).

b. Paramagnet

Paramagnet merupakan jenis bahan yang memiliki elektron yang tidak berpasangan dalam kulit atom. Apabila tidak ada medan eksternal, maka momen magnet dari elektron yang tidak berpasangan mendekati nol. Sedangkan apabila ada medan magnet dari luar, maka momen magnet akan sejajar dengan medan eksternal. Oleh karena itu, bahan paramagnet merupakan bahan yang memiliki magnetisasi lemah. Nilai suseptibilitas bahan ini berkisar antara 10^{-3} - 10^{-5} dalam SI. Contoh bahan paramagnet adalah *biotite*, *pyroxene*, *amphibole*, *olivine* dan *garnet* yang dipengaruhi oleh Fe^{2+} , Fe^{3+} , dan Mn^{2+} (Hinze *et al.*, 2013).

c. Ferromagnet

Ferromagnet merupakan bahan yang memiliki karakteristik mempertahankan momen magnet ke arah medan induksi setelah medan dihilangkan. Bahan ini muncul karena adanya interaksi antara atom yang berdekatan. Dalam kasus di atas suhu Curie, bahan ferromagnet akan kehilangan sifat kemagnetannya dan menjadi bahan antiferromagnet yang bersifat seperti bahan

paramagnet tetapi memiliki histerisis. Beberapa bahan yang termasuk ke dalam jenis ini adalah besi, nikel, kobalt, dan baja (Hinze *et al.*, 2013).

d. Ferrimagnet

Ferrimagnet atau yang dikenal dengan ferit merupakan bahan yang paling banyak menyumbangkan anomali magnet. Bahan ini memiliki nilai suseptibilitas yang sangat tinggi. Ferrimagnet adalah sumber dasar magnetisasi bahan di bumi. Ferrimagnet terjadi karena adanya interaksi antara atom-atom yang berdekatan di mana momen magnet akan menuju ke arah medan magnet dari luar (Hinze *et al.*, 2013).

B. Koreksi Medan Magnet

1. IGRF (International Geomagnetic Reference Field)

IGRF merupakan pemodelan matematis dari medan magnet utama bumi yang digunakan dengan luas dalam studi interior bumi, ionosfer, kerak bumi, dan *magnetosphere* nya. IGRF pertama kali diperkenalkan oleh *Association of Geomagnetism and Aeronomy* (IAGA) pada tahun 1968. Nilai IGRF diperbaharui lima tahun sekali. Pembaharuan tersebut dilakukan karena adanya perubahan medan magnet bumi terhadap waktu. Nilai IGRF tersebut didapatkan dari kombinasi model medan magnet bumi yang didapatkan dari lembaga-lembaga di dunia yang mengumpulkan dan memberikan data medan magnet dari satelit maupun dari observatorium di seluruh dunia. Sampai saat ini, versi terbaru dari IGRF adalah IGRF-12 (IAGA, 2017).

2. Variasi Harian

Koreksi variasi harian dilakukan untuk mengurangi pengaruh dari luar akibat adanya medan eksternal terkait sumber di luar bumi. Medan eksternal ini berasal dari aktivitas di ionosfer serta terkait dengan radiasi matahari. Karena hal tersebut, medan magnet bumi akan terganggu akibat aktivitas di atmosfer. Radiasi matahari mencapai puncaknya pada siang hari, setelah itu akan mengalami penurunan kembali. Rentang nilai variasi harian ini sekitar 30 nT. Selain itu variasi harian juga bervariasi dengan adanya perbedaan garis lintang yang menjadi lebih besar di daerah khatulistiwa (Dentith dan Mudge, 2014).

Variasi harian yang disimbolkan dengan ΔF merupakan representasi gangguan sumber medan magnet luar terhadap medan magnet regional \mathbf{F} . Untuk mendapatkan nilai variasi harian, maka dapat dituliskan persamaan sebagai berikut (Gravmag, 2015).

$$\Delta F = \frac{t_n - t_a}{t_b - t_a} (H_b - H_a) \quad (10)$$

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

3. Topografi

Koreksi topografi dilakukan untuk menghilangkan pengaruh dari nilai medan magnet akibat adanya perbedaan topografi yang sangat kuat. Dengan adanya pengaruh tersebut, dimungkinkan adanya permukaan yang termagnetisasi oleh

medan magnet bumi. Pengaruh topografi dapat diperkecil dengan dilakukannya perataan kontur anomali medan magnet total ke bidang datar. Bidang datar yang dimaksud adalah nilai rata-rata topografi yang dijadikan sebagai permukaan baru yang rata hasil kontinuasi dari permukaan di wilayah penelitian (Blakely, 1996).

C. Transformasi

1. Reduksi ke Kutub (*Reduce to pole*)

Reduksi ke kutub adalah metode transformasi yang digunakan untuk menyederhanakan interpretasi data magnet pada daerah berlintang rendah dan menengah. Proses ini dapat mengurangi satu tahapan kompleks dalam interpretasi, di mana anomali medan magnet dapat menunjukkan secara langsung posisi objek penelitian. Proses transformasi ini dilakukan dengan mengubah arah magnetisasi dan medan utama ke arah vertikal. Persamaan yang menunjukkan hubungan antara medan potensial f dan distribusi material sumber s ditunjukkan pada persamaan (11) (Blakely, 1996).

$$F(P) = \int_R s(Q)\psi(P, Q)dv \quad (11)$$

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

Persamaan reduksi ke kutub ditunjukkan pada persamaan (12).

$$F[\psi_t] = \frac{\theta'_m \theta'_f}{\theta_m \theta_f} \quad (12)$$

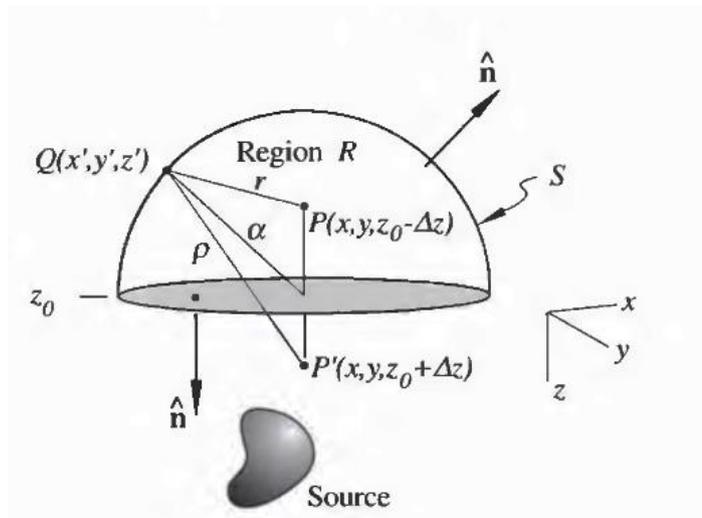
dengan $F[\psi_t]$ adalah hasil reduksi ke kutub, θ_m adalah fungsi kompleks yang tergantung pada orientasi dipol, θ_f adalah fungsi kompleks yang tergantung pada medan sekitar.

2. Kontinuasi ke atas (*Upward Continuation*)

Kontinuasi ke atas dilakukan dengan cara mentransformasikan medan potensial yang diukur pada permukaan tertentu menuju medan potensial pada permukaan lain yang jauh dari sumber. Transformasi ini berfungsi untuk mengurangi anomali sebagai fungsi panjang gelombang. Apabila semakin pendek panjang gelombang, maka semakin besar kontinuasinya, begitu pula sebaliknya. Konsep dasar ini dijelaskan pada teorema Green yang menyatakan bahwa apabila suatu fungsi U adalah harmonik, kontinu, dan mempunyai turunan yang kontinu juga di sepanjang daerah R (Gambar 9), maka nilai U pada titik P di dalam daerah R dinyatakan dengan persamaan berikut (Blakely, 1996).

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) dS \quad (13)$$

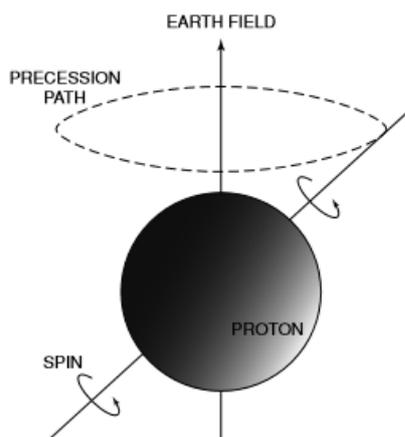
Persamaan 13 menjelaskan prinsip dasar dari kontinuasi ke atas, bahwa suatu medan potensial dapat dihitung pada setiap titik di dalam suatu daerah berdasarkan sifat medan magnet pada permukaan yang melingkupi daerah tersebut, dengan S menunjukkan permukaan R , n menunjukkan arah normal keluar, dan r adalah jarak dari titik P ke suatu titik di permukaan S .



Gambar 9. Kontinuasi ke atas dari permukaan horizontal (Blakely, 1996).

D. Proton Precession Magnetometer (PPM)

Proton merupakan sebuah atom hidrogen yang dilepas elektron orbitalnya. Proton akan berputar sehingga menghasilkan momen magnet dan momen angular pada arah sumbu putarnya. Akibatnya, proton akan berpresesi seperti pada Gambar 10 (Campbell, 2003).



Gambar 10. Gerak presesi proton (Campbell, 2003).

Jumlah putaran proton di sekitar sumbu dalam waktu tertentu disebut frekuensi presesi proton (f). Nilai f tergantung pada momen magnet proton (m),

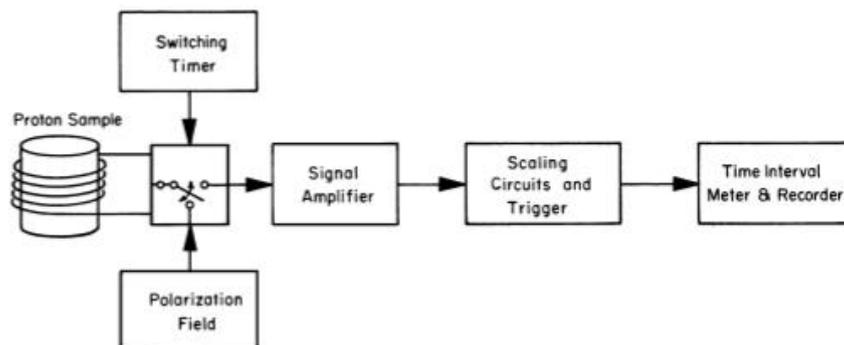
momen angular proton (\mathbf{L}), dan medan magnet bumi (\mathbf{H}). Hubungan tersebut dinyatakan dalam persamaan berikut (Telford *et al.*, 2004).

$$f = \frac{m}{2\pi L} H = \frac{GH}{2\pi} \quad (14)$$

dengan konstanta $G = \frac{m}{L}$ adalah *gyromagnet ratio* dan faktor dari $\frac{2\pi}{G} = 23,487 \pm 0,002$ nT/Hz, maka persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut (Telford, *et al.*, 2004).

$$H = 23,487f \quad (15)$$

Proton Precession Magnetometer (PPM) merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur induksi medan magnet total. Prinsip kerja PPM ini menggunakan dasar putaran muatan partikel. Komponen-komponen PPM terdiri dari sumber proton, medan magnet polarisasi yang dililitkan pada sumber proton, penguat untuk menguatkan tegangan induksi di dalam kumparan, serta pengukur frekuensi seperti pada Gambar 11 (Campbell, 2003).



Gambar 11. Skema instrumen pada PPM (Campbell, 2003).

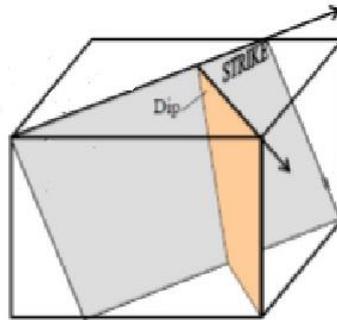
Sensor pada PPM berisi cairan yang kaya akan proton seperti *methanol* dan *kerosene*. Di dalam sensor ini terdapat kumparan yang melingkari cairan yang kaya akan proton tersebut. Kumparan inilah yang nantinya dihubungkan dengan sumber

arus dan rangkaian frekuensi. Jika arus listrik dialirkan pada kumparan, maka akan timbul medan magnet dan mempolarisasikan proton pada arah kumparan. Pada saat arus diputus, maka kumparan akan dihubungkan dengan rangkaian penghitung frekuensi sementara proton akan berpresesi. Gerakan momen proton akan menghasilkan medan magnet yang menginduksi arus pada kumparan dengan interval 3 sekon sebelum proton berpresesi. Selama selang waktu tersebut akan dihitung frekuensi presesi proton. Nilai frekuensi tersebut kemudian diolah dan ditampilkan pada layar PPM sebagai nilai medan magnet total (Telford *et al.*, 2004).

E. Sesar

Sesar merupakan fraktur atau zona patah antara dua blok batuan. Sesar ini menyebabkan terjadinya pergerakan relatif blok satu terhadap yang lain. Pergeseran ini dapat terjadi dalam skala kecil yaitu beberapa milimeter sampai besar mencapai ribuan kilometer. Sesar ini dapat berupa gerakan vertikal, horizontal maupun sesuai sudut tertentu (USGS, 2017).

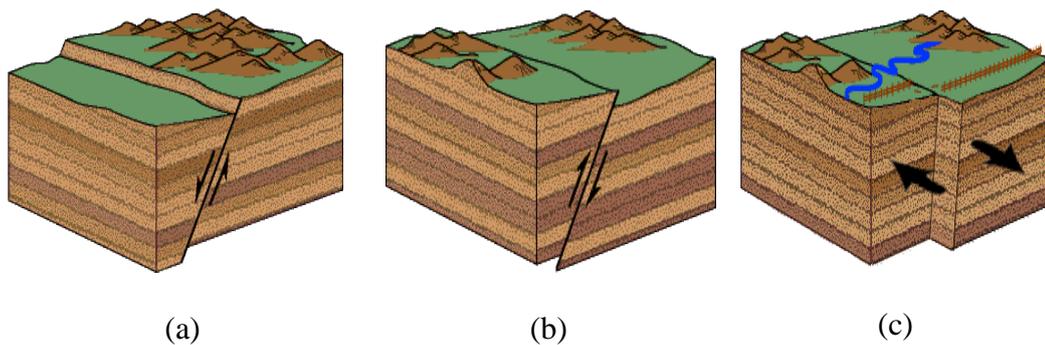
Sesar sendiri memiliki komponen-komponen berupa arah (*strike*) dan sudut kemiringan (*dip*) seperti ditunjukkan pada Gambar 12. *Strike* merupakan arah garis yang dibentuk dari perpotongan bidang sesar dengan bidang horizontal ditinjau dari arah utara ke timur dengan sudut 0° sampai 360° . *Dip* merupakan sudut yang dibentuk oleh bidang sesar terhadap bidang horizontal dengan sudut antara 0° sampai 90° .



Gambar 12. Kedudukan bidang dan arah garis ruang (Sukartono, 2013).

Dalam topografi, ciri sesar dapat dilihat dari adanya suatu pemisahan pada suatu bentuk kontinyu, adanya lapisan yang hilang, atau adanya pergeseran secara vertikal yang menyebabkan adanya perpindahan. Kondisi tersebut biasanya ditandai dengan adanya pembelokan sungai secara tiba-tiba dan terputusnya kesinambungan pada bentuk geologi seperti bentang alam.

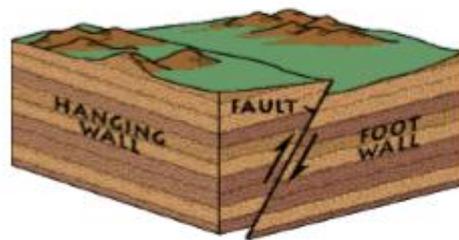
Sesar terdiri dari beberapa jenis, di mana setiap jenisnya akan memiliki perbedaan dengan yang lain. Jenis-jenis sesar ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Jenis-Jenis Sesar (a) *Normal Fault*, (b) *Thrust Fault*, dan (c) *Strike-Slip Fault* (USGS, 2017).

Gambar 13 (a) dan (b) menunjukkan jenis sesar turun (*normal fault*) dan sesar naik (*thrust fault*). Untuk membedakan kedua jenis sesar tersebut dapat dilakukan dengan melihat bidang yang dibentuk oleh posisi *hanging* dan *footwall* seperti yang

ditunjukkan pada Gambar 14. Apabila *hanging* relatif bawah terhadap *footwall*, maka sesar tersebut merupakan sesar turun, sedangkan sesar naik relatif ke atas dari *footwall* nya. Sesar turun terjadi akibat hilangnya pengaruh gaya gravitasi sehingga batuan menuju posisi seimbang (isolasi) di mana pada daerah tersebut biasanya akan dijumpai adanya lembah dan lereng yang curam.



Gambar 14. Bidang sesar (USGS, 2017).

F. Geologi Regional Wilayah Penelitian

Jawa Tengah dari sisi selatan ke utara dibagi menjadi lima unit struktur, yaitu dataran pantai selatan dengan Pegunungan Karangbolong, Serayu bagian selatan dengan Pegunungan Kulon Progo, Zona depresi Serayu, Serayu bagian utara, dan dataran pantai utara (Bammelen, 1949).

Daerah penelitian terletak pada Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo yang merupakan wilayah Pegunungan Kulon Progo bagian selatan. Pegunungan Kulon Progo merupakan bagian dari kompleks Pegunungan Serayu Selatan yang terletak di ujung bagian timur. Ujung bagian timur dari Serayu Selatan dibentuk oleh *dome* yang independen dari Gunung Progo Barat (1.022 m) di antara Purworejo dan Sungai Progo di mana pada kaki-kaki pegunungan di sekeliling

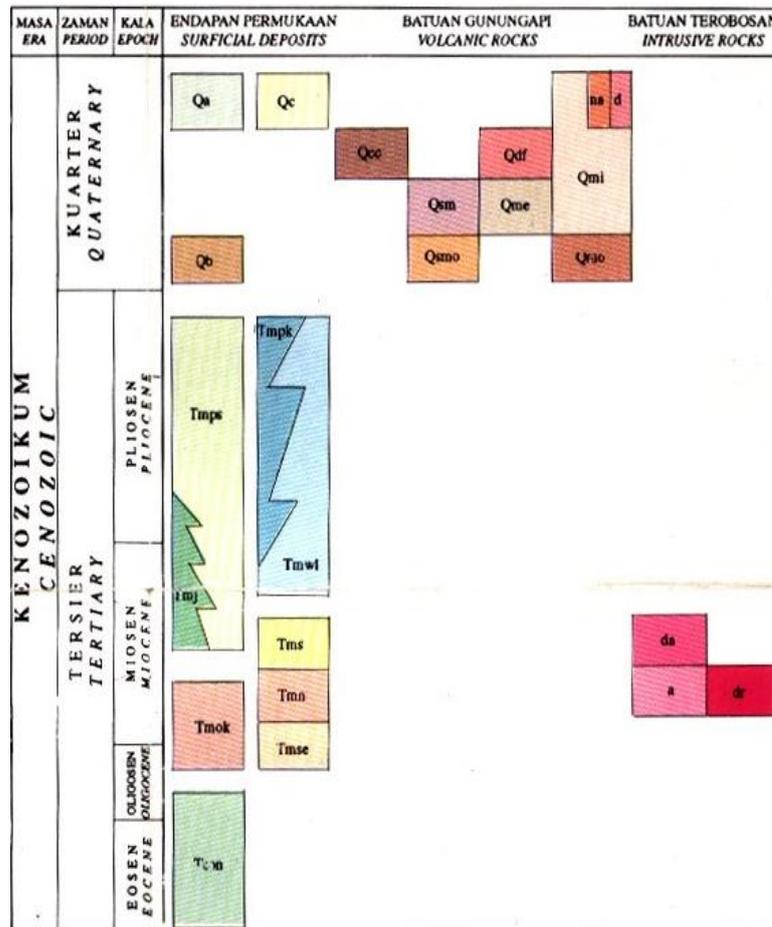
kubah tersebut banyak dijumpai sesar-sesar yang membentuk pola radial (Bammelen, 1949).



Gambar 15. Fisiografi Jawa dan Madura (Bammelen, 1949).

Pada Peta Geologi lembar Yogyakarta, Kabupaten Purworejo khususnya Kecamatan Bagelen merupakan wilayah yang terdiri atas empat formasi batuan. Keempat formasi batuan tersebut yaitu: Formasi Aluvium, Formasi Kebo Butak, Formasi Andesit, dan Formasi Dasit seperti pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 16 diketahui susunan stratigrafi dari daerah Kulon Progo dan sekitarnya. Endapan paling tua adalah Formasi Nanggulan yang berumur Eosen-Oligosen dimana pada bagian atasnya diendapkan Formasi Kebo Butak. Pada miosen akhir, terdapat endapan batu gamping Formasi Jonggrang dengan Formasi Sentolo. Endapan dengan umur kuartar tersusun atas endapan vulkanik Merapi muda dan di bagian atasnya diendapkan Aluvium (Rahardjo *et al.*, 1995). Selain itu, terdapat juga endapan Dasit yang diperkirakan berumur miosen akhir-kuarter (Harjanto, 2008).



Gambar 16. Stratigrafi Kulon Progo dan sekitarnya (Rahardjo, et al., 1995).

1. Formasi Nanggulan

Formasi Nanggulan diperkirakan berumur eosen tengah sampai oligosen akhir. Formasi ini tersusun oleh batu pasir dengan sisipan lignit, napal pasiran, batu lempung dengan kongkresi limonit, sisipan napal dan batu gamping, batuan pasir dan tuff. Formasi Nanggulan memiliki ketebalan kurang lebih 300 meter dan memiliki morfologi perbukitan bergelombang rendah hingga menengah. Bagian bawah formasi itu tersusun dari pengendapan laut dangkal berupa batu pasir, serpih, dan lignit sebagai sisipannya. Pada bagian atas, formasi ini tersusun atas batuan napal, batu pasir gampingan, dan tuff (Rahardjo *et al.*, 1995).

2. Formasi Kebo Butak

Formasi Kebo Butak atau disebut juga Andesit Tua merupakan formasi batuan yang diperkirakan berumur oligosen akhir hingga miosen awal. Susunan dari formasi ini terdiri dari breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat, dan sisipan aliran lava andesit (Rahardjo *et al.*, 1995). Formasi Kebo Butak ini memiliki ketebalan mencapai 500 meter dan berada di atas Formasi Nanggulan. Batuan penyusun formasi ini berasal dari aktivitas vulkanik di daerah tersebut. Formasi ini menyusun Pegunungan Kulon Progo dan merupakan hasil aktivitas dari Gunung Api Andesit Tua yang terdiri dari Gunung Gajah di bagian tengah pegunungan, Gunung Ijo di bagian selatan serta Gunung Menoreh di bagian utara (Bammelen, 1949).

3. Formasi Jonggrang

Formasi Jonggrang merupakan formasi batuan yang berumur miosen awal hingga miosen tengah dan terletak di atas Formasi Andesit Tua. Batuan penyusun formasi ini berupa konglomerat, napal tufan dan batu pasir gampingan dengan sisipan lignit, batu gamping berlapis serta batu gamping koral. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 250 meter (Bammelen, 1949). Bagian bawah Formasi Jonggrang terdiri dari konglomerat yang ditutupi oleh napal tufan dan batu gampingan dengan sisipan lignit, sedangkan bagian atas formasi ini tersusun atas batu gamping koral (Rahardjo *et al.*, 1995).

4. Formasi Sentolo

Formasi Sentolo terletak di tenggara pegunungan Kulon Progo yang memiliki morfologi perbukitan yang bergelombang dari rendah sampai tinggi.

Formasi ini memiliki susunan batuan berupa batu gamping dan batu pasir napalan. Semakin ke atas, susunan formasi diisi oleh batu gamping. Pada formasi ini juga dijumpai batu gamping koral yang menunjukkan bahwa umur Formasi Sentolo sama dengan umur Formasi Jonggrang, tetapi di beberapa tempat umur Formasi Sentolo lebih muda dibandingkan umur Formasi Jonggrang. Formasi Sentolo memiliki ketebalan sekitar 950 meter yang berumur sekitar miosen awal-pliosen (Rahardjo *et al.*, 1995).

5. Andesit

Andesit merupakan batuan terobosan yang diperkirakan memiliki umur miosen. Material ini memiliki komposisi andesit hipersten sampai andesit augit hollenblenda dan trakiandesit (Rahardjo *et al.*, 1995).

6. Dasit

Sama halnya dengan Andesit, Dasit merupakan batuan terobosan yang diperkirakan juga memiliki umur miosen. Material ini tersusun dari dasit yang menerobos ke andesit (Rahardjo *et al.*, 1995).

7. Formasi Aluvium

Formasi aluvium merupakan formasi termuda yang berumur kuartar. Formasi ini terdiri atas kerakal, pasir, lanau, dan lempung sepanjang sungai yang besar dan dataran pantai. Formasi Aluvium berupa endapan-endapan serta berhubungan dengan aluvium rombakan bahan vulkanik gunung api (Rahardjo *et al.*, 1995).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data menggunakan metode geomagnet ini dilakukan pada tanggal 6 - 9 September 2017. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur besar medan magnet total di wilayah penelitian. Pada penelitian ini, terdapat 75 titik pengambilan data yang tersebar di 8 desa di Kecamatan Bagelen. Desa-desa tersebut meliputi, Desa Kalirejo, Clapar, Hargorejo, Soko, Semagung, Semono, Sokoagung, dan Somorejo. Pengambilan data dibatasi pada koordinat $7^{\circ}46'40,58''$ – $7^{\circ}49'23,99''$ LS dan $110^{\circ}1'22,65''$ – $110^{\circ}3'33,46''$ BT yang ditunjukkan pada Gambar 3.

B. Instrumen Penelitian

Berikut merupakan instrumen yang digunakan baik dalam pengambilan maupun pengolahan data.

1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. *Proton Precession Magnetometer* (PPM) merek *Geometrics* tipe G-856 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17. PPM sendiri terdiri dari beberapa komponen, yakni (a) sensor, (b) *instrument console*, (c) kabel penghubung, dan (d) tongkat penyangga.

- b. *Global Positioning System* (GPS) merek Garmin tipe 78s seperti pada Gambar 5(a) yang digunakan untuk mengetahui koordinat serta elevasi titik pengukuran.
- c. Kompas geologi seperti Gambar 5(b) untuk mengetahui arah utara saat pengukuran.
- d. Kamera yang digunakan sebagai alat dokumentasi pengambilan data.
- e. *Logbook* yang berisi berbagai catatan dalam pengambilan data seperti hari, tanggal, waktu, koordinat, elevasi, nilai pengukuran medan magnet, serta kondisi lingkungan pada saat dilakukan pengambilan data.
- f. Komputer yang digunakan sebagai alat pengolahan data.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 17. Set alat PPM merek *Geometrics* tipe G-856, (a) sensor, (b) *instrument console*, (c) kebel penghubung, (d) tongkat penyangga.



(a)



(b)

Gambar 18. (a) GPS merek Garmin tipe 78s, (b) Kompas geologi.

2. Perangkat Lunak

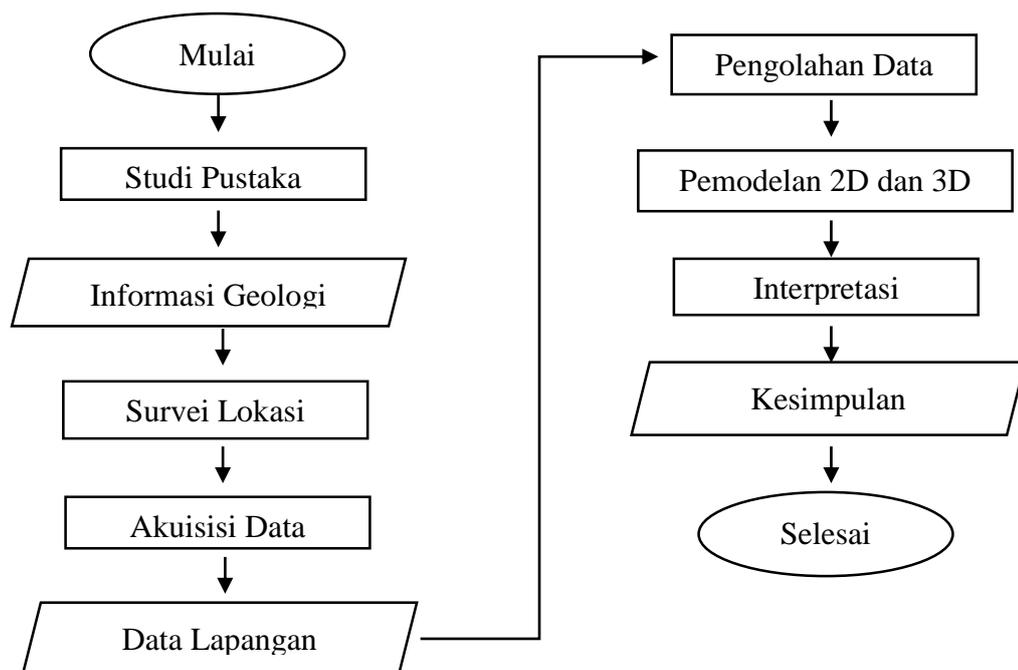
Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. *Surfer 12* digunakan untuk membuat desain survei, *converter* koordinat, serta membuat kontur hasil penelitian.
- b. *Global Mapper 16* digunakan untuk memberikan batas titik koordinat pada peta.
- c. *Google Earth Pro* digunakan untuk mengetahui letak koordinat penelitian.
- d. *TCX converter* digunakan untuk mencari nilai *altitude* dan membuat data topografi.
- e. *OASIS Montaj* digunakan untuk pengolahan data anomali medan magnet berupa reduksi ke kutub, kontinuasi ke atas, pemodelan 2D, serta pengolahan *Second Vertical Derivative (SVD)*.
- f. *Magblox* digunakan untuk memasukkan data berupa koordinat, elevasi, dan nilai suseptibilitas.

- g. *Bloxer* digunakan untuk mengubah dan mengedit data serta format data sebelum masuk ke *software Rockwork*.
- h. *Rockwork* digunakan untuk pemodelan 3D.
- i. *Microsoft Office 2013* digunakan untuk pengolahan data serta penyusunan data.

C. Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam penelitian ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 19.



Gambar 19. Diagram alir penelitian.

D. Akuisisi Data Penelitian

Sebelum melakukan akuisisi data, langkah yang dilakukan terlebih dahulu yaitu membuat desain survei daerah penelitian. Setelah itu, tahap akuisisi data dilakukan menggunakan metode *looping*. Metode *looping* merupakan metode

akuisisi data yang hanya menggunakan satu alat PPM, dimana satu set alat tersebut berfungsi sebagai *base* dan *rover*. Akuisisi data diawali dengan pengukuran di *base* dan diakhiri juga di *base*.

Akuisisi data dilakukan di 75 titik penelitian dengan spasi antar titiknya sejauh 500 m. Pada beberapa titik pengukuran, dilakukan pergeseran (*offside*) untuk mengurangi *noise*. Pergeseran titik pengukuran dari desain survei dilakukan apabila titik tersebut berada dekat dengan benda-benda yang memiliki kemagnetan besar sehingga dapat mempengaruhi data pengukuran di titik tersebut. Benda-benda tersebut di antaranya: tiang listrik, jembatan, pipa serta benda-benda lain yang mengandung bahan logam.

Akuisisi data dilakukan pada semua titik dan diawali dengan menyusun alat PPM. Indikator N (*North*) pada sensor diarahkan ke utara bumi menggunakan bantuan kompas sebagai petunjuk arah. PPM dapat mengukur besarnya nilai medan magnet total di titik tersebut setelah tombol *Read* pada *instrument console* ditekan. Pengukuran dilakukan dengan pengulangan sebanyak 5 kali pada setiap titiknya. Hasil pengukuran ditulis pada tabel catatan pengambilan data beserta kondisi lingkungan sekitar pada saat pengukuran.

E. Pengolahan Data

Pengolahan data hasil pengukuran lapangan yang berupa data medan magnet total di wilayah penelitian dilakukan dengan langkah-langkah seperti pada Gambar 20. Data tersebut dikoreksi menggunakan berbagai koreksi untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet. Anomali medan magnet merupakan nilai dari hasil

perhitungan medan magnet total dengan medan magnet regional atau IGRF serta nilai variasi harian yang berasal dari medan magnet luar (Blakely, 1996).

1. Koreksi Variasi Harian

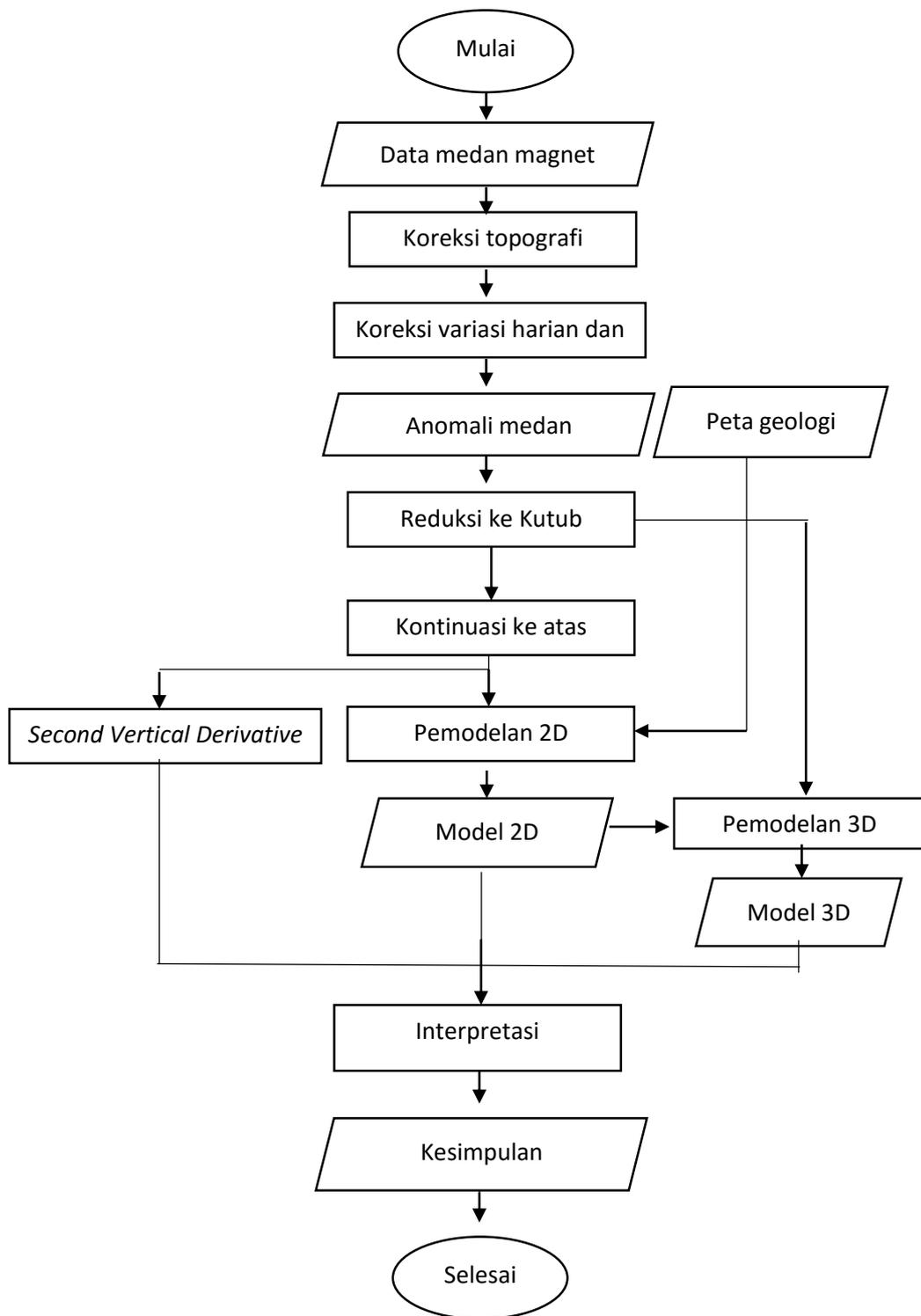
Koreksi variasi harian dilakukan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet dari luar yang disebabkan oleh aktivitas matahari. Nilai variasi harian akan bergantung pada pengukuran nilai di *base*. Koreksi variasi harian didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan (11).

2. Koreksi IGRF

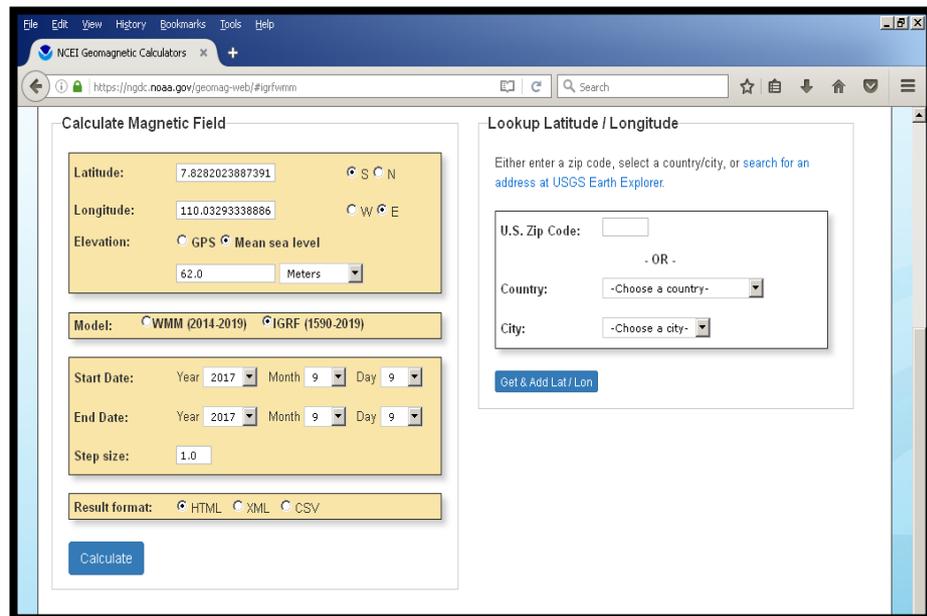
Koreksi IGRF merupakan koreksi yang bersifat global karena koreksi ini merupakan koreksi yang bersumber dari dalam bumi itu sendiri. Koreksi IGRF dapat diakses melalui *website* NOAA. Nilai koreksi IGRF didapatkan dengan memasukkan data koordinat dan elevasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 21.

3. Koreksi Topografi

Koreksi topografi dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh topografi khususnya ketinggian terhadap data medan magnet yang terukur. Kontur data topografi dengan kontur data medan magnet dibandingkan untuk melihat ada tidaknya hubungan antara keduanya secara signifikan. Koreksi topografi dilakukan menggunakan *software Google Earth, TCX Converter, dan Surfer 12*.



Gambar 20. Skema pengolahan data.



Gambar 21. Koreksi IGRF (NOAA, 2017).

4. Anomali Medan Magnet

Nilai anomali medan magnet didapat dari perhitungan menggunakan persamaan 9. Nilai anomali setiap titik pengukuran akan menghasilkan nilai yang berbeda sesuai dengan struktur batuan yang berada di bawah permukaan. Setelah didapatkan nilai anomali medan magnet pada setiap titik pengukuran, maka data tersebut akan digunakan pada proses pengolahan selanjutnya (Blakely, 1996).

5. Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub merupakan proses pemfilteran dalam pengolahan data geomagnet yang digunakan untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi dan deklinasi. Dengan dilakukannya reduksi ke kutub, akan dihasilkan data dengan sudut deklinasi 0° dan inklinasi 90° . Salah satu manfaat dari filter ini adalah mengubah medan magnet di tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub

utara magnet bumi. Dengan demikian, anomali medan magnet akan semakin terlihat jelas. Reduksi ke kutub ini dilakukan menggunakan *software OASIS Montaj*.

6. Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas merupakan proses untuk mengoreksi nilai anomali lokal dengan anomali regional. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan *noise* yang tidak diinginkan yang berada di permukaan bumi. Dengan demikian, nilai anomali lokal akan hilang sehingga nilai anomali regional semakin terlihat polanya. Kontinuasi ke atas dilakukan menggunakan *software OASIS Montaj*.

7. Second Vertical Derivative

Second Vertical Derivative (SVD) merupakan salah satu *tools* pada *software OASIS Montaj*. SVD dapat digunakan untuk memprediksikan atau melihat ada tidaknya dugaan jalur sesar. Selain itu, SVD juga dapat digunakan untuk mengetahui jenis sesar. Setelah didapatkan hasilnya pada *software OASIS Montaj*, selanjutnya hasil akan diolah dan dianalisa kembali di *software Surfer 12*.

8. Pemodelan 2D

Pemodelan 2D dilakukan untuk memodelkan dugaan formasi batuan dalam gambaran 2D. Pemodelan ini diawali dengan menyayat kontur anomali medan magnet sesuai target yang akan dicari. Proses penyayatan digunakan untuk mengambil sampel melintang untuk dimodelkan. Pemodelan dilakukan menggunakan salah satu menu di *software OASIS Montaj* yakni *Gm-sys*.

9. Pemodelan 3D

Pemodelan 3D digunakan untuk memodelkan prediksi formasi batuan secara 3D. Pemodelan dilakukan dengan *software Rockwork*, *Magblox*, dan *Bloxer* menggunakan data anomali medan magnet yang sudah dilakukan reduksi ke kutub. *Software Magblox* digunakan untuk memasukkan informasi geologi berupa koordinat, spasi antar titik, dugaan kedalaman batuan serta nilai IGRF. Hasil pengolahan dari *software Magblox* ini adalah model dalam bentuk *layer-layer*. Selanjutnya, *software Bloxer* digunakan untuk mengubah format file *Magblox* agar dapat diolah di *software Rockwork*. Selanjutnya pemodelan 3D didapatkan berdasarkan nilai suseptibilitas batuan menggunakan *software Rockwork*.

10. Interpretasi Data

Interpretasi data dilakukan dengan menganalisa kontur hasil pengolahan data seperti kontur anomali medan magnet, kontur hasil reduksi ke kutub serta kontur kontinuitas ke atas. Selain itu, analisa dan gambaran interpretasi hasil juga dilihat dari pemodelan struktur formasi batuan baik secara 2D maupun 3D.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo merupakan wilayah yang berbatasan dengan DIY dan berada pada kompleks Perbukitan Serayu Selatan bagian timur, tepatnya di kawasan Perbukitan Kulon Progo bagian selatan. Daerah ini merupakan daerah *dome* yang terbentuk dari perbukitan di sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk menginterpretasi struktur bawah permukaan dan mengidentifikasi keberadaan 3 jalur sesar yang terdapat di wilayah Bagelen, tepatnya yang melalui Desa Kalirejo, Clapar, Hargorejo, Soko, Semagung, Sokoagung, Semono, dan Somorejo.

Identifikasi keberadaan 3 jalur sesar tersebut dilakukan menggunakan metode geomagnet. Variabel fisis yang digunakan dalam interpretasi yaitu nilai suseptibilitas yang terkandung dalam batuan. Nilai suseptibilitas diperoleh dengan melakukan langkah awal berupa akuisisi data di titik pengukuran menggunakan alat *Proton Precession Magnetometer* (PPM). Proses tersebut menghasilkan nilai pengukuran medan magnet total pada setiap titik pengukuran.

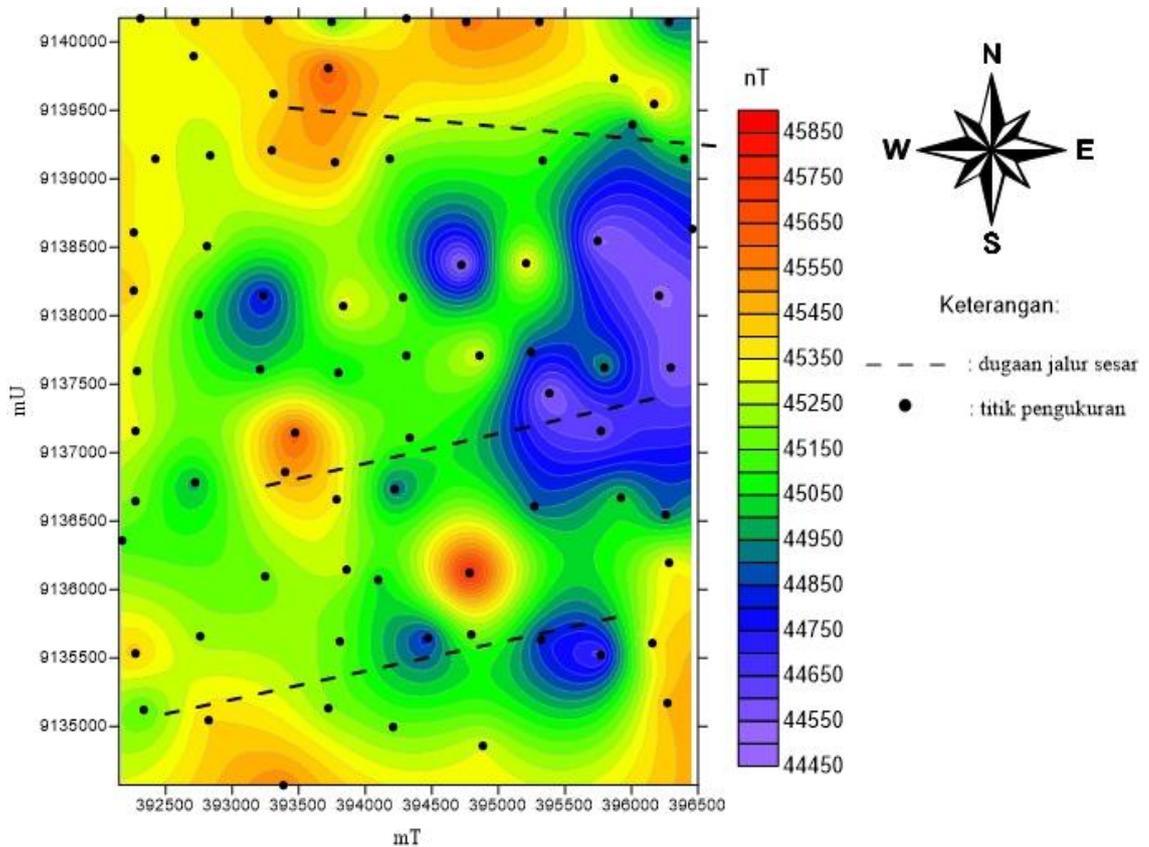
Medan magnet total yang didapat dari hasil pengukuran masih dipengaruhi oleh berbagai faktor baik dari dalam maupun luar bumi. Berbagai faktor tersebut adalah medan magnet utama, medan magnet luar, serta anomali medan magnet yang bersumber dari magnetisasi batuan bawah permukaan. Nilai anomali medan magnet diperoleh dengan menggunakan beberapa tahapan koreksi untuk mereduksi pengaruh medan magnet yang berasal dari dalam dan luar bumi. Tahapan koreksi

untuk menghilangkan pengaruh medan magnet dari luar bumi dilakukan dengan koreksi variasi harian. Tahapan untuk menghilangkan pengaruh dari dalam bumi menggunakan koreksi IGRF. Nilai medan magnet tersebut merupakan nilai medan magnet regional dan residual. Proses pemisahan medan magnet regional dan residual dilakukan dengan reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas.

A. Medan Magnet Total

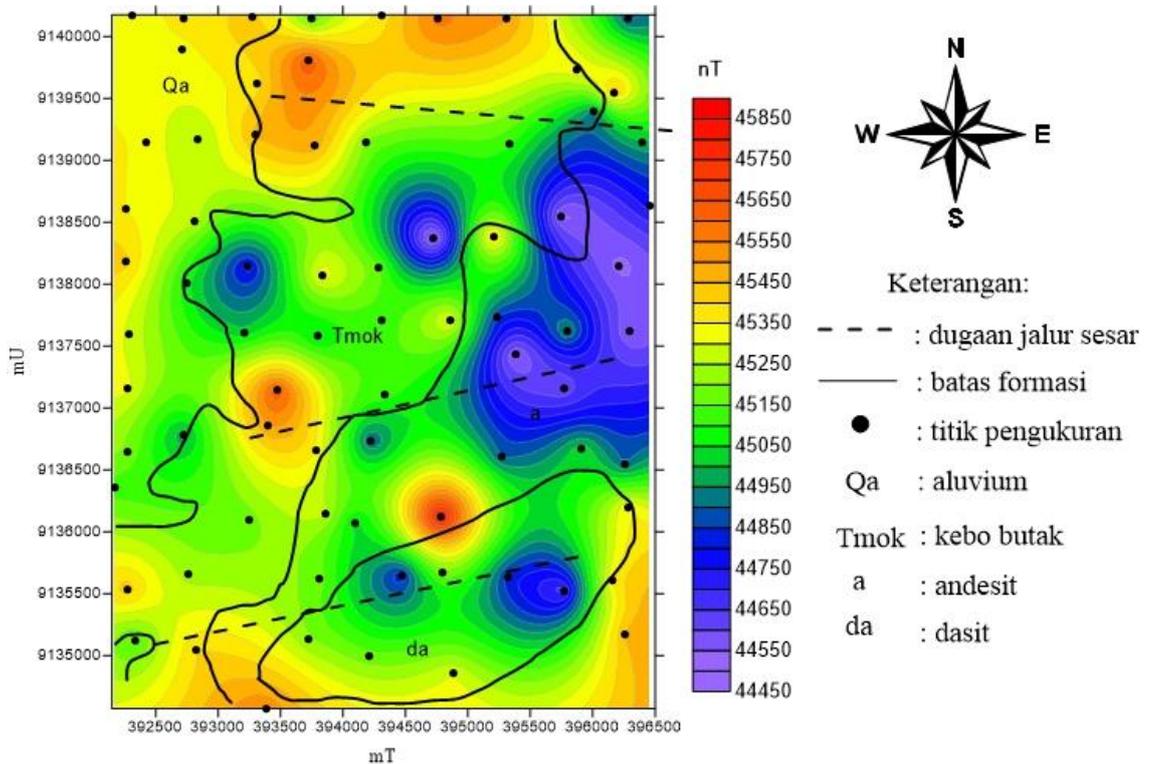
Hasil pengukuran di wilayah penelitian berupa nilai medan magnet total yang ditunjukkan dalam bentuk kontur medan magnet total seperti pada Gambar 22. Hasil pengukuran nilai medan magnet total pada wilayah penelitian memiliki rentang 44.483,6 nT - 45.855,2 nT.

Klosur rendah dari nilai medan magnet total dinyatakan dengan warna ungu muda sampai hijau yang berada pada sisi timur wilayah penelitian dan beberapa titik pada sisi tengah dan selatan wilayah penelitian. Klosur medan magnet rendah merepresentasikan bahwa pada wilayah tersebut terdapat material-material penyusun batuan yang memiliki nilai kemagnetan lebih rendah dari sekitarnya. Klosur medan magnet tinggi yang menunjukkan nilai $H \geq 45.335,47$ nT tersebar pada sisi utara dan beberapa sisi sebelah selatan dari wilayah penelitian yang dinyatakan oleh warna kuning hingga jingga. Klosur medan magnet yang tinggi tersebut merepresentasikan adanya material-material yang memiliki nilai kemagnetan tinggi di mana material tersebut umumnya lebih keras.



Gambar 22. Kontur medan magnet total di wilayah penelitian.

Kontur nilai medan magnet total kemudian di-*overlay* dengan peta geologi untuk mengetahui posisi dugaan sesar serta batas formasi batuan seperti pada Gambar 23. Formasi Aluvium (Qa) mendominasi pada sisi barat daya sampai sebagian sisi utara wilayah penelitian. Formasi Kebobutak (Tmok) menjadi batas Formasi Aluvium dengan terobosan Andesit. Formasi Andesit (a) merupakan batuan terobosan yang mendominasi pada sisi timur wilayah penelitian. Pada Formasi Andesit juga terdapat blok pada bagian tenggara – selatan yang berupa terobosan Dasit (da).



Gambar 23. . Kontur medan magnet total yang sudah di-*overlay* dengan batas formasi dan dugaan jalur sesar.

Formasi Aluvium yang berada pada sisi barat memiliki nilai medan magnet total 45.100 nT – 45.650 nT. Nilai tersebut bersesuaian dengan batuan penyusun Formasi Aluvium yang berupa kerakal, pasir, lanau, lempung serta batuan yang berada di sepanjang sungai besar dan dataran pantai. Material penyusun Formasi Aluvium merupakan material yang tergolong dalam material yang memiliki nilai medan magnet lebih rendah karena kandungan bahan magnet di dalamnya. Daerah dengan formasi ini berada pada sisi barat di mana pada sisi tersebut terdapat sungai besar yang sebagian sudah tertutup oleh material endapan. Apabila dilihat dari beberapa batuan yang menyusun formasi tersebut, *sandstone* menjadi batuan yang mendominasi.

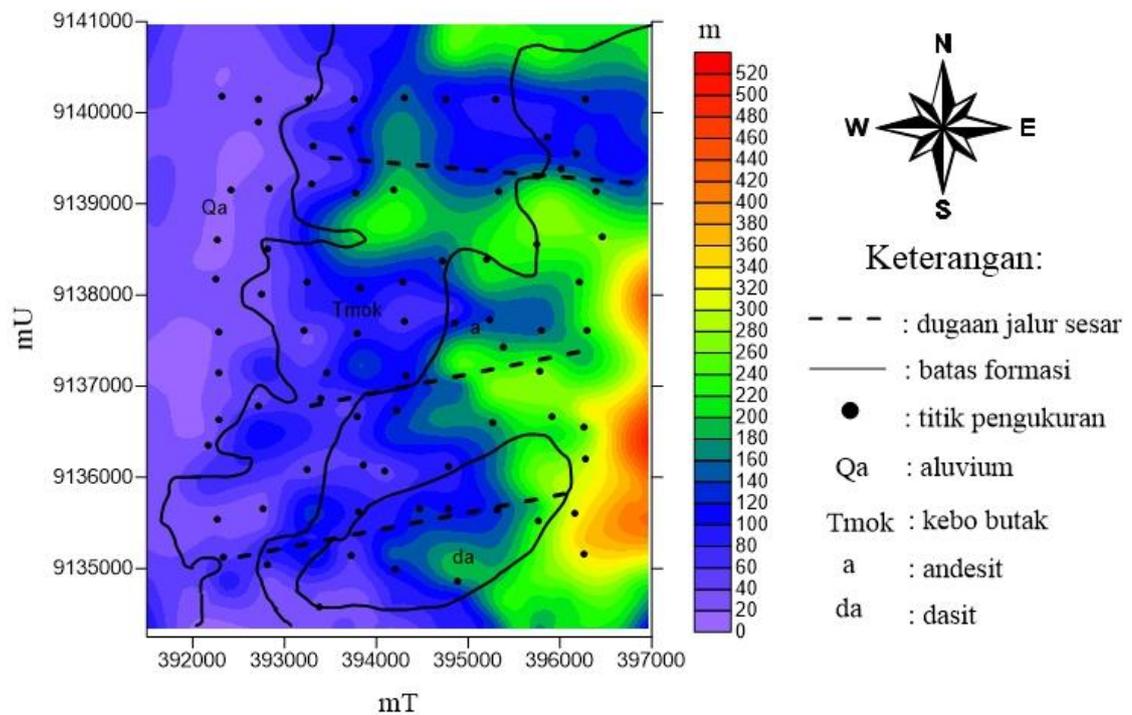
Formasi Kebobutak didominasi oleh klosur tinggi pada bagian utara, sisi selatan, dan beberapa wilayah pada sisi tengah wilayah penelitian. Selain itu, pada beberapa titik pengukuran juga dijumpai nilai medan magnet total dengan klosur rendah. Nilai medan magnet total pada formasi ini memiliki rentang 44.450 nT – 45.850 nT. Klosur tinggi yang mendominasi formasi ini bersesuaian dengan batuan penyusun formasi yang memiliki magnetisasi besar yaitu breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat dan sisipan lava andesit. Batuan yang mendominasi berupa batuan basalt piroklastik.

Pada formasi di daerah penelitian juga dijumpai adanya terobosan Andesit dan Dasit. Terobosan batuan tersebut berada di sebelah timur untuk Andesit dan di sebelah tenggara – selatan membentuk blok untuk terobosan Dasit. Pada formasi ini, klosur rendah dan klosur tinggi memiliki perbandingan luasan yang hampir sama. Nilai medan magnet total pada kedua formasi ini memiliki rentang 44.450 nT – 45.850 nT. Apabila dilihat dari penyusunnya, terobosan Andesit terdiri atas andesit hipersten – horeblenda traksiandesit sedangkan Dasit tersusun atas dasit dan andesit yang menerobos (Rahardjo *et al.*, 1995). Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai yang berkisar dari klosur rendah – tinggi walaupun secara teori nilai magnetisasi batuan penyusun formasi ini memiliki nilai yang besar.

B. Koreksi Topografi

Wilayah penelitian berada pada daerah yang memiliki ketinggian berbeda-beda. Hal tersebut dipengaruhi oleh letak wilayah penelitian yang berada pada wilayah perbukitan, yaitu Perbukitan Kulon Progo. Adanya perbedaan ketinggian atau variasi topografi di wilayah penelitian menyebabkan perlunya analisis untuk

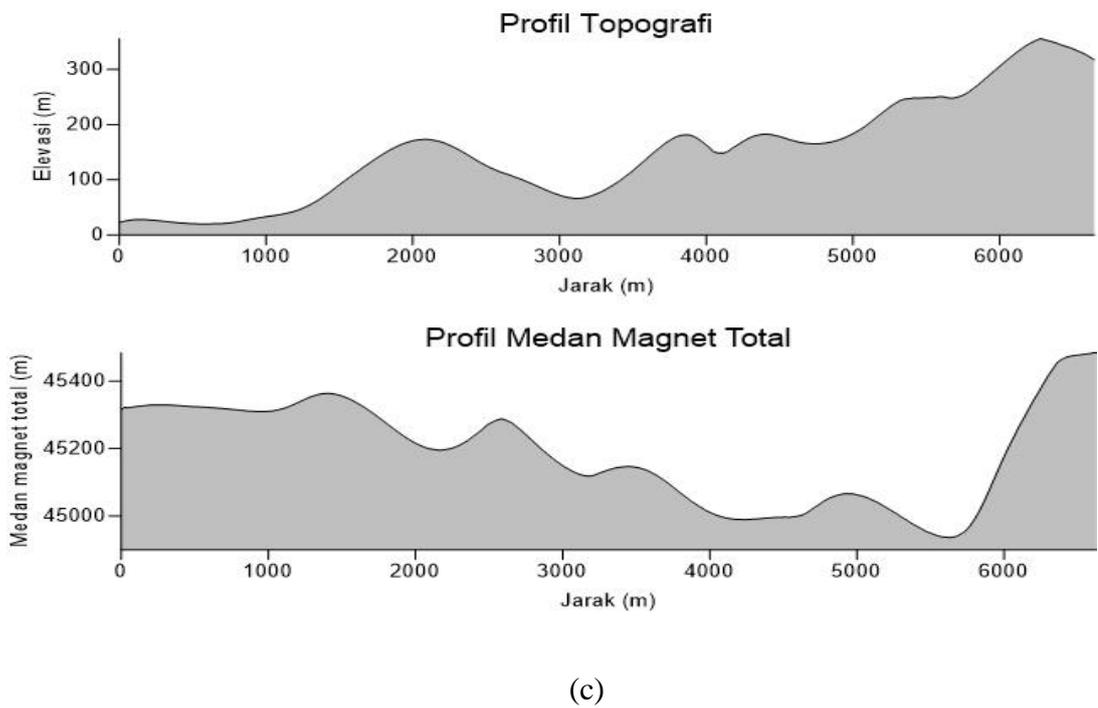
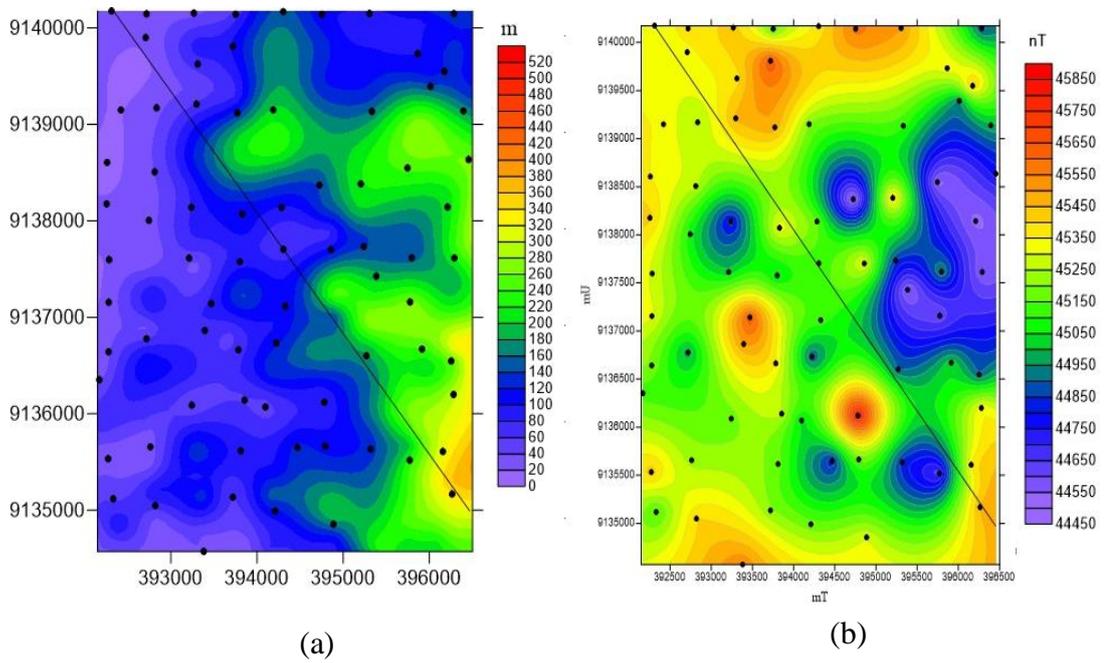
mengetahui pengaruh topografi terhadap nilai pengukuran. Dengan demikian, dibutuhkan kontur topografi daerah penelitian seperti pada Gambar 24. Kontur topografi kemudian dibandingkan dengan kontur medan magnet total pada Gambar 23. Selain itu, juga dilakukan sayatan dengan jalur yang sama untuk mengetahui profil topografi dan nilai medan magnet total seperti pada Gambar 25.



Gambar 24. Kontur topografi wilayah penelitian di-*overlay* dengan batas formasi.

Kontur medan magnet total seperti pada Gambar 23 dan kontur topografi seperti pada Gambar 24 tidak menunjukkan pola yang sama. Kontur medan magnet total pada Gambar 23 menunjukkan bahwa nilai medan magnet total menunjukkan pola yang acak, sedangkan kontur topografi pada Gambar 24 menunjukkan adanya pola yang mengalami kenaikan nilai elevasi seiring semakin bertambahnya jarak ke arah kanan.

Selain analisis berdasarkan kontur, analisis ada atau tidaknya pengaruh topografi pada nilai medan magnet juga dilakukan dengan membuat sayatan A-A' dengan koordinat yang sama untuk mengetahui profil topografi dan medan magnet total pada wilayah yang sama untuk menjadi sampel. Dari Gambar 25(c) diketahui bahwa pada koordinat dan sayatan yang sama untuk kontur topografi (Gambar 25(a)) dan kontur medan magnet total (Gambar 25(b)), tidak terlihat adanya hubungan yang signifikan pada keduanya. Pada profil topografi diketahui adanya kenaikan seiring bertambahnya jarak ke arah kanan sedangkan profil medan magnet total memiliki nilai yang naik turun tidak selaras dengan pola profil topografi. Dari analisis menggunakan dua cara tersebut, dapat diketahui bahwa topografi tidak mempengaruhi nilai medan magnet dalam pengukuran sehingga tidak diperlukan adanya koreksi topografi.



Gambar 25. Sayatan dan profil topografi dengan medan magnet total, (a) sayatan pada kontur topografi, (b) sayatan pada kontur medan magnet total, (c) profil topografi dan medan magnet total.

C. Medan Magnet Luar

Medan magnet luar merupakan medan magnet yang berasal dari luar bumi. Medan magnet ini dipengaruhi oleh adanya perubahan aktivitas di ionosfer, salah satunya dipengaruhi oleh aktivitas matahari. Medan magnet luar dikenal dengan variasi harian yang berarti bahwa nilai ini bervariasi setiap harinya. Nilai variasi harian pada satu titik akan berbeda nilainya apabila pengukuran dilakukan dalam waktu yang berbeda. Anomali variasi harian terjadi ketika terdapat badai matahari di mana nilai variasi badai matahari ini diketahui melalui indeks *Dst* pada Tabel 2.

Perhitungan variasi harian dilakukan dengan rumusan pada persamaan (10). Hasil perhitungan nilai variasi harian terlampir pada Lampiran 2. Dari perhitungan tersebut, didapatkan nilai variasi harian $-93,93 \text{ nT} - 222,9 \text{ nT}$ untuk pengukuran di titik pengambilan data. Ada tidaknya badai matahari pada saat pengukuran yang dikhawatirkan akan mempengaruhi hasil pengukuran dapat diketahui dengan melihat grafik indeks *Dst* (Gambar 26) saat dilakukan pengukuran dan kemudian dibandingkan dengan Tabel 2.

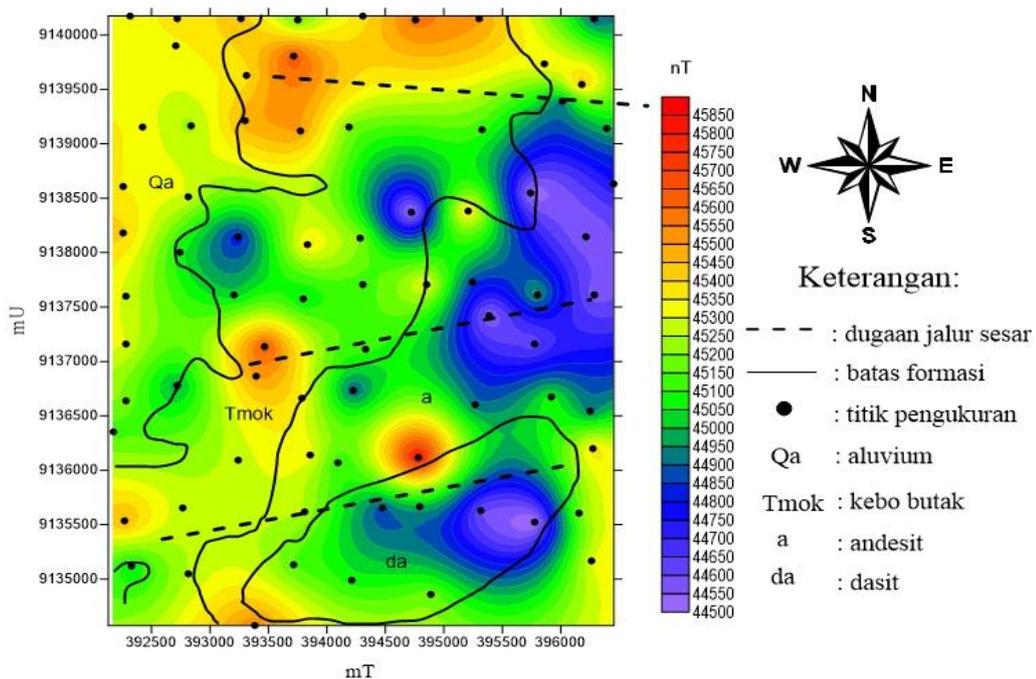


Gambar 26. Indeks *Dst* real time 6-9 September 2017 (ISGI, 2017).

Gambar 26 menunjukkan grafik indeks *Dst* pada saat dilakukan penelitian. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai terendah untuk nilai *Dst* adalah -

143 nT. Nilai tersebut masuk ke dalam rentang kuat pada Tabel 2. Nilai tersebut tidak menunjukkan adanya badai matahari karena dikatakan terdapat badai matahari jika indeks *Dst* menunjukkan klasifikasi sangat kuat, sehingga dapat disimpulkan bahwa selama pengambilan data tidak terjadi badai matahari. Oleh sebab itu nilai variasi harian yang dihasilkan tidak dipengaruhi adanya badai matahari.

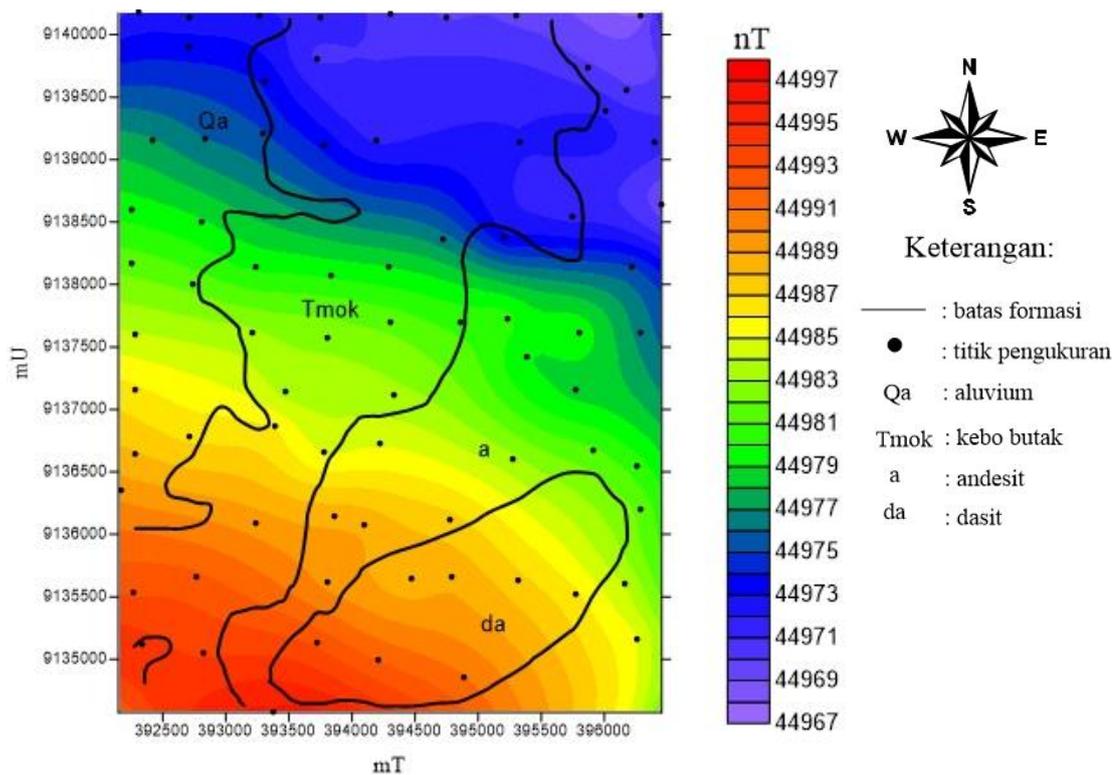
Gambar 27 menunjukkan kontur medan magnet total yang sudah dikoreksi menggunakan koreksi variasi harian. Apabila dibandingkan dengan Gambar 23, pola sebaran nilai medan magnet pada titik pengukuran masih memiliki pola yang sama antara sebelum dan sesudah dikoreksi menggunakan koreksi variasi harian. Ini menunjukkan bahwa pengaruh aktivitas matahari atau medan magnet luar tidak signifikan dalam mempengaruhi pola kontur sebaran nilai pengukuran medan magnet total.



Gambar 27. Kontur medan magnet total setelah koreksi variasi harian.

D. Medan Magnet Utama Bumi

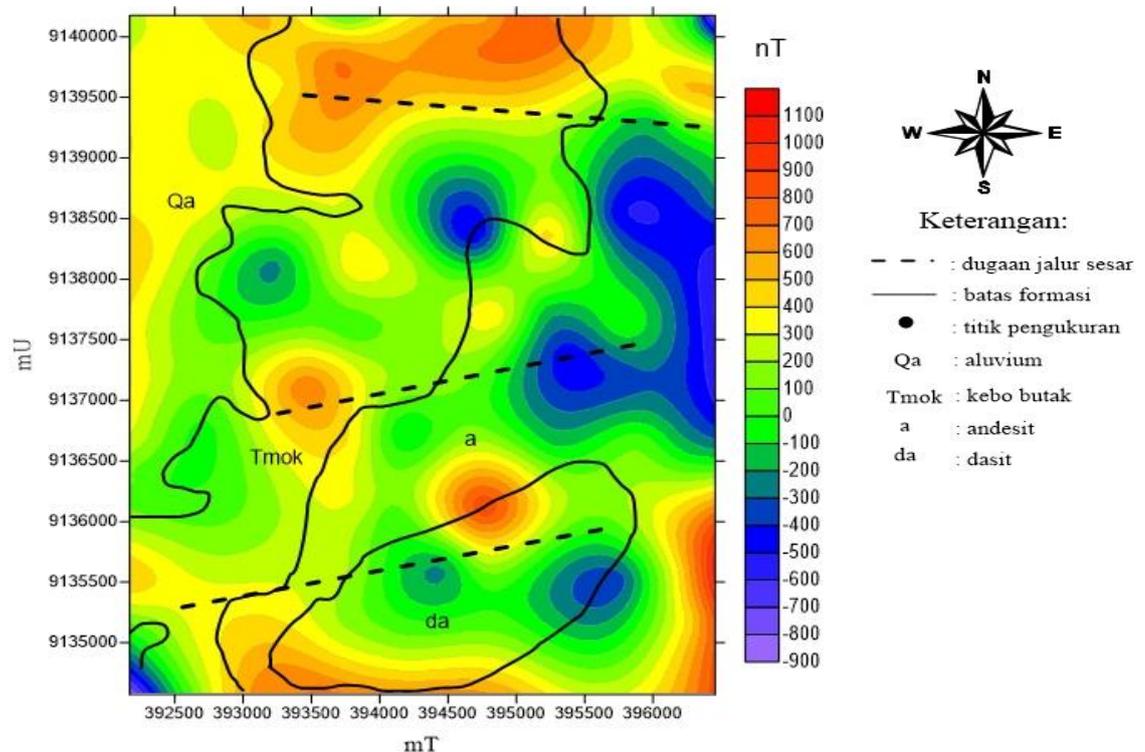
Medan magnet utama bumi merupakan medan magnet yang berasal dari dalam bumi, di mana nilai tersebut muncul akibat adanya arus konveksi dalam bumi. Medan magnet utama bumi dimodelkan menggunakan model IGRF (*International Geomagnetism Reference Field*) yang dapat diakses melalui *website* NOAA. Nilai IGRF pada daerah penelitian di Kecamatan Bagelen ini berkisar antara 44.967 nT – 44.995 nT dengan rata-rata nilai IGRF di daerah tersebut adalah 44.980,74 nT.



Gambar 28. Kontur nilai IGRF daerah penelitian.

Gambar 28 menunjukkan kontur yang dibuat dari nilai IGRF pada setiap titik pengukuran. Dari gambar tersebut diketahui bahwa nilai medan magnet utama bumi semakin ke selatan yaitu semakin dekat dengan kutub nilainya semakin besar.

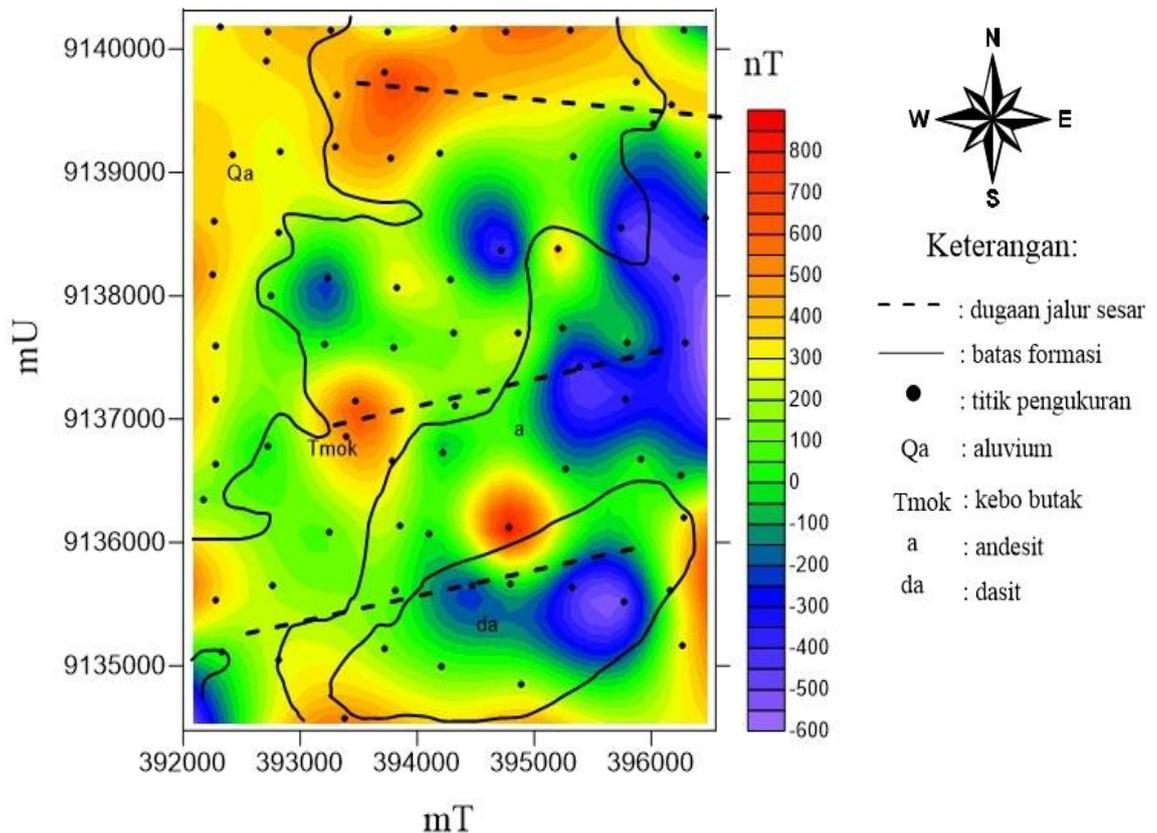
Gambar 29 menunjukkan kontur medan magnet total yang sudah dikoreksi menggunakan koreksi IGRF. Dari gambar tersebut diketahui bahwa pola kontur medan magnet total yang sudah dikoreksi menggunakan IGRF menghasilkan nilai anomali dengan rentang -900 nT sampai 1100 nT. Hal tersebut dikarenakan nilai medan magnet dalam bumi, dalam hal ini IGRF, merupakan penyumbang medan magnet total yang paling besar, sehingga nilai medan magnet total akan mengalami perubahan drastis setelah nilai medan magnet dalam bumi dihilangkan.



Gambar 29. Kontur medan magnet total setelah koreksi IGRF.

E. Anomali Medan Magnet

Nilai anomali medan magnet merupakan nilai medan magnet yang telah melalui tahapan koreksi variasi harian, koreksi IGRF, dan koreksi topografi. Nilai anomali medan magnet inilah yang diharapkan dapat mengidentifikasi struktur dan jenis batuan pada wilayah penelitian. Nilai anomali medan magnet bervariasi antara satu tempat dengan tempat yang lain. Perhitungan nilai anomali medan magnet ini dilakukan menggunakan persamaan (9), di mana hasilnya terlampir pada Lampiran 2. Nilai anomali hasil koreksi ini merupakan nilai anomali lokal dan ditunjukkan pada Gambar 30



Gambar 30. Kontur anomali medan magnet di wilayah penelitian.

Gambar 30 merupakan kontur hasil *plotting* nilai anomali medan magnet yang sudah dikoreksi menggunakan koreksi variasi harian dan IGRF. Sebaran anomali medan magnet pada daerah penelitian berkisar antara -500,068 nT – 862,274 nT. Nilai anomali pada daerah penelitian di Kecamatan Bagelen ini memiliki rentang yang cukup besar. Nilai tersebut terjadi karena adanya variasi formasi pada daerah penelitian.

Klosur tinggi yang mendominasi pada Formasi Kebobutak bersesuaian dengan struktur penyusun formasi batuan yang memiliki daya magnetisasi yang cukup besar dibandingkan dengan Formasi Aluvium. Pada formasi ini, rentang nilai anomali berkisar antara -500 nT – 900 nT. Formasi Kebobutak ini menjadi batuan yang masih mendominasi formasi wilayah penelitian khususnya di sisi utara, yaitu berupa batuan breksi andesit dan *basalt*. Batuan tersebut banyak dijumpai di atas permukaan dan tidak jarang memiliki ukuran yang besar dalam bentuk tebing. Batuan *basalt* ini memiliki ciri warnanya gelap, keras, dan terbentuk akibat hasil dari pembekuan magma. Batuan jenis ini merupakan batuan terobosan yang memiliki nilai suseptibilitas tinggi. Oleh karena itu, nilai anomali medan magnet pada formasi ini menyumbangkan nilai yang cukup besar.

Klosur yang lebih rendah mendominasi wilayah penelitian bagian barat di mana terdapat Formasi Aluvium. Di lokasi penelitian, formasi ini berbatasan dengan sungai besar di mana beberapa bagian sungai sudah mulai tertutup oleh endapan. Batuan penyusun yang mendominasi daerah ini adalah batuan jenis *sandstone*, *siltstone* dan lempung. Batuan tersebut memiliki nilai magnetisasi yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai magnetisasi yang dihasilkan oleh penyusun

Formasi Kebobutak. Oleh karena itu, nilai anomali medan magnet pada formasi ini lebih kecil jika dibandingkan dengan Formasi Kebobutak.

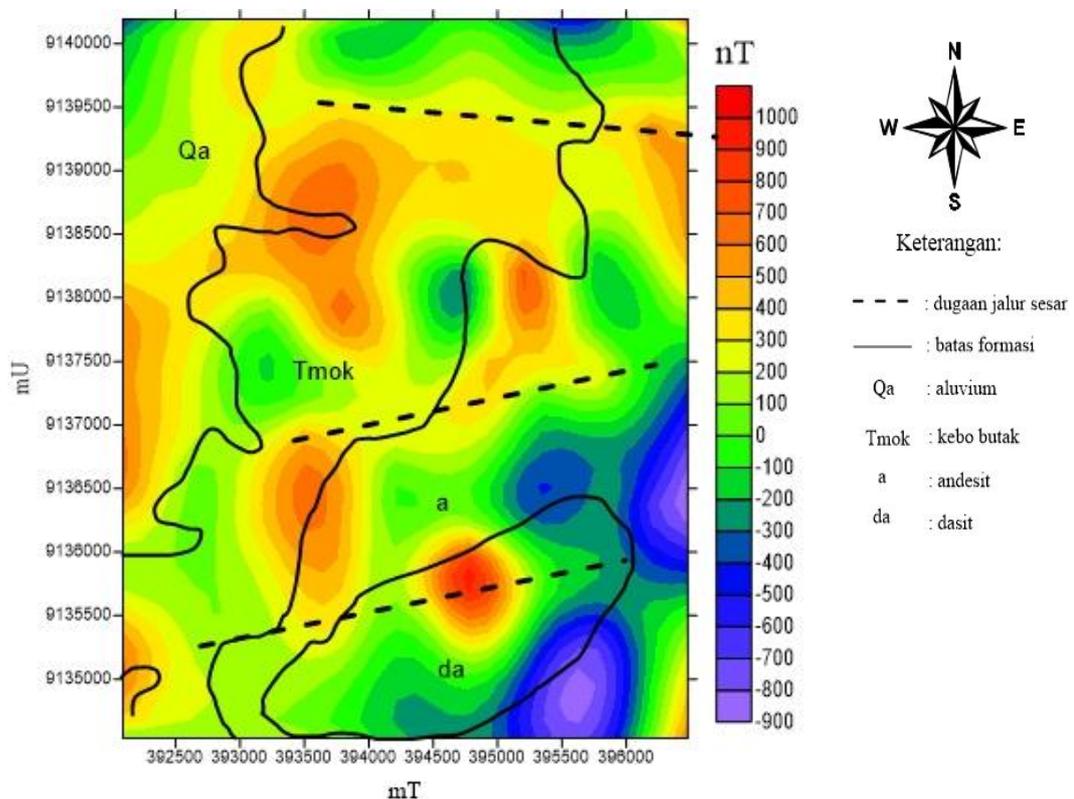
Selain pada Formasi Aluvium, nilai anomali medan magnet yang lebih rendah juga tersebar di Formasi Andesit dan Dasit. Nilai anomali medan magnet pada formasi ini berkisar antara -600 – 900 nT. Apabila dilihat dari penyusunnya, kedua formasi tersebut seharusnya memiliki nilai anomali medan magnet yang lebih besar dari Formasi Aluvium. Tetapi pada beberapa wilayah, nilai anomali medan magnet pada formasi ini justru memiliki nilai yang lebih kecil dari Formasi Aluvium. Adanya anomali medan magnet yang lebih rendah pada Andesit dan Dasit dimungkinkan karena adanya endapan, ubahan, mineralisasi, oksidasi maupun hidrasi. Salah satu faktor yang menyebabkan hal tersebut adalah adanya aktivitas gunung di sekitarnya. Ubahan pada batuan Andesit berintensitas sedang-kuat (Ansori dan Defri, 2013). Ubahan batuan yang terjadi di daerah sekitar terobosan batuan Andesit dan Dasit adalah ditemukannya batuan jenis lempung dan kuarsa yang memiliki nilai magnetisasi kecil. Selain itu, di lapangan juga terdapat adanya batuan mirip karst dan beberapa batuan yang tidak keras pada wilayah yang menurut peta geologi berada pada Formasi Dasit dan Andesit di mana seharusnya pada wilayah tersebut didominasi batuan keras.

Apabila dilihat dari proses yang terjadi, dimungkinkan batuan Andesit dan Dasit telah mengalami ubahan sehingga menghasilkan batuan maupun mineral lain yang memiliki magnetisasi atau suseptibilitas yang rendah. Selain itu, di daerah penelitian seperti Desa Somorejo dan Hargorejo juga merupakan wilayah yang dijadikan sebagai zona tambang. Zona tambang tersebut masih merupakan zona

tambang rakyat dan belum dikembangkan. Penambangan yang dilakukan pada kawasan tersebut merupakan penambangan batuan Andesit serta penambangan emas di mana material tersebut menyumbang suseptibilitas yang rendah.

F. Reduksi ke Kutub

Proses *filtering* reduksi ke kutub dilakukan pada data hasil perhitungan anomali medan magnet. Tahapan ini digunakan untuk menyederhanakan proses interpretasi dengan mengubah sudut inklinasi dan deklinasi di wilayah penelitian yang memiliki rata-rata -32° dan $0,88^\circ$ menjadi 90° dan 0° . Reduksi ke kutub dilakukan agar anomali medan magnet menunjukkan langsung posisi benda. Proses ini dilakukan untuk mengubah arah magnetisasi dan medan utama pada arah vertikal.



Gambar 31. Kontur anomali medan magnet hasil reduksi ke kutub.

Gambar 31 menunjukkan kontur hasil reduksi ke kutub dari nilai anomali medan magnet. Rentang nilai kontur hasil reduksi ke kutub dengan nilai anomali awal mengalami perbedaan, rentang nilai menjadi lebih lebar yaitu -900 nT – 1000 nT. Secara umum, setelah dilakukan reduksi ke kutub terlihat bahwa klosur rendah masih mendominasi bagian timur – tenggara wilayah penelitian yang berada pada formasi andesit dan dasit, dan klosur yang lebih tinggi berada pada Formasi Aluvium di bagian barat daya – barat laut dan Formasi Kebobutak.

G. Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas merupakan langkah lanjutan setelah dilakukannya proses reduksi ke kutub. Proses transformasi ini dilakukan karena hasil dari reduksi ke kutub masih merupakan nilai anomali campuran antara anomali regional dengan anomali lokal. Melalui proses kontinuasi ke atas, anomali lokal akan direduksi sehingga anomali medan magnet yang tersisa merupakan anomali regional. Anomali regional merupakan pola umum sehingga anomali medan magnet semakin terlihat jelas.

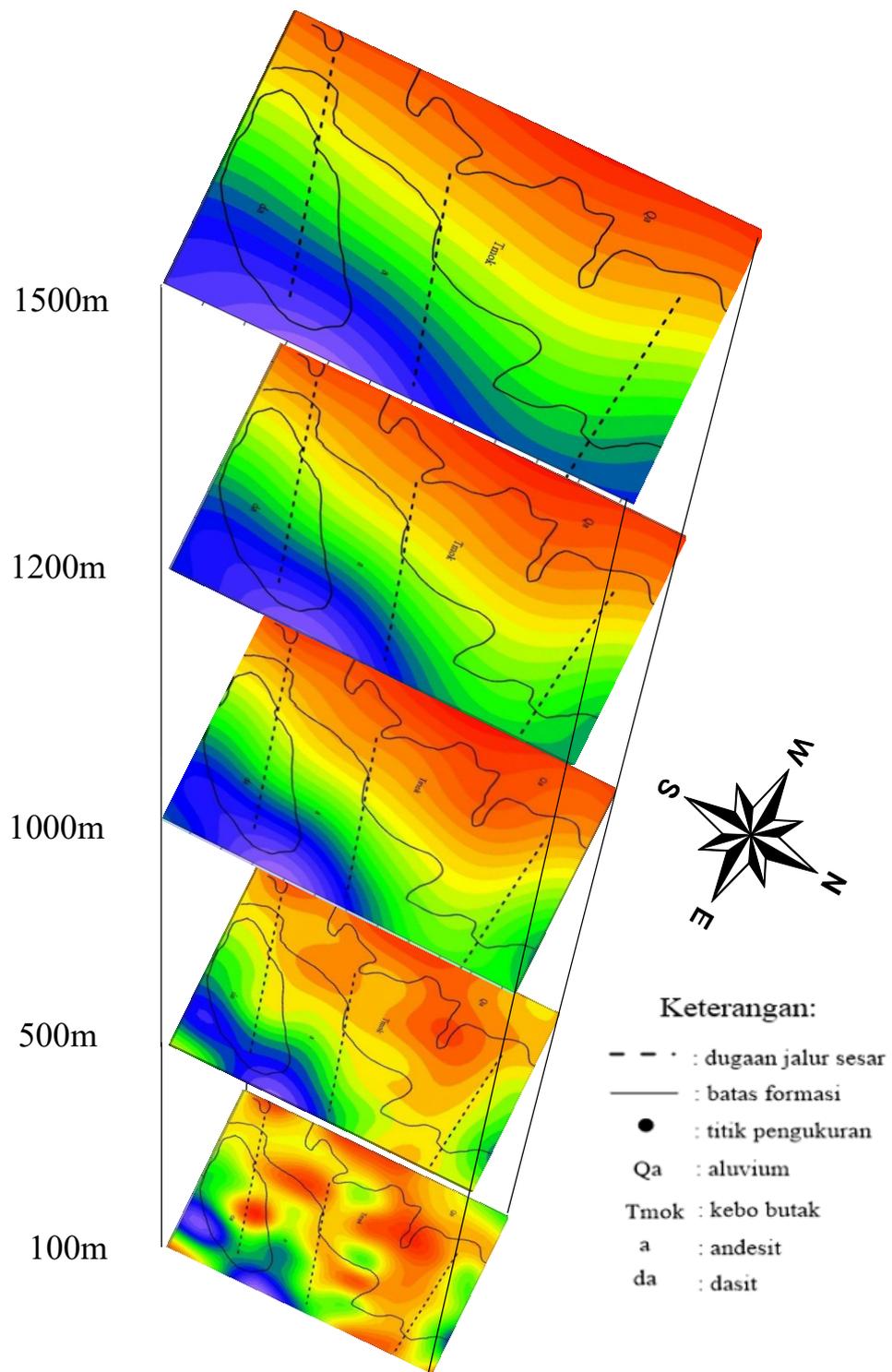
Proses kontinuasi ke atas merupakan pemfilteran antara anomali regional dengan anomali lokal yang dilakukan menggunakan *low pass filtering*. *Low pass filtering* sendiri berarti bahwa dilakukan pemfilteran dengan melewatkan frekuensi rendah dan mempertahankan frekuensi tinggi. Frekuensi rendah yang dimaksud adalah anomali lokal dan frekuensi tinggi merupakan anomali regional.

Kontinuasi ke atas akan menunjukkan pola umum atau regional dari nilai anomali di wilayah penelitian. Prinsip dari transformasi ini adalah dengan cara mengubah medan potensial (dalam hal ini berupa anomali medan magnet yang

diukur pada permukaan) seolah-olah diukur pada permukaan yang lebih tinggi. Hasil pengukuran tersebut cenderung menonjolkan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dalam dengan menghilangkan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dangkal. Selain itu, dengan dilakukannya proses ini juga diharapkan dapat menghilangkan *noise* yang ditimbulkan oleh benda-benda di dekat permukaan.

Gambar 32 menunjukkan kontur hasil kontinuitas ke atas untuk ketinggian 100m, 500m, 1000m, 1200m, dan 1500m. Pembuatan kontur dengan ketinggian berbeda-beda dimaksudkan untuk mengetahui pola nilai anomali. Dari pengambilan beberapa *sample* ketinggian, pengangkatan berhenti pada ketinggian 1000m. Hal tersebut dikarenakan setelah dilakukan pengangkatan dengan ketinggian 1200m dan 1500m sudah tidak terlihat secara signifikan perubahan kontur anomali medan magnet. Dengan demikian, hasil dari kontinuitas ke atas untuk ketinggian 1000m merupakan kontur anomali regional tanpa adanya medan magnet lokal dan *noise*.

Dilihat secara umum, pola anomali medan magnet yang dihasilkan dari proses kontinuitas ke atas mengalami perubahan pola kontur dari kontur sebelumnya. Sisi timur – selatan pada Formasi Andesit dan Dasit menunjukkan klosur nilai yang relatif lebih rendah. Pada bagian tengah hingga barat, hasil kontinuitas ke atas menghasilkan nilai yang relatif lebih besar. Nilai tersebut menunjukkan bahwa Formasi Aluvium memiliki nilai anomali medan magnet yang relatif lebih besar dari formasi yang lain. Hal tersebut dapat dikarenakan pengukuran pada formasi tertentu masih terpengaruhi oleh batas formasi lain.



Gambar 32. Kontur kontinuasi ke atas dengan variasi ketinggian.

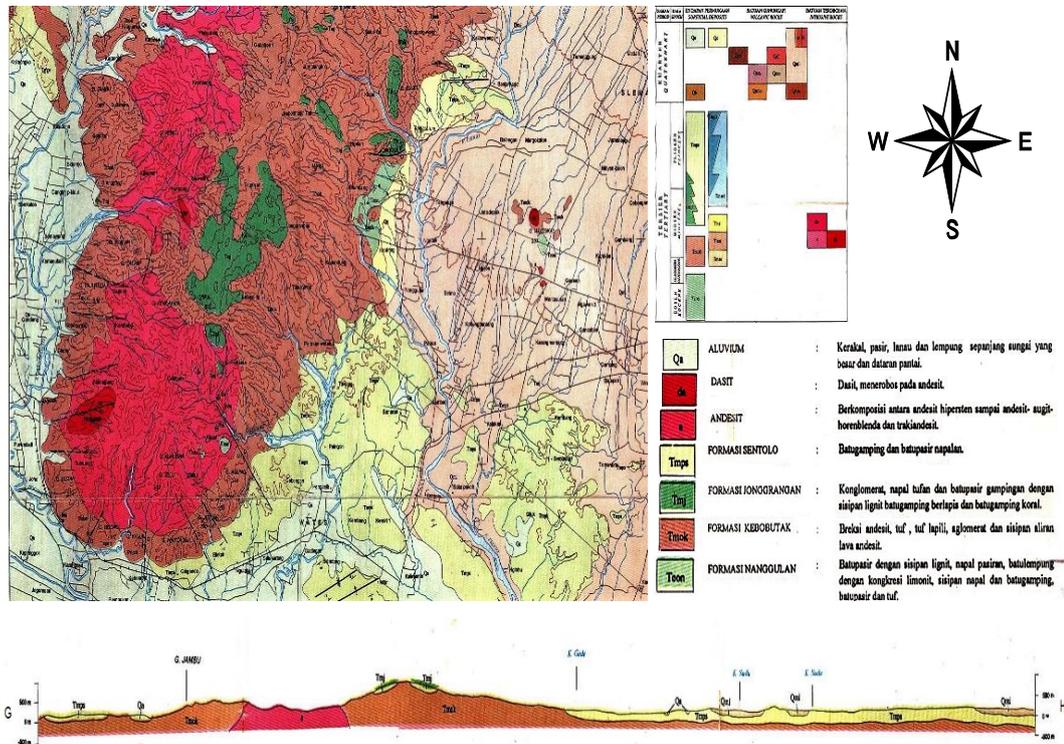
H. Pemodelan 2D

Pemodelan 2D dilakukan untuk mengetahui bagaimana perkiraan struktur bawah permukaan menggunakan model 2D. Pemodelan dilakukan dengan mengambil sampel, yaitu membuat penampang pada bagian tertentu dari kontur hasil kontinuasi untuk ketinggian tertentu sehingga dihasilkan penampang struktur bawah permukaan. Sayatan dilakukan sesuai dengan target penelitian yaitu identifikasi jalur sesar. Dalam pemodelan kali ini, sayatan dibuat seperti pada Gambar 33 yang terdiri dari penampang A-A', B-B', C-C', D-D', dan E-E'.

Dalam pembuatan model, digunakan peta geologi lembar Yogyakarta seperti pada Gambar 33 yang dijadikan sebagai referensi. Penampang yang paling dekat dan memiliki struktur yang hampir sama dengan wilayah penelitian adalah penampang G-H. Penampang tersebut membentang dari arah barat laut dan memanjang ke arah tenggara. Struktur bawah permukaan penampang G-H melewati Formasi Kebobutak, Jonggrangan, Sentolo, Andesit, dan Aluvium. Pada peta tersebut terlihat pemodelan dengan kedalaman dan ketinggian 500m seperti pada Gambar 33.

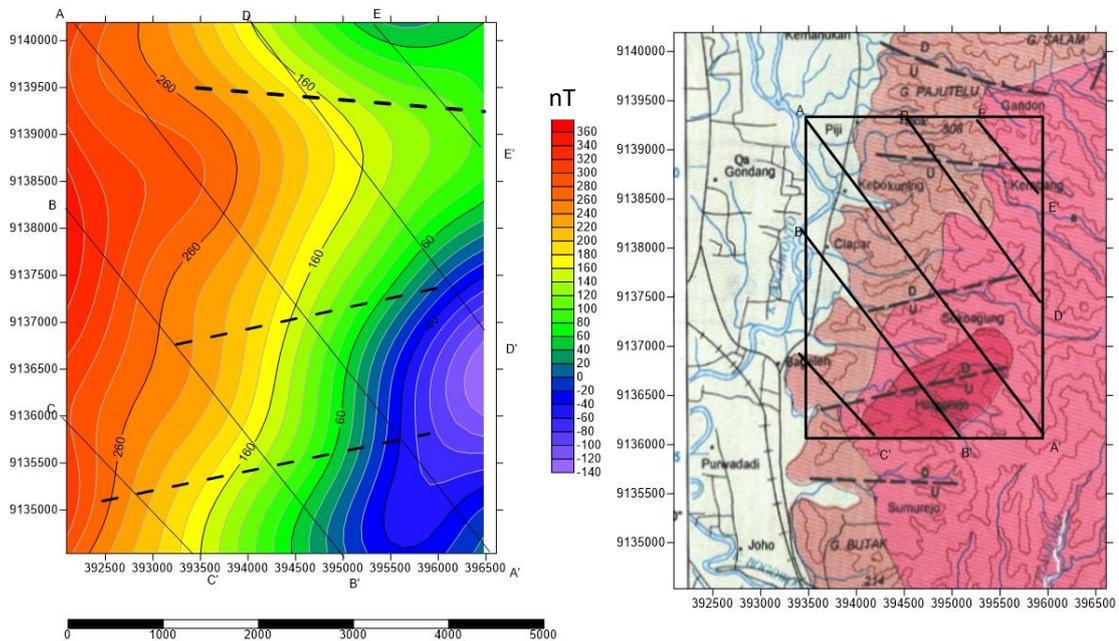
Formasi yang terdapat pada wilayah penelitian terdiri dari 4 formasi batuan, yaitu Aluvium, Kebobutak, Andesit, dan Dasit. Penampang dibuat sebanyak 5 model yang arah sayatannya tegak lurus dengan sesar. Penampang tersebut akan digunakan untuk interpretasi struktur bawah permukaan serta identifikasi sesar. Dari peta geologi, diketahui bahwa dugaan jalur sesar tersebut berupa sesar naik turun, sehingga identifikasi sesar dilakukan dengan melihat perbedaan kedalaman

batuan dengan jenis yang sama. Penampang dibuat sesuai dengan arah penampang G-H pada peta geologi, arah sayatan terlihat pada Gambar 33.



Gambar 33. Penampang G-H pada peta geologi lembar Yogyakarta.

Gambar 34 menunjukkan letak sayatan yang digunakan dalam pemodelan 2D. Sayatan A-A' merupakan sayatan yang membentang paling panjang dengan memotong 4 formasi batuan dan memotong 2 sesar. Sesar yang dipotong oleh sayatan A-A' adalah sesar bagian selatan dan sesar bagian tengah. Selain itu, apabila dilihat dari peta kontur pada Gambar 34(a), diketahui juga bahwa sayatan tersebut melewati 4 kontras warna dengan rentang tinggi sampai rendah.



(a)

(b)

Gambar 34. (a) Letak sayatan pada kontur hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 1000m, (b) Letak sayatan pada peta geologi.

Sayatan B-B' terletak di sebelah selatan sayatan A-A'. Penampang B-B' lebih pendek dibandingkan sayatan sebelumnya. Gambar 34(a) menunjukkan bahwa sayatan B-B' memotong 4 formasi batuan, dan melewati nilai anomali terendah hingga nilai tertinggi. Penampang B-B' ini juga memotong dugaan jalur sesar bagian selatan secara jelas serta mengenai sebagian kecil dugaan jalur sesar bagian tengah.

Penampang C-C' merupakan penampang yang lebih pendek dari penampang sebelumnya. Dari Gambar 34(b), diketahui bahwa penampang ini memotong 2 formasi batuan yaitu Formasi Kebobutak, Andesit, dan sebagian kecil Dasit. Pada penampang ini, diketahui bahwa sayatan memotong sesar bagian selatan.

Sayatan D-D' merupakan sayatan yang berada pada sisi utara penampang A-A'. Sayatan ini memotong 2 formasi pada peta geologi yaitu Formasi Kebobutak dan Andesit. Sayatan D-D' memotong dugaan jalur sesar bagian tengah dan bagian utara. Sayatan E-E' merupakan sayatan paling utara dan hanya memotong 1 formasi batuan yaitu Formasi Andesit serta memotong dugaan jalur sesar bagian utara.

Gambar 35 menunjukkan hasil pemodelan dari sayatan A-A' yang memiliki *error* model sebesar 0,964. Dari pemodelan tersebut diketahui bahwa terdapat 4 formasi utama yaitu Kebobutak, Andesit, Dasit dan Aluvium serta didapatkan 2 formasi lain yaitu Formasi Jonggrangan dan Formasi Nanggulan. Merujuk pada peta geologi, formasi yang ada pada sayatan G-H hanya sampai Formasi Kebobutak yaitu pada kedalaman 500m saja. Tetapi dalam pemodelan didapatkan sebagian kecil Formasi Nanggulan yang berada di bawah Formasi Kebobutak dengan kedalaman 500 – 750m. Hal tersebut sesuai apabila dilihat dari umur formasi batuan yang mana Formasi Nanggulan berumur lebih tua dari Formasi Kebobutak, sehingga letaknya di bawah Formasi Kebobutak.

Formasi Kebobutak pada model sayatan A-A' memiliki kedalaman berkisar 100 – 750m. Keberadaan formasi ini mendominasi bagian barat daya wilayah penelitian dan memiliki kedalaman sampai 750m pada bagian tengah. Formasi ini menjadi formasi yang mendominasi daerah tersebut. Dilihat dari penyusunnya, formasi ini merupakan formasi yang terbentuk dari batuan beku hasil aktivitas gunung api. Seperti yang diketahui, daerah penelitian ini berada dekat dan hampir dikelilingi berbagai gunung api purba sehingga batuan yang mendominasi adalah batuan beku.

Terobosan batuan Andesit dan Dasit mendominasi bagian kanan model yang berarti mendominasi pada sisi tenggara wilayah penelitian. Batuan tersebut merupakan batuan yang menerobos Formasi Kebobutak dengan intensitas dangkal hingga dalam bahkan dapat menerobos hingga ke Formasi Nanggulan. Batuan tersebut merupakan batuan yang memiliki nilai suseptibilitas besar.

Formasi Aluvium yang dimodelkan menggunakan simbol berwarna biru berada pada lapisan paling atas dan kebanyakan mendominasi wilayah penelitian di bagian barat di mana wilayah tersebut merupakan wilayah pinggir sungai besar dan banyak terdapat penambangan pasir. Formasi Aluvium ini merupakan formasi yang batuan penyusunnya memiliki nilai suseptibilitas rendah akibat hasil pengendapan dan berada pada lapisan paling atas. Pada model sayatan A-A' ini, Formasi Aluvium dijumpai di permukaan hingga kedalaman 100m.

Formasi Jonggrangan juga ditemukan di atas Formasi Kebobutak dan Andesit di mana formasi ini hanya dijumpai pada bagian tengah model dan memiliki ketebalan 100m. Formasi ini merupakan formasi yang didominasi oleh batu gamping.

Garis putus-putus yang nampak pada Gambar 35 merupakan jalur dugaan sesar yang diharapkan akan menghasilkan model yang kontras pada jalur tersebut. Pada sesar bagian selatan yang berada di sebelah kanan model nampak adanya kontras batuan penyusun yang mengindikasikan adanya keberadaan sesar tersebut. Jalur sesar bagian tengah yang berada lebih kiri menunjukkan adanya dugaan jalur

sesar yang memotong pada formasi batuan yang berbeda. Dimungkinkan sesar tersebut terdapat pada batas formasi batuan.

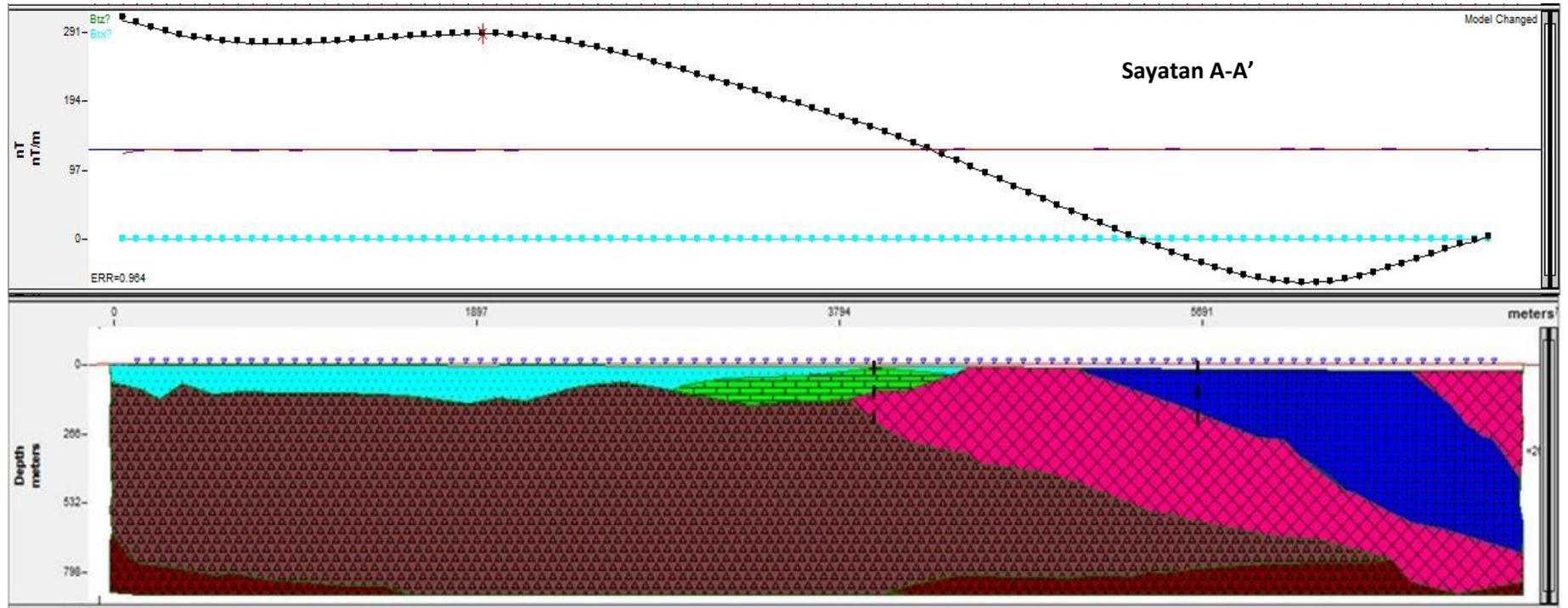
Gambar 36 menunjukkan model sayatan B-B' dengan *error* 0,87 yang memotong 4 formasi batuan yaitu Kebobutak, Andesit, Dasit, dan Aluvium. Berbeda dengan sayatan A-A', pada sayatan ini tidak dijumpai Formasi Nanggulan dan Formasi Jonggrangan. Selain itu, Formasi Aluvium terlihat memanjang menjadi lapisan atas model yang menutupi formasi batuan lain. Kedalaman setiap formasi hampir sama dengan sayatan A-A' di mana Formasi Kebobutak yang paling mendominasi.

Gambar 37 menunjukkan model sayatan C-C' dengan *error* 0,597 yang apabila dilihat pada peta geologi memotong Formasi Kebobutak, Andesit dan sebagian kecil Dasit. Pada pemodelan ini juga terlihat adanya Formasi Aluvium. Formasi Aluvium ini dimungkinkan akibat adanya pelapukan dan pengendapan pada bagian permukaan formasi lain. Formasi Kebobutak memiliki ketebalan hingga 750m yang mendominasi pada sisi barat wilayah penelitian. Pada bagian timur terdapat Formasi Andesit yang mendominasi dengan ketebalan mencapai 750m dan diikuti dengan adanya batuan terobosan Dasit. Pada sayatan ini, keberadaan sesar bagian selatan berada dekat dengan batas formasi Kebobutak dengan Andesit.

Gambar 38 menunjukkan model sayatan D-D' dengan *error* 0,719 yang menurut peta geologi memotong 2 formasi yaitu Formasi Kebobutak dan Andesit. Pada sayatan D-D' juga ditemukan Formasi Nanggulan, Aluvium dan Jonggrangan.

Formasi Jonggrangan berada di atas Formasi Andesit dan ditutup kembali oleh Formasi Aluvium yang memiliki ketebalan hingga 200m pada sisi kiri pemodelan atau bagian barat laut wilayah penelitian. Wilayah tersebut merupakan wilayah sungai besar yang sebagian sungainya telah tertutup oleh endapan. Pada sesar bagian tengah maupun sesar bagian utara tidak terlihat adanya perbedaan formasi yang kontras, hanya terlihat adanya batas Formasi Aluvium dengan Kebobutak pada sesar bagian utara dan sesar bagian tengah yang berada pada Formasi Andesit.

Gambar 39 merupakan pemodelan dari sayatan E-E' dengan *error* 0,319. Dari gambar tersebut terlihat Formasi Kebobutak yang mendominasi. Selain itu, keberadaan sesar bagian utara diperkirakan berada pada batas formasi antara Kebobutak dan Andesit. Pada model ini juga masih dijumpai adanya Formasi Aluvium. Keberadaan formasi dan kedalaman pada model ini tidak jauh berbeda dengan model-model sebelumnya.



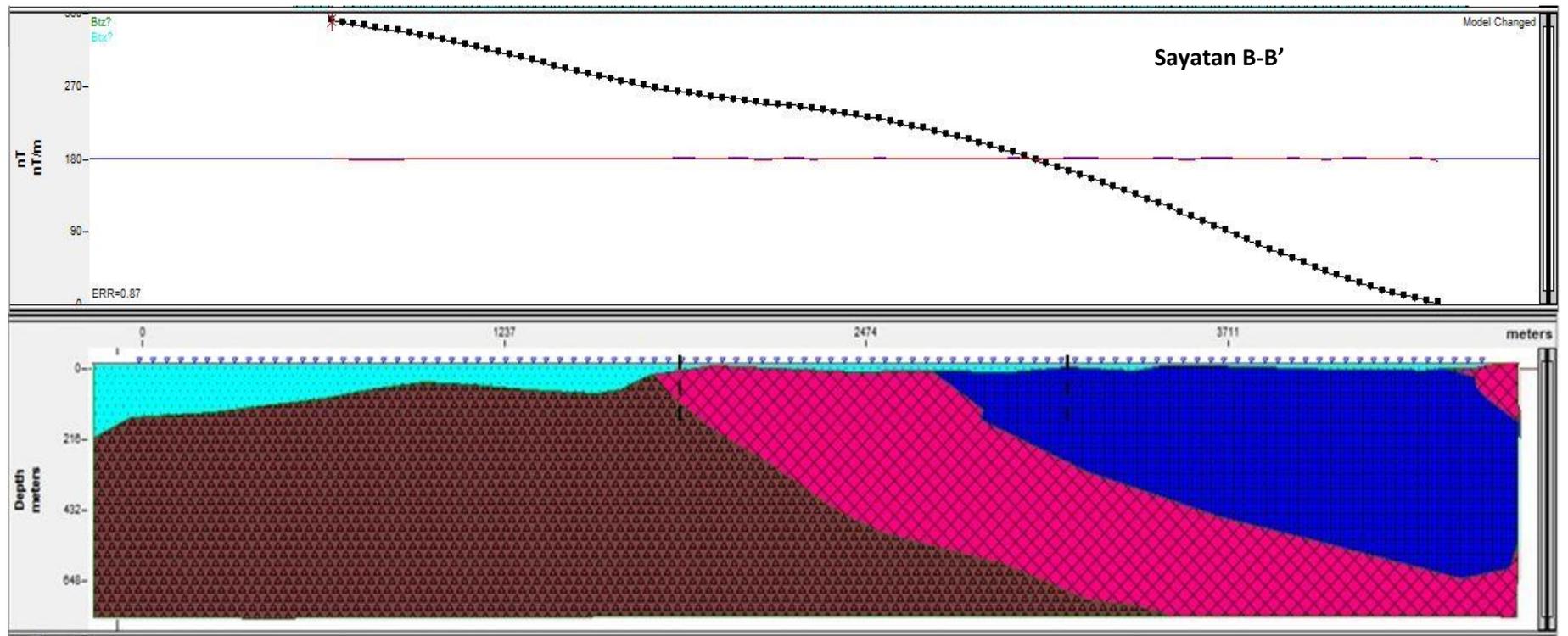
Keterangan :

-  Formasi Nanggulan
-  Formasi Kebobutak
-  Andesit

-  Formasi Jonggrangan
-  Formasi Aluvium
-  Dasit

- - - Dugaan jalur sesar

Gambar 35. Model hasil sayatan A-A'.



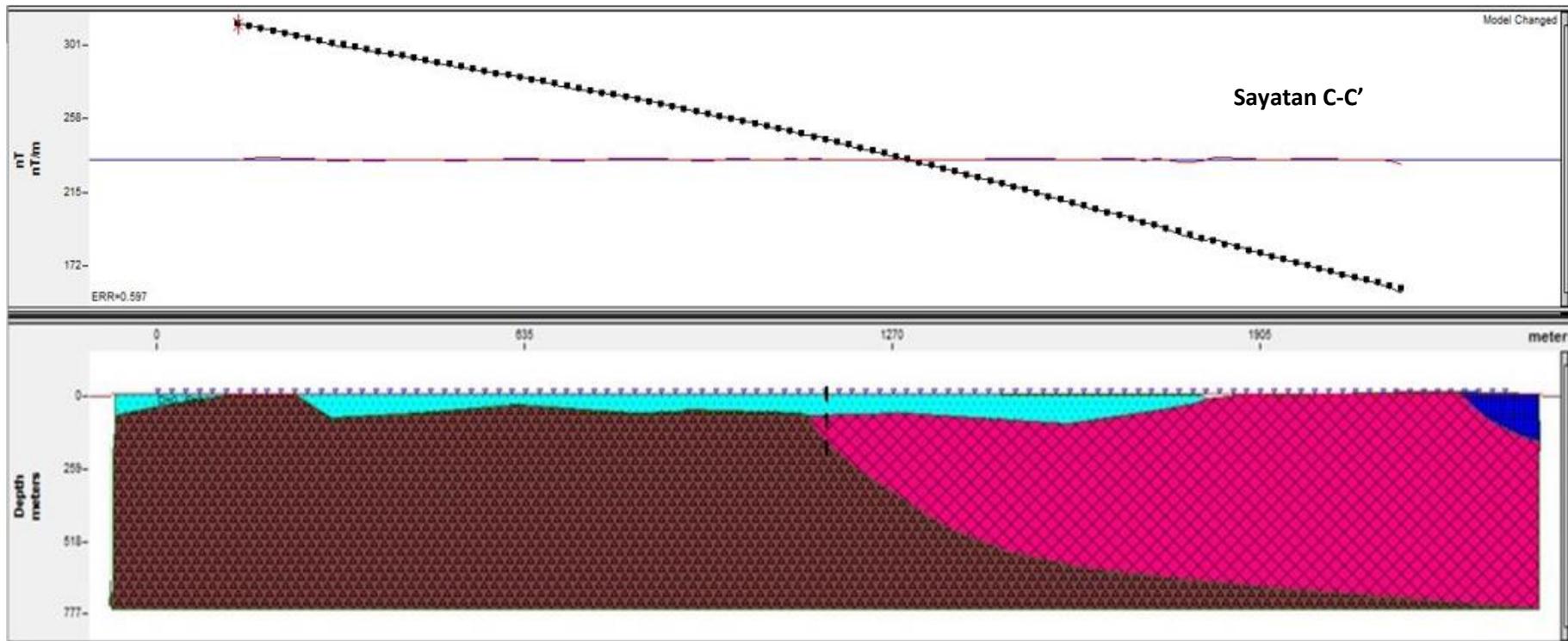
Keterangan :

-  Formasi Nanggulan
-  Formasi Kebobutak
-  Andesit

-  Formasi Jonggrangan
-  Formasi Aluvium
-  Dasit

--- Dugaan jalur sesar

Gambar 36. Model sayatan B-B'.



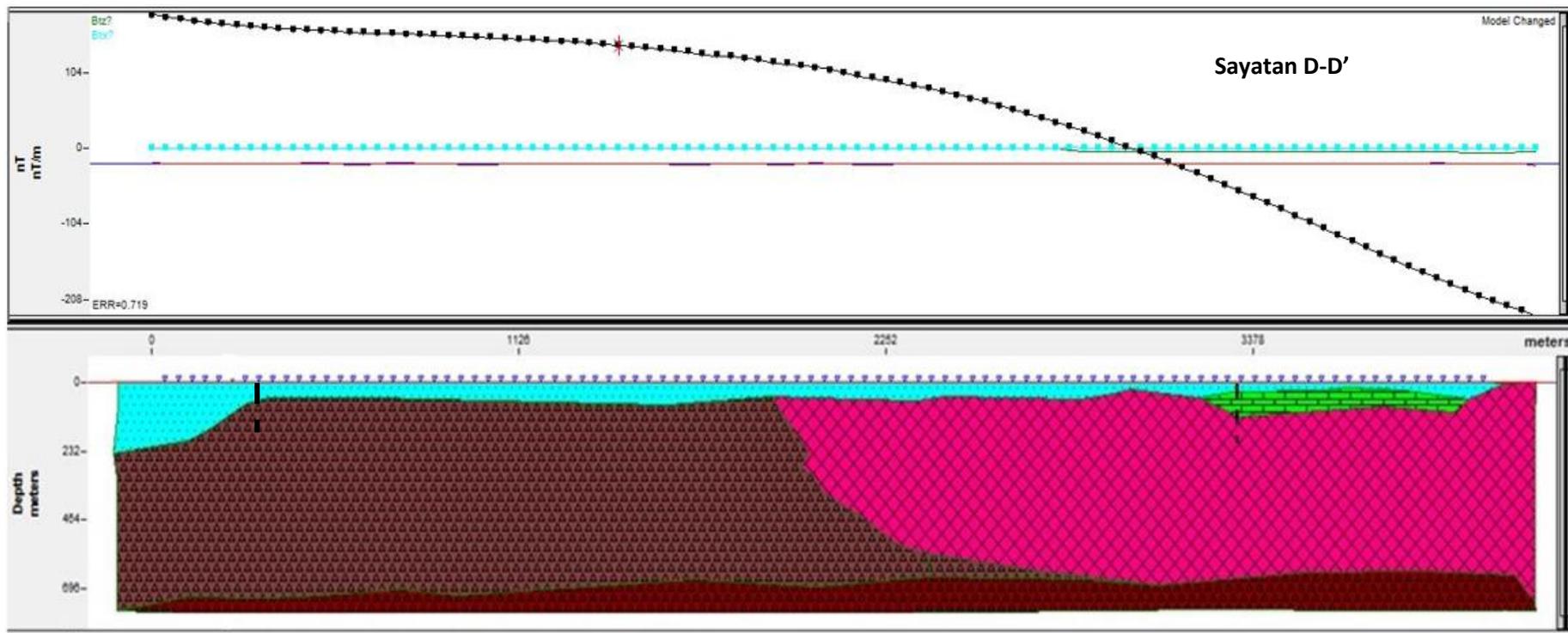
Keterangan:

-  Formasi Nanggulan
-  Formasi Kebobutak
-  Andesit

-  Formasi Jonggrangan
-  Formasi Aluvium
-  Dasit

- - - Dugaan jalur sesar

Gambar 37. Model sayatan C-C'.



Keterangan:



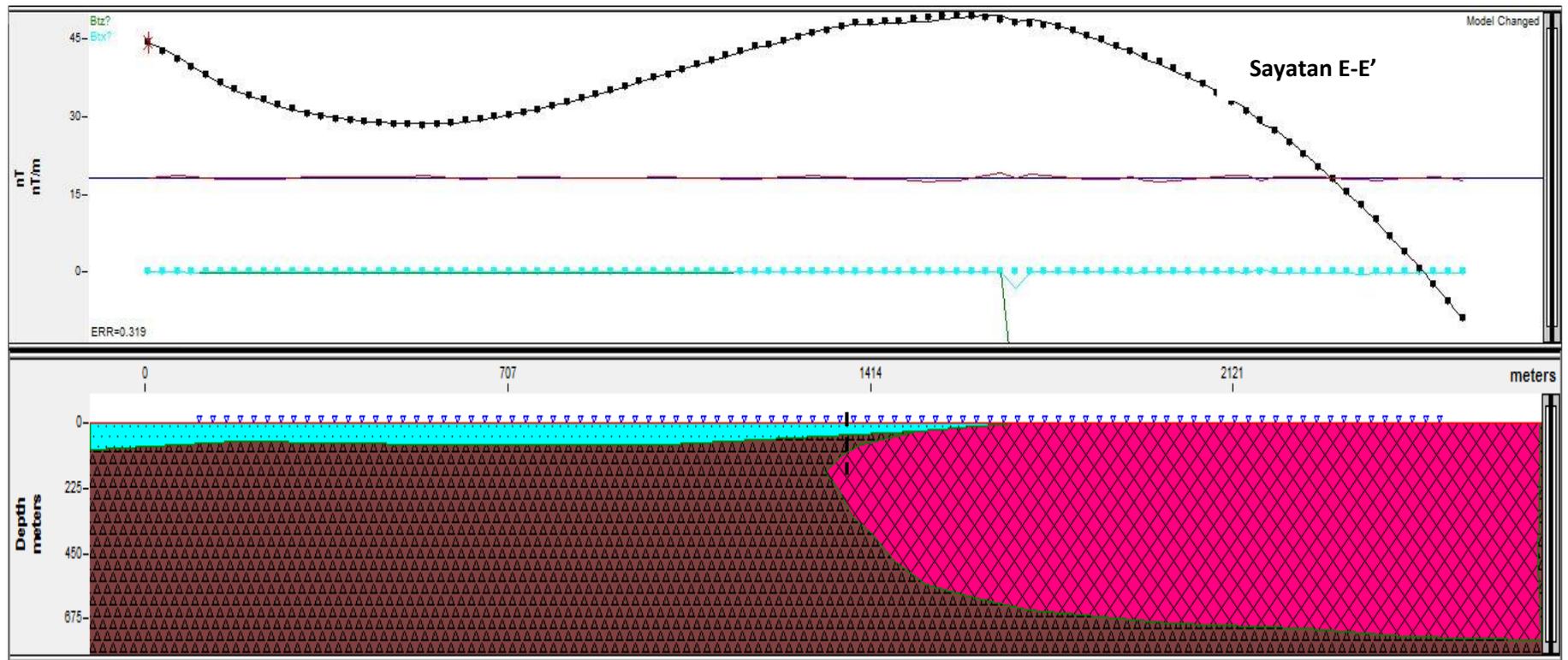
Formasi Nanggulan
 Formasi Kebobutak
 Andesit



Formasi Jonggrangan
 Formasi Aluvium
 Dasit

- - - Dugaan jalur sesar

Gambar 38. Model sayatan D-D'.



Keterangan :



Formasi Nanggulan
 Formasi Kebobutak
 Andesit



Formasi Jonggrangan
 Formasi Aluvium
 Dasit

--- Dugaan jalur sesar

Gambar 39. Model sayatan E-E'.

Selain dari data jenis formasi dan identifikasi sesar serta kedalaman formasi, didapatkan juga nilai suseptibilitas batuan penyusun formasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai suseptibilitas dan kedalaman formasi di wilayah penelitian berdasarkan pemodelan 2D.

Simbol	Formasi	Suseptibilitas ($\times 10^{-3}$)	Kedalaman rata-rata (m)
	Formasi Nanggulan	0,02 – 3	600 - 750
	Formasi Kebobutak	0,7 – 125	0 - 750
	Andesit	2 – 125	0 - 750
	Dasit	0,07 - 50	0 - 600
	Formasi Jonggrangan	1 – 3	0 - 200
	Formasi Aluvium	0 – 1	0 - 200

Formasi Nanggulan menjadi formasi tertua yang dijumpai pada pemodelan 2D wilayah penelitian. Formasi Nanggulan ini memiliki nilai suseptibilitas $(0,02 - 3) \times 10^{-3}$ dan berada pada kedalaman 600 – 750m. Formasi Nanggulan ini memiliki umur yang tua dan didominasi oleh batugamping yang berumur tua, batu lempung, batu pasir, serta tuf dan beberapa sisipan lignit yang menyumbangkan nilai suseptibilitas rendah.

Formasi Kebobutak yang berada sejajar bahkan lebih atas dari Formasi Nanggulan ini menjadi formasi yang mendominasi wilayah penelitian. Formasi Kebobutak didominasi oleh batuan basalt andesit yang memiliki rentang suseptibilitas $(0,2 - 175) \times 10^{-3}$. Pada penelitian di wilayah ini, didapatkan nilai

suseptibilitas batuan penyusun Formasi Kebobutak berupa basalt andesit. Formasi Kebobutak mulai muncul pada kedalaman 0 – 750m. Dari pemodelan yang didapatkan, semakin dalam keberadaan batuan penyusun formasi ini, nilai suseptibilitasnya semakin besar. Hal tersebut dikarenakan lapisan yang lebih bawah akan memiliki kerapatan yang lebih tinggi akibat tekanan dari batuan di atasnya. Nilai suseptibilitas batuan penyusun ini adalah $(0,2 - 85) \times 10^{-3}$.

Menurut Tabel 2, nilai suseptibilitas batuan Andesit dan Dasit rata-rata adalah 160×10^{-3} . Itu berarti nilai suseptibilitas Andesit dan Dasit lebih besar dari Formasi Kebobutak yang hanya memiliki nilai suseptibilitas rata-rata 70×10^{-3} . Tetapi, dilihat dari hasil yang didapatkan, suseptibilitas Andesit adalah $(2 - 125) \times 10^{-3}$ dan Dasit $(0,07 - 50) \times 10^{-3}$ di mana nilai tersebut setara dengan nilai suseptibilitas Formasi Kebobutak. Kedua formasi ini memiliki nilai kecil pada bagian permukaan dan memiliki nilai suseptibilitas semakin besar seiring lebih dalamnya keberadaan batuan. Hal tersebut terjadi karena adanya beberapa faktor yang dipengaruhi oleh aktivitas sekitar seperti aktivitas gunung api.

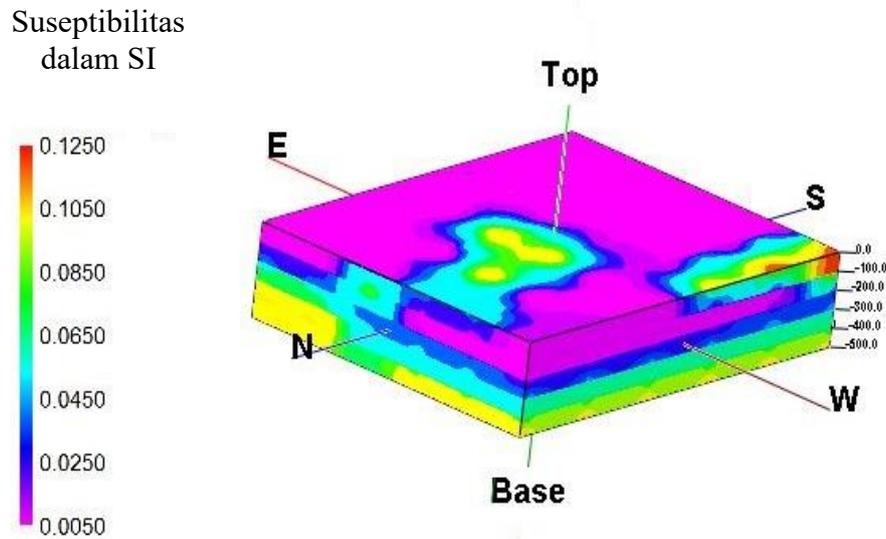
Formasi Jonggrangan dijumpai pada beberapa model dengan kedalaman sekitar 0 – 200m dengan rentang nilai suseptibilitas $(1 - 3) \times 10^{-3}$. Batuan yang mendominasi pada formasi ini yaitu *Limestone*. Di atas Formasi Jonggrangan diendapkan Formasi Aluvium yang berada pada ketebalan 0 – 100m yang memiliki nilai suseptibilitas $(0 - 1) \times 10^{-3}$. Formasi Aluvium ini didominasi oleh pasir dan lempung yang memiliki nilai suseptibilitas rendah.

Dari pemodelan tersebut, diketahui bahwa formasi yang mendominasi bawah permukaan rata-rata adalah Kebobutak yang memiliki rentang nilai suseptibilitas $(0,7 - 125) \times 10^{-3}$ yang kemudian disusul oleh Andesit dengan nilai suseptibilitas $(2 - 125) \times 10^{-3}$. Selain itu, keberadaan sesar baik sesar bagian selatan, sesar tengah, dan sesar bagian utara tidak terlihat begitu jelas, tetapi terlihat bersesuaian dengan batas formasi batuan dan dimungkinkan batas tersebut merupakan jalur dari sesar.

I. Pemodelan 3D

Pemodelan 3D dibuat berdasarkan nilai suseptibilitas pada kedalaman tertentu. Nilai suseptibilitas menunjukkan formasi batuan yang terdapat pada wilayah penelitian. Gambar 40 merupakan hasil dari pemodelan 3D untuk kedalaman 0-500 meter. Dari skala yang ditunjukkan, nilai suseptibilitas berkisar antara $(5 - 125) \times 10^{-3}$ dalam SI. Apabila dilihat dari permukaannya, nilai suseptibilitas tinggi berada pada bagian tengah menuju ke utara dan bagian barat daya hingga barat dari wilayah penelitian di mana wilayah tersebut bersesuaian dengan Formasi Kebobutak menurut peta geologi. Nilai anomali yang lebih rendah berada pada sebagian besar wilayah penelitian terutama di bagian barat laut dan timur yang memanjang hingga ke selatan. Nilai yang lebih rendah tersebut berada pada permukaan Formasi Aluvium dan Andesit serta Dasit menurut peta geologi.

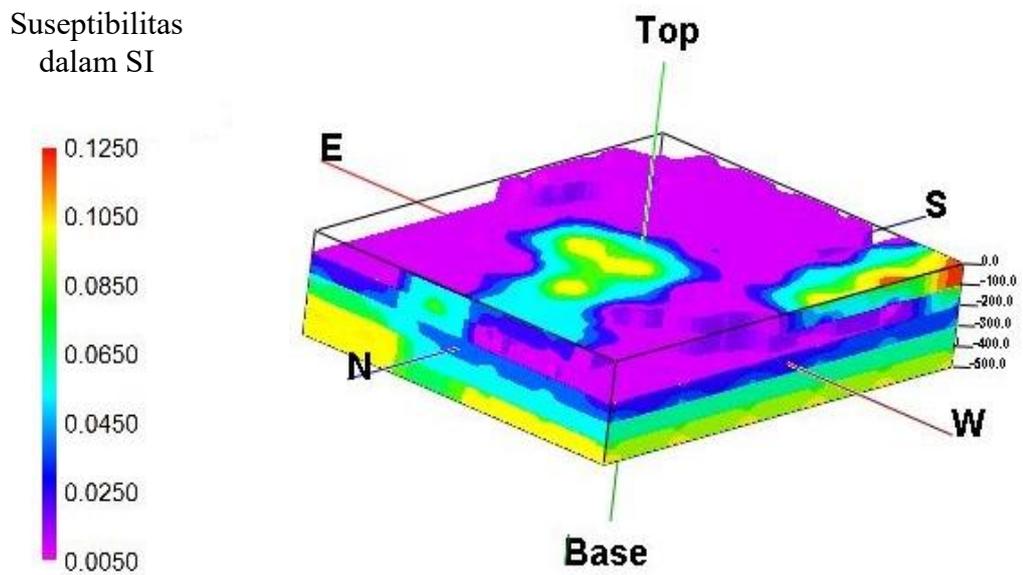
Dari hasil pemodelan 3D tersebut, selanjutnya dilakukan reduksi untuk mengetahui keberadaan formasi pada kedalaman tertentu. Gambar 40 menunjukkan adanya lapisan atas yang memiliki nilai suseptibilitas rendah yang bersesuaian dengan suseptibilitas Formasi Aluvium dan permukaan Andesit, Dasit, serta beberapa bagian Formasi Kebobutak.



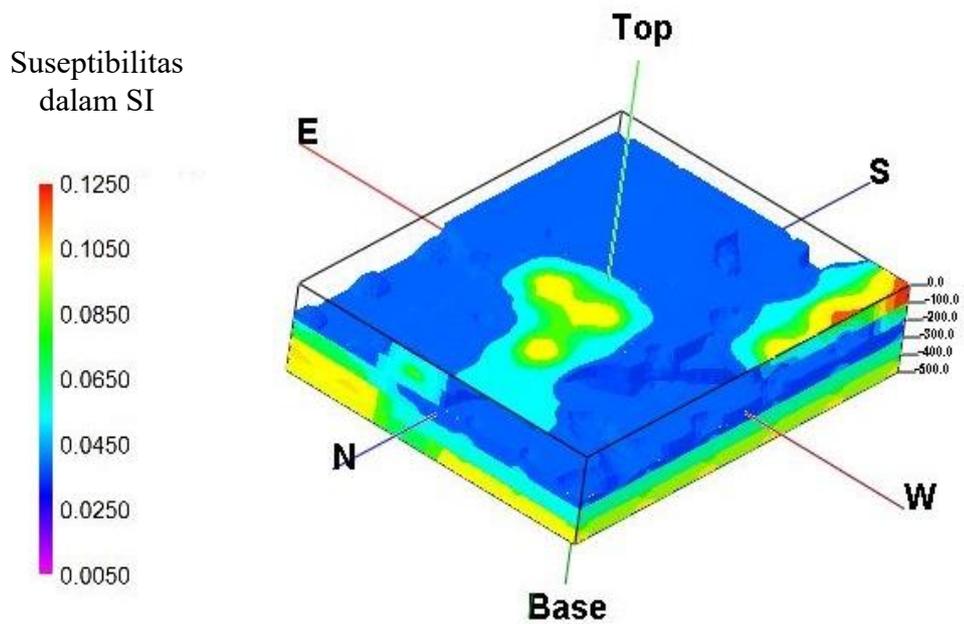
Gambar 40. Tampilan model 3D wilayah penelitian pada kedalaman 0-500m.

Gambar 40 menunjukkan hasil pemodelan 3D dengan kedalaman 0-500m, di mana pada gambar tersebut terlihat adanya dominasi warna merah muda dengan klosur yang cenderung lebih rendah. Klosur tersebut sebagian besar terdapat pada bagian timur penelitian yang bersesuaian dengan Formasi Andesit dan Dasit kemudian pada barat hingga barat laut yang merupakan Formasi Aluvium. Selain itu, nilai rendah juga berada pada sebagian Formasi Kebobutak.

Gambar 41 menunjukkan pemodelan 3D yang rentang nilainya sudah direduksi. Setelah direduksi, di mana nilai suseptibilitas di bawah 0,01 dihilangkan, terlihat adanya perubahan hasil kontur pada model 3D. Rentang nilai tersebut berada di sekitar kedalaman 200 m dari permukaan. Pada sisi timur, kedalaman batuan setelah direduksi menjadi lebih dalam dibandingkan dengan bagian barat. Hal tersebut terjadi karena nilai suseptibilitas Formasi Andesit dan Dasit pada permukaan memiliki nilai yang rendah dibandingkan dengan permukaan Kebobutak dan Aluvium.

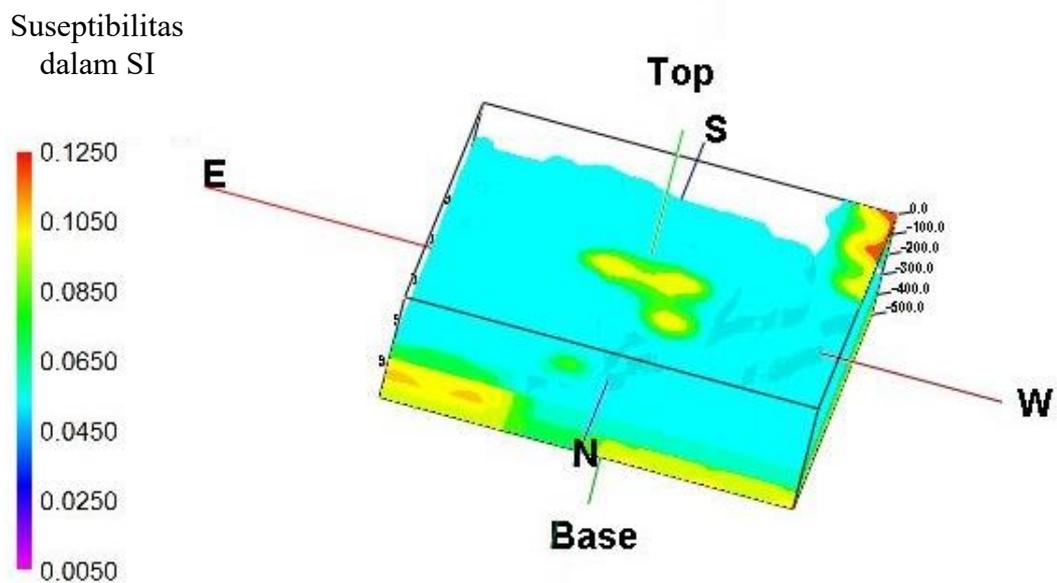


Gambar 41. Tampilan model 3D dengan nilai suseptibilitas 0,01 – 0,125 dalam SI.

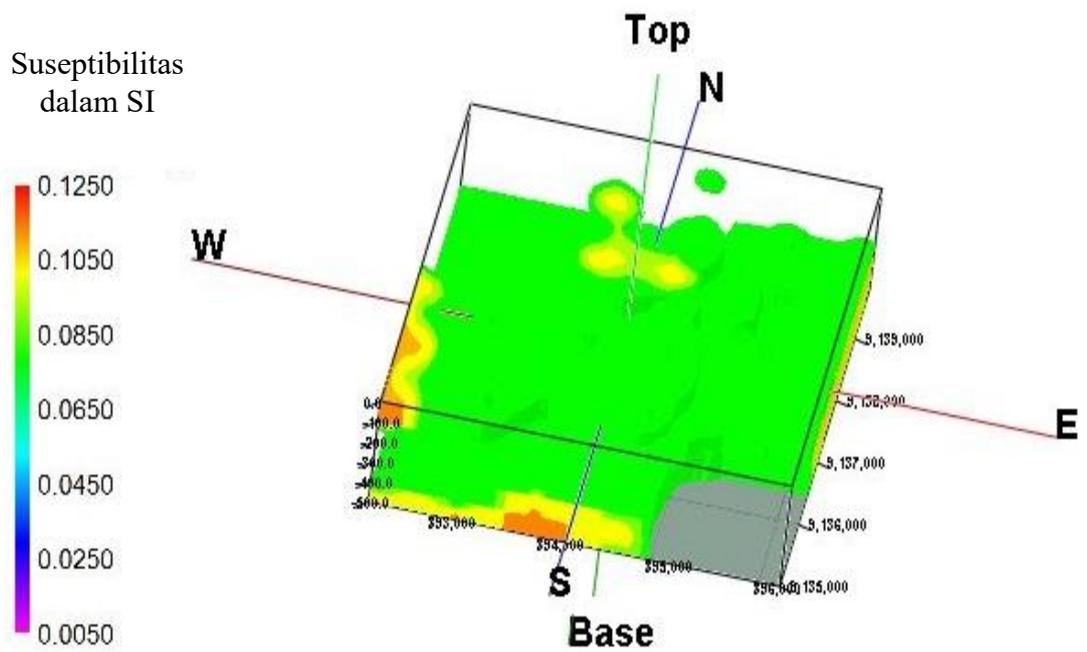


Gambar 42. Tampilan model 3D dengan nilai suseptibilitas 0,03 – 0,125 dalam SI.

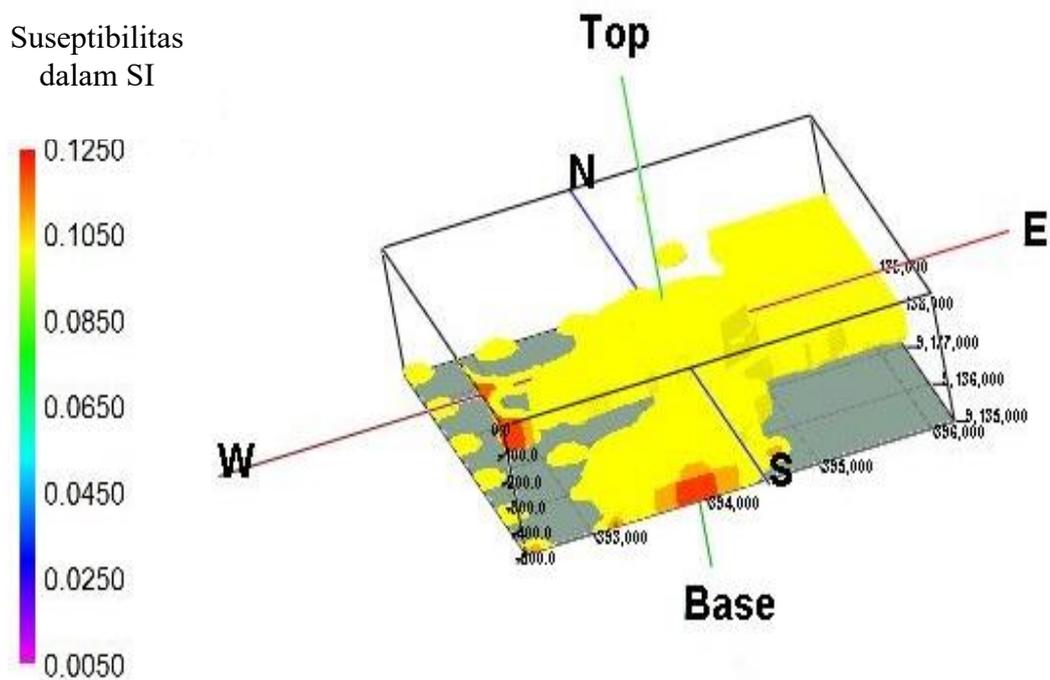
Gambar 42 menunjukkan adanya perubahan kedalaman yang tampak pada pemodelan 3D. Tampilan tersebut merupakan tampilan Formasi Kebobutak yang mendominasi bagian barat hingga tengah wilayah penelitian dengan kedalaman 100-200m. Pada bagian timur tepatnya pada Formasi Andesit dan Dasit, rentang nilai 0,3-0,125 dalam SI ini sudah berada pada kedalaman 300m. Ini menandakan bahwa nilai suseptibilitas pada Formasi Andesit dan Dasit pada kedalaman ini lebih rendah dibandingkan nilai suseptibilitas Formasi Kebobutak. Salah satu hal yang mempengaruhi nilai tersebut adalah adanya perbedaan umur batuan, di mana umur batuan yang lebih muda cenderung memiliki nilai suseptibilitas yang lebih rendah.



Gambar 43. Tampilan model 3D dengan nilai suseptibilitas 0,05 – 0,125 dalam SI.



Gambar 44. Tampilan model 3D dengan nilai suseptibilitas 0,075 – 0,125 dalam SI.



Gambar 45. Tampilan model 3D dengan nilai suseptibilitas 0,1 – 0,125 dalam SI.

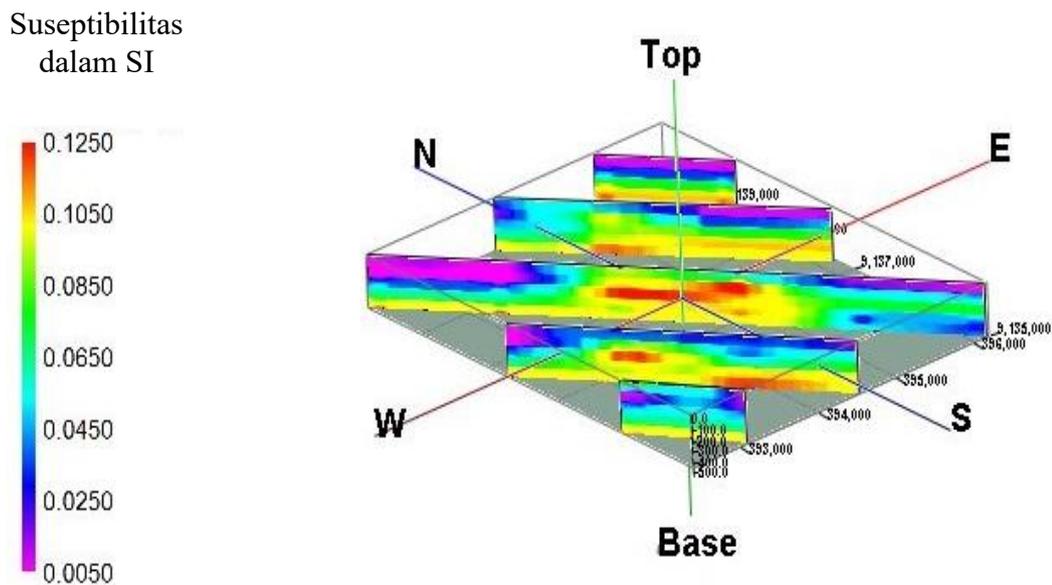
Gambar 43 dan 44 menunjukkan tampilan model 3D dengan rentang nilai yang bersesuaian dengan Formasi Kebobutak, Andesit serta sebagian kecil Dasit. Dari gambar tersebut juga terlihat adanya sebagian kecil model di bagian tenggara yang kosong. Bagian tersebut merupakan Formasi Nanggulan yang juga terdapat pada pemodelan 2D dan memiliki nilai suseptibilitas lebih kecil dari Formasi Kebobutak.

Gambar 45 menunjukkan rentang nilai suseptibilitas dari 0,1 – 0,125 di mana nilai tersebut mendominasi pada kedalaman 500m. Selain itu, pada sebagian Formasi Andesit, nilai suseptibilitas tinggi ini ditemui pada kedalaman 400m yang menandakan bahwa nilai tersebut ditemui pada kedalaman yang lebih dangkal dibandingkan pada Formasi Kebobutak. Pada beberapa bagian, khususnya bagian yang bersesuaian dengan Formasi Dasit, rentang nilai ini sudah tidak ditemukan, di mana hal tersebut terlihat dari adanya bagian yang kosong pada pemodelan. Dari beberapa pemodelan tersebut, Formasi Kebobutak merupakan formasi yang mendasari formasi-formasi di atasnya yang cenderung memiliki nilai suseptibilitas lebih rendah.

Untuk mengetahui struktur bawah permukaan secara lebih lanjut, dibuat sayatan pada pemodelan 3D seperti Gambar 46. Gambar 46 menunjukkan sayatan dengan titik sayatan sama dengan sayatan pada pemodelan 2D. Hal ini ditujukan untuk dapat mengetahui kesesuaian model 2D dengan model 3D. Dari gambar tersebut terlihat bahwa permukaan wilayah penelitian didominasi dengan warna yang merepresentasikan nilai rendah khususnya di bagian barat hingga barat laut

daerah penelitian serta pada bagian timur laut hingga tenggara wilayah penelitian yang didominasi oleh Aluvium dan sebagian Andesit serta Dasit.

Pada bagian tengah wilayah penelitian yang sudah disayat, ditemukan nilai suseptibilitas tinggi pada kedalaman 0-500 m di mana nilai tersebut menjadi nilai yang merepresentasikan Formasi Kebobutak. Nilai suseptibilitas tersebut semakin ke bawah memiliki nilai yang semakin tinggi, begitu juga nilai suseptibilitas yang berada pada Formasi Andesit dan Dasit. Nilai suseptibilitas rendah di permukaan pada formasi tersebut dimungkinkan terjadi karena adanya endapan serta ubahan batuan penyusun formasi batuan tersebut.

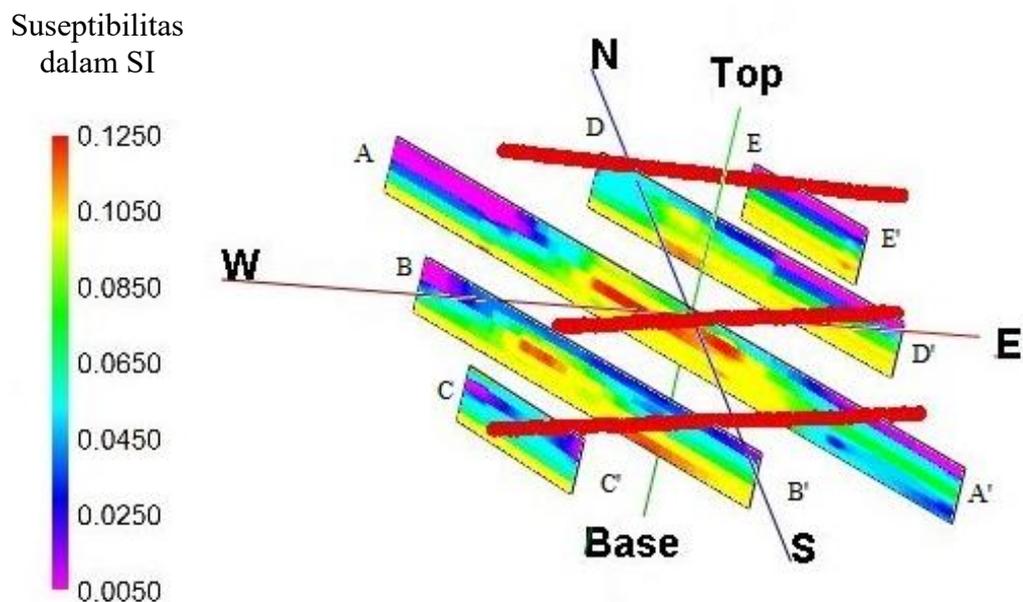


Gambar 46. Hasil sayatan model 3D.

Apabila dibandingkan, pemodelan sayatan 2D maupun 3D memiliki kesesuaian antara satu dengan yang lain. Hal tersebut terlihat pada rentang nilai anomali dan penampang model yang dibuat. Nilai suseptibilitas yang lebih rendah bersesuaian dengan Formasi Aluvium pada kedalaman sekitar 0-100m serta pada

permukaan Formasi Andesit dan Dasit. Nilai suseptibilitas dengan rentang yang lebih tinggi bersesuaian dengan Formasi Kebobutak yang mendominasi wilayah tengah dan diperkirakan menjadi dasar dari formasi-formasi lain pada wilayah penelitian tersebut.

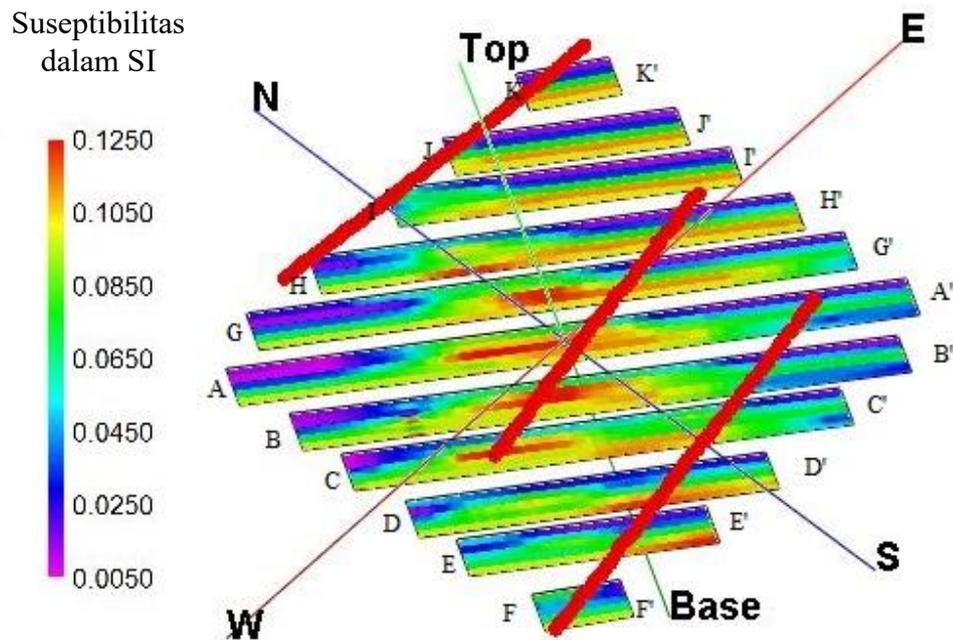
Pemodelan sayatan 3D juga digunakan untuk mengidentifikasi jalur sesar dengan cara meng-*overlay* titik dugaan sesar pada peta geologi dengan sayatan seperti pada Gambar 47 dan Gambar 48.



Gambar 47. Hasil overlay sayatan dengan koordinat dugaan jalur sesar.

Gambar 47 dan 48 menunjukkan hasil kontur 3D yang telah disayat dan di *overlay* dengan koordinat dugaan jalur sesar. Sayatan pada Gambar 47 dibuat sama dengan sayatan pada pemodelan 2D. Dari gambar tersebut diketahui bahwa sesar bagian selatan terlihat pada sayatan C-C' di mana jalur tersebut berada pada batas formasi batuan, selain itu pada sayatan A-A' dan B-B' dugaan jalur sesar bergeser ke timur dari batas formasi sehingga tidak terlihat jelas keberadaannya. Pada

Gambar 47 juga terlihat bahwa pada sesar bagian tengah terlihat adanya dugaan jalur sesar pada sayatan A-A' sedangkan pada sesar bagian utara tidak terlihat adanya segmen yang menunjukkan dugaan jalur sesar.

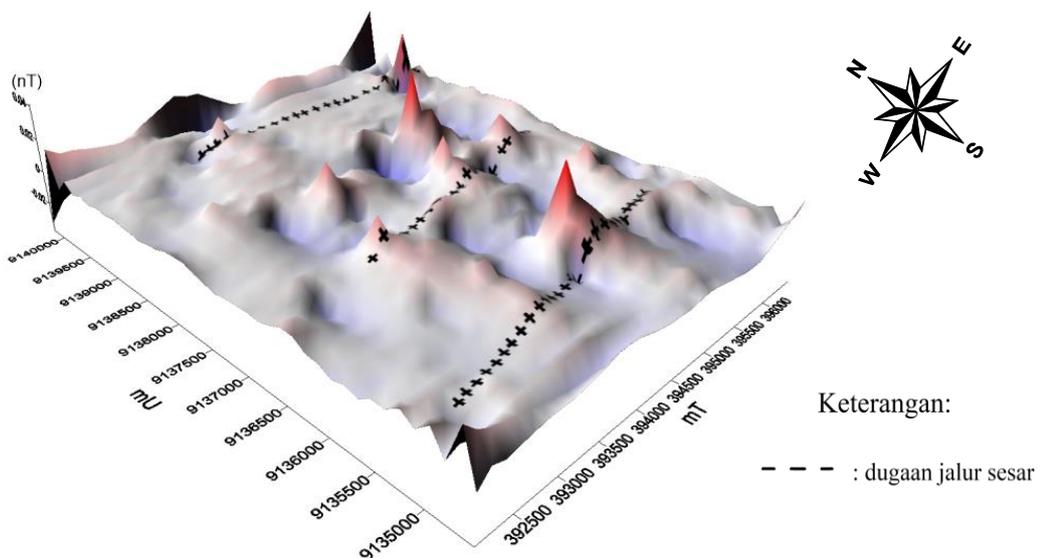


Gambar 48. Hasil overlay sayatan dengan koordinat dugaan jalur sesar untuk 11 sayatan.

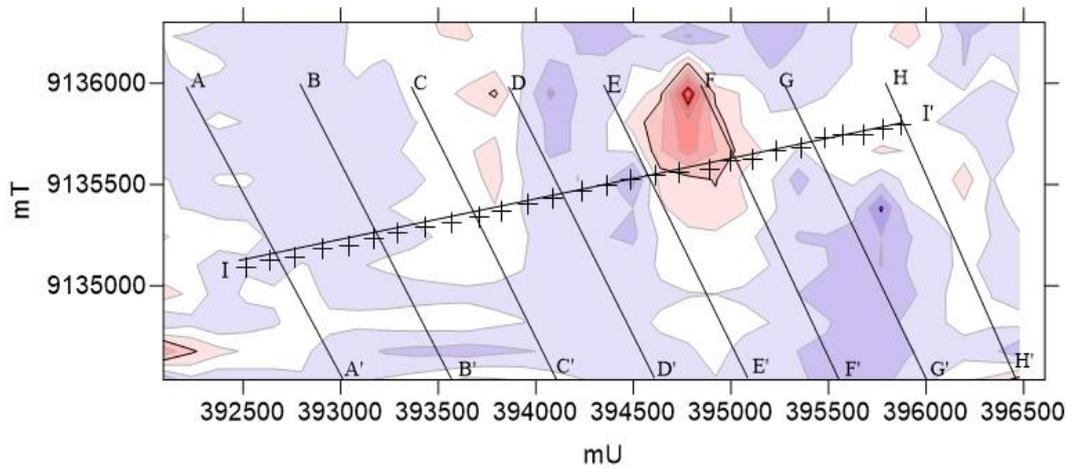
Gambar 48 dibuat untuk mendapatkan sayatan yang lebih rapat agar dapat memperlihatkan adanya segmen-segmen yang merujuk pada keberadaan dugaan jalur sesar pada masing-masing sesar. Dari gambar tersebut, sesar selatan teridentifikasi pada sayatan C-C', D-D', E-E' dan F-F'. Pada sesar bagian tengah terlihat adanya segmen yang dimungkinkan menjadi jalur sesar seperti terlihat pada sayatan A-A', C-C', G-G', dan H-H'. Pada sesar bagian utara berdasarkan Gambar 47 tidak terlihat adanya keberadaan jalur sesar, tetapi pada sayatan ini terlihat pada sayatan I-I' dan J-J' dari Gambar 48.

J. Second Vertical Derivative (SVD)

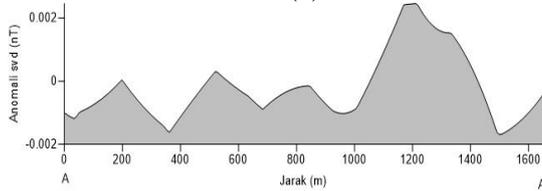
Second Vertical Derivative merupakan salah satu *tools* yang dapat digunakan untuk mengetahui jenis sesar atau adanya blok batuan yang relatif lebih naik maupun lebih turun. Gambar 49 merupakan pemodelan 3D hasil dari tahap SVD yang telah di *overlay* dengan dugaan jalur sesar. Pada sesar bagian selatan, terlihat blok selatan lebih rendah dibandingkan dengan blok sebelah utara yang cenderung lebih tinggi. Pada sesar bagian tengah, terlihat bahwa blok bagian selatan lebih tinggi daripada blok sebelah utara. Pada sesar bagian utara terlihat bahwa blok bagian selatan lebih tinggi dari blok bagian utara. Dari gambar tersebut terlihat bagian blok yang lebih naik dan lebih turun tetapi tidak terlihat secara jelas dan hanya berupa segmen-segmen pada wilayah tertentu. Dari gambaran 3D belum begitu terlihat adanya blok naik dan turun. Untuk melihat hasil yang lebih detail, dilakukan pengambilan sampel profil hasil SVD.



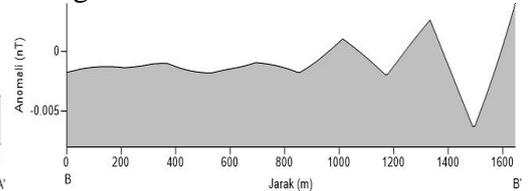
Gambar 49. Penampang 3D hasil SVD.



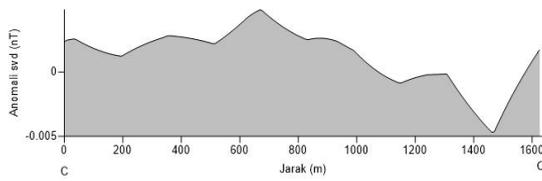
(a) *Cross section sesar bagian selatan.*



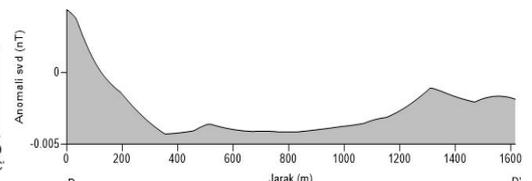
(b) *Cross section A-A'*



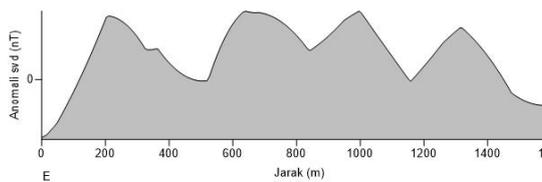
(c) *Cross section B-B'*



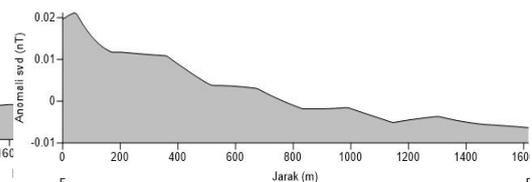
(d) *Cross section C-C'*



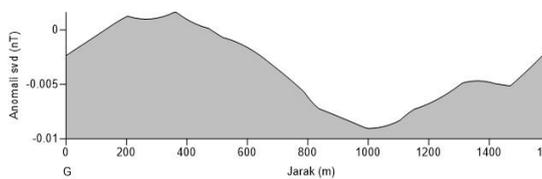
(e) *Cross section D-D'*



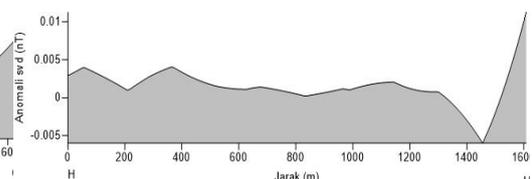
(f) *Cross section E-E'*



(g) *Cross section F-F'*



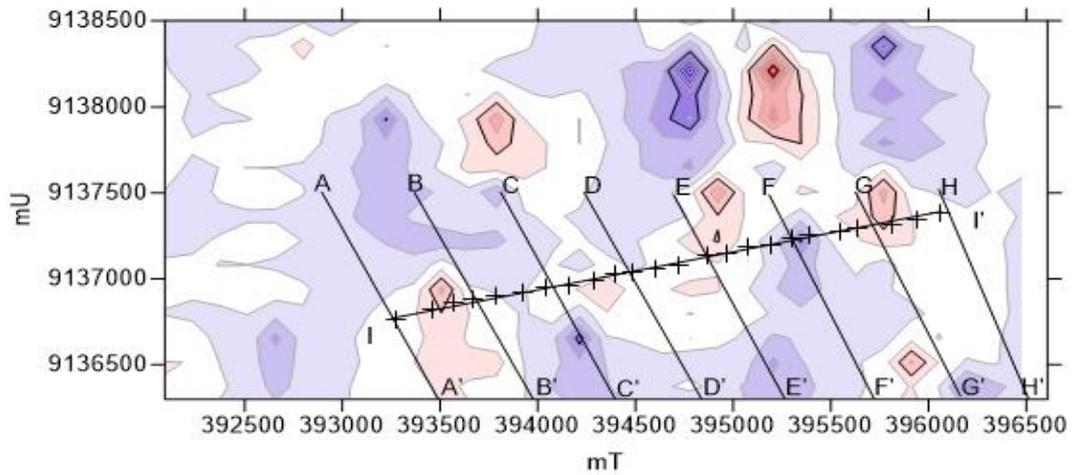
(h) *Cross section G-G'*



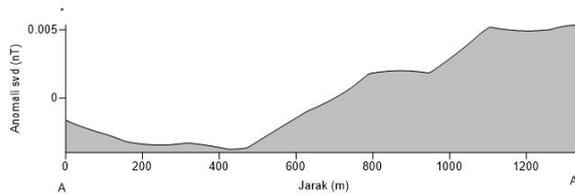
(i) *Cross section H-H'*

Gambar 50. Profil *cross section* sesar bagian selatan.

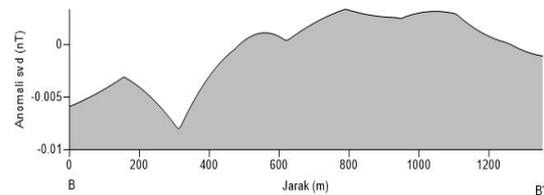
Gambar 50 menunjukkan grafik hasil pembuatan profil dari hasil SVD. Grafik tersebut merepresentasikan adanya bagian naik maupun turunnya blok batuan. Pada Gambar 50(b), (c), (d) dan (i), terlihat grafik yang mengalami penurunan tajam pada sisi kanan grafik yang berarti sisi bagian selatan sesar mengalami kenaikan kembali. Pada Gambar 50(e) dan (g) terlihat bahwa grafik mengalami penurunan semakin ke kanan. Pada Gambar 50(h) terlihat adanya penurunan grafik dari sisi utara yang memungkinkan bagian tersebut relatif lebih rendah dari sisi selatan. Tetapi, pada profil Gambar 50(f) tidak begitu terlihat blok yang lebih naik maupun lebih turun. Dari pengambilan beberapa sampel tersebut, segmen-segmen yang menunjukkan bahwa bagian selatan sesar cenderung naik lebih banyak dan dimungkinkan bagian turun berada di sisi utara. Dari berapa analisis yang digunakan seperti pada sayatan pemodelan 2D, 3D, dan SVD, maka keberadaan jalur sesar bagian utara hanya tampak sebagai segmen-segmen dan bukan merupakan jalur yang berkemenerusan seperti pada peta geologi.



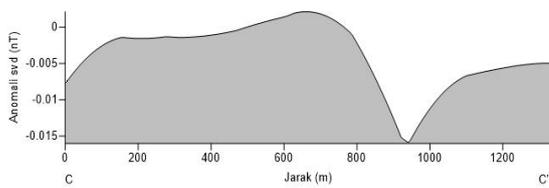
(a) *Cross section sesar bagian tengah.*



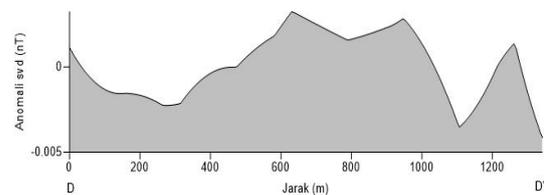
(b) *Cross section A-A'*



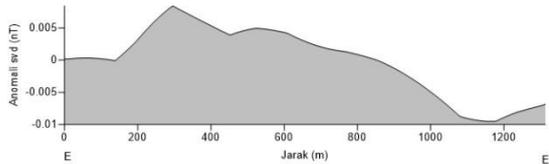
(c) *Cross section B-B'*



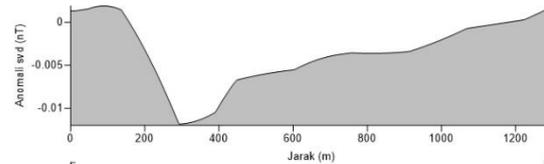
(d) *Cross section C-C'*



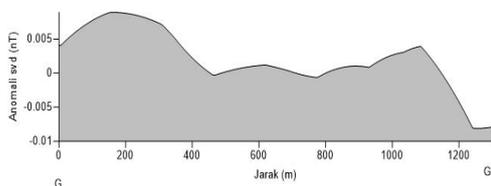
(e) *Cross section D-D'*



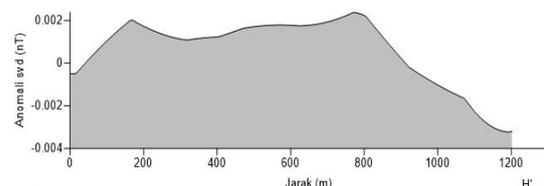
(f) *Cross section E-E'*



(g) *Cross section F-F'*



(h) *Cross section G-G'*

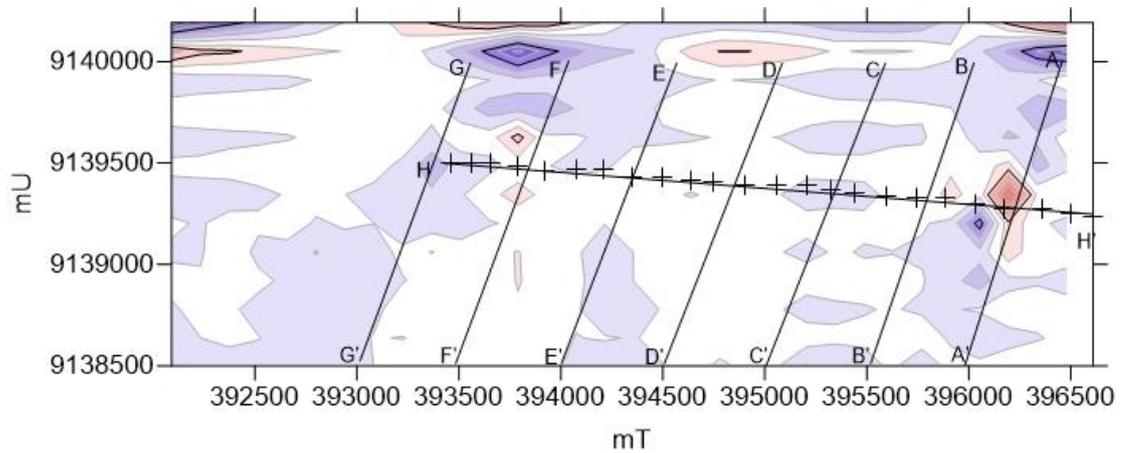


(i) *Cross section H-H'*

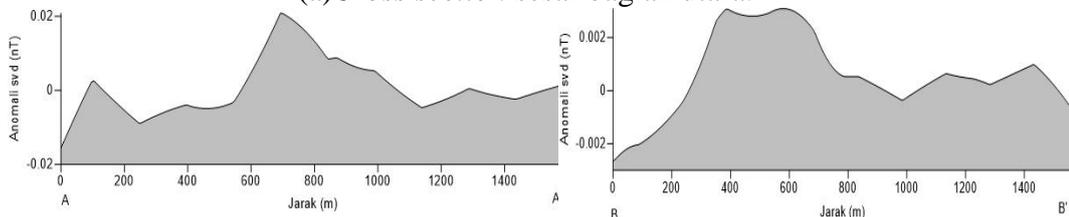
Gambar 51. Profil *cross section* sesar bagian tengah.

Gambar 51 menunjukkan grafik hasil pembuatan profil yang memotong dugaan jalur sesar bagian tengah dari hasil SVD. Grafik tersebut merepresentasikan adanya bagian naik maupun turunnya blok batuan. Pada Gambar 51(b), (c) dan (g) terlihat bahwa semakin ke kanan, grafik mengalami kenaikan di mana hal tersebut menunjukkan bahwa blok selatan cenderung lebih tinggi dari blok utara. Pada Gambar 51(d), (e) dan (f), terlihat adanya grafik yang mengalami penurunan tajam dari sisi kiri dan mengalami kenaikan pada sisi kanan grafik yang berarti sisi bagian selatan sesar menjadi bagian yang naik. Pada Gambar 51(h) dan (i) tidak terdapat penurunan grafik yang drastis tetapi terdapat penurunan dengan bertambahnya nilai pada sumbu horizontal. Dari pengambilan beberapa sampel, segmen-segmen yang menunjukkan bahwa bagian selatan sesar cenderung naik berjumlah lebih banyak sehingga dimungkinkan bagian turun berada di sisi utara. Sesar bagian tengah tampak sebagai jalur dengan segmen-segmen dan bukan merupakan jalur yang berkemenerusan seperti pada peta geologi.

Gambar 52 menunjukkan grafik hasil profil untuk sesar sisi paling utara. Pada Gambar 52(b), (c) dan (g) terlihat bahwa grafik mengalami kenaikan di sisi selatan. Pada Gambar 52(e), (f) dan (h), grafik menunjukkan bahwa di sisi utara terdapat bagian yang relatif lebih turun. Pada Gambar 52(c), tidak terlihat bagian mana yang lebih naik maupun yang lebih turun. Dari beberapa sampel tersebut, bagian utara sesar merupakan blok turun dan sisi selatan sesar adalah blok naik. Jadi dapat disimpulkan juga bahwa sesar bagian utara tampak dengan adanya segmen-segmen yang dimungkinkan menjadi jalur sesar.

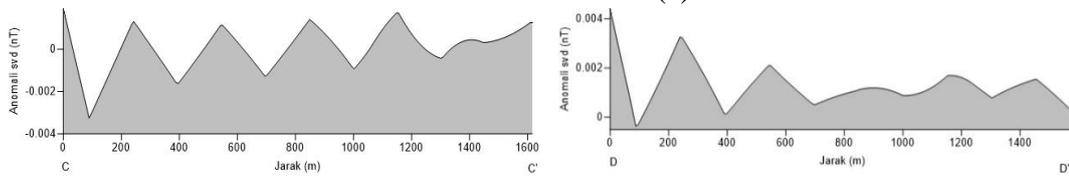


(a) Cross section sesar bagian utara.



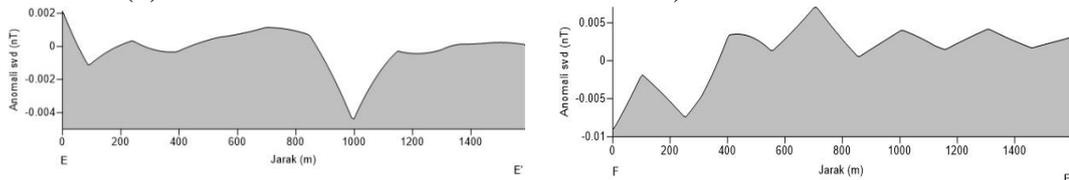
(b) Cross section A-A'

(c) Cross section B-B'



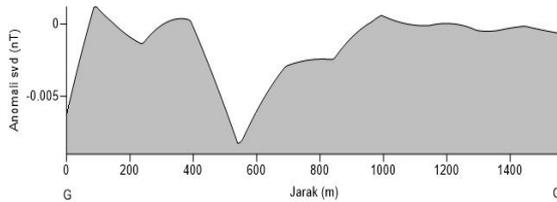
(d) Cross section C-C'

(e) Cross section D-D'



(f) Cross section E-E'

(g) Cross section F-F'



(h) Cross section G-G'

Gambar 52. Profil cross section sesar bagian utara.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang berjudul Interpretasi Struktur Bawah Permukaan dan Identifikasi Jalur Sesar di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo dengan Metode Geomagnet, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Persebaran nilai anomali medan magnet di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo memiliki rentang nilai $-500,068 \text{ nT} - 862,274 \text{ nT}$ di mana klosur yang relatif lebih tinggi mendominasi Formasi Kebobutak pada sebagian sisi utara kemudian memanjang hingga bagian barat daya, sedangkan klosur yang relatif lebih rendah mendominasi bagian barat – barat laut pada Formasi Aluvium dan sebagian Formasi Andesit dan Dasit pada sisi timur wilayah penelitian khususnya pada bagian permukaannya.
2. Struktur bawah permukaan di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo didominasi oleh 4 formasi batuan, yaitu Formasi Aluvium yang berada pada bagian barat wilayah penelitian dengan nilai suseptibilitas $(0 - 1) \times 10^{-3}$ dalam SI yang memiliki kedalaman 0-200m. Formasi Kebobutak yang menjadi batuan yang mendasari formasi di atasnya dengan nilai suseptibilitas $(0,7 - 125) \times 10^{-3}$ dalam SI dan ditemukan pada kedalaman 0-500m, Formasi Andesit dan Dasit yang mendominasi wilayah timur laut sampai sebagian wilayah selatan wilayah penelitian dengan rentang nilai $(2 - 125) \times 10^{-3}$ dan $(0,07 - 50) \times 10^{-3}$ dalam SI yang berada pada kedalaman 0-500m. Formasi Nanggulan dengan rentang nilai suseptibilitas $(0,02 - 3) \times 10^{-3}$ dalam SI

yang berada pada kedalaman >500m yang ditemukan pada sisi tenggara wilayah penelitian.

3. Berdasarkan identifikasi 3 jalur sesar di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo terlihat adanya keberadaan ketiga sesar tersebut, tetapi sesar tersebut bukan merupakan jalur sesar yang berkemenerusan seperti yang digambarkan pada peta geologi melainkan hanya terlihat sebagai segmen-segmen pada wilayah-wilayah tertentu.

B. Saran

Beberapa hal yang perlu dilakukan untuk penyempurnaan dan perbaikan dalam penelitian selanjutnya di antaranya:

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut terkait kandungan serta proses yang terjadi pada ubahan batuan pada Formasi Andesit dan Dasit.
2. Perlu dilakukan penelitian yang lebih detail terkait keberadaan 3 jalur sesar dengan spasi antar titik yang lebih rapat maupun cara analisis dengan metode yang lain.
3. Perlu dilakukan penelitian menggunakan metode lain khususnya metode untuk pengkajian struktur bawah permukaan serta identifikasi sesar seperti metode *gravity* serta mikroseismik untuk membandingkan dan menarik kesimpulan terkait struktur bawah permukaan serta identifikasi 3 jalur sesar tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, Chusni dan Defry Kastria. 2013. *Studi Alterasi dan Mineralisasi di Sekitar Gunung Agung Kabupaten Kulonprogo – Purworejo*. Kebumen : Balai Informasi dan Konservasi Kebumian Karangsembung LIPI.
- All, E.A.E., Khalil, A., Rabeh, T., Osman. S., 2015. *Geophysical Contribution to evaluate the subsurface structural setting using magnetic and geothermal data in El-Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt*. Cairo: NRIAG.
- Aziz, Khafid Nur. 2015. *Interpretasi Struktur Bawah Tanah dan Pemodelan 2D dengan Metode Geomagnet di Wilayah Karst Bribin, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, DIY*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD). 2014. *Peta Bencana Gempabumi*. Purworejo: BPBD.
- Bammelen, van R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Nederland: Martinus Nyhoff, The Haque.
- Blakely, R.J., 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Campbell, W.H., 2003. *Introduction to Geomagnetic Fields Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Daryono. 2009. *Pengkajian Local Site Effect di Graben Bantul Menggunakan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Jurnal Kebencanaan Indonesia Vol. 2, No.1 Mei 2009. Yogyakarta: PSBA.
- Dentith, M., and Mudge, S.T. 2014. *Geophysics for the Minerals Exploration Geoscientist*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dewi, Tara Shinta., Kusumayudha, Sari B., Purwanto, Heru S., 2017. *Zonasi Rawan Bencana Tanah Longsor dengan Metode Analisis GIS : Studi Kasus Daerah Semono dan Sekitarnya, Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah*. Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan Vol.1, No.1, hal. 50-59.
- Gravmag. 2015. *Magnetic Data Acquisition*. Diakses melalui https://gravmag.ou.edu/mag_measure/magnetic_measure pada tanggal 10 Januari 2018.

- Harjanto, Agus. 2008. *Vulkanostratigrafi di Daerah Kulon Progo dan Sekitarnya. Daerah Istimewa Yogyakarta*. Jurnal Ilmiah Magister Teknik Geologi. Vol.4, Nomor 8: 30-45.
- Henderson, R.G., Zietz, Isidore. 2014. *The Computation of Vertical Derivative of Geomagnetic Fields*. Diakses melalui <http://library.seg.org> pada 10 Januari 2018.
- Heningtyas. 2017. *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan dengan Metode Geomagnet di jalur Sesar Oyo*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hinze, W.J., Frese von, R.R.B., and Saad, A.H. 2013. *Gravity and Magnetic Exploration*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hochstein, M.P., dan Sudarman, S. 2008. *History of Geothermal Exploration in Indonesia from 1970 to 2000*. Geothermics, Vol. 37, hal. 220-266.
- IAGA. 2017. *Internasional Geomagnetic Reference Field*. Diakses melalui <https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html> pada tanggal 11 November 2017.
- IAGA. 2017. *The Internasional Geomagnetic Reference Fields : "Health" Warning Revised, Januari 2010*. Diakses melalui <https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrfhw> pada tanggal 11 November 2017.
- Ibrahim, Gunawan dan Subarjo., 2005. *Pengetahuan seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- INGV. 2017. *Dst Indeks*. Diakses melalui https://roma2.rm.ingv.it/en/themes/23/geomagnetic_indices/27/dst_index pada 11 November 2017.
- ISGI. 2018. *Data Plot Dst Tanggal 6-9 September 2017*. Diakses melalui http://isgi.unistra.fr/data_plot.php pada 22 Maret 2018.
- Juanita, Isna Laily. 2016. *Aplikasi Metode Geomagnetik untuk Mengetahui Struktur Geologi Bawah Permukaan Ranu Sebaran Duwes, Kecamatan Tiri, Kabupaten Probolinggo, Provinsi Jawa Timur*. Malang : Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- NOAA. 2017. *Magnetic Field Calculators*. Diakses melalui <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm> pada 10 September 2017.
- NOAA. 2018. *The World Magnetic Model*. Diakses melalui <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/DoDWMM.html> pada 23 Januari 2018.

- Noor, Djauhari. 2014. *Pengantar Geologi*. Yogyakarta : Deepublish.
- Petersen, M., Harmsen, S., Muller, C., Haller, K., Dewey, J., Luco, N., Crone, A. Lidke, D., Rukstales, K., 2007. *Documentation for the Southeast Asia Seismic Hazard Maps*. U.S.A.: U.S. Geological Survey.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, dan Rosidi, H.M.D. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Bandung: Puslitbang Geologi.
- Seno, Aryo. 2015. Identifikasi Jalur Sesar Minor Grindulu Berdasarkan Anomali Medan Magnet. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Serway, R.A. and Jewett, .W. 2004. *Physics for Scientists and Engineers Six Edition*. Belmont: Thomson Brooks/Cole.
- Sukartono. 2013. *Buku Panduan-Panduan Geologi Struktur*. STTNAS: Laboratorium Geologi Dinamis.
- Sutarno. 2012. *Studi Kerentanan Gerakan Massa Batuan dan Daerah Rawan Longsor Lahan di Kabupaten Purworejo*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.F. 2004. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- USGS. 2017. *Fault, Normal Faults, Reverse Faults, Strike-Slip Faults*. Diakses melalui <https://www.geomaps.wr.usgs.gov/parks/deform/gfaults.html> pada tanggal 3 Januari 2018.
- Williams, Colin. F., Grubb, Frederick.V., and Jr, Peter Galanis., 2004. *Heat Flow Hole and Application for the Strenght of the San Andreas Fault*. Geophysical Reasearch Letters Vol. 31, L15S14.

LAMPIRAN

Lampiran 1.

Data Hasil Pengamatan Menggunakan Metode Geomagnet.

Daerah : Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo

Waktu : 6-9 September 2017

No	Nama Titik	Waktu	Elevasi (m)	Koordinat UTM		Pengukuran (nT)	Kondisi Lapangan
				x (m)	y (m)		
1	Base 1#1 06/09/2017	7:28:30 AM	37	392823	9139875	45368	Lapangan terbuka, belakang masjid, sawah kering, jauh dari jalan dan sumber magnet (tiang dll), ada tower ± 300m
		7:29:29 AM				45368	
		7:30:00 AM				45447	
		7:31:19 AM				45446	
		7:32:09 AM				45366	
2	2	7:41:01 AM	36	392708	9139899	45330	Sawah kering, lapang
		7:41:50 AM				45331	
		7:42:40 AM				45325	
		7:44:39 AM				45336	
		7:43:52 AM				45344	
3	11	7:50:29 AM	37	392718	9140145	45394	Sawah kering, lapang, ± 150m dari pemancar
		7:51:25 AM				45366	
		7:52:01 AM				45366	
		7:52:38 AM				45373	
		7:53:01 AM				45385	
4	10	8:02:40 AM	33	392311	9140175	45316	Sawah kering, luas, cuaca cerah
		8:03:25 AM				45319	
		8:03:37 AM				45316	
		8:04:21 AM				45313	
		8:04:33 AM				45319	
5	12	8:14:27 AM	37	393267	9140154	45425	Sawah kering, dekat kali kering
		8:15:21 AM				45426	
		8:16:44 AM				45428	
		8:18:18 AM				45424	
		8:17:28 AM				45417	
6	13	8:25:10 AM	51	393752	9140141	45163	Pinggir sungai, sedikit berair, banyak pepohonan, ± 50-80 m dari rumah warga
		8:25:52 AM				45140	
		8:26:06 AM				45147	
		8:26:39 AM				45141	
		8:27:08 AM				45149	
7	14	8:33:07 AM	74	394304	9140168	45175	Dekat sumur tua, di atas bukit, tanah
		8:33:27 AM				45167	

		8:34:17 AM 8:35:10 AM 8:35:28 AM				45166 45162 46165	kering, coklat muda, banyak breksi besar
8	15	8:42:01 AM 8:42:30 AM 8:42:45 AM 8:44:11 AM 8:44:41 AM	86	394753	9140141	45581 45579 45579 45562 45563	Agak atas bukit, naik kebun, banyak breksi besar-besar, tidak dekat rumah warga/tiang/jalan/aspal
9	16	8:53:53 AM 8:54:53 AM 8:59:31 AM 8:56:49 AM 8:54:08 AM	99	395305	9140149	45490 45495 45498 45512 45522	Kebun, rindang, banyak breksi, tidak dekat rumah warga/ tiang/aspal
10	79	9:09:15 AM 9:09:44 AM 9:10:41 AM 9:12:31 AM 9:13:17 AM	169	395332	9139134	45114 45114 45101 45111 45120	Pucuk bukit, rindang, jalan rabat beton, tanah coklat muda, banyak batu hitam dan breksi yang tidak terlalu besar.
11	E18	9:31:30 AM 9:31:53 AM 9:33:05 AM 9:34:27 AM 9:35:02 AM	129	396284	9140147	44884 44884 44885 44871 44870	Jalan berbatu, pohon bambu, dekat kali
12	E8	9:50:09 AM 9:57:30 AM 9:59:50 AM 10:07:22 AM 10:08:58 AM	119	395865	9139733	45337 45335 45319 45327 45338	Pinggir jalan, menanjak, kebun.
13	E9	10:15:25 AM 10:15:59 AM 10:16:30 AM 10:18:00 AM 10:17:12 AM	145	396174	9139549	45439 45430 45438 45438 45428	Naik bukit, ada beberapa rumah warga, pohon-pohonan rindang
14	base 1 #2	10:36:09 AM 10:37:09 AM 10:39:40 AM 10:40:26 AM 10:42:28 AM				45369 45376 45385 45397 45390	Cuaca cerah panas
15	80	11:12:05 AM 11:12:40 AM 11:15:40 AM 11:07:50 AM	112	396011	9139393	44913 44933 44924 44939	Seberang sungai, di kebun, banyak kebun, terdapat tiang listrik di seberangnya ± 30m

		11:11:52 AM				44930	
16	81	11:22:38 AM 11:37:30 AM 11:33:46 AM 11:35:00 AM 11:37:30 AM	160	396395	9139139	44993 44999 44987 44980 44997	Kali dan jurang, jalan rabat beton agak lebar
17	70	12:42:20 PM 12:42:48 PM 12:45:30 PM 12:46:25 PM 12:49:05 PM	263	395204	9138383	45426 45413 45409 45381 45385	di atas bukit, pinggir tebing, jalan cor blok, tanah putih, kering, tidak ada tiang listrik
18	60	1:22:06 PM 1:22:23 PM 1:22:55 PM 1:24:30 PM 1:23:39 PM	146	394723	9138370	44495 44484 44481 44481 44477	Pinggir jalan, banyak pohon, rindang
19	base 1 #3	1:42:39 PM 1:43:43 PM 1:45:05 PM 1:45:36 PM 1:47:22 PM				45334 45351 45418 45363 45422	
20	56	1:58:10 PM 1:59:05 PM 2:01:00 PM 2:00:00 PM 2:58:50 PM	51	392745	9138005	45054 45060 45064 45073 45088	Di kebun ± 25m dari jalan aspal dan ± 30m dari tiang listrik, cuaca teduh.
21	48	2:12:30 PM 2:13:14 PM 2:14:25 PM 2:15:11 PM 2:15:43 PM	42	393211	9137613	45009 45012 45012 45021 45014	Di tengah sungai kering, banyak batu besar di tengah kali, ± 50m dari rumah, ± 200m dari jembatan
22	49	2:28:49 PM 2:29:56 PM 2:31:23 PM 2:31:45 PM 2:33:16 PM	53	393800	9137576	45025 45036 45024 45027 45026	Di sebelah makam, kebun biasa, tidak terlalu rindang, ± 50m dari kali, ± 50m dari rumah
23	50	2:48:28 PM 2:41:07 PM 2:44:00 PM 2:42:37 PM 2:44:43 PM	61	394306	9137704	45090 45082 45133 45140 45123	di halaman balai desa sukoagung, ± 15m dari pemancar internet, ± 30m dari gedung balai desa
24	51	2:57:30 PM	90	394858	9137702	45331	

		2:59:25 PM 2:57:56 PM 2:59:25 PM 2:58:38 PM				45323 45337 45323 45309	Di bukit, kebun, di sekitarnya terdapat kebun durian, tanah sedimen, tanah coklat muda
25	52	3:23:00 PM 3:24:00 PM 3:18:04 PM 3:25:01 PM 3:26:06 PM	84	395239	9137732	44874 44856 44738 44897 44867	Pinggir sungai, banyak batuan besar, susah mendapatkan nilai pengukuran.
26	43	3:41:00 PM 3:44:01 PM 3:44:31 PM 3:44:42 PM 3:44:56 PM	195	395384	9137427	44518 44542 44541 44519 44530	Di bukit, jalan berbatu, di belakang mushola, sebelah jurang, ± 5m dari kandang, ± 10m dari rumah.
27	44	4:02:05 PM 4:02:37 PM 4:03:53 PM 4:00:15 PM 4:00:54 PM	247	395775	9137158	44600 44597 44656 44606 44583	Di samping rumah, turun ke kebun, ± 50m dari kabel listrik, di jurang, banyak pepohonan besar.
28	53	4:19:20 PM 4:20:19 PM 4:21:02 PM 4:21:40 PM 4:21:54 PM	120	395795	9137617	44952 44970 44968 44985 44968	Dekat jembatan ± 10m, banyak batu besar, tidak dekat rumah warga, pinggir jalan aspal tidak lebar
29	54	4:50:05 PM 4:50:15 PM 4:51:03 PM 4:51:19 PM 4:54:39 PM	236	396290	9137614	44551 44554 44550 44554 44539	Pinggir jalan rabat beton, sebelah pos kampling, jurang
30	63	5:06:15 PM 5:06:48 PM 5:07:10 PM 5:07:50 PM 5:07:20 PM	204	396210	9138143	44533 44531 44537 44533 44524	Di dekat satu rumah, jalan aspal kecil, ± 20m dari kabel kecil, sebelah kamar mandi dari atap seng
31	base 1 #4	5:32:06 PM 5:32:17 PM 5:32:10 PM 5:32:50 PM 5:33:00 PM				45339 45405 45324 45342 45354	
32	base 2 #1 07/09/2017	6:59:59 AM 7:00:13 AM	30	391747	9136724	45157 45151	Belakang masjid, lapang, ± 15m dari

		7:00:25 AM 7:01:14 AM 7:02:02 AM				45159 45155 45166	masjid, tidak dekat tiang listrik, ± 20m dari jalan raya
33	28	7:09:21 AM 7:06:47 AM 7:07:56 AM 7:08:34 AM 7:09:36 AM	40	392277	9136642	45174 45206 45207 45188 45187	Di kebun biasa, jauh dari rumah warga, jauh dari tiang listrik dan kabel, jalan rabat beton kecil dan tanah
34	29	7:16:45 AM 7:17:48 AM 7:19:02 AM 7:19:18 AM 7:19:33 AM	56	392718	9136777	44961 44967 44960 44970 44970	Di tanjakan sebelum rumah, dekat kabel ± 20m, dekat jalan raya ± 20m ke atas, di kebun, pohon kecil-kecil
35	30	7:26:50 AM 7:27:22 AM 7:28:30 AM 7:28:49 AM 7:27:11 AM	61	393394	9136863	45509 45501 45505 45492 45516	Di kebun, pinggir sungai kecil kering, ± 30m dari rumah warga, bawah makam ± 10m
36	39	7:33:56 AM 7:34:47 AM 7:34:50 AM 7:35:06 AM 7:35:35 AM	100	393469	9137142	45658 45646 45655 45659 45652	± 25m dari rumah warga, offside dari tiang listrik ± 50m
37	41	7:47:09 AM 7:47:50 AM 7:49:17 AM 7:48:10 AM 7:46:36 AM	99	394329	9137113	45126 45120 45127 45138 45117	Tanah seperti karst putih, ± 30m dari rumah warga, di kebun, dekat mata air kecil
38	32	8:00:00 AM 8:00:57 AM 8:01:10 AM 8:01:28 AM 8:01:57 AM	109	394223	9136733	44892 44886 44882 44893 44878	Tanah seperti karst bukit, kebun-kebun rindang, ± 50m dari rumah warga
39	31	8:16:10 AM 8:16:28 AM 8:19:00 AM 8:19:39 AM 8:16:38 AM	129	393784	9136662	45359 45350 45352 45357 45361	Kebun, bukit, dekat jurang
40	37	8:32:38 AM 8:33:01 AM 8:33:18 AM	22	392279	9137155	45310 45317 45315	Kebun, ± 80m dari jalan raya, dekat

		8:34:48 AM 8:36:11 AM				45318 45311	makam, ± 50m dari rumah warga
41	base 2 #2	8:42:27 AM 8:43:10 AM 8:45:08 AM 8:44:44 AM 8:45:20 AM				45167 45162 45163 45172 45175	
42	19	8:53:53 AM 8:52:00 AM 8:55:20 AM 8:55:02 AM 8:54:05 AM	32	392170	9136352	45122 45124 45126 45146 45115	Di halaman rumah semi kebun, jauh dari jalan raya/rabat beton, ± 15 dari rumah
43	46	9:04:40 AM 9:06:09 AM 9:13:36 AM 9:12:40 AM 9:13:21 AM	28	392283	9137597	45287 45287 45283 45292 45295	Dekat sawah, kebun bambu, cerah, ± 30m dari rumah
44	55	9:25:08 AM 9:25:49 AM 9:26:24 AM 9:23:14 AM 9:24:17 AM	32	392255	9138176	45424 45427 45428 45393 45417	Di ladang, lapang, cuaca cerah
45	64	9:37:15 AM 9:41:37 AM 9:42:50 AM 9:43:45 AM 9:44:31 AM	35	392260	9138606	45496 45298 45288 45337 45326	Di tengah sawah kering, cuaca panas sekali, dekat dengan sumur
46	73	9:57:50 AM 9:58:30 AM 10:00:50 AM 10:01:17 AM 10:07:30 AM	30	392420	9139149	45314 45309 45351 45356 45370	Di tengah ladang jagung, panas, cerah, di bawah pohon pisang, dekat sungai tidak ada airnya
47	E3	10:33:24 AM 10:33:42 AM 10:34:03 AM 10:28:47 AM 10:28:28 AM	57	393311	9139626	45367 45365 45362 45380 45384	± 30m dari tiang listrik, pinggir sungai kecil, di kebun bambu, ± 20m dari pos kampling
48	E4	10:55:16 AM 10:57:30 AM 10:59:20 AM 11:00:40 AM 11:01:23 AM	127	393719	9139809	45615 45681 45623 45721 45632	Data sangat susah, di bukit naik, jalan tanah, ± 30m dari rumah warga, tebing

49	base 2 #3	11:19:15 AM 11:20:22 AM 11:23:43 AM 11:19:15 AM 11:23:16 AM				45174 45172 45174 45174 45157	
50	75	12:57:26 PM 12:57:58 PM 12:54:56 PM 12:56:56 PM 12:55:50 PM	79	393297	9139211	45472 45471 45457 45452 45446	± 20m dari tiang listrik, ± 50m dari rumah, sebelah jalan rabat beton
51	76	1:10:07 PM 1:10:45 PM 1:12:06 PM 1:11:35 PM 1:12:20 PM	140	393772	9139118	45473 45478 45478 45497 45493	Di balik bukit, batu besar, jurang, ± 50m dari rumah warga
52	65	1:46:11 PM 1:46:51 PM 1:47:31 PM 1:45:40 PM 1:48:24 PM	55	392812	9138507	45273 45278 45273 45257 45243	Di ladang pohon albasia, dari jembatan ± 50m
53	57	1:59:50 PM 2:00:00 PM 2:00:42 PM 2:00:49 PM 2:00:58 PM	84	393238	9138140	44777 44758 44749 44783 44774	Di tanjakan menikung, di kebun, dekat jurang, jalan rabat beton ± 5m, ± 20m dari tiang listrik
54	58	2:11:07 PM 2:12:11 PM 2:13:06 PM 2:13:36 PM 2:12:55 PM	78	393829	9138072	45330 45337 45333 45319 45364	Kebun, ± 30m dari tiang listrik, ± 20m dari rumah warga
55	59	2:22:43 PM 2:23:38 PM 2:27:37 PM 2:24:44 PM 2:25:25 PM	86	394284	9138138	45166 45161 45162 45197 45137	Di kebun, ± 30m dari jalan rabat beton, ± 20m dari sungai kering
56	10	3:03:54 PM 3:04:23 PM 3:04:44 PM 3:05:53 PM 3:03:27 PM	44	392272	9135533	45448 45442 45437 45413 45416	Di tebing, ± 30m dari tiang listrik
57	11	3:15:31 PM 3:17:03 PM	37	392762	9135656	45229 45221	Belakang rumah, di kebun.

		3:18:52 PM 3:18:01 PM 3:18:57 PM				45214 45242 45241	
58	base 2 #4	3:38:00 PM 3:39:03 PM 3:41:55 PM 3:38:28 PM 3:42:52 PM				45119 45119 45115 45129 45101	
59	base 3 #1 08/09/2017	7:31:27 AM 7:32:06 AM 7:32:11 AM 7:32:21 AM 7:33:41 AM	60	393955	9135964	45549 45547 45531 45541 45538	Di kebun, ±30m jalan aspal, ±100m rumah warga, banyak pohon, sebelah jalan tanah
60	24	7:40:35 AM 7:40:54 AM 7:41:38 AM 7:41:45 AM 7:39:58 AM	99	394781	9136119	45855 45844 45852 45858 45867	Kebun, ±30m jalan raya, ±30m dari rumah warga
61	34	7:53:49 AM 7:54:09 AM 7:54:49 AM 7:52:28 AM 7:53:59 AM	164	395269	9136601	44900 44896 44903 44900 44882	Naik bukit, ±30m dari jalan rabat beton dan tiang listrik, ±50m dari satu rumah warga
62	36	8:08:11 AM 8:08:17 AM 8:10:34 AM 8:10:57 AM 8:09:05 AM	261	396253	9136546	44894 44895 44899 44904 44887	Pucuk bukit, tanah putih
63	27	8:20:05 AM 8:21:27 AM 8:21:55 AM 8:22:32 AM 8:23:40 AM	275	396280	9136199	45349 45339 45359 45352 45334	Tanah makin putih, tebing batu, ±10m dari rumah warga, ±30m dari tiang listrik, sebelah jurang
64	35	8:34:55 AM 8:35:00 AM 8:36:30 AM 8:37:03 AM 8:37:27 AM	221	395914	9136670	45031 45035 45033 45048 45047	Tanah putih, bukit, , ±20m dari tiang listrik dan jalan aspal
65	14	8:51:07 AM 8:51:27 AM 8:52:39 AM 8:54:02 AM	156	394468	9135649	44816 44810 44811 44813	±50m dari satu rumah warga, ±100m dari tiang listrik, naik bukit

		8:55:40 AM				44800	
66	23	9:04:13 AM 9:05:05 AM 9:05:40 AM 9:07:02 AM 9:09:44 AM	66	394097	9136070	45033 45025 45035 45041 45043	Kebun, ±30 m dari rumah warga, ±20m dari kandang
67	22	9:15:38 AM 9:15:52 AM 9:27:37 AM 9:20:13 AM 9:20:43 AM	64	393855	9136140	45260 45262 45251 45270 45270	Kebun, sebelah kali kering, jauh dari rumah, ± 100m alan rabat beton, tanah putih, batu sungai
68	13	9:34:44 AM 9:35:08 AM 9:37:30 AM 9:38:08 AM 9:38:31 AM	120	393811	9135617	45166 45176 45168 45183 45167	jalan rabat beton, dekat jurang, banyak pohon
69	21	9:53:20 AM 9:55:28 AM 9:56:33 AM 9:57:08 AM 9:58:22 AM	55	393243	9136088	45177 45187 45173 45175 45172	Kebun sangat rindang, ±50m dari rumah warga, ada beberapa kabel kecil
70	base 3 #2	10:11:37 AM 10:11:49 AM 10:13:28 AM 10:09:45 AM 10:12:50 AM				45447 45440 45441 45429 45428	
71	1	10:42:30 AM 10:44:42 AM 10:48:04 AM 10:51:35 AM 10:52:06 AM	58	392331	9135118	45125 45141 45114 45137 45128	Di kebun bambu, jauh dari jalan, ± 60m dari rumah warga
72	2	11:06:18 AM 11:08:06 AM 11:08:40 AM 11:09:19 AM 11:12:02 AM	74	392820	9135048	45396 45404 45396 45390 45416	Di tebing, ±35m dari rumah warga, ± 30m dari tiang listrik
73	base 3 #3	11:41:06 AM 11:41:56 AM 11:40:52 AM 11:40:20 AM 11:42:45 AM				45344 45348 45343 45367 45363	
74	4	12:40:22 PM	82	393719	9135134	45207	

		12:42:22 PM 12:42:32 PM 12:43:42 PM 12:45:09 PM				45207 45202 45213 45206	Kebun biasa, naik, ± 100m dari tiang listrik, ±150m dari rumah warga
75	5	1:07:55 PM 1:09:02 PM 1:09:30 PM 1:11:02 PM 1:12:45 PM	129	394210	9134990	45171 45174 45168 45178 45165	Naik bukit, tanah putih, perkebunan, di bawah ± 50m dari rumah warga
76	6	1:25:22 PM 1:26:35 PM 1:26:48 PM 1:27:08 PM 1:27:49 PM	172	394886	9134854	45297 45300 45301 45299 45296	Di pinggir jalan rabat beton, tanah putih, kebunan, jauh dari rumah dan tiang listrik
77	9	1:59:48 PM 2:00:36 PM 2:01:15 PM 2:03:55 PM 2:04:31 PM	335	396263	9135167	45465 45460 45459 45460 45461	±60 m dari tiang listrik, tanah batuan putih, jalanrabat beton
78	18	2:19:27 PM 2:19:37 PM 2:19:57 PM 2:20:37 PM 2:20:55 PM	300	396156	9135608	45362 45359 45360 45358 45362	Sebelah sungai , ±20 m dari jembatan jalan cor blok, ±30m dari rumah warga
79	17	2:29:01 PM 2:29:39 PM 2:30:04 PM 2:30:18 PM 2:30:35 PM	233	395772	9135518	44668 44668 44668 44671 44670	Di bukit, panas, gersang, ± 50m dari tiang listrik
80	15	2:43:50 PM 2:46:37 PM 2:46:59 PM 2:47:17 PM 2:47:25 PM	125	394791	9135663	45176 45175 45187 45182 45165	Di kebun, ±20m dari rumah warga, banyak pohon kelapa, sebelah jurang
81	16	3:10:50 PM 3:11:55 PM 3:04:30 PM 2:59:00 PM 3:07:50 PM	177	395319	9135634	44899 44827 44855 44807 44730	±30m dari tiang listrik, ±10m dari rumah warga berparabola
82	base 3 #4	3:24:43 PM 3:27:50 PM 3:24:10 PM				45443 45443 45455	

		3:22:59 PM 3:27:00 PM				45459 45450	
83	base 4 #1 09/09/2017	7:26:36 AM 7:26:48 AM 7:27:40 AM 7:27:27 AM 7:27:15 AM	30	391747	9136724	45089 45081 45078 45077 45076	tidak mendung, tidak cerah
84	77	7:52:57 AM 7:54:45 AM 7:54:54 AM 7:55:07 AM 7:56:29 AM	193	394188	9139150	45192 45189 45199 45191 45189	Menyeberang sungai, ada batu besar, sebelah sungai dengan adanya rekahan, dekat kebun bambu, jalan batu
85	74	8:20:03 AM 8:21:59 AM 8:24:37 AM 8:22:09 AM 8:25:02 AM	53	392835	9139171	45248 45240 45247 45227 45232	Kebun, depan kuburan, 30m dari jalan rabat beton
86	72	9:00:45 AM 9:05:32 AM 9:05:53 AM 9:05:53 AM 9:07:05 AM	295	396455	9138635	44779 44775 44776 44767 44765	Kebun, <i>offside</i> dari tiang listrik
87	71	9:18:40 AM 9:20:20 AM 9:21:54 AM 9:22:03 AM 9:24:14 AM	274	395746	9138548	44551 44499 44551 44526 44536	Di bukit, pinggir jalan rabat beton, tanah sedimen, putih seperti karst tetapi tidak keras
88	base 4 #2	10:16:23 AM 10:17:49 AM 10:18:10 AM 10:23:31 AM 10:23:40 AM				45099 45119 45116 45126 45110	
89	tambahan	10:38:53 AM 10:39:22 AM 10:45:57 AM 10:47:36 AM 10:40:25 AM	62	393381	9134572	45549 45547 45542 45547 45564	Kebun, 20m dari rumah, pohon kelapa
90	base 4 #3	11:01:30 AM 11:03:59 AM 11:11:03 AM 11:11:45 AM 11:12:15 AM				45101 45092 45106 45117 45126	

Lampiran 2.

Analisis Nilai Anomali Medan Magnet.

No	Nama Titik	Rata-Rata Waktu	Elevasi (m)	Koordinat UTM		Rata-rata	IGRF	variasi	Anomali medan magnet
		detik		x (m)	y (m)	(nT)	(nT)	harian (nT)	(nT)
1	Base 1 #1	27017.4	37	392823	9139875	45399	44973.5	0	425.5
2	2	27768.4	36	392708	9139899	45333.2	44973.5	-1.033759816	358.6662402
3	11	28314.8	37	392718	9140145	45376.8	44972.4	-1.785885467	402.6141145
4	10	29023.2	33	392311	9140175	45316.6	44972.6	-2.761005912	341.2389941
5	12	29787.6	37	393267	9140154	45424	44972	-3.813210977	448.186789
6	13	30371	51	393752	9140141	45148	44971.4	-4.616267537	171.9837325
7	14	30857.8	74	394304	9140168	45367	44970.4	-5.286353128	391.3136469
8	15	31393.6	86	394753	9140141	45572.8	44969.9	-6.023887761	596.8761122
9	16	32150.8	99	395305	9140149	45503.4	44969.2	-7.066181947	527.1338181
10	79	33065.6	169	395332	9139134	45112	44972.1	-8.325414277	131.5745857
11	E18	34391.4	129	396284	9140147	44878.8	44967.9	-10.15039266	-99.25039266
12	E8	36045.8	119	395865	9139733	45331.2	44970.2	-12.42769258	348.5723074
13	E9	36997.2	145	396174	9139549	45434.6	44970.2	-13.73730521	450.6626948
14	base 1 #2	38350.4				45383.4	44973.5	-15.6	394.3
15	80	40321.4	112	396011	9139393	44927.8	44971.8	-1.025954445	-45.02595445
16	81	41596.8	160	396395	9139139	44991.2	44971.5	-1.689831817	18.01016818
17	70	45913.6	263	395204	9138383	45402.8	44973.3	-3.936833414	425.5631666
18	60	48186.6	146	394723	9138370	44483.6	44976.4	-5.119986359	-497.9199864
19	base 1 #3	49493				45377.6	44973.5	-5.8	398.3

20	56	50365	51	392745	9138005	45067.8	44981.6	-1.58364334	84.61635666
21	48	51252.6	42	393211	9137613	45013.6	44983.2	-3.195617915	27.20438209
22	49	52261.8	53	393800	9137576	45027.6	44982.7	-5.028430827	39.87156917
23	50	53051	61	394306	9137704	45113.6	44981.6	-6.461700694	125.5382993
24	51	53914.8	90	394858	9137702	45324.6	44980.6	-8.030451976	335.969548
25	52	55394.2	84	395239	9137732	44846.4	44980.3	-10.71719734	-144.6171973
26	43	56630	195	395384	9137427	44530	44979	-12.96153959	-461.9615396
27	44	57716.8	247	395775	9137158	44608.4	44978.7	-14.93528223	-385.2352822
28	53	58851	120	395795	9137617	44968.6	44979.6	-16.99510823	-27.99510823
29	54	60688.2	236	396290	9137614	44549.6	44976.6	-20.33165588	-447.3316559
30	63	61624.6	204	396210	9138143	44531.6	44975	-22.03225636	-465.4322564
31	base 1 #4	63148.6				45352.8	44973.5	-24.8	354.5
32	base 2 #1	25246.6	30	391747	9136724	45157.6	44988.3	0	169.3
33	28	25706.8	40	392277	9136642	45192.4	44988.1	0.756712664	203.5432873
34	29	26309.2	56	392718	9136777	44965.6	44986.8	1.747246582	-22.94724658
35	30	26864.4	61	393394	9136863	45504.6	44985.9	2.660168945	516.0398311
36	39	27290.8	100	393469	9137142	45654	44983.7	3.361303843	666.9386962
37	41	28068.4	99	394329	9137113	45125.6	44983.3	4.639921331	137.6600787
38	32	28866.4	109	394223	9136733	44886.2	44984.8	5.952082796	-104.5520828
39	31	29855	129	393784	9136662	45355.8	44984.9	7.577650245	363.3223498
40	37	30839.2	22	392279	9137155	45314.2	44986.2	9.195982719	318.8040173
41	base 2 #2	31449.8				45167.8	44988.3	10.2	169.3
42	19	32044	32	392170	9136352	45126.6	44989.6	0.151382107	136.8486179
43	46	33005.2	28	392283	9137597	45288.8	44984.1	0.396263428	304.3037366
44	55	33898.4	32	392255	9138176	45417.8	44981.5	0.623820645	435.6761794

45	64	34919.6	35	392260	9138606	45349	44979.5	0.883987941	368.6160121
46	73	36071.4	30	392420	9139149	45340	44977.1	1.17742771	361.7225723
47	E3	37900.8	57	393311	9139626	45371.6	44973.8	1.643497091	396.1565029
48	E4	39529.8	127	393719	9139809	45654.4	44971	2.058511316	681.3414887
49	base 2 #3	40870.2				45170.2	44988.3	2.4	179.5
50	75	46597.2	79	393297	9139211	45459.6	44975.1	-19.7617521	464.7382479
51	76	47482.6	140	393772	9139118	45483.8	44973.8	-22.81693898	487.183061
52	65	49615.4	55	392812	9138507	45264.8	44979.1	-30.17644044	255.5235596
53	57	50427.8	84	393238	9138140	44768.2	44979.8	-32.97973142	-244.5797314
54	58	51155	78	393829	9138072	45336.6	44979.8	-35.4890288	321.3109712
55	59	51889.4	86	394284	9138138	45164.6	44979	-38.02317072	147.5768293
56	10	54268.2	44	392272	9135533	45431.2	44992.9	-46.2315269	392.0684731
57	11	55060.8	37	392762	9135656	45229.4	44992.2	-48.96649542	188.2335046
58	Base 2#4	56403.6				45116.6	44988.3	-53.6	74.7
59	base 3 #1	27141.2	60	393955	9135964	45541.2	44989.4	0	551.8
60	24	27658	99	394781	9136119	45855.2	44987.3	-5.625489418	862.2745106
61	34	28430.8	164	395269	9136601	44896.2	44983.3	-14.03759898	-101.137599
62	36	29364.8	261	396253	9136546	44895.8	44980.6	-24.20440842	-109.0044084
63	27	30115.8	275	396280	9136199	45346.6	44981.8	-32.37921986	332.4207801
64	35	30971	221	395914	9136670	45038.8	44981.2	-41.68827278	15.91172722
65	14	31979	156	394468	9135649	44810	44988.3	-52.6605896	-230.9605896
66	23	32780.8	66	394097	9136070	45035.4	44988.7	-61.38837098	-14.68837098
67	22	33600.6	64	393855	9136140	45262.6	44988.6	-70.31208658	203.6879134
68	13	34608.2	120	393811	9135617	45172	44989.7	-81.28004931	101.0199507
69	21	35770.2	55	393243	9136088	45176.8	44989.5	-93.92869231	93.37130769

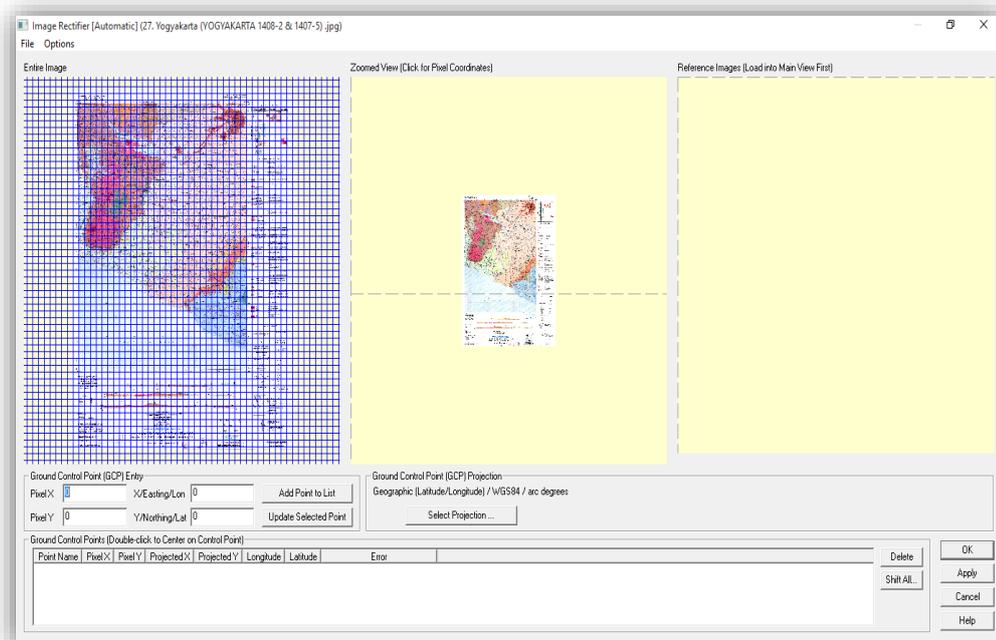
70	base 3 #2	36713.8				45437	44989.4	-104.2	343.4
71	1	38867.4	58	392331	9135118	45129	44994.3	89.83359404	44.86640596
72	2	40133	74	392820	9135048	45400.4	44993.9	142.6258473	263.8741527
73	base 3 #3	42083.8				45353	44989.4	224	139.6
74	4	45769.4	82	393719	9135134	45207	44992.8	66.65382612	147.5461739
75	5	47402.8	129	394210	9134990	45171.2	44992	96.19375437	83.00624563
76	6	48404.4	172	394886	9134854	45298.6	44991.1	114.3076225	193.1923775
77	9	50521	335	396263	9135167	45461	44985	152.58619	323.41381
78	18	51606.6	300	396156	9135608	45360.2	44983.9	172.2191924	204.0808076
79	17	52195.4	233	395772	9135518	44669	44986.2	182.8676004	-500.0676004
80	15	53185.6	125	394791	9135663	45177	44988.7	200.7753003	-12.4753003
81	16	54409	177	395319	9135634	44823.6	44987.3	222.9004064	-386.6004064
82	base 3 #4	55520.4				45450	44989.4	243	217.6
83	base 4 #1	26829.2	30	391747	9136724	45080.2	44988.2	0	92
84	77	28490.4	193	394188	9139150	45192	44971.9	5.416921682	214.6830783
85	74	30166	53	392835	9139171	45238.8	44976	10.88079958	251.9192004
86	72	32701.6	295	396455	9138635	44772.4	44970.3	19.14900727	-217.0490073
87	71	33686.2	274	395746	9138548	44532.6	44971.7	22.3596388	-461.4596388
88	base 4 #2	37194.6				45114	44988.2	33.8	92
89	tambahan	38546.6	62	393381	9134572	45549.8	44995.9	-2.618161699	551.2818383
90	base 4 #3	40086.4				45108.4	44988.2	-5.6	114.6

Lampiran 3.

Pembuatan Desain Survei.

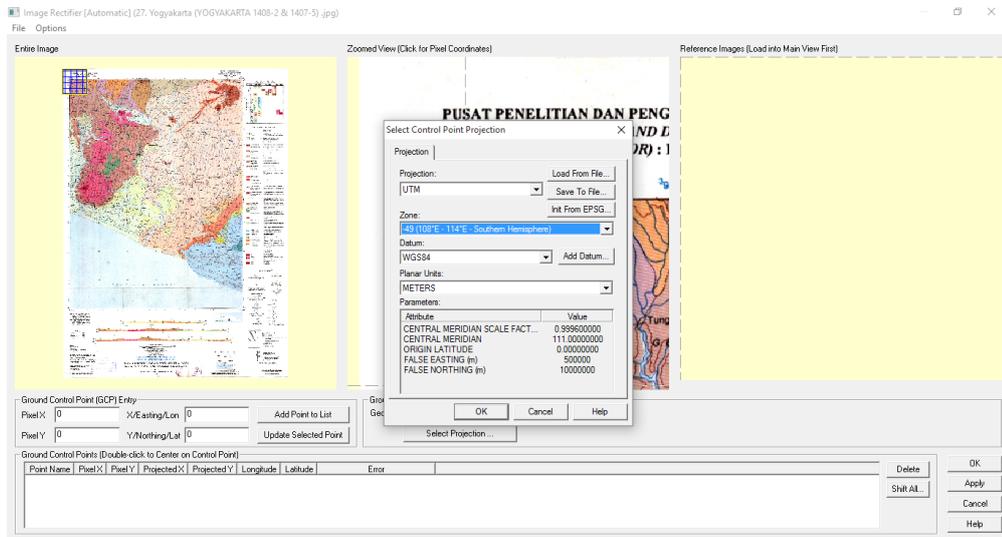
Pembuatan desain survei dapat dilakukan menggunakan koordinat UTM maupun koordinat geografis. Dalam penelitian ini, pembuatan desain survei dilakukan menggunakan koordinat UTM. Berikut langkah-langkah pembuatan desain survei.

1. Membuat batas koordinat pada peta geologi menggunakan *Global Mapper 13* dilakukan dengan cara sebagai berikut.
 - a. Buka aplikasi *Global Mapper 13* → *Open Your Own Data Files* → Pilih peta geologi yang akan digunakan → *Open* → pilih *Yes* pada kotak dialog → pilih *OK* → *kemudian* akan muncul tampilan seperti Gambar L1.



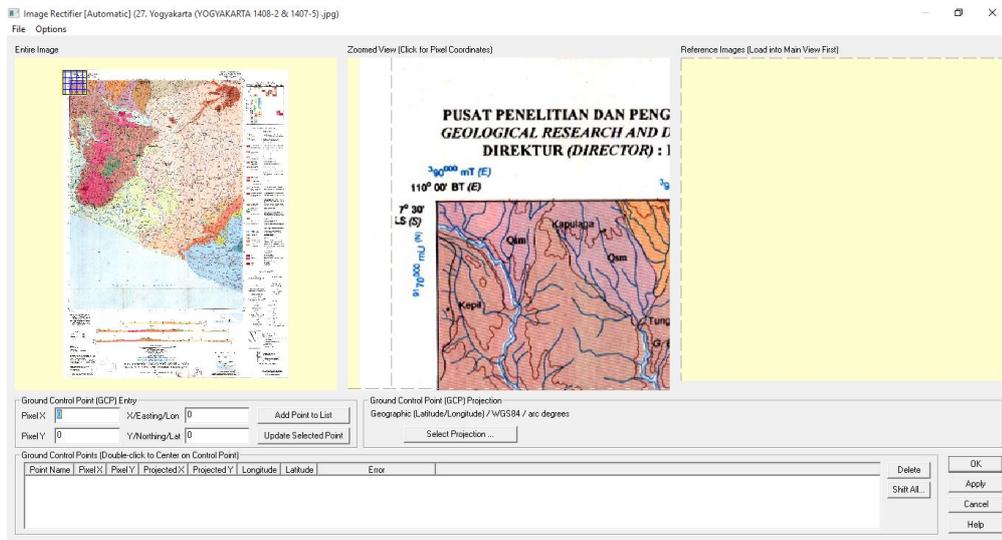
Gambar L1. Tampilan *open* data pada lembar kerja *Global Mapper 13*.

- b. Pilih *Select Projection* → pilih koordinat UTM yang akan digunakan pada bagian *Projection* → kemudian pilih -49 (108°E - 114°E – Southern Hemisphere) pada bagian *Zona* → pilih WGS84 pada bagian *Datum* dan METERS pada bagian *Planar Units* → kemudian pilih OK seperti pada Gambar L2.



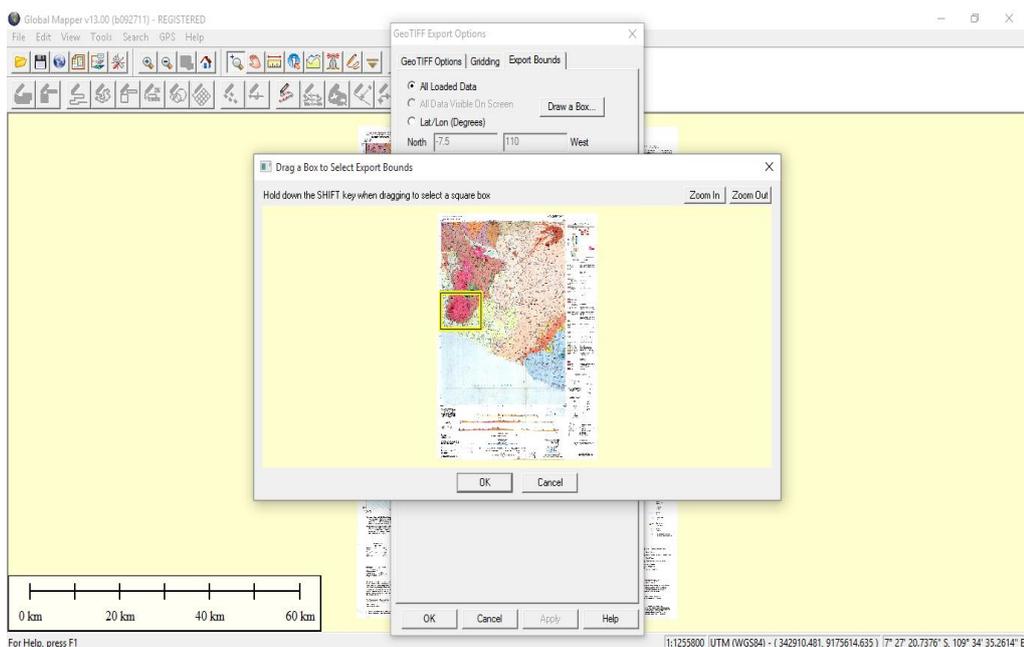
Gambar L2. Tampilan pada menu *Select Projection*.

- c. Memberi titik pada batas peta geologi dengan cara *zoom* pada bagian sisi pojok peta seperti pada Gambar L3 → klik bagian tersebut hingga muncul angka pada bagian Pixel X dan Y → mengisi bagian *X/Easting/Lon* dan *Y/Northing/Lat* dengan angka yang terdapat pada peta → *Add to point list* dan beri nama sesuai keinginan → kemudian melakukan hal yang sama untuk sisi pojok lain.



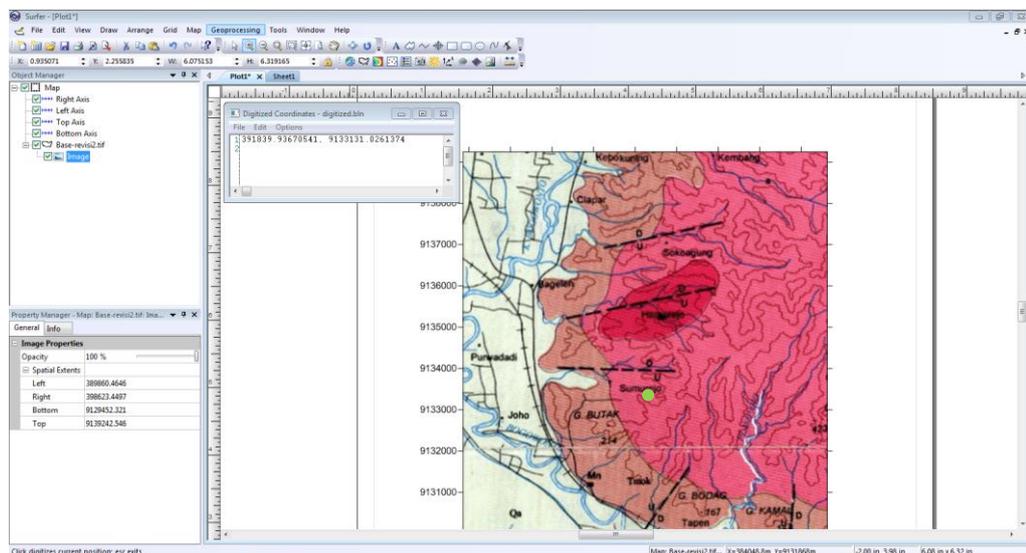
Gambar L3. Zoom pada peta untuk memberi titik pada sisi pojok peta.

- d. Simpan file dengan cara pilih menu *File* → *Export Raster/Image Format* → kemudian klik OK pada *GeoTIFF* → kemudian muncul dialog *GeoTIFF Export Options* → pilih *Export Bound* → *Draw a box* → kemudian pilih dengan cara membuat kotakan pada daerah penelitian seperti Gambar L4 → Kemudian pilih OK.



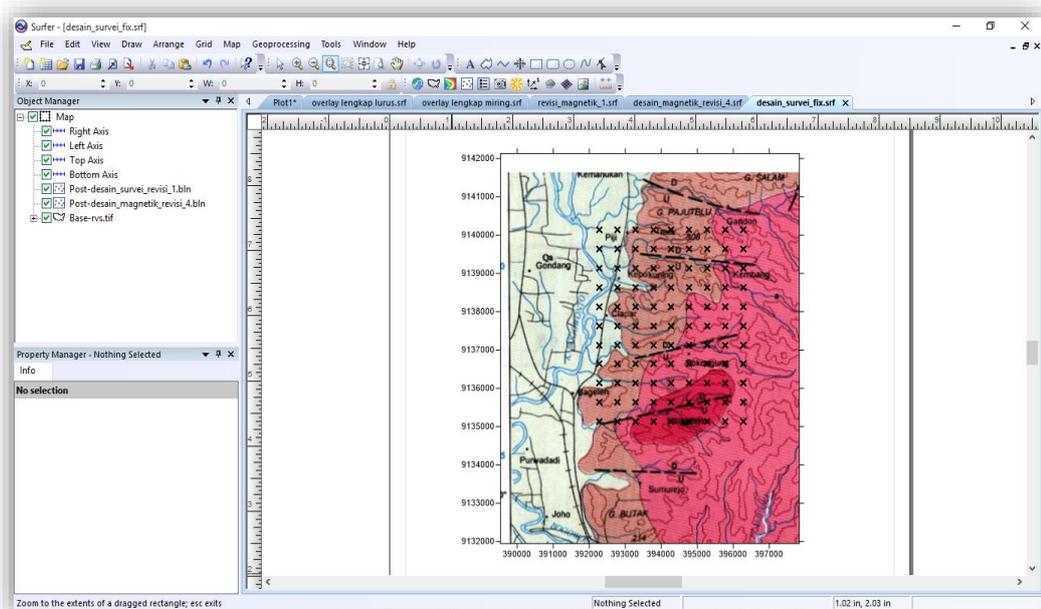
Gambar L4. Memilih luas wilayah penelitian.

2. Langkah selanjutnya yaitu membuat titik-titik koordinat pada peta geologi tersebut. Pada penelitian ini, desain survei yang dibuat merupakan desain *tipe grid* di mana desain titik penelitian akan membentuk suatu *grid*. Langkah ini dilakukan menggunakan aplikasi *Surfer 12* dan bantuan *Microsoft Excel* dengan langkah sebagai berikut.
 - a. Buka aplikasi *Surfer 12* → pilih menu *Map* → *New* → *New Base* → pilih peta yang sudah dibuat sebelumnya pada *Global Mapper 16* yang akan digunakan untuk membuat desain survei.
 - b. Pilih menu *Map* → *Digitize* → beri satu titik pada peta yang merupakan daerah penelitian dengan cara klik pada peta seperti Gambar L5 → setelah itu keluar *window* yang berisi koordinat → kemudian *copy* koordinat tersebut → pilih *File* → *New* → *Worksheet* → kemudian *paste* pada aplikasi *Microsoft Excel*.



Gambar L5. *Digitizing* pada peta geologi menggunakan aplikasi *Surfer 12*.

- c. Membuat titik-titik yang lain dengan cara menambahkan koordinat dengan jarak antar titik yang sesuai dengan kebutuhan. Dalam penelitian ini, dibuat jarak antar titik 500 m. Kemudian menambahkan koordinat x sebanyak 9 titik dengan interval 500 meter. Untuk sumbu y juga dilakukan langkah yang sama tetapi jumlah variasi sumbu y sebanyak 11. Maka, dapat diketahui bahwa total titik desain *survei* sebanyak 99.
- d. Setelah data dibuat, data kemudian di-*copy* dan dimasukkan kembali ke *Worksheet* pada *Surfer 12* → kemudian *Save* dengan format *.bln*.
- e. Membuka kembali pada lembar kerja *Surfer 12* yang berisi peta geologi seperti pada Gambar L5 → kemudian pilih *Map* → *New* → *New Post* → kemudian memilih *file* dalam bentuk *.bln* sebelumnya → pilih *Open*.
- f. Kemudian klik *Ctrl+A* → pilih menu *Map* → klik *Overlay Map* maka akan muncul seperti pada Gambar L6 → kemudian simpan dalam bentuk *.srf*.



Gambar L6. Desain survei penelitian.

3. Pembuatan desain survei juga dilakukan menggunakan aplikasi *Google Earth Pro* dengan langkah-langkah sebagai berikut.
 - a. Membuat koordinat yang akan dimasukkan ke dalam desain, yakni *file* dalam bentuk *.bln* pada *Worksheet* pada langkah 2d. Kemudian mengubah koordinat dari UTM ke koordinat geografis dengan cara sebagai berikut.
 - 1) Membuka *file .bln* pada *worksheet* aplikasi *Surfer 12* → blok pada koordinat yang akan diubah → Pilih dan klik menu *Data* → *New Project Coordinates* → pada *Source Column*, pilih kolom yang berisi koordinat yang akan diubah → klik pada kolom *Source Coordinates System* → *Predefined* → *Project System* → pilih koordinat UTM → WGS84 → WGS84 UTM Zona 49S → OK.
 - 2) Untuk hasil perubahan koordinat dilakukan dengan mengisi *Target Column* dengan kolom tempat di mana hasil akan diletakkan → pilih *Target Coordinates System* → *Predefined* → pilih *Geographic (Lon/Lat)* → *World Geodetic System 1984* → OK. Setelah itu pilih OK dan akan keluar nilai seperti pada Gambar L7. Kolom A dan B merupakan koordinat UTM, kolom C dan D koordinat geografis.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	392298	9135131	110.02312	-7.8231240								
2	392779	9135131	110.02749	-7.8231341								
3	392759	9138034	110.02736	-7.7968780								
4	393756	9135142	110.03635	-7.8230549								
5	394193	9134981	110.04031	-7.8245201								
6	394879	9134867	110.04653	-7.8256557								
7	396259	9135152	110.05905	-7.8230167								
8	392296	9135600	110.02311	-7.8188822								
9	392739	9135675	110.02713	-7.8182131								
10	393807	9135614	110.03682	-7.8187870								
11	394367	9135664	110.04190	-7.8183464								
12	394727	9135645	110.04516	-7.8185256								
13	395282	9135620	110.05020	-7.8187631								
14	395777	9135562	110.05468	-7.8193881								
15	396137	9135627	110.05795	-7.8187171								
16	392170	9136348	110.02199	-7.8121144								
17	393279	9136123	110.03204	-7.8141725								
18	393848	9136139	110.03720	-7.8140396								
19	396223	9138181	110.05878	-7.7956194								
20	394090	9136057	110.03939	-7.8147862								
21	394781	9136133	110.04566	-7.8141131								
22	396271	9136137	110.05918	-7.8141072								
23	392285	9136632	110.02304	-7.8095492								
24	392771	9136744	110.02745	-7.8085454								
25	393399	9136786	110.03314	-7.8081786								
26	393784	9136667	110.03663	-7.8093533								
27	394229	9136730	110.04067	-7.8087022								
28	395255	9136593	110.04997	-7.8099623								

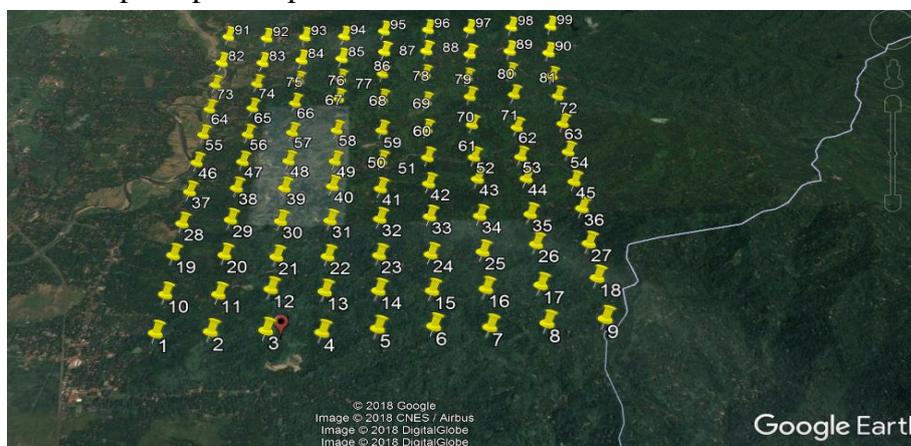
Gambar L7. Hasil perubahan koordinat.

- b. Setelah itu, file tersebut di-copy ke *Microsoft Excel* seperti Gambar L8. SN adalah nama titik, *Easting* dan *Northing* adalah sumbu X dan Y pada koordinat UTM, *Longitude* dan *Latitude* merupakan sumbu X dan Y pada koordinat geografis → *save .csv*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	SN	Easting	Northing	Longitude	Latitude							
2	1	392298	9135131	110,023123	-7,823123987							
3	2	392779	9135131	110,0274853	-7,823134062							
4	4	392759	9138034	110,0273647	-7,79687797							
5	5	393756	9135142	110,0363463	-7,823054898							
6	6	394193	9134981	110,0403062	-7,824520069							
7	9	394879	9134857	110,0465253	-7,826565675							
8	10	396259	9135152	110,059047	-7,823015674							
9	11	392296	9135600	110,0231147	-7,818882165							
10	13	392739	9135675	110,0271339	-7,818213116							
11	14	393807	9135614	110,0368186	-7,818787023							
12	15	394367	9135664	110,0418984	-7,818346358							
13	16	394727	9135645	110,0451629	-7,818525596							
14	17	395282	9135620	110,0501959	-7,818763056							
15	18	395777	9135552	110,0546638	-7,819388149							
16	19	396137	9135627	110,0579502	-7,818717115							
17	21	392170	9136348	110,0219878	-7,812114378							
18	22	393279	9136123	110,0320407	-7,814172508							
19	63	393848	9136139	110,0372013	-7,814039588							
20	23	396223	9138181	110,0587819	-7,795619434							
21	24	394090	9136057	110,0393943	-7,814786221							
22	27	394781	9136133	110,0456627	-7,81411305							

Gambar L8. Tampilan koordinat *input* ke *Google Earth Pro*.

- c. Membuka aplikasi *Google Earth Pro* → pilih menu *File* → *Import* → pilih file dalam bentk *.csv* → *Open* → tentukan pembatas lalu pilih berikutnya → memilih kolom garis lintang/bujur kemudian pilih berikutnya → selesai → kemudian muncul tampilan pada seperti Gambar L9.



Gambar L9. Desain survei pada *Google Earth Pro*.

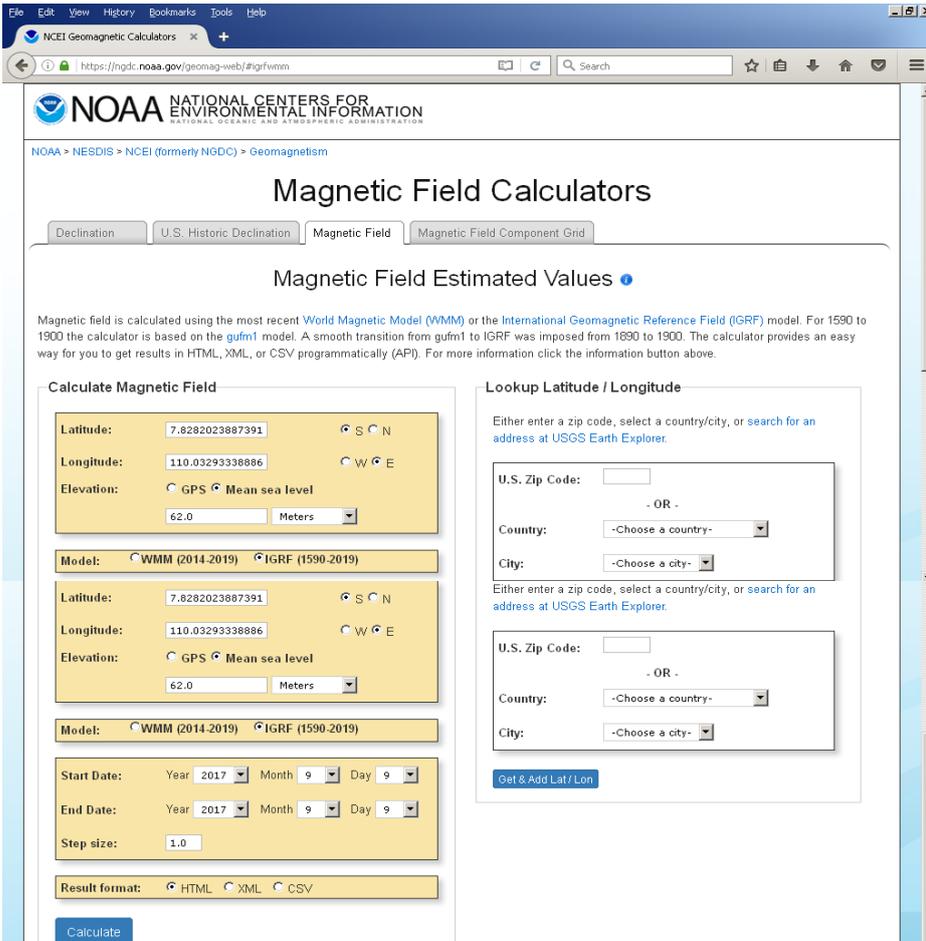
Lampiran 4.

Tahap Pengolahan Data.

1. Koreksi IGRF

Nilai IGRF didapatkan dari mengakses *website* NOAA dengan cara sebagai berikut.

- a. Kunjungi *website* NOAA www.NOAA.gov → pilih *Geomagnetic Data and Model* pada menu *search* → pilih menu *Online Calculators* → pilih *Magnetic Fields* kemudian akan muncul tampilan seperti Gambar L10.



The screenshot shows the NOAA Magnetic Field Calculators web application. The browser address bar displays <https://ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>. The page title is "Magnetic Field Calculators" and the sub-page is "Magnetic Field Estimated Values". The interface includes several input fields for calculating magnetic field values:

- Calculate Magnetic Field:** Latitude (7.8282023887391), Longitude (110.03293338886), Elevation (62.0 Meters), Model (WMM (2014-2019) / IGRF (1590-2019)), Start Date (Year 2017, Month 9, Day 9), End Date (Year 2017, Month 9, Day 9), Step size (1.0), and Result format (HTML / XML / CSV).
- Lookup Latitude / Longitude:** U.S. Zip Code, Country, and City dropdown menus.

A "Calculate" button is located at the bottom of the form.

Gambar L10. Tampilan *Online Calculators Magnetic Field* pada *website* NOAA (NOAA, 2017)

- b. Isikan koordinat geografis pada kolom *Latitude* dan *Longitude* dengan memperhatikan letak lokasi → pilih *Mean sea level* pada kolom koordinat dengan memasukkan elevasi koordinat tersebut dalam meter → pilih *IGRF (1590-2019)* → isikan kolom *Start Date* dan *End Date* dengan tanggal pengambilan data di titik pengukuran tersebut. Untuk bagian *Step Size* tidak perlu diganti → kemudian memilih *output* dengan format sesuai dengan keinginan → kemudian klik *Calculate* kemudian akan didapatkan keluaran seperti pada Gambar L11.

The screenshot displays the NCEI Geomagnetic Calculators web application. The main interface is titled "Calculate Magnetic Field" and includes input fields for Latitude (7.8282023887391), Longitude (110.03293338886), and Elevation (62.0 Meters). The "Elevation" field is set to "Mean sea level". The "Model Used" is IGRF12. The "Date" is 2017-09-09. The "Calculate" button is visible.

The "Magnetic Field" output window shows the following data:

Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2017-09-09	0.8803°	-32.4947°	37,951.4 nT	37,946.9 nT	583.1 nT	-24,172.8 nT	44,995.9 nT
Change/year	-0.0397°/yr	0.1524°/yr	39.4 nT/yr	39.8 nT/yr	-25.7 nT/yr	116.8 nT/yr	-29.5 nT/yr

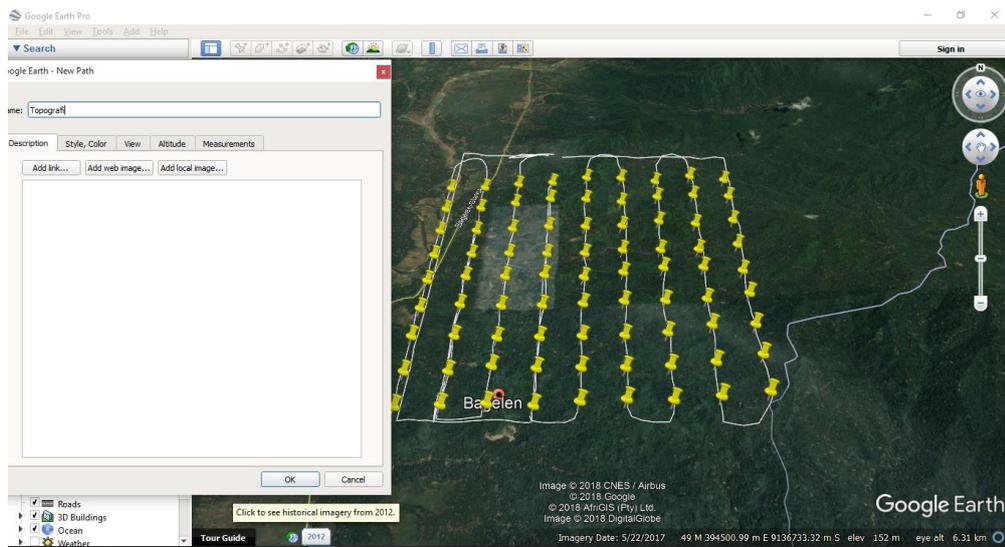
Gambar L11. Informasi keluaran *Online Calculators Magnetic Fields* untuk salah satu titik penelitian.

2. Koreksi Topografi

Koreksi topografi dilakukan dengan mencari ada tidaknya hubungan antara data yang didapat dengan perbedaan elevasi (topografi). Salah satu cara

yakni menggunakan aplikasi *Google Earth Pro* dan *TCX Converter*. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut.

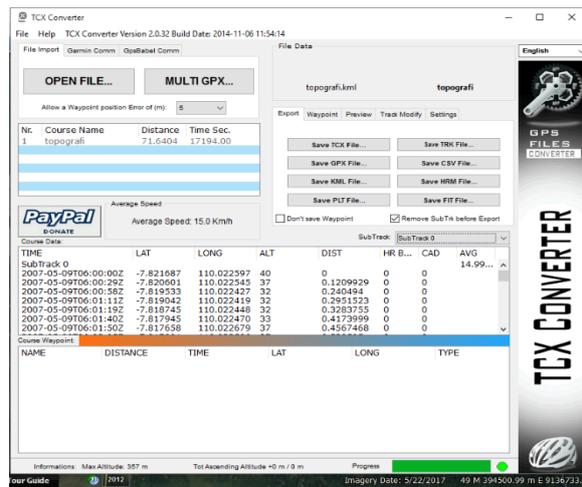
- a. Buka aplikasi *Google Earth Pro* dan membuat desain titik pengukuran seperti pada langkah Lampiran 3 bagian 3 → membuat garis area yang akan dibuat kontur topografi dengan memilih menu *add path* → beri nama *path* → mengatur warna pada menu *style, color* → kemudian membuat area dengan cara *klik* pada daerah yang diinginkan sehingga didapatkan hasil seperti Gambar L12. Setelah itu, klik *path* pada jendela *Places* → klik kanan → *save place as* → simpan *file* dalam bentuk *.kml*.



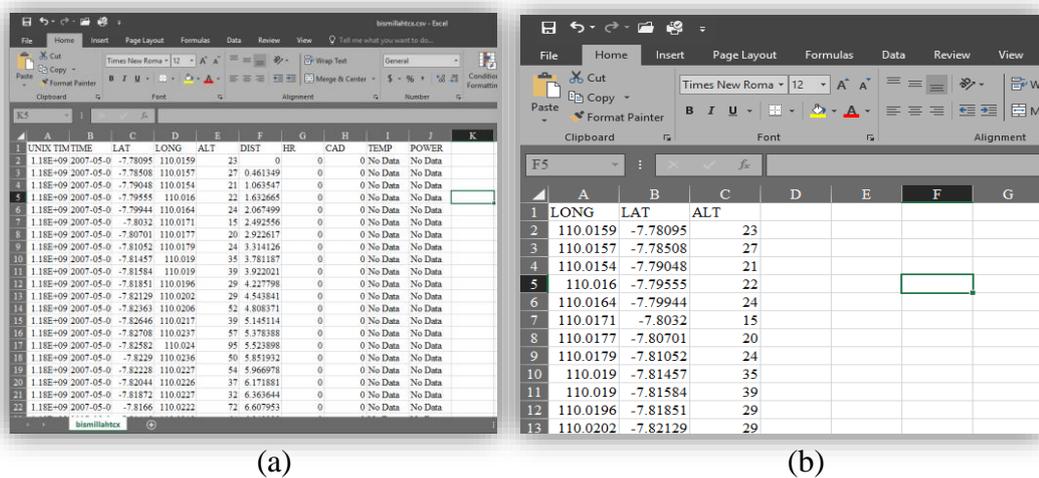
Gambar L13. Hasil pembuatan area kontur menggunakan menu *add path*.

- b. Buka aplikasi *TCX Converter* → atur bahasa pada kolom pojok kanan atas → kemudian klik menu *open file* dan pilih file dalam bentuk *.kml* → pilih menu *Track Modify* → pilih *update altitude* dan klik OK → kemudian pada layar akan muncul tampilan seperti pada Gambar L14 → pilih menu *Export* → pilih dan klik *save csv file* dengan nama *file* yang diinginkan.

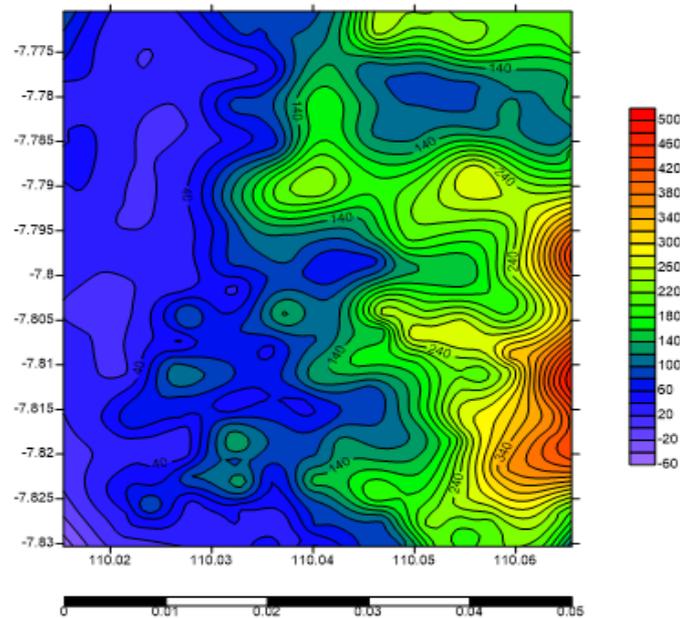
- c. Buka file dalam bentuk .csv pada aplikasi *Microsoft Excel* → hapus semua kolom pada Gambar L15 (a) hingga menyisakan kolom *latitude*, *longitude*, dan *altitude* → kemudian memindahkan kolom *latitude* pada sebelah kanan kolom *longitude* seperti Gambar L15 (b) → kemudian simpan kembali file tersebut dalam bentuk .csv.



Gambar L14. Window pada aplikasi *TCX Converter*.



- d. Buka aplikasi *Surfer 12* → pilih menu *Grid* → pilih *Data* dan pilih data yang telah disimpan dalam bentuk *.csv* → pilih OK pada kotak dialog yang berisi informasi *gridding* → klik OK.
- e. Pilih menu *Map* → pilih *New* → kemudian pilih *Contour Map* dan buka *file* dalam bentuk *.grd*. Dengan mengatur warna dan sebagainya, akan muncul tampilan kontur topografi seperti pada Gambar L16.



Gambar L16. Kontur data topografi wilayah penelitian.

3. Kontur Anomali Medan Magnet

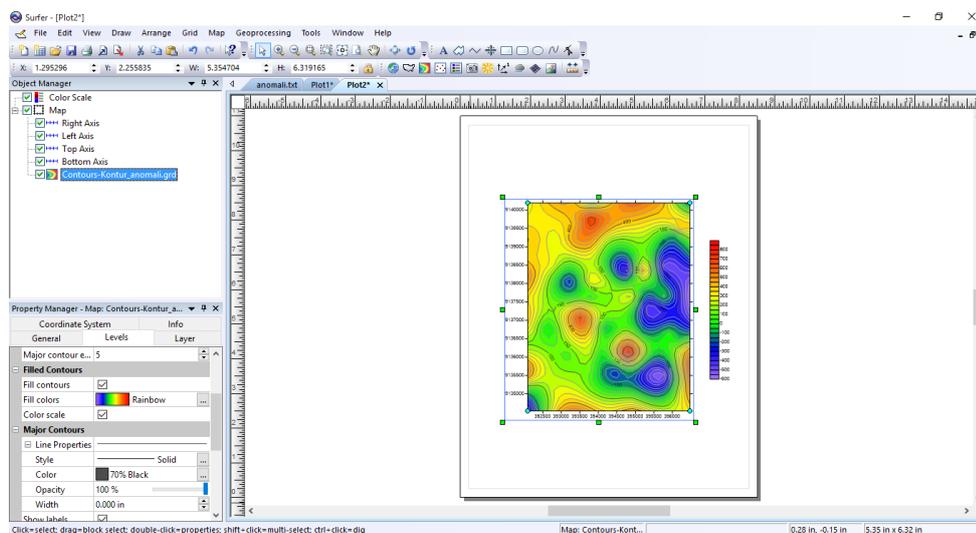
Kontur anomali medan magnet dibuat dari hasil perhitungan menggunakan rumus pada persamaan (12). Untuk mengubah data tersebut menjadi satu kontur anomali medan magnet maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

- a. Buka aplikasi *Surfer 12* → pilih menu *File* → *New* dan pilih *Worksheet* → kemudian memasukkan nilai koordinat sumbu X pada kolom A, koordinat Y pada kolom B, dan nilai anomali medan magnet pada kolom C seperti pada Gambar L17 → kemudian simpan *file* dalam bentuk *.txt*.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	392708	9139899	358.66624					
2	392718	9140145	402.61411					
3	392311	9140175	341.23899					
4	393267	9140154	448.18679					
5	393752	9140141	171.98373					
6	394304	9140168	391.31365					
7	394753	9140141	596.87611					
8	395305	9140149	527.13382					
9	395332	9139134	131.57459					
10	396284	9140147	-99.25039					
11	395865	9139733	348.57231					
12	396174	9139549	450.66269					
13	396011	9139393	-45.02595					
14	396395	9139139	18.010168					
15	395204	9138383	425.56317					
16	394723	9138370	-497.9200					
17	392745	9138005	84.616357					
18	393211	9137613	27.204382					
19	393800	9137576	39.871569					
20	394306	9137704	125.53830					
21	394858	9137702	335.96955					
22	395239	9137732	-144.6172					
23	395384	9137427	-461.9615					
24	395775	9137158	-385.2353					

Gambar L17. Data untuk membuat kontur anomali medan magnet.

- b. Pilih menu *Grid* → *Data* → pilih data yang sudah disimpan dalam bentuk *.txt* → kemudian OK → pilih OK pada saat keluar kotak dialog berupa *Grid Data Report*.
- c. Pilih menu *Map* → pilih *New* dan pilih *Contour Map* → kemudian pilih data dalam bentuk *.grd* → kemudian atur pewarnaan, skala pada menu di sebelah kiri, sehingga dihasilkan kontur seperti Gambar L18.

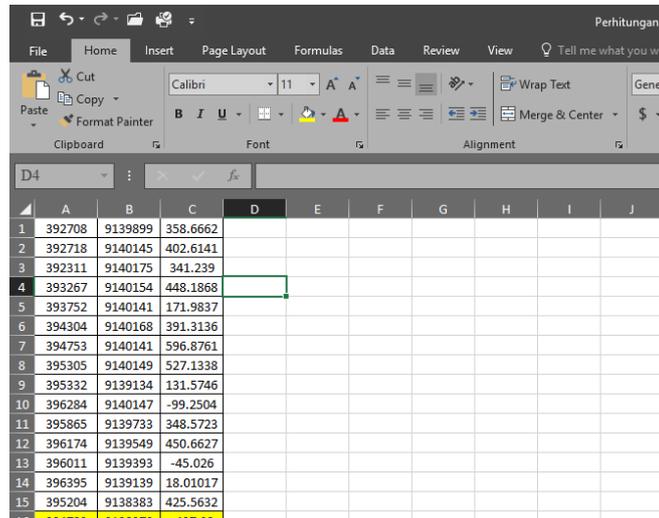


Gambar L18. Kontur anomali medan magnet.

4. Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub dilakukan pada aplikasi *Oasis Montaj 6.4* di mana dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

- a. Buka aplikasi *Oasis Montaj 6.4* → pilih menu *File* → pilih *Project* → *New* → kemudian simpan dengan nama *file* yang diinginkan.
- b. Buka aplikasi *Microsoft Excel* → buat data yang berisi koordinat X, Y, dan nilai anomali medan magnet seperti Gambar L19 → kemudian *save* dalam bentuk *.txt*.

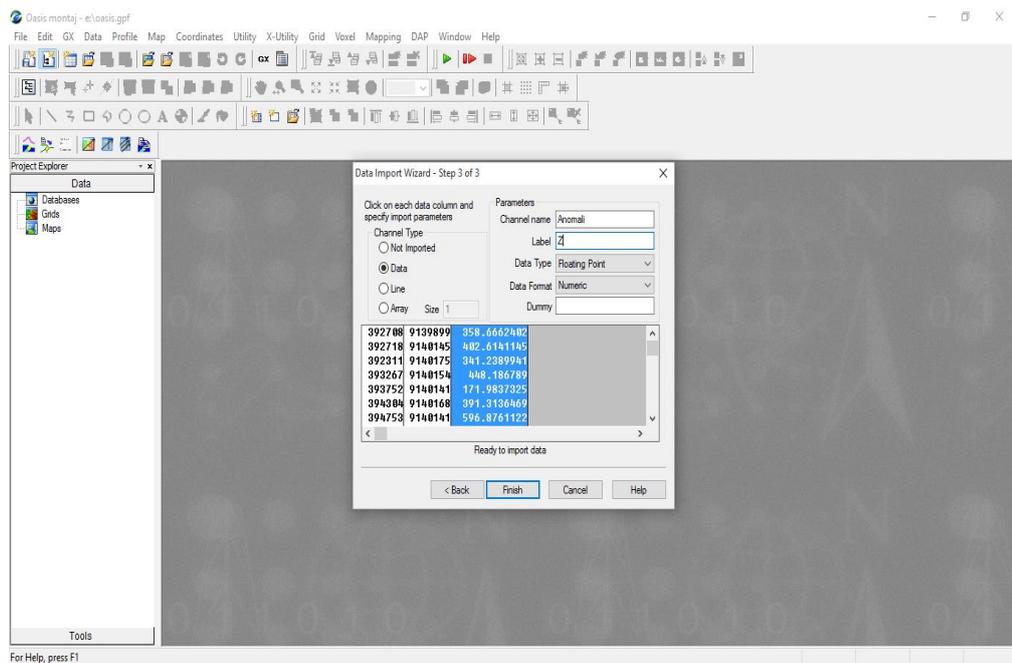


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	392708	9139899	358.6662							
2	392718	9140145	402.6141							
3	392311	9140175	341.239							
4	393267	9140154	448.1868							
5	393752	9140141	171.9837							
6	394304	9140168	391.3136							
7	394753	9140141	596.8761							
8	395305	9140149	527.1338							
9	395332	9139134	131.5746							
10	396284	9140147	-99.2504							
11	395865	9139733	348.5723							
12	396174	9139549	450.6627							
13	396011	9139393	-45.026							
14	396395	9139139	18.01017							
15	395204	9138383	425.5632							

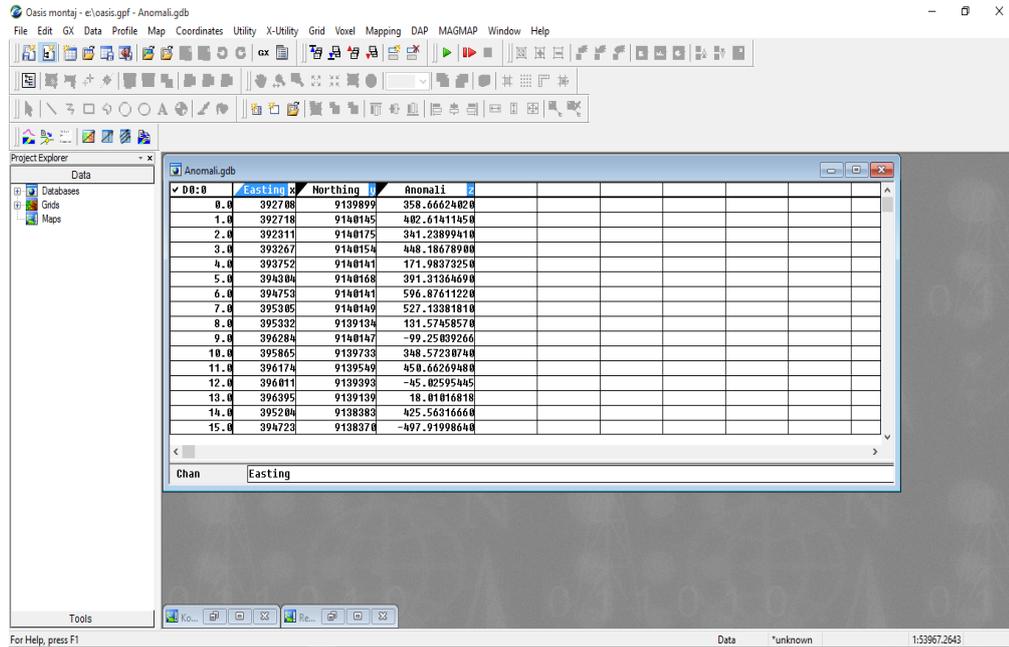
Gambar L19. Data anomali medan magnet pada *Microsoft Excel*.

- c. Buka kembali aplikasi *Oasis Montaj 6.4* → pilih menu *Data* → *Import* dan pilih *Ascii* dan pilih *file* yang sudah dibuat dalam bentuk *.txt* → klik *Wizard*. Kemudian keluar jendela yang berisi *step-step*. Pada *step 1* klik bagian *Delimited* → *step 2* pilih *Tab Delimited* kemudian pilih *next* → pada *step 3* pilih data dan isi pada bagian *Parameters* seperti Gambar L20. Lakukan dengan mengklik masing-masing bagian kolom dan tuliskan parameternya masing-masing. Untuk koordinat X diisikan *Easting* pada bagian *Channel*

name dan X pada bagian *label*. Untuk koordinat Y diisikan *Northing* pada bagian *Channel name* dan Y pada bagian *label*. Sedangkan untuk nilai anomali diisikan *Anomali* pada bagian *Channel name* dan Z pada bagian *label* → pilih *Yes* saat keluar kotak dialog *save the template* → kemudian isikan nama *file* yang diinginkan pada kolom *New database name* → kemudian pilih OK dan akan muncul tampilan seperti pada Gambar L21 → pilih menu *Coordinates* → *Change X,Y Coordinates* → pada bagian *current X* diisikan kolom *Easting*, *current Y* diisikan kolom *Northing*, dan pada *current Z* diisikan kolom *Anomali* → pilih OK.

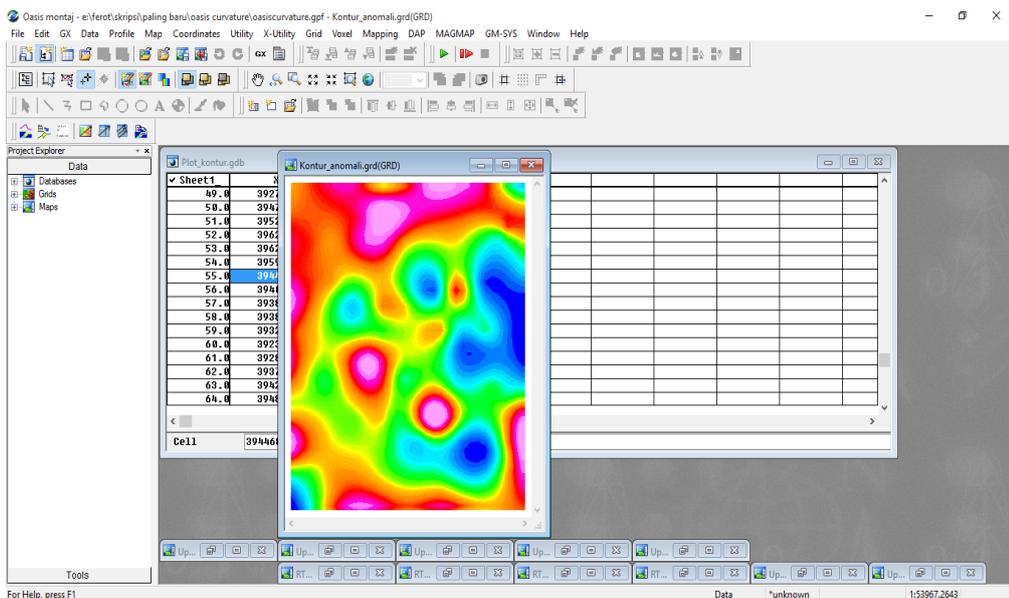


Gambar L20. Pengisian pada *data import wizard*.



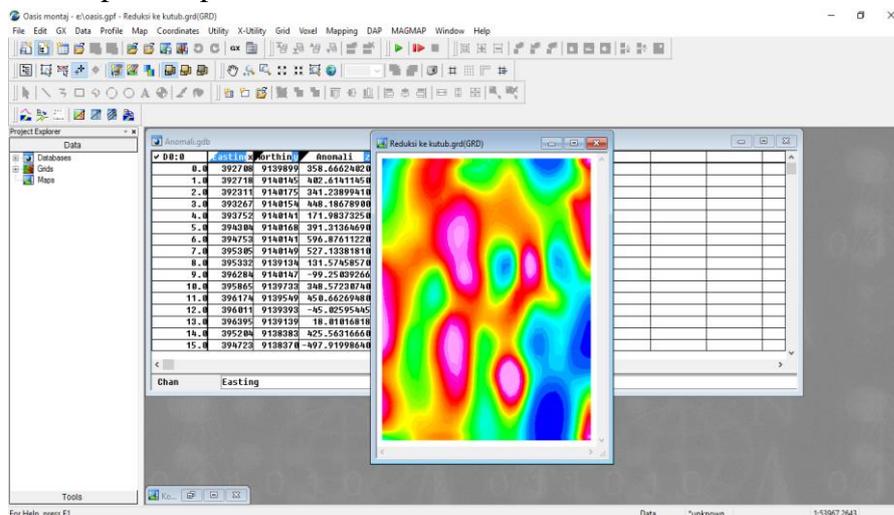
Gambar L21. Tampilan *database* pada aplikasi *Oasis Montaj 6.4*.

- d. Pilih menu *Grid* → *Gridding* → *Minimum Curvature* → kemudian pilih *Dialog Controls*. Pada *Channel to grid* pilih *Anomali*, dan pada *Name of new grid file* diisikan nama *file* yang akan disimpan → pilih *OK* dan akan muncul tampilan seperti pada Gambar L22.



Gambar L22. Kontur anomali medan magnet pada aplikasi *Oasis Montaj 6.4*.

- e. Sebelum melakukan reduksi ke kutub, terlebih dahulu ditampilkan salah satu menu yakni *MAGMAP* dengan cara pilih menu *GX* → *Load menu* → dan *open* pada menu *magmap.omn*.
- f. Pilih menu *MAGMAP* → kemudian pilih *MAGMAP 1- step filtering* → pada kolom *Name of input (original)grid file* diisi dengan kontur dari anomali medan magnet, pada kolom *Name of output (processed) grid file* diisi dengan nama untuk menyimpan file, dan pada kolom *Name of filter control file* dipilih *_ringrid.con* → kemudian klik pada *SetConFile* → pada kolom *First filter to apply* dipilih *Reduce to pole* kemudian OK lalu akan muncul kotak dialog → pada kolom *Geomagnetic inclination* diisi dengan rata-rata inklinasi pada daerah penelitian, pada kolom *Geomagnetic declination* diisi dengan rata-rata deklinasi pada daerah penelitian serta *Amplitude correction inclination* diisi secara *default* kemudian pilih OK → pilih bagian *SetExpand* dan isikan pada % *expansion* dengan angka 0 → pilih OK kemudian pilih OK lagi, maka akan muncul tampilan seperti Gambar L23.

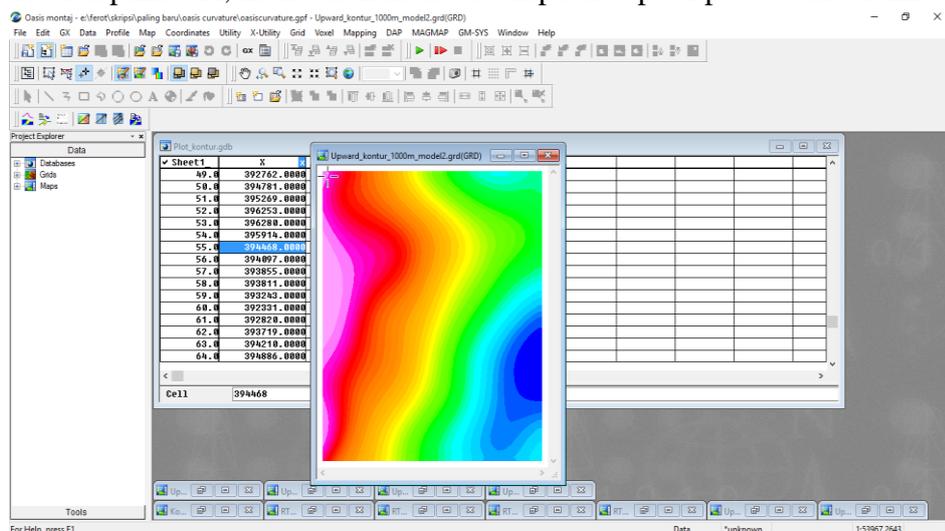


Gambar L23. Hasil dari reduksi ke kutub.

5. Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas dilakukan menggunakan aplikasi *Oasis Montaj 6.4*, di mana data yang digunakan sebagai *input* adalah data dari nilai anomali medan magnet yang sudah di reduksi ke kutub. Berikut beberapa langkah yang dilakukan untuk melakukan kontinuasi ke atas (*Upward Continuation*).

- a. Pilih menu *MAGMAP* → kemudian pilih *MAGMAP 1- step filtering* → pada kolom *Name of input (original) grid file* diisi dengan hasil dari reduksi ke kutub, pada kolom *Name of output (processed) grid file* diisi dengan nama untuk menyimpan file, dan pada kolom *Name of filter control file* dipilih *_ringrid.con* → kemudian klik pada *SetConFile* → pada kolom *First filter to apply* dipilih *Upward Continuation* kemudian OK.
- b. Pada kotak dialog *Distance to upward continuation (in ground units)* diisi dengan ketinggian yang diinginkan, proses kontinuasi ini biasanya dilakukan beberapa kali sampai terlihat pola regional dari anomali medan magnet → kemudian pilih OK, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar L24.



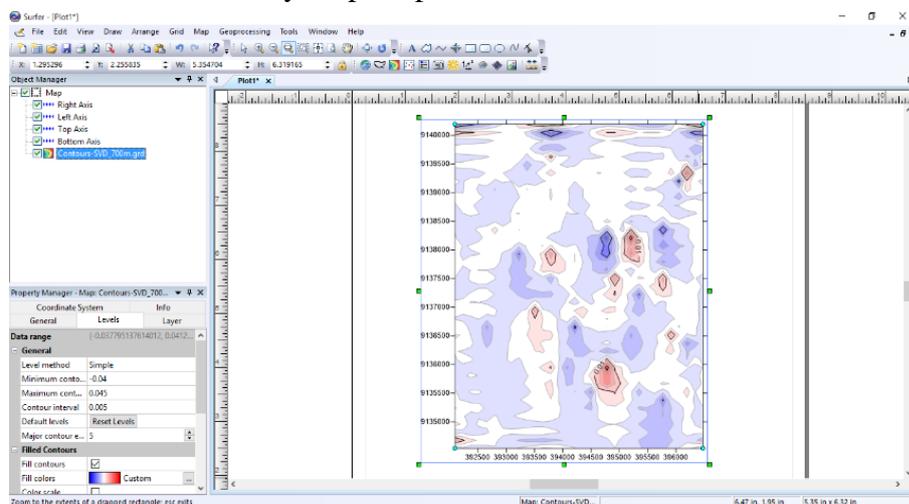
Gambar L24. Hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 1000 m.

6. *Second Vertical Derivatif*

Second Vertical Derivatif (SVD) ini merupakan analisis data anomali medan magnet yang dilakukan menggunakan aplikasi *Oasis Montaj 6.4* dengan *Surfer 12*. Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan tahapan ini adalah sebagai berikut.

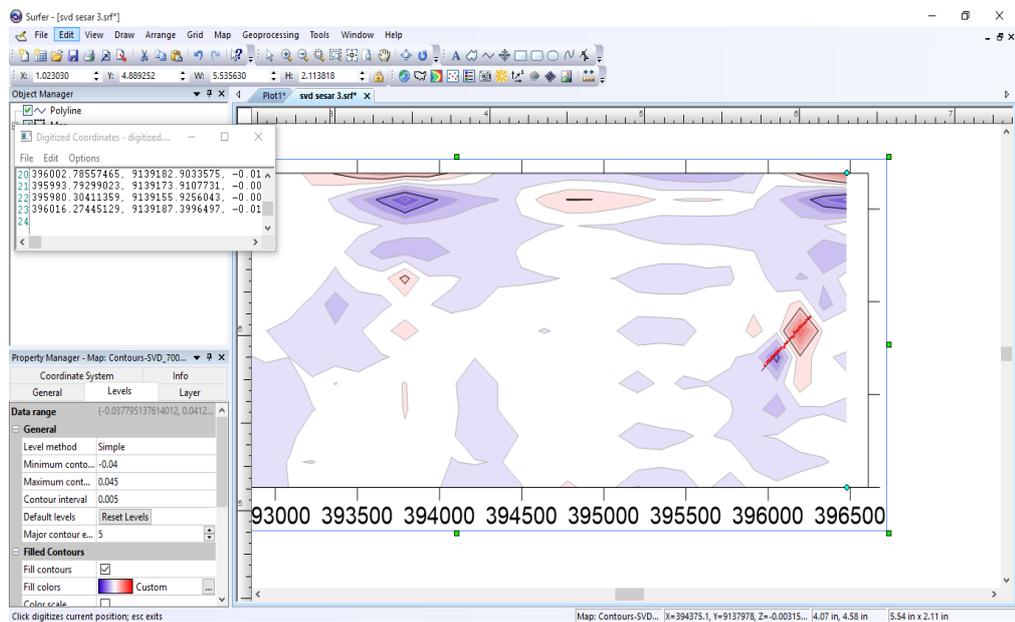
- a. Pilih menu *Grid* → klik sub menu *Expressions* → pilih *Substract Grids* → kemudian akan keluar kotak dialog. Pada *First Input Grid* diisi dengan *file* hasil reduksi ke kutub, pada kolom *Second Input Grid to Substract from First* diisi dengan *file* hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian tertentu, dan pada kolom *Output Difference Grid* diisi dengan nama *file* yang diinginkan dimana hasil tersebut merupakan anomali residual → kemudian pilih OK.
- b. Pilih menu *MAGMAP* → *Step by Step Filtering* → kemudian pilih *Prepare Grid* → untuk *Name of Input (Original) Grid File* diisi dengan *file* hasil dari langkah 6a. pada kolom *Name of Output (Pre-processed) Grid File* diisi dengan nama *file* yang diinginkan serta pada kolom selanjutnya diisi secara *default* → kemudian pilih *Start*.
- c. Pilih kembali menu *MAGMAP* → *Step by Step Filtering* → pilih *Forward FFT* → pada kotak dialog yang berisi kolom *Name of Input Pre-processed Grid File* diisi dengan *file* hasil langkah 6b → OK.
- d. Pilih menu *MAGMAP* → *Step by Step Filtering* → pilih *Define Filters* → kemudian akan muncul kotak dialog. Pada kolom *Control File Name* diisi dengan *magmap.con* → kemudian pilih OK → kemudian akan muncul kotak dialog. Pada *First Filter to Apply* diisi dengan *Derivative in Z- Direction* →

- pilih OK → setelah itu akan keluar kotak dialog dan isikan dengan angka 2 pada kolom *Order of Differentiation* → kemudian pilih OK.
- e. Pilih menu *MAGMAP* → *Step by Step Filtering* → *Apply Filter* → kemudian akan muncul kotak dialog di mana pada *Name of Input Transform (*_trn.grd)* *File* diisi dengan nama *file* yang sudah ditransformasikan. Pada *Name of Output Grid File* diisi dengan nama *file* yang diinginkan. Kolom *Name of Filter Control File* diisi dengan *magmap.con* serta pada kolom *Name of Reference (Original) Grid File* diisi dengan hasil dari langkah 6a → kemudian pilih OK lalu akan muncul kontur hasil dari *Second Vertical Derivative*.
- f. Buka aplikasi *Surfer 12* → *Map* → *New* → pilih *Contour Map* dan pilih file dalam bentuk *.grd* hasil dari langkah 6e atau yang berupa anomali residual → kemudian *Open* dan keluar kontur. Untuk mengubah warna dan *style* dilakukan cara → pilih dan klik bagian *Contour* pada *Object Manager* → pilih *Levels* → *Fill Contours* dan pilih warna sesuai keinginan. Agar lebih memudahkan, warna dibagi menjadi tiga bagian yakni bagian yang menunjukkan nilai tinggi, rendah, dan nilai di antara keduanya seperti pada Gambar L25.



Gambar L25. Pewarnaan kontur hasil SVD pada *Surfer 12*.

- g. Selanjutnya hubungkan kontur warna skala tinggi dengan skala rendah yang berdekatan dan dilewati dengan warna putih menggunakan *tools polyline* → pilih *Digitize* pada menu *Map* → kemudian membuat titik-titik *digitize* sesuai dengan garis yang sudah dibuat seperti pada Gambar L26. Garis-garis tersebut dibuat sebanyak adanya kontur warna yang sesuai.



Gambar L26. *Digitize* pada kontur hasil SVD.

- h. Nilai dari hasil *digitize* pergaris di *plot* pada *Microsoft Excel*. Langkah tersebut dilakukan dengan cara *Save As* titik hasil *digitize* dalam bentuk *.bln* → pilih menu *File* → *New* → pilih *Worksheet* → kemudian *open file* dalam bentuk *.bln* yang sudah dibuat sebelumnya → setelah itu, *copy* data tersebut dan *paste* pada lembar kerja *Microsoft Excel* → kemudian *plot* kolom ke 2 dan 3 di mana kolom 2 berisi jarak koordinat dalam meter dan kolom 3 berisi nilai anomali hasil SVD dalam nT seperti pada Gambar L27.



Gambar L27. Hasil *plot* hubungan antara jarak dengan anomali SVD.

7. Pemodelan 2D

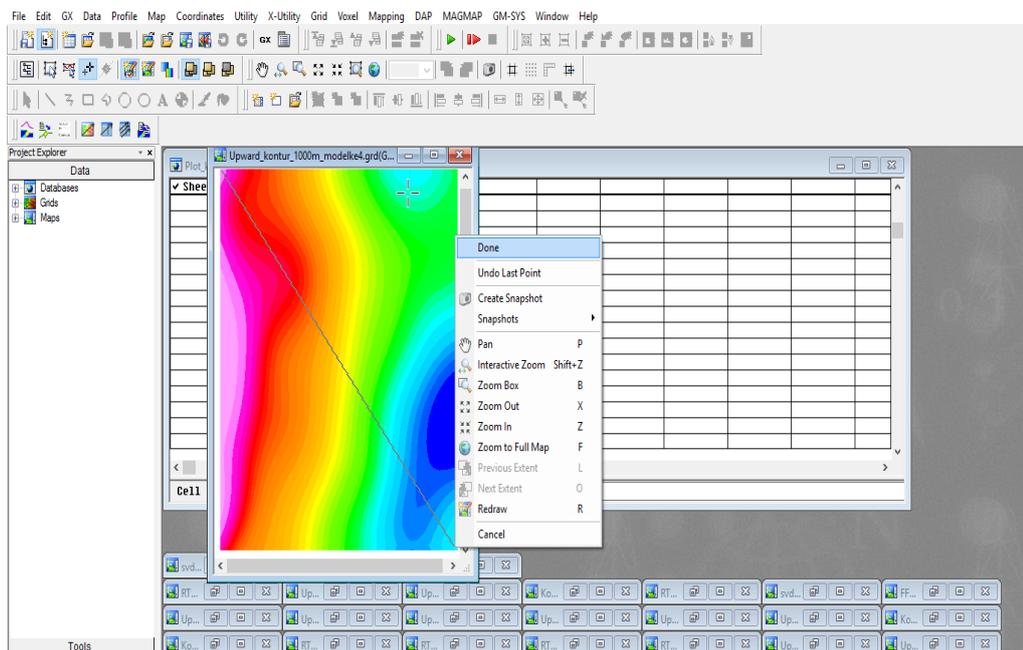
Pemodelan 2D dilakukan menggunakan aplikasi *Oasis Montaj 6.4*.

Kontur yang digunakan untuk pemodelan adalah kontur anomali regional atau kontur anomali yang sudah dilakukan kontinuasi ke atas dengan ketinggian tertentu. Pemodelan dilakukan menggunakan menu *GM-SYS* di mana untuk mengeluarkan menu tersebut dilakukan dengan cara sebagai berikut.

- a. Pilih menu *GX* → *Load Menu* → pada kotak dialog *load menu*, pilih *gmsys,omn* → kemudian pilih *Open* → kemudian menu pemodelan 2D berupa *GM-SYS* akan keluar pada barisan menu.
- b. Sebelum melakukan pemodelan, terlebih dahulu *file* hasil kontinuasi harus dalam keadaan terbuka. Kemudian pilih menu *GM-SYS* → *New Model* → pilih *from map profile* → maka akan keluar kotak dialog, di mana *Model Name* diisi dengan nama model yang diinginkan. Pada *magnetic grid* diisi dengan hasil

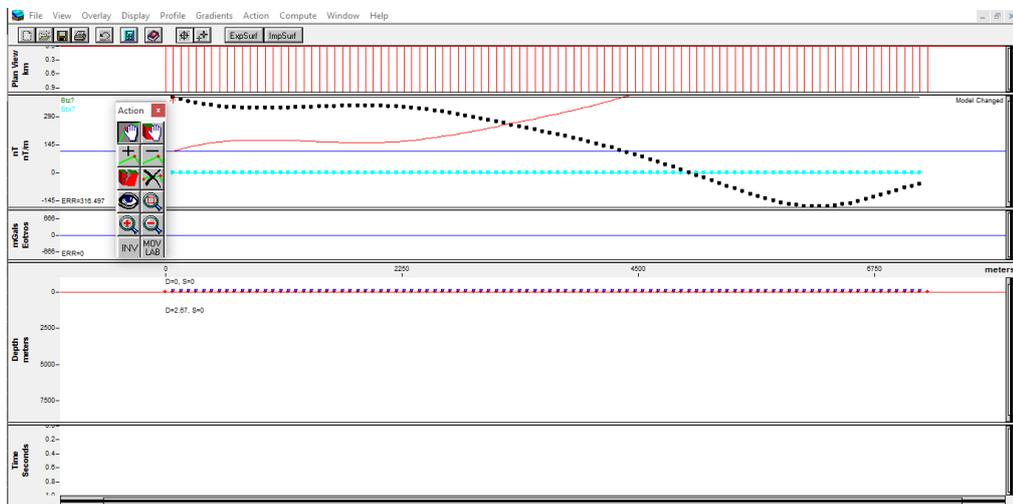
kontinuasi dengan ketinggian tertentu, *Number of points in profile* diisi sesuai kebutuhan serta kolom lainnya diisi secara *default* → kemudian klik *Finish* lalu tekan OK.

- c. Selanjutnya bagian kontur hasil kontinuasi disayat sesuai dengan kebutuhan → kemudian klik pada bagian awal titik sayatan → tarik kursor sampai jarak yang diinginkan kemudian klik satu kali → kemudian klik kanan dan pilih *Done* seperti pada Gambar L28 → kemudian klik *Done* pada kotak dialog selanjutnya → selanjutnya akan keluar jendela pemodelan → kemudian memasukkan nilai rata-rata IGRF pada kolom *Magnitude*, nilai rata-rata inklinasi pada kolom *Inclination*, dan nilai rata-rata deklinasi pada kolom *Declination* → kemudian OK.



Gambar L28. Sayatan pada anomali medan magnet hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 1000m.

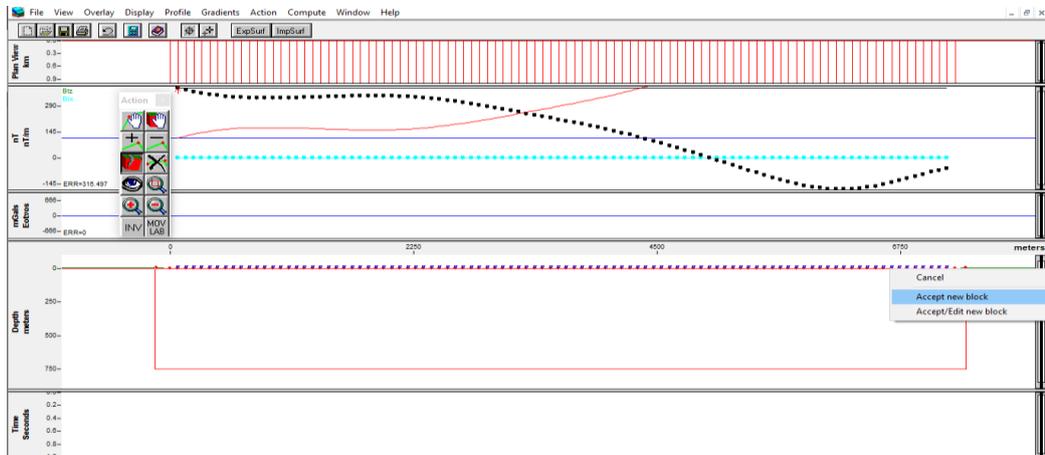
- d. Pada layar akan keluar tampilan awal lembar kerja untuk pemodelan yang berisi grafik *error*, ketinggian, dan data lain. Untuk mengubah kedalaman model, dapat dilakukan dengan cara klik kanan pada bagian *depth meters* → pilih *change range* → isikan kedalaman sesuai dengan kebutuhan kemudian pilih OK. *Action toolbox* biasanya sudah keluar dengan sendirinya. Apabila belum muncul, *Action toolbox* dapat dimunculkan dengan cara pilih menu *Display* → *Action toolbox*.



Gambar L29. Tampilan awal lembar kerja pemodelan.

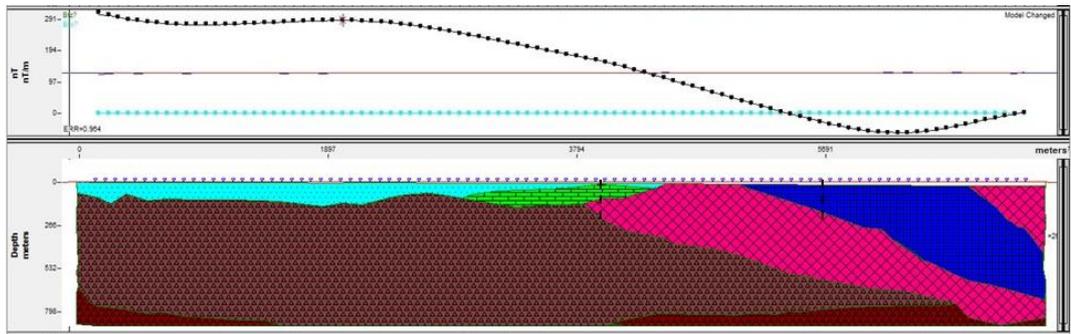
- e. Untuk mengganti satuan suseptibilitas dapat dilakukan dengan cara pilih menu *Display* → *Anomaly Units* → kemudian pilih *Use SI units*.
- f. Selanjutnya langkah pertama yang dilakukan yaitu membuat batas dengan cara *add point*  → kemudian tambah titik pada garis merah bagian kiri dan kanan → menghubungkan kedua titik tersebut dengan membuat luasan menggunakan *split block*  → klik pada titik pertama kemudian tarik ke bawah sampai kedalaman tertentu → tarik ke kanan dan hubungkan ke atas

dengan titik yang lain → setelah blok tertutup, maka akan keluar kotak dialog kemudian pilih *Accept block*.



Gambar L30. Tampilan pembuatan batas pemodelan.

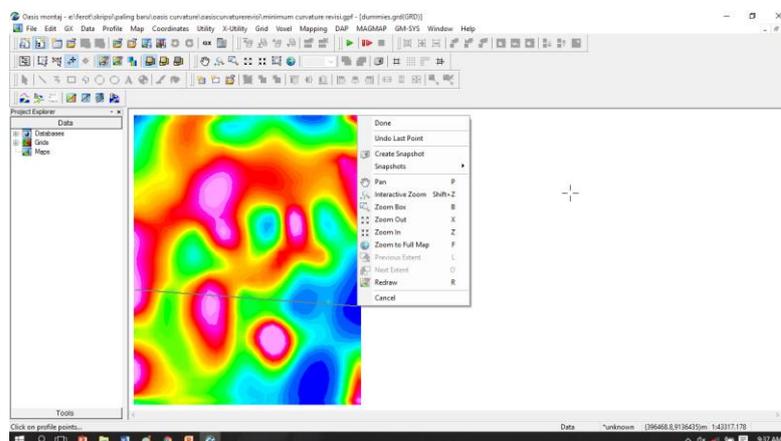
- g. Selanjutnya menambahkan blok dengan memberi titik-titik terlebih dahulu kemudian menghubungkannya dengan *split block*. Kemudian mengubah nilai susceptibilitas yang dilakukan menggunakan menu *Action* → kemudian pilih *Examine* atau dengan langsung klik  pada *Action toolbox* → klik pada blok yang akan diubah nilai susceptibilitasnya → klik bagian *Magnetic Sus* dengan mengeklik *A/C* → mengatur nilai susceptibilitas → kemudian memilih warna dan simbol yang sesuai dengan formasi atau material penyusunnya → lalu tekan *OK*. Langkah tersebut dilakukan hingga mendapatkan nilai dan model yang sesuai sehingga menghasilkan nilai *error* yang kecil.



Gambar L31. Tampilan pemodelan 2D menggunakan *Oasis Montaj 6.4*.

8. Pemodelan 3D

- A. Buka data berupa kontur hasil RTP pada aplikasi *Oasis Montaj* → pilih *new database* → beri nama *database* dengan nama yang diinginkan → pilih OK.
- B. Sebelum melakukan langkah selanjutnya, kontur RTP harus sudah terbuka pada jendela *Oasis Montaj* → kemudian pilih menu *Grid* → *Utilities* → *Grid profile* → klik OK pada kotak dialog yang muncul kemudian sayat kontur RTP dengan cara sebagai berikut:
 - 1) Klik kiri pada kontur hasil RTP → *drag* kursor sampai ke ujung di mana rentang nilai yang disayat mencakup nilai tertinggi dan terendah seperti pada Gambar L32 → kemudian klik kiri → klik kanan → *done*.



Gambar L32. Sayatan untuk pemodelan 3D.

- C. Masih dalam lembar kerja yang sama, klik menu *Utility* → *Make distance chanel* → OK dan akan muncul satu kolom lagi pada lembar *database* di mana nilai tersebut adalah *Dist.* atau *distance* yang menyatakan kedalaman.
- D. Simpan data dalam bentuk *.csv* yakni dengan klik menu *Data* → *Export* → kemudian pilih *others* dan *save*.
- E. Buka aplikasi *Surfer 12* → pilih *new worksheet* → buka simpanan data dari *Oasis Montaj* dalam bentuk *.csv* kemudian akan muncul empat kolom data seperti pada Gambar L33.
- F. Baris pertama yang berisi judul kolom dihapus → kemudian pindah kolom ketiga ke kolom keempat dan kolom keempat ke kolom ketiga.
- G. Simpan data seperti Gambar L33 dengan klik menu *File* → *Save as* → kemudian beri nama sesuai keinginan dalam bentuk *.DAT* → OK → OK → OK.

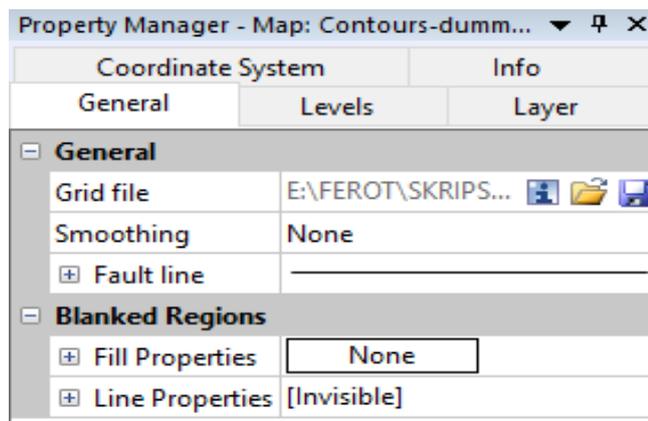
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	X	Y	G RTP	Dist											
2	392035.83	9136834.0	672.34167	0											
3	392060.82	9136833.2	650.58686	25.000000											
4	392085.81	9136832.6	628.78517	50											
5	392110.80	9136831.8	606.93663	75.000000											
6	392135.79	9136831.1	585.04121	100.00000											
7	392160.78	9136830.4	563.09893	125.00000											
8	392185.77	9136829.7	541.10979	150.00000											
9	392210.76	9136828.9	519.07378	175.00000											
10	392235.75	9136828.2	497.06971	200.00000											
11	392260.74	9136827.5	475.93280	225.00000											
12	392285.73	9136826.8	454.75378	250.00000											
13	392310.72	9136826.1	433.53266	275.00000											
14	392335.71	9136825.4	412.26941	300.00000											
15	392360.70	9136824.6	390.96406	325.00000											
16	392385.69	9136823.9	370.11806	350.00000											
17	392410.68	9136823.2	349.92729	375.00000											
18	392435.67	9136822.5	329.69870	400.00000											
19	392460.66	9136821.8	309.43230	425.00000											
20	392485.65	9136821.1	289.12808	450.00000											
21	392510.64	9136820.3	268.78606	475.00000											
22	392535.63	9136819.6	250.88366	500.00000											
23	392560.62	9136818.9	233.74263	525											
24	392585.60	9136818.2	216.57839	550.00000											
25	392610.59	9136817.5	199.39123	575											
26	392635.58	9136816.8	182.18106	600.00000											
27	392660.57	9136816.0	166.15917	625											
28	392685.56	9136815.3	161.20417	650.00000											

Gambar L33. Tampilan *open* data dari *Oasis Montaj* dalam bentuk *.csv*.

- H. Buka kembali aplikasi *Oasis Montaj* → pilih menu *Grid* → *x-utilities* → kemudian pilih *Grid file dummies* kemudian akan muncul kotak dialog. Pada

bagian *Input grid file* diisi dengan nama kontur hasil RTP. Beri nama *file* sesuai dengan keinginan pada kolom *Output filled grid file* → kemudian OK.

- I. Buka aplikasi *Surfer 12* → *new plot* → kemudian buka *file* hasil keluaran pada langkah H → pilih *intervals* pada *property manager* → beri centang pada *Fill contours* dan pilih tipe warna sesuai keinginan → kemudian centang pada *Color scale*.
- J. Klik pada kontur → pada menu *Property Manager* pilih *General* dan akan muncul tampilan seperti pada Gambar L34 → kemudian pilih *ico*  pada bagian *Grid file* → simpan dengan nama yang diinginkan dalam bentuk *.DAT* → buka *worksheet* pada aplikasi *Surfer 12* → open *file* yang baru saa disimpan dengan format *.DAT* kemudian *copy* kolom 1,2 dan 3.
- K. Pilih *icon*  → *copy* pada bagian *Grid geometry* kemudian *paste* pada lembar kerja *Excel* bersama dengan data hasil *copy* pada langkah J. Semua data x,y dan z dalam meter diubah menjadi km dengan cara membaginya dengan 1000, sehingga didapatkan hasil seperti pada Gambar L35.



Gambar L34. Tampilan menu *Property Manager*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	x (m)	y (m)	rtp	x (km)	y (km)		koord	min (m)	max (m)	spacing (m)	interval (m)	min(km)	max(km)	space(km)	interval (km)	
2	392092.31	9134534.4	75.0243988	392.0923123	9134.53443		X	392092.3	396477.2	141.4474	4384.870737	392.0923	396.47718	0.1414474	4.38487074	
3	392233.76	9134534.4	98.30878448	392.2337598	9134.53443											
4	392375.21	9134534.4	100.4930496	392.3752072	9134.53443		Y	9134534	9140192	141.4474	5657.897725	9134.534	9140.1923	0.1414474	5.65789772	
5	392516.66	9134534.4	116.0911065	392.5166547	9134.53443											
6	392658.1	9134534.4	143.2485046	392.6581021	9134.53443											
7	392799.56	9134534.4	167.7850647	392.7995496	9134.53443											
8	392941	9134534.4	177.6719818	392.940997	9134.53443											
9	393082.44	9134534.4	175.1900787	393.0824444	9134.53443											
10	393223.89	9134534.4	168.4542236	393.2238919	9134.53443											
11	393365.34	9134534.4	154.4781189	393.3653393	9134.53443											
12	393506.78	9134534.4	128.4906311	393.5067868	9134.53443											
13	393648.23	9134534.4	87.15323639	393.6482342	9134.53443											
14	393789.68	9134534.4	24.53846741	393.7896817	9134.53443											
15	393931.13	9134534.4	-47.83999252	393.9311291	9134.53443											
16	394072.58	9134534.4	-120.1399918	394.0725765	9134.53443											
17	394214.02	9134534.4	-176.7924652	394.214024	9134.53443											
18	394355.47	9134534.4	-207.726532	394.3554714	9134.53443											
19	394496.92	9134534.4	-214.8590088	394.4969189	9134.53443											
20	394638.37	9134534.4	-214.1354828	394.6383663	9134.53443											
21	394779.81	9134534.4	-222.9889832	394.7798138	9134.53443											
22	394921.26	9134534.4	-271.6523132	394.9212612	9134.53443											

Gambar L35. Tampilan data pada Excel.

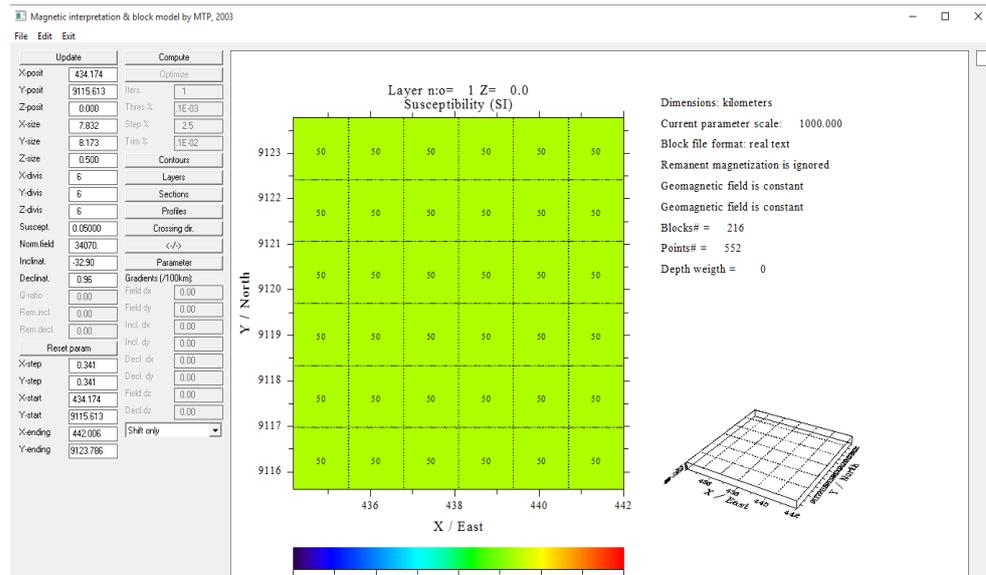
- L. Buka aplikasi *Magblox* dan pilih *cancel* pada kotak dialog yang muncul kemudian akan muncul tampilan seperti pada Gambar L36 → pada bagian kotak berisi *shift only* diubah menjadi *ignore* → kemudian masukkan data seperti di bawah ini pada lembar kerja *Magblox*.

X-posit : nilai minimum X Y-divis : sesuai kebutuhan
 Y-posit : nilai minimum Y Z-divis : sesuai kebutuhan
 Z-posit : 0 Suscept. : nilai rata-rata suseptibilitas
 X-size : nilai interval X Norm. Field : nilai rata-rata IGRF
 Y-size : nilai interval Y Inclinat. : nilai rata-rata inklinasi
 Z-size : nilai kedalaman Declinat. : nilai rata-rata deklinasi
 X-divis : sesuai kebutuhan

Catatan : untuk setiap pengisian satu data, jangan lupa klik *update*.

- M. Kemudian klik *Reset Param.* → isikan data seperti di bawah ini → setelah pengisian data selesai baru klik *update*.

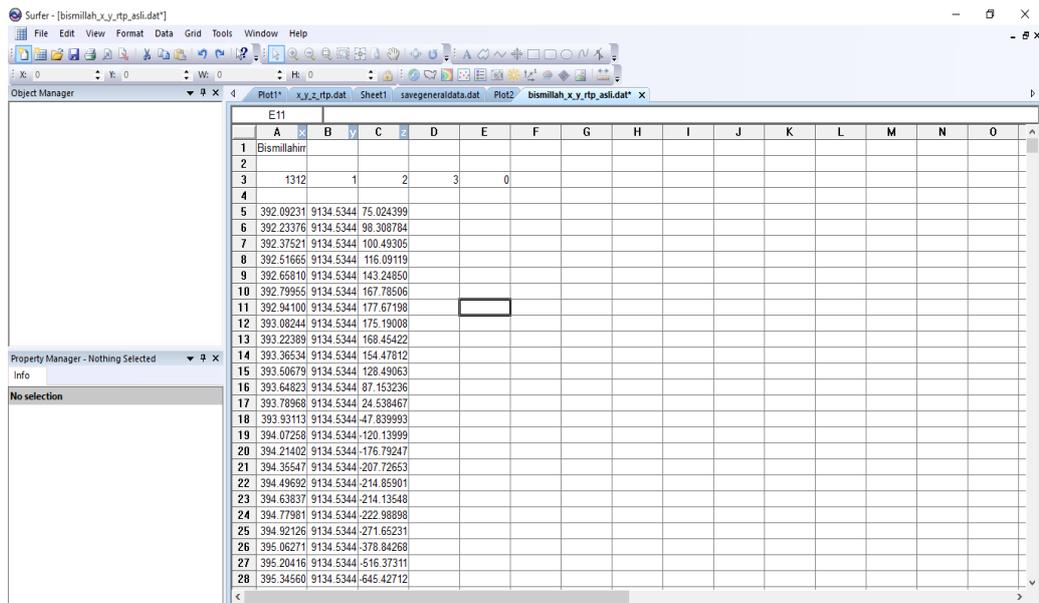
X-step : nilai *spacing* X Y-start : nilai minimum Y
 Y-step : nilai *spacing* Y X-ending : nilai maksimum X
 X-start : nilai minimum X Y-ending : nilai maksimum Y



Gambar L36. Tampilan awal aplikasi *Magblox*.

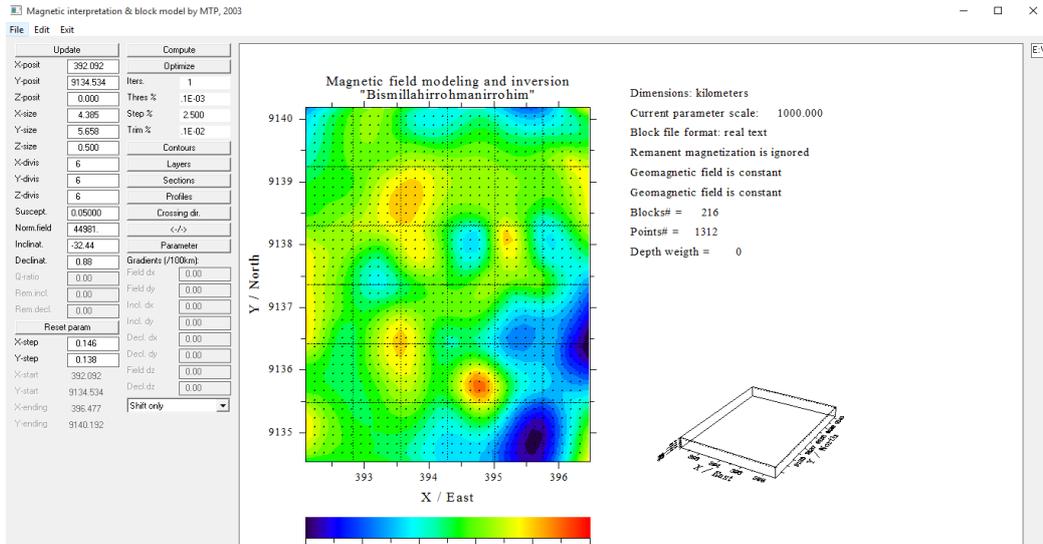
- N. Setelah selesai, pilih menu *Exit* dan pilih *Yes* pada kotak dialog yang muncul
 → *save* dengan nama yang sama dalam dua format yang berbeda yaitu *.inp* dan *.out* → OK.
- O. Buka aplikasi *Surfer* dan isikan data dengan cara sebagai berikut.
- 1) Baris pertama kolom pertama diisi dengan nama model yang diinginkan.
 - 2) Baris kedua dibiarkan kosong.
 - 3) Baris ketiga kolom pertama diisi dengan banyaknya baris data.
 - 4) Baris ketiga kolom kedua diisi dengan angka 1.
 - 5) Baris ketiga kolom ketiga diisi dengan angka 2.
 - 6) Baris ketiga kolom keempat diisi dengan angka 3.

- 7) Baris ketiga kolom kelima diisi dengan angka 0.
- 8) Baris keempat dibiarkan kosong.
- 9) Baris kelima dan selanjutnya diisi dengan nilai x,y dalam satuan km dan RTP yang di *copy* dari Gambar L35 → kemudian simpan dalam bentuk *.DAT*.

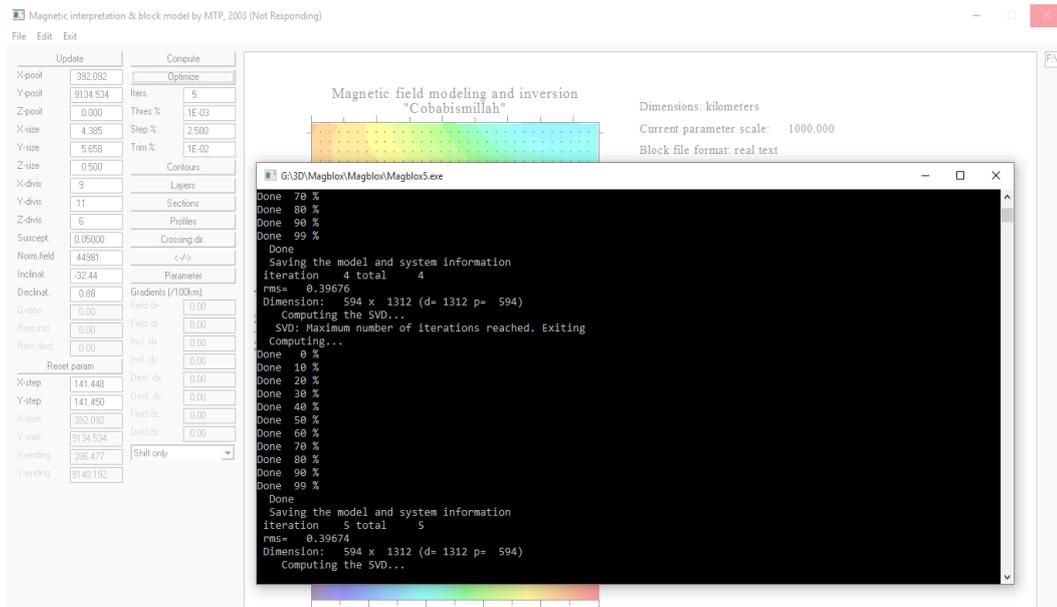


Gambar L37. Hasil pengisian data pada *worksheet Surfer 12*.

- P. Buka aplikasi *Magblox* → pilih menu *file* → *open model* dan buka data simpanan dalam bentuk *.inp* → OK → kemudian pilih menu *file* lagi → pilih *read data* → dan buka data dalam format *.DAT* hasil langkah O → OK kemudian akan muncul tampilan seperti pada Gambar L38.
- Q. ilih *compute* → isikan iterasi pada bagian *Iters*. Sesuai kebutuhan → kemudian klik *optimize* sehingga pada jendela lain akan terjadi proses iterasi seperti pada Gambar L39.



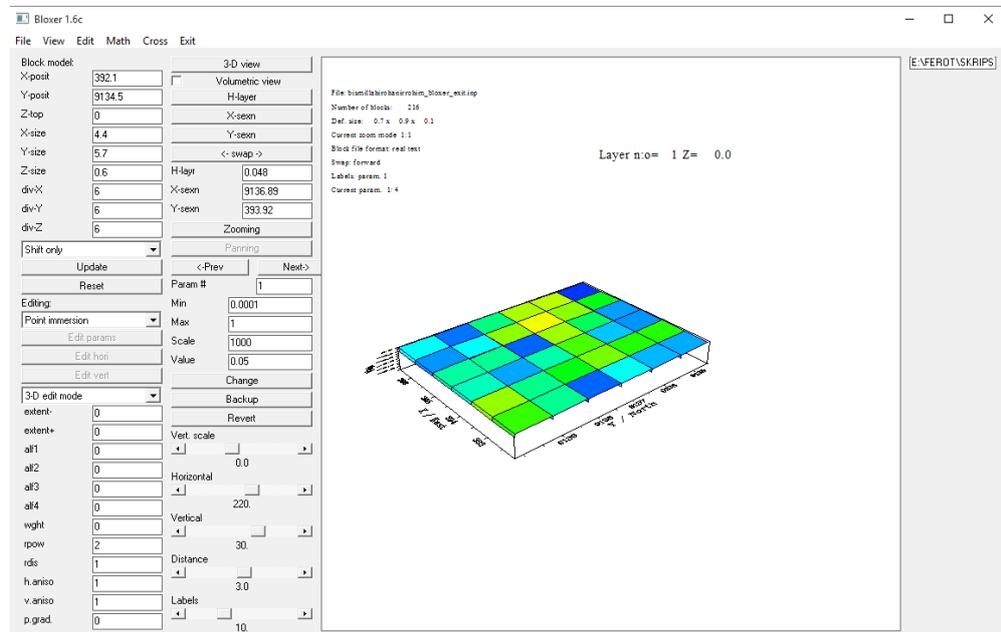
Gambar L38. Tampilan pada *Magblox* setelah di *read data*.



Gambar L39. Proses iterasi pada jendela *Magblox*.

- R. Pilih menu *Exit* → kemudian simpan dan klik OK.
- S. Buka aplikasi *Bloxer* → ubah tampilan dengan klik H-layer, X-sexn, Y-sexn → kemudian untuk mengubah data tiap *blox* dapat dilakukan dengan klik

Editing → *Edit single blox* → kemudian klik kiri pada *blox* yang akan diubah
kemudian klik kanan → setelah selesai klik *save as model* dalam bentuk *.inp*.



Gambar L40. Tampilan pada aplikasi *Bloxer*.

- T. Buka simpanan data dari *Bloxer* dalam format *.blx* pada aplikasi *Excel* → kemudian blok kolom pertama → klik *data* → *Text to columns* → kemudian pilih *Delimited* → *next* → kemudian pilih bagian yang ingin dipisahkan sesuai kebutuhan (dalam hal ini *space* → *next* → *finish* kemudian akan muncul tampilan seperti pada Gambar L41 → *copy* bagian x(m), y(m), z(m), dan susep.
- U. Buka aplikasi *Rockwork* → pilih *Utilities* kemudian akan muncul tampilan *worksheet* → ubah data pada bagian atas yang berisi *minimum*, *maximum*, *spacing* baik pada sumbu X, Y, dan Z sesuai data yang dimiliki → kemudian *paste* pada kolom 1 koordinat x, kolom 2 koordinat y, kolom 3 merupakan data ketinggian dan kolom 4 merupakan nilai suseptibilitas seperti pada Gambar L42.

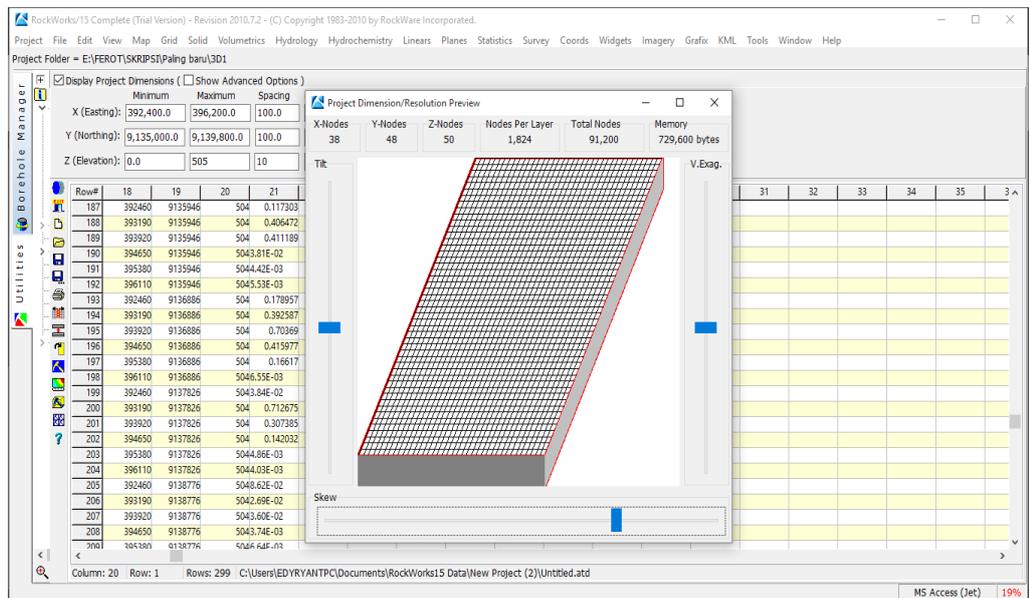
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1					x (km)	y (km)	x (m)	y (m)	z (m)	susep				
2		0.73	0.94	9.60E-02	392.46	9135.006	392460	9135006	0	1.48E-03	0.5	0	0	
3		0.73	0.94	9.60E-02	393.19	9135.006	393190	9135006	0	1.67E-02	0.5	0	0	0
4		0.73	0.94	9.60E-02	393.92	9135.006	393920	9135006	0	1.19E-03	0.5	0	0	0
5		0.73	0.94	9.60E-02	394.65	9135.006	394650	9135006	0	1.32E-03	0.5	0	0	0
6		0.73	0.94	9.60E-02	395.38	9135.006	395380	9135006	0	1.33E-02	0.5	0	0	0
7		0.73	0.94	9.60E-02	396.11	9135.006	396110	9135006	0	4.83E-04	0.5	0	0	0
8		0.73	0.94	9.60E-02	392.46	9135.946	392460	9135946	0	1.64E-03	0.5	0	0	0
9		0.73	0.94	9.60E-02	393.19	9135.946	393190	9135946	0	1.68E-02	0.5	0	0	0
10		0.73	0.94	9.60E-02	393.92	9135.946	393920	9135946	0	1.88E-03	0.5	0	0	0
11		0.73	0.94	9.60E-02	394.65	9135.946	394650	9135946	0	9.49E-03	0.5	0	0	0
12		0.73	0.94	9.60E-02	395.38	9135.946	395380	9135946	0	3.72E-02	0.5	0	0	0
13		0.73	0.94	9.60E-02	396.11	9135.946	396110	9135946	0	5.46E-02	0.5	0	0	0
14		0.73	0.94	9.60E-02	392.46	9136.886	392460	9136886	0	3.59E-03	0.5	0	0	0
15		0.73	0.94	9.60E-02	393.19	9136.886	393190	9136886	0	3.12E-02	0.5	0	0	0
16		0.73	0.94	9.60E-02	393.92	9136.886	393920	9136886	0	1.99E-02	0.5	0	0	0
17		0.73	0.94	9.60E-02	394.65	9136.886	394650	9136886	0	4.20E-02	0.5	0	0	0
18		0.73	0.94	9.60E-02	395.38	9136.886	395380	9136886	0	9.13E-02	0.5	0	0	0
19		0.73	0.94	9.60E-02	396.11	9136.886	396110	9136886	0	4.72E-02	0.5	0	0	0
20		0.73	0.94	9.60E-02	392.46	9137.826	392460	9137826	0	7.52E-04	0.5	0	0	0
21		0.73	0.94	9.60E-02	393.19	9137.826	393190	9137826	0	1.34E-02	0.5	0	0	0
22		0.73	0.94	9.60E-02	393.92	9137.826	393920	9137826	0	6.76E-03	0.5	0	0	0

Gambar L41. Tampilan data dari *Bloxer* di aplikasi *Excel*.

Row#	X	Y	Z	Value
187	392460	9135946	504	0.117303
188	393190	9135946	504	0.406472
189	393920	9135946	504	0.411189
190	394650	9135946	504	0.4381E-02
191	395380	9135946	504	0.4442E-03
192	396110	9135946	504	0.4553E-03
193	392460	9136886	504	0.178957
194	393190	9136886	504	0.392587
195	393920	9136886	504	0.70369
196	394650	9136886	504	0.415977
197	395380	9136886	504	0.16617
198	396110	9136886	504	0.4655E-03
199	392460	9137826	504	0.4384E-02
200	393190	9137826	504	0.712675
201	393920	9137826	504	0.307385
202	394650	9137826	504	0.142032
203	395380	9137826	504	0.4486E-03
204	396110	9137826	504	0.4403E-03
205	392460	9138776	504	0.4862E-02
206	393190	9138776	504	0.4269E-02
207	393920	9138776	504	0.5460E-02
208	394650	9138776	504	0.4374E-03
209	395380	9138776	504	0.4664E-03

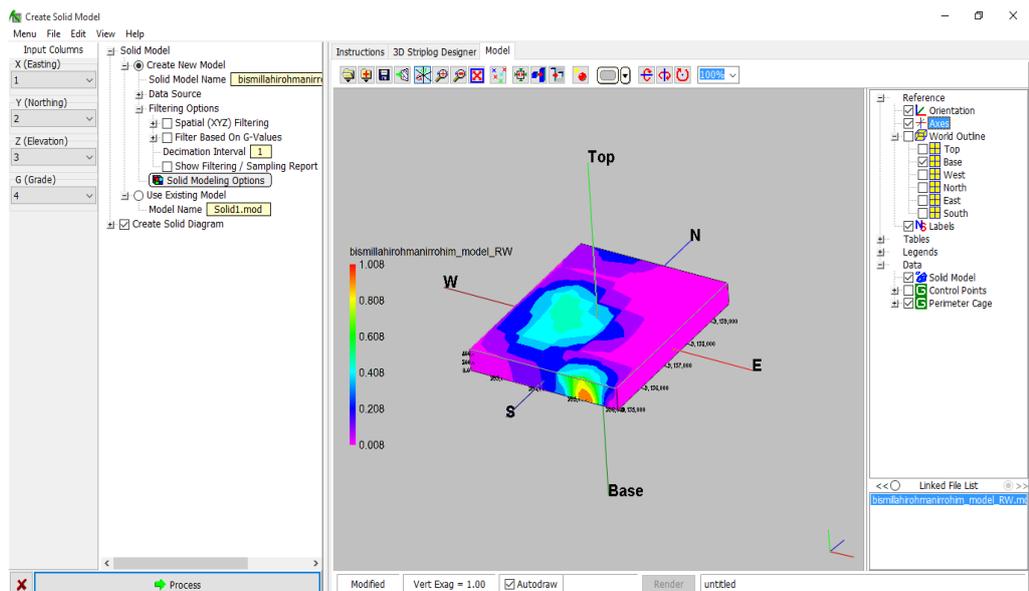
Gambar L42. Tampilan pada *worksheet Rockwork*.

V. Setelah itu pilih *Scan database* → pilih X,Y,Z dan klik *process* → setelah itu klik *Preview Dimensions* untuk mengetahui bentuk tampilan seperti pada Gambar L43.



Gambar L43. Tampilan *Preview Dimensions*.

W. Pilih menu *Solid* → *Models* → pilih bagian *Solid model* → *create new model* → kemudian beri nama sesuai keinginan → pilih *Solid modeling options* → pada bagian *invers distance (anisotropic)* → kemudian *process* → kemudian simpan model dalam format *.mod* sehingga muncul tampilan seperti pada Gambar L44.

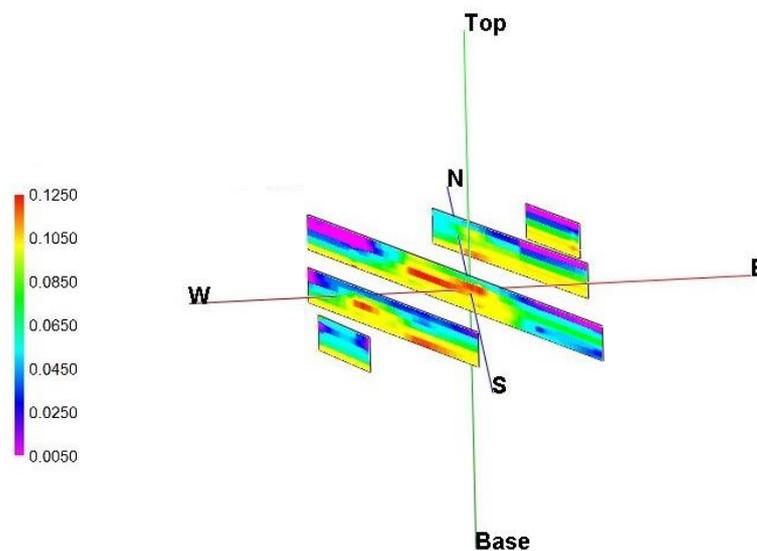


Gambar L44. Tampilan model 3D pada aplikasi *Rockwork*..

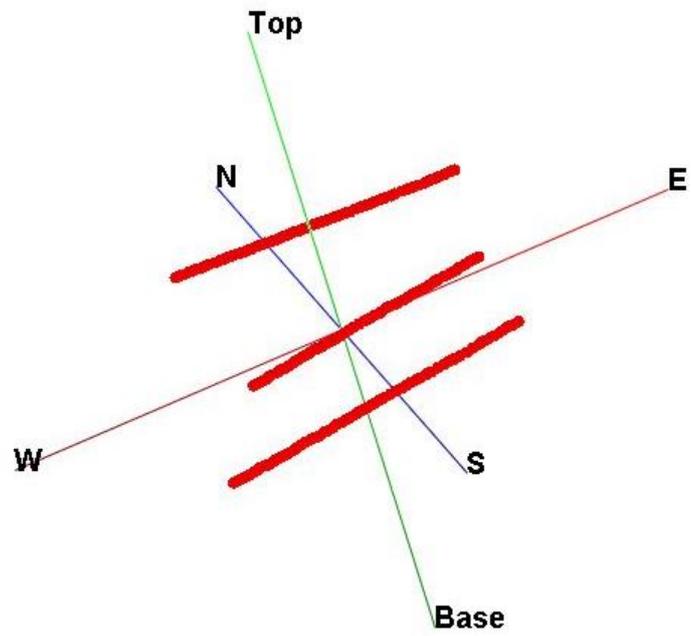
X. Untuk mem-*filter* nilai suseptibilitas yang diinginkan dilakukan dengan cara klik kiri dua kali pada bagian *Solid model*.

Y. Langkah selanjutnya yaitu membuat sayatan dengan cara klik *Solid* → *Fence* → kemudian buka model yang akan disayat pada menu *model name* → klik *Fence selection map* dan pilih bentuk sayatan sesuai kebutuhan pada *tools* di bagian kiri lembar kerja → kemudian klik *Process* kemudian akan muncul tampilan pada Gambar L45. Untuk meng-*overlay* dengan koordinat dugaan jalur sesar, dilakukan cara sebagai berikut.

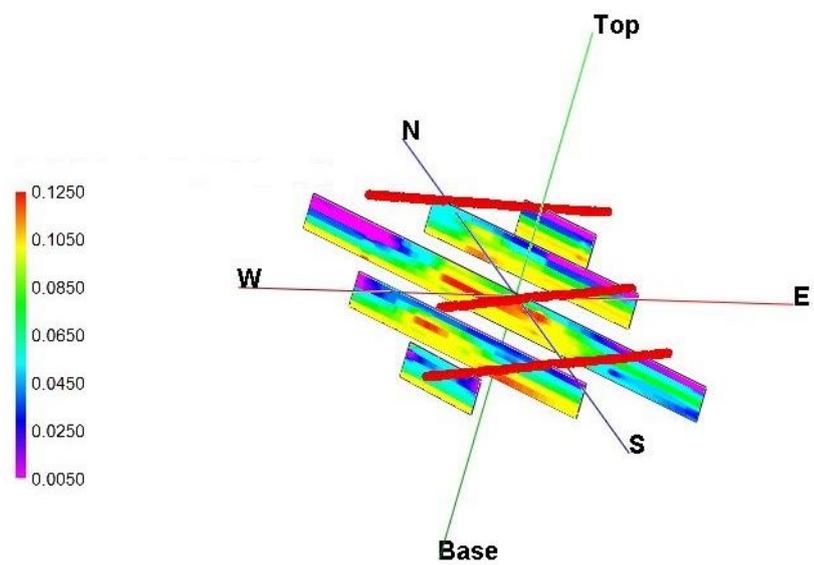
- 1) Pilih menu *File* → *New* kemudian isikan *database* dengan koordinat hasil *digitize* dugaan alur sesar serta isikan kolom z dengan 0 → kemudian pilih *Scan datasheet* → pilih *XYZ data* kemudian *Process*.
- 2) Pilih menu *Map* → *3D points* → kemudian *Process* dan keluar tampilan seperti pada Gambar L46.
- 3) *Close* lembar kerja kemudian buka hasil sayatan pada langkah Y → klik menu  → kemudian buka *file* hasil langkah Y-2) → *Process*.



Gambar L45. Tampilan sayatan.



Gambar L46. Tampilan koordinat dugaan jalur sesar.



Gambar L47. Tampilan hasil *overlay* sayatan dengan koordinat dugaan alur sesar.

Lampiran 5.

Persamaan Reduksi ke Kutub.

Metode transformasi yang digunakan untuk menyederhanakan interpretasi data magnet pada daerah berlintang rendah dan menengah dinamakan reduksi ke kutub. Proses ini dapat mengurangi satu tahapan kompleks dalam interpretasi, di mana anomali medan magnet dapat menunjukkan secara langsung posisi benda tersebut. Proses transformasi ini dilakukan dengan mengubah arah magnetisasi dan medan utama dalam arah vertikal. Persamaan yang menunjukkan hubungan antara medan potensial f dan distribusi sumber material s ditunjukkan pada persamaan (L1) (Blakely, 1996).

$$F(P) = \int_R s(Q)\psi(P, Q)dv \quad (L1)$$

dengan R adalah sumber material, P adalah titik observasi, Q adalah titik distribusi, dan $\psi(P, Q)$ adalah fungsi Green. Terdapat hubungan umum dalam domain Fourier antara anomali gravitasi atau anomali magnet yang diukur pada permukaan horizontal dan distribusi sumber penyebab yang terletak sepenuhnya di bawah permukaan. Diasumsikan bahwa lapangan diukur pada bidang horizontal pada ketinggian $z = z_0$ dan persamaan (L1) ditulis ulang dalam koordinat kartesian,

$$f(P) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s(x', y', z')\psi(x - x', y - y', z_0 - z')dx'dy'dz' \quad (L2)$$

Diasumsikan pada persamaan (L2) bahwa $s(x', y', z')$ adalah nol di luar dengan dimensi yang terbatas dan khususnya $z < z_0$. Penerapan transformasi Fourier untuk kedua sisi persamaan adalah sebagai berikut.

$$F[f] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s(x', y', z') F[\psi(x - x', y - y', z_0 - z')] dx' dy' dz' \quad (L3)$$

Pergeseran dari transformasi Fourier memungkinkan substitusi untuk fungsi *Green* pada persamaan sebelumnya bahwa:

$$F[\psi(x - x', y - y')] = F[\psi(x - x', y - y', z_0 - z')] dx' dy' dz' \quad (L4)$$

Untuk magnet, anomali f adalah anomali medan total ΔT , distribusi sumber s adalah magnetisasi M , dan ψ adalah medan dipol dengan transformasi Fourier diberikan oleh persamaan berikut,

$$F[\Delta T] = 2\pi C_m \boldsymbol{\theta}_m \boldsymbol{\theta}_f |\mathbf{k}| e^{|\mathbf{k}|(z_0 - z')}, \mathbf{z}' > \mathbf{z}_0 \quad (L5)$$

dengan

$$\boldsymbol{\theta}_m = \widehat{m}_z + i \frac{\widehat{m}_x k_x + \widehat{m}_y k_y}{|k|} \quad (L6)$$

$$\boldsymbol{\theta}_f = \widehat{f}_z + i \frac{\widehat{f}_x k_x + \widehat{f}_y k_y}{|k|} \quad (L7)$$

di mana C_m adalah konstanta, m adalah momen dipol, $\boldsymbol{\theta}_m$ adalah fungsi kompleks k_y dan k_x yang hanya tergantung pada orientasi dipol, f adalah medan sekitar dan $\boldsymbol{\theta}_f$ adalah fungsi kompleks k_x dan k_y yang hanya tergantung pada medan sekitar, sehingga persamaannya dituliskan menjadi seperti di bawah ini.

$$F[\Delta T] = 2\pi C_m \boldsymbol{\theta}_m \boldsymbol{\theta}_f |\mathbf{k}| e^{|\mathbf{k}|z_0} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} M(x', y', z') e^{-|\mathbf{k}|z_0} e^{-i(k_x x' + k_y y')} dx' dy' dz' \quad (L8)$$

Kemudian dari persamaan (L6) diubah ke bentuk transformasi Fourier 2D, dalam hal ini diambil terhadap x' dan y' , sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut.

$$F[\Delta T] = 2\pi C_m \Theta_m \Theta_f |k| e^{|k|z_0} \int_{z_0}^{\infty} \mathbf{F}[\mathbf{M}(\mathbf{z}')] e^{-|k|z'} d\mathbf{z}' \quad (\text{L9})$$

dengan $\mathbf{F}[\mathbf{M}(\mathbf{z}')]]$ adalah representasi transformasi Fourier 2D magnetisasi dalam satu sayatan horizontal pada kedalaman z' . Dalam kasus lain, hanya f dan m yang harus diubah dalam persamaan (L7). $M(x', y', z')$ tidak berubah dan menunjukkan arah baru magnetisasi dan medan sekitar sebagai $\hat{\mathbf{m}} = \hat{m}'_x, \hat{m}'_y, \hat{m}'_z$ dan $\hat{\mathbf{f}} = \hat{f}'_x, \hat{f}'_y, \hat{f}'_z$ sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut.

$$F[\Delta T_t] = 2\pi C_m \Theta'_m \Theta'_f |k| e^{|k|z_0} \int_{z_0}^{\infty} \mathbf{F}[\mathbf{M}(\mathbf{z}')] e^{-|k|z'} \quad (\text{L10})$$

dengan

$$\Theta'_m = m'_z + i \frac{m'_x k_x + m'_y k_y}{|k|} \quad (\text{L11})$$

$$\Theta'_f = f'_z + i \frac{f'_x k_x + f'_y k_y}{|k|} \quad (\text{L12})$$

Dengan mengkombinasikan persamaan (L9) dengan (L10) maka didapatkan rumusan sebagai berikut.

$$F[\Delta T_t] = F[\psi_t] F[\Delta T] \quad (\text{L13})$$

$$F[\psi_t] = \frac{\Theta'_m \Theta'_f}{\Theta_m \Theta_f} \quad (\text{L14})$$

dengan $F[\psi_t]$ adalah reduksi ke kutub, Θ_m adalah fungsi kompleks yang tergantung pada orientasi dipol, Θ_f adalah fungsi kompleks tergantung pada medan sekitar.

Lampiran 6.

Persamaan Kontinuasi ke Atas.

Kontinuasi ke atas dilakukan dengan mentransformasikan medan potensial yang diukur pada permukaan tertentu menuju ke medan potensial pada permukaan lain yang lebih jauh dari sumber. Dengan begitu, semakin pendek panjang gelombangnya maka semakin besar kontinuasinya. Konsep dasar dari transformasi ini berasal dari identitas ketiga Teorema *Green* di mana teorema ini menjelaskan bahwa apabila fungsi U bersifat harmonik, kontinyu, dan mempunyai turunan yang kontinyu di sepanjang daerah R (Gambar 6), maka dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (Blakely, 1996).

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \frac{1}{r} \right) dS \quad (\text{L15})$$

Persamaan L15 menjelaskan prinsip dasar dari kontinuasi ke atas, bahwa suatu medan potensial dapat dihitung pada setiap titik di dalam suatu daerah berdasarkan sifat medan magnet pada permukaan yang melingkupi daerah tersebut, dengan S menunjukkan permukaan R , n menunjukkan arah normal keluar, dan r adalah jarak dari titik P ke suatu titik permukaan S .

Dengan menggunakan koordinat kartesian, dengan sumbu z berarah ke bawah, diasumsikan bahwa suatu medan potensial diukur pada permukaan $z = z_0$ dan medan yang kita inginkan terletak pada suatu titik $P_{x,y,z_0-\Delta z}$ yang berada di atas permukaan tersebut, di mana $\Delta z > 0$. Gambar 6 merupakan gambar yang menyebutkan bahwa $z > z_0$, apabila a menjadi besar, maka integrasi pada

persamaan kontinuitas di seluruh *hemisphere* menjadi kecil. Dengan demikian, jika a mendekati tak hingga maka persamaan (L29) menjadi sebagai berikut.

$$U_{x,y,z_0-\Delta z} = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U_{x,y,z_0-\Delta z}}{\partial z} - U_{x,y,z_0-\Delta z} \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \right) dx' dy' \quad (\text{L16})$$

dengan $r = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z_0 - \Delta z - z')^2}$ dan $\Delta z > 0$. Oleh karena persamaan (L16) di atas sulit karena memerlukan nilai U pada permukaan dan nilai gradien vertikal U , maka perlu dilakukan eliminasi bagian pada persamaan di atas dengan identitas kedua *Green*.

$$\frac{1}{4\pi} \int_z \left[V \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial V}{\partial n} \right] dS = 0 \quad (\text{L17})$$

dengan substitusi persamaan (L17) ke persamaan (L15) maka dapat dituliskan menjadi berikut.

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_z \left[\left(V + \frac{1}{r} \right) \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \left(V + \frac{1}{r} \right) \right] dS \quad (\text{L18})$$

Untuk mengeliminasi bentuk pertama, V harmonik diperlukan sehingga $V + \frac{1}{r} = 0$ di setiap titik pada S . P' adalah cerminan dari P pada $x, y, z_0 + \Delta z$ dan diberikan $V + \frac{1}{\rho} = 0$, di mana:

$$\rho = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z_0 + \Delta z - z')^2} \quad (\text{L19})$$

V yang memenuhi $V + \frac{1}{r}$ akan hilang pada *hemisphere* saat a membesar dan V selalu harmonik karena ρ tidak akan pernah hilang. Maka persamaan (L18) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_z \left[\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right) \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right) \right] dS \quad (\text{L20})$$

Jika *hemisphere* menjadi besar, maka bagian pertama akan hilang di setiap titik pada S dan bagian kedua akan hilang kecuali pada permukaan horizontal.

$$U_{x,y,z_0-\Delta z} = -\frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U(x', y', z_0) \frac{\partial}{\partial z'} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right] dx' dy' \quad (\text{L21})$$

dengan membawa turunan dan mengeluarkan z' dari permukaan horizontal menuju ke persamaan (L22).

$$U_{x,y,z_0-\Delta z} = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2]^{\frac{3}{2}}} \frac{\partial}{\partial z'} dx' dy', \Delta z > 0 \quad (\text{L22})$$

Persamaan (L22) merupakan formulasi integral kontinuitas ke atas untuk menghitung harga medan di setiap titik pada suatu permukaan ke permukaan lain. Setiap titik permukaan yang baru, integral dua dimensi diselesaikan secara komputasi dengan cara membawa ke domain Fourier. Persamaan (L23) merupakan sebuah konvolusi dua dimensi.

$$U_{x,y,z_0-\Delta z} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U(x', y', z_0) \psi_u(x-x', y-y', \Delta z) dx' dy' \quad (\text{L23})$$

dengan

$$\psi_u(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi[(x-x')^2 + (y-y')^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (\text{L24})$$

Jika medan potensial U yang diukur pada permukaan $z = z_0$ memenuhi ketidaksamaan $\int_{-\infty}^{\infty} |f(x)| dx < 1$ maka persamaan (L23) memiliki transformasi Fourier $F[U]$. Representasi domain Fourier dari persamaan (L23) didapat dengan mengubah kedua sisi persamaan (L23) ke domain Fourier dan menerapkan teorema konvolusi Fourier.

$$F[U_u] = F[U]F[\psi_u] \quad (\text{L25})$$

dengan $F[U]$ adalah transformasi Fourier dari bidang kontinuasi ke atas dan $F[\psi_u]$ didapat dari persamaan (L24). Persamaan (L24) dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut.

$$\psi_u(x, y, \Delta z) = -\frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial \Delta z} \frac{1}{r} \quad (\text{L26})$$

dengan $r = \sqrt{x^2 + y^2 + \Delta z^2}$

dan

$$F\left[\frac{1}{r}\right] = 2\pi \frac{e^{|k|(-\Delta z)}}{|k|} \quad (\text{L27})$$

Substitusi persamaan (L27) ke (L26) dapat dituliskan menjadi persamaan di bawah ini.

$$F[\psi_u] = -\frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial \Delta z} F\left[\frac{1}{r}\right] \quad (\text{L28})$$

$$F[\psi_u] = -\frac{\partial}{\partial \Delta z} \frac{e^{|k|\Delta z}}{|k|} \quad (\text{L29})$$

$$F[\psi_u] = e^{-|k|\Delta z} \quad (\text{L30})$$

Lampiran 7.

Gyromagnetic Ratio.

Gyromagnet Ratio adalah perbandingan antara momentum magnet pada sebuah partikel dengan momentum sudutnya yang dirumuskan sebagai berikut.

$$G = \frac{m}{L} \quad (\text{L31})$$

dengan G adalah *gyromagnetic ratio*, m adalah momentum magnet, dan L adalah momentum sudut. Nilai *gyromagnetic rasio* dari proton adalah sebagai berikut.

$$G = 2,67522 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \text{ T}^{-1} \quad (\text{L32})$$

$$G = 2,67522 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ nT}^{-1} \quad (\text{L33})$$

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

$$f = \frac{m}{2\pi L} T \quad (\text{L34})$$

$$f = \frac{G}{2\pi} T \quad (\text{L35})$$

dengan f adalah frekuensi presesi proton dalam Hz, T adalah nilai medan magnet terukur dalam nT. Dengan demikian, maka nilai medan magnet dapat diketahui dari persamaan berikut.

$$T = \frac{2\pi}{G} f \quad (\text{L36})$$

$$T = \frac{2 \times 3.14}{2,67522 \times 10^{-1}} \times f \left(\text{s. nT.} \frac{1}{\text{s}} \right) \quad (\text{L37})$$

$$T = 23,487 f \text{ nT} \quad (\text{L38})$$

Lampiran 8.

Dokumentasi Pengambilan Data.



