

**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN SITUS
ARKEOLOGI BITING SEKITAR BLOK RANDU KERAJAAN
LAMAJANG BERDASARKAN METODE MAGNETIK
(Studi Kasus di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Kabupaten
Lumajang Jawa Timur)**

SKRIPSI

Oleh:
PUTRI RATNA PALUPI
NIM. 12640002



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2017**

**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN SITUS ARKEOLOGI
BITING SEKITAR BLOK RANDU KERAJAAN LAMAJANG
BERDASARKAN METODE MAGNETIK
(Studi Kasus di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Kabupaten
Lumajang Jawa Timur)**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**PUTRI RATNA PALUPI
NIM. 12640002**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN SITUS ARKEOLOGI
BITING SEKITAR BLOK RANDU KERAJAAN LAMAJANG
BERDASARKAN METODE MAGNETIK
(Studi Kasus di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang
Jawa Timur)**

SKRIPSI

Oleh:

PUTRI RATNA PALUPI

NIM. 12640002

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:

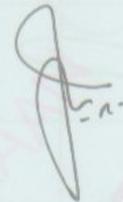
Tanggal : 16 Maret 2017

Pembimbing I,



Irjan, M.Si
NIP. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II,



Umayyatus Syarifah, M.A
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si

NIP. 19811119 200801 2 009

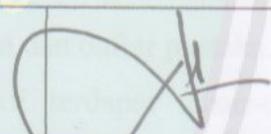
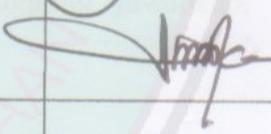
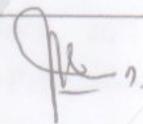
HALAMAN PENGESAHAN

PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN SITUS ARKEOLOGI
BITING SEKITAR BLOK RANDU KERAJAAN LAMAJANG
BERDASARKAN METODE MAGNETIK
(Studi Kasus di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang
Jawa Timur)

SKRIPSI

Oleh:
PUTRI RATNA PALUPI
NIM. 12640002

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 16 Maret 2017

Penguji Utama	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	: <u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji	: <u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	: <u>Umaiatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika




Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : PUTRI RATNA PALUPI
NIM : 12640002
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Situs Arkeologi Biting Sekitar Blok Randu Kerajaan Lamajang Berdasarkan Metode Magnetik (Studi Kasus di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang Jawa Timur)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur penjiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 16 Maret 2017

Yang Membuat Pernyataan,



Putri Ratna Palupi
NIM. 12640002

MOTTO

Berfikirlah Positif dan Selalu Bersyukur !!

“Kalau kita tidak bisa menemukan keadilan Tuhan, itu bukan karena Tuhan tidak adil, tapi karena limitasi pengetahuan kita untuk memahami keadilan Tuhan itu sendiri” –Sabrang MDP

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini ku persembahkan untuk Ibu Bapakku (*Amalia dan Marsono Harun*), Adikku (*Ayudia P.W. dan A. Hafidz A.*), dan Suamiku (*Moh. Abdur Rouf H.*).



KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutnya. Atas ridho dan kehendak Allah SWT, Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Situs Arkeologi Biting Sekitar Blok Randu Kerajaan Lamajang Berdasarkan Metode Magnetik (Studi Kasus di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang Jawa Timur)** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah banyak meluangkan waktu, nasehat dan inspirasinya sehingga dapat melancarkan dalam proses penulisan Skripsi.
4. Irjan, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan pikirannya dan memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

5. Umayyatus Syarifah, M.A selaku Dosen Pembimbing Integrasi, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Quran.
6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing, dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
7. Kedua orang tua Bapak Marsono Harun dan Ibu Amalia, dan semua keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
8. Teman-teman dan para sahabat terimakasih atas kebersamaan dan persahabatan serta pengalaman selama ini
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca *Amin Ya Rabbal Alamin*.

Wassalamu'alaikumWr. Wb.

Malang,

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Situs Biting	8
2.2 Sejarah Kerajaan Lamajang Tigang Juru	9
2.3 Geometri Situs Biting	15
2.3.1 Lokasi dan Peta Situs Biting	15
2.3.2 Tinjauan Geologi Situs Biting	16
2.4 Teori Gaya Medan Magnet	19
2.5 Fluks Magnetik	19
2.6 Medan Magnetik	20
2.7 Momen Magnet	20
2.8 Intensitas Magnetik	21
2.9 Teori Medan Magnet Bumi	21
2.10 Kutub Geomagnet	26
2.11 <i>The International Geomagnetic Reference Field (IGRF)</i>	28
2.12 Suseptibilitas Kemagnetan	30
2.13 Koreksi-koreksi Data Geomagnet	35
2.13.1 Koreksi Harian	35
2.13.2 Koreksi IGRF	35
2.14 Transformasi Medan	36
2.14.1 Reduksi Ke Kutub	36
2.14.2 Kontinuasi Ke Atas	37
2.14.3 Gradien Horisontal	38
2.14.4 Turunan Vertikal Kedua	39
2.14.5 Analisis Sinyal	39

2.15 Pandangan Alquran tentang Medan Magnet Bumi.....	40
BAB III METODE PENELITIAN.....	44
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	44
3.2 Data Penelitian	46
3.3 Instrumentasi.....	46
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	46
3.4.1 Pengambilan Data.....	47
3.4.2 Proses Pengolahan Data.....	47
3.5 Tahapan Interpretasi Data.....	50
3.6 Diagram Alur Penelitian.....	51
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN.....	52
4.1 Akuisisi Data.....	52
4.2 Pengolahan Data.....	52
4.3 Interpretasi Kualitatif.....	58
4.3.1 Anomali Magnetik Lokal.....	58
4.3.2 Kontinuasi Ke Atas.....	61
4.3.3 Reduksi ke Kutub	64
4.3.4 Gradien Horisontal.....	67
4.3.5 Turunan Vertikal Kedua.....	70
4.3.6 Analisis Sinyal.....	72
4.4 Interpretasi Kuantitatif.....	74
4.4.1 Lintasan A-B Tempat Pengintaian 1.....	76
4.4.2 Lintasan C-D Tempat Pengintaian 1.....	79
4.4.3 Lintasan A-B Tempat Pengintaian 2.....	81
4.4.4 Lintasan C-D Tempat Pengintaian 2.....	83
4.4.5 Lintasan E-F Tempat Pengintaian 2.....	85
BAB V PENUTUP.....	90
5.1 Simpulan.....	90
5.2 Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Dusun Biting Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang, tempat berdirinya Situs Biting	15
Gambar 2.2 Peta Situs Biting beserta pembagian Blok dan sebaran tempat pengintaian	16
Gambar 2.3 Peta Geologi lembar Lumajang.....	17
Gambar 2.4 Medan Magnet Bumi.....	22
Gambar 2.5 Pengaruh inklinasi benda	23
Gambar 2.6 (a) Deklinasi adalah besar sudut penyimpangan arah magnet terhadap arah utara-selatan geografis, (b) Inklinasi adalah besar sudut penyimpangan arah magnet terhadap arah horisontal	24
Gambar 2.7 Variabel magnetik: (F) adalah total intensitas, (H) adalah Horisontal Intensitas, (X) adalah <i>North Component</i> , (Y) adalah <i>East component</i> , (Z) adalah <i>Vertical Component</i> , (I) adalah Inklinasi Geomagnetik, (D) adalah Deklinasi Geomagnetik	28
Gambar 2.8 Medan Magnet Anomali.....	31
Gambar 2.9 Impuls anomali magnetik sebelum dan sesudah direduksi ke kutub.....	36
Gambar 3.1 Lokasi penelitian sekitar tempat pengintaian 1 Situs Arkeologi Biting	44
Gambar 3.2 Lokasi penelitian sekitar tempat pengintaian 2 Situs Arkeologi Biting	45
Gambar 3.3 Diagram alur penelitian.....	51
Gambar 4.1 (a) Kontur intensitas medan magnet total tempat pengintaian 1 dengan interval kontur 20 nT (b) Kontur intensitas medan magnet total tempat pengintaian 2 dengan interval kontur 20 nT.....	53
Gambar 4.2 Tampilan kalkulator IGRF di http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm dengan memasukkan nilai lintang, bujur, elevation, dan tanggal pengambilan data dan menekan <i>Calculate</i> langsung didapatkan nilai IGRF.....	56
Gambar 4.3 Tampilan nilai IGRF yang didapat dari perhitungan kalkulator IGRF (http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm).....	56
Gambar 4.4 (a) Kontur anomali magnetik total tempat pengintaian 1 dengan interval kontur 20 nT (b) Kontur anomali magnetik total tempat pengintaian 2 dengan interval kontur 20 nT.....	57
Gambar 4.5 Kontur anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 1 dengan interval kontur 20 nT.....	60
Gambar 4.6 Anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 2 dengan interval 20 nT.....	60
Gambar 4.7 Kontur reduksi ke kutub dari anomali magnetik total pada tempat pengintaian 1 dengan interval kontur 20nT.....	62
Gambar 4.8 Kontur tempat pengintaian 2 setelah di reduksi ke kutub dengan interval 50 nT	63
Gambar 4.9 Kontur anomali magnetik lokal dari hasil kontinuasi ke atas setinggi 90 m dengan interval kontur 10 nT	65

Gambar 4.10 Kontur anomali magnetik lokal hasil kontinuasi ke atas setinggi 150 m pada sekitar tempat pengintaian 2.....	66
Gambar 4.11 Kontur gradien horisontal dari anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 1 dengan interval 10 nT/m	68
Gambar 4.12 Kontur gradien horisontal dari anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 2 dengan interval 20 nT/m	69
Gambar 4.13 Kontur turunan vertikal kedua dari anomali magnetik lokal pada Tempat pengintaian 1 dengan interval kontur 50 nT/m ²	70
Gambar 4.14 Kontur turunan vertikal kedua dari anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 2 dengan interval kontur 50 nT/m ²	71
Gambar 4.15 kontur analisis sinyal dari anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 1 dengan interval 10 nT/m ³	73
Gambar 4.16 kontur analisis sinyal dari anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 2 dengan interval 10 nT/m ³	74
Gambar 4.17 Irisan penampang yang akan dimodelkan dari anomali residual tempat pengintaian 1.....	76
Gambar 4.18 Irisan penampang yang akan dimodelkan dari anomali residual tempat pengintaian 2	76
Gambar 4.19 Model penampang anomali magnetik lintasan A-B.....	78
Gambar 4.20 Model penampang anomali magnetik lintasan C-D.....	80
Gambar 4.21 Model penampang anomali magnetik lintasan A-B.....	82
Gambar 4.22 Model penampang anomali magnetik lintasan C-D.....	84
Gambar 4.23 Model penampang anomali magnetik lintasan E-F.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai suseptibilitas magnetik.....	34
Tabel 4.1 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ditemukan pada slice A-B	78
Tabel 4.2 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ditemukan pada slice C-D	80
Tabel 4.3 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ditemukan pada slice A-B	82
Tabel 4.4 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ditemukan pada slice C-D	84
Tabel 4.5 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ditemukan pada slice E-F	86



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Titik Pengukuran di Lapangan
- Lampiran 2 Data Hasil Pembacaan Alat
- Lampiran 3 Data Hasil Koreksi Harian dan IGRF
- Lampiran 4 Data Masukan untuk Sofwara *Surfer 12*
- Lampiran 5 Tahap Pengolahan Data
- Lampiran 6 Peta Geologi Lembar Lumajang
- Lampiran 7 Dokumentasi Penelitian



ABSTRAK

Palupi, Putri Ratna. 2017. **Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Situs Arkeologi Biting Sekitar Blok Randu Kerajaan Lamajang Berdasarkan Metode Magnetik (Studi Kasus Di Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang Jawa Timur)**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (I) Irjan, M.Si (II) Umayyatus Syarifah, M.A

Kata kunci: Situs Biting, Metode Magnetik, Anomali Magnetik, dan Struktur Bawah Permukaan

Situs Biting merupakan peninggalan sejarah Kerajaan Lamajang Tigang Juru yang berada di Dusun Biting Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang. Diduga di dalam Situs Biting terdapat benteng terbesar era Majapahit yang mengelilingi ibu kota kerajaan Lamajang. Survei Geomagnetik dilakukan untuk mengetahui struktur bawah permukaan Situs Biting khususnya di sekitar tempat pengintaian 1 & 2 Blok Randu. Akuisisi data menggunakan alat magnetometer jenis Proton Precession Magnetometer (PPM). Selanjutnya, pada tempat pengintaian 1 dan 2 dibuat *grid* tiap 2,5 m pada luas area berturut-turut 45 m x 35 m dan 50 m x 55 m. Pengolahan data diawali dengan koreksi IGRF dan koreksi harian untuk mendapatkan anomaly magnetik total. Selanjutnya dilakukan interpretasi secara kualitatif dan kuantitatif menggunakan software *Surfer 12*, *Magpick* dan *Mag2DC*. Dari hasil analisa kualitatif, pada daerah sekitar tempat pengintaian 1 terdapat anomali magnetik yang memanjang dari Tengah daerah penelitian hingga ke Barat Daya. Anomali ini berbentuk lurus hingga keluar daerah penelitian. Pada tempat pengintaian 2, anomali medan magnet lokal diperkirakan memanjang dari Barat Daya sampai Timur Laut daerah penelitian. Hasil analisa kuantitatif ditemukan batuan dengan nilai suseptibilitas negatif yang diduga sebagai batu bata penyusun bangunan benteng. Pada tempat pengintaian 1, batuan tersebut berada pada kedalaman sampai 3 m dan panjang 28 m. Sedangkan pada tempat pengintaian 2 berada pada kedalaman 2.8 meter dan panjang 70 meter.

ABSTRACT

Palupi, Ratna Putri. 2017. **Subsurface Structure Mapping Of Archaeological Biting Site Around The Block Randu Of The Lamajang Kingdom Based On Magnetic Method (Case Study In The Kutorenon Village Sukodono Subdistrict Lumjang Regency East Java)**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, the State Islamic University (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
Supervisor: (I) Irjan, M.Si (II) Umaiatus Syarifah, M.A

Keywords: Biting Site, Magnetic method, Magnetic Anomaly, and Subsurface Structures

The Biting site is a relic of the Lamajang Tigang Juru Kingdom located in the hamlet Biting Sukodono Subdistrict Lumajang. Allegedly, in the Biting site, there is the largest fort inherited Majapahit era around the capital of the Lamajang Kingdom. The geomagnetic survey was conducted to estimate the subsurface structure of Biting site around the bastion 1 and 2 of the block Randu. Data acquisition was used Proton Precession Magnetometer (PPM). Furthermore, the grid was measured in each 2.5 meters on the bastion 1 & 2 successively of 45 m x 35 m and 50 m x 55 m. Data processing was begun with IGRF correction then daily correction to obtain total magnetic field anomaly. In addition, qualitative and quantitative interpretation were used Surfer12, Magpick, and Mag2DC software. Based on qualitative interpretation, magnetic anomalies were found in the bastion 1 area extended from the middle of the studied area to the southwest. These anomalies formed a straight line and it might be out of the studied area. On the other side, In the bastion 2 was extended from the southwest to the northeast of the studied area. Furthermore, based on quantitative interpretation, it was obtained rocks with negative susceptibility values which interpreted as the bricks of the fort building. In the bastion 1, the rocks were at a depth of 3 meters and a length of 28 meters. While in the bastion 2 it was obtained in a depth of 2.8 meters and a length of 70 meters.

مستخلصالبحث

فلوبي، راتنا فوتري. ٢٠١٧. رسم الخرائط تحت السطحية فظن هيكل الموقع الأثري بيتينق حول الملكية لاماجانج راندو كتلة استناداً إلى الأسلوب المغناطيسي (دراسة حالة في كوتورينون القرية الفرعية لوماجانج، سوكدونو جوي شرقية) البحث. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الإسلامية الحكيمية مولانا مالك إبراهيم المشرف: (١) إيرجان الماجستير (٢) أمية الشريفة الماجستير.

الكلمات الرئيسية: الموقع بيتينق ، موقع الطريقة المغناطيسية ، الشذوذ المغناطيسي ، وهيكل تحت السطح

موقع تاريخ مترجم تيجانج لاماجانج عض المقيمين في قرية سوكدونو لوماجانج العض. يفترض أن هناك في موقع القلعة أكبر من عهد ماجاباهيت، الذي يحيط بعاصمة المملكة لاماجانج. المغنطيسية الأرضية دراسة استقصائية لمعرفة هيكل الموقع العض لا سيما حوالي تحت السطح منظر ١ و ٢ في كتلة راندو. الحصول على البيانات باستخدام نوع "Proton Procession Magnetometer" (PPM). يتم الحصول على البيانات عن طريق تحديث الشبكة كل ٢.٥ م على مجالين من البحوث التي تغطي ٦٥ م × ٣٥ م في المنطقة المحيطة منظر ١ و ٥٠ م × ٥٥ م في محيط منظر ٢ . من أجهزة قياس المغنطيسية. يبدأ تجهيز البيانات بالتصويبات والتصحيحات IGRF يوميا للحصول على الاختلافات المحلية. مزيدا من التفسير الكيفي والكمي استخدام البرمجيات ١٢ *Magpick* ، *Surfer* و *Mag2DC*. من نتائج التحليل النوعي للنتائج التي تم الحصول عليها، في المنطقة المحيطة منظر ١ هناك شذوذ مغناطيسي يمتد من مجالات البحوث الرئيسية في الجنوب الغربي، يتشكل هذا الوضع الشاذ لارسن وادعي أن يربط جنوب غربي للخروج من مجال البحث. في منظر ٢، يمتد الشذوذ الحقل المغناطيسي المحلي المقدر من الجنوب الغربي إلى المنطقة الشمالية الشرقية من البحوث. نتائج تحليلات كمية من الصخور بقيمة سوسيتييليتاس السلبية التلاعب المزعوم بالمباني الطوب من الحصن. منظر ١، تقع الصخور على عمق يصل إلى ٣ أمتار و ٢٣ مترا. بينما في منظر ٢ الحصول على نماذج مع روك تفسير من الطوب حتى على عمق ٢.٨ متر وطول يصل إلى ٧٠ مترا. هذا سبب العثور على النموذج كان هذا الاتصال بين منظر والقلعة.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Lumajang dikenal mempunyai peninggalan bersejarah yang luar biasa banyak, dimana hampir semua wilayah Kecamatan mempunyai situs-situs yang bersejarah misalnya Situs Biting, Situs Pra Sejarah di Kandangan (Kecamatan Senduro), Situs Watu Lumpang di Dusun Watu Lumpang, Kecamatan Gucialit, Candi Agung di Kecamatan Randu Agung, Situs Tegal Randu di Kecamatan Klakah, dan Situs Candi Gedong Putri di desa Klopo Sawit Kecamatan Candi Puro. Situs-situs ini sampai sekarang masih berserakan dan meminta perhatian lebih intens karena ancaman alam dan ulah tangan manusia.

Situs Biting adalah sebuah situs arkeologi yang terletak di Desa Kutorenon, Kecamatan Sukodono, Lumajang, Provinsi Jawa Timur. Situs ini diperkirakan merupakan peninggalan dari Kerajaan Lamajang dan tersebar di atas kawasan seluas 135 ha. Kawasan Situs Biting adalah sebuah kawasan ibu kota kerajaan Lamajang Tigang Juru yang dipimpin Prabu Arya Wiraraja yang dikelilingi oleh benteng pertahanan dengan tebal 6 meter, tinggi 10 meter dan panjang 10 km. Sayangnya, pada tahun 1995 di Kawasan Situs Biting mulai dibangun Perumnas Biting yang merusak peninggalan Sejarah (Situs) yang ada.

Kerajaan Lamajang Tigang Juru berdiri pada tahun 1293 M. Dalam Babad Negara Kertagama, kawasan ini disebut Arnon dan dalam perkembangan pada abad ke-17 disebut Renong dan dewasa ini masuk dalam desa Kutorenon yang dalam cerita rakyat identik dengan *ketonon* atau terbakar. Nama Biting sendiri

merujuk pada kosa kata Madura berarti Benteng karena daerah ini memang dikelilingi oleh benteng yang kokoh (wikipedia.com).

Geofisika adalah bagian dari ilmu bumi yang mempelajari bumi menggunakan kaidah atau prinsip-prinsip Fisika. Penelitian geofisika untuk mengetahui kondisi di bawah permukaan bumi melibatkan pengukuran di atas permukaan bumi dari parameter-parameter fisika yang dimiliki oleh batuan di dalam bumi. Parameter-parameter fisika yang digunakan adalah parameter mekanika yang meliputi metode seismik, gaya berat (*gravity*) dan geomagnetik. Dari pengukuran ini dapat ditafsirkan bagaimana sifat-sifat dan kondisi di bawah permukaan bumi baik secara vertikal maupun horisontal.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode geomagnetik. Metode geomagnetik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang sangat sukses untuk memetakan prospek-prospek arkeologi karena metode geomagnetik adalah teknik geofisika pasif yang tergantung pada kontras magnetik suatu benda dengan lingkungan sekitarnya. Faktor-faktor yang signifikan untuk investigasi situs-situs arkeologi adalah magnetisasi dan suseptibilitas magnetik suatu benda. Kebanyakan material arkeologi mengandung partikel magnetik yang akan menyebabkan anomali magnet sehingga bisa diperlakukan berbeda dengan lingkungan sekitarnya (Schmidt, 2009).

Di Situs Arkeologi Biting ini beberapa tempat pengintai masih nampak, diketahui bahwa benteng tersebut dibuat dengan batu bata. Hal ini membuktikan bahwa kaum terdahulu memiliki teknologi dan kemajuan yang tinggi. Beberapa ayat di dalam al-Quran juga menceritakan betapa majunya peradaban dan

teknologi yang telah dicapai oleh bangsa-bangsa pada masa lalu dan juga memaparkan tentang bagaimana akhir peradaban bangsa-bangsa berteknologi tinggi itu. Bekas-bekas peninggalan peradaban itu bahkan masih dapat kita lihat dan ditemui sampai saat ini. Seperti dijelaskan dalam surat al-Huud (11): 100:

ذٰلِكَ مِنْ اَنْبَاءِ الْقُرَىٰ نَقُصُّهُ عَلَيْكَ مِنْهَا قَائِمٌ وَحَصِيدٌ

“Itu adalah sebahagian dan berita-berita negeri (yang Telah dibinasakan) yang kami ceritakan kepadamu (Muhammad); di antara negeri-negeri itu ada yang masih kedapatan bekas-bekasnya dan ada (pula) yang Telah musnah”. (al-Huud (11): 100).

Kata *qooimun* yang arti harfiahnya adalah *orang yang berdiri* maknanya adalah sesuatu yang tersisa dari tempat semula. Sedangkan *hashid* adalah yang tiada berbekas sama sekali atau hancur (Katsir, 2003). Situs Arkeologi Biting ini merupakan salah satu bekas/peninggalan sejarah dari umat terdahulu, yaitu Kerajaan Lamajang Tigang Juru. Peninggalan kerajaaan Lamajang ini ada yang masih terdapat bekas/peninggalannya dan ada pula yang sudah musnah/hancur. Yang sudah musnah contohnya adalah benteng dan tempat pengintaian yang sebagian besar sudah tidak tampak di permukaan.

Sisa-sisa peradaban yang terdapat di Situs Arkeologi Biting ini salah satunya berupa tempat pengintaian. Dari pendugaan 6 buah pengintaian, hanya 2 pengintaian yang muncul di permukaan, yang lainnya masih terpendam. Situs ini diduga di dalamnya terdapat benteng, kerajaan dan pemandian, sehingga masih perlu dilakukan analisis dan pemetaan benteng yang masih terkubur oleh faktor alam seperti gunung meletus, banjir maupun longsor. Oleh karena situs ini berada di kaki Gunung Semeru, maka kemungkinan besar tertimbun oleh abu vulkanik

atau material gunung lainnya. Analisis dan pemetaan ini bisa dijadikan rujukan apabila akan diadakan penggalian. Penggalian benteng bisa meningkatkan perekonomian warga dengan dijadikannya sebagai tempat wisata yang mengandung cagar budaya.

Pembinaan dan pemeliharaan peninggalan budaya bangsa termasuk peninggalan-peninggalan arkeologi baik yang tampak maupun yang terpendam telah ada kebijakan yang mengatur. Salah satunya oleh Majelis Permusyawaratan Rakyat (MPR) melalui ketetapannya Nomor: IV/MPR/1978 tentang Garis-garis Besar Haluan Negara (GBHN), khususnya di bidang kebudayaan yang menyebutkan bahwa tradisi dan peninggalan sejarah yang mempunyai nilai perjuangan bangsa, kebanggaan dan kemanfaatan Nasional. Selain itu, pada Undang-undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2010 ayat (a), (b) dan (c) tentang Cagar Budaya, dalam peraturan pemerintah ini yang dimaksud, menimbang:

- a. Bahwa cagar budaya merupakan kekayaan budaya bangsa sebagai wujud pemikiran dan perilaku kehidupan manusia yang penting artinya bagi pemahaman dan pengembangan sejarah, ilmu pengetahuan, dan kebudayaan dalam kehidupan bermasyarakat, berbangsa dan bernegara sehingga perlu dilestarikan dan dikelola secara tepat melalui upaya perlindungan, pengembangan dan pemanfaatan dalam rangka memajukan kebudayaan nasional untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat;
- b. Bahwa untuk melestarikan cagar budaya, negara bertanggung jawab dalam pengaturan perlindungan, pengembangan dan pemanfaatan cagar budaya;

- c. Bahwa cagar budaya berupa benda, bangunan, struktur, situs dan kawasan perlu dikelola oleh pemerintah dan pemerintah daerah dengan meningkatkan peran serta masyarakat untuk melindungi, mengembangkan, dan memanfaatkan cagar budaya.

Penelitian ini, diharapkan turut menjaga dan melestarikan cagar budaya Indonesia yang berupa sisa-sisa arkeologi dari Situs Arkeologi Biting seperti yang tertera dalam Undang-Undang Republik Indonesia.

Survei dengan metode magnetik untuk keperluan kepurbakalaan pernah dilakukan oleh Sismanto dan Nigers Ferdinand Nau (2007) di Candi Palgading, Sinduharjo, Ngaglik, Sleman Yogyakarta. Penelitian ini bermaksud mencari sebaran batuan-batuan penyusun Candi Palgading yang sekarang tersebar dan terpendam di sekitar Situs Palgading. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa batuan terpendam berada pada kedalaman 3,7 m, 4 m dan 3 m. Rusli (2011) melakukan penelitian di Situs Arkeologi Candi Jabung Probolinggo Jawa Timur, penelitian ini mendapat hasil bahwa terdapat cor sebagai penguat candi, bilik candi, perwara Candi Jabung, dan tempat para biksu. Novi Dwi Ariani (2012) melakukan penelitian di Candi Losari, Kabupaten Magelang Jawa Tengah. Dari penelitian menunjukkan bahwa posisi anomali terletak di barat daya, tenggara dan timur laut. Lailatul Khusnah (2014) melakukan penelitian di Situs Arkeologi Candi Penataran Blitar dan didapatkan hasil bahwa pondasi candi dan Prasasti Palah berada pada kedalaman pondasi 2,5 m, dan dugaan candi yang terpendam pada kedalaman 2,5 m.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana posisi dan kedalaman Benteng di sekitar tempat pengintaian Blok Randu di Situs Arkeologi Biting berdasarkan pola anomali/kontur medan magnet bawah permukaan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui posisi dan kedalaman Benteng di sekitar tempat pengintaian Blok Randu di Situs Arkeologi Biting berdasarkan pola anomali/kontur medan magnet bawah permukaan.

1.4 Batasan Masalah

1. Area cakupan penelitian berada di sekitar tempat pengintaian Blok Randu di Situs Arkeologi Biting Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang Jawa Timur yang terletak pada koordinat -8.078088 LS dan 113.231762 BT (tempat pengintaian 1) serta -8.081555 LS dan 113.237940 BT (tempat pengintaian 2).
2. Untuk memetakan pondasi benteng yang diduga masih tersembunyi (tidak tampak di permukaan)
3. Untuk memetakan sebaran benteng situs Arkeologi Biting menggunakan software mag2DC dan memetakan kontur menggunakan surfer12

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain untuk memberikan informasi tentang keberadaan benteng yang terpendam pada Situs Arkeologi Biting agar dapat dilakukan langkah ekskavasi terkait pelestarian situs arkeologi dan dilindungi

sesuai dengan Undang-undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya dan Tap MPR Nomor: IV/MPR/1978 tentang Garis-garis Besar Haluan Negara (GBHN), khususnya di bidang kebudayaan.



BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Situs Biting

Situs Biting adalah sebuah situs arkeologis yang terletak di Dusun Biting, Desa Kutorenon, Kecamatan Sukodono, Lumajang, Jawa Timur. Kawasan ini adalah sebuah kawasan ibu kota Kerajaan Lamajang Tigang Juru yang dipimpin Prabu Arya Wiraraja yang dikelilingi oleh benteng pertahanan dengan tebal 6 meter, tinggi 10 meter dan panjang 10 km. Hasil penelitian Balai Arkeologi Yogyakarta tahun 1982-1991, kawasan Situs Biting memiliki luas 135 ha yang mencakup 6 blok/area merupakan Blok Keraton seluas 76,5 ha, Blok Jeding 5 ha, Blok Biting 10,5 ha, Blok Randu 14,2 ha, Blok Salak 16 ha, dan Blok Duren 12,8 ha. Dalam Babad Negara Kertagama, kawasan ini disebut Arnon dan dalam perkembangan pada abad ke-17 disebut Renong dan dewasa ini masuk dalam Desa Kutorenon yang dalam cerita rakyat identik dengan *ketonon* atau terbakar. Nama Biting sendiri merujuk pada kosa kata Madura berarti benteng karena daerah ini memang dikelilingi oleh benteng yang kokoh (wikipedia.com).

Catatan sejarah yang ada, belum ada benteng seluas itu yang ditemukan di zaman Majapahit. Jika ada benteng yang ditemukan luasnya lebih dari itu, rata-rata berada di era kolonial. Di Benteng Biting ini terdapat lima tempat pengintaian sebagai tempat untuk mengintai musuh di luar benteng. Tempat pengintaian ini berada di gerbang utama, dinding benteng sebelah barat dan timur kemudian utara dan selatan. Beberapa area Situs Biting saat ini berdiri di lahan milik warga dan Perhutani. Bahkan, ketika menggali tempat yang diduga menjadi pintu utama

Benteng berada di perumahan milik warga. Situs kuno Kerajaan Lumajang ini terancam rusak. Karena beberapa lahan digunakan oleh pengembang sebagai perumahan. Jarak antara bangunan perumahan dengan situs kerajaan bersejarah ini hanya 40 meter (okezone.com).

Konsep tata letak Benteng ini dibangun di atas sungai sebagai pertahanan Kerajaan Lamajang Tigang Juru. Ada berapa temuan benda-benda bersejarah saat penggalian. Masing-masing penggalian menemukan benda yang berbeda-beda. Misalnya, di sebelah barat tempat pengintaian banyak ditemukan gerabah, gentong dan lain-lain. Kemudian di sebelah utara banyak ditemukan senjata-senjata seperti *cundrik*, keris, dan tombak. Di sebelah selatan ada semacam taman sari karena terlihat masih keluar air dan ada penataan batu bata yang mirip dengan lantai. Ada pula penemuan umpak untuk tiang rumah dan *cungkup* serta tempat air yang mirip dengan ukiran dari Bali (okezone.com).

2.2 Sejarah Kerajaan Lamajang Tigang Juru

Lumajang merupakan daerah yang terletak di kawasan tapal kuda di Provinsi Jawa Timur. Letak Lumajang diapit oleh tiga gunung yakni, Gunung Semeru, Gunung Lamongan, dan Gunung Bromo. Karena itu daerah di Lumajang sangatlah subur. Lumajang adalah daerah yang sudah dikenal sejak zaman Kerajaan Daha pada masa pemerintahan Wisnuwardhana. Pada prasasti Mula Malurung yang dibuat oleh Raja Singosari (Tumapel), Sminingrat atau Wisnuwardhana, ditemukan di kediri padan tahun 1975 dan dalam prasasti itu bertuliskan angka tahun 1177 (1255 Masehi). Di prasasti itu disebutkan

Sminingrat mengutus anaknya Narariya Kirana sebagai juru pelindung Nagara Lamajang. Sudah dikenal nama Lamajang yang merupakan nama kuno Lumajang.

Secara spiritual nama Lamajang berarti *Luma* (rumah) dan *Hyang* (Dewa) yang berarti rumahnya para Dewa atau rumah yang suci. Dan secara material yaitu pandangan setiap orang yang melihat daerah sebelah timur Gunung Semeru akan tampak seperti *Lumah* yang menjadi *Ajang* atau dengan kata lain seperti tempat nasi atau tempat yang subur dan makmur. Pada masa Kerajaan Singosari (Tumapel), Lamajang begitu penting karena ada 2 fungsi. Pertama sebagai penghasil pertanian yang makmur. Kedua sebagai pusat pertahanan dalam menghadapi wilayah timur Kerajaan.

Selain itu, pada waktu Kerajaan Daha, daerah Lamajang tepatnya di Gunung Semeru dijadikan tempat ritual. Bukti ini adalah dengan ditemukan Prasasti Tesirejo dan Arca Lembu Nandini. Sedangkan pada masa Kerajaan Singosari selain dijadikan tempat ritual, Lamajang juga dijadikan tempat lumbung pemenuh kebutuhan kerajaan. Daerah ini sekarang dikenal dengan nama Candipuro. Hal ini diketahui dengan ditemukannya Candi Gedong Putri.

Pendiri Kerajaan Lamajang ini adalah adipati Sumenep yakni Banyak Wide atau Arya Wiraraja. Banyak Wide dilahirkan di daerah Nangkaan (Ranuyoso). Banyak Wide merupakan keturunan brahmana. Datang ke Jawa untuk menjenguk kakeknya. Karena sang kakek meninggal, Arya Wiraraja yang memiliki nama Ida Banyak Wide diangkat menjadi anak Empu Sedah. Saat diasuh Empu Sedah yang menjadi penasehat Raja Airlangga, Arya Wiraraja mengenal sesosok gadis anak bangsawan kerajaan Kediri yakni Ageng Pinatih. Dikarenakan

Wiraraja sangat mencintai sang gadis, orang tua angkatnya tidak bisa menolak meski dia adalah keturunan Brahmana. Setelah menikah dengan Ageng Pinatih, Wiraraja menjadi adipati di Kerajaan Kediri. Arya Wiraraja adalah punggawa Kerajaan Kediri yang kritis dalam membangun Kerajaan Kediri. Namun, karir jabatan sebagai adipati yang berpengaruh di Kediri harus berakhir, saat Kediri (Tumapel) dipimpin oleh Kertanegara. Arya wiraraja diminta untuk memimpin Kerajaan Madura yang beribukota di Sogenep, sekarang menjadi Sumenep.

Selain itu, pada saat Raden Wijaya melarikan diri ke Madura, Banyak Wide menyambut keluarga Raden Wijaya dan membantunya berperang melawan Jayakatwang dan pasukan Mongol. Dalam Kitab Pararaton, bekas kerajaan Singosari dibagi menjadi dua berdasarkan kesepakatan antara Raden Wijaya dan Arya Wiraraja. Dalam sejarahnya, prasasti Kudadu menyebutkan bahwa ketika Raden Wijaya melarikan diri bersama 12 pengawal setianya ke Madura, Adipati Arya Wiraraja memberikan bantuan kemudian melakukan kesepakatan pembagian tanah Jawa menjadi dua yang sama besar yang kemudian di sebut Perjanjian Sumenep. Bekas wilayah Kerajaan Singosari bagian barat yang kemudian bernama Majapahit dengan Raja Raden Wijaya kekuasaanya meliputi Daerah Singosari, Kediri, Gelang-gelang (Ponorogo) dan Wengker dengan ibu kota Majapahit di Mojokerto. Bekas Kerajaan Singosari bagian timur kemudian menjadi Kerajaan Lamajang Tigang Juru dengan kekuasaan meliputi daerah Lumajang, Panarukan, Blambangan, Madura dengan ibu kota di Kutorenon (Kawasan Situs Biting) dengan raja Arya Wiraraja. Berdasarkan data sejarah dua

kerajaan itu berdiri pada 10 November 1293. Perjanjian itu termaktub dalam Prasasti Pudadu.

Pada 1295 M, Lamajang menjadi kerajaan yang berdaulat (tanah pardikan) dengan Prabu Arya Wiraraja sebagai rajanya. Wiraraja menjadi raja di Lamajang setelah anaknya Ranggalawe tewas dibunuh oleh punggawa majapahit yang dipimpin Adipati Nambi, dikarenakan melawan Wilwatikta. Beliau memerintah wilayah Tiga Juru (Lamajang, Panarukan dan Blambangan atau wilayah tapal kuda sekarang) ditambah Madura dan banyak menanamkan pengaruh di Bali. Kerajaan Lamajang ini ber-ibu kota di daerah Biting Kutorenon Kabupaten Lumajang hingga sekarang.

Lamajang Tigang Juru didirikan hampir bersamaan dengan berdirinya Kerajaan Majapahit. Banyak Wide dinobatkan sebagai raja Kerajaan Lamajang Tigang Juru pada hari kamis legi, wuku landep, tanggal 25 bulan Bhadrapada (bulan karo) tahun 1216 saka yang bertepatan dengan tanggal 26 Agustus 1294 Masehi. Nama gelar Arya Wiraraja sendiri berarti: Arya adalah orang pembesar atau bangsawan, Wira adalah pemberani sedang raja adalah Pemimpin. Jadi, Arya Wiraraja berarti adalah seorang pembesar dan pemimpin yang berani.

Keraton Kerajaan Lamajang Tigang Juru ini berada di Arnon yang sekarang bernama Kutorenon. Di sana selain terdapat keraton kerajaan, juga terdapat benteng yang kokoh dengan 3 sungai besar, yaitu Bondoyudo di sebelah timur, Bodang atau Wingong di sebelah timur, dan Ploso di sebelah barat, sedangkan 1 sungai buatan, yaitu Cangkring ada di sebelah selatan. Perbentengan ini dilengkapi dengan sistem menara pengawas yang sampai sekarang ada 6

pengungkapan. Letak keraton ini tepat berada di Lamajang Tengah sehingga memudahkan untuk mengontrol daerah Lamajang Utara yang difungsikan untuk pertahanan, serta Lamajang Selatan yang difungsikan sebagai pelabuhan (Dika, 2014).

Arya Wiraraja atau yang dalam dongeng rakyat Lumajang disebut sebagai Prabu Menak Koncar I. Di daerah kekuasaan kerajaan Lamajang Tigang Juru, dikenal adanya 2 budaya yang berbeda di Provinsi Jawa Timur, dimana bekas kerajaan Majapahit dikenal mempunyai budaya Mataraman, sedang bekas wilayah kerajaan Lamajang Tigang Juru dikenal dengan budaya Pendalungan (campuran Jawa dan Madura) yang berada di kawasan Tapal Kuda sekarang ini. Prabu Menak Koncar I (Arya Wiraraja) ini berkuasa dari tahun 1293-1316 Masehi. Arya Wiraraja meninggal pada tahun 1316 masehi dalam usia 87 tahun. Patih Nambi sebagai salah satu putra beliau pulang ke Lamajang untuk mengadakan upacara dukacita ayahnya dan diserang Majapahit secara mendadak oleh Jayanegara (Raja Majapahit setelah Raden Wijaya) atas hasutan dari Mahapatih (dalam kitab Pararaton). Lamajang jatuh karena tidak ada persiapan perang. Fitnah ini membawa bencana. Tujuh menteri utama Majapahit yang juga teman-teman seperjuangan Raden Wijaya yang tidak puas pada keputusan memalukan ini ikut gugur di Lamajang membela patih Nambi.

Babad Pararaton menceritakan kejatuhan Lamajang pada tahun saka *Naganahut-wulan* (Naga mengigit bulan) dan dalam Babad Negara Kertagama disebutkan tahun *Muktigunapaksarupa* yang keduanya menunjukkan angka tahun 1238 Saka atau 1316 Masehi. Jatuhnya Lamajang ini kemudian membuat kota-

kota pelabuhannya seperti Sadeng dan Patukangan melakukan perlawanan yang kemudian dikenal sebagai Pasadeng atau perang sadeng dan ketha pada tahun 1331 masehi. Perang Lamajang tahun 1316 m ini juga mempengaruhi peperangan yang lain di wilayah bekas Kerajaan ini seperti Perang Lasem yang dipimpin teman seperjuangan raden Wijaya yaitu Ra Semi (1318 m), Perang Kuti yang akhirnya membuat raja melarikan diri ke luar kota Majapahit dan diselamatkan Bekel Gajah Mada (1319 m), Perang Sadeng (1328 m) dan Perang Keta (1328). Ketika Hayam Wuruk melakukan perjalanan keliling daerah Lamajang pada tahun 1359 Masehi tidak berani singgah di bekas ibu kota Arnon (Situs Biting). Malah perlawanan daerah timur kembali bergolak ketika adanya perpecahan Majapahit menjadi barat dan timur dengan adanya Perang Paregreg pada tahun 1401-1406 Masehi.

Perlawanan masyarakat Lamajang kembali bergolak ketika Babad Tanah Jawi menceritakan Sultan Agung merebut benteng Renong (dalam hal ini Arnon atau Kutorenon) melalui Tumenggung Sura Tani sekitar tahun 1617 Masehi. Kemudian ketika anak-anak Untung Suropati terdesak dari Pasuruan, sekali perlawanan dialihkan dari kawasan Arnon atau Renong yang sekarang dikenal sebagai Situs Biting Lumajang. Kebesaran dan kekuatan ideologi kerajaan Lamajang ini bertahan sampai tahun 1620-an dimana Lamajang sebagai pusat pusat pertahanan terakhir Kerajaan Hindu di Jawa bagian timur. Kerajaan Mataram yang jaya dan menyebarkan ideologi keyakinan, Lamajang di hancurkan oleh Sultan Agung dan Ibu kota Lamajang di daerah Biting dibakar, munculnya Kutorenon (Ketonon alias terbakar atau dibakar) (Harri, 2011).

2.3 Geometri Situs Biting

2.3.1 Lokasi dan Peta Situs Biting

Situs Biting berada di Dusun Biting, Desa Kutorenan, Kecamatan [Sukodono](#), [Lumajang](#), Provinsi [Jawa Timur](#). Situs ini berada pada koordinat diantara $-8^{\circ} 4' 39,2''$ LS dan $113^{\circ} 13' 54,4''$ BT sampai $-8^{\circ} 5' 23,71''$ LS dan $113^{\circ} 13' 50,5''$ BT. Sedangkan Blok Randu berada pada koordinat $-8^{\circ} 4' 39,1''$ LS dan $113^{\circ} 13' 54,8$ BT sampai $-8^{\circ} 4' 54,9''$ LS dan $113^{\circ} 14' 17,3''$ BT.



Gambar 2.1 Peta Dusun Biting Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang tempat berdirinya Situs Biting (tanahair.kompas.com)

Situs biting dibagi menjadi 6 blok yaitu blok keraton seluas 76,5 ha, blok Jeding 5 ha, blok Biting 10,5 ha, blok Randu 14,2 ha, blok Salak 16 ha, dan blok Duren 12,8 ha serta memiliki 6 tempat pengintaian.



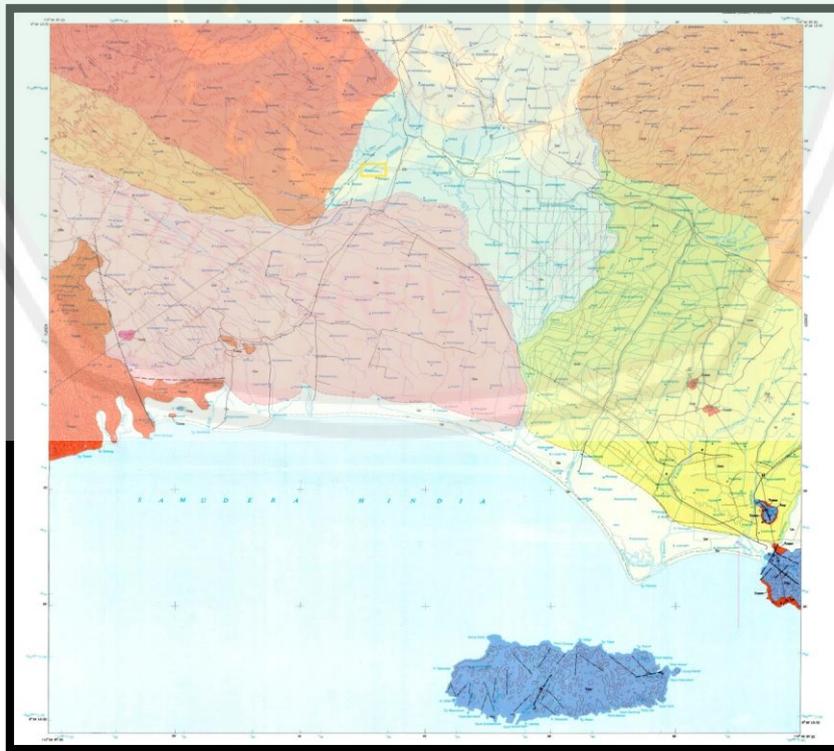
Gambar 2.2 Peta Situs Biting beserta pembagian blok dan sebaran tempat pengintaian (kabarlumajang.net)

2.3.2 Tinjauan Geologi Situs Biting

Tatanan stratigrafi daerah Lumajang, batuan tertua yang tersingkap adalah Formasi Mandalika (Tomm) yang terbentuk oleh batuan gunungapi, berupa lava andesit, basal dan breksi gunungapi bagian bawah serta brekti tuf, tuf sela bersisipan lava dan tuf di bagian atas. Batuan bagian bawah formasi ini umumnya telah berubah terutama oleh pempropilitan dan pengersikan dan tersebar di bagian barat daya dan sedikit di bagian tenggara. Umur formasi ini diperkirakan Oligosen Akhir-Miosen Awal berlingkungan pengendapan laut dangkal sampai darat dan menjemari dengan Formasi Puger (Tmp) bagian bawah. Formasi Puger terdiri dari batugamping hablur dan batugamping klastika, yang berselingan dengan kalrenit

dan batupasir tufan. Umurnya diperkirakan Miosen Awal-Miosen Tengah dan terbentuk dalam lingkungan laut dangkal. Dalam Miosen Akhir terjadi penerobosan diorit (Tmid) yang mengakibatkan perubahan batuan, terutama pada Formasi Merubetiri.

Hasil kegiatan gunungapi kuarter dari beberapa sumber, antara lain: G. Jambangan, G.Tengger, G.Semeru, G.Argopuro, dan G.Lamongan, menutupi tak selaras batuan brumur Tersier. Secara litologi, batuan gunungapi kuarter menunjukkan keseragaman susunan. Batuan gunungapi Kuarter dikelompokkan menjadi tiga kompleks yaitu kompleks Tengger-Semeru, Kompleks Argopuro dan Kompleks Lamongan. Endapan termuda adalah endapan permukaan berupa endapan pantai (Qc) dan aluvium (Qa) (Suwardi dan Suharsono, 1993).



Gambar 2.3 Peta geologi lembar Lumajang (Suwardi dan Suharsono, 1992)

Keterangan:

Qa	Aluvium	: Lempung, lumpur, pasir, kerikil, kerakal dan bongkah
Qc	Endapan Pantai	: Pasir lepas mengandung magnetik
Qks	Lava Parasit Kepolo Semeru	: Lava andesit hipersten augit
Qls	Lava Parasit Semeru	: Lava andesit piroksen atau basal olivia
Qvs	Batuan Gunungapi Semeru	: Lava andesit-basal, tuf, breksi gunungapi dan breksi lahar
Qvt	Batuan Gunungapi Tengger	: Lava andesit, tuf dan breksi gunungapi
Qvj	Batuan gunungapi Jembangan	: Lava bersusunan andesit piroksen
Qvl	Batuan Gunungapi Lamongan	: Breksi gunungapi, tuf dan lava basal
Qvab	Breksi Argopuro	: Lava dan breksi gunungapi bersusun Andesit
Qvat	Tuf Argopuro	: Tuf sela, breksi tuf dan batupasir tufan
Qvk	Gumuk Gunungapi Karangduren	: Tuf Abu, tuf lapili, dan lava andesit
Tmp	Formasi Puger	: Bagian atas batugamping hablur dan kalkarenit bagian bawah berupa perselingan batupasir tufa, tuf dan batupasir gampingan
Tmm	Formasi Mandalika	: Lava andesit dan breksi gunungapi (terpropiltkan) breksi tuf, tuf sela bersisipan lava dan tuf
Tmid	Batuan Terobosan	: Diorit, porfiri
		: Daerah penelitian (Kec. Sukodono)

Di daerah Sukodono, batuan yang menyusun adalah Aluvium yang berupa lempung, lumpur, pasir, kerikil, kerakal dan bongkah.

2.4 Teori Gaya Medan Magnet

Dasar dari metode magnetik adalah gaya Coulomb antara dua kutub magnetik p_1 dan p_2 yang terpisah sejauh r (cm) (Telford, 1990). Sehingga besarnya gaya magnetik dapat dirumuskan:

$$\vec{F} = \left(\frac{p_1 p_2}{\mu r^2} \right) \vec{r} \quad (2.1)$$

Dimana \vec{F} adalah gaya magnetik (Newton), $1 \text{ Newton} = 10^{-5} \text{ dyne}$, $p_1 p_2$ adalah kuat kutub magnetik (A.m), μ adalah permeabilitas magnetik ($4\pi \times 10^{-7} \text{ w/A.m}$), r adalah jarak kedua kutub (m), dan \vec{r} adalah vektor satuan yang berarah dari m_1 ke m_2 .

2.5 Fluks Magnetik

Suatu gaya magnetik dalam sebuah medium tertentu akan menimbulkan suatu kerapatan fluks magnet. Kerapatan fluks magnet yaitu jumlah fluks magnet dalam suatu luasan daerah tertentu. Kerapatan fluks magnetik sering juga disebut induksi medan magnet yang dinyatakan dengan (B). Jika kerapatan fluks magnetik B berada dalam medium yang mengandung medan magnet H maka:

$$B = \mu H \quad (2.2)$$

Dimana μ adalah permeabilitas suatu medium dengan satuan Henry per meter (Hm^{-1}). Dalam medium hampa permeabilitas mutlak sama dengan μ_0 yang nilainya $4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$. Sedangkan H adalah medan magnet, satuannya dalam S.I (Sistem Internasional) adalah ampere per meter (Am^{-1}). Sedangkan B adalah fluks

magnetik satuannya weber per meter kuadrat (Wbm^{-2}) yang juga disebut tesla (T) (Hayt dan Buck, 2006).

2.6 Medan Magnetik

Kuat medan magnet adalah besarnya medan magnet pada suatu titik dalam ruang yang timbul sebagai akibat dari sebuah kutub yang berada sejauh r dari titik tersebut (Telford, 1990). Kuat medan magnet \vec{H} dinyatakan dalam persamaan:

$$\vec{H} = \frac{F}{p_2} = \frac{p_1}{\mu r^2} \hat{r} \quad (2.3)$$

dimana \vec{H} adalah kuat medan magnet (A/m).

2.7 Momen Magnet

Di alam, kutub magnet selalu berpasangan atau disebut dipol (kutub (+) dan kutub(-)), yang dipisahkan oleh jarak l . Momen magnetik (\vec{M}) didefinisikan sebagai (Siahaan, 2009):

$$\vec{M} = ml\hat{r} \quad (2.4)$$

\vec{M} merupakan sebuah vektor pada arah vektor unit berarah \hat{r} dari kutub negatif menuju kutub positif. Momen magnet mempunyai satuan dalam cgs adalah emu dan dalam SI mempunyai satuan $\text{A}\cdot\text{m}^2$. Arah momen magnetik dari atom material non-magnetik adalah tidak beraturan sehingga momen magnetik resultannya menjadi nol. Sebaliknya, di dalam material-material yang bersifat magnet atom-atom material tersebut teratur sehingga momen magnetik resultannya tidak sama dengan nol.

2.8 Intensitas magnetik

Intensitas kemagnetan dapat didefinisikan sebagai tingkat kemampuan menyerahkan momen-momen magnetik dalam medan magnetik luar dapat juga dinyatakan sebagai momen magnetik persatuan volume.

$$\vec{I} = \frac{\vec{M}}{V} = \frac{m\hat{r}}{V} \quad (2.5)$$

Satuan magnetisasi dalam cgs adalah gauss atau emu.cm^{-3} dan dalam SI adalah Am^{-1} (Sarkowi, 2010)

2.9 Teori Medan Magnet Bumi

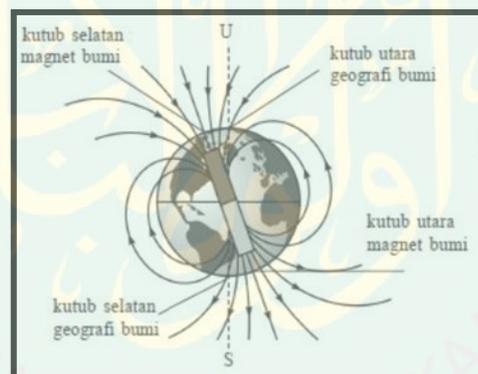
Medan magnet bumi secara sederhana dapat digambarkan sebagai medan magnet yang ditimbulkan oleh batang magnet raksasa yang terletak di dalam inti bumi, namun tidak berimpit dengan garis utara-selatan geografis bumi. Sedangkan kuat medan magnet sebagian besar berasal dari dalam bumi sendiri (98%) atau medan magnet dalam (*internal field*), sedangkan sisanya (2%) ditimbulkan oleh induksi magnetik batuan di kerak bumi maupun dari luar angkasa. Medan magnet internal berasal dari inti bumi (*inner core*) dan kerak bumi (*crustal earth*). Beberapa alasan sehingga bumi memiliki medan magnetik, diantaranya:

- 1) Kecepatan rotasi Bumi yang tinggi
- 2) Proses konveksi mantel dengan inti luar bumi (bersifat kental)
- 3) Inti dalam (padat) yang konduktif, kandungan yang kaya besi

Medan magnet bumi adalah besaran vektor. Partikel bermuatan yang bergerak dalam medan magnet, jarum kompas, dan juga magnet permanen yang lain akan mendapat gaya magnet yang sebanding dengan besarnya medan magnet.

Sebuah magnet, apakah sebuah mineral magnetik, batang besi yang terinduksi magnet, atau sebuah elektromagnet mempunyai dua kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan. Pasangan kutub-kutub magnet ini disebut sebuah dwikutub (*dipole*) magnet (Tjasyono, 2006).

Arah pergerakan medan adalah menuju permukaan bumi sehingga terjadi suatu perubahan dari vertikal ketika di kutub utara yang mana bergerak secara *inward*, kemudian menjadi horizontal yang bergerak secara *northward* ketika di Equator dan akhirnya berubah vertikal yang bergerak secara *outward* ketika di kutub selatan.

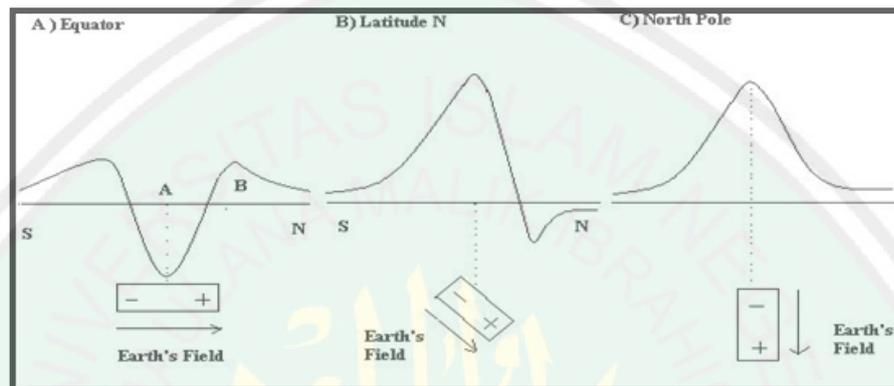


Gambar 2.4 Medan magnet Bumi (Sarkowi, 2010)

Medan magnet bumi terkarakterisasi oleh parameter fisis atau disebut juga elemen medan magnet bumi yang dapat diukur yaitu meliputi arah dan intensitas kemagnetannya. Parameter fisis tersebut meliputi (Siahaan, 2009):

- 1) Deklinasi (D); yaitu sudut antara utara magnetik dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur

- 2) Inklinasi (I); yaitu sudut antara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah

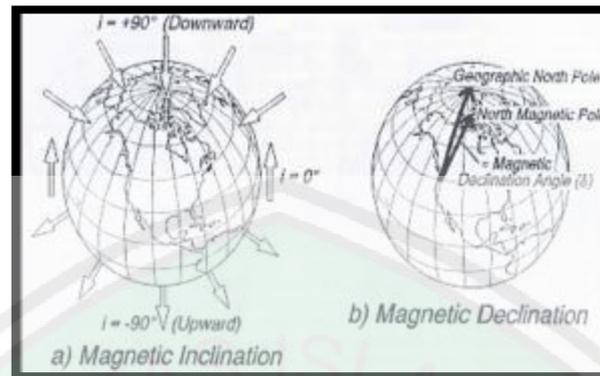


Gambar 2.5 Pengaruh inklinasi benda (Siahaan, 2009)

- 3) Intensitas Horizontal (H); yaitu besar dari medan magnetik total pada bidang horizontal.
- 4) Medan magnetik total (F); yaitu besar dari vektor medan magnetik total.

Pada Gambar 2.6 menjelaskan mengenai medan magnet dinyatakan sebagai besar dan arah (vektor), arahnya dinyatakan sebagai deklinasi (penyimpangan terhadap arah utara-selatan geografis) dan inklinasi (penyimpangan terhadap arah horizontal kutub utara magnet).

Apabila kita membawa kompas dari khatulistiwa menuju kutub bumi maka jarum kompas akan condong bergerak ke bawah atau ke atas. Kecondongan ini karena jarum kompas tertarik oleh kutub magnet bumi. Sudut yang dibentuk dari kecondongan kompas terhadap arah horizontal disebut dengan sudut inklinasi.



Gambar 2.6 (a) Deklinasi adalah besar sudut penyimpangan arah magnet terhadap arah utara-selatan geografis, (b) Inklinasi adalah besar sudut penyimpangan arah magnet terhadap arah horisontal (Reynold, 1997)

Faktor-faktor penyebab medan magnet bumi antara lain:

a) Gejala dalam Bumi

Menurut teori magnetohidrodinamis penyebab utama kemagnetan bumi sekitar 98% adalah gejala yang terjadi di dalam bumi disebabkan oleh arus listrik yang terbentuk karena adanya proses rotasi bumi dan arus konveksi, sehingga menginduksi material-material bersifat magnetik di dekatnya dan mempengaruhi perubahan variasi medan magnet. Sifat kemagnetan bumi ini terpolarisasi menjadi dua kutub, utara dan selatan, sehingga seolah-olah di dalam bumi terdapat magnet batang yang sangat besar dengan dua kutub yang letaknya terpisah jauh. Medan magnet utama bumi tidak konstan tetapi mengalami perubahan terhadap waktu, sesuai keadaan di dalam bumi. Hal tersebut ditunjukkan dalam studi paleomagnetik bahwa banyak batuan di kerak bumi dengan posisi menyebelah yang memiliki arah kutub kemagnetan yang berkebalikan.

Perubahan kemagnetan bumi akibat aktivitas bumi sendiri ini sangat lamban dan biasa disebut variasi sekuler. Besarnya variasi ini untuk setiap tempat

tidak sama, tetapi dalam skala regional masih sama. Beberapa ahli menduga perubahan ini diakibatkan aktivitas arus konveksi yang berada di dalam inti bumi yang menimbulkan arus listrik sehingga medan magnet yang ditimbulkan mempengaruhi medan magnet di sekitarnya. W.M. Elsasser menyimpulkan material inti bumi yang dominan adalah besi yang merupakan konduktor yang baik. Gerakan inti bumi cair inilah yang memungkinkan arus listrik kemudian menimbulkan medan magnet bumi utama (dalam Alfhareza, 2015).

b) Gejala dari luar

Sekitar 2% dari kemagnetan bumi disebabkan oleh pengaruh dari luar bumi. Medan magnet ini disebabkan oleh arus listrik di lapisan ionosfer yang menginduksi medan magnet di permukaan bumi akibat adanya arus listrik yang berasal dari proses ionisasi gas oleh partikel elektromagnetik, terutama sinar ultraviolet yang berasal dari matahari. Medan luar menyebabkan perubahan yang sifatnya periodik. Berdasar periodenya, gejala dari luar dapat dibedakan menjadi:

1) Variasi harian matahari

Matahari memancarkan arus tetap yang terdiri dari atom hidrogen terionisasi (proton) dan elektron yang menjalar melalui tata surya dengan kecepatan supersonik. Angin matahari yang muncul seperti ini berinteraksi secara kuat dengan medan magnet bumi yang menyebabkan terjadinya badai magnetik sehingga nilai medan magnet bumi mengalami perubahan.

2) Variasi harian bulan

Variasi harian bulan disebabkan adanya interaksi bulan dengan lapisan ionosfera dan mempunyai periode 24 jam dengan amplitudo 2 nT. Melalui

pengamatan magnet bumi, variasi harian bulan dan matahari menimbulkan pengaruh yang bersifat periodik selama satu hari. Variasi ini dikenal dengan variasi harian (*diurnal variation*). Perubahan variasi harian ini dicatat oleh stasiun pengamatan magnet bumi menggunakan variometer.

3) Badai magnetik

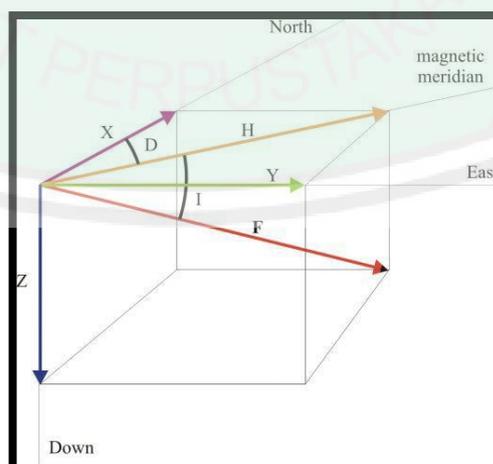
Badai magnetik adalah gangguan medan magnet bumi secara tiba-tiba disebabkan oleh induksi partikel bermuatan listrik yang sampai pada permukaan bumi. Badai magnetik ini cenderung berulang setiap 27 hari dan kejadiannya dipicu oleh aktivitas sunspot di matahari yang mengarah ke bumi sehingga menginduksi magnetosfera dan mengacaukan medan magnet bumi, akibatnya variasi magnet bumi menjadi terganggu. Ketika terjadi badai magnetik, segala aktivitas yang berkaitan dengan magnet dan memanfaatkan lapisan ionosfer akan mengalami gangguan (dalam Hidayah, 2011).

2.10 Kutub Geomagnet

Geomagnetical pole (kutub geomagnetik/kutub *dipole*) adalah persimpangan sudut kutub geografis dari permukaan bumi dengan sumbu magnet batang hipotesis yang ditempatkan di pusat bumi dan diperkirakan sebagai bidang geomagnetik. Ada semacam kutub masing-masing di belahan bumi dan kutub disebut sebagai Kutub Utara Geomagnetik dan Kutub Selatan Geomagnetik. Catatan: Bumi memiliki dua kutub yang sering dikenal sebagai *Geomagnetic Poles* yang merupakan kutub teoritis dimana sumbu magnet membentuk sudut $11,5^\circ$ dengan sumbu rotasi bumi, yaitu pada (dalam Alfhareza, 2015):

1. Kutub utara magnet terletak di *Canadian Artic Island* dengan lintang: $75,5^\circ$ LU dan bujur: $100,4^\circ$ BB
2. Kutub selatan magnet terletak di *Coast of Antartica South of Tasmania* dengan lintang: $66,5^\circ$ LS dan bujur: 140° BT

Pada Gambar 2.7 menjelaskan mengenai prinsip metode magnetik yang diilustrasikan menggunakan sebuah objek berbentuk kubus, lalu komponen-komponen yang digunakan pada prinsip metode magnetik yaitu berpatokan untuk sumbu x (utara geografis) dan sumbu y (timur geografis), kemudian ditentukan arah meridian magnetik (**H**) yang mana untuk mendapatkan nilai sudut yang dibentuk dari arah utara geografis ke arah utara magnetik yaitu dengan menghitung nilai deklinasi, lalu ditentukan arah total intensitas (**F**) yang mana untuk mendapatkan nilai sudut yang dibentuk dari arah meridian magnetik (**H**) terhadap total intensitas yaitu dengan menghitung nilai inklinasi, dan sumbu z berperan sebagai arah kedalaman.



Gambar 2.7 Variabel magnetik: (**F**) adalah total intensitas, (**H**) adalah Horizontal Intensitas, (**X**) adalah *North Component*, (**Y**) adalah *East component*, (**Z**) adalah *Vertical Component*, (**I**) adalah Inklinasi Geomagnetik, (**D**) adalah Deklinasi Geomagnetik (Reynold, 1997)

2.11 *The International Geomagnetic Reference Field (IGRF)*

IGRF adalah nilai matematis standar dari medan magnet utama bumi akibat rotasi dan jari-jari bumi. IGRF merupakan upaya gabungan antara pemodelan medan magnet dengan lembaga yang terlibat dalam pengumpulan dan penyebarluasan data medan magnet dari satelit, observatorium, dan survei di seluruh dunia yang setiap 5 tahun diperbaharui. Nilai-nilai IGRF tersebut diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar 1 juta km² yang dilakukan dalam waktu satu tahun.

Sumber medan magnet yang tercatat pada alat dalam eksplorasi magnetik adalah komponen-komponen yang terdiri atas (Telford, 1982):

1. Medan utama: yang tidak konstan terhadap waktu, tetapi variasinya relatif kecil. Medan magnet utama dapat didefinisikan sebagai medan rata-rata hasil pengukuran dalam jangka waktu yang cukup lama mencakup daerah dengan luas lebih dari 10⁶ km².
2. Medan luar: lebih kecil dari medan utama dan berubah dari waktu ke waktu, lebih cepat dari medan utama secara acak (*random*) oleh penyebab dari luar bumi. Pengaruh medan magnet luar berasal dari pengaruh luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar *ultraviolet* dari matahari. Karena sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu jauh lebih cepat.
3. Variasi dari medan utama (anomali magnetik lokal): variasinya relatif dan jauh lebih kecil dari medan utama. Medan magnet anomali sering juga

disebut medan magnet lokal (*crustal field*). Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral bermagnet seperti *magnetit* (Fe_7S_5), *titanomagnetite* (Fe_2TiO_4) dan lain-lain yang berada di kerak bumi.

Dalam survei dengan metode magnetik yang menjadi target dari pengukuran adalah variasi medan magnetik yang terukur di permukaan (anomali magnetik). Secara garis besar anomali medan magnetik disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnetik induksi. Medan magnet remanen mempunyai peranan yang besar terhadap magnetisasi batuan yaitu pada besar dan arah medan magnetiknya serta berkaitan dengan peristiwa kemagnetan sebelumnya sehingga sangat rumit untuk diamati. Anomali yang diperoleh dari survei merupakan hasil gabungan medan magnetik remanen dan induksi, bila arah medan magnet remanen sama dengan arah medan magnet induksi maka anomalnya bertambah besar. Demikian pula sebaliknya. Dalam survei magnetik, efek medan remanen akan diabaikan apabila anomali medan magnetik kurang dari 25% medan magnet utama bumi (Telford et al, 1990).

Potensial magnet di suatu titik yang disebabkan oleh batuan yang mempunyai magnetisasi momen dipol per satuan volume (M) adalah (Grand and west, 1965):

$$U(r) = -\int M \cdot \nabla \frac{1}{|r - r_0|} d^3 r_0 \quad (2.6)$$

jika M konstan dengan arah k , maka

$$M \cdot \nabla = M \frac{\partial}{\partial k}$$

sehingga persamaan (2.6) menjadi:

$$U(r) = -M \frac{\partial}{\partial k} \int M \cdot \nabla \frac{1}{|r - r_0|} d^3 r_0 \quad (2.7)$$

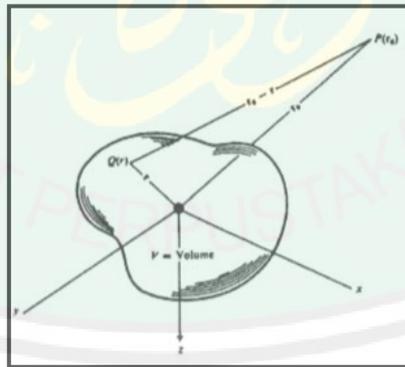
Karena medan magnet anomali jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan medan magnet utama, maka medan magnet anomali terukur pada arah medan magnet utama. Jika komponen adalah ΔT maka:

$$\Delta T = -\frac{\partial U}{\partial a} \quad (2.8)$$

dimana a adalah arah dari medan magnet utama, dengan kata lain

$$\frac{\partial}{\partial a} = \cos i \sin \lambda \frac{\partial}{\partial x} + \cos i \cos \lambda \frac{\partial}{\partial y} + \sin i \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.9)$$

dimana i adalah inklinasi dan λ adalah deklinasi terhadap sumbu y



Gambar 2.8 Medan magnet anomali (Telford, 1976)

2.12 Suseptibilitas Kemagnetan

Intensitas magnetik pada batuan sebagian disebabkan oleh induksi dari magnet bumi dan yang lain oleh adanya magnetisasi permanen. Intensitas dari

induksi geomagnet akan bergantung pada suseptibilitas magnetik batuan dan gaya magnetnya, serta intensitas permanennya pada sejarah geologi batu tersebut.

Hubungan antara anomali magnetik dengan suseptibilitas batuan adalah jika anomali magnetik tinggi mengindikasikan suseptibilitas batuan positif dan bernilai tinggi serta memiliki kerentanan magnetik tinggi pula, anomali magnetik sedang menunjukkan bahwa suseptibilitas batuan positif yang bernilai sangat kecil dengan kerentanan magnetik sedang, sedangkan untuk anomali magnetik rendah menunjukkan bahwa suseptibilitas batuan negatif dengan nilai yang kecil serta kerentanan magnetik yang sangat rendah (Khusnah, 2012).

Tingkat suatu benda magnetik untuk mampu dimagnetisasi ditentukan oleh Suseptibilitas kemagnetan (k), yang dirumuskan dengan persamaan (Burger, 1992):

$$\vec{I} = k \vec{H} \quad (2.10)$$

Suseptibilitas kemagnetan (k) merupakan parameter dasar yang digunakan dalam metode magnetik. Suseptibilitas magnetik bisa diartikan sebagai derajat kemagnetan suatu material. Harga k pada batuan semakin besar apabila dalam batuan semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik, dan nilai suseptibilitas magnetik dalam ruang hampa sama dengan nol karena hanya benda yang berwujud saja yang dapat termagnetisasi (Telford et al., 1976).

Sifat magnetisasi batuan atau suseptibilitas pada batuan beranekaragam, tergantung pada pembentukan batuan itu sendiri diantaranya (Rosid, 2008):

1. Ferromagnetik

Suseptibilitas magnetik material ferromagnetik sebesar ($10^2 < k < 1.6 \times 10^4$) x 10^{-6} emu dan tidak bergantung pada Temperatur Curie karena material-material atom mempunyai momen magnet dan interaksi antara atom terdekatnya sangat kuat, kombinasi orbit elektron dan gerak spinnya menghasilkan magnet yang kuat. Material ferromagnetik dibagi lagi menjadi 3 jenis, yaitu; Ferromagnetik (besi, nikel, kobalt) yang jarang dalam bentuk murni, Antiferromagnetik (*hematite* Fe_2O_3) yang merupakan material yang tidak umum contohnya superkonduktor URu_2Si_2 , logam Chromium Cr, Alloys FeMn, dan NiO, dan Ferrimagnetik (*magnetite* Fe_3O_4 , *ilmenite* FeTiO_3) yang muncul dalam bentuk garnet ferrit dan magnetik. Material magnetik paling tua yang ditemukan adalah *magnetite (iron (II, III) oxide)*. Contoh lainnya: Aluminium, Cobalt, Nikel, Mangan dan Seng.

2. Paramagnetik

Pada paramagnetik ini medan magnetiknya hanya akan ada jika dimagnetisasi oleh medan magnet dari luar saja, sehingga jika pengaruh medan magnet dari luarnya dihilangkan, maka pengaruh medannya menghilang juga. Karena pengaruh termal, maka gerakan elektronnya menjadi random kembali dan nilai k positif dan berbanding terbalik dengan temperatur absolut (hukum Curie-Wiess). Jumlah elektron paramagnetik adalah ganjil, momen magnet pada paramagnetik ini searah dengan medan polarisasi dan induksi magnetiknya bernilai kecil karena hanya sebagian kecil spin teraleniiasi.

3. Diamagnetik

Material diamagnetik mempunyai harga suseptibilitas magnetik sebesar $(-8 < k < 310) \times 10^{-6}$ emu, karena harga suseptibilitasnya negatif maka intensitas induksi akan berlawanan arah dengan gaya magnetnya. Semua material menunjukkan respon sebagai diamagnetik ketika ia berada dalam medan magnet. Nilai dari k negatif, maka intensitas induksinya akan berlawanan arah dengan gaya magnetnya/medan polarisasi. Semua material menunjukkan respon sebagai diamagnetik ketika berada dalam medan magnet. Contoh batuanya: kuarsa, marmer, *graphite*, *rock salt*, *anhydrite/ gypsum*, air, kayu dan beberapa bahan organik seperti minyak dan plastik dan beberapa logam diantaranya tembaga. Jumlah elektron dalam atomnya genap dan semuanya sudah saling berpasangan, sehingga efek magnetisasinya paling kuat dalam medan polarisasi.

Perubahan besar medan magnet yang dihasilkan oleh variasi intensitas kemagnetan formasi batuan diukur secara teliti dalam eksplorasi. Dan respon magnetik dari batuan pokok, secara umum adalah sebagai berikut (Robinson, 1988):

- 1) Batuan Sedimen. Karena sebagian besar batuan sedimen adalah magnetik yang diperoleh dari survei magnet sebagian besar disebabkan oleh lapisan batuan beku (*igneous*) *basement*. Besarnya ketebalan dari batuan sedimen pada daerah luas yang disurvei dapat terlihat jelas pada kontur magnetik. Besarnya mempunyai jangkauan suseptibilitas $(0-4000) \times 10^{-6}$ emu dengan

rata-rata $(10-75) \times 10^{-6}$ emu. Contoh: *dolomite*, *limestone*, *sandstone*, dan *shales*.

- 2) Batuan Beku. Batuan beku mempunyai sifat magnetik yang bervariasi. Biasanya jenis *acidic* (asam) dan cenderung bermagnetik lemah. Batuan beku mempunyai jangkauan suseptibilitas $(0-9710) \times 10^{-6}$ emu dengan rata-rata $(200-1350) \times 10^{-6}$ emu, contoh: *granite*, *rhyolit*, basal dan andesit.
- 3) Batuan Metamorf. Batuan metamorf merupakan ubahan dari batuan sedimen atau batuan beku akibat perubahan suhu dan atau tekanan yang cukup besar, sehingga batuan metamorf selalu mempunyai sifat magnet yang bervariasi (Robinson, 1988).

Nilai suseptibilitas batuan dan mineral dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Magnetik (Mustang dkk, 2007)

Batuan	Susceptibility (10^{-6} cgs)
Lava Andesit	0.02- 0.04
Breksi	0.01-0.03
Alterasi Lempung	0.01-0.03
Bongkah Silisifikasi	0.00-0.02
Aliran Piroklastik	0.03-0.11
Lava Dasitik	0.00-0.02
Andesit Piroksen	1.00-1.20
Andesit Terubah	0.07-0.11
Lempung Kaolin	0.00-0.02

2.13 Koreksi-koreksi Data Geomagnetik

2.13.1 Koreksi Harian

Koreksi harian atau variasi harian merupakan variasi medan magnet yang sebagian bersumber dari medan magnet luar yang berasal dari perputaran arus listrik di dalam lapisan ionosfer. Ion-ion yang dihasilkan dari lapisan udara yang terionisasi oleh matahari sehingga menjadi ion-ion yang akan menjadi magnet ketika ada listrik di ionosfer (Rosid, 2009). Variasi harian disebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengukuran dan adanya efek sinar matahari selama satu hari (Telford, 1979)

2.13.2 Koreksi IGRF

Koreksi IGRF (*International Geomagnetik Reference Field*) yang merupakan suatu model umum *spherical harmonic* dari medan magnet bumi yang bersumber dari inti bumi yang telah disetujui secara internasional. Data hasil pengukuran dengan metode magnetik terdiri dari medan magnet utama bumi, medan magnet luar dan medan anomali lokal. Nilai medan magnet luar telah dihilangkan dengan koreksi harian, sedangkan medan magnet utama dapat dihilangkan dengan koreksi IGRF. Koreksi IGRF dapat dilakukan dengan cara mengurangi nilai IGRF terhadap nilai medan magnetik total yang telah dikoreksi harian pada setiap titik pengukuran. Nilai matematis IGRF merupakan ketetapan yang dilakukan setiap lima tahun sekali.

2.14 Transformasi Medan

2.14.1 Kontinuasi Ke Atas

Kontinuasi ke atas atau *upward continuation* merupakan proses transformasi data medan potensial dari suatu bidang yang lebih tinggi. Pada pengolahan data geomagnetik, proses ini dapat berfungsi sebagai filter tapis rendah, yaitu untuk menghilangkan atau mereduksi efek magnetik lokal yang berasal dari berbagai sumber benda magnetik yang tersebar di permukaan topografi yang tidak terkait dengan survei (Blakely, 1995).

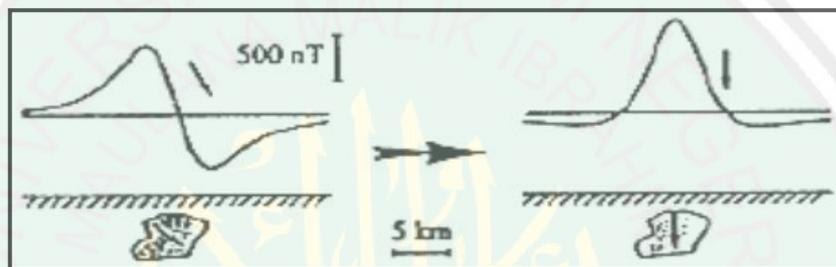
$$U(x,y,z_0-\Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x',y',z_0)}{((x-x')^2+(y-y')^2+\Delta z^2)} dx' dy' \quad (2.11)$$

Dimana $U(x,y,z_0-\Delta z)$ adalah harga medan potensial pada bidang hasil kontinuasi, $U(x',y',z_0)$ adalah harga medan potensial pada bidang observasi sebenarnya, Δz adalah jarak atau ketinggian pengangkatan (Blakely, 1995).

Proses pengangkatan tidak boleh terlalu tinggi, karena ini dapat mereduksi anomali magnetik lokal yang bersumber dari benda magnetik atau struktur geologi yang menjadi target survei magnetik ini, dengan melakukan kontinuasi ke atas maka diperoleh dua hasil sekaligus, yaitu mereduksi pengaruh untuk kontinuasi yang tidak terlalu besar dan menampakkan efek regional dari daerah pengukuran untuk kontinuasi yang besar. Hingga langkah ini diperoleh data medan magnet total yang sudah terbebas dari pengaruh regional, IGRF, dan medan regional, sehingga yang tersisa hanya akibat benda penyebab anomali saja.

2.14.2 Reduksi Ke Kutub

Metode reduksi ke kutub magnetik bumi dapat mengurangi salah satu tahap rumit dari proses interpretasi, dimana anomali magnetik menunjukkan langsung posisi bendanya sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.9 reduksi ini dilakukan dengan cara mengubah sudut inklinasi dan deklinasi menjadi 90° dan 0° .



Gambar 2.9 Impuls anomali magnetik sebelum dan sesudah direduksi ke kutub (Blakely, 1995)

Pada metode reduksi ke kutub adalah proses transformasi yang dilakukan dengan mengaplikasikan *Fast Fourier Transform* (FFT). Berikut ini merupakan perumusan transformasi dengan menggunakan FFT (Blakely, 1995):

$$F[\Delta T_r] = F[\psi_r] F[\Delta T] \quad (2.12)$$

Dimana, $F[\psi_r] = \frac{1}{\sin \theta_f}$ sehingga menjadi:

$$= \frac{|k|^2}{1k_x^2 + a_2k_y^2 + a_2k_xk_y + i|k|(b_1k_xk_y + b_2k_y)} \quad (2.13)$$

$$a1 = \hat{m}_z \hat{f}_z - \hat{m}_x \hat{f}_x$$

$$a2 = \hat{m}_z \hat{f}_z - \hat{m}_y \hat{f}_y$$

$$a3 = -\hat{m}_y \hat{f}_x - \hat{m}_x \hat{f}_y$$

$$b1 = \hat{m}_x \hat{f}_z - \hat{m}_z \hat{f}_x$$

$$b_2 = \hat{m}_y \hat{f}_z - \hat{m}_z \hat{f}_y$$

$F[\Delta T r]$ merupakan transformasi fourier intensitas magnetik di kutub, $F[\Delta T]$ hasil transformasi intensitas magnetik pada lokasi penelitian dan $F[\psi_r]$ merupakan faktor transformasi fase dari lokasi penelitian ke kutub.

2.14.3 Gradien Horisontal

Metode gradien horisontal adalah sebuah metode menggunakan magnitud anomali induksi medan magnetik pada gradien horisontal. Sebelum dilakukan gradien horisontal data anomali magnetik terlebih dahulu direduksi ke kutub. Metode gradien horisontal bisa digunakan untuk menentukan lokasi yang akurat pada kontak vertikal yang terisolasi dari medan magnet yang direduksi ke kutub, atau tepi yang terisolasi. Besar dari gradien horisontal diberikan melalui persamaan (Blakely, 1995):

$$h(x,y) = \left[\left(\frac{\partial g_x(x,y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g_z(x,y)}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.14)$$

2.14.4 Turunan Vertikal Kedua

Turunan vertikal kedua salah satu metode dalam pengolahan data magnetik cocok untuk mempertajam anomali khususnya anomali dangkal. Metode ini juga bisa mereduksi anomali-anomali besar atau pengaruh untuk ketajaman (Jeng dkk, 2001). Turunan vertikal kedua merupakan konsekuensi langsung pada persamaan Laplace, jika ϕ adalah data potensial maka $\nabla^2 \phi = 0$ dan

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \quad (2.15)$$

Jika ϕ diukur pada permukaan horizontal, sehingga persamaan Laplace diatas bisa ditransformasikan dalam domain Fourier, sehingga menjadi:

$$f \left| \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right| = k_x^2 f[\phi] + k_y^2 f[\phi] = [k]^2 f[\phi] \quad (2.16)$$

Jadi, turunan vertikal kedua pada perhitungan medan potensial di sebuah permukaan horisontal dibingkai dalam tiga tahap operasi filter: Transformasi Fourier medan potensial, dikalikan oleh k^2 dan hasil invers Transformasi Fourier (Blakely, 1995).

2.14.5 Analisis Sinyal

Metode sinyal analitik merupakan gabungan dari gradien horisontal dan gradien vertikal (Reynold,1997). Analisis sinyal mempunyai sebuah bentuk yang bergantung pada lokasi bendanya (koordinat horisontal dan kedalaman) tetapi tidak pada arah magnetisasinya. Aplikasi analisis sinyal untuk interpretasi magnetik kasus dua dimensi digunakan sebagai alat untuk memperkirakan kedalaman dan posisi pada sumber (dalam Rusli, 2011).

Analisis sinyal menggunakan kuadrat amplitude didefinisikan:

$$|AS(x,y)|^2 = \left(\frac{\partial M}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z} \right)^2 \quad (2.17)$$

dimana untuk data grid, M adalah medan anomali magnetik. Secara khas, bisa dihitung sebagai transformasi Hilbert pada horizontal gradient.

Jika diasumsikan M sebagai medan pada kontak magnetik yang terisolasi pada kedalaman tertentu maka:

$$|AS(h)|^2 = \frac{K_A}{(h - h_0) + z_0^2} \quad (2.18)$$

Untuk data medan anomali $K_A = [2kF(1 - \cos^2 i \sin^2 a) \sin d]^2$, dimana d adalah dip pada kontak, i adalah inklinasi pada medan geomagnetik dan a adalah sudut antara arah data dan utara magnetik (Philips, 2000).

2.15 Medan Magnet Bumi dalam Tinjauan al-Quran

Metode geomagnetik merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang memanfaatkan adanya medan magnet bumi. Metode geomagnetik biasanya digunakan untuk eksplorasi dangkal seperti pemetaan situs purbakala. Magnet pertama kali ditemukan oleh Thales. Thales yang mengamati batu amber juga mencermati batu lapis (*lodestone*) yang banyak ditemukan di Magnesia, nama salah satu kota di Yunani kuno. Batu-batu lapis ini tidak lain adalah besi oksida dan dapat saling tarik atau saling tolak. Batu-batu dengan sifat saling tarik dan saling tolak ini kemudian dikenal sebagai magnet (Purwanto, 2008).

Medan magnet yang terdapat di dalam tanah merupakan bijih besi magnet dalam bentuk besi oksida seperti yang telah dijelaskan di atas. Al-Quran menjelaskan bahwa besi membawa banyak manfaat kepada umat manusia. Dalam surah al-Hadid (57):25,

لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنْفَعٌ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَنْ يَنْصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ ﴿٢٥﴾

“*Sesungguhnya Kami telah mengutus rasul-rasul kami dengan membawa bukti-bukti yang nyata dan telah Kami turunkan bersama mereka Al Kitab dan neraca*

(keadilan) supaya manusia dapat melaksanakan keadilan. dan kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia, (supaya mereka mempergunakan besi itu) dan supaya Allah SWT mengetahui siapa yang menolong (agama)Nya dan rasul-rasul-Nya padahal Allah SWT tidak dilihatnya. Sesungguhnya Allah Maha Kuat lagi Maha Perkasa” (al-Hadid (57): 25)

Kata “*alhadiida*” pada ayat ini arti harfiahnya adalah besi. Serta kata “*ba’sun syadiidun wa anafi’u linnaas*” memiliki arti terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia. Diantara kedua kalimat tersebut, terdapat kata “*fiihi*” yang memiliki arti harfiah di dalamnya yang merujuk pada kata “*al hadiida*” yaitu besi. Ayat ini menjelaskan bahwa besi mempunyai kekuatan yang dapat membahayakan dan dapat pula menguntungkan manusia. Disebutkan dalam kalimat “*dan kami ciptakan besi yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan berbagai manfaat bagi manusia,*”. Salah satu kekuatan besi adalah bahwa lempengan besi dengan berbagai macamnya, secara bertingkat-tingkat mempunyai keistimewaan dalam bertahan menghadapi panas, tarikan, karatan, dan kerusakan, di samping juga lentur hingga dapat menampung daya magnet. Karenanya, besi adalah logam paling cocok untuk bahan senjata dan peralatan perang, bahkan merupakan bahan baku berbagai macam industri berat dan ringan yang dapat menunjang kemajuan peradaban. Selain itu besi juga mempunyai banyak kegunaan lain untuk makhluk hidup. Komponen besi, misalnya, masuk dalam proses pembentukan klorofil yang merupakan zat penghijau tumbuh-tumbuhan (terutama daun) yang terpenting dalam fotosintesis (proses pemanfaatan energi matahari) yang membuat tumbuh-tumbuhan dapat

bernafas dan menghasilkan protoplasma (zat hidup dalam sel). Dari situlah zat besi kemudian masuk ke dalam tubuh manusia dan hewan.

Menurut Shihab (2003), besi memiliki banyak manfaat. Beragam manfaat tersebut dimanfaatkan oleh Geofisika untuk meneliti bawah permukaan bumi. Metode geofisika memanfaatkan kehebatan besi sebagai penyimpan magnet yang digunakan untuk mendeteksi jenis batuan di bawah muka bumi karena masing-masing batuan memiliki sifat magnet, sehingga dapat dideteksi dengan alat magnetometer.

Manusia diciptakan dengan berbagai kekurangan dan ketidakmampuan dalam melihat semua yang ada di bumi dan langit. Bahkan hanya untuk melihat secara indrawi keseluruhan dari bumi-pun manusia tidak mampu, kecuali dengan dibantu berbagai teknologi yang sangat canggih dan sampai saat ini belum ditemukan. Maka dari itu, Allah SWT memberikan petunjuk bagaimana seharusnya menggali seluruh antero jagad ini. Allah SWT berfirman dalam surah ar- Rahman (55): 33:

يَمَعَشَرَ الْجِنِّ وَالْإِنْسِ إِنَّ اسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ
فَأَنْفُذُوا لَا تَنْفُذُونَ إِلَّا بِسُلْطَانٍ ﴿٣٣﴾

“Hai jama'ah jin dan manusia, jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit dan bumi, Maka lintasilah, kamu tidak dapat menembusnya kecuali dengan kekuatan.” (ar- Rahman (55):33)

Ayat al-Quran di atas dalam dimensi dunia memiliki arti bahwa manusia dan jin ditantang oleh Allah SWT untuk dapat menembus, melintasi dan menjelajah

daerah-daerah samawi (luar angkasa) dan bumi agar bisa mengambil manfaatnya bagi kehidupan (Jazairi, 2007).

Kata *bi sulthona* memiliki arti harfiah dengan kekuatan. Dalam ayat tersebut ditunjukkan bahwa untuk menembus, mengarungi bumi dan langit ini adalah dengan kekuatan. السلطن memiliki makna kekuatan untuk menguasai suatu perkara, kekuasaan, kemampuan dan bukti-bukti (Baghawi, 2005).

Pada jaman sekarang, kekuatan yang dimaksud untuk mengarungi segala hal penjuru dunia mungkin lebih tepat diartikan sebagai kekuatan ilmu pengetahuan dan teknologi. Penelitian ini mencoba memberikan kesuksesan berupa pengarungan kedalaman bumi menggunakan ilmu pengetahuan dan teknologi, yaitu berdasarkan ilmu geofisika untuk dapat mengetahui struktur dan keadaan di dalam bumi yang tidak dapat dilihat oleh indera manusia.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 7 Mei 2016 di Situs Arkeologi Biting Blok Randu, Desa Kutorenon Kecamatan Sukodono Kabupaten Lumajang Jawa Timur. Penelitian ini dilakukan di dua tempat, yaitu di tempat pengintaian 1 pada koordinat -8.078088 LS sampai 113.231762 BT dan tempat pengintaian 2 pada koordinat -8.081555 LS sampai 113.237940 BT.



Gambar 3.1 Lokasi penelitian sekitar tempat pengintaian 1 Situs Arkeologi Biting

Keterangan:

 = Daerah penelitian



Gambar 3.2 Lokasi penelitian sekitar tempat pengintaian 2 Situs Arkologi Biting

Keterangan:



= Daerah penelitian



= tempat pengintaian 2 Blok Randu

3.2 Data Penelitian

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Koordinat Lintang dan Bujur
2. Waktu pengambilan data (hari, jam, dan tanggal)
3. Ketinggian titik ukur
4. Data geomagnetik: Intensitas medan magnet total

3.3 Instrumentasi

Pengukuran intensitas medan magnet total dilakukan dengan peralatan PPM (*Proton Precession Magnetometer*) yang merupakan *portable magnetometer*. Selain itu juga GPS untuk penentuan posisi stasiun pengukuran dan ketinggian secara presisi, alat pengukur waktu sebagai penunjuk waktu, rol meter sebagai alat pengukur jarak, kamera, dan kompas. Peralatan pendukung berupa peta Lumajang, peta geologi lembar Lumajang, alat tulis, perangkat komputer untuk pengolahan data, software Microsoft Excel, Surfer 12, Software Magpick untuk pengolahan data khusus mereduksi ke kutub, turunan vertikal kedua dan sinyal analitik sebagai transformasi data magnetik, dan Software Mag2DC untuk pemodelan (*forward modelling*) anomali magnetik baik suseptibilitasnya maupun kedalamannya.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini meliputi tahap pengambilan data (akuisisi data), pengolahan data dan interpretasi terhadap hasil pengolahan data. Data hasil akuisisi data yaitu lintang, bujur dan ketinggian serta medan magnet total diolah menggunakan software dan diinterpretasikan secara kualitatif dan kuantitatif. Pengolahan data ini membutuhkan beberapa software yang telah disebutkan sebelumnya. Berikut gambaran lengkap pelaksanaan penelitian.

3.4.1 Pengambilan Data (Akuisisi Data)

Pengambilan data dengan menggunakan metode magnetik ditujukan untuk mengamati besaran Medan Magnet Total (H) bumi pada 1 titik tertentu. Nilai

medan Medan Magnet Total (H) harus dikurangi oleh medan magnet yang menginduksi dan hasil yang diperoleh adalah Anomali Magnet (ΔH).

Penelitian ini menggunakan metode *loop* tertutup. Yang artinya dalam satu siklus pengukuran, posisi dari titik awal pengukuran dan titik akhir pengukuran adalah sama, dan titik yang sama inilah yang dijadikan sebagai titik acuan atau *base station*. Base station ini melakukan pembacaan setiap akan memulai akuisisi data ke titik pengukuran dan mengakhiri pengambilan data untuk mengetahui variasi harian magnet dalam satu hari. Setelah itu dalam luasan daerah penelitian dibuat titik-titik pengukuran secara *grid* dan dibuat jarak antar titik adalah 2 meter. Pembacaan PPM pada setiap titik pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali supaya mendapatkan distribusi nilai intensitas magnet yang akurat.

3.4.2 Proses Pengolahan Data

1. Koreksi Harian dan Koreksi IGRF

Koreksi ini dilakukan untuk mendapatkan nilai anomali magnetik dari data yang diperoleh dari lapangan hal ini dikarenakan data awal yang diperoleh merupakan data mentah yang masih ada pengaruh dari dalam dan luar bumi. Maka dari itu pengaruh dari luar bumi seperti pengaruh atmosfer dan benda-benda angkasa dihilangkan dengan melakukan koreksi harian dan IGRF. Data hasil pengamatan di lapangan dikurangi atau ditambahkan dengan data hasil pengamatan di *base station* (koreksi harian). Koreksi harian dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta V_D = \frac{(t_n - t_{aw})}{(t_{ak} - t_{aw})} (H_{ak} - H_{aw}) \quad (3.1)$$

Dimana H menyatakan intensitas medan magnet total, ΔV_D menyatakan variasi diurnal, t_n menyatakan waktu pengukuran di titik ukur, t_{aw} menyatakan data awal (data pertama di base station) dan t_{ak} menyatakan waktu akhir (data akhir di base station), H_{ak} menyatakan intensitas medan magnet di titik akhir (data medan magnet akhir di base station), dan H_{aw} menyatakan intensitas medan magnet di titik awal (data medan magnet pertama di base station). Nilai koreksi IGRF didapatkan dengan mencari nilai di *IGRF calculator* atau <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/> dengan titik acuan pada titik *base station* dengan memasukkan koordinat lintang, bujur, inklinasi, deklinasi dan waktu pengambilan data.

2. Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub dilakukan karena anomali magnetik mempunyai polaritas negatif dan positif. Oleh sebab itu, dengan melakukan reduksi ke kutub pada data anomali magnetik, maka anomali magnetik yang mulanya dua kutub menjadi satu kutub sehingga anomali mudah diinterpretasikan. Reduksi ke kutub dilakukan dengan cara membuat sudut inklinasi benda menjadi 90° dan deklinasi 0° . Karena pada kutub magnetik arah dari medan magnet bumi ke bawah dan arah dari induksi magnetiknya ke bawah juga. Data hasil reduksi ke kutub ini sudah dapat dilakukan interpretasi secara kualitatif.

3. Kontinuasi Ke Atas

Kontinuasi ke atas dilakukan terhadap data anomali medan magnet total di bidang datar. Secara umum kontinuasi ini sangat berguna dan merupakan operasi filter. Filter ini berfungsi untuk mengkoreksi pengukuran medan

potensial ke dalam satu permukaan tertentu yang lebih tinggi dari permukaan pada saat melakukan pengukuran data, dengan cara ini diharapkan dapat menekan *noise-noise* frekuensi tinggi atau benda-benda magnet yang letaknya dekat dengan permukaan yang tergabung dengan anomali yang diperoleh. Penentuan pengangkatan ketinggian dilakukan menurut keinginan dan tergantung dari efek yang ingin dihilangkan dan tidak sampai menghilangkan efek anomali yang penting sehingga menyebabkan kehilangan informasi mengenai daerah tersebut. Semakin tinggi pengangkatan akan semakin mengurangi pengaruh sumber anomali yang bersifat dangkal dan sebaliknya akan mendominasi pengaruh sumber atau benda anomali dalam.

4. Gradien Horisontal

Metode Gradien Horisontal adalah sebuah metode untuk menentukan lokasi yang akurat pada kontak vertikal yang terisolasi dari medan magnet yang direduksi kutub, atau tepi yang terisolasi. Sebelum dilakukan gradien horisontal data anomali magnetik terlebih dahulu direduksi ke kutub.

5. Turunan Vertikal Kedua

Turunan vertikal kedua merupakan salah satu metode dalam pengolahan data magnetik yang cocok untuk mempertajam anomali khususnya anomali dangkal. Metode ini juga bisa mereduksi anomali-anomali besar atau pengaruh regional sehingga memperlihatkan struktur yang lebih kompleks dan tereduksi oleh *noise*.

6. Sinyal Analitik

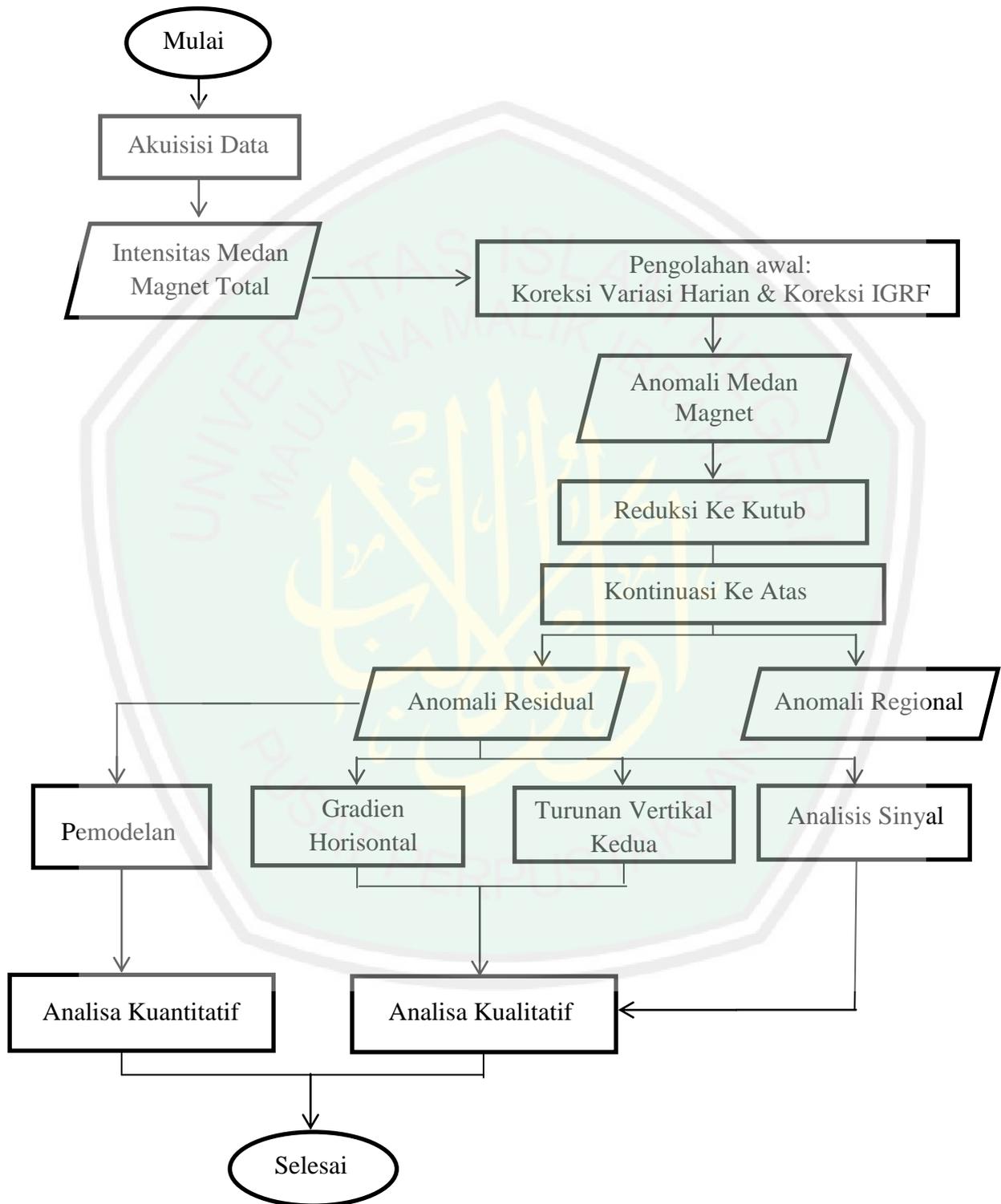
Metode ini digunakan untuk menentukan kedalaman dan posisi anomali magnetik tanpa harus terlebih dahulu direduksi ke kutub berbeda dengan metode sebelumnya yang harus direduksi ke kutub.

3.5 Tahapan Interpretasi Data

Interpretasi data dapat dilakukan dengan dua cara yaitu interpretasi secara kuantitatif dan interpretasi secara kualitatif. Interpretasi kualitatif didasarkan pada analisis spektrum anomali lokal sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan bantuan program Mag2dc.

Interpretasi kualitatif bertujuan untuk menduga ada tidaknya benda penyebab anomali dan untuk melokalisasi daerah yang mempunyai anomali. Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan bentuk atau model dan kedalaman benda anomali atau struktur geologi melalui pemodelan matematis. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menggunakan *software* Mag2dc for Window V 1.2. Pemodelan pada *software* Mag2dc menggunakan metode *forward modelling* (pencocokan profil model dengan profil data lapangan) dengan metode *trial and error* (coba-coba).

3.6 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alur Penelitian

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Akuisisi Data

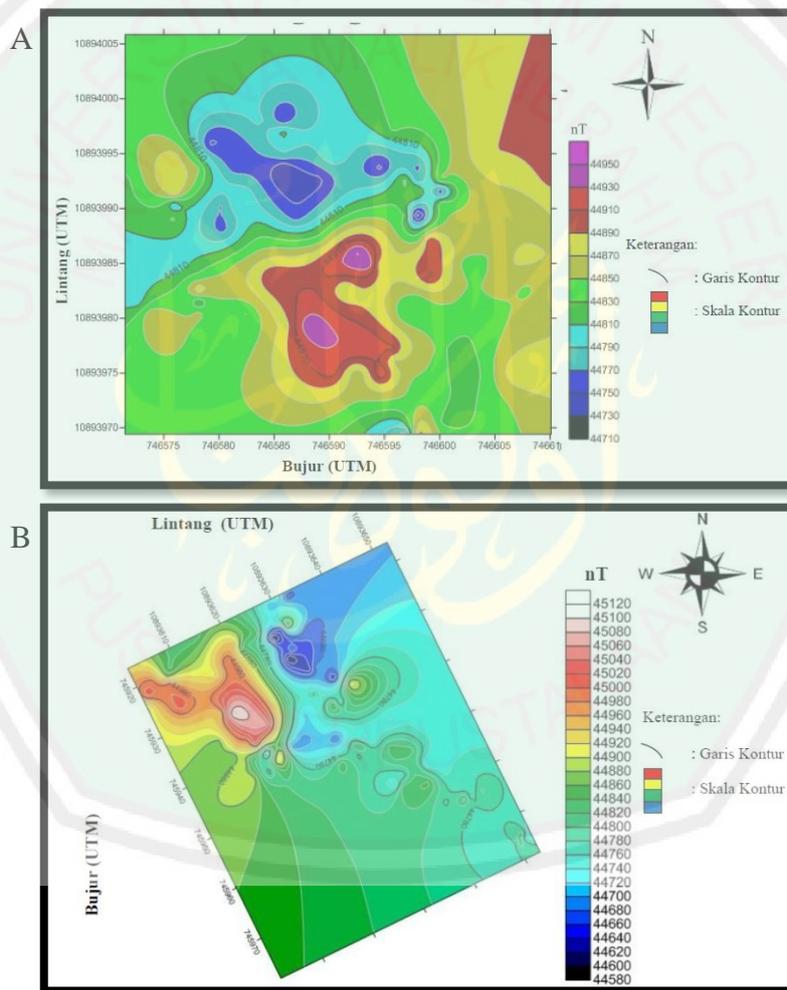
Akuisisi data pada penelitian ini dilakukan di dua tempat, yaitu di tempat pengintaian 1 pada koordinat -8.078088 LS sampai 113.231762 BT dan tempat pengintaian 2 pada koordinat -8.081555 LS sampai 113.237940 BT. Pada tempat pengintaian 1 terdapat 123 titik pengukuran dan tempat pengintaian 2 terdapat 120 titik pengukuran, dengan tiap titik pengukuran memiliki spasi/jarak 2,5 meter. Pada saat akuisisi data didapat nilai intensitas medan magnet, *longitude*, *latitude*, ketinggian dan waktu pengambilan data. Nilai intensitas medan magnet diambil tiga kali pengambilan data supaya didapat nilai yang benar-benar pasti.

4.2 Pengolahan Data

Nilai intensitas medan magnet yang didapat pada saat akuisisi data sebanyak 3 nilai kemudian dirata-rata atau dicari nolai modulusnya sehingga didapatkan nilai intensitas medan magnet total. Setelah didapat nilai intensitas medan magnet total, maka dikoreksi terlebih dahulu dengan koreksi harian/diurnal dan koreksi IGRF supaya didapatkan nilai anomali magnetik lokal dan data tersebut kemudian dikonturkan dengan *Surfer12*. Pengolahan selanjutnya direduksi ke kutub kemudian kontinuasi ke atas, dari pengolahan ini didapat nilai anomali lokal dan anomali regional. Kontur anomali lokal selanjutnya diolah lagi dengan gradien horizontal, dan turunan vertikal kedua serta analisis sinyal untuk diinterpretasi secara kualitatif. Untuk interpretasi secara kuantitatif, kontur

anomali lokal tadi dimodelkan dengan *Mag2DC* agar didapatkan nilai suseptibilitas.

Intensitas medan magnet total dikonturkan dengan *Surfer12*. Sebelum dikonturkan, lintang dan bujur diubah terlebih dahulu ke dalam UTM (*Universal Transverse Mercator*).



Gambar 4.1 (a) Kontur intensitas medan magnet total tempat pengintaian 1 dengan interval kontur 20 nT (b) Kontur intensitas medan magnet total pada tempat pengintaian 2 dengan interval kontur 20 nT

Gambar di atas menunjukkan bahwa intensitas medan magnet pada daerah penelitian di sekitar tempat pengintaian 1 berkisar antara 44710 nT – 44950 nT,

pada daerah ini nilai intensitas medan magnet yang dominan antara 44810 nT – 44870 nT, dapat dilihat pula nilai intensitas medan magnet rendah berkisar antara 44710 nT – 44790 nT, intensitas medan magnet sedang berkisar antara 44810 nT – 44870 nT serta intensitas medan magnet tinggi berkisar antara 44890 nT – 44950 nT. Pada daerah penelitian di sekitar tempat pengintaian 2 intensitas medan magnetnya berkisar antara 44580 nT – 45120 nT. Pada daerah ini intensitas medan magnet yang dominan yaitu antara 44760 nT – 44860 nT, intensitas medan magnet rendah berkisar antara 44580 nT – 44760 nT, intensitas medan magnet sedang berkisar antara 44780 nT – 44940 nT serta intensitas medan magnet tinggi berkisar antara 44960 nT – 45120 nT.

Pada saat penelitian, didapatkan nilai intensitas medan magnet total yang terdiri dari medan magnet utama (*main field*), medan magnet luar (*external field*) dan medan magnet anomali. Sedangkan yang dibutuhkan oleh peneliti adalah medan magnet lokal/medan magnet anomali sehingga perlu untuk menghilangkan medan magnet luar dan medan magnet utama. Untuk menghilangkan medan magnet luar (*external field*) perlu dilakukan koreksi harian/diurnal, dan untuk menghilangkan medan magnet utama (*main field*) perlu dilakukan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*).

Koreksi harian atau diurnal merupakan variasi yang secara dominan ditimbulkan oleh gangguan matahari atau perubahan eksternal bumi. Radiasi ultraviolet matahari menimbulkan ionisasi lapisan ionosfer. Adanya ionisasi ini dan juga adanya elektron-elektron yang terlempar dari matahari juga akan menimbulkan fluktuasi arus sebagai sumber medan magnet. Variasi harian

disebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengukuran dan adanya efek sinar matahari selama satu hari. Untuk menghilangkan medan magnet luar yaitu dengan mengurangi nilai medan magnet total dengan nilai koreksi harian. Nilai koreksi harian didapat dengan menggunakan rumus variasi harian, yaitu selisih antara waktu pengambilan data dan waktu pada titik *base station* dan dikalikan dengan selisih nilai intensitas medan magnet di titik *base station*.

Koreksi IGRF digunakan untuk menghilangkan medan magnet utama. Nilai koreksi IGRF didapatkan dengan mencari nilai di IGRF *calculator* di <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm> yaitu dengan memasukkan nilai lintang, bujur, ketinggian, dan tanggal pengambilan data. Nilai IGRF diperbarui setiap 5 tahun sekali. Nilai-nilai IGRF tersebut diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar 1 juta km² yang dilakukan dalam waktu satu tahun. Berikut adalah gambar kalkulator IGRF yang dapat diakses secara *online*:

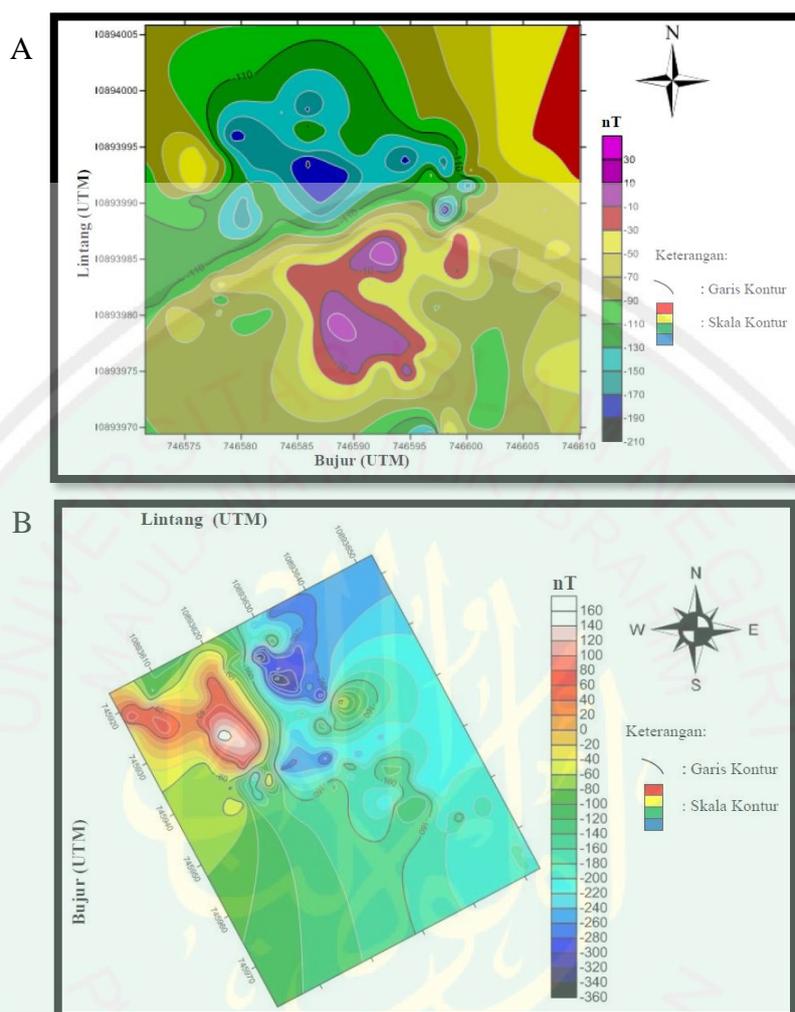
Gambar 4.2 Tampilan kalkulator IGRF di <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm> dengan memasukkan nilai lintang, bujur, elevation, dan tanggal pengambilan data dan menekan *Calculate* langsung didapatkan nilai IGRF

Nilai intensitas medan magnet yang telah dikurangi dengan nilai koreksi harian kemudian dikurangi kembali dengan nilai koreksi IGRF. Nilai koreksi IGRF yang didapat dari kalkulator IGRF adalah seperti berikut:

Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2016-05-07	1° 5' 21"	-32° 44' 16"	37,785.2 nT	37,778.3 nT	718.3 nT	-24,292.8 nT	44,920.6 nT
Change/year	-0° 3' 32"/yr	0° 8' 20"/yr	35.2 nT/yr	35.9 nT/yr	-38.1 nT/yr	106.8 nT/yr	-28.2 nT/yr

Gambar 4.3 Tampilan nilai IGRF yang didapat dari perhitungan kalkulator IGRF (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>)

Setelah dikoreksi harian dan koreksi IGRF maka didapatkan nilai medan magnet total kemudian dibuat kontur medan magnet total dengan menggunakan *Surfer12* seperti gambar 4.4.



Gambar 4.4 (a) Kontur anomali magnetik total pada tempat pengintaian 1 dengan interval kontur 20 nT (b) Kontur anomali magnetik total tempat pengintaian 2 dengan interval kontur 20 nT

Pada gambar 4.4, nilai anomali magnetik total ditunjukkan dengan kontur warna. Pada daerah penelitian di sekitar tempat pengintaian 1, nilai anomali magnetik lokal berkisar antara -210 nT – 30 nT. Nilai anomali magnetik total bisa dikelompokkan dalam anomali magnetik rendah, sedang dan tinggi. Anomali magnetik total rendah berkisar antara -210 nT sampai -130 nT ditandai dengan warna hitam sampai hijau tua. Anomali magnetik sedang berkisar antara -110 nT sampai -50 nT ditandai dengan warna hijau hingga kuning, serta nilai anomali

magnetik tinggi berkisar antara $-30 \text{ nT} - 30 \text{ nT}$ ditandai dengan warna merah tua sampai ungu muda. Sedangkan pada tempat penelitian di sekitar tempat pengintaian 2 anomali magnetik berkisar antara $-360 \text{ nT} - 160 \text{ nT}$. Anomali magnetik rendah dimulai dari -360 nT sampai -200 nT ditandai dengan warna hitam sampai biru muda, nilai anomali magnetik sedang berkisar antara -180 nT sampai -20 nT ditandai dengan warna hijau tua sampai kuning muda serta nilai anomali magnetik tinggi berkisar antara $0 \text{ nT} - 160 \text{ nT}$ ditandai dengan warna merah sampai ungu muda.

4.3 Interpretasi Kualitatif

Interpretasi dalam pengolahan data magnetik dibagi menjadi dua, yaitu interpretasi kualitatif dan interpretasi kuantitatif. Interpretasi kualitatif hanya menginterpretasikan hasil kontur anomali medan magnet yang berasal dari benda-benda termagnetisasi yang berada di bawah permukaan tempat penelitian. Pada interpretasi ini, kontur yang diinterpretasikan adalah kontur nilai anomali magnetik total yang sudah di koreksi IGRF dan harian.

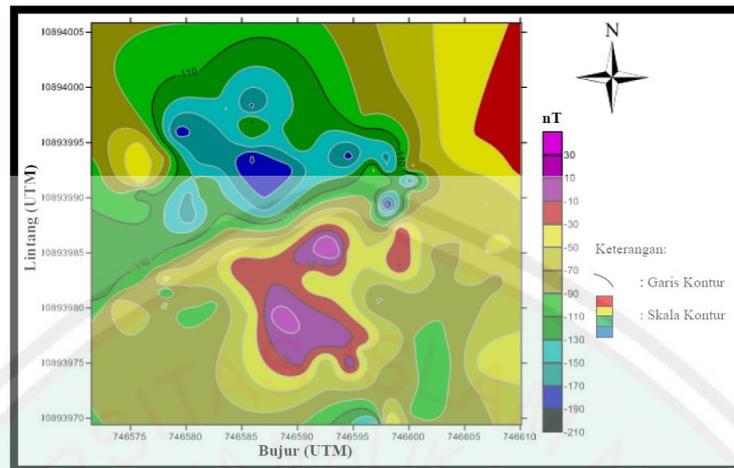
4.3.1 Anomali Magnetik Total

Anomali magnetik total merupakan anomali magnetik hasil pengurangan nilai koreksi IGRF dan koreksi harian. Nilai anomali magnetik total pada tempat pengintaian 1 berkisar antara $-210 \text{ nT} - 30 \text{ nT}$. Nilai anomali magnetik lokal bervariasi disebabkan karena adanya variasi batuan termagnetisasi di bawah permukaan daerah penelitian. Pada umumnya, nilai anomali magnetik lokal yang di dapat pada daerah penelitian di sekitar tempat pengintaian 1 bernilai negatif.

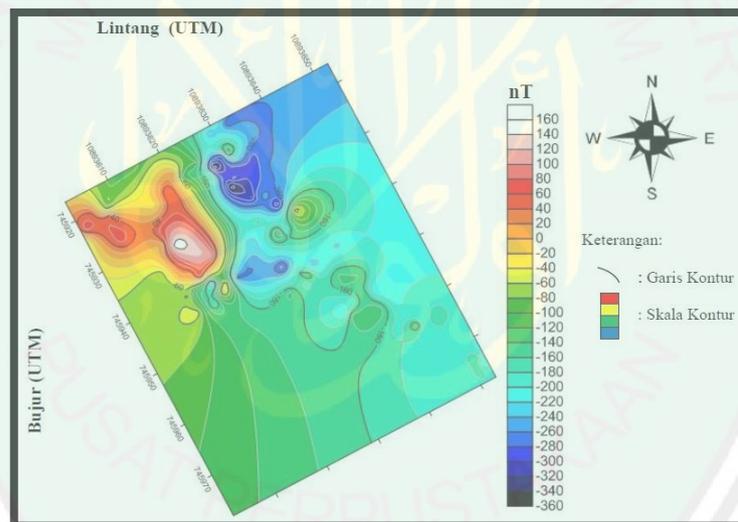
Hal ini sesuai dengan target penelitian, nilai intensitas medan magnet rendah menandakan adanya batu bata merah kuno yang terbuat dari tanah lempung karena pada permukaan tempat pengintaian ditemukan gundukan batu bata merah kuno yang tidak sempurna. Anomali magnetik rendah menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas batuananya negatif serta kerentanan magnetiknya sangat kecil.

Gambar 4.5 merupakan gambaran nilai anomali magnetik total yang didapat dari tempat penelitian, dari hasil kontur, nilai anomali magnetik dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian. Untuk anomali magnetik total tinggi berkisar antara -50 nT – 30 nT ditandai dengan warna merah hingga ungu muda. Pada tempat penelitian di sekitar tempat pengintaian 1, anomali magnetik total tersebar di sebagian kecil daerah penelitian, tepatnya yaitu di seberang tempat pengintaian yang tampak di permukaan. Anomali magnetik total sedang berkisar antara -130 nT - -70 nT ditandai dengan warna hijau muda sampai kuning. Pada daerah penelitian ini, hampir sebagian besar memiliki nilai anomali magnetik total sedang. Daerah ini tanahnya yaitu tersusun dari *Aluvium* dan terdapat beberapa serakan batu bata kuno yang sedikit tampak di permukaan. Sedangkan untuk nilai anomali magnetik rendah berkisar antara -210 – -150 nT ditandai dengan warna hitam sampai biru muda. Anomali magnet total rendah ini terdeteksi muncul di sekitar *tempat pengintaian* yang sedikit tampak di permukaan.

Anomali rendah selalu berada tepat di sebelah anomali tinggi dan membentuk *dipole* antara anomali magnetik per luas yang tinggi dan paling rendah.



Gambar 4.5 Kontur anomali magnetik total pada tempat pengintaian 1 dengan interval kontur 20 nT



Gambar 4.6 Anomali magnetik total pada tempat pengintaian 2 dengan interval 20 nT

Pada daerah penelitian di sekitar tempat pengintaian 2, nilai anomali magnetik total berkisar antara -360 nT – 160 nT. Dapat dilihat pada gambar 4.6 di sekitar tempat pengintaian 2 ini nilai anomali yang didapat umumnya negatif. Anomali magnetik total pada daerah sekitar tempat pengintaian 2 dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu anomali magnetik tinggi, sedang dan rendah. Anomali

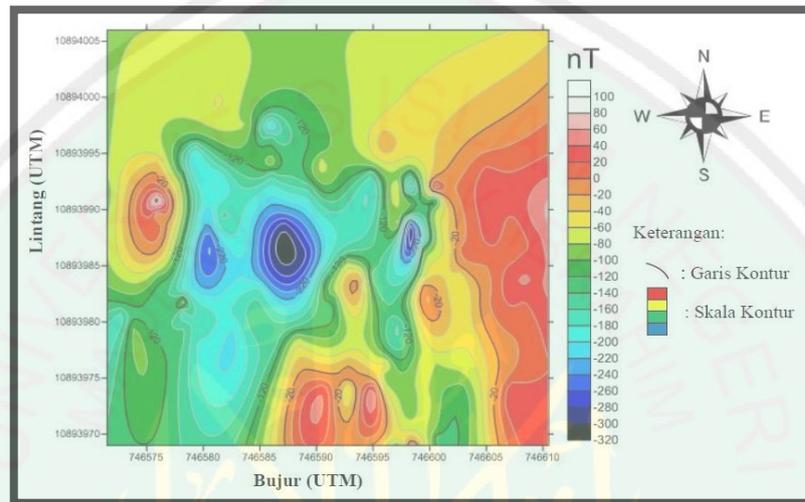
magnetik total rendah berkisar antara -360 nT sampai -200 nT ditandai dengan warna hitam sampai biru muda. Anomali magnetik rendah tersebar pada hampir setengah dari daerah penelitian, diduga nilai anomali magnetik total rendah ini disebabkan adanya batuan termagnetisasi rendah di bawahnya. Nilai anomali magnetik total sedang berkisar antara -180 nT sampai -20 nT ditandai dengan warna hijau tua sampai kuning muda. Warna hijau tua sampai kuning muda menyelimuti sebagian besar daerah penelitian. Apabila nilai anomali magnetik rendah diartikan sebagai adanya batu bata di bawah permukaan, maka tidak heran kalau nilai anomali magnetik sedang menyelimuti sebagian besar daerah penelitian karena banyak batu bata berserakan di sekitar tempat pengintaian. Sedangkan nilai anomali magnetik tinggi berkisar antara 0 - 160 nT ditandai dari warna merah tua sampai ungu muda. Nilai anomali magnetik tinggi tepat bersebelahan dengan anomali magnetik rendah, hal ini disebabkan karena anomali magnetik tinggi membentuk *dipole* dengan anomali magnetik rendah.

4.3.2 Reduksi ke Kutub

Data anomali medan magnet lokal kemudian direduksi ke kutub dengan tujuan memposisikan situs dengan anomali maksimum tepat berada di atas benda penyebab anomali dengan cara mengubah arah magnetisasi dan medan utama dalam arah vertikal, tetapi masih disebabkan oleh sumber yang sama. Reduksi ke kutub dilakukan untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik, dengan cara membuat sudut inklinasi benda menjadi 90° dan deklinasinya 0.

Gambar 4.9 merupakan gambar anomali magnetik total yang sudah direduksi ke kutub. Pada gambar tersebut terlihat bahwa variasi medan magnet

lebih banyak dan lebih tinggi. Hal ini dikarenakan untuk mendapatkan suatu pola anomali yang *monopole* yaitu dengan cara menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik.

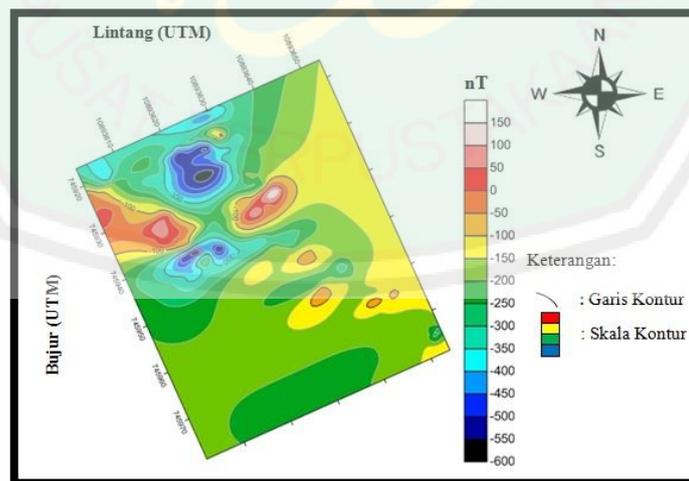


Gambar 4.7 Kontur reduksi ke kutub dari anomali magnetik total pada tempat pengintaian 1 dengan interval kontur 20nT

Pada gambar di atas bisa dilihat, kontur tertinggi 100 nT dan terendah -320 nT. Pada kontur reduksi ke kutub ini lebih banyak nilai anomali yang negatif. Nilai kontur dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu nilai anomali rendah yang ditandai dengan kontur warna hitam sampai hijau muda, nilai anomali sedang yang ditandai dengan kontur warna hijau sampai warna oranye, serta nilai anomali magnetik tinggi ditandai dengan warna merah muda sampai putih.

Nilai anomali magnetik berkisar antara -320 nT sampai -200 nT. Nilai anomali magnetik rendah ini melingkupi sebagian daerah penelitian terutama disekitar tempat pengintaian yang nampak yaitu tepat di tengah daerah penelitian. Sedangkan nilai anomali terendah terletak di tengah daerah penelitian yaitu

diperkirakan di sekitar tempat pengintaian yang tampak di permukaan. Nilai anomali magnetik sedang berkisar antara -180 nT sampai -60 nT. Nilai anomali sedang ini berada di sekitar sisi tempat pengintaian yang tampak. Sebagian besar daerah penelitian merupakan daerah dengan nilai anomali magnetik sedang ditandai dengan kontur warna hijau muda sampai oranye yang banyak terlihat pada kontur reduksi ke kutub. Nilai anomali magnetik rendah ini berada di sekitar tempat pengintaian yang tampak sampai ke arah barat daya yaitu di sekitar belakang rumah warga. Nilai anomali magnetik rendah ini dianalisa sebagai batu bata penyusun candi yang masih terpendam atau tidak tampak dipermukaan. Nilai anomali magnetik tinggi yaitu berkisar antara -40 nT – 100 nT ini ditandai dengan kontur warna oranye hingga putih. Anomali magnetik tinggi ini sebagian besar terletak di daerah penelitian bagian timur dan selatan atau hampir mendekati sungai.



Gambar 4.8 Kontur tempat pengintaian 2 setelah di reduksi ke kutub dengan interval 50 nT

Pada daerah penelitian di sekitar tempat pengintaian 2 nilai medan magnet berkisar antara $-600 \text{ nT} - 150 \text{ nT}$. Nilai medan magnet dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu nilai medan magnet tinggi, sedang dan rendah. Nilai medan magnet tinggi berkisar antara $-100 \text{ nT} - 150 \text{ nT}$ dan ditandai oleh kontur warna oranye sampai putih. Nilai medan magnet sedang berkisar antara $-50 \text{ nT} - 150 \text{ nT}$ ditandai dengan warna biru muda sampai hijau. Sedangkan nilai medan magnet rendah berkisar antara $-600 \text{ nT} - -200 \text{ nT}$ ditandai dengan warna hitam sampai biru. Pada daerah di sekitar tempat pengintaian 2 yang tampak memiliki nilai intensitas medan magnet tinggi dan sedang. Sedangkan untuk daerah penelitian disekitar jalan menuju tempat pengintaian yang tampak dan diduga terdapat benteng di bawahnya memiliki nilai intensitas medan magnet sekitar $-150 \text{ nT} - 100 \text{ nT}$.

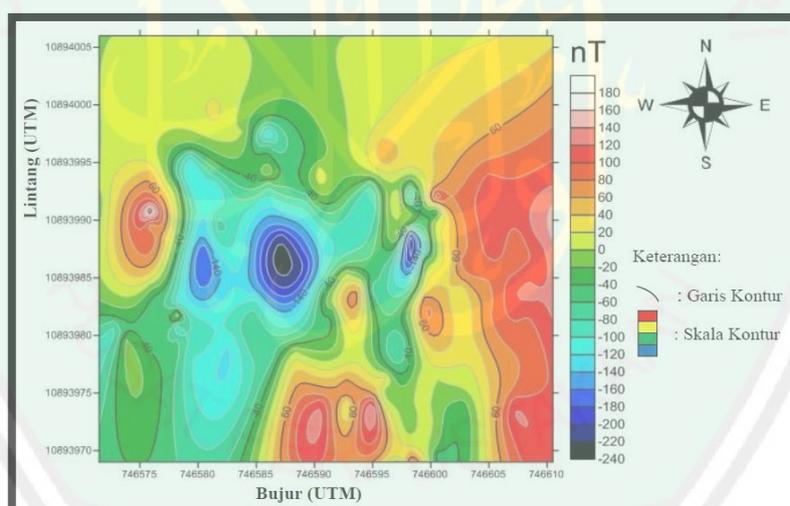
4.3.2 Kontinuasi Ke Atas

Kontinuasi ke atas ini dimaksudkan untuk menghilangkan medan magnet regional. Pada dasarnya, anomali medan magnet lokal hasil koreksi terdiri dari medan magnet regional dan medan magnet residual/lokal dan yang dibutuhkan oleh peneliti adalah medan magnet lokal. Untuk mendapatkan nilai anomali magnetik regional/lokal maka dilakukan kontinuasi ke atas. Setelah itu, anomali magnetik total dikurangi dengan anomali magnetik hasil kontinuasi ke atas maka didapat anomali magnetik lokal.

Kontinuasasi ke atas atau *upward continuation* merupakan proses transformasi data medan potensial dari suatu bidang yang lebih tinggi. Pada pengolahan data geomagnetik, proses ini dapat untuk menghilangkan atau

mereduksi efek magnetik lokal yang berasal dari berbagai sumber benda magnetik yang tersebar di permukaan topografi yang tidak terkait dengan survei (Blakely, 1995).

Gambar 4.9 merupakan peta kontur hasil anomali magnetik residual hasil dari kontinuitas keatas setinggi 90 m. Nilai anomali magnetik residual pada daerah penelitian di sekitar tempat pengintaian 1 lebih tinggi dari nilai anomali magnetik total. Hal ini disebabkan karena pada anomali magnetik lokal sudah menghilangkan anomali magnetik regional yang belum dihilangkan pada anomali magnetik total.



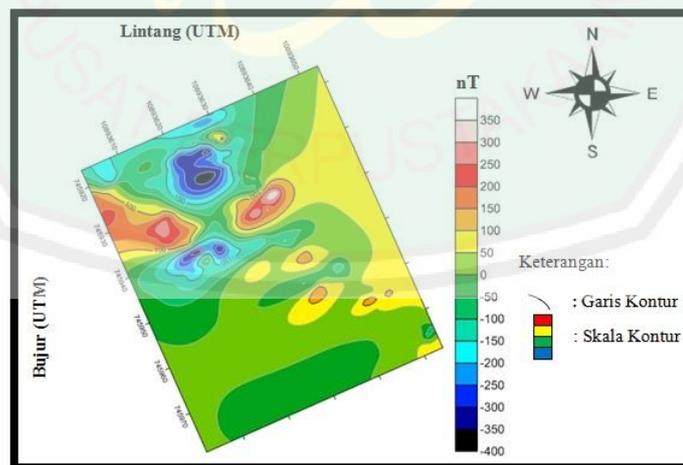
Gambar 4.9 Kontur anomali magnetik lokal dari hasil kontinuitas ke atas setinggi 90 m dengan interval kontur 10 nT

Pada kontur anomali magnetik lokal, nilai medan magnet berkisar antara -240 nT – 180 nT. Nilai ini berbeda dengan nilai anomali magnetik pada proses sebelumnya, nilainya tidak dipengaruhi oleh nilai anomali magnetik regional.

Nilai kontur anomali magnetik lokal ini dibagi menjadi tiga kelompok yaitu nilai medan magnet rendah ditandai dengan warna hitam sampai hijau muda,

nilai medan magnet sedang ditandai dengan warna hijau muda sampai oranye, serta nilai medan magnet tinggi ditandai dengan oranye sampai putih.

Nilai medan magnet rendah berkisar antara -240 nT – -120 nT daerah dengan nilai medan magnet rendah terletak di tengah daerah penelitian. Hasil analisa peneliti, medan magnet rendah ini berada di tempat pengintaian yang tampak di permukaan. Nilai medan magnet sedang berkisar antara -100 nT – 20 nT melingkupi sebagian besar daerah penelitian. Dapat dilihat pada gambar 4.10 sebagian besar daerah penelitian dilingkupi warna hijau muda sampai kuning. Anomali magnetik lokal sedang ini berada di sekitar tempat pengintaian yang tampak di permukaan. Diduga daerah yang dilingkupi nilai medan magnet sedang ini adalah sebaran batu bata bangunan tempat pengintaian yang masih terpendam atau tidak tampak di permukaan. Nilai anomali magnetik tinggi lebih banyak berada di bagian timur dan selatan daerah penelitian.



Gambar 4.10 Kontur anomali magnetik lokal hasil kontinuasi ke atas setinggi 150 m pada sekitar tempat pengintaian 2

Pada daerah sekitar tempat pengintaian 2, nilai intensitas medan magnet berkisar antara $-400 \text{ nT} - 350 \text{ nT}$. Nilai ini berbeda dengan nilai intensitas medan magnet sebelum-sebelumnya. Karena pada anomali residual ini sudah tidak ada pengaruh anomali regional alias pengaruh anomali regional sudah dihilangkan dengan cara dikontinuasi setinggi 150 meter.

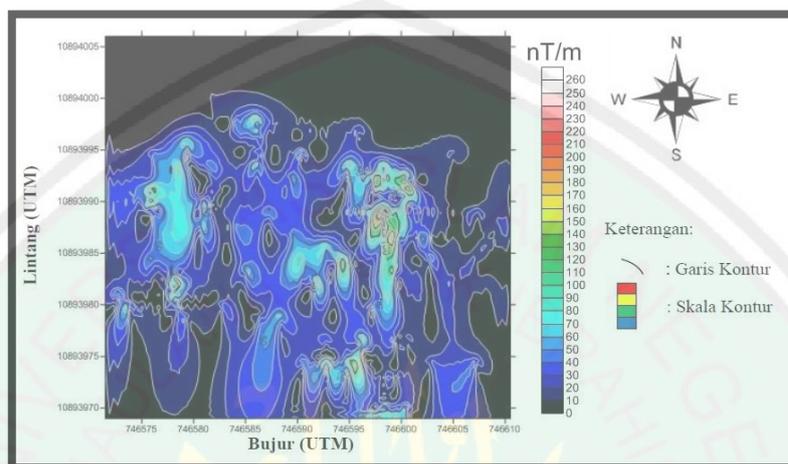
Nilai intensitas medan magnet pada tempat pengintaian 2 dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu nilai anomali magnetik tinggi, sedang dan rendah. Nilai anomali magnetik rendah berkisar antara $-400 \text{ nT} - -200 \text{ nT}$ ditandai dengan warna hitam sampai biru. Nilai anomali magnetik sedang berkisar antara $-150 \text{ nT} - 100 \text{ nT}$ ditandai dengan warna biru muda sampai oranye. Nilai medan magnet tinggi berkisar antara $100 \text{ nT} - 350 \text{ nT}$ ditandai dengan warna merah sampai putih.

4.3.4 Gradien Horisontal

Metode gradien horisontal digunakan untuk menentukan lokasi yang akurat pada kontak vertikal yang terisolasi dari medan magnet yang direduksi ke kutub, atau tepi dari daerah penelitian yang terisolasi. Penelitian ini menggunakan metode gradien horisontal supaya dapat menafsirkan lokasi situs dengan melihat batas-batas tepi dari anomali magnetik yang telah direduksi ke kutub.

Gambar 4.11 merupakan kontur yang telah di reduksi ke kutub kemudian di gradien horisontal. Gambar tersebut menunjukkan semua anomalnya bernilai positif hal ini dikarenakan metode gradien horizontal menggunakan akar dari kuadrat turunan pertama sehingga awalnya yang anomalnya negatif menjadi positif semua. Selain itu, karena metode ini menggunakan akar dari kuadrat

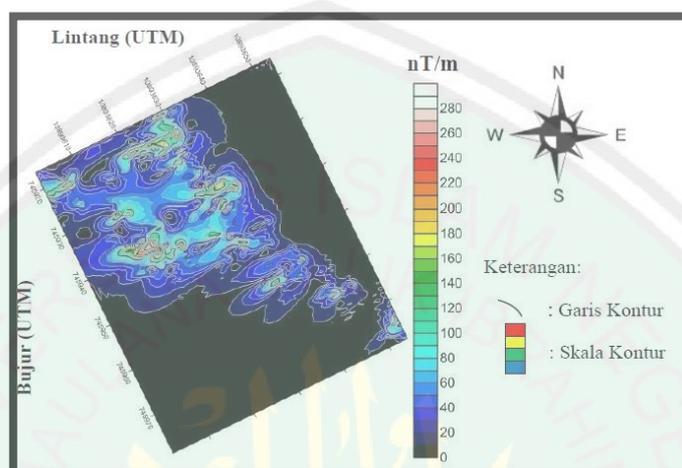
turunan pertama, maka hasil dari gradien tidak lagi dalam satuan induksi magnetik (nT) tapi dalam bentuk satuan induksi magnetik per jarak (nT/m).



Gambar 4.11 Kontur gradien horisontal dari anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 1 dengan interval 10 nT/m

Pada gambar di atas bisa dilihat bahwa nilai medan magnet per jarak setelah digradien horisontal berkisar antara 0 nT/m sampai 260 nT/m. Medan magnet per jarak pada anomali tinggi berkisar antara 180 nT/m hingga 250 nT/m ditandai dengan warna oranye sampai putih. Nilai kontur ini dianalisa berada di dekat tempat pengintaian yang tampak di permukaan tepatnya pada sebelah timur daerah penelitian. Medan magnet per jarak sedang berkisar pada 90 nT/m hingga 170 nT/m ditandai dengan warna hijau muda hingga oranye muda. Nilai kontur ini terletak di sekitar daerah yang masuk nilai medan magnet per jarak yang tinggi, selain itu juga ditemukan di beberapa bagian selatan dan barat daerah penelitian. Nilai kontur rendah berkisar antara 0 nT/m sampai 80 nT/m berada di sebagian besar daerah penelitian. Bahkan nilai medan magnet per jarak 0 nT/m yang ditandai dengan kontur berwarna hitam melingkupi hampir sepertiga daerah

penelitian bagian utara. Untuk daerah yang dilingkupi dengan warna hitam penulis tafsirkan sebagai daerah tanpa sebaran batu bata.



Gambar 4.12 Kontur gradien horisontal dari anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 2 dengan interval 20 nT/m

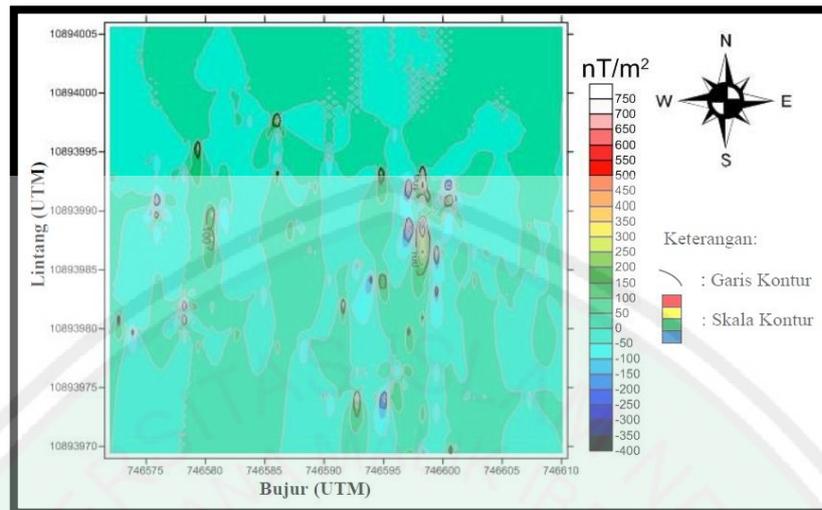
Pada gambar di atas bisa dilihat bahwa nilai medan magnet per jarak setelah digradien horisontal berkisar antara 0 nT/m sampai 280 nT/m. Medan magnet per jarak pada anomali tinggi berkisar antara 200 nT/m hingga 280 nT/m ditandai dengan warna oranye sampai putih. Nilai kontur ini dianalisa berada di dekat tempat pengintaian yang tampak di permukaan tepatnya pada sebelah barat daya daerah penelitian. Medan magnet per jarak sedang berkisar pada 120 nT/m hingga 180 nT/m ditandai dengan warna hijau muda hingga oranye muda. Nilai kontur ini terletak di sekitar daerah yang masuk nilai medan magnet per jarak yang tinggi. Nilai kontur rendah berkisar antara 0 nT/m sampai 100 nT/m berada di utara dan tenggara. Bahkan nilai medan magnet per jarak 0 nT/m yang ditandai dengan kontur berwarna hitam melingkupi hampir sepertiga daerah penelitian bagian utara. Untuk daerah yang dilingkupi dengan warna hitam penulis tafsirkan

sebagai daerah tanpa sebaran batu bata. Pada kontur tersebut bisa dilihat bahwa sebagian besar anomali berada di barat daya daerah penelitian tepat di bawah tempat pengintaian 2 yang tampak permukaan. Selain itu, ditemukan juga bahwa terdapat anomali di pojok barat daya dan penulis analisa sebagai bukti bahwa tempat pengintaian 2 masih berlanjut sampai terus ke barat daya.

4.3.5 Turunan Vertikal Kedua

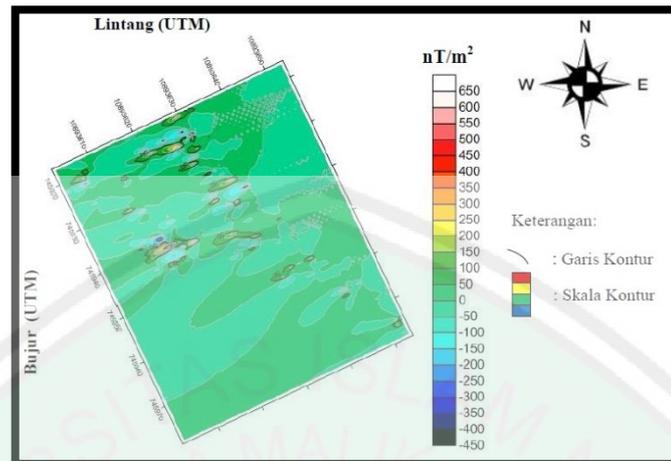
Turunan vertikal kedua salah satu metode dalam pengolahan data magnetik cocok untuk mempertajam anomali khususnya anomali dangkal. Selain itu metode ini dapat mereduksi anomali-anomali yang besar atau pengaruh regional sehingga dapat memperlihatkan struktur yang lengkap dan tereduksi oleh *noise*. Dengan menggunakan metode turunan vertikal kedua diharapkan dapat memperjelas keberadaan dan posisi situs candi penataran secara detail. Turunan vertikal kedua merupakan konsekuensi langsung pada persamaan Laplace.

Satuan pada anomali hasil turunan vertikal kedua ini adalah nT/m^2 karena metode ini menggunakan domain X dan Y maka satuan yang digunakan bukan induksi magnetik (nT) melainkan induksi magnetik per luas (nT/m^2).



Gambar 4.13 Kontur turunan vertikal kedua dari anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 1 dengan interval kontur 50 nT/m^2

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa skala kontur berkisar antara -400 nT/m^2 – 750 nT/m^2 terdiri dari nilai induksi magnetik per luas positif dan negatif karena metode turunan vertikal kedua tidak menggunakan akar kuadrat turunan pertama tetapi menggunakan turunan dua kali. Nilai induksi magnetik per luas rendah berkisar antara -400 nT/m^2 sampai -50 nT/m^2 ditandai dengan kontur warna hitam sampai biru muda, kontur warna ini melingkupi sebagian besar daerah penelitian. Nilai induksi magnetik per luas sedang berkisar antara 0 nT/m^2 – 350 nT/m^2 ditandai dengan warna hijau muda sampai oranye muda. Serta nilai induksi magnetik per luas tinggi berkisar antara 400 nT/m^2 – 750 nT/m^2 ditandai dengan warna oranye sampai putih.



Gambar 4.14 Kontur turunan vertikal kedua dari anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 2 dengan interval kontur 50 nT/m^2

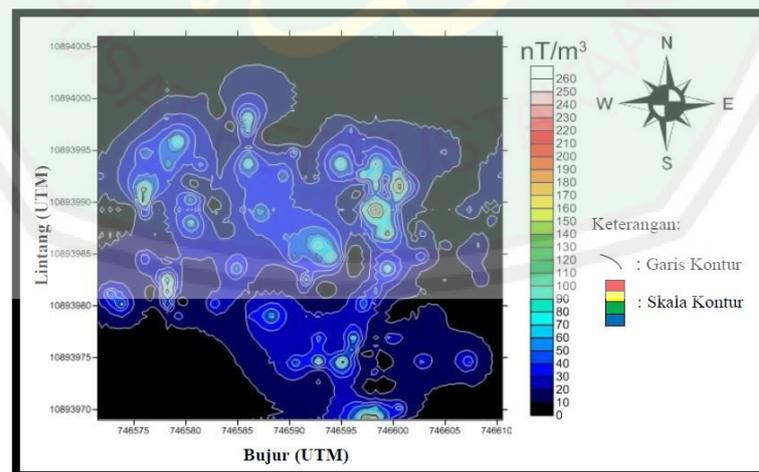
Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa skala kontur berkisar antara -450 nT/m^2 – 650 nT/m^2 terdiri dari nilai induksi magnetik per luas positif dan negatif karena metode turunan vertikal kedua tidak menggunakan akar kuadrat turunan pertama tetapi menggunakan turunan dua kali. Nilai induksi magnetik per luas rendah berkisar antara -450 nT/m^2 sampai -100 nT/m^2 ditandai dengan kontur warna hitam sampai biru muda, kontur warna ini melingkupi sebagian besar daerah penelitian. Nilai induksi magnetik per luas sedang berkisar antara -50 nT/m^2 – 300 nT/m^2 ditandai dengan warna hijau muda sampai oranye. Serta nilai induksi magnetik per luas tinggi berkisar antara 350 nT/m^2 – 650 nT/m^2 ditandai dengan warna oranye sampai putih. Nilai induksi magnetik per luas sedang berada tepat di bagian pojok tempat pengintaian yang tampak di permukaan.

4.3.6 Analisis Sinyal

Analisis sinyal mempunyai sebuah bentuk yang bergantung pada lokasi bendanya (koordinat horisontal dan kedalaman) tetapi tidak pada arah

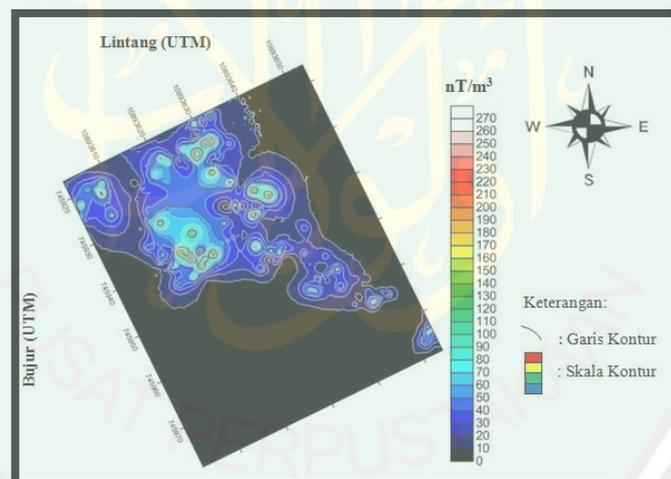
magnetisasinya (Blakely, 1995), sehingga dengan menggunakan metode sinyal analitik diharapkan dapat mengetahui posisi benda atau posisi dari benteng Situs Biting.

Skala yang diperoleh semuanya menunjukkan angka positif tidak ada yang negatif, sama dengan hasil kontur dengan metode gradien horizontal. Hal ini dikarenakan metode sinyal analitik menggunakan akar dari kuadrat turunan pertama seperti pada gradien horizontal, jadi yang awalnya bernilai negatif maka semuanya menjadi positif. Perbedaan sinyal analitik dengan gradien horizontal adalah jika pada gradien horizontal hanya bergerak dalam domain lateral yakni X dan Y, pada sinyal analitik bergerak pada domain X, Y dan Z, Z disini dianggap sebagai kedalaman namun biasanya kedalaman disini dianggap konstan. Untuk nilai satuan dalam sinyal analitik tidak lagi menggunakan induksi magnetik (nT) tetapi menggunakan induksi magnetik per volume (nT/m^3).



Gambar 4.15 Kontur analisis sinyal dari anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 1 dengan interval $10 \text{ nT}/\text{m}^3$

Pada gambar 4.15 dapat dilihat bahwa nilai skala kontur berkisar antara $0 \text{ nT/m}^3 - 260 \text{ nT/m}^3$. Nilai anomali magnetik tinggi berkisar antara $190 \text{ nT/m}^3 - 260 \text{ nT/m}^3$ ditandai dengan kontur warna oranye hingga putih. Nilai anomali magnetik sedang berkisar antara $100 \text{ nT/m}^3 - 180 \text{ nT/m}^3$ ditandai dengan warna hijau muda sampai oranye. Pada gambar dapat dilihat nilai kontur hanya sampai skala anomali magnetik sedang yaitu mengisi dibagian timur daerah penelitian. Sedangkan anomali magnetik rendah berkisar antara $0 \text{ nT/m}^3 - 90 \text{ nT/m}^3$ ditandai dengan warna hitam sampai biru muda. Nilai anomali 0 nT/m^3 diduga berupa tanah kosong yang di dalamnya tidak terdapat sebaran batu bata sama sekali.



Gambar 4.16 Kontur analisis sinyal dari anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 2 dengan interval 10 nT/m^3

Pada gambar 4.16 dapat dilihat bahwa nilai skala kontur berkisar antara $0 \text{ nT/m}^3 - 270 \text{ nT/m}^3$. Nilai anomali magnetik tinggi berkisar antara $180 \text{ nT/m}^3 - 270 \text{ nT/m}^3$ ditandai dengan kontur warna oranye hingga putih. Nilai anomali magnetik sedang berkisar antara $100 \text{ nT/m}^3 - 180 \text{ nT/m}^3$ ditandai dengan warna hijau muda sampai oranye. Pada gambar dapat dilihat nilai kontur hanya sampai

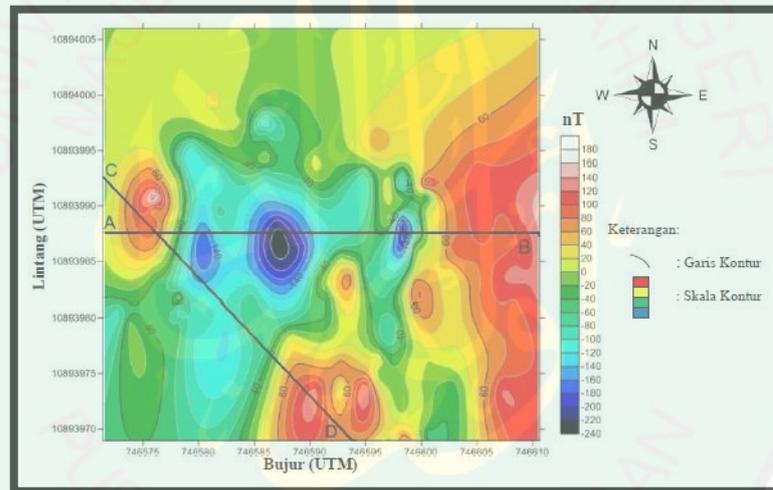
skala anomali magnetik sedang yaitu memanjang dari timur laut sampai barat daya daerah penelitian. Sedangkan anomali magnetik rendah berkisar antara $0 \text{ nT/m}^3 - 90 \text{ nT/m}^3$ ditandai dengan warna hitam sampai biru muda. Nilai anomali 0 nT/m^3 dianalisa berupa tanah kosong yang di dalamnya tidak terdapat sebaran batu bata sama sekali.

4.4 Interpretasi Kuantitatif

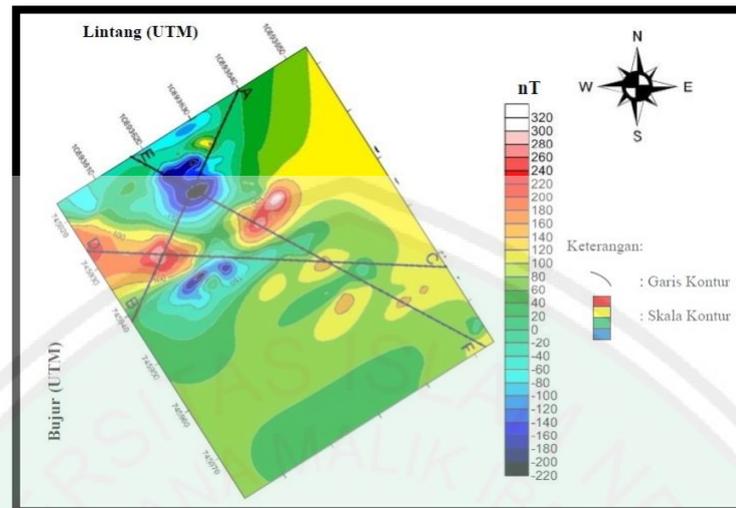
Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan bentuk atau model dan kedalaman benda anomali atau struktur geologi melalui pemodelan matematis. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menggunakan *software* Mag2dc. Pemodelan pada *software* Mag2dc menggunakan metode *forward modelling* (pencocokan profil model dengan profil data lapangan) dengan metode *trial and error* (coba-coba). Cara kerjanya dengan mencocokkan grafik kurva model dan kurva anomali lokal pada lintasan yang dipilih. Kurva model ditunjukkan dengan garis putus-putus dan kurva anomali magnetik lokal ditunjukkan dengan garis tegas. Pembuatan model juga harus memasukkan IGRF (medan magnetik utama bumi), inklinasi, dan deklinasi.

Interpretasi kuantitatif dilakukan berdasarkan hasil penafsiran kualitatif, sehingga dapat menentukan bagian-bagian penampang anomali yang tepat untuk disayat. Ketika membuat sayatan diusahakan memotong anomali magnetik dengan klosur negatif dan klosur positif. Dari anomali magnetik lokal tempat pengintaian 1 diambil 2 bagian sayatan (sayatan A-B, dan C-D). Dari anomali lokal tempat pengintaian 2 diambil 3 bagian sayatan (sayatan A-B, C-D, dan E-F). Data hasil sayatan kemudian digunakan sebagai masukan ketika melakukan pemodelan.

Gambar 4.17 menunjukkan model anomali magnetik lokal tempat pengintaian 1 dan Gambar 4.18 menunjukkan model anomali magnetik lokal tempat pengintaian 2. Model anomali ini yang akan dipotong atau disayat menggunakan software *Surfer 12* dan kemudian dimodelkan menggunakan software *Mag2DC*. Lintasan pemotongan dalam model anomali lokal diberi tanda AB, CD dan EF. Hal ini dimaksudkan untuk menduga yang diduga sebagai pondasi yang tersembunyi dan permukaannya tidak terlihat.



Gambar 4.17 Irisan penampang yang akan dimodelkan dari anomali magnetik lokal tempat pengintaian 1



Gambar 4.18 Irisan penampang yang akan dimodelkan dari magnetik lokal tempat pengintaian 2

4.4.1 Lintasan A-B Tempat Pengintaian 1

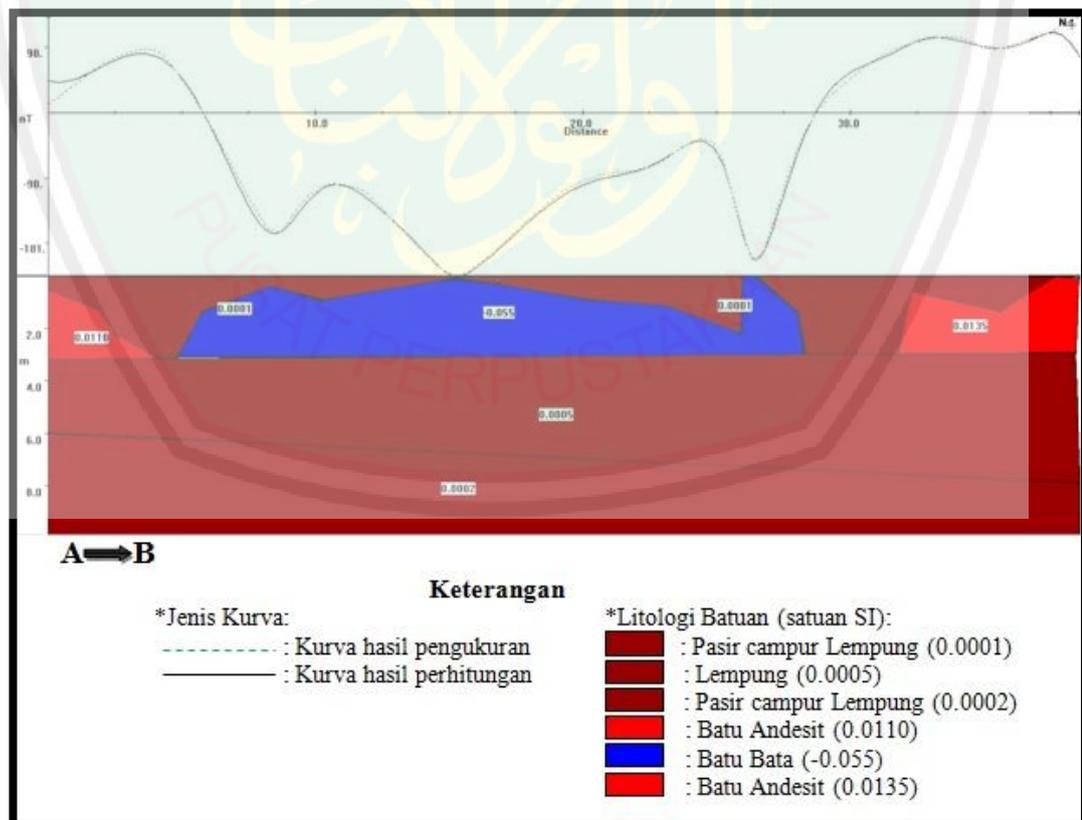
Penampang lintasan AB diambil setelah kontur anomali magnetik ditafsirkan melalui interpretasi kualitatif. Lintasan AB disayat melintang dari barat tempat pengintaian yang tampak hingga sebelah timur. Dimana lintasan ini melewati anomali positif dan negatif yang terdapat pada sekitar tempat pengintaian.

Parameter yang digunakan dalam pemodelan adalah nilai IGRF sebesar 44920.6 nT, sudut inklinasi sebesar -32.4416 derajat, dan sudut deklinasi sebesar 1.521 derajat serta maksimum kedalaman 10 meter. Pemodelan ini menggunakan kedalaman 10 meter karena pondasi sebuah benteng tidak akan lebih dari 10 meter.

Pada daerah sekitar tempat pengintaian ini diduga sebagai kawasan pemukiman pejabat kerajaan. Selain itu di daerah tersebut juga diduga merupakan pemukiman para Senopati dan Panglima yang barak-barak pasukannya berada di

sebelah timur. Di daerah ini pernah ditemukan umpak batu sebagai tiang penyangga untuk membuat rumah, sumur yang airnya masih bisa keluar, pecahan keramik, porselin, dan artefak-artefak kecil (Hidayat, 2012)

Gambar 4.19 merupakan penampang melintang dari irisan garis AB, dimana sumbu X merupakan jarak lintasan (meter) dimulai dari titik A sampai titik B dan sumbu Y terdapat sumbu Y positif dan sumbu Y negatif, untuk sumbu Y positif menunjukkan nilai anomali magnetik dari hasil pengamatan (nT), dan sumbu Y negatif merupakan kedalaman dari permukaan sepanjang garis titik A sampai titik B. Pada sayatan ini, peneliti menggunakan kedalaman hingga 10 meter.



Gambar 4.19 Model penampang anomali magnetik lokal lintasan A-B

Tabel 4.1 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ditemukan pada slice A-B

Suseptibilitas	Batuan	Kedalaman	Panjang
-0.055	Batu Bata	0-3 meter	23 meter
0.0135	Batu Andesit	0-3 meter	6.5 meter
0.0110	Batu Andesit	0.5-3 meter	4 meter

Dari gambar di atas dapat dianalisa bahwa untuk persegi panjang dengan warna merah memiliki nilai suseptibilitas 0.0110 (satuan SI) dan 0.0135 (satuan SI) pada kedalaman 0-3 meter diduga sebagai batuan andesit yang dicampur dengan batu bata sehingga nilainya lebih kecil dari batuan andesit dan lebih tinggi dari batu bata.

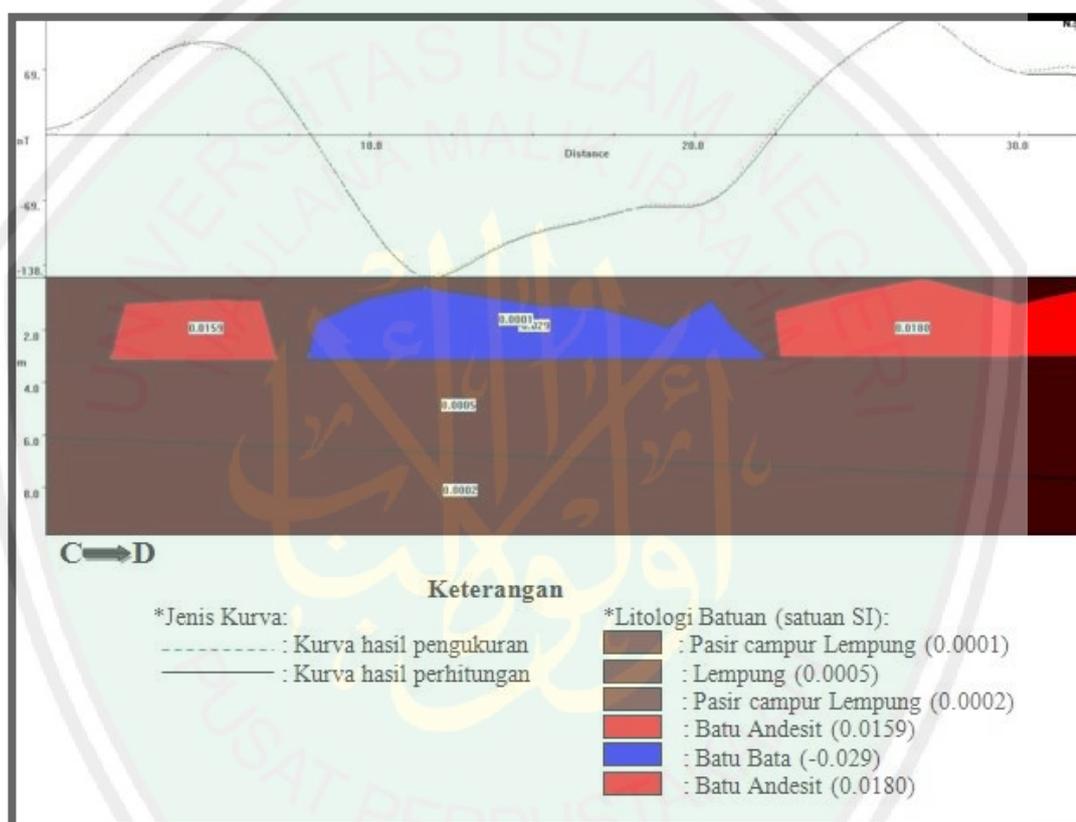
Sedangkan persegi panjang yang berwarna biru dengan nilai suseptibilitas -0.055 (dalam SI) pada kedalaman 0-3 meter dan panjang 23 meter diduga merupakan batu bata yang terbuat dari lempung yang dibakar yang bisa saja melebihi suhu Curie sehingga terjadi demagnetisasi yang menyebabkan nilai suseptibilitas negatif. Hal ini dibuktikan dengan adanya kumpulan batu bata berupa gundukan pada permukaan.

4.4.2 Lintasan C-D Tempat Pengintaian 1

Penampang anomali magnetik lokal lintasan C-D diambil berdasarkan hasil penafsiran kualitatif pola kontur anomali. Sayatan dibuat melintang mulai dari arah Barat Laut hingga ke Tenggara dengan melewati beberapa anomali positif dan anomali negatif dengan jarak lintasan sepanjang 32.5 meter.

Gambar 4.20 merupakan penampang melintang anomali lokal untuk lintasan C-D. Hasil pemodelan anomali magnetik pada lintasan C-D

memperlihatkan fenomena naik turunnya anomali magnetik. Anomali positif terletak pada jarak 2 m sampai 7 m. Penurunan nilai anomali dari anomali positif ke nilai anomali negatif terjadi di area sekitar gundukan batu bata pada jarak 8 m sampai 22 m. Pada jarak 23 m sampai 35 m anomali kembali naik menjadi positif.



Gambar 4.20 Model penampang anomali magnetik lokal lintasan C-D

Tabel 4.2 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ditemukan pada slice C-D

Suseptibilitas	Batuan	Kedalaman	Panjang
-0.029	Batu Bata	0.5-3 meter	14.7 meter
0.0180	Batu Andesit	0-3 meter	5 meter
0.0159	Batu Andesit	1-3 meter	10 meter

Gambar di atas menggambarkan model bawah permukaan lintasan CD. litologi bawah permukaan lintasan pada lintasan ini terdiri dari batu bata yang

diinterpretasi berada dalam kedalaman 0.5-3 meter dengan panjang 14.7 meter dan memiliki nilai suseptibilitas -0.029 (satuan SI). Batu bata ini diduga sebagai bahan bangunan benteng yang telah mengalami pelapukan dan dapat dilihat bahwa bangunan benteng membentang dari lintasan A-B hingga ke barat daerah penelitian. Di sekitar batuan tersebut terdapat batuan dengan nilai suseptibilitas 0.0159 (satuan SI) pada kedalaman 0-3 meter dan 0.0180 (satuan SI) pada kedalaman 1-3 meter yang keduanya diinterpretasikan sebagai batu andesit. Diduga batu andesit ini merupakan sisa pondasi bangunan tempat tinggal para pejabat dan prajurit kerajaan.

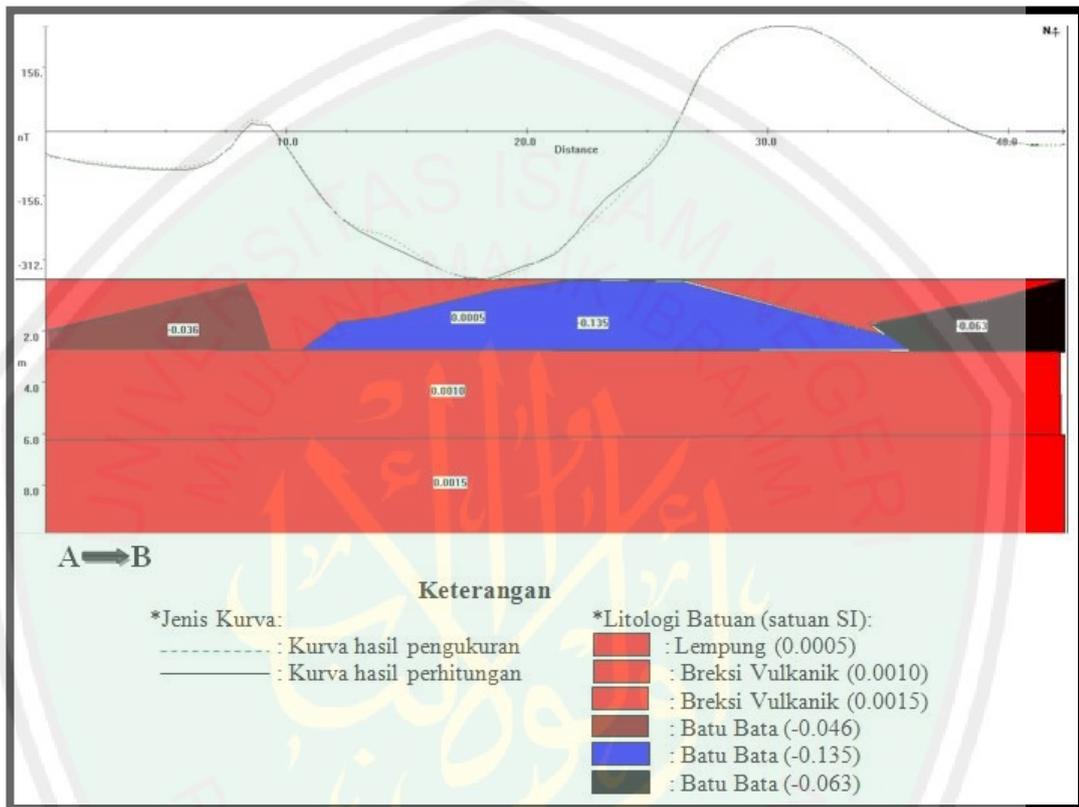
4.4.3 Lintasan A-B Tempat Pengintaian 2

Interpretasi kuantitatif pada tempat pengintaian 2 sama seperti interpretasi pada tempat pengintaian 1. Interpretasi dilakukan dengan menggunakan software *Mag2DC*. Parameter yang digunakan dalam pemodelan adalah nilai IGRF sebesar 44919.3 nT, sudut inklinasi sebesar -32.7230 derajat, dan sudut deklinasi sebesar 1.0890 derajat serta maksimum kedalaman 10 meter. Pemodelan ini menggunakan kedalaman 10 meter karena pondasi sebuah benteng tidak akan lebih dari 10 meter.

Sayatan A-B dibuat melintang mulai dari arah barat laut hingga ke tenggara dengan melewati beberapa anomali positif dan anomali negatif dengan jarak lintasan sepanjang 42.5 meter.

Gambar 4.21 menunjukkan bahwa batuan yang ditemukan dibawah permukaan penampang A-B memiliki nilai suseptibilitas negatif. Batuan tersebut

memanjang sampai pada jarak 42.5 meter, meskipun terdapat batuan yang terputus, namun terputusnya batuan tersebut hanya 1 meter.



Gambar 4.21 Model penampang anomali magnetik lokal lintasan A-B

Tabel 4.3 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ditemukan pada slice A-B

Suseptibilitas	Batuan	Kedalaman	Panjang
-0.135	Batu Bata	0-2.8 meter	9 meter
-0.036	Batu Bata	0.5-2.8 meter	37 meter
-0.063	Batu Bata	0-2.8 meter	8.5 meter

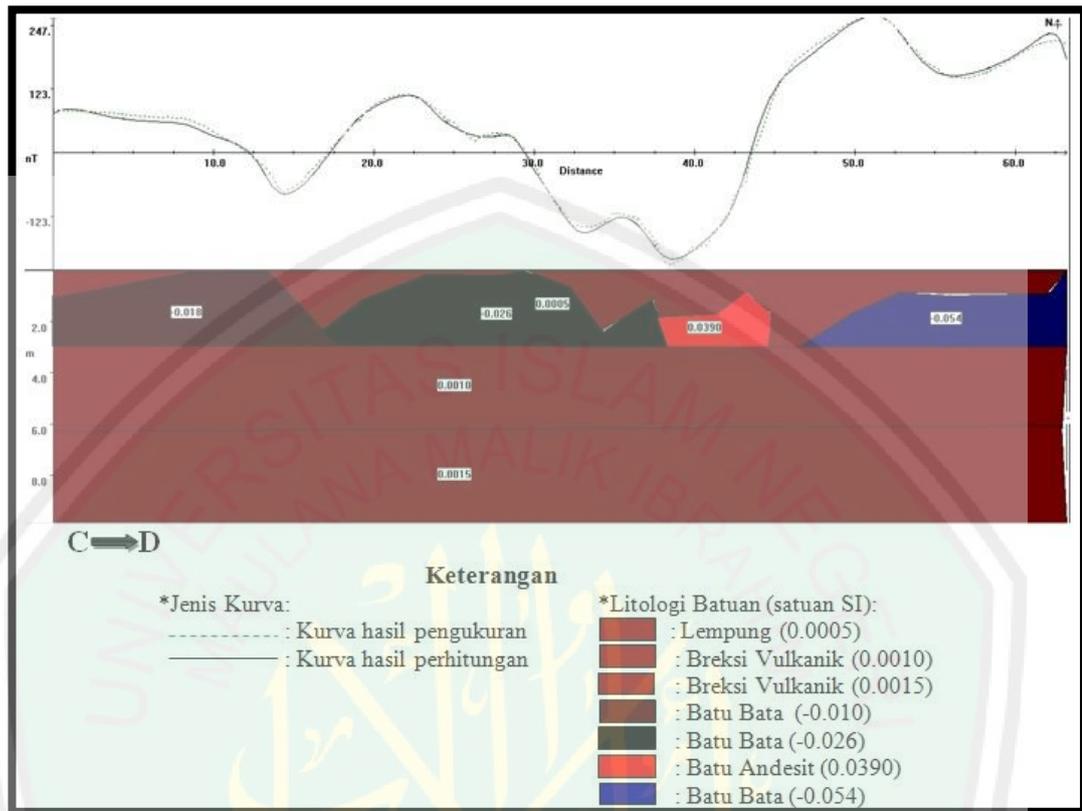
Litologi bawah permukaan lintasan A-B terdiri dari batuan dengan nilai suseptibilitas -0.135 (satuan SI). Batuan ini berada pada kedalaman 0-2.8 meter dan memanjang sampai 27 meter. Poligon dengan nilai suseptibilitas negatif lainnya dengan nilai sebesar -0.036 (satuan SI) berada pada kedalaman 0.5 – 2.5

serta panjang 9 meter dan pada jarak 33 meter dari titik A, terdapat poligon dengan panjang 8.5 meter memiliki nilai suseptibilitas -0.063 (satuan SI). Ketiga poligon tersebut diinterpretasikan sebagai batu bata. Selain melihat dari nilai suseptibilitas yang negatif, dapat dibuktikan pula dengan adanya gundukan dengan bahan dasar batu bata di permukaan yang diduga merupakan tempat pengintaian. Pondasi benteng ini memanjang dari barat laut hingga tenggara daerah penelitian.

4.4.4 Lintasan C-D Tempat Pengintaian 2

Penampang C-D merupakan sayatan yang berasal dari hasil interpretasi kualitatif kontur anomali lokal. Sayatan tersebut dibuat melintang dari timur laut hingga ke barat daya dengan melewati beberapa anomali positif dan anomali negatif dengan jarak lintasan sepanjang 67 meter.

Gambar 4.22 memperlihatkan sebagian besar batuan yang ditemukan memiliki nilai suseptibilitas negatif. Batuan tersebut ditemukan sepanjang 37 meter ke arah barat daya dan ditemukan kembali pada jarak 46 meter dengan panjang 17 meter. Selain itu, ditemukan pula batuan dengan nilai suseptibilitas positif berada pada kedalaman 1 meter dan panjang 7 meter.



Gambar 4.22 Model penampang anomali magnetik lokal lintasan C-D

Tabel 4.3 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ditemukan pada slice C-D

Suseptibilitas	Batuan	Kedalaman	Panjang
-0.018	Batu Bata	0-2.8 meter	17.5 meter
-0.026	Batu Bata	0-2.8 meter	21 meter
0.0390	Batu Andesit	1-2.8 meter	6 meter
-0.054	Batu Bata	0-2.8 meter	17 meter

Di bawah permukaan C-D terdapat beberapa poligon yang menunjukkan beberapa batuan yang memiliki nilai suseptibilitas yang berbeda-beda. Poligon pertama dengan panjang 17.5 meter ditandai dengan warna *maroon* memiliki nilai suseptibilitas -0.018 (satuan SI). Poligon selanjutnya dengan warna hitam memiliki nilai suseptibilitas -0.026 (satuan SI). Poligon kedua ini merupakan

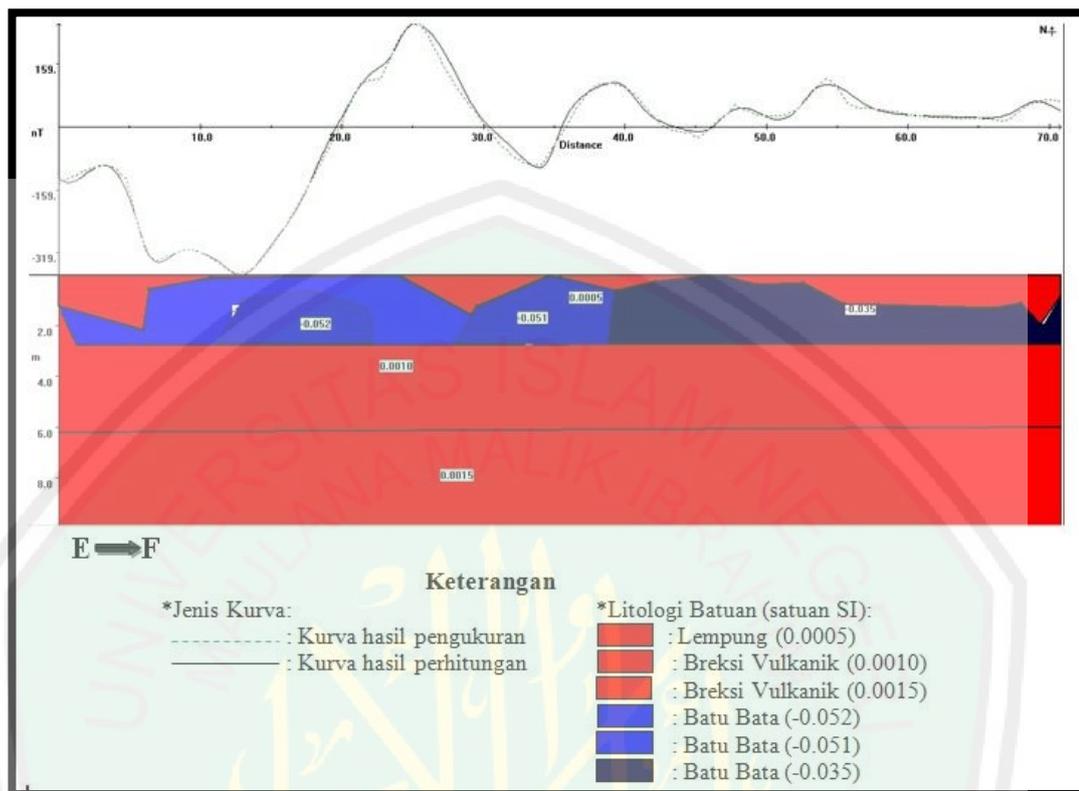
batuan yang bersambung dengan batuan yang ditandai dengan poligon pertama. Kedua batuan ini diinterpretasikan sebagai batu bata. Batu bata yang bersambungan di bawah permukaan C-D ini memiliki panjang hingga 38.5 meter. Rangkaian batu bata ini diinterpretasikan sebagai pondasi tempat pengintaian.

Selain kedua poligon tersebut, ditemukan pula poligon yang memiliki nilai susceptibilitas positif, batuan dengan nilai susceptibilitas 0.0390 (satuan SI) ini diinterpretasikan sebagai batu andesit. Mengingat bahwa disekitar tempat pengintaian ini diduga sebagai kawasan pemukiman pejabat kerajaan dan pernah ditemukan porselin, kolam yang airnya masih mengalir dll maka bisa diduga bahwa batu andesit tersebut adalah sisa pondasi pemukiman. Di sebelah ujung sayatan, ditemukan batuan dengan nilai susceptibilitas -0.054 (satuan SI), batuan ini diinterpretasikan sebagai batu bata dengan panjang 17 meter. Batu bata ini merupakan pondasi bangunan benteng yang diduga menghubungkan tempat pengintaian satu dengan yang lainnya.

4.4.5 Lintasan E-F Tempat Pengintaian 2

Lintasan E-F disayat melintang sejauh 71 m dari arah barat hingga ke timur laut dengan memotong lokasi gundukan batu bata tempat pengintaian dan beberapa anomali positif dan anomali negatif yang bervariasi.

Gambar 4.23 memperlihatkan adanya batuan dengan nilai susceptibilitas negatif yang memanjang sepanjang lintasan E-F. Batuan memanjang sepanjang 71 meter sampai pada kedalaman 2.8 m.



Gambar 4.23 Model penampang anomali magnetik lokal lintasan E-F

Tabel 4.3 Nilai suseptibilitas dan jenis batuan yang ditemukan pada slice E-F

Suseptibilitas	Batuan	Kedalaman	Panjang
-0.052	Batu Bata	0-2.8 meter	30 meter
-0.051	Batu Bata	0-2.8 meter	12.5 meter
-0.035	Batu Bata	0-2.8 meter	33 meter

Pada lintasan E-F terdapat tiga poligon yang saling berhubungan dan ketiganya memiliki nilai suseptibilitas negatif. Poligon pertama memiliki nilai suseptibilitas -0.052 (satuan SI) memanjang sampai 30 meter, poligon kedua dengan nilai suseptibilitas -0.051 (satuan SI) memiliki panjang 12.5 meter dan polygon terakhir dengan nilai suseptibilitas -0.035 (satuan SI) memiliki panjang 33 meter. Ketiga poligon ini diinterpretasikan sebagai batu bata yang membentuk

keterkaitan bangunan tempat pengintaian dengan benteng. Mengingat lintasan E-F ini menyayat tempat pengintaian hingga jalan menuju keluar area tempat pengintaian yang di permukaannya terdapat serakan batu bata yang diduga terdapat bangunan benteng di dalamnya.

Hasil sayatan pada lintasan E-F ini membuktikan bahwa antara tempat pengintaian dan benteng saling terhubung. Benteng pada situs ini selain menjadi pelindung bagi kerajaan, benteng ini juga menghubungkan antara tempat pengintaian satu dengan yang lainnya.

Dari kelima interpretasi kuantitatif di atas, dapat dilihat bahwa sisa-sisa peninggalan Kerajaan Lamajang Tigang Juru masih dapat dilihat meskipun tidak tampak di permukaan. Seperti pada tempat pengintaian 1, ditemukan batu bata yang diduga merupakan pondasi tempat pengintaian di kedalaman 3 meter dan panjang 23 meter. Sedangkan pada tempat pengintaian 2, ditemukan pondasi tempat pengintaian serta pondasi benteng pada kedalaman 2.8 meter. Menurut sejarahnya, Kerajaan Lamajang Tigang Juru mengalami kejatuhan setelah diserang secara mendadak oleh kerajaan Majapahit. Lamajang jatuh karena tidak ada persiapan perang. Beberapa ayat dalam al-Quran juga menceritakan tentang majunya peradaban dan teknologi yang telah dicapai oleh bangsa-bangsa yang telah lalu. Beberapa bangsa-bangsa tersebut pula banyak yang peninggalannya masih tersisa dan dapat disaksikan sampai sekarang dan ada pula yang sudah hancur. Ayat-ayat tersebut selain dalam surat Huud (11): 100, disebutkan pula dalam surat Ghafir (40): 82:

أَفَلَمْ يَسِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَيَنْظُرُوا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الَّذِينَ مِن قَبْلِهِمْ كَانُوا أَكْثَرَ
 مِنْهُمْ وَأَشَدَّ قُوَّةً وَءِثَارًا فِي الْأَرْضِ فَمَا أَغْنَىٰ عَنْهُمْ مَا كَانُوا يَكْسِبُونَ ﴿٨٢﴾

”Maka apakah mereka tiada mengadakan perjalanan di muka bumi lalu memperhatikan betapa kesudahan orang-orang yang sebelum mereka. adalah orang-orang yang sebelum mereka itu lebih hebat kekuatannya dan (lebih banyak) bekas-bekas mereka di muka bumi (bangunan, alat perlengkapan, benteng-benteng dan istana-istana). Maka apa yang mereka usahakan itu tidak dapat menolong mereka.” (QS Ghafir (40): 82)

Pada ayat diatas menunjukkan bahwa peradaban orang-orang terdahulu lebih hebat sehingga dapat dilihat dari peninggalannya yang masih tampak sampai sekarang. Dapat dilihat dari kalimat *“kaanuu aktsaro minhum wa asyadda quwwatan”* memiliki arti *orang-orang sebelum mereka itu lebih hebat kekuatannya* serta pada kalimat *“atsaron fil ardli”* berarti *bekas-bekas mereka di muka bumi*.

Bekas-bekas yang terdapat di Situs Arkeologi Biting ini antara lain benteng, tempat pemandian, serta tempat pengintaian yang merupakan bagian dari benteng. Selain itu, ditemukan juga beberapa barang rumah tangga serta pondasi bangunan. Dari ditemukannya bangunan benteng yang mengelilingi ibukota kerajaan ini kita dapat memetik banyak pelajaran, salah satunya yaitu strategi pengamanan ibu kota. Benteng di kerajaan ini dibuat bersisian dengan sungai, yang berupa sungai buatan serta sungai alami. Hal ini dilakukan supaya ibukota kerajaan semakin aman karena tidak hanya dilindungi oleh Benteng tapi juga sungai, sehingga menyulitkan penyerang untuk masuk ke wilayah ibukota.

Kehebatan lain dari Kerajaan Lamajang adalah, adanya beberapa terowongan yang dibangun di dalam benteng. Terowongan ini difungsikan

sebagai tempat persembunyian anggota kerajaan serta jalan rahasia untuk mengamankan diri apabila terjadi serangan. Selain itu, pada masa Kerajaan Lamajang ini dapat dilihat dari material pembangun benteng yaitu batu bata. Pada masa ini, manusia sudah bisa membuat batu bata meskipun besar batu batanya masih tidak seragam. Bahkan banyak batu bata yang di permukaannya terdapat goresan jari. Selain itu, kekuatan manusia pada saat itu dapat dilihat dari proses penyusunan batu bata menjadi benteng dan tempat pengintaian yang tingginya mencapai 10 meter.

Selain itu, dari penelitian ini bisa dilihat stratigrafi pada daerah penelitian. Daerah penelitian yang terletak di Kecamatan Sukodono tersusun dari material Aluvium yang di dalamnya terdapat pasir, lempung, pasir lempung dan breksi vulkanik. Material tersebut terlihat berlapis sampai pada kedalaman 10 meter dan pada tempat pengintaian 1 dan 2 memiliki perbedaan urutan lapisan, meskipun perbedaannya tidak begitu signifikan. Hal ini pernah disinggung dalam Alquran bahwa bumi terdiri dari beberapa lapisan, fakta sains tentang 7 lapisan bumi ini ditegaskan dalam surah ath-Thalaq (65):12

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ وَمِنَ الْأَرْضِ مِثْلَهُنَّ يَتَنَزَّلُ الْأَمْرُ بَيْنَهُنَّ لِتَعْلَمُوا أَنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ وَأَنَّ اللَّهَ قَدْ أَحَاطَ بِكُلِّ شَيْءٍ عِلْمًا ﴿١٢﴾

“Allah-lah yang menciptakan tujuh langit dan seperti itu pula bumi. perintah Allah berlaku padanya, agar kamu mengetahui bahwasanya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu, dan Sesungguhnya Allah ilmu-Nya benar-benar meliputi segala sesuatu”. (Ath-Thalaq (65): 12)

Ayat di atas membuktikan bahwa al-Quran sudah lebih dulu membahas tentang lapisan bumi sebelum manusia mengetahui hal tersebut serta dapat

dibuktikan dengan fakta-fakta ilmiah dari berbagai hasil penelitian geosains. Al-Quran mengungkap fakta ilmiah bahwa bumi terbentuk dari tujuh lapisan dari dalam ke luar dengan susunan yang terdiri dari: *Centrosphere* (inti bumi), lapisan luar inti bumi, lapisan terbawah pita bumi (pita bawah), lapisan tengah pita bumi (pita tengah), lapisan teratas pita bumi (pita atas), lapisan bawah kerak bumi, dan lapisan atas kerak bumi.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pemodelan yang dilakukan dengan metode magnetik di tempat pengintaian 1 dan tempat pengintaian 2 Blok Randu Situs Biting, dapat diambil kesimpulan bahwa

1. Terdapat anomali magnetik lokal pada tempat pengintaian 1 Blok Randu yang memanjang dari tengah daerah penelitian hingga ke Barat Daya. Anomali ini berbentuk lurus dan diduga menyambung ke arah Barat Daya sampai keluar daerah penelitian. Pada tempat pengintaian 2, anomali magnetik lokal diperkirakan memanjang dari Barat Daya sampai Timur Laut daerah penelitian.
2. Berdasarkan pemodelan sayatan dari anomali magnetik lokal, pada tempat pengintaian 1 didapatkan model yang menunjukkan adanya batuan dengan nilai suseptibilitas negatif yang diduga sebagai batu bata penyusun pondasi benteng. Batuan tersebut berada pada kedalaman 3 meter dan panjang 23 meter. Sedangkan pada tempat pengintaian 2 didapatkan model dengan batuan yang diinterpretasikan sebagai batu bata penyusun pondasi benteng pada kedalaman 2.8 meter dan panjang 70 meter.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk memperbanyak titik pengukuran dan memperluas area penelitian dari tempat pengintaian 1 ke arah tempat pengintaian 2 untuk lebih mengetahui hubungan antara tempat pengintaian 1 dan 2.
2. Diharapkan adanya penelitian lanjutan menggunakan metode geofisika yang lain seperti metode elektromagnetik, terutama untuk tempat pengintaian 1 yang hanya tampak dipermukaan sebagai gundukan batu bata. Sehingga dapat diketahui dengan jelas bentuk bawah permukaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Bhagawi, Abu Muhammad al Husain bin Mas'ud. 2005. *Mukhtashar Tafsir Al-Baghawi a' alimu at-Tanzil*. Kuwait: Maktabah Sabi'ah.
- Alfhareza, S. 2015. *Pemodelan 3D Reservoir Geothermal Berdasarkan Data Anomali Magnetik Reduction To The Pole daerah Ulubelu Kabupaten Tanggamus*. Skripsi. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Blakely, Richard J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. New York: Cambridge University Press.
- Burger, Henry Robert. 1992. *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.
- Dika. 2014. <http://taandika.blogspot.co.id/2014/11/kerajaan-lumajang-tigang-juru.html>. *Kerajaan Lumajang Tigang Juru*. Diakses tanggal 8 Desember 2016 pukul 13.09 WIB.
- Grand, F.S. and G.F. West. 1965. *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. USA: Mc Graw-Hill Higher Education.
- Harri, P. 2011. http://www.kompasiana.com/harrypurwanto/lumajang-kota-sejarah-nusantara-yang-dikubur_5500bcd5a33311981450fe08. *Lumajang Kota Sejarah Nusantara yang Dikubur*. Diakses tanggal 4 Desember 2016 pukul 20.30 WIB.
- Hayt, William and Buck, John. 2006. *Engineering Electromagnetics Volume 2*. USA: Mc Graw-Hill Higher Education.
- Hidayah, Nurul. 2011. *Proses Ionisasi Lapisan Atmosfer, Medan Magnet Bumi*. Makalah. Mataram: Universitas Mataram.
- Hidayat, Mansur. 2012. *Sejarah Lumajang: Melacak Ketokohan Arya Wiraraja dan Keemasan Lumajang Tigang Juru*. Denpasar: Cakra Press.
- Jazairi, Abu Bakar Jabir. 2009. *Tafsir Al-Qur'an Al-Aisar (jilid 6)*. Darus Sunnah.
- Jeng, Yih, dkk. 2001. *Integrated Signal Enhancement in Magnetic Investigation in Archeology*. Journal of applied Geophysics.
- Katsir, Ibnu. 2003. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 8*. Bandung: Pustaka Imam Syafi'i.
- Khusnah, Lailatul. 2014. *Aplikasi Metode Geomagnetik Untuk Memetakan Situs Arkeologi Candi Penataran Blitar Jawa Timur*. Skripsi. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.

- Mustang, Ario, dkk. 2007. *Penyelidikan Gaya Berat dan Geomagnet Di Daerah Panasbumi Bonjol Kabupaten Pasaman Provinsi Sumatera Barat*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Novi Dwi Arini. 2012. *Pemetaan Sebaran Batuan Penyusun Pagar Candi di Situs Candi Losari Dusun Losari, Desa Salam, Kecamatan Salam, Kabupaten Magelang Berdasarkan Metode Magnetik*. Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga.
- Phillips, Jeffrey D. *Processing and Interpretation of Aeromagnetic Data for The Santa Cruz Basin-Patagonia Mountains Area South-Central Arizona*. USGS. Open File Report 02-98.2000.
- Purwanto, Agus. 2008. *Ayat-ayat Semesta*. Bandung: Mizan.
- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Robinson E.S. 1988. *Basic Exploration Geophysics, Exploration Using the Magnetic Method*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Rosid, Syamsu. 2009. *Geomagnetic Method Lecture Note. Physic Departement*. Depok: FMIPA UI.
- Rusli. 2011. *Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Situs Arkeologi Candi Jabung Probolinggo Jawa Timur Berdasarkan Survey Magnetik*. Tesis. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sarkowi, M. 2010. *Buku Ajar Pengantar Teknik Geofisika*. Lampung: Universitas Lampung.
- Schmidt, A. 2009. *Electrical and Magnetic Methods in Archeological Prospection In S. Campana and S. Piero (eds) Seeing the Unseen Geophysical and landscape Archeology*. London: Taylor dan France.
- Shihab, M., Quraish. 2003. *Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Quran Volume 15*. Jakarta: Lentera Hati.
- Siahaan, Barita. 2009. *Penentuan Struktur Pada Zona Hydrokarbon Daerah "X" Menggunakan Metode Magnetik*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Sismanto dan Niger Ferdinand Nau. 2007. *Distribusi Batu Arkeologis dari Candi Palgading di Sinduharjo, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta dengan Menggunakan Metode Magnetik*. Skripsi. Yogyakarta: Univertitas Gadjah Mada.
- Srijatno. 1980. *Diktat Kuliah Geofisika Terapan*. Bandung: Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung.

Suwardi, T dan Suharsono. 1992. *Geologi Lembar Lumajang, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral.

Telford, W.N, Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A. 1976. *Applied Geophysics*. New York: Cambridge University Press.

Telford, W.N. Geldard, L.P., dan Sherrif, R.E., and Keys, D.A. 1979. *Applied Geophysics*. New York: Cambridge University Press.

Telford W.N, Geldart L.P., dan Sheriff R.E. 1982. *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.

Telford W.N, Geldart L.P., dan Sheriff R.E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.

Tjasyono, Bayong. 2006. *Ilmu Kebumihan dan Antariksa*. Bandung: Remaja Rosdakarya.

www.kabarlumajang.net/berita-578-pemerintah-wajib-tetapkan-situs-biting-sebagai-cagar-budaya.html. *Pemerintah Wajib Tetapkan Situs Biting Sebagai Cagar Budaya*. Diakses tanggal 13 November 2016 pukul 14.00 WIB.

www.news.okezone.com/read/2013/10/08/522/878484/situs-biting-benteng-terbesar-di-era-majapahit. *Situs Biting, Benteng Terbesar Era Majapahit*. Diakses tanggal 10 November 2016 pukul 11.30 WIB.

www.tanahair.kompas.com/read/2011/09/20/13220349/Mengapa.Singosari.dan.Majapahit.Memilih.Biting. *Mengapa Singosari Memilih Biting*. Diakses tanggal 7 Desember 2016 pukul 16.00 WIB.

www.wikipedia.org/wiki/Situs_Biting. *Situs Biting*. Diakses tanggal 12 Juni 2016 pukul 20.15 WIB.



LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Titik Pengukuran di Lapangan

A. Data Titik Pengukuran Pada *Pangungakan 1*

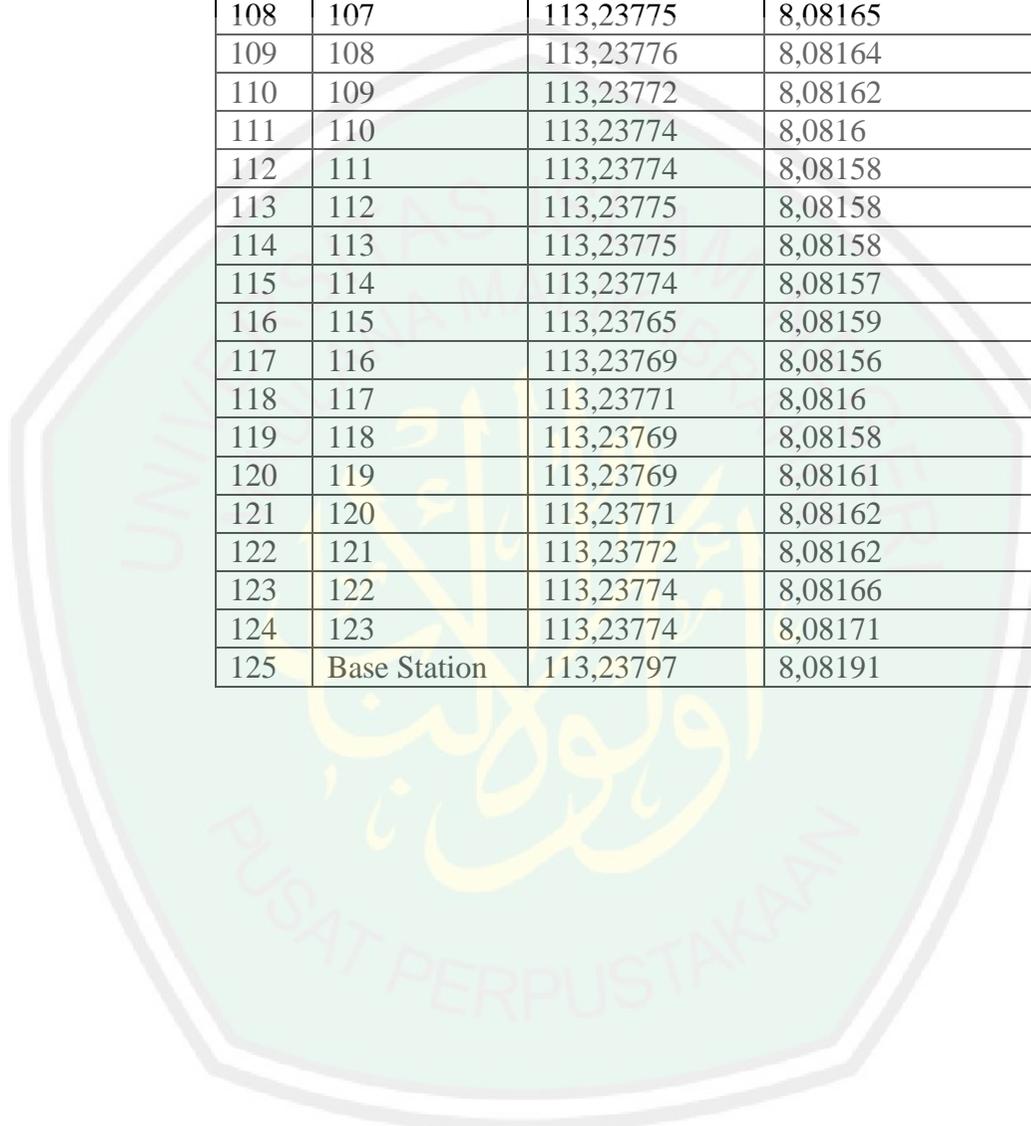
No	Stasiun	X (Bujur)	Y (Lintang)	Z (Meter)	Waktu
1	Base Station	113,23797	8,08191	56	6:40:00
2	1	113,23800	8,08159	65	6:44:00
3	2	113,23800	8,08159	65	6:47:00
4	3	113,23798	8,08153	64	6:49
5	4	113,23797	8,08152	58	6:51:00
6	5	113,23797	8,08141	60	6:52:00
7	6	113,23790	8,08142	63	6:54:00
8	7	113,23793	8,08138	61	6:56:00
9	8	113,23791	8,08139	62	6:58:00
10	9	113,23791	8,08139	63	6:59:00
11	10	113,23793	8,08138	64	7:01:00
12	11	113,23793	8,08143	63	7:02:00
13	12	113,23792	8,08140	67	7:03:00
14	13	113,23788	8,08148	66	7:05:00
15	14	113,23789	8,08149	64	7:07:00
16	15	113,23798	8,08150	67	7:08:00
17	16	113,23799	8,08155	59	7:09:00
18	17	113,23797	8,08159	62	7:11:00
19	18	113,23795	8,08161	67	7:12:00
20	19	113,23793	8,08154	68	7:14:00
21	20	113,23792	8,08154	55	7:15:00
22	21	113,23795	8,08153	60	7:16:00

23	22	113,23793	8,08152	60	7:17:00
24	23	113,23794	8,08147	61	7:18:00
25	24	113,23791	8,08145	67	7:19:00
26	25	113,23791	8,08144	68	7:20:00
27	26	113,23792	8,08140	68	7:22:00
28	27	113,23788	8,08138	68	7:23:00
29	28	113,23789	8,08142	72	7:25:00
30	29	113,23790	8,08142	69	7:27:00
31	30	113,23790	8,08145	66	7:29:00
32	31	113,23795	8,08150	65	7:31:00
33	32	113,23792	8,08149	62	7:32:00
34	33	113,23793	8,08149	65	7:33:00
35	34	113,23789	8,08154	60	7:34:00
36	35	113,23797	8,08156	60	7:35:00
37	36	113,23797	8,08159	59	7:36:00
38	37	113,23796	8,08156	58	7:37:00
39	38	113,23788	8,08159	59	7:39:00
40	39	113,23788	8,08156	59	7:40:00
41	40	113,23791	8,08159	59	7:41:00
42	41	113,23788	8,08145	57	7:43:00
43	42	113,23797	8,08143	59	7:45:00
44	43	113,23784	8,08143	59	7:47:00
45	44	113,23789	8,08138	65	7:49:00
46	45	113,23789	8,08139	63	7:50:00
47	46	113,23787	8,08144	64	7:51:00
48	47	113,23786	8,08143	61	7:53:00
49	48	113,23784	8,08145	65	7:54:00

50	49	113,23785	8,08146	57	7:56:00
51	50	113,23790	8,08151	57	7:58:00
52	51	113,23790	8,08154	58	7:58:00
53	52	113,23791	8,08157	59	8:00:00
54	53	113,23791	8,08158	57	8:01:00
55	54	113,23789	8,08158	57	8:02:00
56	55	113,23789	8,08160	57	8:04:00
57	56	113,23789	8,08159	54	8:06:00
58	57	113,23786	8,08152	55	8:07:00
59	58	113,23785	8,08153	53	8:09:00
60	59	113,23785	8,08152	54	8:10:00
61	60	113,23782	8,08145	54	8:11:00
62	61	113,23782	8,08145	58	8:13:00
63	62	113,23782	8,08145	59	8:15:00
64	63	113,23782	8,08143	58	8:18:00
65	64	113,23787	8,08145	57	8:20:00
66	65	113,2378	8,08147	63	8:21:00
67	66	113,23783	8,0815	63	8:22:00
68	67	113,23782	8,08152	62	8:23:00
69	68	113,23784	8,08153	61	8:26:00
70	69	113,23789	8,08156	60	8:28:00
71	70	113,23789	8,08159	58	8:29:00
72	71	113,23789	8,08159	56	8:30:00
73	72	113,23787	8,08163	57	8:31:00
74	73	113,23789	8,0816	58	8:33:00
75	74	113,23788	8,08159	58	8:36:00
76	75	113,23781	8,08154	61	8:39:00

77	76	113,23778	8,08147	59	8:40:00
78	77	113,23777	8,08151	58	8:42:00
79	78	113,23771	8,0815	57	8:43:00
80	79	113,23771	8,08148	58	8:46:00
81	80	113,23775	8,08148	55	8:48:00
82	81	113,23767	8,08148	56	8:49:00
83	82	113,23773	8,0815	58	8:50:00
84	83	113,23776	8,08155	59	8:51:00
85	84	113,23779	8,08156	57	8:52:00
86	85	113,23778	8,0816	59	8:53:00
87	86	113,23781	8,08159	58	8:54:00
88	87	113,23786	8,0816	59	8:56:00
89	88	113,23782	8,08161	54	8:58:00
90	89	113,23782	8,08163	58	9:00:00
91	90	113,23778	8,08161	57	9:03:00
92	91	113,23773	8,08157	59	9:05:00
93	92	113,23781	8,08159	62	9:06:00
94	93	113,23773	8,08155	60	9:08:00
95	94	113,23771	8,0815	62	9:09:00
96	95	113,23771	8,08151	61	9:11:00
97	96	113,23774	8,08152	60	9:15:00
98	97	113,23772	8,08147	60	9:16:00
99	98	113,23771	8,08149	59	9:17:00
100	99	113,23766	8,08149	60	9:18:00
101	100	113,23769	8,08152	59	9:19:00
102	101	113,23769	8,08157	61	9:20:00
103	102	113,23773	8,08159	59	9:21:00

104	103	113,23771	8,08162	61	9:22:00
105	104	113,23776	8,08163	61	9:23:00
106	105	113,23778	8,08164	60	9:26:00
107	106	113,23778	8,08163	59	9:28:00
108	107	113,23775	8,08165	58	9:29:00
109	108	113,23776	8,08164	60	9:30:00
110	109	113,23772	8,08162	63	9:31:00
111	110	113,23774	8,0816	62	9:32:00
112	111	113,23774	8,08158	59	9:33:00
113	112	113,23775	8,08158	60	9:34:00
114	113	113,23775	8,08158	60	9:34:00
115	114	113,23774	8,08157	60	9:37:00
116	115	113,23765	8,08159	59	9:38:00
117	116	113,23769	8,08156	58	9:39:00
118	117	113,23771	8,0816	57	9:41:00
119	118	113,23769	8,08158	60	9:42:00
120	119	113,23769	8,08161	60	9:43:00
121	120	113,23771	8,08162	61	9:44:00
122	121	113,23772	8,08162	61	9:44:00
123	122	113,23774	8,08166	60	9:45:00
124	123	113,23774	8,08171	59	9:49:00
125	Base Station	113,23797	8,08191	56	9:51



B. Data Titik Pengukuran Pada *Pangungakan 2*

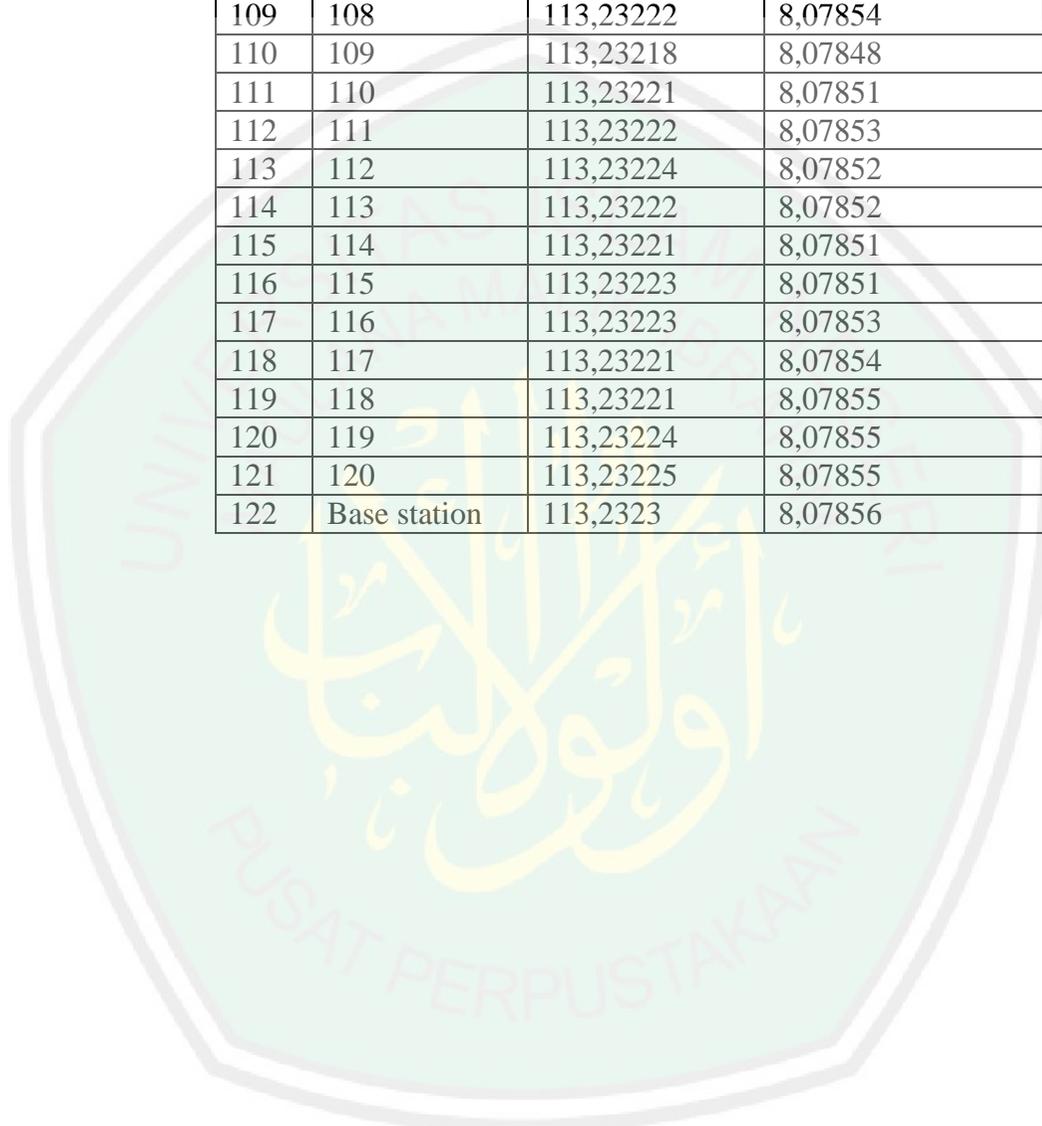
No	Stasiun	X (Bujur)	Y (Lintang)	Z (Meter)	Waktu
1	Base station	113,2323	8,07856	59	10:37:00
2	1	113,23172	8,07834	59	12:27:00
3	2	113,23169	8,07833	59	12:29:00
4	3	113,23169	8,07835	60	12:31:00
5	4	113,23174	8,07835	61	12:32:00
6	5	113,23173	8,0783	60	12:34:00
7	6	113,23171	8,07828	59	12:36:00
8	7	113,23169	8,07821	56	12:38:00
9	8	113,23172	8,07815	56	12:40:00
10	9	113,23173	8,07816	56	12:41:00
11	10	113,23174	8,07814	55	12:42:00
12	11	113,23172	8,07812	53	12:43:00
13	12	113,23174	8,0781	55	12:45:00
14	13	113,23176	8,07809	53	12:46:00
15	14	113,23178	8,07814	62	12:48:00
16	15	113,23173	8,07814	61	12:49:00
17	16	113,23176	8,07821	60	12:50:00
18	17	113,23177	8,07825	61	12:52:00
19	18	113,23175	8,07824	61	12:54:00
20	19	113,23173	8,07826	60	12:56:00
21	20	113,2317	8,07827	63	12:58:00
22	21	113,23174	8,07828	48	13:00:00
23	22	113,23174	8,07827	48	13:02:00

24	23	113,23173	8,07834	53	13:04:00
25	24	113,23174	8,07834	60	13:06:00
26	25	113,2317	8,07834	54	13:13:00
27	26	113,23174	8,07835	56	13:15:00
28	27	113,23176	8,07838	57	13:18:00
29	28	113,2317	8,07837	59	13:20:00
30	29	113,23174	8,07835	61	13:22:00
31	30	113,23175	8,07832	58	13:24:00
32	31	113,23176	8,07831	62	13:27:00
33	32	113,2318	8,0782	63	13:28:00
34	33	113,23182	8,07819	64	13:29:00
35	34	113,23186	8,07817	64	13:32:00
36	35	113,23189	8,07818	63	13:33:00
37	36	113,23186	8,07818	63	13:35:00
38	37	113,23189	8,07822	64	13:36:00
39	38	113,23183	8,07821	67	13:39:00
40	39	113,23179	8,07833	65	13:41:00
41	40	113,23178	8,07834	63	13:43:00
42	41	113,23177	8,07835	63	13:44:00
43	42	113,23176	8,07838	62	13:46:00
44	43	113,23179	8,07839	64	13:47:00
45	44	113,23182	8,07836	63	13:50:00
46	45	113,23182	8,07835	60	13:50:00
47	46	113,23187	8,07825	64	13:53:00
48	47	113,23188	8,07821	65	13:54:00
49	48	113,23188	8,07819	70	13:56:00
50	49	113,23194	8,07819	72	13:57:00

51	50	113,23192	8,07825	67	13:59:00
52	51	113,23193	8,07824	67	14:00:00
53	52	113,23183	8,07834	66	14:02:00
54	53	113,23183	8,07837	64	14:04:00
55	54	113,23179	8,0784	66	14:05:00
56	55	113,23183	8,07841	63	14:06:00
57	56	113,23185	8,07838	61	14:08:00
58	57	113,23189	8,07837	64	14:09:00
59	58	113,23186	8,07834	65	14:11:00
60	59	113,23185	8,07835	64	14:12:00
61	60	113,23191	8,07829	63	14:13:00
62	61	113,23188	8,07831	62	14:14:00
63	62	113,23191	8,07823	55	14:15:00
64	63	113,23191	8,07819	62	14:17:00
65	64	113,23191	8,0782	63	14:19:00
66	65	113,23194	8,07822	61	14:20:00
67	66	113,23191	8,07828	63	14:20:00
68	67	113,23192	8,07827	63	14:21:00
69	68	113,23191	8,07829	66	14:22:00
70	69	113,23187	8,07834	65	14:22:00
71	70	113,23189	8,07836	60	14:23:00
72	71	113,23187	8,0784	59	15:17:00
73	72	113,2319	8,07838	56	15:19:00
74	73	113,23194	8,07834	56	15:20:00
75	74	113,23192	8,07833	52	15:21:00
76	75	113,23198	8,07833	57	15:24:00
77	76	113,23196	8,07836	61	15:26:00

78	77	113,23198	8,07836	56	15:26:00
79	78	113,23197	8,07834	53	15:27:00
80	79	113,23193	8,07838	51	15:28:00
81	80	113,23197	8,07839	52	15:29:00
82	81	113,23195	8,07837	52	15:30:00
83	82	113,23197	8,07837	56	15:32:00
84	83	113,23201	8,07841	54	15:33:00
85	84	113,23196	8,07838	56	15:34:00
86	85	113,23195	8,07843	58	15:35:00
87	86	113,23199	8,07846	60	15:35:00
88	87	113,23201	8,07844	61	15:36:00
89	88	113,23199	8,07841	59	15:37:00
90	89	113,23204	8,07841	60	15:38:00
91	90	113,23205	8,07839	57	15:39:00
92	91	113,23204	8,07845	57	15:40:00
93	92	113,23211	8,07845	58	15:41:00
94	93	113,23204	8,07843	55	15:42:00
95	94	113,23206	8,0784	57	15:43:00
96	95	113,23204	8,07845	56	15:43:00
97	96	113,23205	8,07846	61	15:44:00
98	97	113,23207	8,07847	58	15:45:00
99	98	113,23211	8,0785	59	15:46:00
100	99	113,23212	8,07848	62	15:48:00
101	100	113,23207	8,07844	63	15:49:00
102	101	113,23208	8,07849	60	15:49:00
103	102	113,2321	8,07848	59	15:50:00
104	103	113,23212	8,07849	60	15:51:00

105	104	113,23213	8,07848	60	15:52:00
106	105	113,23214	8,07849	61	15:53:00
107	106	113,23212	8,07851	62	15:54:00
108	107	113,23215	8,07852	57	15:56:00
109	108	113,23222	8,07854	56	15:56:00
110	109	113,23218	8,07848	56	15:57:00
111	110	113,23221	8,07851	53	15:58:00
112	111	113,23222	8,07853	55	15:59:00
113	112	113,23224	8,07852	59	16:01:00
114	113	113,23222	8,07852	59	16:01:00
115	114	113,23221	8,07851	59	16:02:00
116	115	113,23223	8,07851	60	16:03:00
117	116	113,23223	8,07853	61	16:04:00
118	117	113,23221	8,07854	57	16:05:00
119	118	113,23221	8,07855	54	16:06:00
120	119	113,23224	8,07855	59	16:07:00
121	120	113,23225	8,07855	59	16:08:00
122	Base station	113,2323	8,07856	59	16:10:00



Lampiran 2 Data Hasil Pembacaan Alat

1. Hasil Pembacaan Field Magnetometer

A. Pembacaan Field Magnetometer di *Pangungakan 1*

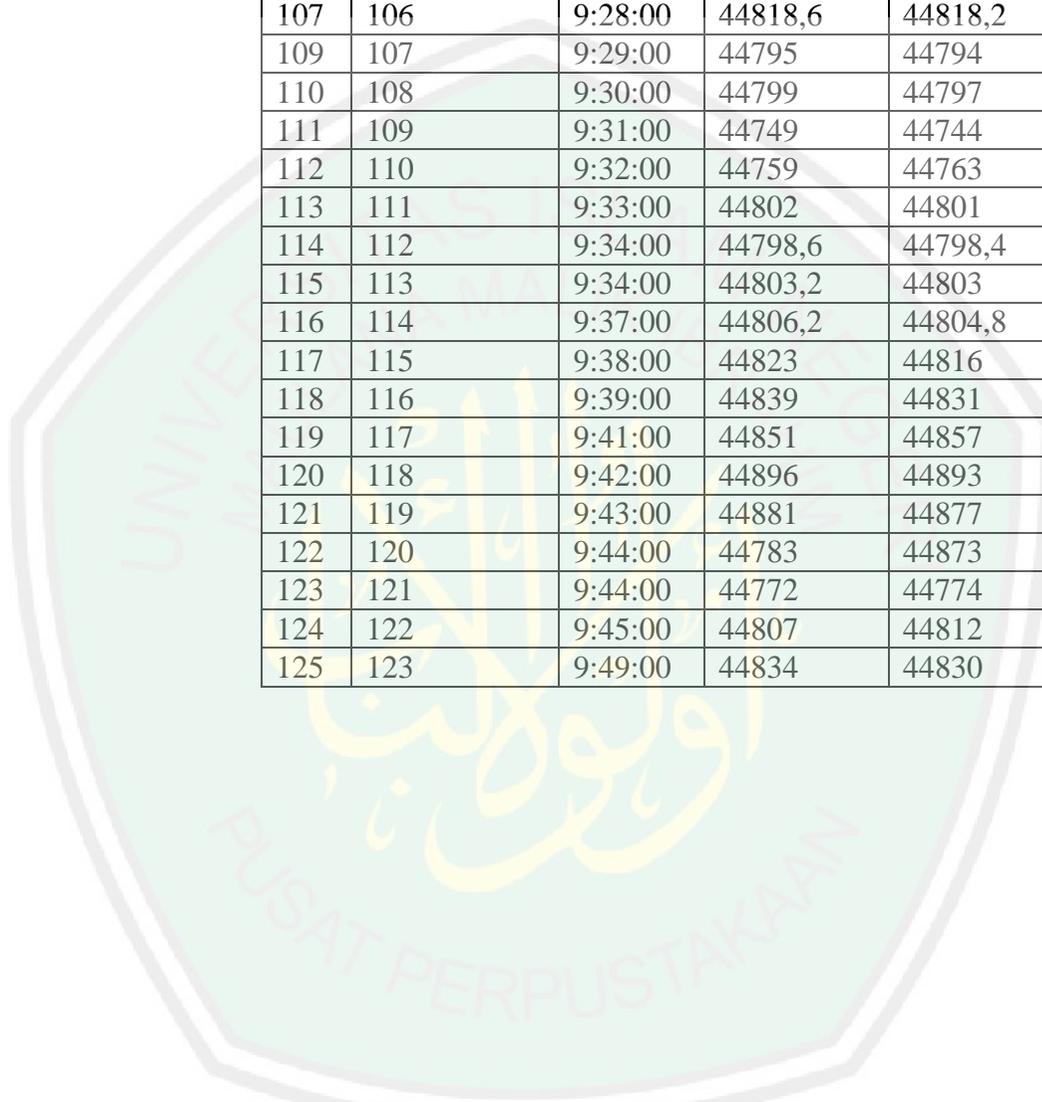
No	Stasiun	Waktu	H1(nT)	H2 (nT)	H3 (nT)	Modus (nT)
1	Base Station	6:40:00	44773	44774	44770	44772,33333
2	1	6:44:00	44875	44911	44909	44898,33333
3	2	6:47:00	44892	44895	44891	44892,66667
4	3	6:49	44876	44875	44880,2	44877,06667
5	4	6:51:00	44860,8	44895	44858	44871,26667
6	5	6:52:00	44857,8	44853	44859	44856,6
7	6	6:54:00	44853	44850	44851	44851,33333
8	7	6:56:00	44833	44832	44834,4	44833,13333
9	8	6:58:00	44823	44824,4	44824	44824
10	9	6:59:00	44824	44824,2	44821	44824
11	10	7:01:00	44812	44813	44811	44812
12	11	7:02:00	44815,8	44813,8	44813	44814,2
13	12	7:03:00	44824,8	44823,8	44825	44824,53333
14	13	7:05:00	44829	44829	44830	44829
15	14	7:07:00	44833	44835	44836	44834,66667
16	15	7:08:00	44845,6	44848	44847,6	44847,06667
17	16	7:09:00	44859,8	44858,2	44856,6	44858,2
18	17	7:11:00	44875,4	44875,4	44870	44875,4
19	18	7:12:00	44889	44886	44889	44889
20	19	7:14:00	44871,6	44870	44871,6	44871,6
21	20	7:15:00	44863,8	44862	44864,4	44863,4

22	21	7:16:00	44851,2	44851	44850	44851
23	22	7:17:00	44837	44839	44838	44838
24	23	7:18:00	44834	44833	44831	44832,66667
25	24	7:19:00	44832,4	44831	44833	44832,13333
26	25	7:20:00	44835	44834	44835	44835
27	26	7:22:00	44831,8	44827	44831	44831
28	27	7:23:00	44755	44749	44773	44759
29	28	7:25:00	44838	44840	44839	44839
30	29	7:27:00	44859	44854	44854	44854
31	30	7:29:00	44860	44860	44867	44860
32	31	7:31:00	44855	44858	44855,4	44855
33	32	7:32:00	44853	44850	44851	44851,33333
34	33	7:33:00	44812	44844	44844	44844
35	34	7:34:00	44841	44842	44843	44842
36	35	7:35:00	44850	44848	44851	44849,66667
37	36	7:36:00	44863,4	44862	44861	44862,13333
38	37	7:37:00	44863,8	44864,2	44864,8	44864
39	38	7:39:00	44836	44834,8	44835	44835,26667
40	39	7:40:00	44827	44831,2	44830	44829,4
41	40	7:41:00	44858	44857,6	44857	44857
42	41	7:43:00	44878	44876	44879	44877,66667
43	42	7:45:00	44888	44889	44887	44888
44	43	7:47:00	44832	44851	44851	44851
45	44	7:49:00	44903	44897	44904	44901,33333
46	45	7:50:00	44871,8	44870	44874	44871,93333
47	46	7:51:00	44862	44865	44864	44863,66667
48	47	7:53:00	44926	44929	44929	44929

49	48	7:54:00	44927,6	44928,4	44928	44928
50	49	7:56:00	44918	44919,4	44918	44918
51	50	7:58:00	44913	44917	44915,6	44915,2
52	51	7:58:00	44909	44909	44912	44909
53	52	8:00:00	44845	44844	44848	44845,66667
54	53	8:01:00	44742	44744	44749	44745
55	54	8:02:00	44837	44838,2	44836,4	44837,2
56	55	8:04:00	44760	44767	44759	44762
57	56	8:06:00	44762	44775	44778	44771,66667
58	57	8:07:00	44876	44876	44879	44877
59	58	8:09:00	44930	44928	44929	44929
60	59	8:10:00	44944	44941	44939	44941,33333
61	60	8:11:00	44919	44933	44933,4	44928,46667
62	61	8:13:00	44927	44931	44931	44929,66667
63	62	8:15:00	44938	44938	44939	44938
64	63	8:18:00	44919	44913	44918	44916,66667
65	64	8:20:00	44911	44914	44914	44914
66	65	8:21:00	44926,2	44946,2	44946	44946
67	66	8:22:00	44869	44869	44885	44869
68	67	8:23:00	44927	44928	44926	44927
69	68	8:26:00	44952	44950	44953	44951,66667
70	69	8:28:00	44717	44713	44715	44715
71	70	8:29:00	44754,8	44755	44751	44753,6
72	71	8:30:00	44817,2	44796	44817	44817
73	72	8:31:00	44832	44834,2	44832,8	44832
74	73	8:33:00	44779	44780	44778	44779
75	74	8:36:00	44714	44713	44716	44714,33333

76	75	8:39:00	44842	44843	44843	44843
77	76	8:40:00	44877	44877	44879	44877
78	77	8:42:00	44912	44910	44911	44911
79	78	8:43:00	44892,4	44892	44893	44892
80	79	8:46:00	44859,6	44858	44858	44858
81	80	8:48:00	44829	44830	44829	44829
82	81	8:49:00	44864	44863	44864	44864
83	82	8:50:00	44855	44864	44863	44860,66667
84	83	8:51:00	44821	44820	44821	44821
85	84	8:52:00	44758	44758	44760	44758
86	85	8:53:00	44729	44684	44729	44729
87	86	8:54:00	44745	44747,6	44745,8	44745
88	87	8:56:00	44745	44738	44746	44743
89	88	8:58:00	44809,8	44809,2	44809	44809
90	89	9:00:00	44796,2	44796	44795	44796
91	90	9:03:00	44785	44786	44785	44785
92	91	9:05:00	44768	44764	44767	44766,33333
93	92	9:06:00	44745	44746	44750	44747
94	93	9:08:00	44757	44764	44762	44761
95	94	9:09:00	44797	44798	44797	44797
96	95	9:11:00	44838	44836	44838	44838
97	96	9:15:00	44857	44841	44859	44852,33333
98	97	9:16:00	44832	44830	44830	44830
99	98	9:17:00	44808,6	44807,4	44807,6	44807
100	99	9:18:00	44782	44809	44807	44799,33333
101	100	9:19:00	44793	44791	44796	44793,33333
102	101	9:20:00	44784	44789	44787	44786,66667

103	102	9:21:00	44795	44792	44796	44794,33333
104	103	9:22:00	44789	44791	44791	44791
105	104	9:23:00	44782	44781	44788	44783,66667
106	105	9:26:00	44750	44747	44740	44745,66667
107	106	9:28:00	44818,6	44818,2	44817	44818
109	107	9:29:00	44795	44794	44795	44795
110	108	9:30:00	44799	44797	44791	44795,66667
111	109	9:31:00	44749	44744	44741	44744,66667
112	110	9:32:00	44759	44763	44757	44759,66667
113	111	9:33:00	44802	44801	44801	44801
114	112	9:34:00	44798,6	44798,4	44799,2	44798,73333
115	113	9:34:00	44803,2	44803	44801	44803
116	114	9:37:00	44806,2	44804,8	44805	44805,33333
117	115	9:38:00	44823	44816	44823	44823
118	116	9:39:00	44839	44831	44839	44836,33333
119	117	9:41:00	44851	44857	44850	44852,66667
120	118	9:42:00	44896	44893	44889	44892,66667
121	119	9:43:00	44881	44877	44883	44880,33333
122	120	9:44:00	44783	44873	44874	44843,33333
123	121	9:44:00	44772	44774	44772	44772
124	122	9:45:00	44807	44812	44811	44810
125	123	9:49:00	44834	44830	44839	44834,33333



B. Pembacaan Field Magnetometer di *Pangungakan 2*

No	Stasiun	Waktu	H1(nT)	H2 (nT)	H3 (nT)	Modus (nT)
1	Base Station	10:37:00	44762	44763	44765	44763,33333
2	1	12:27:00	44750	44747	44751	44749,33333
3	2	12:29:00	44754	44755	44745	44751,33333
4	3	12:31:00	44740	44753	44753	44748,66667
5	4	12:32:00	44840	44833	44838	44837
6	5	12:34:00	44830	44840	44844	44838
7	6	12:36:00	44855	44855	44857	44855,66667
8	7	12:38:00	44828	44828	44821	44825,66667
9	8	12:40:00	44830	44832	44839	44833,66667
10	9	12:41:00	44880	44893	44888	44887
11	10	12:42:00	44984	44992	44982	44986
12	11	12:43:00	44945	44983	44988	44972
13	12	12:45:00	45013	45013	45015	45013,66667
14	13	12:46:00	44886	44889	44887	44887,33333
15	14	12:48:00	45013	45013	45015	45013,66667
16	15	12:49:00	44886	44889	44887	44887,33333
17	16	12:50:00	44900	44914	44911	44908,33333
18	17	12:52:00	44976	44996	44978	44983,33333
19	18	12:54:00	45013	45004	45006	45007,66667
20	19	12:56:00	44947	44949	44958	44951,33333
21	20	12:58:00	44850	44874	44861	44861,66667
22	21	13:00:00	44821	44814	44817	44817,33333
23	22	13:02:00	44858	44830	44830	44839,33333
24	23	13:04:00	44767	44773	44764	44768

25	24	13:06:00	44656	44667	44667	44663,33333
26	25	13:13:00	44687	44697	44691	44691,66667
27	26	13:15:00	44675	44679	44683	44679
28	27	13:18:00	44661	44661	44661	44661
29	28	13:20:00	44668	44673	44674	44671,66667
30	29	13:22:00	44627	44618	44622	44622,33333
31	30	13:24:00	44590	44578	44580	44582,66667
32	31	13:27:00	45088	45090	44088	44755,33333
33	32	13:28:00	45006	45023	45015	45014,66667
34	33	13:29:00	44940	44954	44946	44946,66667
35	34	13:32:00	44859	44869	44895	44874,33333
36	35	13:33:00	44850	44865	44879	44864,66667
37	36	13:35:00	44921	44933	44920	44924,66667
38	37	13:36:00	45029	45021	45044	45031,33333
39	38	13:39:00	45107	45104	45112	45107,66667
40	39	13:41:00	44582	44591	44598	44590,33333
41	40	13:43:00	44682	44677	44680	44679,66667
42	41	13:44:00	44657	44647	44652	44652
43	42	13:46:00	44672	44676	44671	44673
44	43	13:47:00	44673	44680	44679	44677,33333
45	44	13:50:00	44680	44684	44683	44682,33333
46	45	13:50:00	44627	44625	44627	44626,33333
47	46	13:53:00	45060	45063	45060	45061
48	47	13:54:00	44967	44967	44980	44971,33333
49	48	13:56:00	44946	44956	44948	44950
50	49	13:57:00	44896	44903	44897	44898,66667
51	50	13:59:00	44929	44905	44905	44913

52	51	14:00:00	44934	44908	44942	44928
53	52	14:02:00	44682	44691	44679	44684
54	53	14:04:00	44699	44705	44698	44700,66667
55	54	14:05:00	44690	44697	44702	44696,33333
56	55	14:06:00	44723	44717	44710	44716,66667
57	56	14:08:00	44619	44636	44639	44631,33333
58	57	14:09:00	44731	44750,8	44750,6	44744,13333
59	58	14:11:00	44791,2	44791	44791	44791,06667
60	59	14:12:00	44729,6	44731,4	44728,8	44729,93333
61	60	14:13:00	44699,2	44698,6	44696,8	44698,2
62	61	14:14:00	44714,4	44716,2	44714,4	44715
63	62	14:15:00	44713	44735	44718	44722
64	63	14:17:00	44896,4	44896,8	44896,2	44896,46667
65	64	14:19:00	44833	44826	44836	44831,66667
66	65	14:20:00	44756	44767	44769	44764
67	66	14:20:00	44719	44715	44734	44722,66667
68	67	14:21:00	44685	44682	44679	44682
69	68	14:22:00	44703	44679	44693	44691,66667
70	69	14:22:00	44727	44753	44730	44736,66667
71	70	14:23:00	44860	44860	44861	44860,33333
72	71	15:17:00	44910	44913	44934	44919
73	72	15:19:00	44811	44816	44819,8	44815,6
74	73	15:20:00	44668	44671	44671	44670
75	74	15:21:00	44739	44731	44740,4	44736,8
76	75	15:24:00	44833,4	44834	44829	44832,13333
77	76	15:26:00	44812	44800	44810	44807,33333
78	77	15:26:00	44771	44771	44773	44771,66667

79	78	15:27:00	44782	44781	44781	44781,33333
80	79	15:28:00	44773	44771	44779	44774,33333
81	80	15:29:00	44761,8	44752	44737	44750,26667
82	81	15:30:00	44735	44790	44735	44753,33333
83	82	15:32:00	44824	44826	44821	44823,66667
84	83	15:33:00	44825	44826,2	44826	44825,73333
85	84	15:34:00	44721	44745	44745	44737
86	85	15:35:00	44735	44736	44736	44735,66667
87	86	13:35:00	44768	44756	44765	44763
88	87	15:36:00	44826	44827,6	44825	44826,2
89	88	15:37:00	44824	44825	44828	44825,66667
90	89	15:38:00	44766	44771	44770	44769
91	90	15:39:00	44743	44747	44744	44744,66667
92	91	15:40:00	44743	44744	44742	44743
93	92	15:41:00	44773	44774	44775	44774
94	93	15:42:00	44821	44823	44827	44823,66667
95	94	15:43:00	44839	44841	44840	44840
96	95	15:43:00	44770	44771	44766	44769
97	96	15:44:00	44756	44755	44749	44753,33333
98	97	15:45:00	44757	44753	44758	44756
99	98	15:46:00	44777	44755	44781	44771
100	99	15:48:00	44837,6	44838	44837	44837,53333
101	100	15:49:00	44847	44844	44846	44845,66667
102	101	15:49:00	44752	44796	44796	44781,33333
103	102	15:50:00	44761	44766	44768	44765
104	103	15:51:00	44769	44769,8	44768,8	44769,2
105	104	15:52:00	44786	44785	44785	44785,33333

106	105	15:53:00	44774	44782	44783	44779,66667
107	106	15:54:00	44808	44803	44805	44805,33333
109	107	15:56:00	44781	44781	44781	44781
110	108	15:56:00	44747	44761	44761	44756,33333
111	109	15:57:00	44769	44771,4	44769	44769,8
112	110	15:58:00	44776	44774	44772	44774
113	111	15:59:00	44817,6	44815,8	44816	44816,46667
114	112	16:01:00	44780	44780	44782	44780,66667
115	113	16:01:00	44772	44773	44775	44773,33333
116	114	16:02:00	44772	44772	44773	44772,33333
117	115	16:03:00	44770	44769	44772	44770,33333
118	116	16:04:00	44805	44803	44806,8	44804,93333
119	117	16:05:00	44805	44805,2	44803	44804,4
120	118	16:06:00	44729	44730	44736	44731,66667
121	119	16:07:00	44788	44790	44782	44786,66667
122	120	16:08:00	44783	44781	44782	44782
123	Base Station	16:10:00	44816	44814	44812,3	44814,1

Lampiran 3 Data Hasil Koreksi Harian dan IGRF

A. Data Koreksi Harian dan IGRF *Pangungakan 1*

No	H Rata-rata di lapangan(nT)	Koreksi Harian	Koreksi IGRF	Intensitas Medan Magnet total (nT)
1	44898,33333	0,076788831	44.920,60	-22,34
2	44892,66667	0,134380454	44.920,60	-28,07
3	44877,06667	0,172774869	44.920,60	-43,71
4	44871,26667	0,211169284	44.920,60	-49,54
5	44856,6	0,230366492	44.920,60	-64,23
6	44851,33333	0,268760908	44.920,60	-69,54
7	44833,13333	0,307155323	44.920,60	-87,77
8	44824	0,345549738	44.920,60	-96,95
9	44824	0,364746946	44.920,60	-96,96
10	44812	0,403141361	44.920,60	-109,00
11	44814,2	0,422338569	44.920,60	-106,82
12	44824,53333	0,441535777	44.920,60	-96,51
13	44829	0,479930192	44.920,60	-92,08
14	44834,66667	0,518324607	44.920,60	-86,45
15	44847,06667	0,537521815	44.920,60	-74,07
16	44858,2	0,556719023	44.920,60	-62,96
17	44875,4	0,595113438	44.920,60	-45,80
18	44889	0,614310646	44.920,60	-32,21
19	44871,6	0,652705061	44.920,60	-49,65
20	44863,4	0,671902269	44.920,60	-57,87
21	44851	0,691099476	44.920,60	-70,29
22	44838	0,710296684	44.920,60	-83,31
23	44832,66667	0,729493892	44.920,60	-88,66
24	44832,13333	0,748691099	44.920,60	-89,22
25	44835	0,767888307	44.920,60	-86,37
26	44831	0,806282723	44.920,60	-90,41
27	44759	0,82547993	44.920,60	-162,43
28	44839	0,863874346	44.920,60	-82,46
29	44854	0,902268761	44.920,60	-67,50
30	44860	0,940663176	44.920,60	-61,54
31	44855	0,979057592	44.920,60	-66,58
32	44851,33333	0,998254799	44.920,60	-70,26
33	44844	1,017452007	44.920,60	-77,62
34	44842	1,036649215	44.920,60	-79,64
35	44849,66667	1,055846422	44.920,60	-71,99
36	44862,13333	1,07504363	44.920,60	-59,54
37	44864	1,094240838	44.920,60	-57,69
38	44835,26667	1,132635253	44.920,60	-86,47

39	44829,4	1,151832461	44.920,60	-92,35
40	44857	1,171029668	44.920,60	-64,77
41	44877,66667	1,209424084	44.920,60	-44,14
42	44888	1,247818499	44.920,60	-33,85
43	44851	1,286212914	44.920,60	-70,89
44	44901,33333	1,32460733	44.920,60	-20,59
45	44871,93333	1,343804538	44.920,60	-50,01
46	44863,66667	1,363001745	44.920,60	-58,30
47	44929	1,401396161	44.920,60	7,00
48	44928	1,420593368	44.920,60	5,98
49	44918	1,458987784	44.920,60	-4,06
50	44915,2	1,497382199	44.920,60	-6,90
51	44909	1,497382199	44.920,60	-13,10
52	44845,66667	1,535776614	44.920,60	-76,47
53	44745	1,554973822	44.920,60	-177,15
54	44837,2	1,57417103	44.920,60	-84,97
55	44762	1,612565445	44.920,60	-160,21
56	44771,66667	1,65095986	44.920,60	-150,58
57	44877	1,670157068	44.920,60	-45,27
58	44929	1,708551483	44.920,60	6,69
59	44941,33333	1,727748691	44.920,60	19,01
60	44928,46667	1,746945899	44.920,60	6,12
61	44929,66667	1,785340314	44.920,60	7,28
62	44938	1,823734729	44.920,60	15,58
63	44916,66667	1,881326353	44.920,60	-5,81
64	44914	1,919720768	44.920,60	-8,52
65	44946	1,938917976	44.920,60	23,46
67	44869	1,958115183	44.920,60	-53,56
68	44927	1,977312391	44.920,60	4,42
69	44951,66667	2,034904014	44.920,60	29,03
70	44715	2,073298429	44.920,60	-207,67
71	44753,6	2,092495637	44.920,60	-169,09
72	44817	2,111692845	44.920,60	-105,71
73	44832	2,130890052	44.920,60	-90,73
74	44779	2,169284468	44.920,60	-143,77
75	44714,33333	2,226876091	44.920,60	-208,49
76	44843	2,284467714	44.920,60	-79,88
77	44877	2,303664921	44.920,60	-45,90
78	44911	2,342059337	44.920,60	-11,94
79	44892	2,361256545	44.920,60	-30,96
80	44858	2,418848168	44.920,60	-65,02
81	44829	2,457242583	44.920,60	-94,06
82	44864	2,476439791	44.920,60	-59,08

83	44860,66667	2,495636998	44.920,60	-62,43
84	44821	2,514834206	44.920,60	-102,11
85	44758	2,534031414	44.920,60	-165,13
86	44729	2,553228621	44.920,60	-194,15
87	44745	2,572425829	44.920,60	-178,17
88	44743	2,610820244	44.920,60	-180,21
89	44809	2,64921466	44.920,60	-114,25
90	44796	2,687609075	44.920,60	-127,29
91	44785	2,745200698	44.920,60	-138,35
92	44766,33333	2,783595113	44.920,60	-157,05
93	44747	2,802792321	44.920,60	-176,40
94	44761	2,841186736	44.920,60	-162,44
95	44797	2,860383944	44.920,60	-126,46
96	44838	2,89877836	44.920,60	-85,50
97	44852,33333	2,97556719	44.920,60	-71,24
98	44830	2,994764398	44.920,60	-93,59
99	44807	3,013961606	44.920,60	-116,61
100	44799,33333	3,033158813	44.920,60	-124,30
101	44793,33333	3,052356021	44.920,60	-130,32
102	44786,66667	3,071553229	44.920,60	-137,00
103	44794,33333	3,090750436	44.920,60	-129,36
104	44791	3,109947644	44.920,60	-132,71
105	44783,66667	3,129144852	44.920,60	-140,06
106	44745,66667	3,186736475	44.920,60	-178,12
107	44818	3,22513089	44.920,60	-105,83
108	44795	3,244328098	44.920,60	-128,84
109	44795,66667	3,263525305	44.920,60	-128,20
110	44744,66667	3,282722513	44.920,60	-179,22
111	44759,66667	3,301919721	44.920,60	-164,24
112	44801	3,321116928	44.920,60	-122,92
113	44798,73333	3,340314136	44.920,60	-125,21
114	44803	3,340314136	44.920,60	-120,94
115	44805,33333	3,397905759	44.920,60	-118,66
116	44823	3,417102967	44.920,60	-101,02
117	44836,33333	3,436300175	44.920,60	-87,70
118	44852,66667	3,47469459	44.920,60	-71,41
119	44892,66667	3,493891798	44.920,60	-31,43
120	44880,33333	3,513089005	44.920,60	-43,78
121	44843,33333	3,532286213	44.920,60	-80,80
122	44772	3,532286213	44.920,60	-152,13
123	44810	3,551483421	44.920,60	-114,15

B. Data Koreksi Harian dan IGRF Pangungakan 2

No	H Rata-rata di lapangan(nT)	Koreksi Harian	Koreksi IGRF	Intensitas Medan Magnet total (nT)
1	44749,33333	16,7697698	44919,3	-186,736
2	44751,33333	17,0746747	44919,3	-185,041
3	44748,66667	17,3795796	44919,3	-188,013
4	44837	17,532032	44919,3	-99,832
5	44838	17,8369369	44919,3	-99,1369
6	44855,66667	18,1418418	44919,3	-81,7752
7	44825,66667	18,4467467	44919,3	-112,08
8	44833,66667	18,7516517	44919,3	-104,385
9	44887	18,9041041	44919,3	-51,2041
10	44986	19,0565566	44919,3	47,64344
11	44972	19,209009	44919,3	33,49099
12	45013,66667	19,5139139	44919,3	74,85275
13	44887,33333	19,6663664	44919,3	-51,633
14	45013,66667	19,9712713	44919,3	74,3954
15	44887,33333	20,1237237	44919,3	-52,0904
16	44908,33333	20,2761762	44919,3	-31,2428
17	44983,33333	20,5810811	44919,3	43,45225
18	45007,66667	20,885986	44919,3	67,48068
19	44951,33333	21,1908909	44919,3	10,84244
20	44861,66667	21,4957958	44919,3	-79,1291
21	44817,33333	21,8007007	44919,3	-123,767
22	44839,33333	22,1056056	44919,3	-102,072
23	44768	22,4105105	44919,3	-173,711
24	44663,33333	22,7154154	44919,3	-278,682
25	44691,66667	23,7825826	44919,3	-251,416
26	44679	24,0874875	44919,3	-264,387
27	44661	24,5448448	44919,3	-282,845
28	44671,66667	24,8497497	44919,3	-272,483
29	44622,33333	25,1546547	44919,3	-322,121
30	44582,66667	25,4595596	44919,3	-362,093
31	44755,33333	25,9169169	44919,3	-189,884
32	45014,66667	26,0693694	44919,3	69,2973
33	44946,66667	26,2218218	44919,3	1,144845
34	44874,33333	26,6791792	44919,3	-71,6458
35	44864,66667	26,8316316	44919,3	-81,465
36	44924,66667	27,1365365	44919,3	-21,7699
37	45031,33333	27,288989	44919,3	84,74434

38	45107,66667	27,7463463	44919,3	160,6203
39	44590,33333	28,0512513	44919,3	-357,018
40	44679,66667	28,3561562	44919,3	-267,989
41	44652	28,5086086	44919,3	-295,809
42	44673	28,8135135	44919,3	-275,114
43	44677,33333	28,965966	44919,3	-270,933
44	44682,33333	29,4233233	44919,3	-266,39
45	44626,33333	29,4233233	44919,3	-322,39
46	45061	29,8806807	44919,3	111,8193
47	44971,33333	30,0331331	44919,3	22,0002
48	44950	30,338038	44919,3	0,361962
49	44898,66667	30,4904905	44919,3	-51,1238
50	44913	30,7953954	44919,3	-37,0954
51	44928	30,9478478	44919,3	-22,2478
52	44684	31,2527528	44919,3	-266,553
53	44700,66667	31,5576577	44919,3	-250,191
54	44696,33333	31,7101101	44919,3	-254,677
55	44716,66667	31,8625626	44919,3	-234,496
56	44631,33333	32,1674675	44919,3	-320,134
57	44744,13333	32,3199199	44919,3	-207,487
58	44791,06667	32,6248248	44919,3	-160,858
59	44729,93333	32,7772773	44919,3	-222,144
60	44698,2	32,9297297	44919,3	-254,03
61	44715	33,0821822	44919,3	-237,382
62	44722	33,2346346	44919,3	-230,535
63	44896,46667	33,5395395	44919,3	-56,3729
64	44831,66667	33,8444444	44919,3	-121,478
65	44764	33,9968969	44919,3	-189,297
67	44722,66667	33,9968969	44919,3	-230,63
68	44682	34,1493493	44919,3	-271,449
69	44691,66667	34,3018018	44919,3	-261,935
70	44736,66667	34,3018018	44919,3	-216,935
71	44860,33333	34,4542543	44919,3	-93,4209
72	44919	42,6866867	44919,3	-42,9867
73	44815,6	42,9915916	44919,3	-146,692
74	44670	43,144044	44919,3	-292,444
75	44736,8	43,2964965	44919,3	-225,796
76	44832,13333	43,7538539	44919,3	-130,921
77	44807,33333	44,0587588	44919,3	-156,025
78	44771,66667	44,0587588	44919,3	-191,692
79	44781,33333	44,2112112	44919,3	-182,178
80	44774,33333	44,3636637	44919,3	-189,33
81	44750,26667	44,5161161	44919,3	-213,549

82	44753,33333	44,6685686	44919,3	-210,635
83	44823,66667	44,9734735	44919,3	-140,607
84	44825,73333	45,1259259	44919,3	-138,693
85	44737	45,2783784	44919,3	-227,578
86	44735,66667	45,4308308	44919,3	-229,064
87	44763	27,1365365	44919,3	-183,437
88	44826,2	45,5832833	44919,3	-138,683
89	44825,66667	45,7357357	44919,3	-139,369
90	44769	45,8881882	44919,3	-196,188
91	44744,66667	46,0406406	44919,3	-220,674
92	44743	46,1930931	44919,3	-222,493
93	44774	46,3455455	44919,3	-191,646
94	44823,66667	46,497998	44919,3	-142,131
95	44840	46,6504505	44919,3	-125,95
96	44769	46,6504505	44919,3	-196,95
97	44753,33333	46,8029029	44919,3	-212,77
98	44756	46,9553554	44919,3	-210,255
99	44771	47,1078078	44919,3	-195,408
100	44837,53333	47,4127127	44919,3	-129,179
101	44845,66667	47,5651652	44919,3	-121,198
102	44781,33333	47,5651652	44919,3	-185,532
103	44765	47,7176176	44919,3	-202,018
104	44769,2	47,8700701	44919,3	-197,97
105	44785,33333	48,0225225	44919,3	-181,989
106	44779,66667	48,174975	44919,3	-187,808
107	44805,33333	48,3274274	44919,3	-162,294
108	44781	48,6323323	44919,3	-186,932
109	44756,33333	48,6323323	44919,3	-211,599
110	44769,8	48,7847848	44919,3	-198,285
111	44774	48,9372372	44919,3	-194,237
112	44816,46667	49,0896897	44919,3	-151,923
113	44780,66667	49,3945946	44919,3	-188,028
114	44773,33333	49,3945946	44919,3	-195,361
115	44772,33333	49,547047	44919,3	-196,514
116	44770,33333	49,6994995	44919,3	-198,666
117	44804,93333	49,851952	44919,3	-164,219
118	44804,4	50,0044044	44919,3	-164,904
119	44731,66667	50,1568569	44919,3	-237,79
120	44786,66667	50,3093093	44919,3	-182,943

Lampiran 4 Data Masukan untuk Sofwara *Surfer 12*

A. Data Pangungakan 1

No	X (Bujur (UTM))	Y (Lintang (UTM))
1	746610,1	10893993
2	746610,1	10893993
3	746607,9	10893986
4	746606,8	10893985
5	746606,9	10893973
6	746599,2	10893974
7	746602,5	10893969
8	746600,3	10893971
9	746600,3	10893971
10	746602,5	10893969
11	746602,5	10893975
12	746601,4	10893972
13	746596,9	10893980
14	746598	10893982
15	746607,9	10893983
16	746609	10893988
17	746606,8	10893993
18	746604,6	10893995
19	746602,4	10893987
20	746601,3	10893987
21	746604,6	10893986
22	746602,4	10893985
23	746603,5	10893979
24	746600,2	10893977
25	746600,3	10893976
26	746601,4	10893972
27	746597	10893969
28	746598,1	10893974
29	746599,2	10893974
30	746599,1	10893977
31	746604,6	10893983
32	746601,3	10893982
33	746602,4	10893982
34	746598	10893987
35	746606,8	10893989
36	746606,8	10893993
37	746605,7	10893989
38	746596,9	10893993

39	746596,9	10893989
40	746600,2	10893993
41	746596,9	10893977
42	746606,9	10893975
43	746592,5	10893975
44	746598,1	10893969
45	746598,1	10893971
46	746595,8	10893976
47	746594,7	10893975
48	746592,5	10893977
49	746593,6	10893978
50	746599,1	10893984
51	746599,1	10893987
52	746600,2	10893990
53	746600,2	10893992
54	746598	10893992
55	746598	10893994
56	746598	10893993
57	746594,7	10893985
58	746593,6	10893986
59	746593,6	10893985
60	746590,3	10893977
61	746590,3	10893977
62	746590,3	10893977
63	746590,3	10893975
64	746595,8	10893977
65	746588,1	10893979
67	746591,4	10893983
68	746590,3	10893985
69	746592,5	10893986
70	746598	10893989
71	746598	10893993
72	746598	10893993
73	746595,7	10893997
74	746598	10893994
75	746596,9	10893993
76	746589,2	10893987
77	746585,9	10893979
78	746584,8	10893984
79	746578,2	10893983
80	746578,2	10893980
81	746582,6	10893980
82	746573,8	10893980

83	746580,4	10893983
84	746583,7	10893988
85	746587	10893989
86	746585,8	10893994
87	746589,1	10893993
88	746594,6	10893994
89	746590,2	10893995
90	746590,2	10893997
91	746585,8	10893995
92	746580,3	10893990
93	746589,1	10893993
94	746580,3	10893988
95	746578,2	10893983
96	746578,2	10893984
97	746581,5	10893985
98	746579,3	10893979
99	746578,2	10893981
100	746572,7	10893981
101	746576	10893985
102	746575,9	10893990
103	746580,3	10893993
104	746578,1	10893996
105	746583,6	10893997
106	746585,8	10893998
107	746585,8	10893997
108	746582,5	10893999
109	746583,6	10893998
110	746579,2	10893996
111	746581,4	10893994
112	746581,4	10893991
113	746582,5	10893991
114	746582,5	10893991
115	746581,4	10893990
116	746571,5	10893993
117	746575,9	10893989
118	746578,1	10893994
119	746575,9	10893991
120	746575,9	10893995
121	746578,1	10893996
122	746579,2	10893996
123	746581,4	10894000

B. Data Pangungakan 2

No	X (Bujur (UTM))	Y (Lintang (UTM))
1	745919,6	10893629
2	745916,3	10893628
3	745916,3	10893630
4	745921,8	10893630
5	745920,8	10893625
6	745918,6	10893623
7	745916,4	10893615
8	745919,7	10893608
9	745920,8	10893609
10	745922	10893607
11	745919,8	10893605
12	745922	10893603
13	745924,2	10893602
14	745926,4	10893607
15	745920,9	10893607
16	745924,1	10893615
17	745925,2	10893619
18	745923	10893618
19	745920,8	10893621
20	745917,5	10893622
21	745921,9	10893623
22	745921,9	10893622
23	745920,7	10893629
24	745921,8	10893629
25	745917,4	10893629
26	745921,8	10893630
27	745924	10893634
28	745917,4	10893633
29	745921,8	10893630
30	745923	10893627
31	745924,1	10893626
32	745928,5	10893614
33	745930,8	10893613
34	745935,2	10893611
35	745938,5	10893612
36	745935,2	10893612
37	745938,5	10893616
38	745931,8	10893615
39	745927,4	10893628
40	745926,2	10893629

41	745925,1	10893631
42	745924	10893634
43	745927,3	10893635
44	745930,6	10893632
45	745930,7	10893631
46	745936,2	10893620
47	745937,4	10893615
48	745937,4	10893613
49	745944	10893613
50	745941,7	10893620
51	745942,8	10893618
52	745931,8	10893629
53	745931,7	10893633
54	745927,3	10893636
55	745931,7	10893637
56	745933,9	10893634
57	745938,4	10893633
58	745935,1	10893629
59	745934	10893631
60	745940,6	10893624
61	745937,3	10893626
62	745940,6	10893617
63	745940,7	10893613
64	745940,7	10893614
65	745944	10893616
67	745940,6	10893623
68	745941,7	10893622
69	745940,6	10893624
70	745936,2	10893629
71	745938,4	10893632
72	745936,1	10893636
73	745939,5	10893634
74	745943,9	10893630
75	745941,7	10893628
76	745948,3	10893628
77	745946,1	10893632
78	745948,3	10893632
79	745947,2	10893630
80	745942,8	10893634
81	745947,2	10893635
82	745945	10893633
83	745947,2	10893633
84	745951,6	10893637

85	745946,1	10893634
86	745944,9	10893639
87	745949,3	10893643
88	745951,5	10893641
89	745949,4	10893637
90	745954,9	10893637
91	745956	10893635
92	745954,9	10893642
93	745962,6	10893642
94	745954,9	10893640
95	745957,1	10893636
96	745954,9	10893642
97	745955,9	10893643
98	745958,1	10893644
99	745962,5	10893647
100	745963,7	10893645
101	745958,2	10893641
102	745959,2	10893646
103	745961,4	10893645
104	745963,6	10893646
105	745964,8	10893645
106	745965,9	10893646
107	745963,6	10893648
108	745966,9	10893650
109	745974,6	10893652
110	745970,3	10893645
111	745973,6	10893648
112	745974,6	10893651
113	745976,9	10893650
114	745974,7	10893650
115	745973,6	10893648
116	745975,8	10893648
117	745975,8	10893651
118	745973,5	10893652
119	745973,5	10893653
120	745976,8	10893653

Lampiran 5 Tahap Pengolahan Data

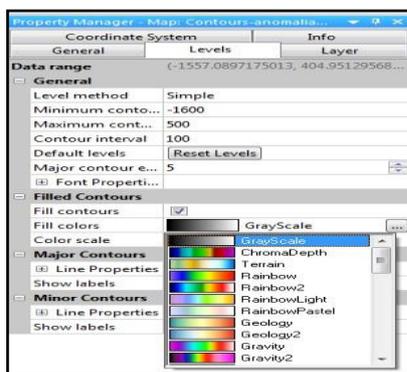
1. Pembuatan Kontur

1. Dilakukan koreksi harian dan IGRF terlebih dahulu
2. *surfer 12* dibuka kemudian klik *New Worksheet* (ctrl+W)
3. kolom A (x) diisi dengan koordinat Bujur (UTM), kolom B (y) diisi koordinat Lintang (UTM), dan kolom C (z) diisi dengan nilai anomali magnetik total.

Seperti berikut ini:

	A x	B y	C z
1	745540.25	10893845	-101.26726
2	745534.75	10893844	-109.44646
3	745536.94	10893846	-102.02505
4	745544.66	10893845	-111.00547
5	745545.77	10893845	-104.58957
6	745550.16	10893848	-118.96632
7	745552.36	10893850	-107.95286
8	745556.75	10893853	-115.93696
9	745560.06	10893853	-34.958608
10	745563.38	10893850	-118.67083

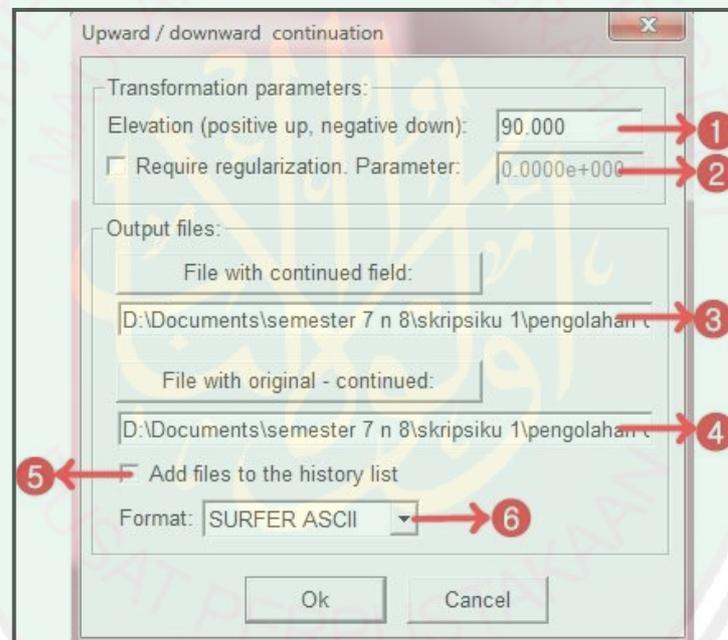
4. *Save* dalam *extension (file type)* " *BLN Golden Software Blanking*".
5. *Grid* → *Data* → *Data Lokasi (x,y,z)* → *ok* → maka menghasilkan *file* tipe *GRD*
6. *Save Grid Data Report*
7. *Map* → *Contour Map* → *New Contour Map* → *Open* data hasil *Grid*
8. Pada *Properties Manager* diklik *tab Levels* → *Fill Color* → pilih spektrum warna, seperti gambar berikut



9. Setelah didapatkan kontur kemudian *file* → *export* → disimpan dalam bentuk *jpg* → *save*

2. Kontinuasi ke Atas

1. *Open Magpick* → *file* → *open* (pilih data anomali magnetik yang sudah direduksi ke kutup dalam bentuk grid) → *open* (akan muncul peta kontur) → *operation* → *upward continuation*. Kotak dialog Kontinuasi ke Atas pada gambar di bawah ini:



Keterangan:

- 1) Ketinggian untuk medan kontinuasi, Positif untuk kontinuasi ke atas dan negatif untuk kontinuasi ke bawah
- 2) Untuk kontinuasi ke bawah *downward* jika diperlukan, diklik dan parameter dimasukkan

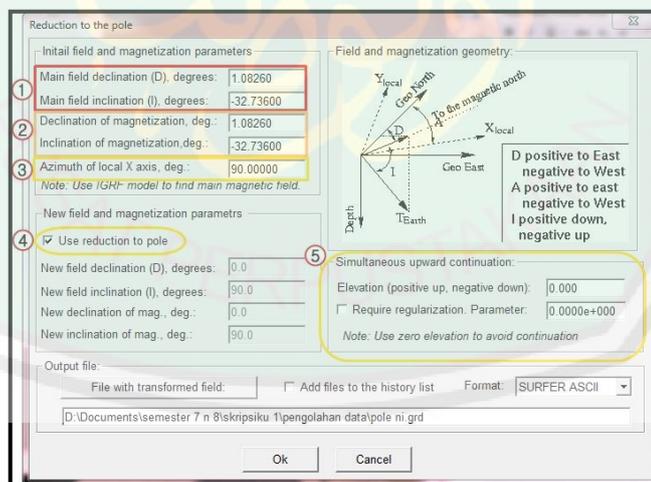
- 3) Nama arsip untu kontinuitas, dimana menunjukkan anomali regionalnya, *save* dalam bentuk *grid file* (*.grd)
- 4) Arsip dengan selisih data asli yang dikurangkan dengan data hasil kontinuitas, dimana menunjukkan anomali lokalnya *save* dalam bentuk *grid file* (*.grd)
- 5) Jika kotak ini dicentang, maka arsip *output* akan dimasukkan ke *history list* untuk memudahkan apabila diproses kembali

Kotak ini untuk memilih arsip keluaran yang ingin ditampilkan.

3. Reduksi Ke Kutub

1. *Open Magpick* → *file* → *open* (pilih data anomali magnetik dalam bentuk grid) → *open* (akan muncul peta kontur) → *operation* → *reduction on the pole*.

Kotak dialog RTP pada gambar di bawah ini:



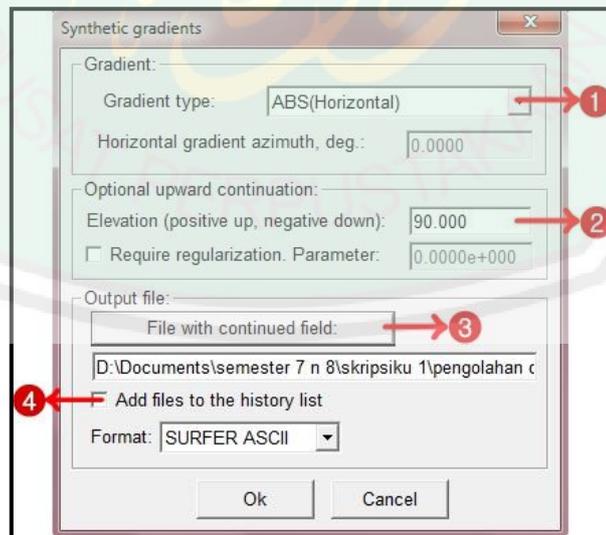
Keterangan:

- 1) Nilai Inklinasi dan Deklinasi dari pengukuran dimasukkan

- 2) Parameter yang sama seperti no.1 tetapi untuk magnetisasi direkomendasikan untuk memulai dengan nilai yang sama dengan medan magnet utama (hanya untuk induksi magnet)
- 3) Azimuth dari sumbu X lokal 90° jika berada pada titik di sebelah timur.
- 4) Kotak ini dicek untuk reduksi ke kutup. Jika ingin menghitung kembali medan untuk arah yang berbeda, maka nilai yang diminta dimasukkan langsung.
- 5) Kotak ini diisi jika hasil yang didapat tidak stabil.

4. Metode Gradient Horizontal

1. *Open Magpick* → *file* → *open* (pilih data anomali magnetik yang sudah direduksi ke kutup dalam bentuk grid) → *open* (akan muncul peta kontur) → *operation* → *Gradient*. Kotak dialog *Gradient Horizontal* pada gambar di bawah ini:



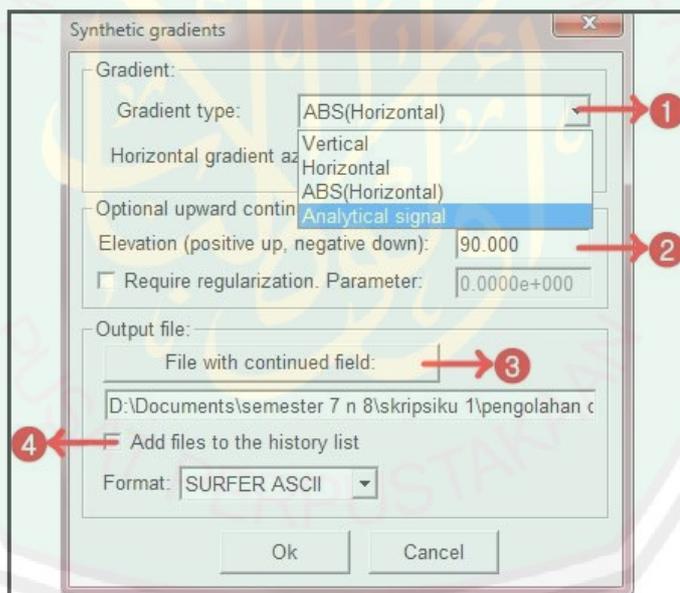
Keterangan:

- 1) Tipe gradient yang diinginkan

- 2) Ketinggian (diisi nol jika data telah dikontinuasi ke atas)
- 3) digunakan untuk menyimpan data. Save dalam bentuk grid file (*.grd)
- 4) diklik apabila arsip output akan dimasukkan ke history list untuk memudahkan apabila diproses kembali.

5. Metode Sinyal Analitik

1. *Open Magpick* → *file* → *open* (pilih data anomali magnetik yang sudah direduksi ke kutup dalam bentuk grid) → *open* (akan muncul peta kontur) → *operation* → *analytical signal*. Kotak dialog *analytical signal* pada gambar di bawah ini:



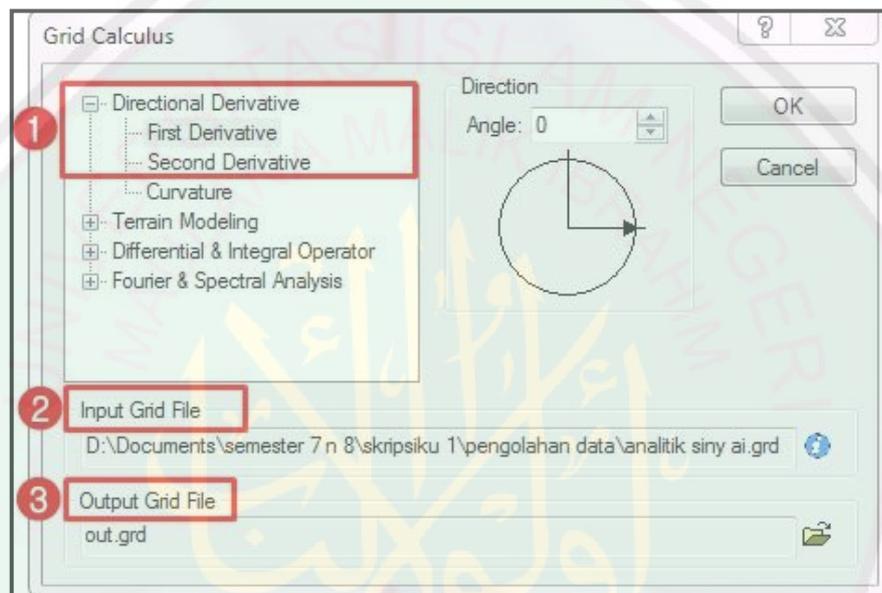
Keterangan:

- 1) Tipe gradient yang diinginkan
- 2) Ketinggian (diisi nol jika data telah dikontinuasi ke atas)
- 3) digunakan untuk menyimpan data. Save dalam bentuk grid file (*.grd)

- 4) diklik apabila arsip output akan dimasukkan ke history list untuk memudahkan apabila diproses kembali.

6. Turunan Vertikal

1. *Open surfer 12* → *Grid* → *calculus* (mengambil grid yang telah di Reduksi ke Kutup)



Keterangan:

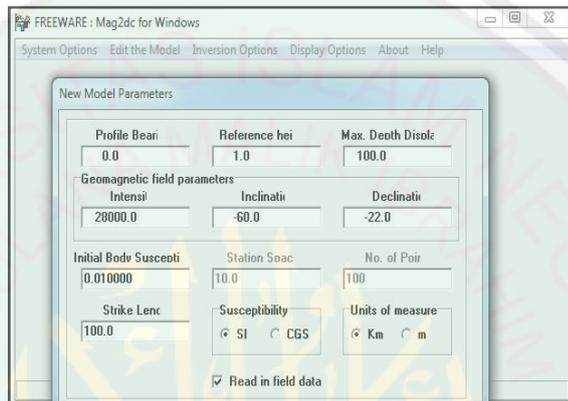
- 1) Turunan yang diinginkan (first Derivative atau Second Derivative)
- 2) Parameter atau inputan yang ingin digunakan
- 3) Menyimpan hasil dari output

7. Pembuatan Slice dan Pemodelan

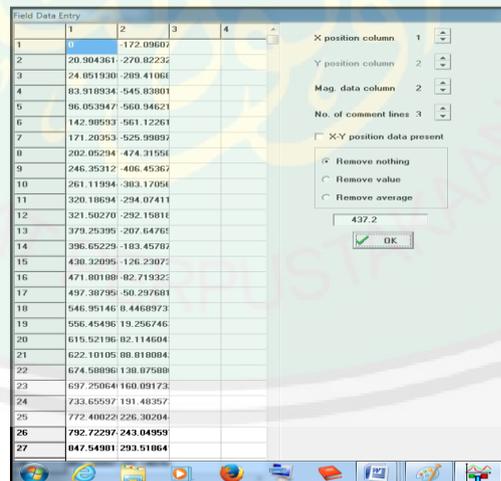
Pembuatan slice dan pemodelan ini menggunakan software *Surfer* dan *Mag2DC*

- 1) *Map* → *Contour map* → *downward 6.grd* → dibuat berwarna.
- 2) *Map* → *Digitize* → *File* → *save as* (misal: *Slice AB.blm*)
- 3) *Grid* → *Slice* → peta konturnya (*downward6.grd*) → *Slice AB.blm* → *Ok* → *output .dat* dan *.blm* dirubah nama (misal. *Slice A.blm* dan *Slice A .dat*) → *Ok*

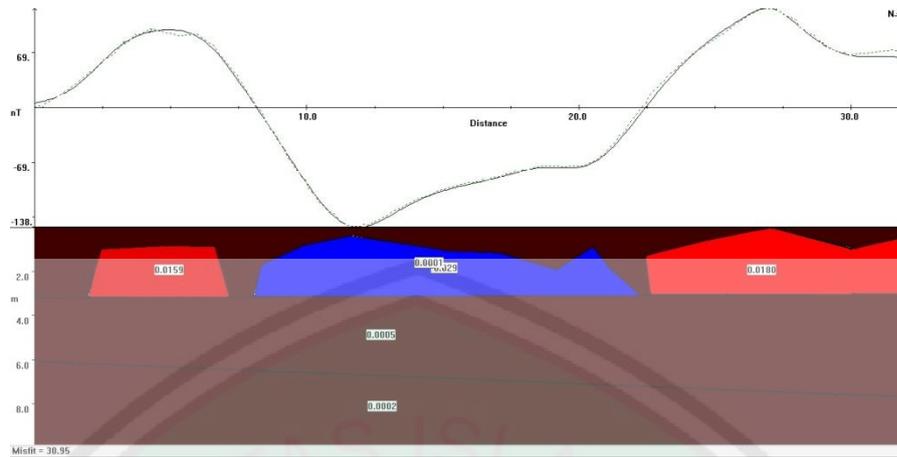
- 4) Mag2DC dibuka → *System Options* → *Begin a New Model* → kolom *Profil Bearing* diisi dengan sudut slice yang diukur searah jarum jam → kolom *Reference height* diisi 1 → *Max. Depth Displayed* diisi kedalaman target → *Intensity* diisi nilai IGRF → *Declination* diisi dengan nilai deklinasinya → *Inclination* diisi dengan nilai inklinasinya → *initial Body Susceptibility* diisi dengan nilai subseptibilitas batuan/mineral → *Susceptibility* dipilih SI → *Unit of measure* diisi



- 5) *Read in field data* dicentang → *Ok*
 6) Urutan posisi tiap kolom dirubah, *X-Y position data present* dicentang → *Ok*

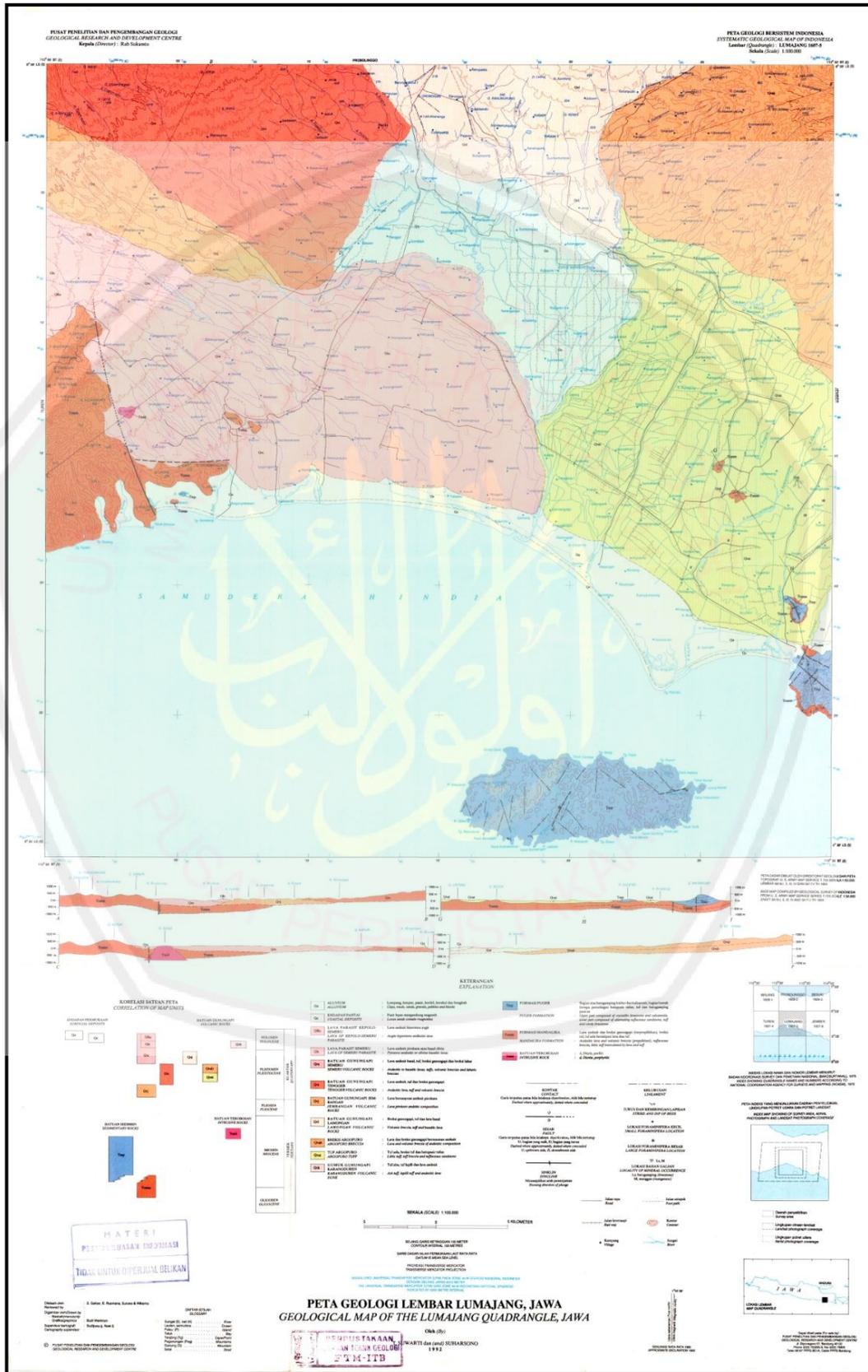


- 7) Model dibuat hingga menyerupai garis awal.



8) Data yang dihasilkan melalui proses di atas adalah data final yang sudah terkoreksi. Dari hasil data tersebut kita bisa mengetahui persebaran anomali dan gambaran irisan bawah permukaan. Pembuatan model bertujuan untuk memperjelas suspek yang ditunjukkan di dalam hasil data final. Pembuatan model dilakukan dengan membandingkan hasil anomali yang diperoleh dengan peta sketsa pengambilan data.

Lampiran 6 Peta Geologi Lembar Lumajang



Lampiran 7 Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Pemasangan alat Magnetometer



Gambar 2. Akuisisi data di tempat pengintaian 2



Gambar 3. Foto bersama



Gambar 4. Akuisisi data di tempat pengintaian 1



UNIVERSITAS MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG