

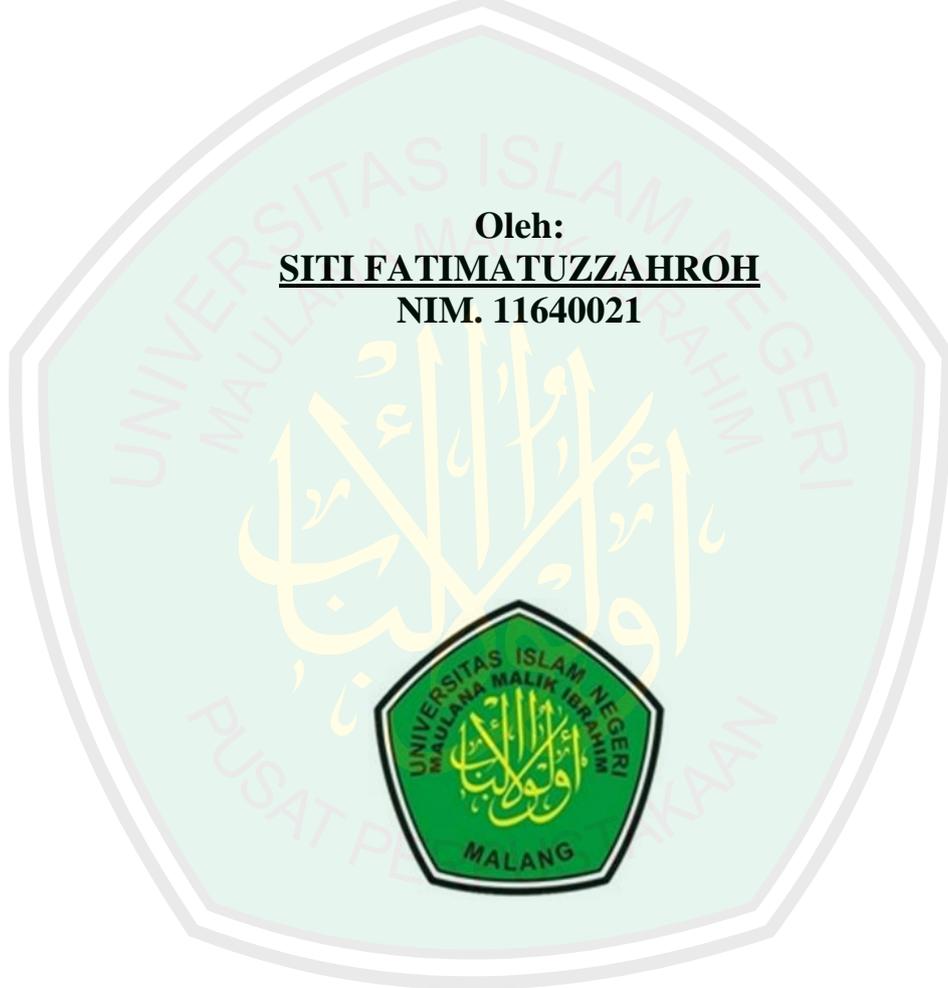
**ANALISIS STRUKTUR GEOLOGI DAERAH RANU GEDANG
BERDASARKAN DATA ANOMALI MEDAN MAGNET**

SKRIPSI

Oleh:

SITI FATIMATUZZAHROH

NIM. 11640021



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2015**

**ANALISIS STRUKTUR GEOLOGI DAERAH RANU GEDANG
BERDASARKAN DATA ANOMALI MEDAN MAGNET**

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:

**SITI FATIMATUZZAHROH
NIM. 11640021**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2015**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS STRUKTUR GEOLOGI DAERAH RANU GEDANG
BERDASARKAN DATA ANOMALI MEDAN MAGNET

SKRIPSI

Oleh:

SITI FATIMATUZZAHROH

NIM. 11640021

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada tanggal: Oktober 2015

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Novi Avisena, M.Si
NIP. 19761109 2 200604 1 004

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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M. Si
NIP. 19811119 200801 2 009

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS STRUKTUR GEOLOGI DAERAH RANU GEDANG BERDASARKAN DATA ANOMALI MEDAN MAGNET

SKRIPSI

Oleh:

SITI FATIMATUZZAHROH
NIM.11640021

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: Desember 2015

Penguji Utama	:	<u>Irjan, M.Si</u> Nip. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji	:	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> Nip. 19650504 199003 1 003	
Sekretaris Penguji	:	<u>Novi Avisena, M.Si</u> NIP. 19761109 200604 1 004	
Anggota Penguji	:	<u>Umayatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : SITI FATIMATUZZAHROH
NIM : 11640021
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Analisis Struktur Geologi Daerah Ranu Gedang
Berdasarkan Data Anomali Medan Magnet

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 jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 30 Oktober 2015
Yang Membuat Pernyataan,

Siti FatimatuZZahroh
NIM. 11640021

MOTTO

Better to feel how hard education is at this time rather than
fell the bitterness of stupidity, later.

Tidak merancang untuk gagal, tapi gagal untuk merancang

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ

“Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.” (QS. al Insiyiroh:5-6)

فَبِأَيِّ آلَاءِ رَبِّكُمَا تُكَذِّبَانِ

*“Maka nikmat Tuhankamu yang manakah yang kamu dustakan ?”
(QS. ArRahman)*

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahnya yang telah memberikan kekuatan, kesehatan dan kesabaran untukku dalam mengerjakan skripsi ini.

Kupersembahkan sebuah karya kecil ini untuk kedua orang tuaku tercinta, Bapak (Supardi) dan Ibu (Anik), yang tiada pernah hentinya selama ini memberiku semangat, doa, dorongan, nasehat dan kasih sayang serta pengorbanan yang tak tergantikan.

Terimalah bukti kecil ini sebagai kado keseriusanku.

Terima kasih yang tak terhingga buat guru-guruku dan dosen-dosenku, terutama pembimbingku (Bpk Novi Avisena, M.Si dan Ibu Umayyatus Syarifah, MA) yang tak pernah lelah dan sabar memberikan bimbingan dan arahan kepadaku. Serta bapak dan ibu dosen yang sangat menginspirasi (Bpk Irian, M.Si, Bpk Drs. Abdul Basid, M.Si, Ibu Erna Hastuti, M.Si, Bpk Agus Mulyono, SPd M.Kes, Ibu Erika, M.Si, Bpk Ahmad Abtokhi, Mpd, Bpk Farid Samsu Hananto, M.I, dan Bpk Tirono, M.Si). Semoga ilmu yang diberikan mampu menjadi penerang hidup kami.

Kepada adikku (ridha), mbk mu ini bisa wisuda juga kan akhirnya ..!(^,^)>

Makasih ya buat segala dukungan dan doanya.

Terlalu berat untuk mengandalkan diri sendiri tanpa melibatkan bantuan orang lain. Terima kasih buat tim akuisisi yang telah membantu dari geofisika UIN Malang (fika, robicha, Nita, Naseh dan Ms Munir), geofisika UNEJ (ummiek, oby, dery, dan mas Jun), mbk dan mas geofisika UGM (mbk Galuh, mbk Arum, mbk Ninik, dan mas Towok) dan pak asisten ms Cecep terima kasih atas bantuan dan ilmunya.

Teruntuk teman-teman geofisika yang selalu membantu, berbagi keceriaan dan melewati suka dan duka selama ini. (Mas Iqbal, Mas Taufik, MbK sofi, Mas Pendi, MbK Masdan, mbk Nita, MbK Dina, MbK Izati, Mas Munir, Mas Yasin, Mas Amin, Mas Faisol, fika, icha, Nita, Aji, Bahar, Nasich, Siro, Sifa, Atho' dan adik-adik geofisika'12). Kalian semua bukan hanya menjadi kakak, teman dan adik yang baik, kalian adalah saudara bagiku,

terima kasih atas dukungan dan doanya.

Terima kasih juga ku persembahkan kepada teman-teman seperjuangan (mbk bro dan mas bro di fisika'11) yang selalu membantu, berbagi keceriaan dan melewati setiap suka dan duka selama kuliah. Maaf tidak bisa nyebut satu-persatu, pokoknya kalian semua luar biasa, terimakasih banyak ya teman-teman.

Terimakasih juga buat temen-temen penghuni kos Rumah warna yang telah mewarnai hari ku selama 3 tahun ini. Bersyukur bisa menemukan teman/ saudara seperti kalian (lely, okta, sela, kiki, qori, puspita, dan ayu), dan juga Ibuk kos yang baik (Ibu Erna) semoga selalu dilindungi Allah.

**

Hanya sebuah karya kecil ini yang dapat ku persembahkan
Terima kasih beribu terimakasih kuucapkan.

By: mbk bro (zahroh)

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang ini berjalan dengan lancar baik. Sholawat serta salam semoga senantiasa terlimpahkan kepada Nabi Muhammad Saw., para sahabat, dan segenap orang yang mengikuti jejaknya.

Penyusunan laporan yang berjudul ” Analisis Struktur Geologi Daerah Ranu Gedang Berdasarkan Data Anomali Medan Magnet ini, disusun dalam rangka menyelesaikan tugas akhir/ skripsi yang merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pada kesempatan ini, penulis tidak lupa menyampaikan terima kasih dan harapan *jazakumullah al-khair* kepada semua pihak yang telah membantu, memberi pengarahan, bimbingan supaya skripsinya dapat terselesaikan dengan baik, khususnya kepada:

1. Prof. Dr. Mudjia Rahardjo, selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. drh. Bayyinatul Mukhtaromah, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si, selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

4. Novi Avisena, M.Si, dan Umaiatus Syarifah, M.A, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Segenap Civitas Akademika Jurusan Fisika, terutama seluruh dosen, laboran, dan staf karyawan yang bersedia membantu, menyediakan waktu bagi penulis untuk berbagi ilmu dan memberikan bimbingan.
6. Orangtua tercinta serta segenap keluarga yang selalu mendo'akan, memberi kepercayaan dan memberikan motivasi kepada penulis dalam menuntut ilmu.
7. Teman-teman yang selalu memberikan motivasi, inspirasi, dan kebersamaannya selama ini.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat diharapkan demi kemajuan bersama. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat dan menambah khazanah ilmu pengetahuan. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Malang, 30 November 2015

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	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Hipotesa Kejadian dan Struktur Pelapisan Bumi	8
2.2 Konsep Teori Magnetik	16
2.2.1 Gaya Magnetik	17
2.2.2 Medan Magnetik	18
2.2.3 Momen Magnetik	18
2.2.4 Intensitas Magnetik	19
2.2.5 Suseptibilitas kemagnetan	19
2.2.6 Induksi Magnetik	24
2.3 Medan Magnet Bumi	25
2.4 Koreksi Data Magnetik	32
2.5 Transformasi Medan	34
2.5.1 Reduksi ke Kutub	34
2.5.2 Kontinuasi ke Atas	35
2.6 Survey Magnetik	36
2.6.1 Magnetometer	36
2.7 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian	39
2.7.1 Fisiografi dan Morfologi	39
2.7.2 Stratigrafi	41
2.7.3 Struktur dan Sejarah Geologi	44
BAB III METODE PENELITIAN	46
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	46
3.2 Data Penelitian	47
3.3 Instrumentasi	47
3.4 Pelaksanaan Penelitian	47
3.4.1 Pengambilan Data (Akuisisi Data)	48

3.4.2	Proses Pengolahan Data	49
3.4.2.1	Proses Pengolahan Data Awal.....	49
3.4.2.2	Reduksi Ke Bidang Datar	49
3.4.2.3	Reduksi ke Kutub Medan Magnet Bumi.....	50
3.4.2.4	Kontinuasi ke Atas	50
3.4.2.5	Pemodelan Geologi.....	51
3.5	Tahapan Interpretasi Data	52
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN		55
4.1	Hasil Pengolahan	56
4.1.1	Pengolahan Data Awal.....	56
4.1.2	Reduksi ke Bidang Datar	59
4.1.3	Reduksi ke Kutub	61
4.1.4	Kontinuasi ke Atas	63
4.2	Interpretasi Kualitatif.....	66
4.3	Interpretasi Kuantitatif.....	67
4.3.1	Lintasan AB	67
4.3.2	Lintasan CD	70
4.3.3	Lintasan EF	74
4.3.4	Lintasan GH	76
4.4	Pemodelan Struktur Geologi Menurut Kajian al Quran dan Hadist.....	79
BAB V PENUTUP.....		83
5.1	Kesimpulan.....	84
5.2	Saran	84
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Susunan Lapisan Bumi	9
Gambar 2.2	Penampang Diagram Terbentuknya Gunungapi	13
Gambar 2.3	Penampang Melintang Kawah Maar	14
Gambar 2.4	Arah Polarisasi Feromagnetik	22
Gambar 2.5	Arah Polarisasi Antiferomagnetik	22
Gambar 2.6	Arah Polarisasi Ferrimagnetik	22
Gambar 2.7	Arah Polarisasi Paramagnetik	23
Gambar 2.8	Arah Polarisasi Diamagnetik	24
Gambar 2.9	Medan Magnet Bumi	26
Gambar 2.10	Pengaruh Inklinasi Benda	27
Gambar 2.11	Diagram Elemen Magnetik Bumi	28
Gambar 2.12	Medan Magnet Anomali	31
Gambar 2.13	Anomali Magnetik sebelum dan sesudah Reduksi ke Kutub ..	35
Gambar 2.14	Diagram Kotak dari PPM	37
Gambar 2.15	Peta Geologi Daerah Penelitian	41
Gambar 2.16	Peta Dasar Daerah Penelitian	43
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian	46
Gambar 3.2	Diagram Alir Percobaan	54
Gambar 4.1	Peta Kontur Anomali Medan Magnet Total	57
Gambar 4.2	Peta Kontur Kontur Topografi	58
Gambar 4.3	Peta Kontur Setelah Reduksi Bidang Datar	60
Gambar 4.4	Peta Kontur Setelah Reduksi ke Kutub	61
Gambar 4.5	Peta Kontur Anomali Regional	64
Gambar 4.6	Peta Kontur Anomali Lokal	65
Gambar 4.7	Peta Sayatan penampang Lintasan AB	68
Gambar 4.8	Peta Model Bawah Permukaan Lintasan AB	68
Gambar 4.9	Peta Sayatan Penampang Lintasan CD	70
Gambar 4.10	Peta Model Bawah Permukaan Lintasan CD	71
Gambar 4.11	Peta Sayatan Penampang Lintasan EF	75
Gambar 4.12	Peta Model Bawah Permukaan Lintasan EF	75
Gambar 4.13	Peta Sayatan Penampang Lintasan GH	77
Gambar 4.14	Peta Model Bawah Permukaan Lintasan GH	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Struktur Dalam Bumi.....	10
Tabel 2.2 Nilai Suseptibilitas Magnetik.....	21



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 *Software Surfer 11*
- Lampiran 5 Data Masukan Untuk *Software Mag2DC*
- Lampiran 6 Tahap Pengolahan Data
- Lampiran 7 Peta Geologi Lembar Probolinggo
- Lampiran 8 Dokumentasi Penelitian



ABSTRACT

Siti Fatimatuzzahroh. 2015. **Analysis of the Geological Structure of the Area Ranu Gedang Based on Data Anomalies Magnetic Field**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Advisor: (I) Novi Avisena, M.Si (II) Umayatus Syarifah, M.A

Key Word: Lamongan Volcano, Maar Lake, Magnetic field Anomaly, Lithology and Geological Structure.

Magnetic survey has been carried out to estimate the subsurface magnetic anomaly model in Ranu Gedang and identify the lithological rocks in the subsurface. The data was collected on 60 measuring points which spread on the research area that has 16km² widths in measuring space 50 m up to 500m by using base magnetometer and field magnetometer. Data processing started by correcting IGRF and diurnal variation to achieve anomaly of total magnetic area. Then, it was reduced to a horizontal plane, reduction to the pole, and than upward continuation to 400 m height above referential spheroid references to separate the local anomalies and regional anomalies. The results of qualitative interpretation indicate the presence of a dipole magnetic anomaly in the west and between location of Ranu Gedang. Quantitative interpretation is done by modelling the anomalous objects using *Mag2DC for Windows* program. The results of quantitative interpretation reveal that generally the inner core of Ranu Gedang composed by volcanic rocks of Lamongan volcano such as basalt, lava, volcanic breccia, pyroclastic/tuff, magma. Therefore, Ranu Gedang is a basin which formed because of the explosive eruption. Those eruptions are supposed cutting the ground water and rocks pore which is formed and aims to control the water movement so that the water is retained in the basin.

ABSTRAK

Siti Fatimatuzzahroh. 2015. **Analisis Struktur Geologi Daerah Ranu Gedang Berdasarkan Data Anomali Medan Magnet**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Novi Avisena, M.Si (II) Umayyatus Syarifah, M.A

Kata kunci: Gunung Lamongan, Danau Maar, Anomali medan magnet, Litologi batuan dan Struktur Geologi

Telah dilakukan survei magnetik untuk menduga model anomali magnetik bawah permukaan Ranu Gedang dan mengidentifikasi litologi batuan bawah permukaannya. Pengambilan data dilakukan pada 60 titik ukur yang tersebar pada daerah penelitian yang memiliki luas 16 km² dengan spasi pengukuran 50-500 m menggunakan *base magnetometer* dan *field magnetometer*. Pengolahan data diawali dengan koreksi IGRF dan koreksi variasi harian untuk mendapatkan anomali medan magnet total, kemudian reduksi bidang datar, reduksi ke kutub, selanjutnya kontinuasi ke atas pada ketinggian 400 meter di atas sferoida referensi untuk memisahkan anomali lokal dan regional. Hasil interpretasi kualitatif menunjukkan adanya anomali *dipole* magnetik di sebelah barat dan diantara lokasi Ranu Gedang. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan pemodelan benda anomali menggunakan program *Mag2DC for Windows*. Hasil dari interpretasi kuantitatif menunjukkan bahwa secara umum struktur bagian dalam Ranu Gedang tersusun oleh batuan vulkanik Gunung Lamongan berupa basal, lava, breksi vulkanik, piroklastik/ tufa, lahar. Ranu gedang berbentuk cekungan yang diduga terbentuk akibat letusan eksplosif. Letusan tersebut diduga telah memotong muka air tanah, dan pori- pori batuan/ rekahan yang terbentuk mengontrol pergerakan air hingga tertampung pada cekungan.

مستخلص البحث

سيدي فاطمة الزهرة، ٢٠١٥، تحليل البنية الجيولوجية للمنطقة "رانو كوداغ" على أساس الشذوذ البيانات في مجال المغناطيسي، البحث الجامعي، قسم فيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانج. المشرف الأولى: نوفي افيسونو الماجستير، والمشرفة الثاني: امية الشريفة الماجستير.

الكلمات الأساسية: جبل لامونجان، رانو، شذوذ البيانات في مجال المغناطيسي، الصخرية الحجر والبنية الجيولوجية

وقد تم اجريت دراسة استقصائية لتقدير نموذج من مغناطيسي تحت السطح رانو كوداغ ولتحديد صخور الصخرية تحت سطحها. واما يتم جمع البيانات في ٦٠ نقطة القياس التي تنتشر في ميدان البحوث حوالي ١٦ كيلا مترا بقياس الفضاء ٥٠ مترا حتى ٥٠٠ مترا باستخدام "مغنطس مترا" و "فيلد مغنطس مترا". وفي جمع البيانات تبدأ التصحيح IGRF وتصحيح التباين اليومي لنيل شذوذ البيانات في مجال المغناطيسي المجموع ثم الحد من المناطق المسطحة إلى القطب ثم تلتحق على الإرتفاع ٤٠٠ مترا فوق سفوريد المرجعية ليقرق الشذوذ المحلية والإقليمية ثم يفسرها. وأما النتائج الكيفي من خريطة الشذوذ الميدان المغنطس يدل على أن هناك الشذوذ Dipole المغناطيسي الغربي وبين المواقع رانو كوداغ ويتم تفسير الذي نمذجة الأجسام الشذوذ باستخدام برنامج Mag2DC for Windows. واما النتائج التفسير النوعي يدل أن بنية داخلية من رانو كوداغ تتكون من مادية في شكل البازلت، الحمم، بريشيا البركانية والطف الحمم. واما رانو كوداغ يوحض على شكل الذي يزعم شكلتها الثورات المتفجرة ويشته في ان الانفجار وقد خفض المياه الجوفية والصخور المسام وشكلت المراقبة حركة المياه ليتم استيعابها في حوض.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Posisi Indonesia berada pada titik pertemuan tiga lempeng tektonik (*tectonic plate*) yang saling bertabrakan yaitu lempeng Eurasia, Lempeng Indo Australia, dan Lempeng Pasifik. Benturan ketiga lempeng tersebut, membuat retaknya beberapa bagian pada kerak bumi, selain menimbulkan panas juga memproduksi batuan cair (magma). Magma cair tersebut terdorong naik ke permukaan bumi melalui retakan-retakan yang bisa dikatakan sebagai bidang lemah, dan membentuk gunungapi dengan berbagai tipe, yaitu: gunungapi perisai atau aspit, gunungapi strato, dan gunungapi maar.

Bentuk gunung yang tergolong maar terbentuk karena terjadi letusan eksplosif sebuah dapur magma yang relatif kecil dan dangkal. Bentuk gunung ini biasanya melingkar, ketinggian relatif rendah, dan memiliki kemiringan yang cukup curam. Biasanya terbentuk danau pada bekas lubang erupsi yang dasarnya relatif kedap air. Gunung lamongan merupakan contoh tipe ini.

Gunungapi Lamongan merupakan gunungapi muda dari Gunung Tarub yang posisinya berada di bagian timur. Pertumbuhan Gunung Lamongan diawali pensesaran tubuh Gunung Tarub yang berarah Tenggara–Baratlaut. Pensesaran ini mengakibatkan bagian barat Gunung Tarub runtuh, kemudian pada bagian ini tumbuh Gunung Lamongan. Diantara gunungapi aktif yang tersebar di Jawa Timur, Gunung Lamongan merupakan gunungapi yang menarik. Di Gunung

Lamongan terdapat sekitar 64 pusat erupsi parasit yang terdiri dari 37 kerucut vulkanik dan 27 buah “maar/ Ranu” (Matahelumual, 1982).

Ranu Gedang merupakan salah satu bentuk topografi negatif yakni membentuk suatu lubang dalam ke bawah permukaan dan dikelilingi oleh endapan hasil letusan berbentuk menyerupai cincin. Lokasinya terletak di sebelah timur Gunung Lamongan. Secara administratif Ranu Gedang masuk pada Desa Ranugedang, Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo, Provinsi Jawa Timur. Lokasinya ± 1500 m dari Ranu Kembar yang merupakan ranu kering. Terbentuknya Ranu Gedang dan ranu lainya di daerah ini pada masa lalu kemungkinan berhubungan erat dengan adanya pola-pola struktur yang berkembang di daerah ini, dengan demikian bukan suatu hal yang tidak mungkin bahwa proses yang sama dapat juga terjadi pada suatu waktu. Gunung Lamongan dan kerucut-kerucut “epigones” terletak pada sayatan depresi sumbu antiklin Pulau Jawa. Demikian juga sistem fissure antara Timur-Timurlaut (ENE) sampai Barat-Baratdaya (WSW) terbuka sepanjang 4 km antara Zona Klakah dan Zona Puncak Gunung Lamongan (Bemmelen, 1949). Oleh karena itu, di daerah kompleks Gunung Lamongan cukup sering terjadi gempa bumi yang mengakibatkan rekahan baru. Sebagaimana Allah SWT berfirman:

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ... ﴿٨٨﴾

“Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka Dia tetap di tempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan....” (Q.S. al-Naml [27]: 88).

Allah SWT menyampaikan firmanNya sebagai petunjuk atau tanda-tanda dengan kata kiasan yang memiliki makna luas. Menurut tafsir Al Maraghi kata (تمر) digunakan dalam arti guncangan dan bergetar, sedang ia (langit) tetap pada

tempatnyanya. (المر) pada asalnya berarti bolak-balik, pulang pergi dan kadang diartikan berjalan (Mushthafa, 1989).

Berdasarkan tafsir tersebut, ayat di atas bermakna bahwa gunung itu tidak diam di tempatnya, tetapi bergerak. Hasil penemuan pakar Geologi, menyatakan bahwa gerakan gunung-gunung ini disebabkan pergerakan lempeng tektonik yang ada di bawahnya. Lempengan-lempengan tersebut bergerak mengapung di atas lapisan magma yang lebih rapat, sehingga tidak jarang terjadi tabrakan dan lipatan antar lempeng yang menyebabkan terjadinya gempa bumi. selanjutnya kejadian tersebut bisa mempengaruhi pola struktur yang berkembang di daerah tersebut.

Struktur bagian dalam maar disebut diatrema yang tersusun oleh material hasil letusan dan runtuhannya maar yang terjadi secara periodik. Ranu Gedang merupakan salah satu maar di kaki Gunung Lamongan yang telah terisi air dan menjadi danau. Pembentukan gunungapi dengan ranunya seperti itu ditafsirkan ada hubungannya dengan aktivitas magmatik, kontak magma dengan air tanah, litologi batuan dan yang penting yaitu pengaruh struktur celah yang mungkin jadi penyebab kenapa Ranu Gedang bisa terisi air sedangkan Ranu Kembar yang berada dalam satu desa kering. Data geologi sebelumnya menginformasikan bahwa daerah penelitian (Ranu Gedang) merupakan daerah yang dilewati sesar berarah Utara-Barat, untuk membuktikan hubungan tersebut perlu dilakukan pendekatan-pendekatan dalam keadaan yang sederhana atau keadaan ideal. Keadaan ideal ini dinyatakan dalam bentuk perumusan matematika yang selanjutnya kita sebut sebagai hukum-hukum fisika.

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 itu secara vertikal maupun horisontal.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode geomagnetik. Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika yang ditafsirkan dalam bentuk distribusi bahan magnetik yang didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnetik di permukaan bumi. Metode ini dilakukan berdasarkan pada hasil pengukuran anomali geomagnet yang diakibatkan oleh perbedaan kontras suseptibilitas, atau permeabilitas magnetik dari daerah di sekelilingnya. Selanjutnya analisis hasil metode magnetik dilakukan agar didapatkan gambaran tentang kondisi diatreme Ranu Gedang dan struktur bawah permukaan di sekitar daerah penelitian. Metode geomagnet ini dilakukan sebagai survei awal untuk melengkapi basis data mengenai kondisi geologi bawah permukaan Ranu Gedang, yang selanjutnya diharapkan bisa digunakan sebagai acuan atau pedoman bagi peneliti selanjutnya, misalnya berdasarkan hasil interpretasi tersebut dan mengetahui karakteristik endapan Maar Ranu Gedang kemudian juga jika dilakukan interpretasi kondisi hidrologi daerah tersebut kemungkinan akan dapat

ditarik suatu hubungan antara pembentukan maar dengan kehadiran mata air panas di wilayah Tiris.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian pada tahap pra survei pendahuluan tentang morfologi dan kondisi geologi. Kajian dilakukan berbasis teknologi citra satelit. Analisis citra satelit meliputi pengumpulan, analisis dan penyajian data yang berhubungan dengan informasi kondisi geomorphologi yang selanjutnya dijadikan masukan bagi pelaksanaan tahap eksplorasi lebih lanjut, khususnya aplikasi metode geomanet. Pada gambar model geomorfologi Gunung Lamongan dan sekitarnya dengan menggunakan analisis citra Landsat 7 ETM+ tersebut terlihat bahwa satuan morfologi Gunung Lamongan berbeda dengan Gunung Argopuro di sebelah timurnya. Ini mengindikasikan karakteristik sistem vulkanik yang berbeda untuk kedua gunung tersebut. Bulatan-bulatan hitam menunjukkan danau kawah yang berisi air yang berada di sebelah barat, timur dan selatannya. Keberadaan air dalam danau kawah erat kaitannya dengan sistem akuifer di sekitar Gunung Lamongan. Daerah sebelah barat dan timur merupakan daerah tertekan yang dipengaruhi oleh sistem vulkanik Gunung Bromo dan Gunung Argopuro. secara berurutan, dari hasil analisa citra satelit tampak bahwa adanya sistem lipatan berarah NW–SE yang mempengaruhi sistem vulkanik Gunung Lamongan dan Gunung Argopuro (Widya, 2012).

1.2 Rumusan Masalah

Agar pembahasan menjadi optimal maka penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana model struktur geologi bawah permukaan Ranu Gedang ?

2. Bagaimana dugaan litologi batuan bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan data geomagnetik ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Area cakupan penelitian memiliki luas 16 m^2 , yang berada di Ranu Gedang dan daerah sekitarnya, di kaki Gunung Lamongan, Desa Ranugedang, Kecamatan Tiris, Probolinggo, Jawa Timur, yang terletak pada koordinat $7.933365^\circ - 7.958453^\circ \text{ LS}$ dan $113.358^\circ - 113.3918^\circ \text{ BT}$.
2. Metode geofisika yang digunakan adalah metode magnetik, dengan menggunakan instrumen akuisisi data berupa dua buah magnetometer dengan jenis yang berbeda. Satu *base station magnetometer* dan satu *field magnetometer*.
3. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan beberapa Software yang diantaranya Ms.Excel, *Watfor 77*, *potensoft*, *Surfer 11*, *Matlab R2008a*, *Mag2dc*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah;

1. Membuat model struktur geologi bawah permukaan sebagai gambaran keadaan bawah permukaan Ranu Gedang.
2. Mengidentifikasi litologi batuan bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan data geomagnetik.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat memberikan informasi mengenai model struktur geologi bawah permukaan yang dapat memberikan gambaran keadaan bawah permukaan Ranu Gedang.
2. Menambah wawasan tentang penggunaan metode geomagnetik sehingga dapat dijadikan referensi untuk penelitian berikutnya dalam bidang geofisika.

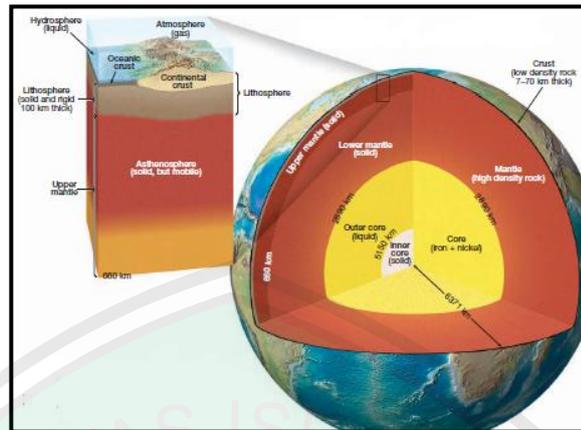


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hipotesa Kejadian dan Struktur Pelapisan Bumi

Hipotesa para ahli mengatakan bahwa bumi dan planet lainnya terbentuk dari proses aglomerasi massa jagad raya yang telah mendingin (*planetesimal*) atau proses pendinginan dan kondensasi gas panas matahari (*nebular*). Dalam hipotesis *nebular* terdapat pengertian bahwa selama perkembangannya, gas panas akan mengalami radiasi dan kehilangan partikel tenaga sehingga lambat laun mengalami pendinginan, terkondensasi dan memadat. Selama proses pendinginan berlangsung, oleh gaya tarik bumi terjadi diferensiasi antara hasil kondensasi dengan gas, sehingga akan terbentuk magma primer yang diselubungi selaput gas yang sangat berbeda dengan atmosfer sekarang, yang disebut pneutosfer (Rittmann, 1960).

Pelapisan di dalam tubuh bumi merupakan lapisan yang diskontinu (tidak serba sama). Bagian demi bagian bumi membentuk suatu lapisan-lapisan dengan sifat dan ketebalan yang berbeda-beda. Pembagian lapisan bumi mulai dari bagian luar ke arah dalam, terdiri atas: Litosfer yang bersifat keras padat (*rigid solid*) yang meliputi kerak samudera (*oceanic crust*) dan kerak benua (*continental crust*), astenosfer yang juga disebut mantel bersifat lunak (*capable of flow*), dan inti bumi atau barisfer yang bersifat cair pijar mengandung gas (*latent magmatic*) (Plummer, 1995: 13).



Gambar 2.1 Susunan Lapisan Bumi (Lutgens & Tarbuks, 2012)

Fakta sains tersebut telah menjelaskan bahwa lapisan dalam planet Bumi memang terdiri beberapa lapis. Setiap lapisan mempunyai karakteristik dan tugas masing-masing. Sebagaimana yang tercantum dalam firman Allah SWT Surah ath-Thalaq (65): 12:

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَوَاتٍ 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.”(Q.S.Ath-Thalaq: 12)

Makna kesepertian pada lafad (مثلهن) “seperti mereka” pada ayat di atas dapat dilihat dari sisi penciptaan, yakni sebagaimana Allah SWT menciptakan langit yang tujuh itu, seperti itu juga Allah SWT menciptakan bumi ini dengan lapisan yang berjumlah tujuh (Shihab, 2002).

Tabel 2.1 Struktur Dalam Bumi (Ringwood,1975):

Kedalaman	Nama Bagian	Susunan Batuan	Keterangan
20-50 km di bawah kerak bumi.	Kerak bumi	Batuan beku, sedimen dan malihan	
10-12 km di bawah kerak samudra.			
Bidang diskontinuitas <i>Mohorofisic</i>			
400 km	selubung atas	Eklogit & peridotit, kaya Fe, Mg, Ca, Na & silikat	Dicirikan dengan sebaran gelombang gempa rendah, terutama gelombang s. viskositas 8×10^{21}
400-1000 km	Jalur peralihan	Silikat besi padat, Mg, Ca, Al, Oksida besi & silikat	Dicirikan dengan landaian kecepatan gelombang gempa yang tinggi
1000- 2900 km	Selubung bawah	Oksida besi padat, Mg, SiO_2	Kenaikan kecepatan rambat gelombang gempa selaras dengan bertambahnya kedalaman. Viskositas rata-rata 10^{23} polse
2900- 5100 km	Inti luar	Besi, sedikit silikat, belerang & oksigen	
5100- 6371 km	Inti dalam	Besi padat	
Magma berasal dari peleburan setempat pada kerak atau selubung atas			

Tabel 2.1 tersebut berhasil disusun Ringwood (1975) berdasarkan analisisnya atas tafsiran gelombang gempa, pengukuran gaya berat dan magnetik, pemboran inti pada kedalaman tertentu, juga deduksi atas sejarah geologi, petrogenesa batuan yang tersingkap dan geokimia.

Selain dari hal di atas, al-Quran juga telah memberikan isyarat yang berkaitan dengan bebatuan dan unsur logam yang terdapat pada lapisan bebatuan pembentuk bumi. Di antaranya, al-Quran menyebutkan tentang pembentukan warna pada bebatuan yang terdapat di lapisan bumi, keadaan geologi lapisan bumi yang dibedakan dari warnanya tersebut, diungkapkan-Nya dalam surah Fathir (35): 27:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيْضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَعَرَابِيٌّ سُودٌ ﴿٢٧﴾

“Tidakkah kamu melihat bahwasanya Allah menurunkan hujan dari langit lalu Kami hasilkan dengan hujan itu buah-buahan yang beraneka macam jenisnya. dan di antara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat.”(Q.S. Faathir (35): 27)

(بيض وحمرمختلف ألوانها) yaitu jalan-jalan dengan garis-garis yang terdapat pada pegunungan yang memiliki berbagai macam warna. Sebagaimana halnya gunung-gunung (Al-Jazairi, 2009).

Warna gunung yang bermacam-macam disebabkan adanya perbedaan materi-materi yang terkandung oleh bebatuan gunung-gunung itu. Jika materinya besi, maka warna dominannya adalah merah; jika materinya batubara, maka warna dominannya adalah hitam; jika materinya perunggu, maka gunung tersebut berwarna kehijau-hijauan; dan seterusnya. Tidak hanya sampai disitu,

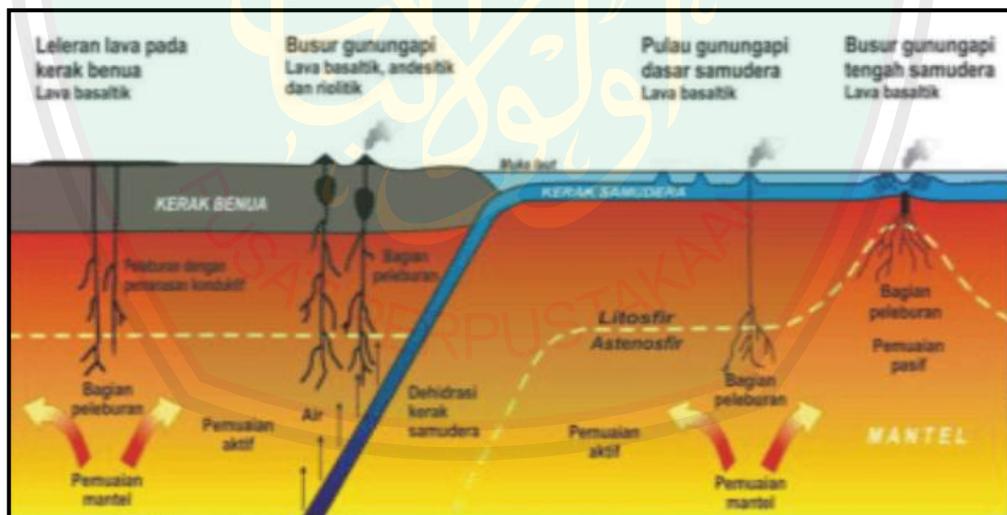
kemukjizatan ayat ini sebenarnya sangat menonjol ketika ia mengaitkan adanya berbagai jenis buah-buahan meskipun pepohonannya disiram dengan air yang sama, dengan penciptaan gunung-gunung yang beraneka warna merah, putih atau hitam meskipun juga berasal dari suatu materi yang sama di dalam perut bumi. Materi ini, oleh para geolog, dinamakan magma yang muncul di berbagai kawasan bumi. Akan tetapi, karena kemunculan magma itu dari kedalaman yang berbeda akhirnya mengkristal membentuk gundukan-gundukan atau gunung-gunung yang beraneka ragam warna dan materinya. Demikianlah sebenarnya kesatuan hukum Allah SWT. Meskipun bentuknya beraneka ragam, tetapi berasal dari materi yang satu. Semua itu adalah untuk kemudahan dan kemanfaatan umat manusia (Shihab, 2002).

Struktur bumi dapat diketahui dari lapisan kerak bumi. Dari lapisan atas kerak bumi dapat dilihat bentuk bumi berupa pegunungan, gunungapi, samudera, dataran, dan sebagainya. Sedangkan dari lapisan kerak bawah bumi dapat diketahui struktur bumi berupa jenis batuan atau mineral yang terkandung.

Pengetahuan tentang tektonik lempeng merupakan pemecahan awal dari teka-teki fenomena alam termasuk deretan pegunungan, benua, gempa bumi dan gunungapi. Pergerakan antar lempeng menimbulkan empat busur gunungapi berbeda (Sigurdsson, 2000):

1. Pemekaran kerak benua, lempeng bergerak saling menjauh sehingga memberikan kesempatan magma bergerak ke permukaan, kemudian membentuk busur gunungapi tengah samudera.

2. Tumbukan antar kerak, dimana kerak samudera menunjam di bawah kerak benua. Akibat gesekan antar kerak tersebut terjadi peleburan batuan dan lelehan batuan ini bergerak ke permukaan melalui rekahan kemudian membentuk busur gunungapi di tepi benua.
3. Kerak benua menjauh satu sama lain secara horizontal, sehingga menimbulkan rekahan atau patahan. Patahan atau rekahan tersebut menjadi jalan ke permukaan lelehan batuan atau magma sehingga membentuk busur gunungapi tengah benua atau banjir lava sepanjang rekahan.
4. Penipisan kerak samudera akibat pergerakan lempeng memberikan kesempatan bagi magma menerobos ke dasar samudera, terobosan magma ini merupakan banjir lava yang membentuk deretan gunungapi perisai.

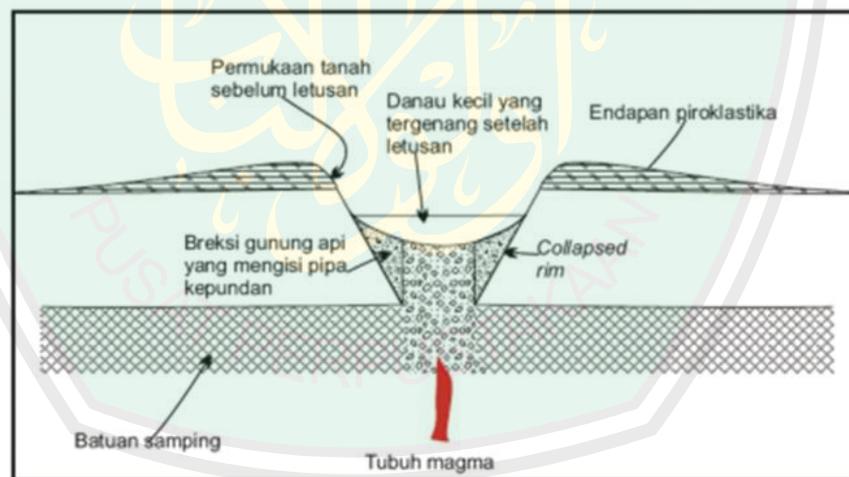


Gambar 2.2 Penampang diagram yang memperlihatkan bagaimana gunungapi terbentuk di permukaan melalui kerak benua dan kerak samudra (Sigurdsson, 2000).

Fenomena gunungapi yang ada di muka Bumi memiliki bentuk yang berbeda-beda. Hal ini sangat bergantung dari tipe, kekuatan, dan frekuensi

letusannya. Secara umum, dikenal tiga bentuk gunungapi, yaitu tipe Perisai (Tameng), Strato, dan Maar.

Menurut Schieferdecker (1959) maar adalah suatu cekungan yang umumnya terisi air, berdiameter mencapai 2 km, dan dikelilingi oleh endapan hasil letusannya. Gunung api maar yang cekungan kawahnya tidak berisi air disebut maar kering. Maar juga diartikan sebagai kerucut gunung api monogenesis yang memotong batuan dasar di bawah permukaan air tanah dan membentuk kerucut berpematang landai yang tersusun oleh rempah gunungapi berbutir halus hingga kasar, mempunyai diameter kawah bervariasi antara 100–3000 m, yang sering terisi air sehingga membentuk danau.



Gambar 2.3 Penampang Melintang Kawah Maar yang Dibentuk oleh Letusan Freatik dan Freatomagmatik (Bronto dan Mulyaningsih, 2007)

Hasil analisis citra satelit, foto udara maupun peta rupabumi, menunjukkan bahwa kawah gunung api maar memperlihatkan penampakan lingkaran (*circular features*) atau cekungan melingkar (*circular depressions*). Maar banyak ditemukan sebagai kerucut scoria dan kebanyakan letusan maar terjadi pada

lingkungan geologi gunungapi besar bersusunan basal seperti yang ditemukan di Fort Rock, Christmas Lake Valley Oregon. Munculnya magma ke permukaan hingga menyentuh air tanah tersebut, dikontrol oleh rekahan (sesar) sebagai akibat gaya ekstensi (Bronto dan Mulyaningsih, 2007).

Secara umum, aktivitas gunung api maar dapat berupa letusan freatik, freatomagmatik, dan magmatik. Letusan freatik terjadi jika pancaran panas magma bersentuhan dengan air tanah di dalam batuan dasar, yang kemudian berubah menjadi uap dengan tekanan semakin tinggi karena adanya batuan penudung (*cap rocks*). Letusan dapat terjadi jika tekanan uap air panas itu sudah lebih besar dari tekanan batuan penudung dan batuan di atasnya. Letusan freatik tersebut menghasilkan material hamburan dalam berbagai ukuran yang berasal dari batuan dasar (*non magmatic material* atau endapan hidroklastika) sebagai akibat proses letusan. Pada letusan freatomagmatik sebagian kecil komponen magma (*magmatic material*) sudah ikut terlontarkan ke luar, sedangkan bahan utama hasil letusan magmatik berasal langsung dari magma itu sendiri yang kemudian membentuk endapan piroklastika. Apabila tekanan gas di dalam magma itu sudah melemah, maka magma keluar secara lelehan (*effusive eruptions*), dapat berupa aliran lava, kubah lava atau sumbat lava. Dengan demikian, secara lengkap rangkaian erupsi gunung api maar diawali oleh letusan freatik, kemudian dilanjutkan dengan letusan freatomagmatik dan magmatik, serta diakhiri dengan erupsi lelehan lava (Bronto dan Mulyaningsih, 2007).

Gunungapi maar di Indonesia antara lain terdapat di kompleks Gunungapi Dieng, Jawa Tengah, sekitar Gunungapi Lamongan, Kabupaten Lumajang, Jawa

Timur (Kusumadinata, 1979), di kaki Gunung Api Cerme, Jawa Timur (Bronto dan Fernandy, 2000) dan di kaki Gunung Api Gamalama di Pulau Ternate (Bronto dkk., 1982). Batuan dasar di bawah Gunungapi Lamongan adalah batuan karbonat, yang apabila bersentuhan dengan magma dapat membentuk gas CO₂, sehingga menambah tekanan gas di bawah permukaan.

Struktur bumi di permukaan bumi tampak teratur pada semua bagian. sehingga bumi tidak terlalu condong ke salah satu arah di tengah-tengah alam raya yang melingkupinya. Di salah satu belahan bumi terdapat banyak dataran tinggi, sedangkan di tempat lain terdapat banyak dataran rendah.

2.2 Konsep Teori Magnetik

Metode geomagnet atau metode magnetik merupakan salah satu metode fisika untuk eksplorasi bawah permukaan bumi yang telah banyak digunakan dalam eksplorasi mineral dan batuan (Sharma, 1997). Metode geomagnet dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi besar bawah permukaan seperti sesar, lipatan, intrusi batuan beku atau kubah garam dan reservoir geothermal. Dalam eksplorasi geofisika lingkungan metode magnetik hanya akan memberikan gambaran secara umum (Reynold, 1997). Burger dkk (1992), mengemukakan bahwa metode magnetik dapat digunakan untuk mengetahui kedalaman dan struktur permukaan, sehingga pengukuran dapat diperoleh dengan mudah untuk studi lokal dan regional.

Metode geomagnet juga memiliki kesamaan latar belakang fisika dengan metode gravitasi dimana kedua metode tersebut sama-sama berdasar kepada teori medan potensial, sehingga keduanya sering disebut sebagai metode potensial.

Namun demikian, ditinjau dari parameter besaran fisika yang terkait keduanya mempunyai perbedaan yang mendasar. Dalam metode geomagnet harus dipertimbangkan variasi besar dan arah vektor magnetisasi. Sedangkan dalam metode gravitasi hanya ditinjau variasi besar vektor percepatan gravitasi. Metode geomagnet ini bekerja berdasarkan pada pengukuran variasi kecil intensitas medan magnetik di permukaan bumi. Variasi ini disebabkan oleh kontras sifat kemagnetan (susceptibilitas) antar batuan di dalam kerak bumi (termasuk di dalamnya kemagnetan induksi dan kemagnetan remanen), sehingga menimbulkan medan magnet bumi yang tidak homogen, bisa disebut juga sebagai suatu anomali magnetik. Selain itu, variasi medan magnetik dapat disebabkan oleh adanya perubahan struktur geologi di bawah permukaan bumi.

2.2.1 Gaya Magnetik

Dasar dari metode magnetik adalah gaya Coulumb, antara dua kutub magnetik m_1 dan m_2 (e.m.u) yang berjarak r (cm) dalam bentuk (Telford et al.1976):

$$\vec{F} = \frac{m_1 m_2}{\mu_0 r^2} \vec{r} \quad (2.1)$$

Konstanta μ_0 adalah permeabilitas medium dalam ruang hampa, tidak berdimensi dan berharga satu yang besarnya dalam SI adalah $4\pi \times 10^{-7}$ newton/ampere².

2.2.2 Medan Magnetik

Kuat medan (\vec{H}) adalah gaya pada suatu kutub magnetik (m') jika diletakkan pada titik dalam medan magnetik yang merupakan hasil dari kuat kutub m (Telford et al, 1976):

$$\vec{H} = \frac{F}{m'} = \frac{m}{\mu_0 r^2} \hat{r}_1 \quad (2.2)$$

Dimana r adalah jarak titik pengukuran dari m . Diasumsikan m' jauh lebih besar dari m sehingga m' tidak menimbulkan gangguan terhadap medan pada titik pengukuran. Satuan medan magnetik dalam SI adalah Ampere/meter (A/m), sedangkan dalam cgs adalah oersted, dimana oersted adalah 1 (satu) dyne/unit kutub.

2.2.3 Momen Magnetik

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

$$\vec{M} = ml\hat{r} \quad (2.3)$$

\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 gauss.cm³ atau emu dan dalam SI mempunyai satuan A.m² 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.

2.2.4 Intensitas Magnetik

Intensitas magnetisasi adalah besaran yang menyatakan seberapa intensitas keteraturan atau kesearahan arah momen-momen magnetik dalam suatu material sebagai akibat dari pengaruh medan magnet luar yang melingkupinya. Intensitas magnetisasi (\vec{I}) didefinisikan sebagai momen magnetik \vec{M} per unit volume (Lita, 2012):

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

Satuan magnetisasi dalam cgs adalah gauss atau emu.Cm⁻³ dan dalam SI adalah Am⁻¹.

2.2.5 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 batuanannya dan gaya magnetnya, serta intensitas permanennya pada sejarah geologi batu tersebut.

Tingkat suatu benda magnetik untuk mampu dimagnetisasi ditentukan oleh Suseptibilitas kemagnetan (k), yang dirumuskan dengan persamaan (Burger,1992: 394):

$$\vec{I} = k \vec{H} \quad (2.5)$$

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).

Jika suatu benda berada dalam medan magnet, maka akan timbul medan magnet baru dalam benda (induksi) yang menghasilkan anomali medan magnet. Sehingga dengan adanya batuan yang didalamnya mengandung mineral magnetik, medan magnet normal bumi akan mengalami gangguan yang disebabkan oleh anomali medan magnet sebagai hasil magnetisasi batuan (Telford, 1982: 72).

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, rhyolite, 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 2.2 di bawah ini:

Tabel 2.2 Nilai Suseptibilitas Magnetik (Mustang dan Dendi, 1990)

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
Lampung Kaolin	0.00-0.02

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

- a) Feromagnetik

Suseptibilitas magnetik material feromagnetik sebesar ($10^2 < k < 1.6 \times 10^4$) $\times 10^{-6}$ 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 feromagnetik dibagi lagi menjadi

beberapa macam yaitu ferromagnetik, anti ferromagnetik dan ferrimagnetik. Nilai k ferromagnetik positif dan tidak tergantung pada temperatur Curie, karena material-material atom mempunyai momen magnet dan interaksi antara atom terdekatnya sangat kuat. Kombinasi orbit elektron dan gerak spin-nya menghasilkan magnet yang kuat. Tipe ini dibagi lagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Ferromagnetik (besi, nikel, kobalt) jarang dalam bentuk murni



Gambar 2.4 Arah Polarisasi Ferromagnetik (Rosid, 2008)

2. Antiferromagnetik (hematite Fe_2O_3). Ini merupakan material yang tidak umum. Misal superkonduktor URu_2Si_2 , logam Chromium Cr, Alloys FeMn, dan NiO.



Gambar 2.5 Arah Polarisasi Antiferromagnetik (Rosid, 2008)

3. Ferrimagnetik (magnetite Fe_3O_4 , ilmenite $FeTiO_3$). Material ini muncul dalam bentuk garnet ferrit dan magnetik. Material magnetik paling tua yang ditemukan adalah magnetite (iron (II, III) oxide). Contoh lainnya: Almunium, Cobalt, Nikel, Mangan dan Seng.



Gambar 2.6 Arah Polarisasi Ferrimagnetik (Rosid, 2008)

b) Paramagnetik

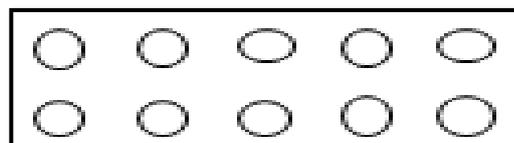
Pada paramagnetik ini medan magnetiknya hanya akan ada jika dimagnetisasi oleh medan magnet dari luar saja, sehingga jika pengaruh medan magnet dari luarnya dihilangkan, maka pengaruh medannya menghilang juga. Karena pengaruh termal, maka gerakan elektronnya menjadi random kembali dan nilai k positif 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 teralensisasi.



Gambar 2.7 Arah Polarisasi Paramagnetik (Rosid, 2008)

c) 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.



Gambar 2.8 Arah Polarisasi Diamagnetik (Rosid, 2008)

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 batuanannya: 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.

2.2.6 Induksi Magnetik

Bila benda magnetik diletakkan dalam medan luar H , kutub-kutub internalnya akan menyearahkan diri dengan H dan terbentuk suatu medan magnet baru yang besarnya adalah (Kurniati, 2008: 18):

$$H' = 4\pi KH \quad (2.6)$$

Medan magnet totalnya disebut dengan induksi magnet B dan dituliskan sebagai (Kurniati, 2008: 18):

$$B = M_r H \quad (2.7)$$

Dengan $M_r = 1 + 4\pi k$ dan disebut sebagai permeabilitas relatif dari suatu benda magnetik. Satuan B dalam emu adalah gauss, sedangkan dalam geofisika eksplorasi dipakai satuan gamma atau nanotesla (SI), dimana (Blakely, 1995:68):

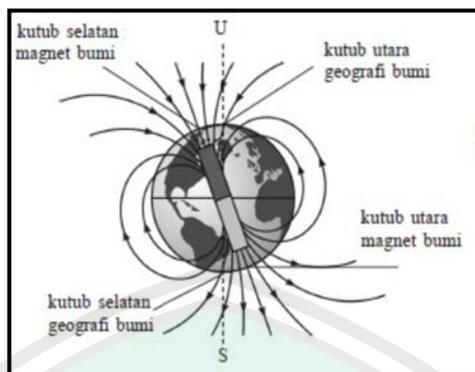
$$1 \text{ tesla} = 10^4 \text{ gauss}$$

$$1 \text{ nanotesla} = 10^{-9} \text{ tesla} = 1 \text{ gamma} = 10^{-5} \text{ gauss}$$

2.3 Medan Magnet Bumi

Penjelasan kemagnetan bumi (*geomagnetism*) yang diterima sekarang adalah bahwa ada arus listrik di dalam inti bumi (karena keadaan cair dan mudah bergerak), yang menghasilkan medan magnet seperti dalam elektromagnet. Teori dinamo ini telah dikembangkan 60 tahun yang lalu. 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, 2006:170).

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 2.9 Medan Magnet Bumi (Sarkowi, 2010)

Magnet bumi adalah harga kemagnetan dalam bumi. Diyakini bahwa arus listrik mengalir dalam inti besi cair dari bumi dan menghasilkan medan magnet. Kerapatan fluks magnet B sekitar $0,62 \times 10^{-4} \text{ Wb/m}^2$ (0.062 nT) di kutub utara magnet dan sekitar $0,5 \times 10^{-4} \text{ Wb/m}^2$ (0,05 nT) di garis lintang 40° . Sumbu simpul arus magnetik efektif berada pada 11° dari sumbu rotasi bumi (Liang Chi Shen, 2001).

Pada tahun 1893 Gauss pertama kali melakukan analisa harmonik dari medan magnetik bumi untuk mengamati sifat-sifatnya. Analisa selanjutnya yang dilakukan oleh para ahli mengacu pada kesimpulan umum yang dibuat oleh Gauss yaitu:

- 1) Intensitas medan magnetik bumi hampir seluruhnya berasal dari dalam bumi
- 2) Medan yang teramati di permukaan bumi dapat didekati dengan persamaan harmonik yang pertama yang berhubungan dengan potensial dwikutub di pusat bumi. Dwi kutub Gauss ini mempunyai kemiringan 11.5° terhadap sumbu geografi.

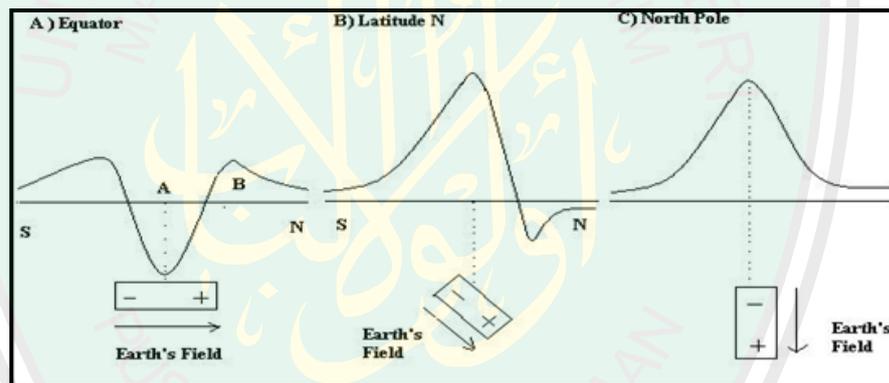
Medan magnet bumi terkarakterisasi oleh parameter fisis atau disebut juga elemen medan magnet bumi yang dapat diukur yaitu meliputi arah dan intensitas kemagnetannya. Parameter fisis tersebut meliputi (Siahaan, 2009):

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 vertical kebawah.



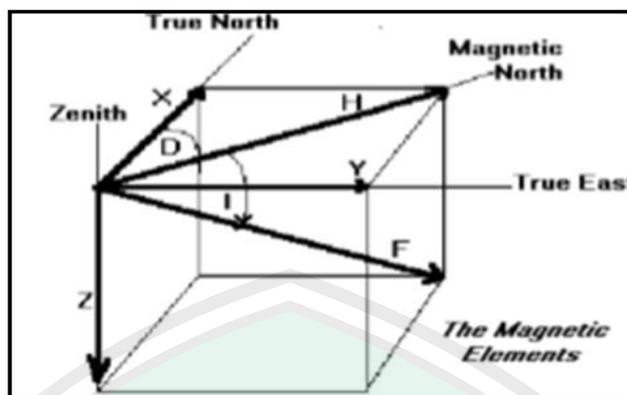
Gambar 2.10 Pengaruh Inklinasi Benda(Siahaan, 2009)

3. Intensitas Horizontal (H)

Yaitu besar dari medan magnetik total pada bidang horizontal.

4. Medan magnetik total (F)

Yaitu besar dari vector medan magnetik total.



Gambar 2.11 Elemen Magnetik Bumi (Blakely, 1995)

Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu sehingga untuk menyeragamkan nilai-nilai medan utama magnet bumi, dibuat standard nilai yang disebut dengan *International Geomagnetism Reference Field* (IGRF) yang diperbaharui tiap 5 tahun sekali. Nilai-nilai IGRF tersebut diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar 1 juta km yang dilakukan dalam waktu satu tahun.

Sumber medan magnet yang tercatat pada alat dalam eksplorasi magnetik adalah komponen-komponen yang terdiri atas (Telford, 1982: 67):

- a. Medan utama: yang tidak konstan terhadap waktu, tetapi variasinya relatif kecil.
- b. 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.
- c. Variasi dari medan utama (anomali magnetik lokal): variasinya relatif dan jauh lebih kecil dari medan utama. Anomali ini disebabkan oleh

gangguan lokal yang ada pada kerak bumi, dan anomali tersebut adalah yang menjadi tujuan utama dalam penyelidikan geomagnet.

1. Medan Magnet Utama

Medan magnet utama secara teoritis disebabkan oleh sumber dalam bumi, magnetisasi permanen oleh aliran arus listrik atau arus listrik yang keluar masuk bumi. Beberapa teori menganggap bumi tersusun oleh besidan sumber magnetik, dua materi yang dikenal sebagai konduktor yang sangat baik. Adapun penyusun inti bumi sumber magnetik merupakan dinamo berkonduktivitas tinggi dan bergerak dengan mekanisme yang kompleks, seperti arus atau senyawa kimia dan variasi termal beserta alirannya. Kombinasi gerak dan arus tersebut disebabkan terjadinya medan magnet (Telford, 1982:68).

Penelitian mengenai sumber medan magnet utama bumi yaitu sumber dari luar dan dari dalam bumi dilakukan oleh Gauss pada tahun 1838 yang menyimpulkan bahwa medan magnet utama bumi yang terukur di permukaan bumi hampir seluruhnya disebabkan oleh sumber dari dalam bumi. Sedangkan sumber dari luar bumi pengaruhnya sangat kecil (Blakely, 1995:155).

2. Medan Magnet Luar

Medan ini merupakan sebagian kecil dari medan utama, yaitu hanya 1% dari medan bumi dan berasal dari luar bumi. Medan ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir pada lapisan terionisasi yang terletak di atas atmosfer. Perbedaan waktu untuk medan ini lebih cepat dari padamedan utama, beberapa efeknya adalah sebagai berikut (Telford,1982:72):

- a. Perputarannya berdurasi 11 tahun dan berkorelasi dengan aktivitas matahari.
- b. Variasi diurnal matahari mempunyai periode 24 jam dan mempunyai range 30 nT dan berubah menurut garis lintang dan musim kemungkinan dipengaruhi oleh aksi matahari pada lapisan ionosfer.
- c. Mempunyai periode 25 jam (variasi diurnal bulan) dengan range kira-kira 2 nT, yang diasosiasikan dengan interaksi bulan-ionosfer.
- d. Acak yaitu adanya badai magneti yang merupakan gangguan transient dengan amplitudo sebesar 1000 nT pada semua garis lintang. Pada puncak badai magnetik, praktis eksplorasi dengan menggunakan metode magnetik tidak berguna.

3. Anomali Magnetik Lokal

Medan magnet lokal sering juga disebut medan magnet anomali (*crustal field*). Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral bermagnet seperti magnetik (Fe_7S_8), titanomagnetik (Fe_2TiO_4) dan lain-lain yang berada di kerak bumi. Potensial magnet di suatu titik yang disebabkan oleh batuan yang mempunyai magnetisasi momen dipol per satuan volum (M) adalah (Grant and west, 1965):

$$U(r) = -\int M \cdot \nabla \frac{1}{|r - r_0|} d^3 r_0 \quad (2.8)$$

jika M konstan dengan arah k , maka

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

sehingga persamaan (2.8) menjadi:

$$U(r) = -M \frac{\partial}{\partial k} \int M \cdot \nabla \frac{1}{|r - r_0|} d^3 r_0 \quad (2.9)$$

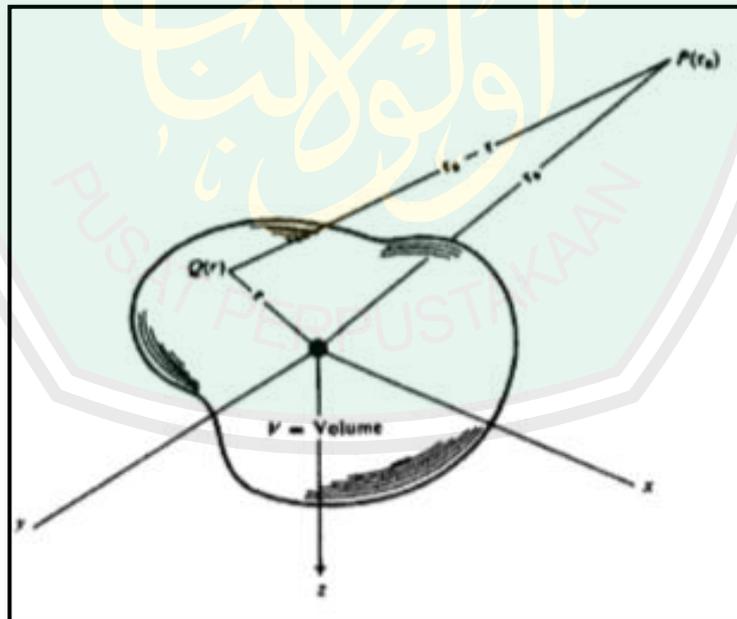
Karena medan magnet anomali jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan medan magnet utama, maka medan magnet anomali terukur pada arah medan magnet utama. Jika komponen adalah ΔT maka:

$$\Delta T = -\frac{\partial U}{\partial a} \quad (2.10)$$

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

$$\frac{\partial}{\partial a} = \cos i \sin \lambda \frac{\partial}{\partial x} + \cos i \cos \lambda \frac{\partial}{\partial y} + \sin i \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.11)$$

dimana i adalah inklinasi dan λ adalah deklinasi terhadap sumbu y



Gambar 2.12 Medan Magnet Anomali (Telford, 1978)

4. Variasi Medan Magnet

Variasi medan magnet ini berubah-ubah menurut waktu yang beragam ordenya dari mili detik sampai ratusan tahun. Variasi medan magnet bumi terhadap waktu ini dikelompokkan menjadi variasi sekuler dan variasi harian (*Diurnal Variation*) (Srijatno, 1980).

Variasi sekuler merupakan variasi yang ditimbulkan adanya perubahan internal bumi, dimana perubahannya sangat lambat (orde puluhan sampai ratusan tahun) untuk bisa mempengaruhi harga medan magnet.

Variasi diurnal merupakan variasi yang secara dominan ditimbulkan oleh gangguan matahari. 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. Sifat perubahan harian ini acak tetapi periodik dengan periode rata-rata sekitar panjang hari matahari (24 jam). Periode perubahan berkisar (Baisa, 2007):

$$10 \text{ gamma} - 30 \text{ gamma}$$

Variasi yang lain adalah badai magnetik yang diakibatkan oleh aktivitas matahari, bersifat acak, berharga besar sehingga dapat mengacaukan data peengamat (Srijatno, 1980).

2.4 Koreksi Data Magnetik

Untuk mendapatkan anomali medan magnetik yang menjadi target survei, maka data magnetik yang telah diperoleh harus dibersihkan atau dikoreksi dari

pengaruh beberapa medan magnet yang lain. Secara umum beberapa koreksi yang dilakukan dalam survei magnetik meliputi:

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 ini juga dipengaruhi oleh adanya aktivitas badai matahari, dimana akan mengakibatkan nilai magnet yang tinggi.

2) Koreksi IGRF

Data hasil pengukuran medan magnetik pada dasarnya adalah kontribusi dari tiga komponen dasar, yaitu medan magnetik utama bumi, medan magnetik luar dan medan anomali. Nilai medan magnetik utama tidak lain adalah nilai IGRF. Jika nilai medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi harian, maka kontribusi medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi IGRF. Koreksi IGRF dapat dilakukan dengan cara mengurangi nilai IGRF terhadap nilai medan magnetik total yang telah terkoreksi harian pada setiap titik pengukuran pada posisi geografis yang sesuai.

2.5 Transformasi Medan

2.5.1 Reduksi ke Kutub

Transformasi *Reduction to Pole* (RTP) atau reduksi ke kutub merupakan salah satu transformasi yang digunakan dalam proses interpretasi data magnetik. Adapun yang mendasari dilakukannya transformasi ini adalah adanya perbedaan nilai inklinasi dan deklinasi dari setiap daerah. Sehingga transformasi ini mencoba untuk mentransformasikan medan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub Utara magnetik (Dafiqiy, 2012).

Transformasi reduksi ke kutub ini mengasumsikan bahwa pada seluruh lokasi pengambilan data nilai medan magnet bumi (terutama I dan D) memiliki nilai dan arah yang konstan. Asumsi ini diterima apabila lokasi tersebut memiliki luas area yang relatif sempit. Namun hal ini tidak dapat diterima apabila luas daerah pengambilan data sangat luas karena melibatkan nilai lintang dan bujur yang bervariasi, dimana nilai medan magnet bumi berubah secara bertahap (Dafiqiy, 2012).

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

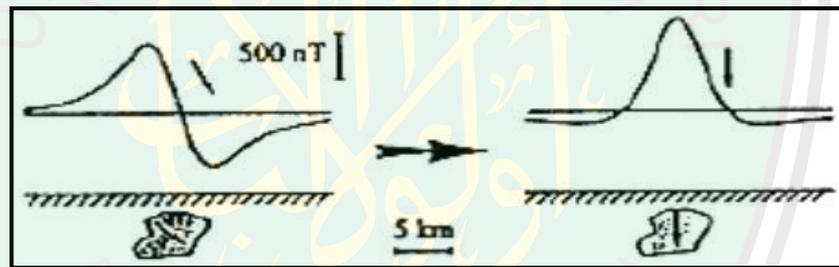
$$F[\Delta T r] = F[\psi_r] F[\Delta T] \quad (2.12)$$

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

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

$$\begin{aligned}
 a1 &= \hat{m}_z \hat{f}_z - \hat{m}_x \hat{f}_x \\
 a2 &= \hat{m}_z \hat{f}_z - \hat{m}_y \hat{f}_y \\
 a3 &= -\hat{m}_y \hat{f}_x - \hat{m}_x \hat{f}_y \\
 b1 &= \hat{m}_x \hat{f}_z - \hat{m}_z \hat{f}_x \\
 b2 &= \hat{m}_y \hat{f}_z - \hat{m}_z \hat{f}_y
 \end{aligned}$$

$F[\Delta Tr]$ 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. Gambar 2.13 memberikan contoh impuls anomali magnetik sebelum dan sesudah direduksi ke kutub (Blakely, 1995):



Gambar 2.13 Impuls Anomali Magnetik Sebelum dan Sesudah Direduksi ke Kutub (Blakely, 1995)

2.5.2 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 survey (Blakely, 1995: 316).

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{((x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2)} dx' dy' \quad (2.14)$$

Dimana $U(x, y, z_0 - \Delta z)$ adalah harga medan potensial pada bidang hasil kontinuitas, $U(x', y', z_0)$ adalah harga medan potensial pada bidang observasi sebenarnya, Δz adalah jarak atau ketinggian pengangkatan (Blakely, 1995: 316).

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 kontinuitas ke atas maka diperoleh dua hasil sekaligus, yaitu mereduksi pengaruh untuk kontinuitas yang tidak terlalu besar dan menampakkan efek regional dari daerah pengukuran untuk kontinuitas 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.

2.6 Survey Magnetik

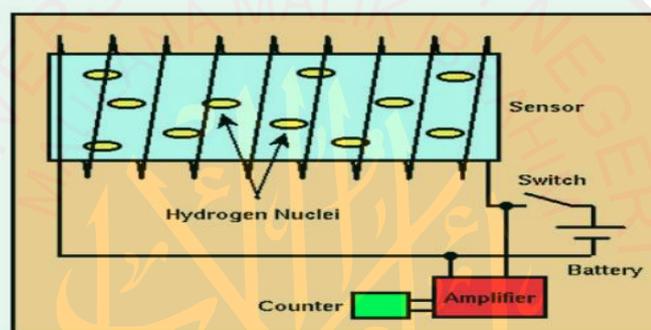
2.6.1 Magnetometer

Magnetometer adalah alat ukur medan magnet yang banyak digunakan untuk berbagai penyelidikan, antara lain untuk penelitian bahan-bahan magnetik, keamanan penerbangan (mendeteksi barang bawaan), pemetaan medan magnet bumi dan pengesanan kebocoran medan magnet dari suatu alat penghasil lainnya (Djamal, 2001).

Magnetometer adalah peralatan paling utama yang digunakan dalam melakukan pengukuran geomagnetik. Peralatan ini digunakan untuk mengukur

kuat medan magnetik di lokasi survei. Salah satu jenisnya adalah Proton Precision Magnetometer (PPM)

Proton Precision Magnetometer (PPM) memanfaatkan momen magnetik dari inti hidrogen (proton). Elemen penginderaannya terdiri dari botol yang berisi cairan hidrokarbon dengan titik beku rendah yang mengenai gulungan kawat tembaga. Arus polarisasi dari urutan amp atau lebih dilewatkan melalui kumparan, menciptakan medan magnet yang kuat (Milsom, 2003: 58).



Gambar 2.14 Diagram Kotak dari PPM (www.mines.edu)

Cara kerja dari *Proton Precision Magnetometer* dapat dijelaskan pada gambar di atas (gambar 2.14). Di dalam botol yang dililitkan kumparan dimasuki cairan yang mengandung banyak proton. Proton-proton ini mempunyai 2 macam gerakan yang tidak beraturan. Gerakan tersebut adalah gerakan spin (berputar pada porosnya) dan gerak precesi (gerak gasing yang oleng). Apabila tegangan polarisasi diaktifkan maka timbul medan magnet H_1 yang kuat disekeliling botol. Hal ini mengakibatkan gerak proton-proton tadi menjadi lebih teratur. Gerak precesi proton pada keadaan ini mengikuti aturan sedemikian rupa sehingga dipenuhi hubungan (Munadi, 2001: 49):

$$\omega_1 = \gamma H_1 \quad (2.15)$$

Dalam hal ini:

ω_1 = kecepatan sudut gerak precesi proton

γ = rasio giromagnetik dari proton yang besarnya adalah $2,6752 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$

H_1 = kuat medan magnet yang dibangkitkan oleh tegangan polarisasi

Beberapa saat kemudian tegangan polarisasi diputus, sehingga disekitar botol tak ada lagi medan magnet polarisasi sehingga hal ini akan mempengaruhi gerak precesi proton-proton tadi. Akibat tidak adanya medan magnet polarisasi tadi proton-proton berprecesi di bawah pengaruh medan magnet lain yakni medan magnet bumi. Dalam keadaan ini dipenuhi hubungan:

$$\omega_2 = \gamma H_2 \quad (2.16)$$

Dimana:

ω_2 = kecepatan sudut gerak precesi proton-proton akibat pengaruh medan magnet bumi

γ = rasio giromagnetik dari proton $2,6752 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$

H_2 = kuat medan magnet bumi yang mempengaruhinya

Jadi dengan mengukur ω_2 , maka kuat medan magnet bumi (H_2) dapat diketahui (Munadi, 2001: 50).

Dalam survei magnetik di lapangan magnetik minimal dua buah alat magnetometer. Alat pertama mengukur variasi harian yang bertujuan untuk mengukur pengaruh medan magnet dari luar bumi, sedang alat kedua digunakan untuk mengukur lintasan-lintasan yang telah ditentukan. Selain itu medan magnet

utama bumi dihitung berdasarkan persamaan IGRF (International Geomagnetic Reference Field). Dengan demikian anomali magnetik yang diamati menurut, ditulis dengan persamaan 2.17 (Santoso, 2002):

$$\Delta T = T_{OBS} - T_{IGRF} \pm T_{VH} \quad (2.17)$$

dimana:

T_{obs} = medan magnet total terukur

T_{IGRF} = medan magnet teoritis berdasarkan IGRF

T_{VH} = koreksi medan magnet akibat variasi harian

2.7 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian

2.7.1 Fisiografi dan Morfologi

Secarah fisiografi, bagian utara daerah propolinggo termasuk di dalam lajur Antiklinorium Kendeng dan bagian selatannya termasuk di dalam lajur Rendahan Tengah (Van Bammelan, 1949).

Sedangkan secarah morfologi daerah ini dapat dibagi menjadi empat satuan, yaitu dataran aluvium, perbukitan menggelombang, pegunungan dan kipas gunung api.

Hasil analisis morfologi Gunung Lamongan (Jawa Timur), menunjukkan bahwa morfologi puncak gunung tersebut telah menunjukkan adanya perubahan atau perpindahan pusat letusan, dari timur ke barat, yaitu dari Gunung Tarub, Gunung Candi dan Gunung Lamongan sendiri. Bahan lepas gunungapi yang pernah dimuntahkan Gunung Lamongan tersebar ke arah barat laut, barat dan tenggara dengan membentuk kipas aluvial. Pada lerengnya banyak dijumpai

kerucut-kerucut kecil, ditafsir sebagai kerucut parasiter. Sedang di sekitar kaki gunung tampak adanya bentuk-bentuk topografi positif dan negatif yang berselang-seling dan mempunyai kecenderungan tersebar memancar (Muzil dkk, 1983).

Morfologi seperti ini ditafsir merupakan hasil kegiatan gunungapi melalui celah kecil yang mempunyai penyebaran memancar. Bentuk-bentuk topografi tersebut dikenal sebagai maar dan bocca, yang dibentuk oleh kegiatan letusan ekstrinsik. Maar terbentuk karena kegiatan letusan yang meledak, sedangkan bocca, yang merupakan bentuk topografi positif, terjadi akibat letusan yang meleler. Morfologi ini mencerminkan kegiatan Gunung Lamongan Muda, karena posisinya yang memotong morfologi sekitarnya. Kawah yang mempunyai bentuk cekungan yang merupakan hasil kegiatan letusan dan sisa-sisa aliran lava menunjukkan bahwa Gunung Lamongan adalah gunung api berlapis (Muzil dkk, 1983).

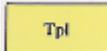
2.7.2 Stratigrafi



Gambar 2.15 Peta Geologi Daerah Penelitian (Suwarti dan Suharsono, 1992)

Keterangan:

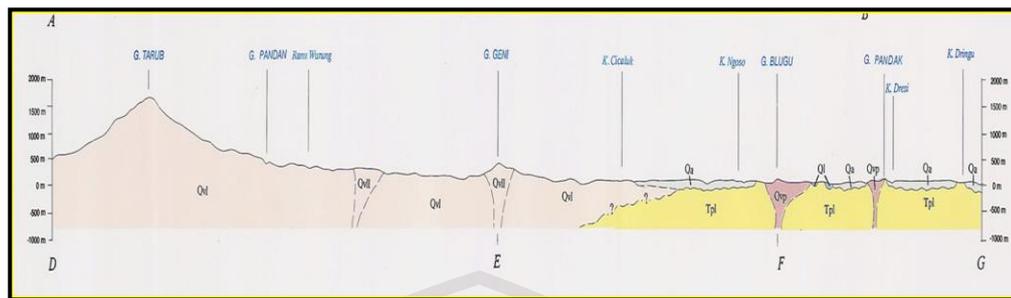
Qa	Aluvium	: Lempung, lumpur, pasir, kerikil kerakal, bongkah dan sisa tanaman
Ql	Batu gamping Koral	: Batu gamping, koral dan batu gamping pasiran
Qvl	Batuan Gunungapi Lamongan	: Lava, tuff halus-lapili, lahar, dan breksi gunungapi
Qvll	Lava Lamongan	: Lava andesit- basal
Qvm	Batuan Gunungapi Argopuro	: Lava andesit-basal, breksi gunungapi dan tuff
Qvp	Batuan Gunungapi Pandak	: Breksi gunungapi dan lava andesit-basal

	Formasi Leprak	: Batupasir, batu lanau, batu lempung, napal dan batu gamping
	Lokasi penelitian	: Ranu Gedang
		: Patahan

Ranu Gedang merupakan salah satu kawasan ranu di kaki Gunung Lamongan yang terletak di Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo. Dari peta geologi daerah penelitian digambarkan bahwa daerah ini didominasi oleh hasil vulkanik dari Gunung Lamongan.

Berdasarkan data geologi menunjukkan bahwa produk Gunungapi Lamongan dapat dikelompokkan menjadi produk erupsi pusat Gunung Tarub (Lamongan Tua), Lamongan Muda (Lamongan Sekarang), hasil erupsi samping, erupsi eksentrik, erupsi freatik, dan endapan sekunder (Sukhyar dkk,1980).

Hasil erupsi kawah pusat sebagian besar terdiri atas lava dan jatuhan piroklastik, sedangkan hasil erupsi samping umumnya berupa aliran lava, sedangkan erupsi eksentrik terdiri atas lava saja atau piroklastik dan kombinasi lava serta piroklastik. Adapun hasil proses sekunder umumnya berupa lahar dan endapan fluvial. Data geologi baik dari peneliti terdahulu maupun dari hasil penyelidikan langsung di lapangan tidak ditemukan adanya produk erupsi Gunung Lamongan yang berupa endapan aliran piroklastik.



Gambar 2.16 Peta Dasar Daerah Penelitian (Suwarti dan Suharsono, 1992)

Batuan gunungapi Lamongan (Qv1) meliputi tuf, lahar, breksi gunungapi, lava. Batuan gunung api ini merupakan hasil kegiatan Gunungapi Lamongan dan dari pusat erupsi parasit yang ada pada lerengnya. Sebenarnya cukup luas di bagian tengah lembar dan menindih batuan Gunungapi Argopuro. Keselatan sebenarnya menerus hingga lembar Lumajang (Suwarti dan Suharsono, 1992).

Lava (Qv11) berwarna coklat kelabu dan kehitaman, berulang-ulang, berstruktur alir: porfiritik dengan fenokris plagioklas, piroksen dan mineral mafik yang tertanam dalam masadasar mikrolit plagioklas dan kaca gunungapi bersusunan adesit-basaltik. Lava ini keluar melalui kerucut-kerucut parasiter pada lereng atau kaki Gunung Lamongan, dan membentuk gawir atau tebing kawa. Di beberapa tempat terbentuk maar dengan tebing curam hingga landai. Beberapa mar terisi air atau kering, dan ini merupakan ciri dari Gunung Lamongan (Suwarti dan Suharsono, 1992).

Breksi bewarna kelabu kehitaman, berkomponen adesit, basal, mineral mafik dan sedikit batu apung yang bewarna kelabu tua, berukuran 3-25 cm. menyudut tanggung-membundar tanggung, tertanam dalam masadasar tuf pasiran (Suwarti dan Suharsono, 1992).

Tuf berukuran halus-lapili: berkomponen batu apung, kepingan batuan dan kaca gunungapi (Suwarti dan Suharsono, 1992).

Lahar berkomponen andesit, basal, batuapung, obsidian, berstruktur aliran, setempat membentuk gumuk pada lereng Gunung Lamongan (Suwarti dan Suharsono, 1992).

2.7.3 Struktur dan Sejarah Geologi

Gunung Lamongan (1671 m dpl) yang dikelilingi banyak kerucut eksentrik atau parasit (epigones) adalah sangat aktif dalam daerah yang mempunyai sumbu barat-timur sepanjang 37 km dan sumbu utara-selatan sepanjang 18 km. Gunung Lamongan dan kerucut-kerucut “epigones” tersebut terletak pada sayatan depresi sumbu antiklin Pulau Jawa. Demikian juga system fissure antara Timur-Timurlaut (ENE) sampai Barat-Baratdaya (WSW) terbuka sepanjang 4 km antara Zona Klakah dan Zona Puncak Gunung Lamongan, disertai gempa bumi lokal (Bemmelen, 1949). Oleh karena itu daerah kompleks Gunung Lamongan cukup sering terjadi gempa bumi yang mengakibatkan rekahan-rekahan baru. Adanya banyak ranu/ maar dan bukit-bukit lava dan piroklastik di daerah Lamongan pada masa lalu kemungkinan berhubungan erat dengan adanya pola-pola struktur yang berkembang di daerah ini, dengan demikian bukan suatu hal yang tidak mungkin bahwa proses yang sama dapat juga terjadi pada suatu waktu.

Struktur yang dijumpai di daerah pemetaan adalah sesar normal dan kekar. Beberapa kelurusannya diduga merupakan sesar. Sesar normal umumnya berarah barat laut-tenggara dan memotong batuan berumur Pliosen-Holosen. Kekar

berkembang pada semua batuan dengan arah tidak teratur (Suwarti dan Suharsono, 1992: 8).

Dari hasil penafsiran potret udara terlihat adanya beberapa kelurusan yang menunjukkan arah barat laut-tenggara dan utara selatan. Dari analisa citra Landsat secara digital, di daerah ini terdapat struktur terban (graben), maar dan kelurusan melingkar (Suwarti dan Suharsono, 1992: 9).

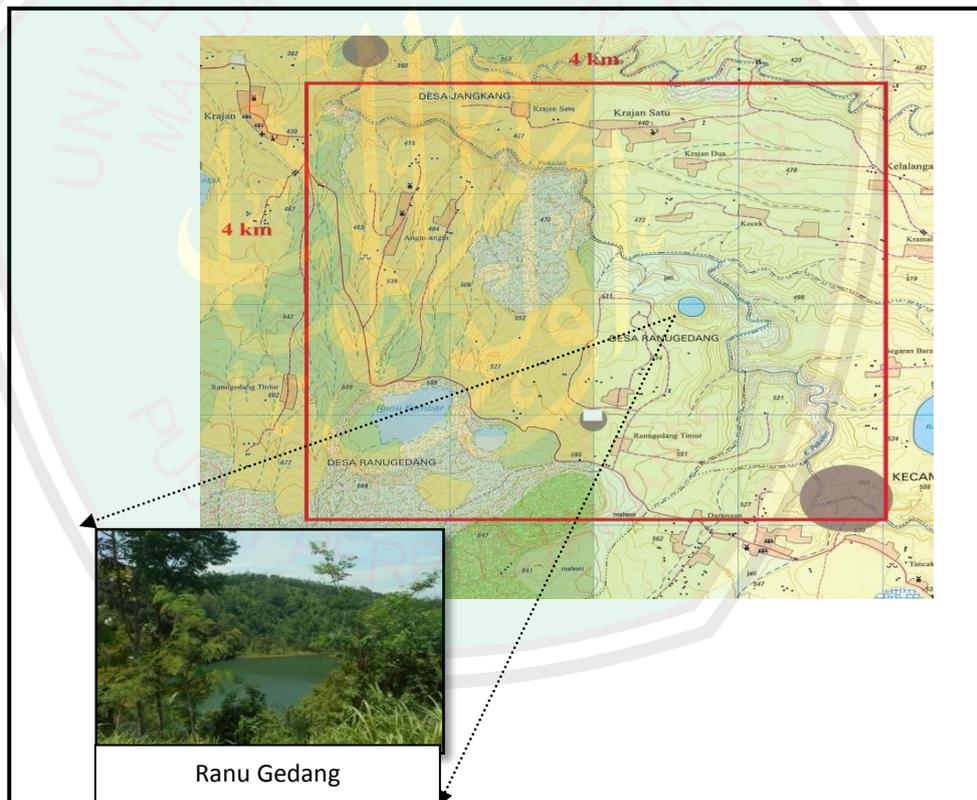
Sejarah pengendapan dan perkembangan tektonik di daerah ini dimulai pada pliosen, yaitu dengan diendapkannya Formasi Leprak pada lingkungan laut dangkal atau gisik. Kegiatan tektonik meningkat pada Plio-Plistosen, menyebabkan terjadinya pengangkatan dan memicu kegiatan kegunungapian yang dicirikan oleh terbentuknya Batuan Gunungapi Pandak, dan terobosan mikrogabro dan andesit-basal (Suwarti dan Suharsono, 1992: 9).

Menjelang akhir Plistosen kegiatan gunungapi lebih meningkat lagi, ditunjukkan oleh terbentuknya runtuh batuan Tuf Rabano, Batuan Gunungapi Tengger, Batuan Gunungapi Lamongan. pada saat yang bersamaan terjadi pula pembentukan Batu Gamping koral (Suwarti dan Suharsono, 1922: 9).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini mulai dilaksanakan pada tanggal 24 Desember 2014 sampai selesai, Lokasi penelitian medan magnetik ini adalah di kaki Gunung Lamongan, sekitar Ranu Gedang, Desa Ranugedang, Kecamatan Tiris, Probolinggo, Jawa Timur, yang terletak pada koordinat 7.933365° – 7.958453° LS dan 113.358° – 113.3918° BT.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

Keterangan:

-  = Daerah penelitian
-  = Ranu/ Danau

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: Medan magnet total

3.3 Instrumentasi

Pengukuran intensitas medan magnet total dilakukan dengan peralatan PPM yang merupakan portable magnetometer. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua buah PPM dengan jenis yang berbeda. Satu *base station magnetometer* yang berlaku sebagai basestation dan dioperasikan secara otomatis merekam data medan magnet. Tujuan dari pemasangan base station ini adalah untuk mendapatkan data variasi harian, sedangkan *field magnetometer* digunakan untuk pembacaan intensitas magnet titik pengukuran. Selain itu juga GPS untuk penentuan posisi stasiun pengukuran secara presisi. Peralatan pendukung: peta probolinggo, peta geologi lembar Probolinggo, alat tulis, perangkat computer untuk pengolahan data, dan Software (*Ms.Excel, Watfor 77, potensoft, Surfer 11, Matlab R2008a, Mag2dc*).

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini meliputi tahap pengambilan data (akuisisi data), pengolahan data dan interpretasi terhadap hasil pengolahan data. Pada penelitian ini yang dianalisa adalah berupa data anomali magnetik, geologi daerah penelitian, dan

kontras suseptibilitasnya. Berikut akan dijelaskan tahap-tahap prosedur pelaksanaan penelitian dalam metode geomagnetik.

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).

Pada proses pengukuran, penempatan Base Station Magnetometer harus dijauhkan dari benda-benda yang memiliki efek magnetik yang dapat mempengaruhi pembacaan nilai. Base Station Magnetometer melakukan pembacaan dengan selang waktu 5 menit, hal ini diperlukan untuk mengetahui variasi harian magnet dalam 1 hari dan merupakan nilai intensitas magnet lapangan. Untuk pembacaan nilai intensitas magnet titik lokasi pengukuran, digunakan Field Magnetometer dengan melakukan pengukuran sebanyak 5 kali untuk tiap titik lokasi pengukuran. Pengukuran ini dilakukan sebanyak 5 kali ditujukan agar mendapatkan distribusi nilai intensitas magnet yang bagus dan detail. Apabila variasi pengukurannya berbeda jauh, maka data yang diambil tidak terlalu bagus dan perlu dilakukan pengulangan hingga mendapatkan data yang memiliki variasi tidak terlalu jauh. Untuk spasi antar titik pengukuran bergantung pada target dan kondisi lapangan.

3.4.2 Proses Pengolahan Data

3.4.2.1 Proses Pengolahan Data Awal (Koreksi Harian dan Koreksi IGRF)

Proses pengolahan data awal ditujukan untuk memperoleh nilai anomali magnetik dari data yang diperoleh dari penelitian di lapangan, hal ini dikarenakan data awal yang diperoleh merupakan data mentah yang masih ada pengaruh dari dalam dan luar bumi. Proses Pengolahan awal ini dilakukan dengan mengoreksi data mentah. Koreksi yang diterapkan yaitu Koreksi Harian (*Diurnal Correction*) dan Koreksi IGRF. Koreksi Harian dan Koreksi IGRF dilakukan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet yang berasal dari luar bumi seperti pengaruh atmosfer, benda-benda angkasa dll.

Koreksi ini dapat diperoleh dengan mengurangi nilai intensitas magnet pada titik pengukuran dengan nilai intensitas magnet pada base station (interpolasi linier terhadap waktu).

3.4.2.2 Reduksi ke Bidang Datar

Data anomali yang diperoleh masih terletak mengikuti bidang topografi, sehingga akan menyebabkan kesalahan pada saat melakukan interpretasi. Oleh karena itu data anomali tersebut harus ditransformasi pada suatu bidang dengan ketinggian yang sama. Kesalahan yang mungkin timbul jika dilakukan interpretasi pada bidang yang tidak rata, disebabkan oleh ketidak-teraturan ketinggian data pengukuran.

Suatu metode yang dapat dipergunakan untuk membawa data medan potensial hasil observasi yang masih terdistribusi di bidang yang tidak horizontal (misalnya bidang topografi) ke bidang horizontal adalah melalui pendekatan deret

Taylor. Deret Taylor menggunakan fungsi turunan pada suatu titik untuk mengekstrapolasi fungsi ke sekitar titik tersebut. Sehingga deret Taylor dapat digunakan untuk memprediksi nilai medan potensial pada titik-titik di luar bidang observasi.

3.3.4.3 Reduksi ke Kutub Medan Magnet Bumi

Data anomali medan magnet total hasil reduksi bidang datar kemudian di reduksi ke kutub dengan tujuan dapat melokalisasi daerah-daerah dengan anomali maksimum tepat berada di atas tubuh benda penyebab anomali, sehingga dapat memudahkan dalam melakukan interpretasi. 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. Reduksi ini dilakukan dengan menggunakan program potensoft.

3.3.4.4 Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas dilakukan terhadap data anomaly 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. Kontinuasi ke atas ini dilakukan dengan menggunakan potensoft.

3.3.4.5 Pemodelan Geologi

Pada tahap pemodelan, dilakukan analisa pada dua buah penampang melintang anomali lokal yang masing-masing berarah melintang. Ketika melakukan penarikan garis penampang perlu diperhatikan bentuk dari konturnya atau pola anomalnya. Bentuk yang dipertimbangkan adalah berupa tinggian atau rendahan anomali, kerapatan kontur sehingga dapat diperkirakan pola struktur geologi bawah permukaan yang berupa suatu patahan, suatu intrusi atau berupa lipatan (*antiklin* atau *sinklin*). Dalam penentuan garis penampang harus berarah tegak lurus terhadap garis kontur, sehingga dapat diperkirakan pola struktur geologi dengan baik. Setelah dilakukan penarikan penampang selanjutnya dilakukan proses *digitize* dan *slice* menggunakan program *Surfer 11*. Hasil dari *digitize* dan *slice* adalah data berupa nilai anomali dan jarak lintasan pada penampang yang telah dibuat, yang merupakan data masukan untuk program *Mag2dc* sebagai suatu penampang melintang anomali. Setelah model anomali tergambar, maka dapat dilakukan pemodelan struktur bawah permukaan dengan

memasukkan nilai kontras suseptibilitas batuan, ketebalan lapisan batuan tertentu seperti yang terbaca pada peta geologi.

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 peta kontur anomali local sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan bantuan program *Mag2dc*.

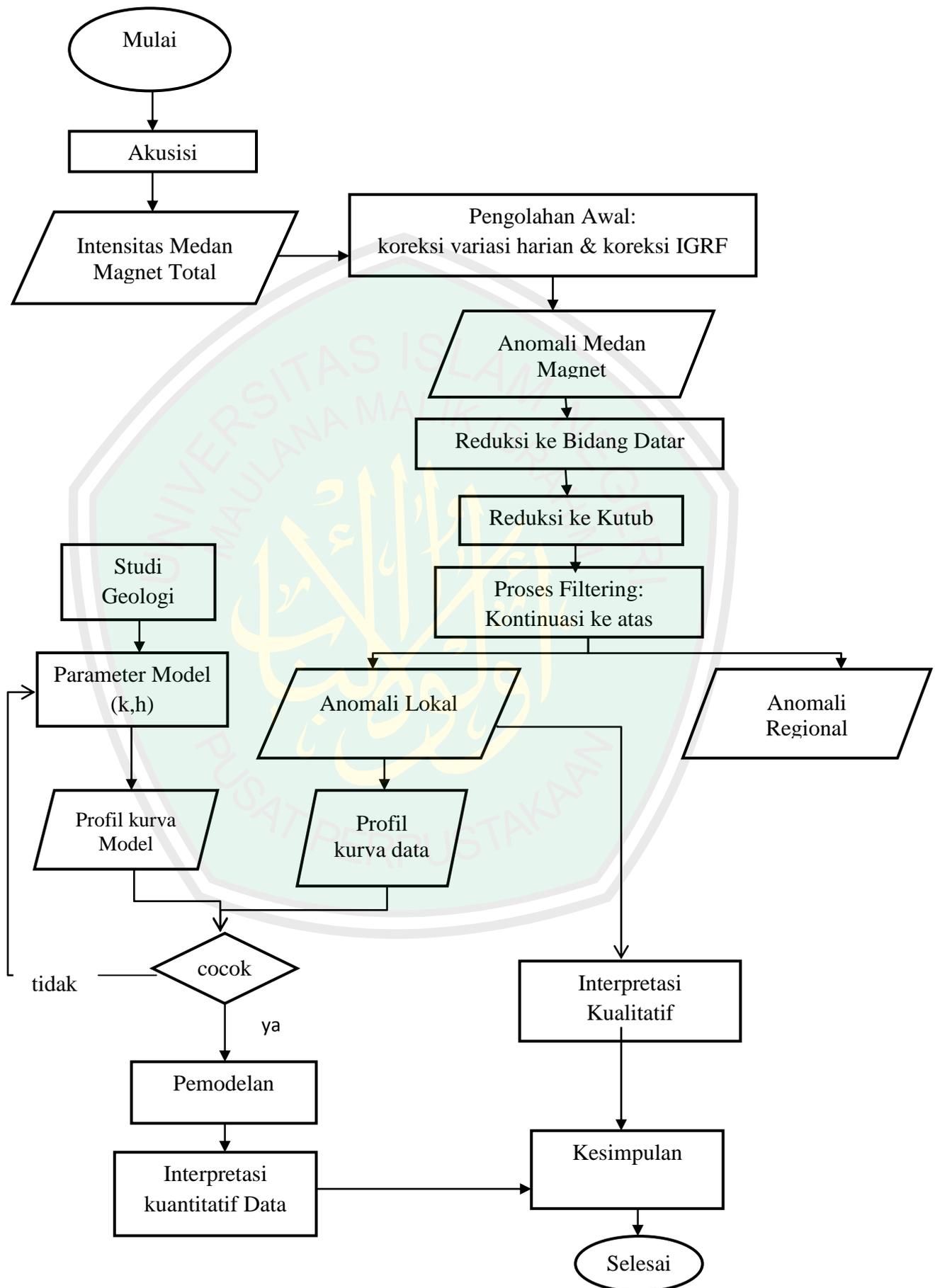
Interpretasi kualitatif bertujuan untuk menduga ada tidaknya benda penyebab anomali dan untuk melokalisir daerah yang mempunyai anomali. Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan bentuk atau model dan kedalaman benda anomali atau struktur geologi melalui pemodelan matematis. Interpretasi kuantitatif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

Program ini terdiri dari dua parameter. Parameter pertama merupakan parameter tetap dan parameter dua merupakan parameter variabel. Parameter tetap terdiri dari nilai intensitas magnetik daerah pengukuran sesuai IGRF, sudut inklinasi, sudut deklinasi dan profil bearing.

Parameter kedua terdiri dari kedalaman, bentuk polygon dan nilai susceptibilitas. Parameter ini merupakan parameter yang akan dicari nilainya. Perubahan nilai pada parameter ini akan didapatkan model lapisan bawah permukaan.

Data anomali medan magnet pada peta kontur dibuat garis yang melalui anomali rendah dan anomali tinggi (*line section*). Data *line section* selanjutnya akan digunakan sebagai masukan dalam pembuatan model struktur bawah permukaan.





Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode geofisika yang digunakan untuk analisis struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian “Ranu Gedang” adalah metode magnetik. Pengambilan data dilakukan pada 60 titik ukur yang tersebar pada daerah penelitian yang memiliki luas 16 km² dengan rentang jarak 50 m-500 m dan dilakukan secara acak bergantung pada target dan kondisi lapangan. Rentang jarak diperpendek kurang lebih 50 m ketika melakukan pengukuran di area Ranu Gedang. Dengan menggunakan metode magnetik ini diperoleh kontur yang menggambarkan distribusi susceptibilitas batuan bawah permukaan. Sehingga dari metode tersebut peneliti dapat memetakan daerah berdasarkan efek magnetik batuan yang ada di bawah permukaan tanah. Data geofisika yang didapat kemudian dihubungkan dengan data geologi untuk interpretasi lebih lanjut, karena data geofisika hanya memberikan informasi berdasarkan parameter secara fisis yang tergantung dari metode magnetik yang digunakan.

Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan dua jenis magnetometer, satu rover digunakan untuk membaca nilai intensitas magnet di titik lokasi pengukuran, dan base magnetometer yang ditempatkan pada satu lokasi yang diperlukan untuk mengetahui variasi harian magnet dalam 1 hari. Setelah proses pengambilan data pada daerah penelitian dilakukan, maka perlu dilakukan pengolahan data untuk kemudian diinterpretasi. Pengolahan data dimulai dengan melakukan koreksi harian dan koreksi IGRF, langkah berikutnya

reduksi bidang datar, selanjutnya reduksi ke kutub, juga kontinuitas ke atas dan kemudian diinterpretasi.

4.1 Hasil Pengolahan Data

Proses pengolahan data magnetik ditujukan untuk mengidentifikasi litologi batuan bawah permukaan Ranu Gedang dan juga menduga adanya patahan yang dapat dilihat dari perubahan harga anomali magnetik pada daerah tersebut. Perubahan nilai anomali ini berbentuk lonjakan dan penurunan harga anomali. Kenaikan harga anomali yang tidak terlalu tinggi bisa dikarenakan adanya proses pelapukan atau terjadi perubahan karena suatu proses metamorfosa.

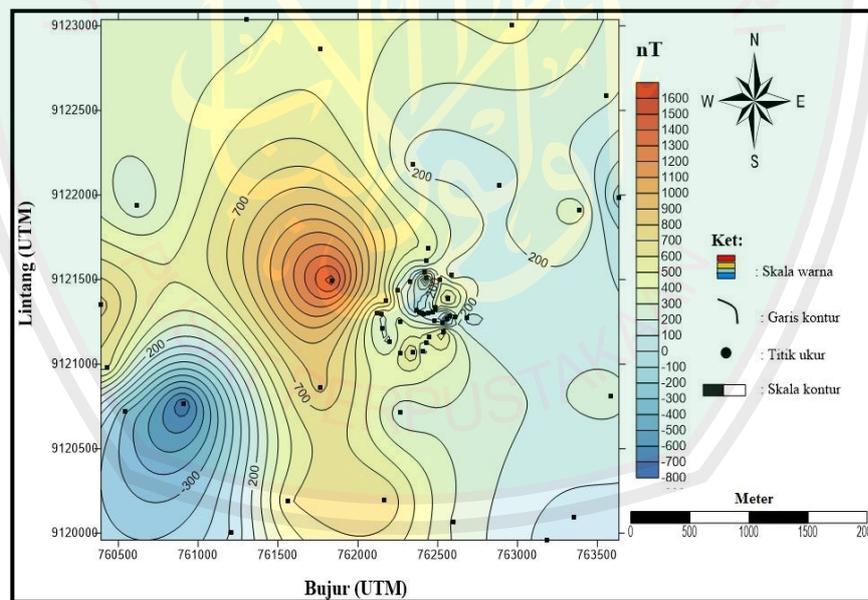
4.1.1 Pengolahan Data Awal (Koreksi Harian dan Koreksi IGRF)

Field Magnetometer melakukan pembacaan sebanyak 5 kali untuk setiap titik lokasi pengukuran, hal ini ditujukan agar didapatkan distribusi nilai intensitas magnet yang bagus dan detail. Data yang diperoleh tersebut belumlah berupa data yang menunjukkan nilai anomali magnetik melainkan masih berupa data mentah hasil pengukuran di lapangan dimana masih terdapat pengaruh dari dalam dan luar bumi, oleh karenanya dibutuhkan suatu koreksi terhadap data lapangan tersebut dengan tujuan untuk mendapatkan nilai anomali magnetik yang sudah tidak dipengaruhi oleh nilai magnetik dari dalam dan luar bumi.

Koreksi ini dapat diperoleh dengan mengurangkan nilai intensitas magnet pada titik pengukuran dengan nilai intensitas magnet pada base station. Base Station Magnetometer melakukan pembacaan dengan selang waktu 5 menit, sehingga variasi harian magnet dalam 1 hari dapat diketahui.

Setelah proses pengolahan awal selesai dilakukan maka hasil akhir didapatkan nilai anomali magnetik yang kemudian diplot untuk melihat hasil dari anomali magnetik seluruh titik lokasi penelitian. Plot dilakukan pada program/software *SURFER 11*. Teknisnya hanya tinggal melakukan proses griding data dimana data yang di Input merupakan kordinat (x dan y) serta data anomali magnetiknya.

Nilai anomali ini merupakan campuran antara anomali regional dan residual sehingga informasi mengenai bagian yang dalam dan dangkal masih tergabung. Di bawah ini adalah peta kontur dari sebaran anomali magnetik di daerah penelitian:

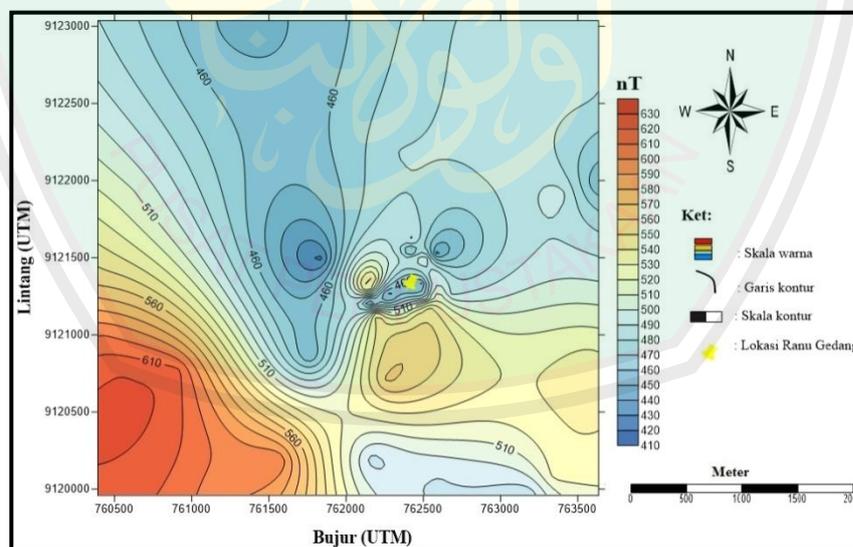


Gambar 4.1 PetaKontur Anomali Medan Magnet Total dengan Interval Kontur 100 nT

Gambar 4.1 di atas menunjukkan bahwa nilai intensitas medan magnet daerah penelitian berkisar antara -800 nT sampai 1500 nT. Anomali yang dimiliki daerah penelitian kebanyakan bernilai positif sekitar 200 nT sampai 700 nT. Pada daerah penelitian terdapat daerah yang memiliki anomali maksimum yang bernilai

sekitar 1500 nT dan hal ini berbeda sekali terhadap nilai anomali yang terdapat tepat pada Ranu Gedang yang berada di sebelah Barat dari titik tersebut. Lokasi Ranu Gedang memiliki anomali yang bernilai antara -200 nT samapai 100 nT. Dari gambar terlihat bahwa anomali positif yang terdapat pada daerah penelitian tersebut kemungkinan disebabkan oleh batuan lebih magnetik dan letaknya dekat dengan permukaan, sedangkan anomali yang bernilai negatif kemungkinan disebabkan oleh batuan sedimen magmatik yang ada di daerah penelitian tersebut.

Selain anomali magnetik, data pengukuran juga memperlihatkan nilai topografi atau ketinggian pengukuran dari permukaan yang dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan pengolahan data selanjutnya. Berikut ini adalah peta kontur dari nilai topografi daerah penelitian:



Gambar 4.2 Peta Kontur Topografi

Pada peta di atas diperlihatkan bahwa titik pengukuran tertinggi terdapat pada ketinggian 630 mdpl dan terendah pada ketinggian 410 mdpl. Peta tersebut menggambarkan topografi dari salah satu sisi kaki Gunung Lamongan, tepatnya

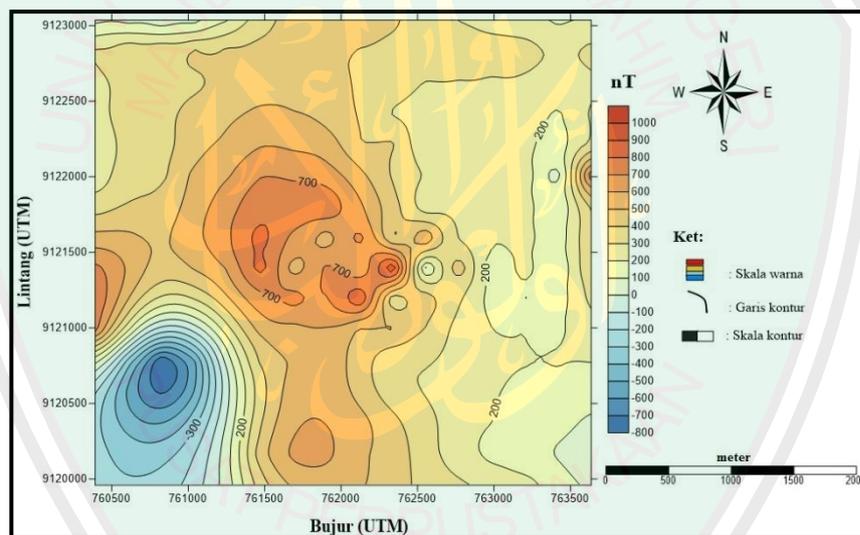
berada di Ranu Gedang dan lokasi sekitarnya yang menjadi objek penelitian. Di sekitar kaki Gunungapi Lamongan tampak adanya bentuk-bentuk topografi tinggi dan rendah yang berselang seling. Bentuk-bentuk topografi tersebut dikenal sebagai maar dan bocca. Kemungkinan maar yang bertopografi rendah terbentuk karena kegiatan letusan yang meledak, sedangkan bocca yang memiliki topografi tinggi terjadi akibat letusan yang meleler. Dari gambar 4.2 dapat diamati bahwa lokasi Ranu Gedang bertopografi rendah dengan ketinggian sekitar 460 mdpl dengan tebing di sekitarnya yang memiliki ketinggian sekitar 510 mdpl.

Pengaruh topografi terhadap sebaran anomali medan magnetik total dapat diamati dari gambar 4.1 dan gambar 4.2, dari keduanya didapatkan informasi bahwa daerah yang bertopografi rendah memiliki anomali magnetik tinggi, dan sebaliknya daerah yang memiliki topografi tinggi memiliki anomali magnetik yang rendah.

4.1.2 Reduksi Bidang Datar

Data anomali magnetik total yang diperoleh masih terdistribusi pada permukaan topografi daerah penelitian. Secara matematis data anomali medan magnet yang terdapat pada daerah topografi tidak rata akan menyebabkan kesalahan pada tahap berikutnya. Pengukuran magnetik pada ketinggian yang berbeda, akan dihasilkan medan magnet yang berbeda pula, sehingga data anomali tersebut perlu diproyeksikan ke bidang datar dengan ketinggian yang sama. Suatu metode yang dapat dipergunakan untuk membawa data anomali magnetik hasil observasi yang masih terdistribusi di bidang yang tidak horizontal (misalnya bidang topografi) ke bidang horizontal adalah melalui pendekatan deret Taylor

(*Taylor series approximation*). Deret Taylor menggunakan fungsi turunan pada suatu titik untuk mengekstrapolasi fungsi ke sekitar titik tersebut. Sehingga deret Taylor dapat digunakan untuk memprediksi nilai anomali magnetik pada titik-titik di luar bidang observasi. Secara teknik formulasi pendekatan deret Taylor ini dijalankan menggunakan program *Watfor 77*. Data yang diperoleh adalah data anomali magnetik total yang telah terdistribusi di bidang datar. Selanjutnya data anomalimagnetik tersebut dikonturkan menggunakan *Surfer 11* Sehingga diperoleh peta kontur anomali seperti gambar di bawah ini:



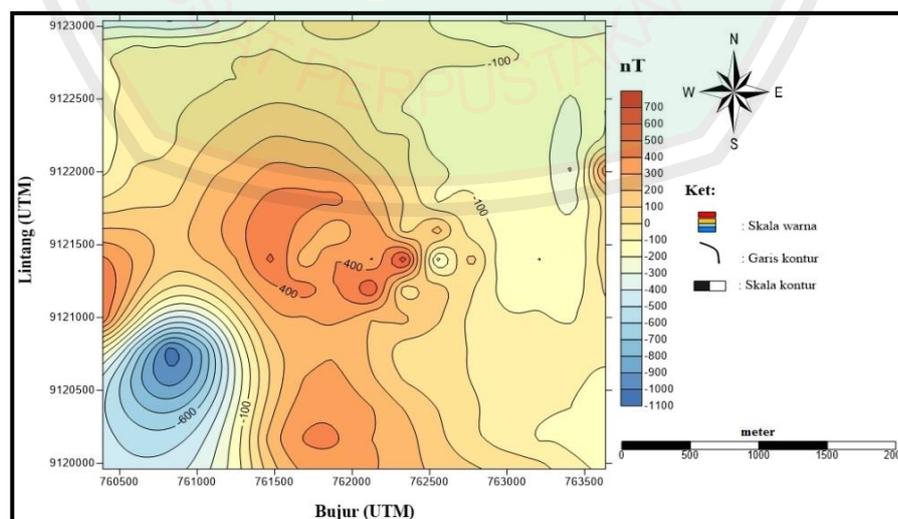
Gambar 4.3 Peta Kontur Anomali Medan Magnet Total setelah Reduksi ke Bidang Datar pada Ketinggian 500 mdpl dengan interval kontur 100 nT

Berdasarkan peta kontur Anomali medan magnet total setelah direduksi ke bidang datar tersebut diketahui bahwa ada sedikit perubahan nilai yang terjadi pada anomali hasil reduksi bidang datar jika dibandingkan dengan hasil kontur anomali magnet total di topografi (gambar 4.2). Hasil kontur bidang datar (gambar 4.3) menunjukkan bahwa anomali magnetiknya adalah mulai dari -800 nT sampai 1000 nT. Berdasarkan peta anomali tersebut diketahui bahwa data-data

anomali medan magnetik hasil reduksi ke bidang datar telah cukup konvergen daripada ketika masih di topografi.

4.1.3 Reduksi ke Kutub

Data anomali medan magnet total setelah direduksi ke bidang datar kemudian direduksi ke kutub dengan menggunakan program potensoft. Reduksi ke kutub digunakan untuk melokalisasi daerah dengan anomali maksimum atau minimum tepat berada di atas tubuh benda penyebab anomali yaitu dengan cara mentransformasi kenampakan dipole menjadi kenampakan monopole dimana posisi benda anomali menjadi tepat di bawah klosur utama. Reduksi ke kutub dilakukan dengan cara membawa posisi benda ke kutub utara. Proses ini akan mengubah parameter medan magnet bumi pada daerah penelitian yang memiliki deklinasi 1.133° dan inklinasi -31.3° menjadi kondisi di kutub yang memiliki deklinasi 0° dan inklinasi 90° . Dari proses reduksi ke kutub didapatkan pola kontur anomali magnetik seperti berikut:



Gambar 4.4 Peta Kontur Anomali Medan Magnet Total Hasil Reduksi ke Kutub dengan Interval 100 nT

Gambar 4.4 memperlihatkan hasil proses reduksi ke kutub terhadap data hasil reduksi bidang datar. Dari gambar tersebut terlihat bahwa ada perbedaan nilai anomali magnetik antara sebelum dan sesudah dilakukan proses reduksi ke kutub. Gambar 4.3 memperlihatkan bahwa nilai anomali magnet hasil reduksi bidang datar sebelum direduksi ke kutub berkisar antara -800 nT sampai 1000 nT. Sedangkan gambar 4.4 di atas memperlihatkan bahwa setelah direduksi ke kutub nilai anomali magnetnya berkisar antara -1100 nT sampai 700 nT.

Peta kontur anomali medan magnet total hasil reduksi ke kutub tidak jauh berbeda dengan peta kontur anomali medan magnet total di topografi (gambar 4.2), hal ini disebabkan karena luas area penelitian yang relatif sempit (memiliki variasi nilai lintang dan bujur yang tidak jauh berbeda), sehingga nilai medan magnet bumi tidak mengalami perubahan yang signifikan.

Berdasarkan gambar 4.4 nilai anomali magnetik daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga kelompok. Dari skala warna pada gambar dapat diketahui bahwa anomali magnetik rendah pada skala warna biru tua sampai muda dengan nilai kurang dari -500 nT. Selanjutnya daerah yang memiliki nilai anomali magnetik sedang ditunjukkan pada skala warna biru muda sampai jingga dengan nilai antara -500 nT sampai 100 nT. Kemudian daerah yang memiliki nilai anomali magnetik tinggi ditunjukkan dengan skala warna jingga sampai merah dengan nilai lebih dari 100 nT.

Gambar 4.4 tersebut menunjukkan bahwa titik dimana terdapat Ranu Gedang memiliki nilai anomali magnetik sekitar 100 nT sampai 200 nT dengan tebing di sekitarnya yang memiliki nilai anomali sekitar 200 nT sampai 400 nT di bagian

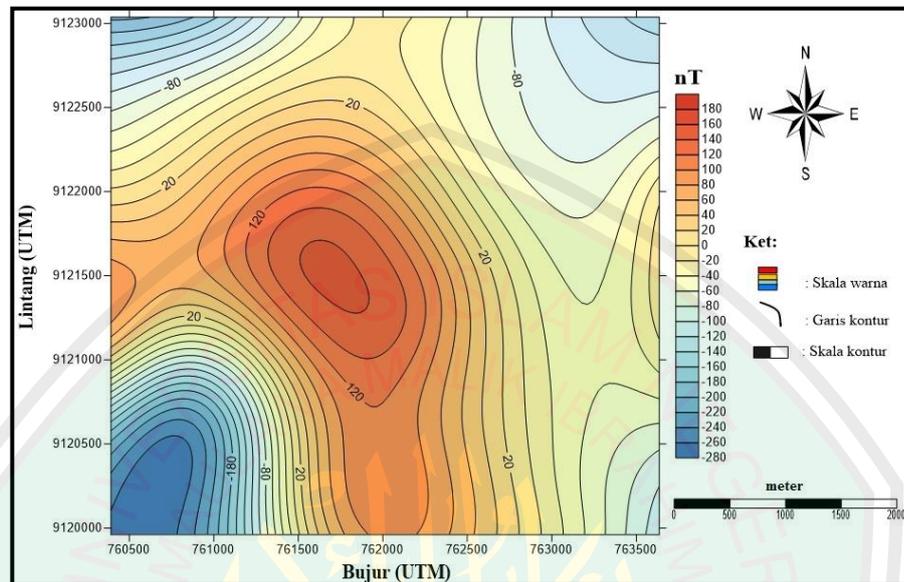
Utara, Selatan dan Barat Ranu. Sedangkan di sebelah Timur tampak nilai anomali yang lebih rendah yaitu kurang dari 100nT.

4.1.4 Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)

Proses penerapan filter *Upward Continuation* data anomali magnetik dilakukan dengan menggunakan software potensoft, dimana proses *Upward Continuation* ini diterapkan untuk semua daerah pengukuran, 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. Dalam menggunakan filter ini, peneliti harus mengatur besar ketinggian yang diangkat dari permukaan tanah sebab jika peneliti menetapkan nilai yang terlalu besar maka hal itu juga akan menghilangkan anomali yang muncul dan cenderung akan menghilangkan informasi pada daerah tersebut. Tetapi jika peneliti terlalu kecil dalam menetapkan nilai pengangkatannya, hal itu akan menghasilkan nilai yang tidak terlalu beda dengan nilai pada kondisi awal. Proses *Upward Continuation* yang diterapkan untuk nilai anomali daerah penelitian diatur dengan metode coba-coba (*trial and error*) pada ketinggian 100 m sampai 2000 m.

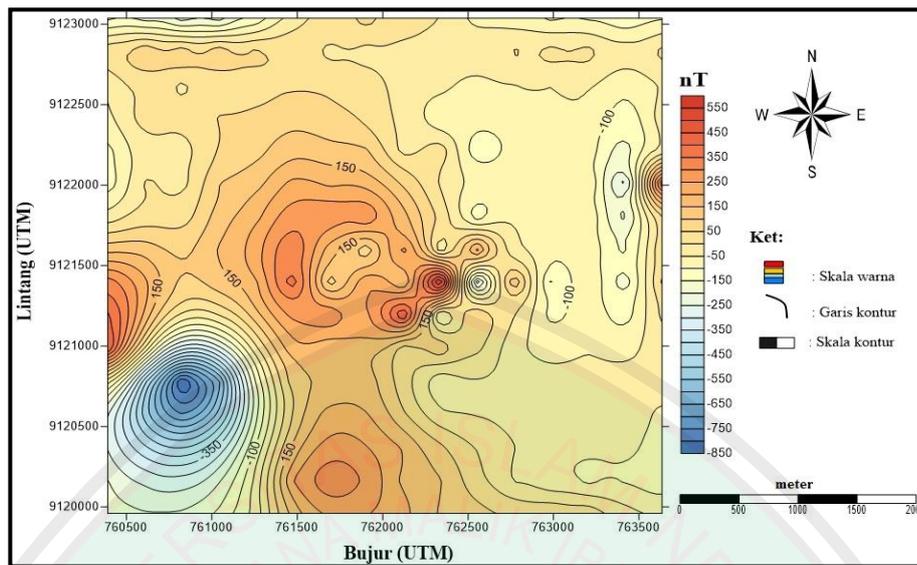
Hasil dari kontinuasi upward ini kemudian dipilih untuk diinterpretasikan hingga dilakukan permodelan. Kontinuasi yang dipilih adalah kontinuasi ke atas 400 m di atas permukaan laut. Kontur kontinuasi ke atas 400 m di atas permukaan laut dipilih karena sudah dianggap cukup memperlihatkan keberadaan body anomali magnetik untuk diinterpretasikan. Hasil dari penerapan kontinuasi ke atas (*upward Continuation*) berupa anomali regional dan anomali lokal yang telah

terpisah. Berikut adalah peta kontur anomali regional hasil kontinuasi ke atas 400 m di atas permukaan laut:



Gambar 4.5 Peta Kontur Anomali Regional Hasil Kontinuasi ke Atas

Hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 400 m di atas permukaan laut sudah menunjukkan nilai anomali regional yang cukup stabil. Selanjutnya anomali magnet lokal bisa diperoleh dengan melakukan pengurangan terhadap anomali magnet sebelum dilakukan kontinuasi ke atas dengan anomali regional hasil kontinuasi ke atas.



Gambar 4.6 Peta Kontur Anomali Lokal Hasil Kontinuasi ke Atas Pada Ketinggian 400 mdpl

Gambar 4.6 menggambarkan anomali lokal yang terlihat tidak jauh berbeda dengan peta kontur anomali magnetik sebelum dilakukan proses kontinuasi ke atas ini. Ketika anomali magnetik dikontinuasi ke atas 400 m di atas permukaan laut, nilai anomalnya berubah menjadi sekitar -800 nT sampai 550 nT dari sebelumnya -1100 nT sampai 700 nT. Perubahan nilai anomali terjadi karena ketika anomali dikontinuasi ke atas, sebenarnya peneliti sedang mendominasi nilai anomali magnetiknya dengan mengubah bidang pengamatannya.

Bervariasinya nilai anomali magnet lokal tersebut bisa disebabkan oleh adanya ketidakseragaman material bawah permukaan pada daerah penelitian. Anomali magnetik tinggi mengindikasikan susceptibilitas batuan positif dan bernilai tinggi, serta memiliki kerentanan magnetik tinggi. Anomali magnetik sedang mengindikasikan susceptibilitas batuan positif yang bernilai sangat kecil dengan kerentanan magnetik yang sedang. Anomali magnetik rendah

mengindikasikan suseptibilitas batuan negatif dengan nilai yang kecil dan kerentanan magnetiknya sangat rendah.

Berdasarkan gambar 4.6 dapat diketahui bahwa nilai anomali magnetik positif daerah penelitian yang diperoleh berkisar antara 50 nT sampai 550 nT dan nilai anomali negatif berkisar antara -50 nT sampai -800 nT. Nilai anomali magnet positif ditafsirkan sebagai batuan yang bersifat magnetik dan ditempati oleh satuan batuan lava dan andesit, sedangkan anomali magnet negatif ditafsirkan sebagai batuan yang bersifat non magnetik yaitu kemungkinan ditempati oleh batuan sedimen (tufa), piroklastik dan batuan yang sudah mengalami proses demagnetisasi. Sebagaimana informasi dari Peta geologi lembar Probolinggo (gambar 2.16) yang memperlihatkan bahwa kondisi geologi daerah penelitian didominasi oleh vulkanik Gunung Lamongan, yang meliputi tuf, lahar, breksi gunungapi, lava. Batuan Gunungapi Lamongan cukup luas di bagian tengah lembar dan menindih batuan Gunungapi Argopuro.

4.2 Interpretasi Kualitatif

Interpretasi secara kualitatif telah dilakukan dengan menganalisis peta kontur medan magnet total, kontur anomali medan magnet total yang sudah dikontinuasi dan kontur anomali yang telah direduksi ke kutub. Secara kualitatif dari peta anomali yang diperoleh menunjukkan pasangan pola kontur tertutup (besar-kecil). Lokasi Ranu Gedang terdapat diantara klosur positif tinggi dan negatif. Perubahan nilai anomali ini kemungkinan disebabkan oleh pola struktur yang ada di bawahnya atau juga karena ketidakseragaman batuan di bawah permukaan.

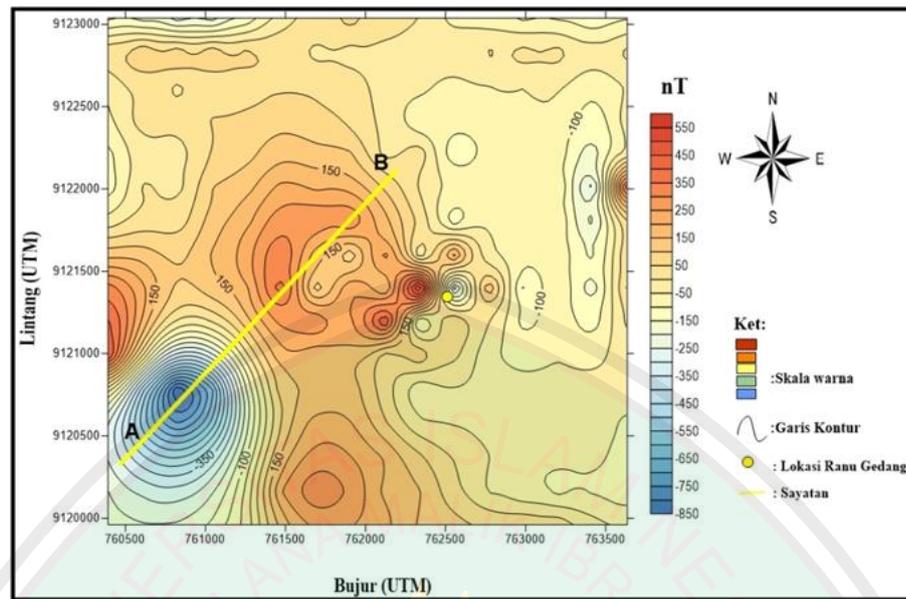
4.3 Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi Kuantitatif diperlukan untuk menentukan bentuk/ model dan kedalaman benda anomali atau struktur geologi hasil pengukuran. 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 lokal yang telah dikontinuasi pada ketinggian 400 mdpl peneliti mengambil 4 bagian sayatan (sayatan A-B, C-D, E-F, G-H). Data hasil sayatan kemudian digunakan sebagai masukan ketika melakukan pemodelan.

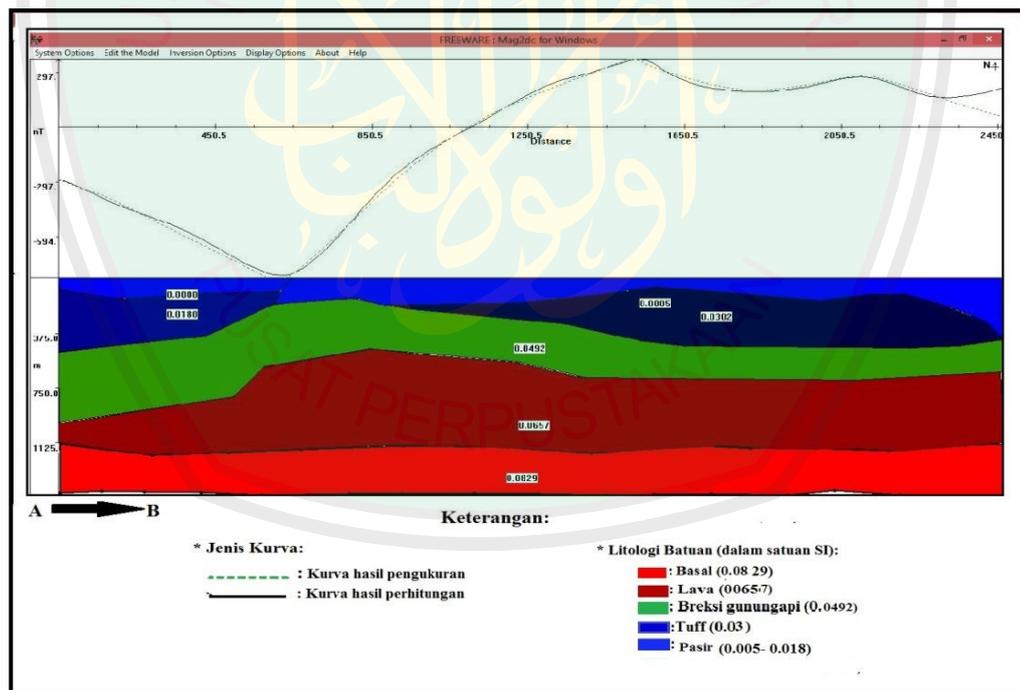
Pemodelan dilakukan dengan metode *trial and error* menggunakan software *Mag2dc*. Prinsip kerja dari program *Mag2dc* adalah menyamakan bentuk dari anomali pengukuran (yang berupa garis putus-putus) dengan anomali perhitungan (yang berupa garis tegas). Pembuatan model juga harus memasukkan IGRF (medan magnetik utama bumi), inklinasi, dan deklinasi. Harga inklinasi dan deklinasi daerah penelitian ini berturut-turut -31.1° dan 1.1° dan harga IGRF daerah penelitian 44483.1 nT.

4.3.1 Lintasan A-B

Lintasan AB menyayat klosur negatif dan positif dari arah barat ke timur laut sepanjang 2466.743 m. Pada jarak 0 sampai 1052.13 m didominasi oleh anomali negatif, sedangkan anomali positif terletak pada jarak 1097.983 m sampai pada jarak 1052.13m. Lintasan tersebut menyayat 110 titik pengukuran dengan anomali magnet yang bervariasi antara -822.522 nT sampai 365.9776 nT.



Gambar 4.7 Peta Sayatan Penampang Melintang Lintasan AB



Gambar 4.8 Peta Model Bawah Permukaan Lintasan AB

Gambar 4.8 menggambarkan model struktur bawah permukaan pada lintasan AB. Pada gambar tersebut terdapat sumbu x dan sumbu y. Sumbu x menunjukkan panjang sayatan, sumbu y positif menunjukkan variasi nilai intensitas magnetik

dan sumbu y negatif menunjukkan kedalaman. Pemodelan ini dibuat dengan kedalaman maksimum mencapai 1500 meter.

Di bawah permukaan lintasan AB dimodelkan memiliki 7 *body*. Lapisan pertama yang dekat dengan permukaan memiliki ketebalan kurang lebih 59 meter, yang diindikasikan sebagai pasir dan lahar yang memiliki nilai suseptibilitas 0.0005 sampai 0.018 (dalam satuan SI). Lapisan berikutnya diindikasikan sebagai batuan tuff dengan nilai suseptibilitas 0.03 (dalam satuan SI) yang memiliki ketebalan kurang lebih 80 m dan lebar 1578 m. Di bawah batuan tuff terdapat lapisan dengan suseptibilitas 0.49 (satuan SI) yang diindikasikan sebagai breksi vulkanik, batuan ini memiliki ketebalan kurang lebih 342 m dan lebar 2413 m. Lapisan berikutnya diindikasikan sebagai lava dengan nilai suseptibilitas 0.0657 (dalam satuan SI) yang memiliki ketebalan kurang lebih 342 m dan lebar 2422 m. lapisan paling bawah diindikasikan sebagai batuan basal dengan nilai suseptibilitas 0.089 (dalam satuan SI).

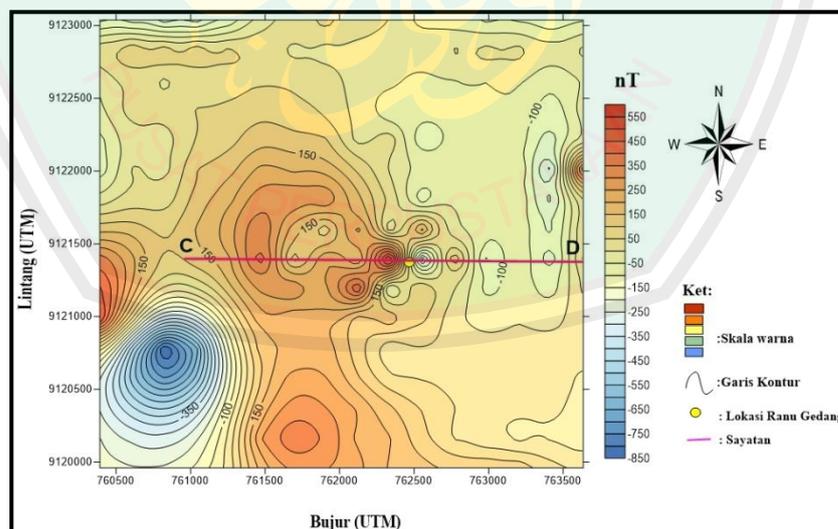
Penafsiran litologi batuan pada daerah penelitian ini didasarkan pada data geologi. Berdasarkan informasi geologi diketahui bahwa daerah penelitian didominasi oleh batuan Gunung Lamongan (Qvl) yaitu tuff, lahar, breksi gunungapi, dan lava. Tuff sebagai sisipan dalam breksi, berwarna kelabu-kuning kecoklatan, banyak batu apung, mineral terang. Breksi tertanam dalam masa dasar tuff, berwarna kelabu kehitaman, berkomponen adesit, basal, mineral mafik dan sedikit batu apung. Lava berwarna coklat-kelabu dan kehitaman, berstruktur alir yang tertanam dalam masadasar kaca gunungapi bersusun andesit-basaltik. Batuan

gunungapi ini merupakan hasil kegiatan Gunungapi Lamongan dan dari beberapa pusat erupsi parasit yang ada pada lerengnya.

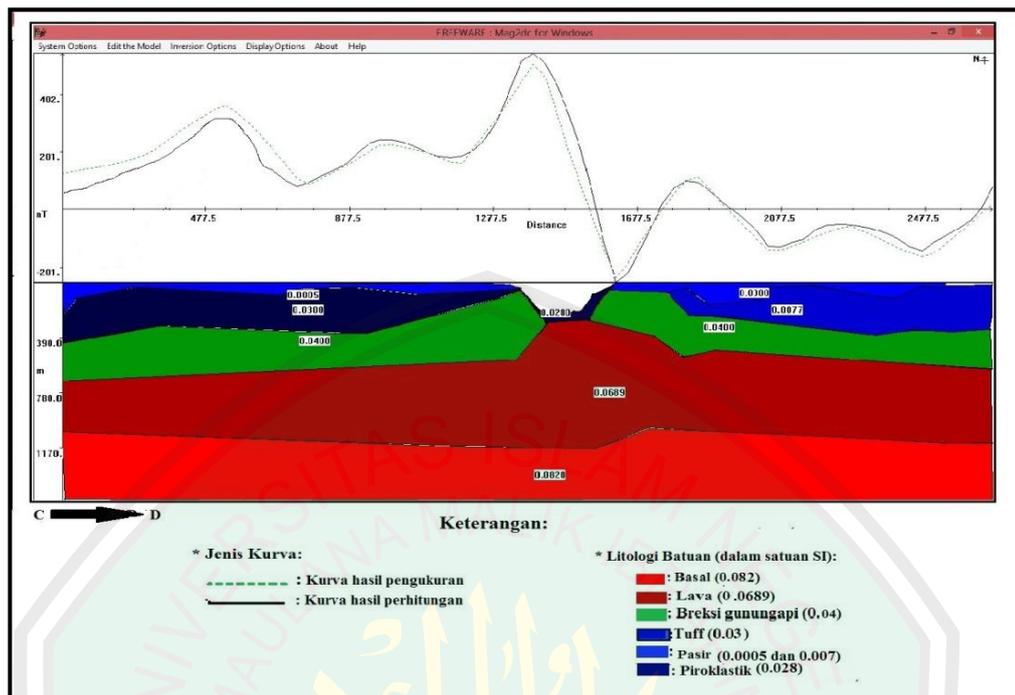
Struktur bawah permukaan dapat diindikasikan dari perubahan nilai anomali magnetik. Dari gambar 4.8 terlihat bahwa ada perubahan nilai anomali magnetik yang cukup besar. Harga anomali magnetik di bagian Baratdaya secara umum lebih kecil dari bagian Timurlaut, hal ini mengindikasikan terdapat pola kekar dan perubahan kontras suseptibilitas batuan di bawah permukaan lintasan pengukuran.

4.3.2 Lintasan C-D

Penampang anomali magnetik lokal lintasan CD diambil berdasarkan hasil penafsiran kualitatif pola kontur anomali. Sayatan dibuat melintang mulai dari arah Barat hingga ke Timur dengan melewati Ranu Gedang dan beberapa anomali positif dan anomali negatif.



Gambar 4.9 Peta Sayatan Penampang Melintang CD



Gambar 4.10 Peta Model Bawah Permukaan Lintasan CD

Anomali magnet pada lintasan CD memperlihatkan harga antara -252.218 nT sampai 200.6126 nT. Pada lintasan ini terjadi fenomena naik turunnya anomali magnetik. Anomali positif terletak pada jarak 0 samapai 1569.874 m. Penurunan nilai anomali yang cukup tajam dari positif tinggi ke nilai anomali negatif terjadi di area Ranu Gedang pada jarak 1537 m sampai 1733 m. Pada jarak 1766.47 m samapai 1897.54 m anomali kembali naik menjadi positif, dan turun lagi pada jarak 1930 m samapai 2671.74 m. Terjadinya fenomena ini diduga karena terdapat pola struktur yang melaluinya atau juga akibat dari pengendapan batuan hasil erupsi samping produk dari batuan vulkanik Gunung Lamongan. Ketidak seragaman suseptibilitas batuan sebagaimana yang terlihat pada hasil pemodelan diduga karena sebagian batuan yang ada di daerah tersebut telah mengalami demagnetisasi batuan, sehingga memiliki nilai suseptibilitas yang rendah dari pada yang lain.

Struktur bagian dalam maar tersusun oleh material hasil letusan dan runtuhannya yang terjadi secara periodik. Hasil pemodelan anomali magnetik lintasan CD di atas menunjukkan adanya kenampakan batuan basal yang berada di dasar lapisan pada kedalaman 1033.79 m, batuan ini memiliki lebar kurang lebih 2588.567 m dan memiliki nilai suseptibilitas 0.082 (dalam SI). Lapisan di atas batuan basal dengan harga suseptibilitas 0.06 (dalam SI) diindikasikan sebagai lava yang pemekarnya diduga lambat sehingga membentuk morfologi “*vulkanik dome*” yaitu penimbunan ke atas dari celah ke sisi tebing. Lapisan yang ada di atas batuan lava diindikasikan sebagai batuan breksi vulkanik yang memiliki ketebalan kurang lebih 350 m dan memiliki nilai suseptibilitas 0.04 (dalam SI), batuan ini digambarkan telah terpotong, dan hal ini diduga karena adanya tekanan yang berasal dari bawah. Endapan di cekungan Ranu diduga sebagai batuan piroklastik yang merupakan hasil dari letusan. Sedangkan pada jarak 0 samapai 1287 m terdapat lapisan batuan yang menyusup di atas batuan breksi vulkanik, yang kemudian diindikasikan sebagai tuff, dan bagian teratas dekat permukaan yang memiliki nilai suseptibilitas rendah diindikasikan sebagai lahar atau pasir, pasir diindikasikan sebagai akuifer yang menampung dan mengalirkan air dari atas permukaan.

Ranu Gedang pada mulanya diduga sebagai bekas lubang erupsi eksplosif sebuah dapur magma yang relatif kecil dan dangkal. Rangkaian erupsi gunungapi maar diawali oleh letusan *freatik*, kemudian letusan *freatomagmatik* dan *magmatik*, serta diakhiri dengan lelehan lava. Letusan *freatik* terjadi ketika pancaran panas magma bersentuhan dengan air tanah di batuan dasar, jika dilihat

dari pemodelan batuan tersebut diperkirakan berupa batuan basal. Letusan dapat terjadi ketika tekanan uap air panas itu sudah lebih besar dari tekanan batuan penudung dan batuan di atasnya yang diperkirakan berupa batuan lava dan breksi vulkanik. Letusan yang disebabkan adanya tekanan dari bawah tersebut mampu mendorong batuan yang dilaluinya terangkat naik. Pada letusan *freatomagmatik* sebagian kecil komponen magma sudah ikut terlontarkan keluar, sedangkan bahan utama hasil letusan berasal dari magma yang kemudian membentuk endapan piroklastik.

Tektonik regional yang cukup kompleks yang berhubungan dengan tekanan magmatik mungkin merupakan faktor utama yang mempengaruhi distribusi vulkanisme di kompleks gunungapi Lamongan. Munculnya magma hingga menyentuh air permukaan tersebut kemungkinan dikontrol oleh pola struktur bawah permukaan (rekahan/ sesar).

Sejarah pengendapan dan perkembangan tektonik di daerah ini dimulai pada pliosen yaitu dengan diendapkannya formasi laprak pada laut dangkal atau gisik. Kegiatan tektonik meningkat pada plio-plistone, menyebabkan terjadinya pengangkatan dan memicu kegiatan kegunungapian (Suwanti dan Suharsono, 1992: 9).

Gunung Lamongan dan kerucut-kerucut "*epigones*" terletak pada sayatan depresi sumbu antiklin pulau Jawa. Demikian juga sistem *fisusure* antara Timur-Timurlaut sampai Barat-Baratdaya terbuka sepanjang 4 km antara zona klaka dan zona puncak Gunung Lamongan (Bammelan, 1949). Oleh karena itu daerah

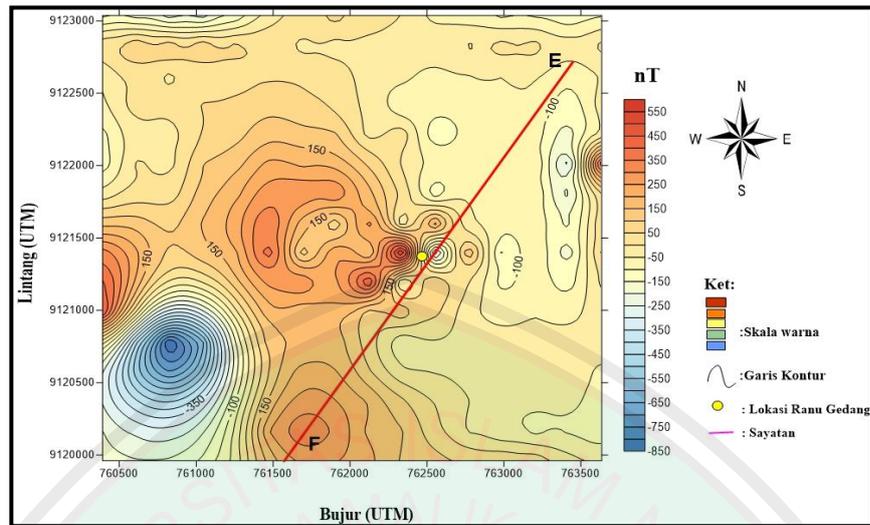
komplek Gunung Lamongan cukup sering terjadi gempa bumi yang mengakibatkan rekahan-rekahan baru.

Ranu Gedang merupakan salah satu maar di kaki Gunung Lamongan yang terisi air dan menjadi danau. Cekungan yang terbentuk akibat letusan eksplosif relatif kedap air dan kemungkinan telah memotong muka air tanah sehingga air tanah (air yang tersimpan pada lajur jenuh) bergerak sebagai aliran air tanah melalui pori-pori batuan atau melalui rekahan pada batuan bawah permukaan dan terkumpul pada cekungan yang terbentuk dan menjadi danau.

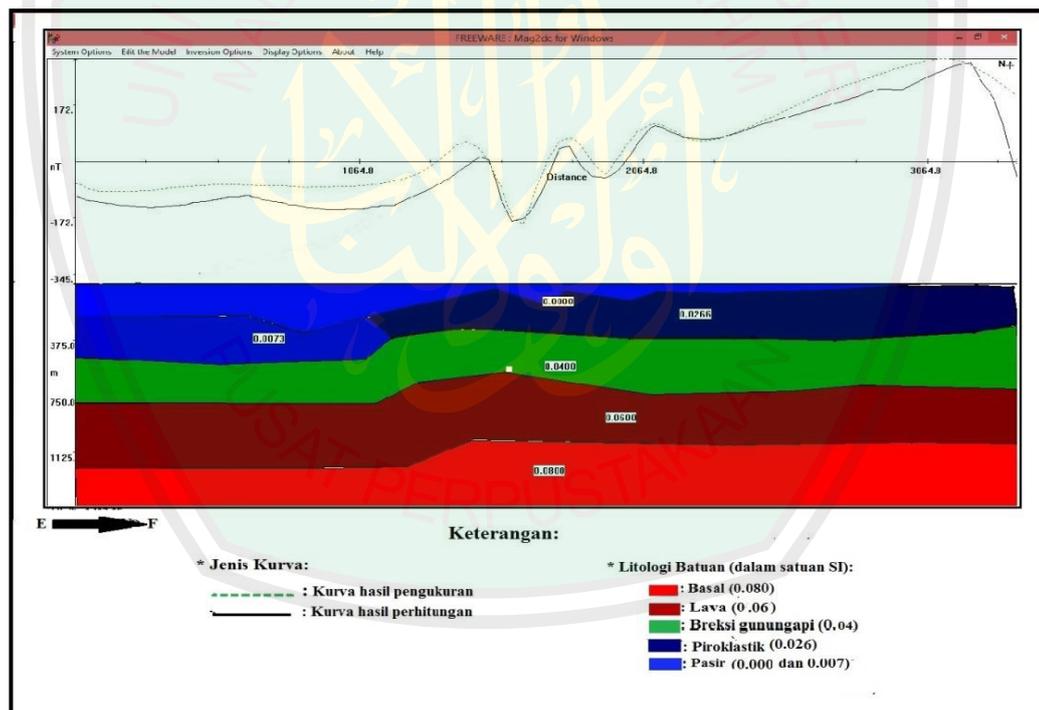
4.3.3 Lintasan EF

Penelitian sebelumnya dengan menggunakan analisa citra Landsat 7ETM+ menunjukkan bahwa daerah sebelah barat dan timur merupakan daerah tertekan yang dipengaruhi oleh sistem vulkanik Gunung Bromo dan Argopuro, secara berurutan, dari hasil analisis citra satelit tampak bahwa adanya sistem lipatan berarah NW-SE yang mempengaruhi sistem vulkanik Gunung Lamongan dan Gunung Argopuro (Widya, 2012)

Lintasan EF disayat berdasarkan data geologi daerah penelitian sebelumnya dan interpretasi kualitatif. Lintasan disayat dari arah Baratdaya hingga ke Timur laut sepanjang 3039.006 m. Sayatan memotong klosur positif dan negatif pada daerah sebelah timur Ranu Gedang.



Gambar 4.11 Peta Sayatan Penampang Melintang EF



Gambar4.12 Peta Model Bawah Permukaan Lintasan EF

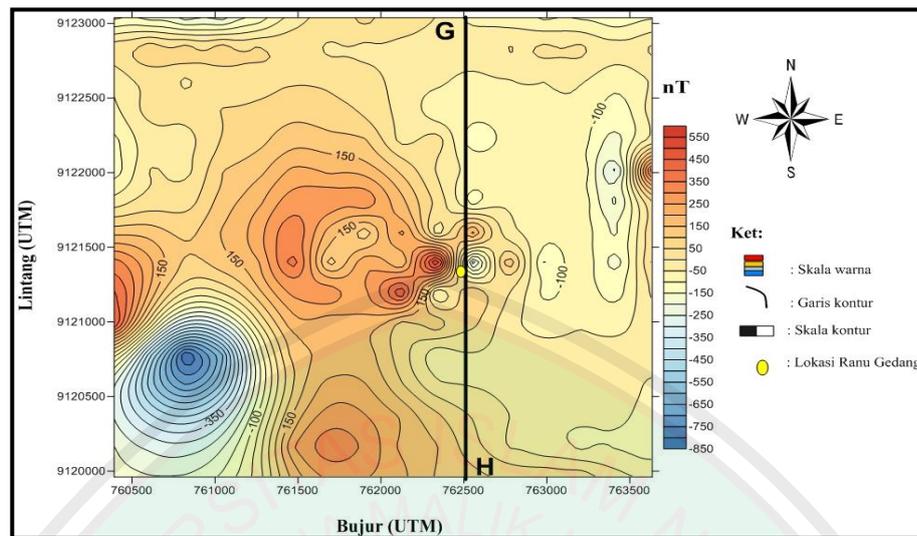
Gambar 4.12 di atas menggambarkan model bawah permukaan lintasan EF yang memotong 96 titik. Anomali di sebelah Timurlaut memiliki harga yang lebih tinggi dari pada anomali di daerah bagian Baratdaya hal ini kemungkinan karena kontak batuan di bawahnya. Litologi batuan pada daerah ni secara umum sama

dengan litologi bawah permukaan lintasan CD, yang terdiri dari Basal yang diinterpretasi berada dalam kedalaman kurang lebih 1043 m dan memiliki nilai suseptibiitas 0.08 (dalam satuan SI). Lapisan dengan nilai suseptibilitas 0.06 (dalam satuan SI) yang berada di atas lapisan basal diindikasikan sebagai batuan lava, batuan tersebut berada di kedalaman kurang lebih 583 m dan memiliki lebar kurang lebih 3346 m. Di bagian atas lava terdapat lapisan batuan yang diindikasikan sebagai breksi gunungapi yang memilki nilai suseptibilitas 0.04 (dalam satuan SI), di atas breksi vulkanik bagian timur terdapat batuan piroklastik yang yang kemungkinan berupa batuan tuff yang memiliki nilai suseptibilitas 0.026 (dalam satuan SI). Lapisan tertas dengan nilai suseptibilitas 0.000 sampai 0.007 (dalam satuan SI) diduga sebagai pasir atau batuan yang telah mengalami demagnetisasi sehingga nilai suseptibilitasnya kecil.

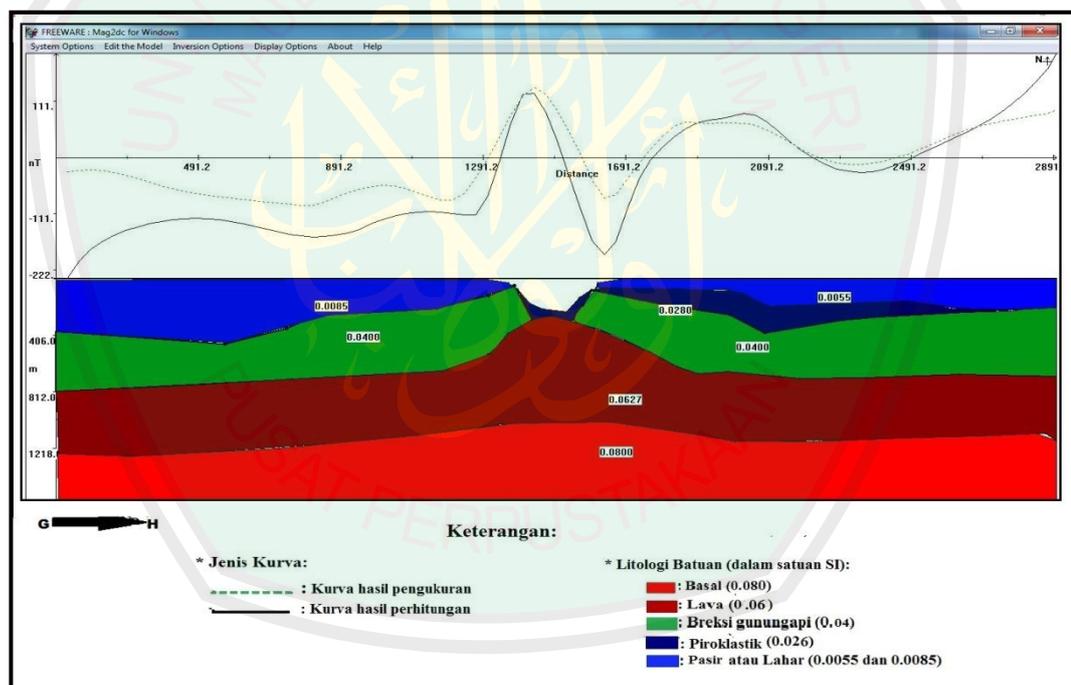
Gambar 4.12 di atas juga menggambarkan adanya sistem tertekan. Timbulnya lipatan-lipatan batuan tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh sistem vulkanik Gunung Argopuro yang berada di sebelah timur Gunung Lamongan.

4.3.4 Lintasan GH

Lintasan GH disayat melintang sejauh 3063.03 m dari arah utara hingga ke selatan dengan memotong lokasi Ranu Gedang dan beberapa anomali positif dan anomali negatif yang bervariasi antara -94.4431 nT sampai 138.8171 nT. Profil anomali medan magnetik menunjukkan bahwa daerah di sebelah Utara memiliki nilai yang lebih rendah daripada anomali di daerah bagian selatan.



Gambar 4.13 Peta Sayatan Penampang Melintang GH



Gambar 4.14 Peta Model Bawah Permukaan Lintasan GH

Gambar 4.14 Menggambarkan model bawah permukaan lintasan GH yang secara umum litologinya tersusun oleh batuan yang sama dengan hasil pemodelan lintasan sebelumnya (Lintasan AB, CD, dan EF). Litologi batuan tersusun oleh batuan basal, lava, breksi gunungapi, piroklastik, lahar, dan pasir.

Lapisan dasar pada kedalaman kurang lebih 1033 m dengan harga suseptibilitas 0.008 (dalam satuan SI) diindikasikan sebagai basal. Lapisan di atas batuan basal yang memiliki lebar 2955 m dan harga suseptibilitas 0.06 (dalam satuan SI) diindikasikan sebagai lava. Model penampang memperlihatkan bahwa batuan lava mengalami intrusi dan menerobos lapisan yang berada di atasnya yang memiliki nilai suseptibilitas 0.004 (dalam satuan SI), lapisan ini diindikasikan sebagai breksi vulkanik yang berada pada kedalaman 87 m. Tekanan tinggi yang berasal dari bawah mengakibatkan sebageian batuan di atasnya terpotong dan terbentuk bekas erupsi berupa cekungan yang terisi oleh endapan hasil erupsi berupa endapan piroklastik dan runtuhan batuan. Hasil pemodelan lintasan GH tersebut semakin menguatkan indikasi bahwa material penyusun struktur bawah permukaan Ranu Gedang berasal dari material erupsi Gunungapi Lamongan.

Berdasarkan data geologi menunjukkan bahwa produk Gunungapi Lamongan dapat dikelompokkan menjadi produk erupsi pusat Gunung Tarub (Lamongan Tua), Lamongan Muda (Gunung Lamongan sekarang), hasil erupsi samping, erupsi ekstrinsik, erupsi freatik, dan endapan sekunder (Sukhyar dkk, 1980).

Gunungapi Lamongan diindikasikan sebagai salah satu lingkungan geologi gunungapi yang bersusunan basal. Dari hasil pemodelan dapat diindikasikan bahwa batuan lava sebagian besar bersal dari erupsi kawah pusat dan sebagian kecil berasal dari erupsi samping. Erupsi eksterinsik menghasilkan lava atau

piroklastik dan juga gabungan antara keduanya. Lahar dan endapan piroklastik juga diindikasikan sebagai hasil letusan sekunder.

4.4 Pemodelan Struktur Geologi Menurut Kajian al-Quran dan Hadits

Al Quran adalah firman Allah SWT yang di dalamnya terkandung banyak sekali sisi keajaiban. Isi kandungan al-Quran tidak hanya menjelaskan tentang muamalah syariah manusia saja. Namun, dalam sejumlah ayatnya juga terdapat banyak fakta ilmiah yang bisa membuktikan kebenaran ilmiah yang baru bisa terungkap dengan teknologi abad ke-20. Hal ini sebagai bukti kebesaran Allah SWT dan sebagai petunjuk kepada manusia dalam pemenuhan segala hajat hidupnya di dunia.

Manusia diciptakan oleh Allah SWT di bumi ini dengan memiliki keterbatasan indrawi dalam melihat semua yang ada di langit dan di bumi, maka Allah memberikan petunjuk bagaimana seharusnya menggali seluruh antero jagad ini. Allah berfirman dalam surah ar- Rahman (55): 33:

يَمْعَشَرِ 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- Rahaman (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 (Abu bakar, 2007).

Dalam ayat tersebut ditunjukkan bahwa kata kunci untuk menembus, mengarungi bumi dan langit ini adalah dengan kekuatan. السَّلْطَن adalah kekuatan untuk menguasai suatu perkara, kekuasaan, kemampuan dan bukti-bukti semua tergolong السَّلْطَن (Baghawi, 2005).

Pada jaman sekarang, kekuatan yang dimaksud untuk mengarungi segala 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.

Berbagai kajian dan penelitian geofisika dan geologi telah membuktikan secara ilmiah bahwa bumi terbentuk dari tujuh lapisan tertentu di dalam zona-zona berurutan di sekelilingnya, dimana bagian luar menutupi bagian dalam hingga ke pusat atau inti bumi. Tujuh lapisan bumi itu sangat berbeda-beda dari segi struktur, kepadatan, suhu dan materialnya berdasarkan perbedaan kedalaman bawah permukaan (*subsurface*).

Fakta sains tentang 7 lapisan bumi ini sebelumnya juga telah ditegaskan dalam surah ath-Thalaq (65):12, bahwa langit itu berlapis tujuh. Begitu pula bumi juga berlapis tujuh. Atas dasar itu, tujuh lapisan ini adalah struktur bumi, tempat hidup makhluk-Nya.

Sebagaimana al-Quran, hadist Rasulullah SAW juga menegaskan tentang keberadaan tujuh lapis bumi. Rosulullah SAW pernah bersabda:

"عن سعيد بن زيد بن عمرو بن نفيل أنه خاصمته أروى - في حق زعمت أنه انتقصه لها - إلى مروان فقال سعيد: أنا أنتقص من حقها شيئاً؟ أشهد لسمعت رسول الله صلى الله عليه وسلم يقول: من أخذ شبراً من الأرض ظلماً فإنه يطوقه يوم القيامة من سبع أرضين". (رواه البخاري)

"Dari Said bin Zaid bin Amr bin Nufail, ia dibantah oleh para musuh terhadap hak kepemilikan sebidang tanah. Kemudian Sa'id berkata: Apakah aku mengambil sesuatu atau mengurangi haknya? Aku bersaksi, aku benar-benar mendengar Rasulullah SAW bersabda: "Barang siapa yang mengambil sejengkal tanah secara zalim, sesungguhnya ia akan dibebani tujuh (lapis) bumi pada hari kiamat nanti." (HR. Bukhari).

Jika dilihat dari redaksi hadits (tekstual), maka terdapat dua kata kunci yaitu: pertama, hadits tersebut secara umum melarang segala bentuk kezaliman, dan lebih spesifik lagi tindakan menyerobot tanah milik orang lain. Kedua, banyak juga yang menyerot hadits ini dan kemudian dihubungkan dengan keadaan lapisan bumi yang menyatakan adanya 7 (tujuh) lapisan yang dimiliki bumi. Mufradath (سبع أرضين) memiliki arti tujuh lapis bumi (Software Maktabah Tsamilah).

Sabda Rasulullah SAW mengenai struktur lapisan bumi yang terdiri dari tujuh lapis tersebut semakin menguatkan fakta-fakta ilmiah dari berbagai hasil penelitian geosains pada saat ini. Al-Quran dan sunnah telah mendahului ilmu pengetahuan modern dalam 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 (An-Najjar, 2006).

Struktur bumi dapat diketahui dari lapisan kerak bumi. Dari lapisan atas kerak bumi dapat dilihat bentuk bumi berupa pegunungan, gunung api, samudera, dataran, dan sebagainya. Sedangkan dari lapisan kerak bawah bumi dapat diketahui struktur bumi berupa jenis batuan atau mineral yang terkandung (Dafiqiy, 2012).

Dilihat dari hasil penelitian tergambar beberapa lapisan batuan/ tanah penyusun bumi yang berbeda-beda. Macam-macam batuan tersebut meliputi tuf, lahar, breksi gunungapi, lava. Batuan gunung api ini merupakan hasil kegiatan Gunungapi Lamongan dan dari pusat erupsi parasit yang ada pada lerengnya. Data geologi sebelumnya menyatakan bahwa hasil erupsi Gunung Lamongan sebenarnya cukup luas di bagian tengah lembar dan menindih batuan Gunungapi Argopuro.

Sejarah pembentukkan bumi sangat dipengaruhi oleh kemunculan rangkaian gunung-gunung. Dari penelitian para ahli geologi dan geofisika yang berkaitan dengan struktur bumi yang memiliki tingkat ketinggian tertentu seperti gunung didapatkan bahwa berdasarkan geomorphologi, gunung memiliki fungsi sebagai pasak yang menancapkan bumi di jagat raya ini. Dengan adanya gunung-gunung keseimbangan bumi dapat terjaga, puncak gunung menjadi penahan keseimbangan bumi dari arah atas dan bagian yang menancap di kedalaman bumi atau bagian akarnya menjaga keseimbangannya dari arah bawah dan berhubungan dengan inti bumi. Struktur gunung-gunung seperti pasak ini juga disebutkan dalam firman Allah SWT dalam surah an-Naba (78): 6-7):

أَلَمْ نَجْعَلِ الْأَرْضَ مِهْدًا ﴿٦٦﴾ وَالْجِبَالَ أَوْتَادًا ﴿٦٧﴾

“Bukankah Kami telah menjadikan bumi ini sebagai hampan. Dan gunung-gunung sebagai pasak?”

Firman Allah SWT ini jelas menunjukkan bahawa fungsi gunung-gunung diciptakan sebagai pasak tepatnya pada kata *autaadan* yang merupakan bentuk jamak dari kata *watada* yaitu paku yang besar. Lapisan padat kerak bumi mencapai ketebalan sampai 60 km, lapisan ini bisa meninggi ataupun menurun menjadi dasar lautan dan samudra. Keadaan puncak dan lembah ini menjadikan keseimbangan akibat tekanan yang ditimbulkan oleh gunung-gunung tersebut (Faqih, 2006).

Ayat ini menerangkan bahawa gunung-gunung menggenggam lapisan kerak bumi dengan satu ‘pancang’ yang memanjang dari atas ke bawah permukaan bumi yang menghubungkan semua lapisan dalam bumi (Jasmi, 2013).

Keadaan gunung sebagai pasak ini juga dikenali sebagai isostasi menurut kajian geologi moden dan kajian gempa bumi. Isostasi adalah teori keseimbangan hidrostatik permukaan bumi yang menunjukkan bahawa gunung berada dalam keadaan terapung di atas lava bendalir (Jasmi, 2013).

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pemodelan yang dilakukan dengan metode magnetik di daerah Ranu Gedang, dapat diambil kesimpulan bahwa

1. Kondisi diatrema Ranu Gedang tersusun oleh material endapan hasil letusan freatik, freatomagmatik, dan magmatik. Cekungan hasil letusan tersebut kemungkinan telah memotong muka air tanah dan lapisan bawahnya berupa endapan piroklastik yang relatif kedap air sehingga mampu menampung air di daerah tersebut.
2. Secara umum litologi batuan di daerah Ranu Gedang didominasi oleh batuan vulkanik Gunungapi Lamongan yang terdiri dari basal, lava, breksi vulkanik, piroklastik, tuff dan juga pasir sebagai lapisan penutup. Batuan lava digambarkan telah mengalami intrusi dan memotong batuan sedimen di atasnya sehingga terbentuk bekas erupsi berbentuk cekungan yang sekarang dikenal sebagai Ranu Gedang.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk memperbanyak titik pengukuran dan memperluas area penelitian ke arah Timur Ranu Gedang untuk lebih mengetahui seberapa besar pengaruh Gunung Argopuro terhadap aktifitas Gunung Lamongan. Perlu dilakukan penelitian dengan metode yang berbeda untuk mengetahui sistem akuifer di sekitar Gunung Lamongan dan mengetahui hubungan antara pembentukan Ranu dengan potensi geotermal di wilayah Tiris.

DAFTAR PUSTAKA

- Baisa, Ilyas Ghozy. 2007. *Pendugaaan Struktur Waduk Magma Kompleks Arjuno-Welirang Berdasarkan Anomali Magnetik. Skripsi*. Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya
- Bemmelen, R.W. van. 1937. *The Volcano-Techtonic Structure Of The Residency Of Malang, Eastern Java*. De Ingenieur in Ned. Indie, vol. IV, No.9, pp. 159-172
- 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
- Bronto, S. dan Fernandy, A., 2000. *Setu Patok Sebagai Gunungapi Maar di Daerah Cirebon*. Prosid PIT 29 IAGI, Bandung, Nov. 21-22, p.163-172.
- Bronto, S., R.D.Hadi santono dan J.P. Lockwood, 1982. *Peta Geologi G.Gamalama, Ternate*. Direkt.Vulkanologi, Bandung
- Bronto,S. dan Mulyaningsih,S. 2007. *Gunungapi Maar di Semenanjung Muria*. Jurnal Geologi Indonesia, Bandung, Maret: 43-54
- Dafiqiy.2012. *Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Daerah Sumber Air Panas Songgoriti Kota Batu Berdasarkan Data Geomagnetik*). *Skripsi*. Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
- Hilmansyah, L. 1986. *Pergerakan Masa Gunungapi, Seperti Terjadinya Bukit Sarebu di Kompleks Gunung Galunggung, Suatu Gejala Umum pada Gunungapi*. Berita Geol. Vol 18. No 19. 151-154
- Jasmi, K.A & Hasan, N.2013.*Geologi, Hidrologi, Oceanografi, dan Astronomi dari Prespektif al-Quran*. Skudai, Johor Baru: Uneversiti Teknologi Malaysia Press.
- Jazairi, Abu Bakar Jabir. 2009. *Tafsir Al-Qur'an Al- Aisar (jilid 6)*. Darus Sunnah
- Kusumadinata, K.,(Ed.). 1979. *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Direkt. Vulkanologi. Bandung, 820h
- Kurniati, Asih, Kharisma N., Aulia. 2008. *Buku Panduan Workshop Geofisika*. Malang: Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya
- Fristy Lita. *Identifikasi Anomali Magnetik di Daerah Prospek Panas Bumi Arjuna-Welirang. Skripsi*. Tidak Diterbitkan. Depok: Universitas Indonesia

- Lutgens, Frederick K & Tarbuck, Edward J. 2012. *Essentials of Geology 11th*. New Jersey: Pearson Prentice Hall. Pearson Education, Inc
- Matahelemual. 1982. *Gunung Banda Api*. Berita Berkala Vulkanologi. No.115. PVMBG
- Milsom, John. 2003. *Field Geophysics Third Edition*. London: John Wiley & Sons Ltd
- M.Quraish Shihab. 2002. *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an Volume 11*. Jakarta: Lentera Hati
- M.Quraish Shihab. 2002. *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an Volume 14*. Jakarta: Lentera Hati
- Muh.Sarkowi. 2010. *Buku Ajar Pengantar Teknik Geofisika*. Lampung: Universitas Lampung
- Munadi, Suprajitno. 2001. *Instrumentasi Geofisika*. Depok: Program Studi Geofisika. Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Indonesia
- Muzil, Alzwar drr.1983.*Pengantar Dasar Gunungapi*. Bandung: Nova
- Najjar, Zaghul. 2006. *Pembuktian Sains Dalam Sunah*. Jakarta: Amzah
- Noll, H.1967. *Maar und Maar Ahnliche Explosions Krater in Island*, Kola Univ, Geol. Inst. Sondervederoffentlichungen 11,177
- Plummer, Charles and David Mc. Geary. 1995. *Physical Geology*. IOWA New York: Wm. C. Brown Publishers
- Qurthubi. 2008. *Tafsir Al Qurthubi Jilid 9*. Jakarta: Putaka Azzam
- Reynolds, J. M. 1997 *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons, Inc, New York
- Ringwood, A.E. 1975. *Composition and Petrology of the Earth's Mantle*. New York: McGraw- Hill, Inc
- Rittmann, A. *Volcanoes and Their Activity*. New York: John Wiley and Sons
- Robinson E.S. 1988. *Basic Exploration Geophysics*. New York: John Wiley & Sons
- Santoso, Djoko. 2002. *Diktat Kuliah TG-424 Eksplorasi Energi Panas Bumi*. Jurusan Teknik Geologi. Bandung: ITB
- Schieferdecker, A.A.G. *Geological Nomenclature Royal Geology and Minings Soc.* (Ed). Of the Netherlands, J. Noorduijn en Zoon N.V., Gorinchem, 523h.

- Sigurdsson, Haraldur, (2000), *Encyclopedia of Volcanoes*. U.S.A: Academic Press
- Sharma, P.V., 1997, *Environmental and Engineering Geophysics*, Cambridge University Press
- Shiddiqie, Muhammad Hasbi. 2000. *Tafsir Al Qur'anul Majid AnNur*. Semarang: Pustaka Rizki Putra
- Siahaan, Barita. 2009. *Penentuan Struktur Pada Zona Hidrokarbon Daerah "X" Menggunakan Metode Magnetik. Skripsi*. Tidak Diterbitkan. Depok: Universitas Indonesia
- Software Maktabah Tsamilah, Bukhari No. 2273
- Srijatno. 1980. *Diktat Kuliah Geofisika Terapan*. Bandung: Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung
- Suwarti.T dan Suharsono. 1992. *Geologi Lembar Probolinggo, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral
- Syamsu Rosid. (2008). *Geomagnetic Method Lecture Note. Physic Departement*. Depok: FMIPA UI
- Telford, W.N. Geldard, L.P., dan Sherrif, R.E., and Keys, D.A. 1979. *Applied Geophysics*. New York: Cambridge University Press,
- Telford W.M, Geldart L.P., dan Sheriff R.E. 1982. *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press
- Tjasyono, Bayong. 2006. *Ilmu Kebumihan dan Antariksa*. Bandung: Remaja Rosdakarya
- Widya, Utama. 2012. *Analisis Citra Landsat ETM+ untuk Kajian Awal Penentuan Daerah Potensi Panas Bumi di Gunung Lamongan, Tiris, Probolinggo*. Volume 8. Surabaya: Prodi Geofisika, Jurusan Fisika FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- www.mines.edu/ts_home/tboyd/GP311/MODULES/Mag/Notes/proton.html.
Proton Precision Magnetometer. Diakses tanggal 18 Maret 2015 pukul 14.00 WIB



LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Titik Pengukuran di Lapangan

No	Stasiun	X (Bujur)	Y (Lintang)	Z (Ketinggian)	Waktu	
					Jam	Menit
1	T148N	113.3669	-7.94738	612.9644	9	15
2	T158N	113.3753	-7.94079	416.8828	11	38
3	T95N	113.3823	-7.95364	489.4531	12	31
4	T94N	113.3783	-7.95249	486.3672	10	7
5	T93N	113.3729	-7.95258	598.6789	9	5
6	T92N	113.3697	-7.95426	591.7136	9	54
7	T101N	113.3893	-7.93689	494.4514	9	58
8	T100N	113.3848	-7.9356	480.88	10	7
9	T164N	113.3792	-7.94779	562.3196	10	17
10	T166N	113.3816	-7.94345	535.364	10	31
11	T165N	113.3806	-7.94028	445	10	46
12	T99N	113.3821	-7.94042	435.8516	11	3
13	T100A	113.3798	-7.93453	480.4358	10	16
14	T144N	113.3908	-7.93081	483.0563	10	32
15	T145N	113.3854	-7.92703	486.782	10	44
16	T146N	113.3745	-7.92839	453.2364	11	1
17	T147N	113.3703	-7.92684	444.8691	11	16
18	T183N	113.3636	-7.9478	620.5041	9	40
19	T184N	113.3625	-7.94547	602.0443	9	46
20	T185N	113.3622	-7.94211	556.577	9	55
21	T186N	113.3642	-7.93679	510.2139	10	2
22	T113N	113.3916	-7.93623	449.5664	14	52
23	T110A	113.3911	-7.94686	536.3554	8	56

24	T167N	113.3875	-7.95455	481.6582	16	11
25	T113A	113.3891	-7.95334	523.9902	16	16
26	ZR1	113.3807	-7.94406	537.8559	10	54
27	ZR2	113.3816	-7.94349	539.7457	11	1
28	ZR3	113.3823	-7.94267	509.528	11	6
29	ZR4	113.383	-7.94271	486.379	11	11
30	ZR5	113.382	-7.94259	504.6517	11	19
31	ZR6	113.3819	-7.94171	502.5369	11	26
32	ZR7	113.3814	-7.94071	499.2773	11	31
33	ZR8	113.3806	-7.93968	492.0302	11	35
34	ZR9	113.3808	-7.93901	486.115	11	40
35	ZR10	113.3806	-7.94058	486.718	11	47
36	ZR11	113.3797	-7.94081	494.5912	11	52
37	ZR12	113.379	-7.94124	505.1829	11	57
38	ZR13	113.3812	-7.94216	449.0597	12	38
39	ZR14	113.3812	-7.94228	451.3711	12	42
40	ZR15	113.381	-7.94241	453.1204	12	45
41	ZR16	113.3808	-7.94248	455.0775	12	48
42	ZR17	113.3805	-7.9425	451.016	12	51
43	ZR18	113.3804	-7.94248	455.5705	12	53
44	ZR19	113.3802	-7.94244	454.8688	12	55
45	ZR20	113.3801	-7.94232	455.5339	12	57
46	ZR21	113.3811	-7.94286	463.6899	13	10
47	ZR22	113.3816	-7.94296	482.9405	13	15
48	ZR23	113.3819	-7.94278	505.3466	13	22
49	ZR24	113.3808	-7.94374	530.299	13	33
50	ZR25	113.3805	-7.9445	542.5319	13	54

51	ZR26	113.3799	-7.94458	542.1436	14	58
52	ZR27	113.3792	-7.94462	540.6556	14	1
53	ZR28	113.3786	-7.94403	545.9382	14	50
54	ZR29	113.3781	-7.94255	537.1953	15	56
55	ZR30	113.3784	-7.94183	540.0099	15	1
56	ZR31	113.3781	-7.94332	438.6914	15	9
57	ZR32	113.3792	-7.94292	439.0938	15	14
58	T166N	113.3816	-7.94345	535.364	10	31
59	T163N	113.3778	-7.94247	537.9586	11	27
60	T159N	113.3746	-7.94646	450.2422	12	3



Lampiran 2 Data Hasil Pembacaan Alat

1. Hasil Pembacaan Field Magnetometer

No	Stasiun	jam	Menit	H1(nT)	H2 (nT)	H3 (nT)	H4 (nT)	H5(nT)	Modus (nT)
1	T148N	9	15	43907.9	43684	43769.3	43827.6	43865.8	43907.9
2	T158N	11	38	44482.1	46431.1	46363.8	46209.4	46264.4	46264.4
3	T95N	12	31	44899.5	44965	45019.5	45026.7	44979.9	44979.9
4	T94N	10	7	45397.7	45386.3	45393.6	45401.8	45399.3	45401.8
5	T93N	9	5	45249.8	45257.9	45291.1	45288.1	45269.3	45288.1
6	T92N	9	54	44712.9	44543.8	44517.3	44416.5	44290.3	44712.9
7	T101N	9	58	45003.1	45044.2	45094.6	45024.7	44986.5	45044.2
8	T100N	10	7	44855.3	44856.4	44875.5	44861.8	44882.1	44855.3
9	T164N	10	17	44926.4	44924.5	44931.7	44926.4	44919.9	44926.4
10	T166N	10	31	45344.5	45321.1	45316.3	45307.6	45292.8	45344.5
11	T165N	10	46	44870.4	44867.7	44850.1	44853.2	44860.7	44870.4
12	T99N	11	3	44786	44756.6	44738.5	44748.5	44804.9	44804.9
13	T100A	10	16	44844.1	44839.7	44832.8	44826	44821.4	44826
14	T144N	10	32	44915.7	44904.1	44913.9	44900.1	44888.3	44913.9
15	T145N	10	44	45111.7	45126.1	45128.6	45148.3	45137.9	45128.6
16	T146N	11	1	45182.3	45186.9	45164.7	45169.7	45171.5	45169.7
17	T147N	11	16	45054.7	45056.1	45057.4	45053.8	45056.3	45056.3
18	T183N	9	40	44374.1	44387.7	44394.1	44392.9	44374.9	44374.1
19	T184N	9	46	45294.9	45294.7	45297.6	45294.1	45281.8	45294.1
20	T185N	9	55	455609.9	45507.4	45510.3	45508.4	45510.9	45507.4
21	T186N	10	2	44895.7	44887.8	44889.1	44834.6	44890.3	44887.8
22	T113N	14	52	44880.9	44530.5	44909.6	44901.1	44895.5	44530.5

23	T110A	8	56	44932.1	44924.5	44920.6	44889.5	44906.6	44920.6
24	T167N	16	11	44751.1	44759.9	44767.3	44764.4	44764.8	44764.4
25	T113A	16	16	44770.2	44769.3	44752.1	44751.5	44748.9	44751.5
26	ZR1	10	54	45170.5	45174.5	45197.3	45201.1	45180.3	45170.5
27	ZR2	11	1	45438	45359.9	45353.4	45351.2	45405.2	45351.2
28	ZR3	11	6	45077.6	45045.4	45045.5	45094.1	45051.8	45045.4
29	ZR4	11	11	44736.3	44725.7	44042.4	44740.7	44755.1	44725.7
30	ZR5	11	19	45039	45031.8	44725.7	45027.8	45024.1	44725.7
31	ZR6	11	26	45391.2	45390	45414.8	45416.7	45400.1	45390
32	ZR7	11	31	45128.4	45127.2	45090.7	45108	45148.5	45108
33	ZR8	11	35	45099.5	45113.5	45088.5	45099.6	45108	45088.5
34	ZR9	11	40	45178.7	45169.2	45172.7	45181	45785	45169.2
35	ZR10	11	47	44157.9	44134.9	44183.3	44204.2	44252.1	44134.9
36	ZR11	11	52	44882.4	44859.6	44853.8	44852	44870.1	44852
37	ZR12	11	57	44975.8	44949.7	44923.5	44989.8	45022	44923.5
38	ZR13	12	38	44083.2	45161	45115	45132.2	45089.2	45115
39	ZR14	12	42	44810.3	44823.6	44814.6	44817	44808.2	44810.3
40	ZR15	12	45	44890.8	44902	44903	44895.1	44889.3	44890.8
41	ZR16	12	48	44758.7	44761.6	44761.5	44760.5	44754	44754
42	ZR17	12	51	44879.7	44871.5	44863.2	44857.5	44869.6	44857.5
43	ZR18	12	53	44730.3	44728.9	44721.1	44729.1	44726.2	44721.1
44	ZR19	12	55	44970.8	44974	44969.3	44945.7	44919.9	44919.9
45	ZR20	12	57	44621.9	44631.6	44615.7	44615.5	44614.7	44614.7
46	ZR21	13	10	44830.1	44833.9	44836.6	44829.2	44831.5	44830.1
47	ZR22	13	15	44872.2	44877.7	44873.3	44873.7	44859.3	44859.3
48	ZR23	13	22	44260.7	44261.2	44260.1	44240.2	44248	44260.1
49	ZR24	13	33	45226.9	45252.6	45289.8	45282.6	45338.1	45252.6

50	ZR25	13	54	45009.7	45050	45036.1	45042.1	45046.3	45036.1
51	ZR26	14	58	45439.9	45443.6	45435.4	45423.6	45418.5	45435.4
52	ZR27	14	1	45204.7	45199	45198.6	45200.3	45208.1	45200.3
53	ZR28	14	50	44907.8	44948.5	44950	44950.1	44495.3	44950
54	ZR29	15	56	44939.2	44941	44939.3	44939.9	44934.6	44934.6
55	ZR30	15	1	45360.7	45343.5	45364.3	45348.8	45340.7	45340.7
56	ZR31	15	9	44957.4	44959	44955.8	44954.1	44969.7	44957.4
57	ZR32	15	14	45149.5	45133.6	4512.8	45149.7	45135	45133.6
58	T166N	10	31	45344.5	45321.1	45316.3	45307.6	45292.8	45344.5
59	T163N	11	27	45044.2	45050.7	45066.7	45071.2	45076.6	45076.6
60	T159N	12	3	45534.5	45532.8	45532.9	45549.7	45565.4	45532.8



2. Hasil Pembacaan Base Magnetometer

No	Waktu		Base (nT)
	Jam	Menit	
1	9	15	44698.8
2	11	38	44700.1
3	12	31	44695.2
4	10	7	44702.3
5	9	5	44697.7
6	9	54	44701.1
7	9	58	44687.5
8	10	7	44691.6
9	10	17	44701.4
10	10	31	44704
11	10	46	44704.4
12	11	3	44700.1
13	10	16	44689.6
14	10	32	44688.4
15	10	44	44687
16	11	1	44689.1
17	11	16	44698.3
18	9	40	44661.5
19	9	46	44661.5
20	9	55	44663.7
21	10	2	44664.5
22	14	52	44705.6
23	8	56	44684.8
24	16	11	44696.9
25	16	16	44698
26	10	54	44683.3
27	11	1	44681.8
28	11	6	44681.8
29	11	11	44685.5
30	11	19	44689.4
31	11	26	44689.1
32	11	31	44689.1
33	11	35	44688.6
34	11	40	44685.4
35	11	47	44683.8
36	11	52	44681.7
37	11	57	44681.1
38	12	38	44676.8
39	12	42	44675.9
40	12	45	44676.5
41	12	48	44676.5
42	12	51	44676.5
43	12	53	44671.9

44	12	55	44671.9
45	12	57	44671.9
46	13	10	44675.4
47	13	15	44676
48	13	22	44675.5
49	13	33	44676.3
50	13	54	44676.9
51	14	58	44676.5
52	14	1	44676.5
53	14	50	44673.5
54	15	56	44672.1
55	15	1	44669.7
56	15	9	44670.6
57	15	14	44669.9
58	10	31	44704
59	11	27	44700.7
60	12	3	44696.8

Lampiran 3 Data Hasil Koreksi Harian dan IGRF

No	H Rata-rata di lapangan(nT)	H di Basestation(nT)	Anomali (nT)
1	43907.9	44698.8	-790.9
2	46264.4	44700.1	1564.3
3	44979.9	44695.2	284.7
4	45401.8	44702.3	699.5
5	45288.1	44697.7	590.4
6	44712.9	44701.1	11.8
7	45044.2	44687.5	356.7
8	44855.3	44691.6	163.7
9	44926.4	44701.4	225
10	45344.5	44704	640.5
11	44870.4	44704.4	166
12	44804.9	44700.1	104.8
13	44826	44689.6	136.4
14	44913.9	44688.4	225.5
15	45128.6	44687	441.6
16	45169.7	44689.1	480.6
17	45056.3	44698.3	358
18	44374.1	44661.5	-287.4
19	45294.1	44661.5	632.6
20	45507.4	44663.7	843.7
21	44887.8	44664.5	223.3
22	44530.5	44705.6	-175.1

23	44920.6	44684.8	235.8
24	44764.4	44696.9	67.5
25	44751.5	44698	53.5
26	45170.5	44683.3	487.2
27	45351.2	44681.8	669.4
28	45045.4	44681.8	363.6
29	44725.7	44685.5	40.2
30	44725.7	44689.4	36.3
31	45390	44689.1	700.9
32	45108	44689.1	418.9
33	45088.5	44688.6	399.9
34	45169.2	44685.4	483.8
35	44134.9	44683.8	-548.9
36	44852	44681.7	170.3
37	44923.5	44681.1	242.4
38	45115	44676.8	438.2
39	44810.3	44675.9	134.4
40	44890.8	44676.5	214.3
41	44754	44676.5	77.5
42	44857.5	44676.5	181
43	44721.1	44671.9	49.2
44	44919.9	44671.9	248
45	44614.7	44671.9	-57.2
46	44830.1	44675.4	154.7
47	44859.3	44676	183.3
48	44260.1	44675.5	-415.4
49	45252.6	44676.3	576.3
50	45036.1	44676.9	359.2
51	45435.4	44676.5	758.9
52	45200.3	44676.5	523.8
53	44950	44673.5	276.5
54	44934.6	44672.1	262.5
55	45340.7	44669.7	671
56	44957.4	44670.6	286.8
57	45133.6	44669.9	463.7
58	45344.5	44704	640.5
59	45076.6	44700.7	375.9
60	45532.8	44696.8	836

Lampiran 4 Data Masukan untuk Sofwara *Surfer 11*

No	X (Bujur (UTM))	Y (Lintang (UTM))
1	760907.15	9120766.14
2	761836.9	9121490.08
3	762599	9120064.44
4	762163.92	9120194.4
5	761561.71	9120187.8
6	761209.77	9120003.48
7	763387	9121912.7
8	762887.35	9122058.1
9	762265.96	9120713.31
10	762535.88	9121192.08
11	762419.38	9121543.64
12	762585.79	9121526.83
13	762343.22	9122180.6
14	763557.67	9122585.13
15	762962.63	9123006.13
16	761762.68	9122862.31
17	761300.14	9123036.57
18	760541	9120722.09
19	760428.86	9120980.53
20	760391.27	9121352.51
21	760618.55	9121939.86
22	763635.18	9121984.3
23	763583.05	9120808.52
24	763181.48	9119959.62
25	763354.55	9120093.17
26	762431.47	9121125.29
27	762534.64	9121187.33
28	762608.41	9121278.2
29	762685.49	9121273.11
30	762574.6	9121286.68
31	762565.11	9121383.88
32	762511.92	9121495.72
33	762426.98	9121609.74
34	762443.07	9121684.22
35	762426.63	9121510.71
36	762326.76	9121485.83
37	762246.4	9121437.61
38	762488.27	9121334.87
39	762484.66	9121321.28
40	762466.83	9121307.78

41	762440.42	9121299.96
42	762414.7	9121297.34
43	762402.14	9121300.07
44	762383.86	9121304.71
45	762368.82	9121317.75
46	762481.65	9121257.9
47	762531.01	9121246.22
48	762561.01	9121265.41
49	762445.02	9121160.4
50	762407.14	9121076.2
51	762343.89	9121068.48
52	762267.42	9121063.95
53	762199.08	9121130.06
54	762150.16	9121294.1
55	762177.09	9121373.72
56	762151.66	9121208.78
57	762266.52	9121252.61
58	762535.88	9121192.08
59	762118.22	9121303.03
60	761762.93	9120863.69

Lampiran 5 Data Masukan untuk Software *Mag2dc*

1. Data Hasil Digitasi Lintasan AB yang Telah Dikonversi dari Peta Kontur Anomali Lokal

No	X (Jarak Lintasan(m))	Y (Nilai Anomali Lokal (nT))
1	0	-254.213
2	4.955142	-257.301
3	15.30721	-263.719
4	50.49793	-286.738
5	62.43553	-294.774
6	96.04072	-318.932
7	109.5639	-329.132
8	141.5835	-354.994
9	156.6922	-367.781
10	187.1263	-395.416
11	203.8205	-411.203
12	232.6691	-440.271
13	250.9488	-459.563
14	278.2119	-489.346
15	298.0771	-511.764
16	323.7547	-540.031

17	345.2055	-562.144
18	369.2975	-587.725
19	392.3338	-611.267
20	414.8402	-635.571
21	439.4621	-661.915
22	460.383	-684.607
23	486.5904	-713.323
24	505.9258	-733.708
25	533.7187	-764.8
26	551.4686	-781.975
27	580.8471	-814.423
28	597.0114	-822.522
29	627.9754	-821.386
30	642.5542	-808.758
31	675.1037	-750.557
32	688.097	-729.281
33	722.232	-663.795
34	733.6398	-642.885
35	769.3603	-572.901
36	779.1825	-553.452
37	816.4886	-478.328
38	824.7253	-461.211
39	863.617	-382.417
40	870.2681	-368.656
41	910.7453	-289.129
42	915.8109	-279.305
43	957.8736	-205.098
44	961.3537	-198.982
45	1005.002	-128.438
46	1006.896	-125.418
47	1052.13	-59.2102
48	1052.439	-58.769
49	1097.982	1.170115
50	1099.259	2.705549
51	1143.525	54.61937
52	1146.387	57.69268
53	1189.068	102.7419
54	1193.515	107.0403
55	1234.61	145.515
56	1240.644	150.6571
57	1280.153	184.0795
58	1287.772	190.2058
59	1325.696	221.191

60	1334.9	228.5892
61	1371.239	257.9526
62	1382.028	266.8817
63	1416.782	295.4019
64	1429.157	305.9018
65	1462.324	333.2877
66	1476.285	343.935
67	1507.867	365.9776
68	1523.413	365.4889
69	1553.41	338.6073
70	1570.542	327.4375
71	1598.953	303.3784
72	1617.67	290.9615
73	1644.496	271.2698
74	1664.798	259.1238
75	1690.038	244.2438
76	1711.927	233.129
77	1735.581	222.5454
78	1759.055	213.1099
79	1781.124	205.6394
80	1806.183	200.0915
81	1826.667	199.0525
82	1853.312	200.1633
83	1872.209	203.0423
84	1900.44	208.2097
85	1917.752	212.5534
86	1947.568	220.8179
87	1963.295	226.6771
88	1994.697	237.9624
89	2008.838	245.0252
90	2041.825	258.6049
91	2054.381	265.9337
92	2088.953	276.7707
93	2099.923	279.9098
94	2136.082	271.8091
95	2145.466	266.2225
96	2183.21	243.3569
97	2191.009	237.9337
98	2230.338	211.2388
99	2236.552	206.8678
100	2277.467	178.3341
101	2282.095	175.0551
102	2324.595	145.2089

103	2327.637	143.0725
104	2371.723	112.4946
105	2373.18	111.5033
106	2418.723	81.41249
107	2418.852	81.32842
108	2464.266	53.95659
109	2465.98	52.92587
110	2466.743	52.50733

2. Data Hasil Digitasi Lintasan CD yang telah Dikonversi dari Peta Kontur Anomali Lokal

No	X (JarakLintasan(m))	Y (Nilai Anomali Lokal (nT))
1	0	104.185793881
2	29.84107143	112.22622441
3	62.6077380967	122.822269811
4	95.3744047635	133.240668327
5	128.14107143	139.664731301
6	160.907738097	146.989931751
7	226.44107143	165.133004028
8	259.207738097	175.957485289
9	291.974404763	188.38987702
10	324.74107143	210.910295785
11	357.507738097	240.614624701
12	390.274404763	270.540371852
13	423.04107143	299.601862178
14	455.807738097	326.95574397
15	488.574404763	351.196786112
16	521.34107143	367.005678242
17	554.107738097	336.25845057
18	586.874404763	296.616465147
19	619.64107143	252.918419295
20	652.407738097	206.249110787
21	685.174404763	157.393107606
22	717.94107143	108.318430426
23	750.707738097	87.5111534575
24	783.474404763	107.60100265
25	816.24107143	129.825019084
26	849.007738097	152.775626028
27	881.774404763	176.707459848
28	914.54107143	201.899790089
29	947.307738097	227.239931357

30	980.074404763	227.111080044
31	1012.84107143	219.104175724
32	1045.6077381	210.168007422
33	1078.37440476	199.088819773
34	1111.14107143	184.276581236
35	1143.9077381	165.628104426
36	1176.67440476	161.723456134
37	1209.44107143	215.599828783
38	1242.2077381	270.575335543
39	1274.97440476	326.169305594
40	1307.74107143	385.051738406
41	1340.5077381	449.569980125
42	1373.27440476	516.318879943
43	1406.04107143	466.074778378
44	1438.8077381	336.293001513
45	1471.57440476	210.39433981
46	1504.34107143	89.7934721436
47	1537.1077381	-28.0059930049
48	1569.87440476	-144.48232892
49	1602.64107143	-245.196645913
50	1635.4077381	-191.056264436
51	1668.17440476	-123.6105612
52	1700.94107143	-59.8882880743
53	1733.7077381	-0.956750119554
54	1766.47440476	54.0620891073
55	1799.24107143	104.25524301
56	1832.0077381	114.928809788
57	1864.77440476	71.0490820896
58	1897.54107143	24.3434820971
59	1930.3077381	-21.69301084
60	1963.07440476	-66.1635803075
61	1995.84107143	-108.140989823
62	2028.6077381	-145.333458417
63	2061.37440476	-144.382952453
64	2094.14107143	-129.930136258
65	2126.9077381	-113.512207686
66	2159.67440476	-96.4944522132
67	2192.44107143	-80.0643429631
68	2225.2077381	-65.2895204078
69	2257.97440476	-59.0421184195
70	2290.74107143	-76.0521959976
71	2323.5077381	-95.5876807579
72	2356.27440476	-115.701523933

73	2389.04107143	-135.180202253
74	2421.8077381	-152.857830162
75	2454.57440476	-166.642380918
76	2487.34107143	-154.662002015
77	2520.1077381	-123.520764034
78	2552.87440476	-88.9721173072
79	2585.64107143	-52.6439530321
80	2618.4077381	-15.7096458149
81	2651.17440476	20.899203785
82	2671.74595865	41.535666923

3. Data Hasil Digitasi Lintasan EF yang Telah Dikonversi dari Peta Kontur Anomali Lokal

No	X (Jarak Lintasan (m))	Y (Nilai Anomali Lokal (nT))
1	0	-58.2867
2	19.14479	-52.9745
3	51.87967	-43.8918
4	84.61456	-35.7577
5	117.3494	-28.8142
6	150.0843	-22.9965
7	182.8192	-18.9364
8	215.5541	-21.117
9	248.289	-26.8749
10	281.0239	-33.8516
11	313.7587	-41.7982
12	346.4936	-50.4835
13	379.2285	-59.687
14	411.9634	-65.988
15	444.6983	-69.0027
16	477.4332	-71.8523
17	510.168	-74.7936
18	542.9029	-77.6159
19	575.6378	-80.2447
20	608.3727	-83.291
21	641.1076	-88.577
22	673.8425	-94.1983
23	706.5773	-100.438
24	739.3122	-107.719
25	772.0471	-116.285
26	804.782	-124.997
27	837.5169	-111.971

28	870.2518	-97.6021
29	902.9866	-85.0794
30	935.7215	-74.5992
31	968.4564	-66.1206
32	1001.191	-59.9202
33	1033.926	-62.9133
34	1066.661	-71.6395
35	1099.396	-82.0639
36	1132.131	-93.6254
37	1164.866	-105.966
38	1197.601	-117.64
39	1230.335	-105.153
40	1263.07	-57.2334
41	1295.805	-6.28436
42	1328.54	46.98961
43	1361.275	102.7158
44	1394.01	160.247
45	1426.745	200.6126
46	1459.48	143.0398
47	1492.215	79.73248
48	1524.949	11.02424
49	1557.684	-66.1918
50	1590.419	-154.604
51	1623.154	-252.218
52	1655.889	-196.371
53	1688.624	-123.139
54	1721.359	-60.9668
55	1754.094	-7.76042
56	1786.829	40.25627
57	1819.563	85.90715
58	1852.298	96.56238
59	1885.033	85.00613
60	1917.768	76.17437
61	1950.503	70.0329
62	1983.238	65.95293
63	2015.973	62.94713
64	2048.708	57.41169
65	2081.442	45.66529
66	2114.177	34.10491
67	2146.912	22.85294
68	2179.647	12.54531
69	2212.382	3.669835
70	2245.117	-3.4726

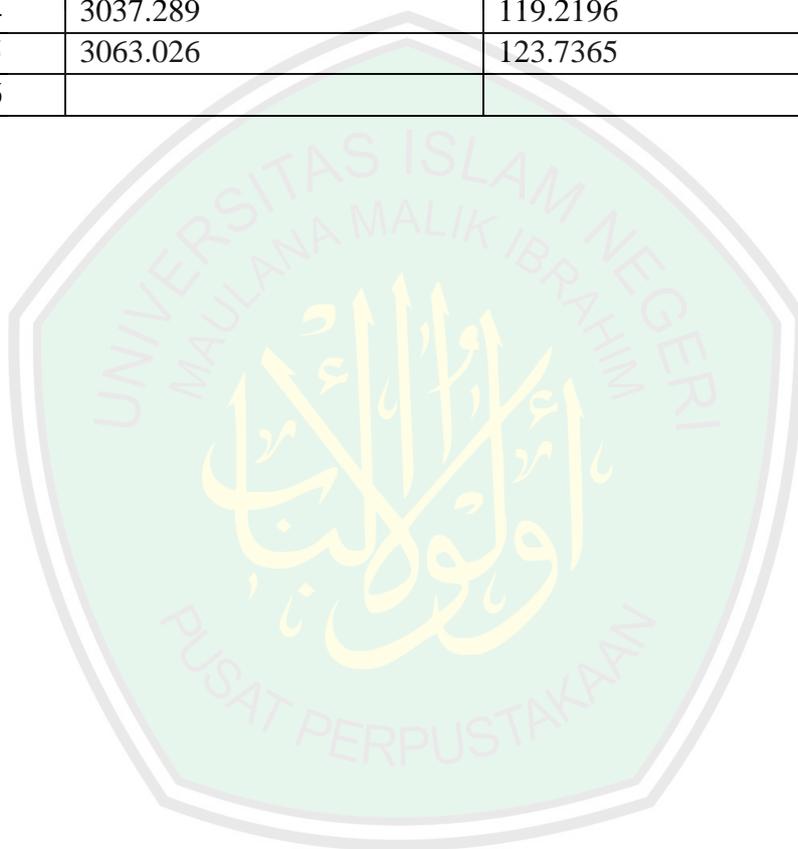
71	2277.852	-8.11788
72	2310.587	-10.5858
73	2343.322	-11.1962
74	2376.056	-10.0649
75	2408.791	-7.40053
76	2441.526	-3.39527
77	2474.261	2.851508
78	2486.46	5.61595
79	2506.996	10.26671
80	2539.731	18.16531
81	2572.466	26.27254
82	2605.201	34.50617
83	2637.935	42.47915
84	2670.67	48.15417
85	2703.405	51.56748
86	2736.14	54.69542
87	2768.875	57.58794
88	2801.61	60.27749
89	2834.345	63.03035
90	2867.08	67.34458
91	2899.815	75.68775
92	2932.549	84.30632
93	2965.284	93.07657
94	2998.019	101.889
95	3030.754	110.7455
96	3039.006	112.9664

4. Data Hasil Digitasi Lintasan GH yang Telah Dikonversi dari Peta Kontur Anomali Lokal

No	X (Jarak Lintasan (m))	Y (Nilai Anomali Lokal (nT))
1	0	-48.6092
2	25.73713	-44.283
3	58.47139	-38.204
4	91.20565	-32.8219
5	123.9399	-28.4392
6	156.6742	-25.3008
7	189.4084	-24.0763
8	222.1427	-25.6992
9	254.877	-29.8133
10	287.6112	-35.3668
11	320.3455	-41.8063
12	353.0797	-48.7947
13	385.814	-55.7857
14	418.5483	-61.7183
15	451.2825	-66.3121
16	484.0168	-70.3783
17	516.751	-74.177
18	549.4853	-77.5696
19	582.2196	-80.3687
20	614.9538	-82.8861
21	647.6881	-85.3408
22	680.4223	-87.6135
23	713.1566	-89.8073
24	745.8909	-92.2235
25	778.6251	-94.4431
26	811.3594	-94.0553
27	844.0936	-87.8152
28	876.8279	-78.7044
29	909.5622	-69.982
30	942.2964	-62.5995
31	975.0307	-57.1461
32	1007.765	-54.5619
33	1040.499	-56.3801
34	1073.233	-61.9061
35	1105.968	-69.2557
36	1138.702	-77.1159
37	1171.436	-83.597
38	1204.171	-84.5014
39	1236.905	-70.9286

40	1269.639	-40.6405
41	1302.373	-2.17209
42	1335.108	39.78637
43	1367.842	82.58642
44	1400.576	120.5975
45	1433.31	138.8171
46	1466.045	124.7812
47	1498.779	92.64256
48	1531.513	51.74926
49	1564.247	4.436601
50	1596.982	-45.3287
51	1629.716	-80.2081
52	1662.45	-73.3505
53	1695.184	-42.746
54	1727.919	-10.7735
55	1760.653	17.36145
56	1793.387	41.82639
57	1826.121	61.46102
58	1858.856	69.62964
59	1891.59	68.97321
60	1924.324	67.70825
61	1957.059	67.93393
62	1989.793	68.60029
63	2022.527	67.70248
64	2055.261	63.07483
65	2087.996	53.62702
66	2120.73	41.45389
67	2153.464	28.10855
68	2186.198	15.21111
69	2218.933	3.944554
70	2251.667	-4.86703
71	2284.401	-10.5516
72	2317.135	-13.2199
73	2349.87	-13.2435
74	2382.604	-11.0499
75	2415.338	-6.98129
76	2448.072	-1.09112
77	2480.807	6.53803
78	2513.541	15.52809
79	2546.275	25.11031
80	2579.009	34.94684
81	2611.744	44.57401
82	2644.478	53.46914

83	2677.212	60.81803
84	2709.946	66.44577
85	2742.681	71.1194
86	2775.415	75.21442
87	2808.149	78.90699
88	2840.884	82.62002
89	2873.618	87.28229
90	2906.352	93.22946
91	2939.086	99.7342
92	2971.821	106.3192
93	3004.555	112.8561
94	3037.289	119.2196
95	3063.026	123.7365
96		

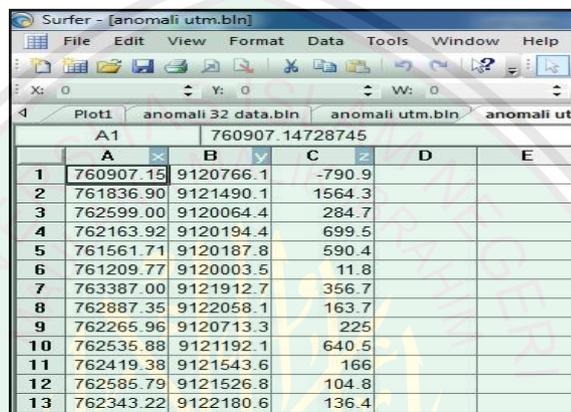


Lampiran 6 Tahap Pengolahan Data

1. Pembuatan Kontur

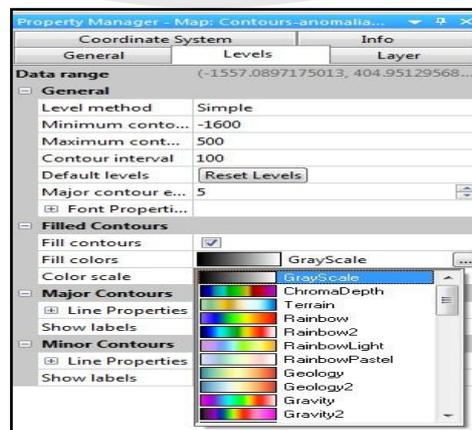
Setelah diperoleh variasi harian dan anomali medan magnetnya, kemudian dibuat kontur dengan menggunakan *Software Surfer* Langkah-langkah pembuatan kontur sebagai berikut:

- 1) Surfer dibuka kemudian File → New → Workshet
- 2) Pada kolom X diisi dengan Koordinat x (bujur), kolom Y koordinat y (Lintang), Z diisi dengan nilai medan magnet total, dan kolom line untuk nama tiap lintasan



	A	B	C	D	E
	760907.15	9120766.1	-790.9		
1	761836.90	9121490.1	1564.3		
2	762599.00	9120064.4	284.7		
3	762163.92	9120194.4	699.5		
4	761561.71	9120187.8	590.4		
5	761209.77	9120003.5	11.8		
6	763387.00	9121912.7	356.7		
7	762887.35	9122058.1	163.7		
8	762265.96	9120713.3	225		
9	762535.88	9121192.1	640.5		
10	762419.38	9121543.6	166		
11	762585.79	9121526.8	104.8		
12	762343.22	9122180.6	136.4		
13					

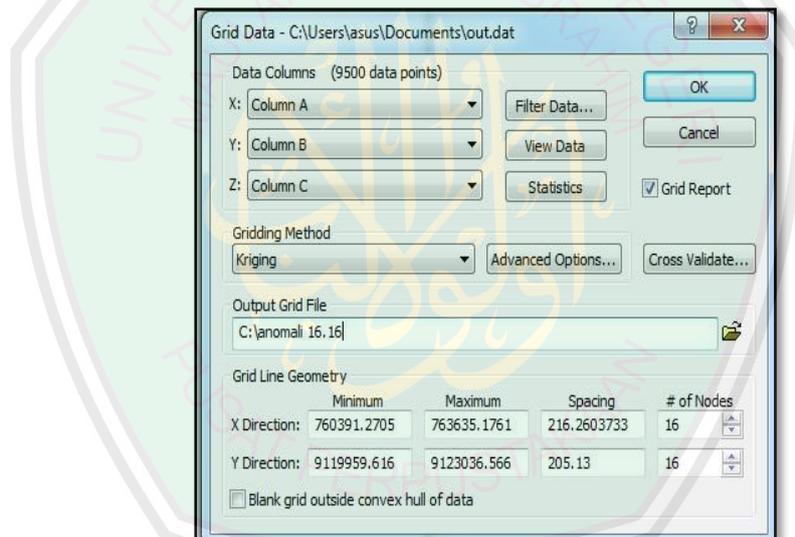
- 3) Save dalam extension (file type) ‘ BLN Golden Software Blanking’.
- 4) Grid → Data → Data Lokasi (x,y,z) → ok → maka menghasilkan file tipe GRD
- 5) Save Grid Data Report
- 6) map → Contour Map → New Contour Map → Open data hasil Grid
- 7) Pada Properties Manager diklik tab Level → Fill Color →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



2. Langkah Reduksi Bidang Datar

Suatu metode yang dapat dipergunakan untuk membawa data anomali magnetik hasil observasi yang masih terdistribusi di bidang yang tidak horizontal (misalnya bidang topografi) ke bidang horizontal adalah melalui pendekatan deret Taylor. Secara teknik formulasi pendekatan deret Taylor dalam penelitian ini dijalankan menggunakan program *Watfor 7*, dengan langkah sebagai berikut:

- 1) Dibuka software *Surfer11* kemudian *file* → *Ne* → *worksheet*
- 2) Kolom A di isi dengan Bujur (UTM), kolom B di isi dengan Lintang (UTM) dan kolom C di isi dengan nilai medan magnet total yang sudah dikoreksi harian dan IGRF
- 3) *Grid* → *Data lintang, bujur dan anomali* → dicatat spasi minimum dan maximum (x dan y) sebagai masukan di program *watfor 77* → *ok* → maka didapat file dalam bentuk *grd*



- 4) Klik *file* → *open file (*grd)* yang telah disimpan
- 5) *Save* dalam bentuk (**dat*).
- 6) Buka file (**dat*) di *worksheet* → *Save* nilai anomali (di kolom C) sebanyak 4 kali sebagai masukan deprogram *watfor 77*
- 7) ulangi langkah 2-6 untuk data topografi → disimpan 1 kali juga sebagai masukan di program *watfor77* seperti berikut:

```

WATFOR77
return
end
C
C -----
C Program Utama
C
dimension grid(256),data(256),dati(256),datu(256)
dimension store(2*256),A(256),B(256),C(256),D(256)
dimension tgg(256)
real grid,store,tgg,A,B,C,D,data,dati,datu
open(1,file='ano1.txt')
open(3,file='ano2.txt')
open(5,file='ano3.txt')
open(7,file='ano4.txt')
open(9,file='to.txt')
open(11,file='taylor1616.txt')
n=256
do 100 i=1,n
  read(1,*)grid(i)
100 continue
do 140 i=1,n
  read(3,*)data(i)
(330,1,41019) WATFOR-77 PC/DOS
F1:Pg↑ 2:Pg↓ 3:L↑ 4:L↓ 5:LIns 6:LDel 7:Select/Deselect 8:Cut 9:Scrn/Cmd 10:Help

```

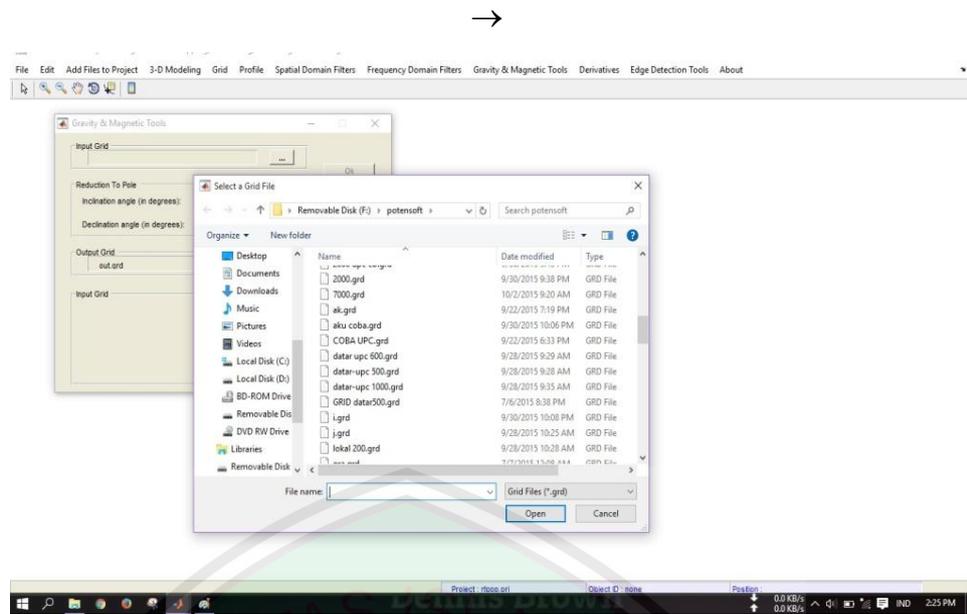
8) Didapatkan hasil berupa nilai anomaly (z) yang sudah terdistribusi ke bidang datar- selanjutnya data x,y, dan z di plot dengan surfer 11 untuk mengetahui sebaran anomalnya.

3. Langkah Reduksi Ke Kutub

1) Buka Potenshoft→file new Project→ Gravity Mgnetic tols→klik reduction to pole

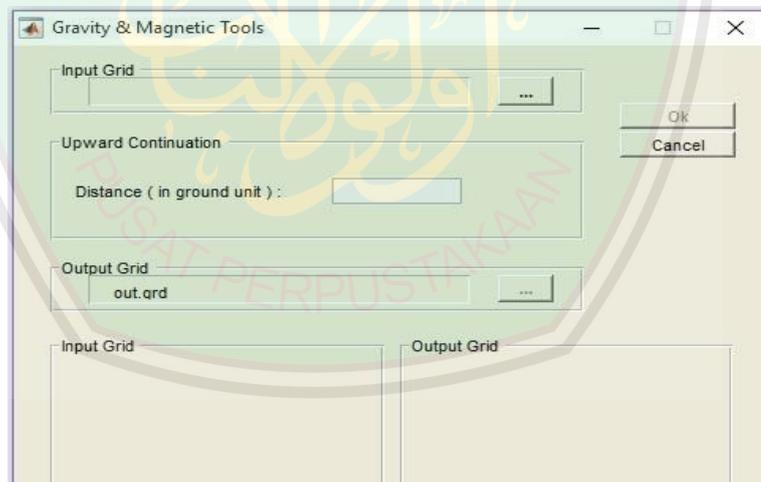


2) Input Grid diisi dengan file yang sudah di reduksi bidang datar (*grd) → Diisi inklinasi dan deklinasi pada kondisi di kutub- ubah nama output grid- ok



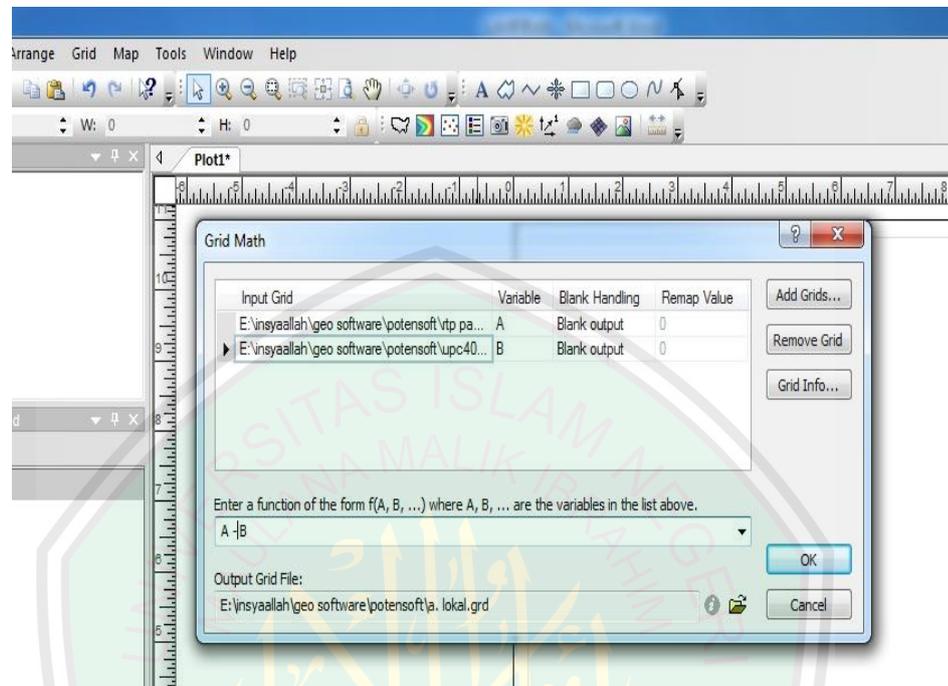
4. Langkah Kontinuasi ke Atas

- 1) Open Photensoft- file new Project new Project → Gravity Mgnetic tols → Gravity Mgnetic tols → klik upward continuation



- 2). Input Grid diisi file yang sudah di Reduksi ke kutub (*.grd) → Distance (in ground unit) diisi dengan nilai ketinggian menurut keinginan dan tergantung dari efek yang ingin dihilangkan dan tidak sampai menghilangkan efek anomali yang penting sehingga menyebabkan kehilangan informasi mengenai daerah tersebut. → ok
- 3) Hasil kontinuasi tersebut didapatkan anomali regional

- 4) Anomali lokal dapat dicari dengan membuka surfer 11 → Klik Math → memasukkan hasil Reduksi ke kutub ke variable A, dan variable B diisi dengan anomaly local yang sudah didapatkan. → Mengurangkan variable A dengan variabel B → ok → save

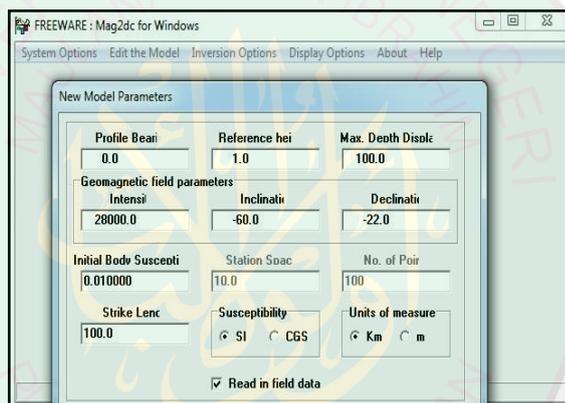


- 5) Hasil yang sudah disave di buka di surfer 11 → didapatkan anomaly lokal daerah penelitian

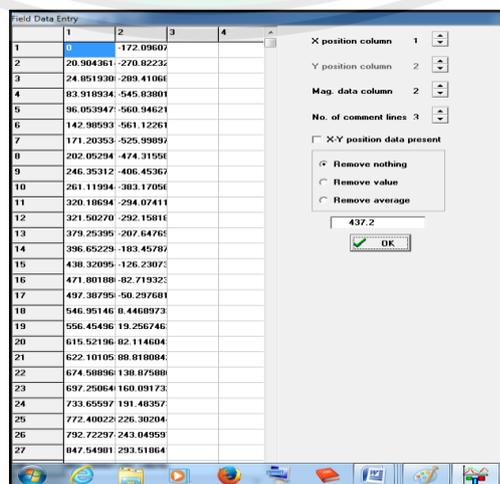
5. Pembuatan Slice dan Pemodelan

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

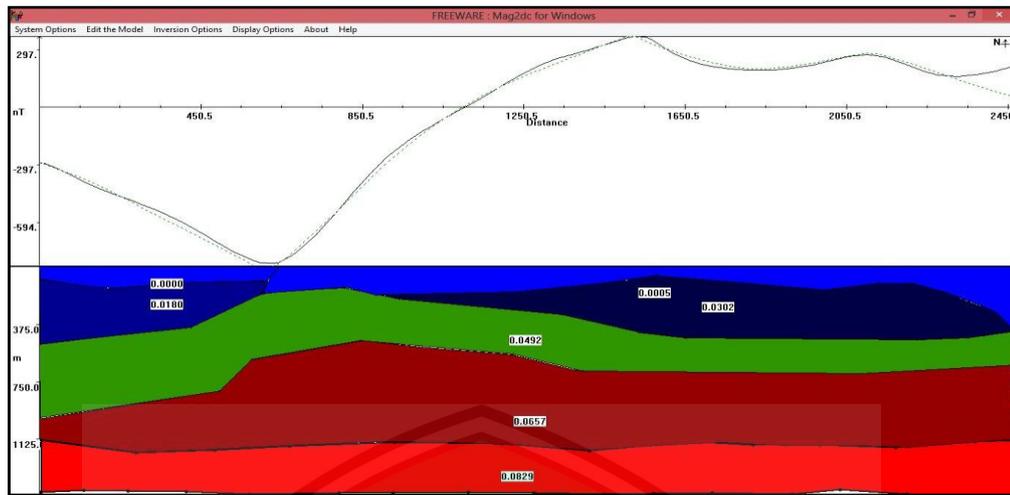
- 1) *Map* → *Contour map* → *downward 6.grd* → dibuat berwarna.
- 2) *Map* → *Digitize* → *File* → *save as* (misal: *Slice AB.blm*)
- 3) *Grid* → *Slice* → peta konturnya (*downward6.grd*) → *Slice AB.blm* → *Ok* → *output .dat* dan *.blm* dirubah nama (misal. *Slice A.blm* dan *Slice A .dat*) → *Ok*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

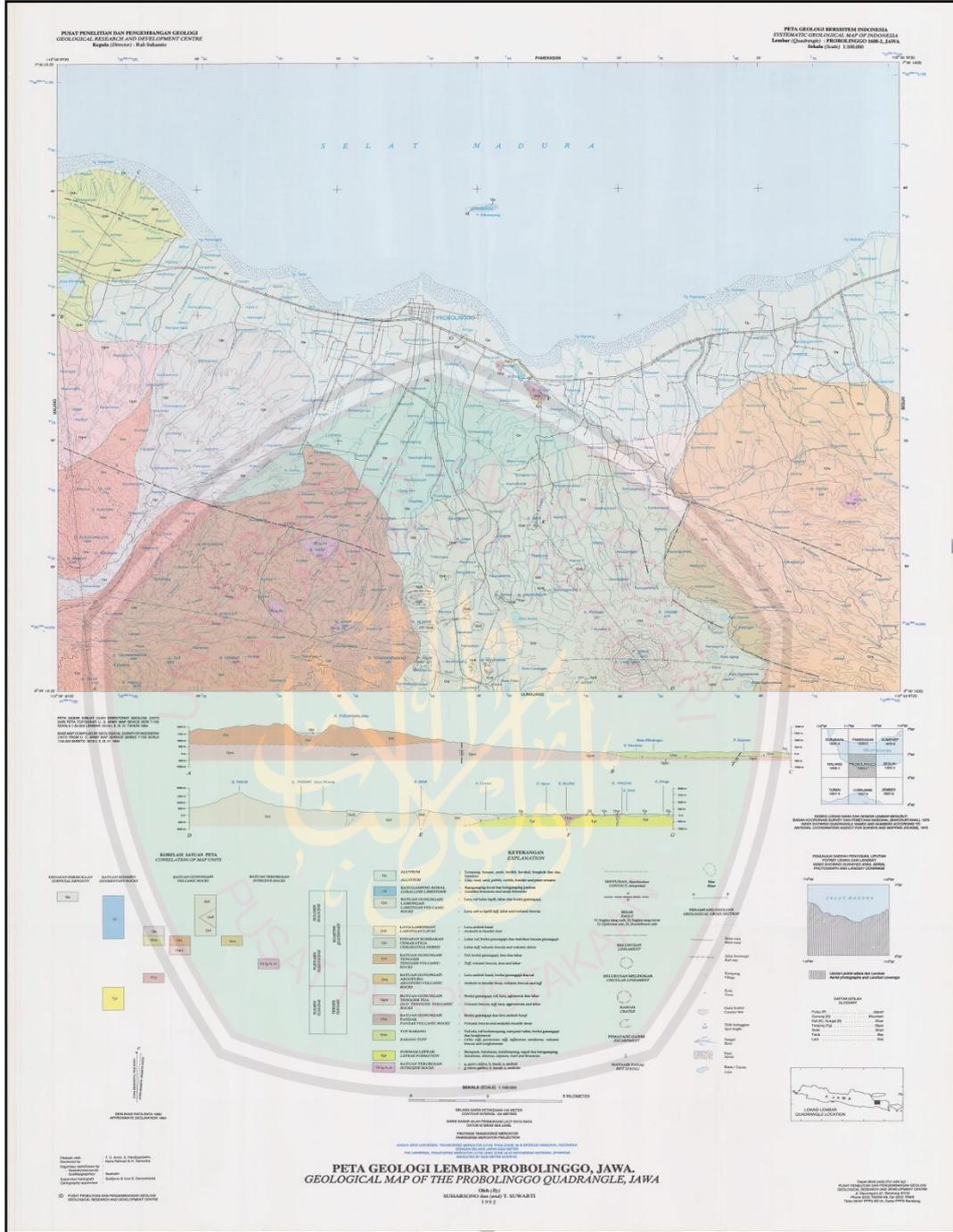


7) Model dibuat hingga menyerupai garis awal.



8) Data yang dihasilkan melalui proses di atas adalah data final yang sudah terkoreksi. Dari hasil data tersebut kita bias 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 7 Peta Geologi Lembar Probolinggo



Lampiran 8 Dokumentasi Penelitian



Gambar 1 Gunung Lamongan



Gambar 2 Peta Lokasi



Gambar 3 Pemasangan Base Magnetometer



Gambar 4 Di atas Tebing Ranu Gedang



Gambar 5 Pengukuran di Lapangan dengan Field Magnetometer



Gambar 7 Tim Akuisisi melakukan Pengukuran di Tepi Ranu Gedang



(a)



(b)

Gambar 8 Intrumentasi utama yang digunakan dalam penelitian metode geomagnetik
Base Magnetometer (a). dan *Field Magnetometer* (b)