

**APLIKASI METODE GEOMAGNETIK UNTUK
MENGETAHUI STRUKTUR GEOLOGI BAWAH
PERMUKAAN RANU SEGARAN DUWES, KECAMATAN
TIRIS KABUPATEN PROBOLINGGO PROVINSI JAWA
TIMUR**

SKRIPSI

Oleh:

ISNA LAILY JUANITA

NIM. 11640001



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

**APLIKASI METODE GEOMAGNETIK UNTUK MENGETAHUI
STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN RANU SEGARAN
DUWES, KECAMATAN TIRIS KABUPATEN PROBOLINGGO
PROVINSI JAWA TIMUR**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

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

Oleh:

ISNA LAILY JUANITA

NIM. 11640001

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

APLIKASI METODE GEOMAGNETIK UNTUK MENGETAHUI STRUKTUR
GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN RANU SEGARAN DUWES,
KECAMATAN TIRIS KABUPATEN PROBOLINGGO PROVINSI JAWA
TIMUR

SKRIPSI

Oleh:

ISNA LAILY JUANITA

NIM. 11640001

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada tanggal: Juni 2016

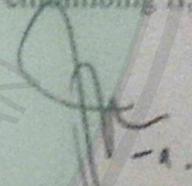
Pembimbing I,



Irian, M.Si

Nip. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II,



Umaiyatus Syarifah, M.A

NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,

Ketua Jurusan



Erna Hastuti, M. Si

NIP. 198111192008012009

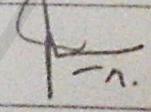
HALAMAN PENGESAHAN

APLIKASI METODE GEOMAGNETIK UNTUK MENGETAHUI STRUKTUR
GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN RANU SEGARAN DUWES,
KECAMATAN TIRIS KABUPATEN PROBOLINGGO PROVINSI JAWA
TIMUR

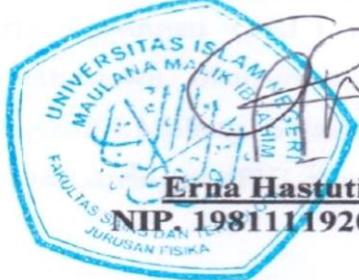
SKRIPSI

Oleh:
ISNA LAILY JUANITA
NIM.11640001

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: Juni 2016

Penguji Utama	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199403 1 003	
Ketua Penguji	: <u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji	: <u>Irfan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	: <u>Umairatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengetahui,
Ketua Jurusan



Erna Hastuti, M. Si
NIP. 198111192008012009

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ISNA LAILY JUANITA
NIM : 11640001
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Aplikasi Metode Geomagnetik untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan Ranu Segaran Duwes Kec. Tiris, Kab. Probolinggo, Prov. Jawa Timur

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

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



MOTTO

Lakonnah lakonih, kennengennah kennengih

الم نجعل الارض كفاتا، احياء و امواتا



HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji Syukur kepada Allah SWT atas segala taufik, hidayah serta rahmat Nya sehingga saya bisa terlahir dalam keadaan Islam dan In Syaa Allah akan mati dalam keadaan Islam. Sholawat dan salam semoga senantiasa tercurah limpahkan kepada Nabi Agung, Muhammad SAW, tanpa beliau PASTI kita tidak mengenal Islam.

Skripsi ini untuk kedua orang tua Ane tercinta, Bapak paling Tatak se-Dunia, **H. Cipto Harsono** dan Emmak paling Helap se-Dunia **Hj.Sukimah**. Mator Sakalangkong. Uhibbukum fillah ☺

Terima kasih yang tak terhingga buat guru-guruku dan dosen-dosenku, terutama pembimbingku (Alm. Novi Avisena, M.Si, Bpk Irjan, M.Si dan Ibu Umaiatus Syarifah, MA) yang tak pernah lelah dan sabar memberikan bimbingan dan arahan kepadaku. Serta bapak dan ibu dosen yang sangat menginspirasi, 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.T, dan Bpk Tirono, M.Si).

Untuk mbak **Retno Yulia Hartini**, maaf ya, selama ini ane belum bisa jadi adek yang baik buat Ente. Buat Dik **Tulus Kurniawan Pramono Putra**, akhirnya mbak mu ini WISUDAAA. Semoga Ente jadi cowok idaman Islam ya boy ☺

Terima kasih buat tim akuisisi yang telah membantu dari Geofisika UIN Malang Geofisika UNEJ (umiek, oby, dery, dan K Jun), Mb dan K geofisika UGM (mb Galuh, Mb Arum, Mb Ninik, dan K Towok) dan asisten K Ce2p

Buat kancan geofisika yang selalu membantu, berbagi keceriaan. (K Iqbal, K **TAUFIK**, Mb sofi, K Pendi, Mb Masdan, Mb Nita, Mb Dina, Mb Izati, ka Munir, ka Yasin, Mas Amin, Mas Faisol, Sulung Zain, icha, Mb Bro Zahro, Aji, Bahar, Nasich, Siro, Syifa', Atho', **WAWA**, Hani, Nuris, Nida), semoga kita bisa bercanda kembali di JannahNya kelak. aamiin

Terima kasih juga Ane persembahkan kepada Ca-kanca fisika'11

Terimakasih juga buat temen-temen seperjuangan, MHTI Chapter UIN Malang. Gentong, makasii banyak ya. Lessoh itu ganteng ☺

**

By: Bintu Harsono

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran 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 Aplikasi Metode Geomagnetik untuk mengetahui struktur bawah permukaan ranu segaran Duwes kec.Tiris, Kab.Proboliggo, Prov. Jawa Timur, disusun dalam rangka menyelesaikan tugas akhir/ skripsi yang merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) Jurusan 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, Irjan, M.Si dan Umaiyatus 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, Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gunung dalam Perspektif al-Quran	6
2.2 Penelitian Terdahulu	7
2.3 Proses Terbentuknya Gunung	10
2.4 Susunan Gunung Api	14
2.5 Medan Magnet Bumi	17
2.6 Teori Dasar Magnetik	26
2.6.1 Medan Magnetik	28
2.6.2 Momen Magnetik	28
2.6.3 Intensitas Magnetik	29
2.6.4 Suseptibilitas Magnetik	29
2.6.5 Induksi Magnetik	35
2.6.6 Potensial Magnetik	35
2.7 Koreksi Data Magnetik	36
2.8 Transformasi Medan	37
2.8.1 Kontinuasi ke Atas	37
2.8.2 Reduksi ke Kutub	39
2.9 Eksplorasi dengan Metode Magnetik	40
2.10 Magnetometer	41
2.11 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian	45
2.11.1 Fisiografi dan Morfologi	45
2.11.2 Stratigrafi	46
2.11.3 Struktur dan Sejarah Geologi	48
BAB III METODE PENELITIAN	

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	51
3.2 Data Penelitian.....	51
3.3 Alat Penelitian	52
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	52
3.4.1 Akuisisi Data	53
3.4.2 Tahap Pengolahan Data	53
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pengolahan	60
4.1.1 Pengolahan Data Awal.....	60
4.1.2 Reduksi ke Bidang Datar	65
4.1.3 Reduksi ke Kutub	66
4.1.4 Kontinuasi ke Atas.....	66
4.2 Interpretasi Kualitatif.....	72
4.3 Interpretasi Kuantitatif.....	72
4.3.1 Lintasan AB	72
4.3.2 Lintasan CD	76
4.3.3 Lintasan EF	80
4.4 Pemodelan Struktur Bawah Permukaan dalam Pandangan al-Quran.....	85
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Terbentuknya Gunung Api.....	11
Gambar 2.2 Jalur Terbentuknya Gunung Api	11
Gambar 2.3 Medan Magnet Bumi	17
Gambar 2.4 Pengaruh Inklinasi Benda	20
Gambar 2.5 Unsur-Unsur Medan Magnet Bumi	21
Gambar 2.6 Medan Magnet Anomali	24
Gambar 2.7 Arah Polarisasi Ferromagnetik	32
Gambar 2.8 Arah Polarisasi Anti Ferromagnetik	33
Gambar 2.9 Arah Polarisasi Ferrimagnetik	33
Gambar 2.10 Arah polarisasi paramagnetik.....	34
Gambar 2.11 Arah Polarisasi Diamagnetik.....	34
Gambar 2.12 Potensial Magnetik.....	36
Gambar 2.13 Impuls Anomali Magnetik Sebelum dan Sesudah RTP.....	41
Gambar 2.14 Diagram Kotak PPM.....	43
Gambar 2.15 Peta Geologi Daerah Penelitian	46
Gambar 2.16 Peta Dasar Daerah Penelitian	47
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	51
Gambar 4.1 Peta Kontur Intensitas Medan Magnet Total	62
Gambar 4.2 Peta Kontur Kontur Topografi	63
Gambar 4.3 Peta Kontur Setelah Reduksi Bidang Datar	67
Gambar 4.4 Peta Kontur Anomali Regional	68
Gambar 4.5 Peta Kontur Anomali Lokal	69
Gambar 4.6 Peta Kontur Setelah Reduksi ke Kutub.....	71
Gambar 4.7 Peta Sayatan penampang Lintasan AB	74
Gambar 4.8 Peta Model Bawah Permukaan Lintasan AB.....	73
Gambar 4.9 Peta Sayatan Penampang Lintasan CD	76
Gambar 4.10 Peta Model Bawah Permukaan Lintasan CD.....	77
Gambar 4.11 Peta Sayatan Penampang Lintasan EF	81
Gambar 4.12 Peta Model Bawah Permukaan Lintasan EF.....	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Magnetik.....	31
Tabel 2.2 Suseptibilitas Pada Kuat Medan Magnet Tertentu.....	31



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Titik Pengukuran di Lapangan

Lampiran 2 Data Hasil Sayatan

Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian



ABSTRAK

Isna Laily Juanita. 2016. **Aplikasi Metode Geomagnet untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan Ranu Segaran Duwes Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Irjan, M.Si (II) Umayyatus Syarifah, M.A

Kata kunci: Gunung Lamongan, Ranu Segaran Duwes, Anomali medan magnet, Litologi batuan dan Struktur Geologi

Telah dilakukan survei magnetik untuk menduga model anomali magnetik bawah permukaan Ranu Segaran Duwes dan mengidentifikasi litologi batuan bawah permukaannya. Pengambilan data dilakukan pada 62 titik ukur yang tersebar pada daerah penelitian yang memiliki luas 12 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 500 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 Segaran Duwes. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan pemodelan benda anomali menggunakan program *Mag2DC for Windows*. Hasil dari interpretasi kuantitatif menunjukkan bahwa secara umum struktur bagian dalam Ranu Segaran Duwes tersusun oleh batuan vulkanik Gunung Lamongan dan Gunung Argopuro berupa basal, lava, breksi vulkanik, piroklastik/ tufa, lahar. Ranu Segaran Duwes berbentuk cekungan yang diduga terbentuk akibat letusan eksplosif.

ABSTRACT

Isna Laily Juanita. 2016. **Application of Geomagnetic For Modeling Subsurface Geological Structure Ranu Segaran Duwes Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo Provinsi Jawa Timur**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Advisor: (I) Irjan, M.Si (II) Umaiatus Syarifah, M.A

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

Magnetic survey was carried out to estimate the subsurface magnetic anomaly model in Ranu Segaran Duwes and to identify the lithological rocks in the subsurface. The data was collected on 62 measuring points spreaded on the research area that has 12 km² widths in measuring space 50 m up to 500m by using base magnetometer and field magnetometer. Data processing was started by correcting IGRF and diurnal variation to achieve anomaly of total magnetic area. Then, it was reduced the horizontal plane, reduction to the pole, the upward continuation to 500 m height above referential spheroid references to separate the local anomalies and regional anomalies. The results of qualitative interpretation indicated the presence of a dipole magnetic anomaly on the west and between location of Ranu Segaran Duwes. Quantitative interpretation is done by modelling the anomalous objects using *Mag2DC for Windows* program. The results of quantitative interpretation revealed that generally the inner core of Ranu Segaran Duwes composed by volcanic rocks of Lamongan volcano such as basalt, lava, volcanic breccia, pyroclastic/tuff, magma. Therefore, Ranu Segaran Duwes is a basin which formed due to the explosive eruption.

مستخلص البحث

اثنى ليلي جوا نيتا، تحليل البيانات "شذوذ الجاذبية" لوضع نموذج هيكل جيولوجيا تحت السطح "رانو سكاران دواس" (في ولاية سوكاران، منطقة S تيريس فروبوليغا)، 2016 م، البحث الجامعي، قسم فيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانج. المشرف الأول: أرجن الماجستير، والمشرفة الثانية: امية الشريفة الماجستير.

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

وقد تم اجريت دراسة استقصائية لتقدير نموذج من مغناطيسي تحت السطح رانو سكاران دواس ولتحديد صخور الصخرية تحت سطحها. واما يتم جمع البيانات في 62 نقطة القياس التي تنتشر في ميدان البحوث حوالي 12 كيلا مترا بقياس الفضاء 50 مترا حتى 500 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 الارتفاع 500 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 سكاران دواس ويتم تفسير الذي نمذجة الأجسام الشذوذ باستخدام برنامج Mag2DC for Windows. واما النتائج التفسير النوعي يدل أن بنية داخلية من رانو سكاران دواس تتكون من مادة في شكل البازلت، الحمم، بريشيا البركانية والطف الحمم.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negeri yang memiliki banyak kekayaan alam yang eksotis. Salah satunya adalah danau, atau masyarakat Jawa biasanya menyebut *ranu*. Danau merupakan cekungan yang merupakan genangan air yang sangat luas di daratan. Danau dapat dipandang sebagai tempat penampungan (reservoir) air tawar di darat pada ketinggian tertentu di atas permukaan laut yang bersumber dari mata air, air hujan, sungai, dan gletser. Klasifikasi danau berdasarkan proses terbentuknya dapat dibedakan menjadi dua, danau alami dan danau buatan. Danau alami terdiri dari danau tektonik, vulkanik, karst, gletser, dan tapal kuda (*Oxbow Lake*). Danau yang terbentuk melalui proses vulkanisme memiliki keindahan yang luar biasa walau kita tidak mengetahui apakah ada sesuatu yang mungkin membahayakan dibalik indahnya danau.

Gunung Lamongan merupakan sebuah gunung api yang cukup terkenal karena karakteristik yang dikelilingi oleh banyak maar, baik maar kering (*dry maar*) maupun yang telah terisi air dan menjadi danau (*water-filled maar*). Maar adalah manifestasi letusan freatomagmatik yang memiliki kaitan erat dengan aktivitas hidrovulkanisme (Sheridan dan Wohletz, 1983).

Maar memiliki karakteristik bentuk gunung api negatif, yakni membentuk suatu lubang dalam ke bawah permukaan dan dikelilingi oleh endapan hasil letusan berbentuk cincin. Struktur bagian dalam maar disebut *diatrema*, tersusun oleh material hasil letusan dan runtuhannya yang terjadi secara

episodik. Gunung api dengan bentuk negatif ini umumnya disebut sebagai *maar-diatreme* (White dan Ross, 2011).

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 gunung api berbutir halus hingga kasar, mempunyai diameter kawah bervariasi antara 100 – 3000 m, yang sering terisi air sehingga membentuk danau (Bronto, 2001; Cas & Wright, 1988). Maar-diatrem adalah fenomena gunung api yang banyak dicari dan menguntungkan dalam eksplorasi mineral maupun panas bumi, karena merupakan bukti nyata hadirnya suatu sistem hidrotermal, yang berpotensi menghasilkan endapan mineral dan energi panas bumi. Gunung Lamongan, seperti dinyatakan oleh Kemmerling (1922) dan Noll (1967) dalam Carn (1999), telah ditetapkan sebagai daerah tempat berkembangnya gunung api maar atau gunung api dengan topografi negatif. Pembentukan gunung api maar oleh Lorenz (1973) diperkirakan berhubungan dengan keadaan air tanah, litologi batuan dasar, dan pengaruh struktur rekahan. Gunung api *maar-diatreme* merupakan tipe gunung api terbanyak kedua yang muncul di permukaan bumi, dan umumnya ditemukan terletak di atas benua maupun kepulauan. Ranu Segaran Duwes dan danau kecil lain yang berada di sekitar Gunung Lamongan merupakan bukti adanya perkembangan maar yang mengindikasikan adanya aktivitas magmatik dan kontak magma dengan air.

Adanya manifestasi panas bumi berupa mata air di daerah Tiris, atau terletak di sekitar maar Ranu Segaran Duwes dan Ranu Agung, memunculkan suatu pertanyaan apakah magma yang menjadi sumber panas dari mata air tersebut sama dengan sumber panas yang mengakibatkan terbentuknya banyak maar di kompleks Gunung api Lamongan, selain itu proses evolusi magma yang ada di kompleks Gunung api Lamongan juga cukup menarik untuk diketahui dan diteliti lebih lanjut.

Gunung Lamongan, atau biasa disebut Lamongan *Volcanic Field* (LVF) memiliki sekitar 61 kerucut sinder dan 29 maar (Carn, 2000). Salah satu dari maar yang berada pada LVF ini adalah Ranu Segaran Duwes. Ranu Segaran Duwes terletak di antara Gunung Argopuro dan Gunung Lamongan. Letaknya yang unik ini membuat kita berpikir apakah Ranu Segaran Duwes merupakan hasil aktivitas dari Gunung Lamongan atau Gunung Argopuro, sehingga penelitian ini perlu dilakukan untuk memberikan informasi kepada masyarakat terkait kondisi geologi bawah permukaan Ranu Segaran Duwes sekaligus menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian berikutnya.

Terbentuknya ranu merupakan salah satu bentuk kekuasaan Allah SWT yang bisa dimanfaatkan oleh manusia dalam kebutuhan hidup sehari-hari. Firman Allah SWT dalam surat al-Baqarah [2]: 29:

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ اسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ ۗ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ

“Dia-lah Allah, yang menjadikan segala yang ada di bumi untuk kamu dan Dia berkehendak (menciptakan) langit, lalu dijadikan-Nya tujuh langit. Dan Dia Maha mengetahui segala sesuatu.” (Q.S al-Baqarah [2]: 29).

Ash-Shiddiqie (2000:70), menafsirkan ayat tersebut bahwa Allah SWT menjadikan segala sesuatu yang ada di bumi untuk manusia, supaya dengan beragam cara manusia bisa mengambil kenikmatan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, baik yang berada di muka bumi maupun yang berada di perut bumi.

Geofisika adalah ilmu yang mempelajari tentang bumi yang menggunakan parameter-parameter fisika. Dalam hal ini yang menjadi target adalah bumi bawah permukaan. Parameter-parameter fisika yang digunakan adalah parameter mekanika yang meliputi metode seismik, gaya berat (*gravity*), dan geomagnetik. Metode geomagnetik merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi bawah permukaan. Dengan mengetahui struktur geologi bawah permukaan akan sangat membantu dalam penafsiran struktur dasar dan patahan yang mungkin dijadikan jalur keluar fluida-fluida panas bumi. Manifestasi dari suatu sistem panas bumi (*geothermal*) antara lain sumber air panas (*hydrothermal*), *fumarole*, hembusan gas, dan lain-lain. Hal ini merupakan tanda-tanda alam yang menunjukkan di bawah lokasi manifestasi panas bumi tersebut diperkirakan adanya intrusi magma yang memanaskan batuan di sekelilingnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, didapat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pola anomali magnetik dengan metode geomagnetik di Ranu Segaran Duwes?

2. Bagaimana struktur geologi bawah permukaan berdasarkan data geomagnetik pada Ranu Segaran Duwes?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pola anomali magnetik dengan metode geomagnetik di Ranu Segaran Duwes.
2. Mengetahui struktur geologi bawah permukaan berdasarkan data geomagnetik pada Ranu Segaran Duwes.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian kali ini memiliki beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Tempat penelitian dibatasi, yakni seluas 12 km, pada lintang dan bujur di Ranu Segaran Duwes.
2. Metode geofisika yang digunakan adalah hanya metode magnetik, dengan menggunakan alat *Proton Precession Magnetometer* (PPM).
3. Pengolahan data menggunakan *software Surfer 10, Potensoft, Matlab, dan Mag2dc*.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi anomali magnetik struktur geologi bawah permukaan dengan metode geomagnetik pada studi kasus Ranu Segaran Duwes.
2. Dapat dijadikan bahan pertimbangan sebelum dilakukan proses lebih lanjut (penelitian dalam bidang geofisika, geokimia dan geologi).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gunung dalam Perspektif al-Quran

Allah berfirman dalam al-Quran surat an-Nahl [16]: 15 yang berbunyi:

وَأَلْقَى فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَأَنْهَارًا وَسُبُلًا لَعَلَّكُمْ تَهْتَدُونَ

“Dan Dia menancapkan gunung di bumi agar bumi itu tidak goncang bersama kamu, (dan Dia menciptakan) sungai-sungai dan jalan-jalan agar kamu mendapat petunjuk” (Q.S an-Nahl [16]: 15).

Ketika selama ini orang-orang hanya takjub kepada ketinggian gunung, al-Quran mementahkan kekaguman yang kecil itu. Ternyata bukan tingginya, tetapi kedalaman akar gunung yang menghujam 15 kali lipat dari tinggi di atas permukaan bumi, itulah yang lebih dahsyat. Para ahli geofisika menemukan bukti bahwa kerak bumi berubah terus dengan teori lempeng tektonik yang menyebabkan asumsi bahwa gunung mempunyai akar yang berperan menghentikan gerakan horisontal atau litosfer. Teori lempeng tektonik menyebutkan, kita dapat menyamakan gunung dengan paku yang menjadikan lembaran-lembaran kayu tetap menyatu. Menurut penemuan ini, gunung-gunung muncul sebagai hasil pergerakan dan tumbukan dari lempengan-lempengan raksasa yang membentuk kerak bumi.

Ketika dua lempengan bertumbukan, lempengan yang lebih berat menyelip di bawah lempengan yang satunya, sementara yang di atas melipat dan membentuk dataran tinggi dan gunung. Lapisan bawah bergerak di bawah permukaan dan membentuk perpanjangan yang dalam ke bawah. Ini berarti gunung mempunyai bagian yang menghujam jauh ke bawah yang tak kalah besarnya dengan yang

tampak di permukaan bumi. Struktur gunung digambarkan sebagai berikut: Pada bagian benua yang lebih tebal, seperti pada jajaran pegunungan, kerak bumi akan terbenam lebih dalam ke dalam lapisan magma. (Howe, 1985, s. 305).

Dengan kata lain, gunung-gunung menggenggam lempengan-lempengan kerak bumi dengan memanjang ke atas dan ke bawah permukaan bumi pada titik-titik pertemuan lempengan-lempengan ini. Gunung memancangkan kerak bumi dan mencegahnya dari terombang-ambing di atas lapisan magma atau di antara lempengan-lempengannya. Singkatnya, kita dapat menyamakan gunung dengan paku yang menjadikan lembaran-lembaran kayu tetap menyatu.

Fungsi pemancangan dari gunung dijelaskan dalam tulisan ilmiah dengan istilah "isostasi". Isostasi merupakan kesetimbangan dalam kerak bumi yang terjaga oleh aliran materi bebatuan di bawah permukaan akibat tekanan gravitasi. (*Webster's New Twentieth Century Dictionary, 2. edition "Isostasy", New York, s. 975*).

2.2 Penelitian Terdahulu

Carn dan Pyle (2001) menyimpulkan bahwa, data geokimia baru hadir dari produk erupsi Lamongan Volcanic Field (LVF), Jawa Timur pada zaman prasejarah, maupun sejarah. Wilayah yang termasuk dalam *Sunda arc* seluas kurang lebih 260 km² dan memiliki 90 lubang erupsi ditambah pusat erupsi Gunung Lamongan sekarang ini. Lava dari LVF termasuk medium K-basal dan basaltik andesit dari sejarah erupsi Gunung Lamongan di sisi bagian timur, sedangkan *high-K* terdapat pada lava hasil erupsi di sebelah barat.

Walaupun beberapa karakteristik kurang mendukung sebagai basal, namun sampel lava yang diidentifikasi dari LVF memiliki kandungan SiO₂ yang rendah (sekitar 43 wt % SiO₂) belum pernah dilaporkan di batuan vulkanik yang termasuk dalam *Sunda arc*. Pertimbangan *mass balance* mengindikasikan bahwa dua komposisi kimia magma yang berbeda dari LVF, mungkin sesuai dengan komposisi yang dierupsikan oleh gunung api-gunung api tetangga seperti Bromo dan Semeru. Lava sejarah Lamongan dapat berhubungan dengan produk andesitik medium-K Semeru dari *fractional crystallization*, meskipun lokasi terbentuknya berada pada jarak yang sama dari palung penunjaman seperti Bromo yang mempunyai produk *high-K*. Tektonik ekstensional mungkin berhubungan dengan segmentasi busur di wilayah LVF, menciptakan kondisi yang memicu naiknya parental magma secara cepat, dan mungkin juga merupakan alasan dari ini semua maupun kenampakan lainnya yang ada di kompleks ini.

Carn (2001) menyimpulkan, berdasarkan *Lamongan Volcanic Field* (LVF) di Jawa Timur Indonesia terdiri dari 61 *basaltic cinder* atau *spatter cone*, minimal 29 maar *prehistoric*, dan zona pusat erupsi yang terdiri dari tiga lubang erupsi termasuk Gunung api Lamongan yang aktif sekarang ini. Lapangan ini terletak dalam gugus busur vulkanik Sunda, dan berada di sebelah timur dari kompleks gunung api Tengger-Semeru. Diantara periode 1799 hingga 1898, Lamongan terus-menerus aktif dan mengeluarkan hingga 15 aliran lava dengan komposisi basaltik-basaltik andesit, yang mungkin lebih dari apa yang dierupsikan oleh gunung api lain di Indonesia pada saat itu.

Beberapa peningkatan aktivitas sempat tercatat sejak aktivitas erupsi terakhir, tetapi tidak ada rekaman catatan tentang pembentukan kerucut *cinder* maupun maar di area ini. Meskipun kemungkinan bencana yang ditimbulkan oleh aktivitas Gunung api Lamongan ada, sejarah dan struktur lapangan harus terus menjadi subyek pengawasan. Penelitian ini berisi hasil dari morfometrik detail dan investigasi *volume prehistoric vent* dan sejarah aliran lava di LVF, menggunakan data lapangan, rekaman historis, citra satelit dan memodelkan volume erupsi.

Maar yang ada di LVF dicirikan dengan adanya kawah yang berukuran diameter kurang lebih 450 m, dihasilkan oleh erupsi dengan volume model ejekta $0,016 \text{ km}^3$, *Dense Rock Equivalent* (DRE) dan volume model komponen juvenile $0,0096 \text{ km}^3$ DRE. Rasio diameter/kedalaman dari beberapa maar menunjukkan kesegaran morfologi dibandingkan dengan erupsi freatomagmatik yang lebih muda dimanapun. Median kerucut *cinder/spatter* di LVF mempunyai diameter alas 600 m, tinggi 75 m, volume $0,009 \text{ km}^3$ dan volume model total erupsi $0,014 \text{ km}^3$. Variasi dari alas kerucut dengan ketinggian mengindikasikan bahwa umur dari beberapa kerucut prasejarah mungkin tidak lebih dari beberapa abad. Klasifikasi morfologi berhasil mengidentifikasi lubang erupsi prasejarah paling muda terletak di lereng sebelah utara dari puncak Gunung Lamongan. Sejarah aktivitas dari titik erupsi di sisi barat Lamongan menghasilkan paling tidak $0,05 \text{ km}^3$ lava basaltik hingga basaltik andesit. Dengan menggunakan *eruptive rate* dan *data volume*, dapat diperkirakan bahwa umur dari LVF berkisar antara 13-40 ka. Hal ini menempatkannya sebagai salah satu diantara gunung api yang paling muda di Indonesia.

Kompleks tektonik regional yang berhubungan dengan tekanan magmatik memungkinkan menjadi kontrol utama distribusi aktivitas vulkanisme di LVF. Terjadinya erupsi pembentuk maar bisa saja dikontrol oleh porositas substrat, mungkin endapan holosen dari kompleks Iyang Argopuro di timur. Bencana gunung api yang mungkin terjadi akibat aktivitas Gunung api Lamongan di masa mendatang antara lain *base surges*, *ash flows*, *ashfall*, dan lontaran blok /bom yang berasosiasi dengan aktivitas erupsi freatomagmatik maupun erupsi magmatik.

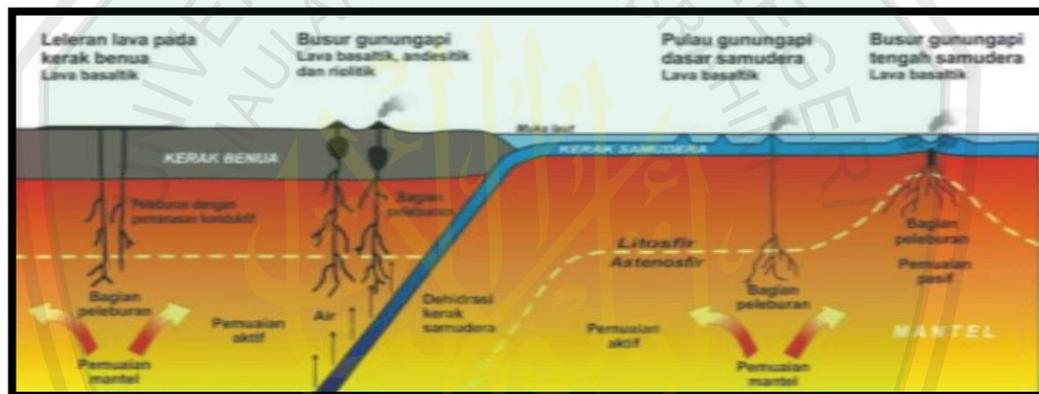
2.3 Proses Terbentuknya Gunung

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 yang 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 gunung api. Pergerakan antar lempeng menimbulkan empat busur gunung api berbeda (Sigurdsson, 2000):

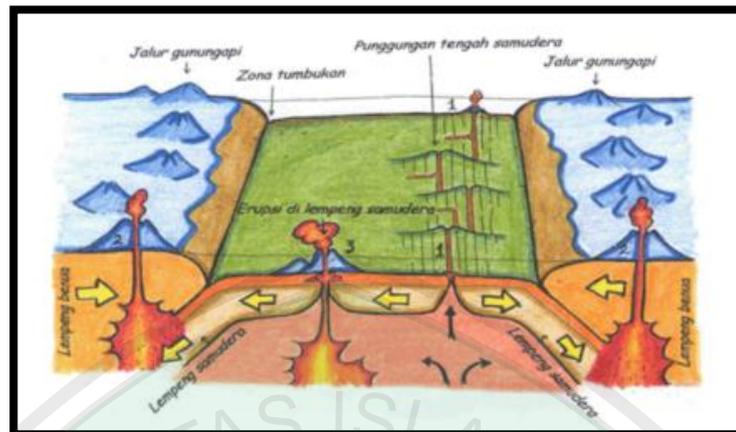
1. Pemekaran kerak benua, lempeng bergerak saling menjauh sehingga memberikan kesempatan magma bergerak ke permukaan, kemudian membentuk busur gunung api tengah samudera.
2. Tumbukan antar kerak, dimana kerak samudera menunjam di bawah kerak benua. Akibat gesekan antar kerak tersebut terjadi peleburan batuan dan lelehan batuan ini bergerak ke permukaan melalui rekahan kemudian membentuk busur gunung api di tepi benua.

3. Kerak benua menjauh satu sama lain secara horisontal, sehingga menimbulkan rekahan atau patahan. Patahan atau rekahan tersebut menjadi jalan ke permukaan lelehan batuan atau magma sehingga membentuk unsur gunung api 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 gunung api perisai.



Gambar 2.1 Proses terbentuknya gunung api yang terbentuk di permukaan melalui kerak benua dan kerak samudera (Sigurdson, 2000)

Planet bumi mempunyai struktur tertentu, yaitu kerak bumi, lapisan selubung, dan inti bumi. Dari ketiga struktur ini yang dapat memicu terjadinya dinamika dari bagian dalam inti bumi yaitu tektonik dan gunung api. Tektonik gunung api merupakan dinamika bumi utama yang menghasilkan bentukan-bentukan muka bumi makro, erosi, transportasi dan sedimentasi membentuk bentukan muka bumi mikro seperti lembah-lembah dan dataran.



Gambar 2.2 Jalur terbentuknya gunung api (Sigurdson, 2000)

Berikut adalah keterangan dari gambar 2.2 di atas:

1. Terbentuknya di daerah pegunungan tengah samudera tempat berpisahannya/mekarnya lempeng kulit bumi yang pecah saling menjauhi.
2. Terbentuk pada pertumbukan antara lempeng benua dengan lempeng samudera dan lempeng samudera dengan lempeng samudera.
3. Terbentuk pada titik panas tempat keluarnya magma ke permukaan (di benua maupun di samudera).

Berdasarkan gejala terbentuknya gunung api terbagi atas dua macam, yaitu pergerakan lempeng dan gaya endogen. Berdasarkan teori lempeng, bahwa kerak bumi adalah suatu lempeng yang kaku dan bergerak satu terhadap yang lainnya di atas suatu cairan plastis (*astenosfer*) seperti ban berjalan "*Conveyor Belt*". Lempeng-lempeng tersebut bergerak relatif 5-10 cm/tahun yang masing-masing bergerak saling menjauh yang disebut divergen, saling bertubrukan yaitu konvergen dan saling berpapasan. Dari proses tersebut maka terbentuklah pegunungan berapi atau pegunungan tengah samudera/*mid oceanic ridge*.

Selain karena pergerakan lempeng, disamping itu karena adanya gaya endogen. Ketika magma yang bersifat asam akan bergerak ke atas karena lebih ringan sedang yang bersifat basa di bagian bawah. Gerakan pemisahan magma di dalam dapur magma tersebut akan menimbulkan gaya ke atas, mendobrak batuan penyusun kerak bumi dan jika ada kesempatan akan muncul ke permukaan lewat celah-celah retakan atau lewat pipa gunung api. Magma yang keluar ke permukaan bumi dari proses ekstrusi disebut lava.

Proses ekstrusi atau erupsi berdasarkan lubang keluarnya magma dapat dibedakan menjadi dua tipe:

1. Erupsi linier atau erupsi berlahan, yaitu magma keluar melalui retakan dan celah-celah yang ada di bumi. Magma yang keluar pada umumnya berupa lava cair yang sangat sedikit mengandung material-material lepas.
2. Erupsi sentral, yaitu magma yang keluar melalui diatrema dan kepundan. Diatrema merupakan lubang berupa pipa pada gunung api yang menghubungkan dapur magma dengan kepundan atau dasar kawah gunung api. Erupsi sentral terdiri atas tiga macam seri, tergantung pada tekanan yang terdapat dalam magma, yaitu:
 - a) Erupsi efusif atau lelehan, karena magma bersifat encer dengan tekanan lemah sehingga hanya menimbulkan lelehan lava melalui retakan yang terdapat pada tubuh gunung api.
 - b) Erupsi eksplosif, yaitu keluarnya magma ke permukaan bumi dengan cara ledakan akibat magma memiliki tekanan yang tinggi. Erupsi ini dikenal dengan

letusan gunung api, menyemburnya material vulkanik yang berupa padat dan cair.

- c) Erupsi campuran, perselingan antara seri lava dan eksplosif membentuk strato yang terdiri pelavian lava dan bahan-bahan lepas.

2.4 Susunan Gunung api

Fenomena gunung api di muka bumi mempunyai bentuk yang berbeda-beda bergantung dari tipe, kekuatan, dan frekuensi letusannya. Secara umum, dikenal tiga bentuk gunung api yaitu tipe perisai, strato dan maar.

Gunungapi terbangun atas beberapa komponen dan membentuk sebuah struktur. Masing-masing komponen memiliki bagian dan fungsi yang saling mendukung sehingga terbentuklah aktivitas dari gunung berapi tersebut. Beberapa bagian dari gunung berapi antara lain adalah sebagai berikut:

1. Struktur kawah

Struktur kawah merupakan bagian dari gunung berapi yang memiliki bentuk morfologi negatif atau depresi. Bagian ini terbentuk diakibatkan adanya aktivitas sebuah gunung berapi. Bagian kawah ini biasanya berbentuk bundar dan berada pada bagian puncak gunung.

2. Kaldera

Kaldera merupakan bagian dari gunung berapi yang memiliki bentuk menyerupai kawah. Garis tengah kaldera berukuran lebih dari 2 km. Kaldera sendiri tersusun dari beberapa bagian. Pertama kaldera letusan akibat letusan besar yang melemparkan sebagian besar tubuh kaldera tersebut, ada juga yang disebut dengan kaldera runtuh. Kedua, kaldera runtuh merupakan kaldera yang terbentuk

karena sebagian tubuh gunung berapi runtuh akibat adanya material yang keluar dalam jumlah besar dari dapur magma. Ketiga ada juga kaldera *resurgent*, yaitu jenis kaldera yang terjadi karena runtuhnya sebagian gunung berapi dan proses ini berlanjut dengan runtuhnya blok di pertengahan kaldera. Kaldera erosi merupakan jenis kaldera yang timbul akibat proses erosi secara berkepanjangan di bagian dinding kawah. Hal ini kemudian menyebabkan bagian tersebut melebar sehingga terbentuklah kaldera.

3. Rekahan dan Graben

Rekahan dan graben merupakan bagian dari gunung berapi yang berupa retakan di bagian tubuh gunung. Panjang retakan ini bisa mencapai puluhan kilometer serta kedalamannya hingga ribuan meter. Rekahan paralel yang menjadikan bagian blok amblas disebut dengan graben.

4. Depresi Vulkanik Tektonik

Bagian ini terbentuk dengan diawali adanya deretan pegunungan yang kondisinya menyerupai pembentukan gunung berapi. Bagian ini terbentuk karena adanya pergeseran magma asam ke permukaan bumi dalam jumlah yang sangat besar. Magma asam sendiri asalnya dari kerak bumi dan depresi tersebut bisa terjadi dengan kedalaman puluhan hingga ribuan meter.

Menurut Schieferdecker (1959) maar adalah suatu cekungan yang umumnya terisi air, berdiameter 2 km, dan dikelilingi oleh endapan hasil letusannya. Gunung api maar yang cekungannya 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 landau yang

tersusun oleh rempah gunung api berbutir halus hingga kasar, mempunyai diameter kawah bervariasi antara 100-3000 meter, yang sering terisi air sehingga membentuk danau.

Hasil analisis citra satelit, foto udara maupun peta bumi, menunjukkan bahwa kawah gunung api maar memperlihatkan penampakan lingkaran atau cekungan melingkar. Maar banyak ditemukan sebagai kerucut Scoria dan kebanyakan letusan maar terjadi pada lingkungan geologi gunung api besar bersusun basal (Bronto dan Mulyaningsih, 20007).

Pada umumnya 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 tekan semakin tinggi karena adanya *caps rocks*.

Letusan dapat terjadi jika tekanan uap air panas itu sudah lebih besar dari tekanan batuan di atasnya. Letusan freatik tersebut menghasilkan material hamburan dalam berbagai ukuran yang berasal dari batuan dasar (non magmatik material atau endapan hidroklastika) sebagai akibat proses letusan. Pada letusan freatomagmatik sebagian kecil komponen magma 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, dapat berupa aliran lava, kubah lava atau sumbatan lava. Dengan demikian secara lengkap rangkaian erupsi gunung api maar diawali oleh letusan freatik, kemudian

dilanjutkan dengan letusan freatomagmatik serta diakhiri dengan erupsi lelehan lava (Bronto, 2007).

Gunung Lamongan merupakan salah satu gunung api maar di Indonesia. Batuan dasar di bawah Gunung api Lamongan adalah batuan karbonat yang apabila bersentuhan dengan magma dapat membentuk gas CO₂ sehingga menambah tekanan gas di bawah permukaan.

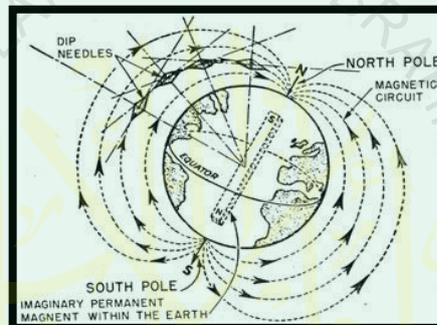
2.5 Medan Magnet Bumi

Magnet bumi merupakan 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 simpal arus magnetik efektif berada pada 11° dari sumbu rotasi bumi (Liang Chi Shen, 2001). Sementara itu Demarest (1998) menyatakan bahwa harga komponen horisontal dari medan magnet bumi di daerah khatulistiwa sekitar 35 μT (0,035 nT) (Zubaidah, 2005: 231).

Kuat medan magnet yang terukur di permukaan bumi sebagian besar berasal dari dalam bumi (*internal field*) mencapai lebih dari 90%. Sedangkan sisanya adalah magnet dari kerak bumi yang menjadi target dalam eksplorasi geofisika dan medan dari luar bumi (*external field*). Medan magnet dari dalam bumi merupakan bagian yang terbesar, maka medan ini sering juga disebut medan utama (*main field*) yang dihasilkan oleh adanya aktivitas di dalam inti bumi bagian luar (*outer core*) (Zubaidah, 2005: 231).

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

Medan magnet bumi dapat dimisalkan sebagai medan magnet batang yang besar dengan pusat medannya berada jauh di bawah permukaan bumi. Seperti yang terlihat pada gambar (2.3):



Gambar 2.3 Medan magnet bumi

Sumber: www.hnsa.org

Garis fiktif pada permukaan bumi yang terletak di tengah-tengah antara dua kutub disebut ekuator geomagnet. Sedangkan ekuator magnetik didefinisikan sebagai garis penghubung titik–titik dengan inklinasi sama dengan nol. Pada permukaan bumi, jarum magnet bebas untuk berputar dan mengorientasikan dirinya sesuai dengan arah medan magnet tempat itu (Nuha, 2011: 32-33).

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 sudut diantara garis gaya magnet dan permukaan bumi disebut *magnetic inclination*. Cakupan inklinasinya dari 90^0

pada sumbu magnetik sampai 0^0 pada ekuator magnetik, dimana garis gayanya paralel terhadap permukaan. Jarum kompas berputar mengikuti arah horisontal dan menunjuk ke kutub magnet, hal tersebut mengindikasikan komponen lokal horisontal dari medan magnet bumi. Perbedaan derajat tingkat dan arah antara utara sebenarnya dan utara magnet dan titik yang ditentukan di permukaan tersebut *magnetic declination* (Ludman, 1982:458-459).

Gejala magnetostatika sebenarnya hampir sama atau analog dengan gejala elektrostatis. Besi magnet mempunyai sifat dapat menarik serbuk biji besi; tetapi sesudah serbuk itu menempel, lalu ditolak. Jadi induksi muatan magnet memang terjadi tetapi pemindahan muatan magnet tidak pernah terjadi. Seperti halnya dalam elektrostatis, dalam magnetostatika juga hanya dikenal 2 muatan saja. Kedua jenis muatan magnet tersebut juga memenuhi hukum Coulomb, muatan yang sejenis akan tolak menolak dan muatan yang berlawanan jenis akan tarik menarik. Gaya antara muatan magnet akan sebanding dengan banyaknya masing-masing muatan serta berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan. Gaya magnetostatika tersebut besarnya bergantung pada jenis muatan dimana kedua muatan magnet berada. Namun berbeda dengan muatan listrik, muatan magnet selalu terdapat berpasangan yakni selalu dalam wujud dipole-dipole magnet. Batang magnet kalau dipotong di tengahnya hasilnya juga masih bersikap sebagai batang-batang magnet. Jadi muatan-muatan magnet memang tidak dapat diceraikan (Soedjo, 1998).

Suatu batang magnet yang digantungkan bebas akan senantiasa mengarah ke utara-selatan. Hal ini diperkirakan karena bumi bersikap selaku magnet raksasa

yang ujung-ujungnya yaitu kutub-kutub magnetnya, berada dekat di kutub geografis bumi (Soedoyo, 1998).

Dengan menyebut kutub magnet bumi yang di dekat kutub utara sebagai kutub utara magnet bumi, maka kutub magnet batang yang mengarah ke utara tentulah kutub selatan. Demikianlah jenis-jenis muatan magnet lalu disebut kutub magnet utara dan kutub magnet selatan. Dalam penerbangan, perkapalan, serta penjelajahan hutan belantara orang lazim memakai batang magnet kecil yang dapat bergerak bebas di dalam bidang horisontal, untuk mengetahui arah utara dan arah selatan. Alat petunjuk arah demikian dikenal sebagai kompas (Soedoyo, 1998).

Seperti halnya untuk permukaan bumi orang membuat garis-garis meridian dengan kutub-kutub bumi selaku ujung-ujungnya. Karena letak kutub magnet bumi tidak bertepatan dengan letak kutub geografis bumi, maka garis-garis meridian magnet bumi juga tidak sejajar dengan garis-garis meridian geografis bumi; sudut antara antara garis meridian magnet bumi dengan garis meridian geografis bumi disebut deklinasi; besarnya deklinasi sudah tertentu tergantung tempatnya di bumi. Kecuali itu batang magnet yang dapat menggantung bebas tidak akan menggantung mendatar melainkan akan sedikit menarik ujungnya karena selalu hendak menuju ke tempat kutub magnet bumi yang ternyata berada di bawah permukaan bumi. Sudut penukikan ini terhadap arah horisontal, disebut deklinasi. Di tempat yang lebih dekat ke kutub deklinasi ini akan lebih besar (Soedoyo, 1998).

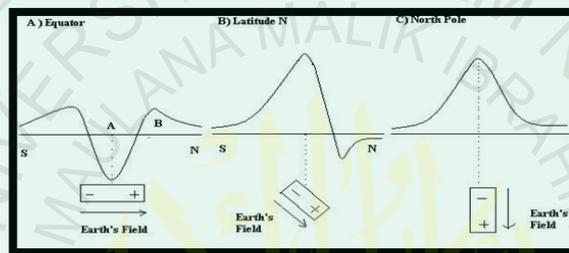
Medan magnet bumi terkarakterisasi oleh parameter fisis atau disebut juga elemen medan magnet bumi yang data diukur yaitu meliputi arah dan intensitas kemagnetannya. Parameter fisis tersebut meliputi (Siahaan, 2009):

1. Deklinasi (D)

Merupakan sudut antara Utara magnetik dengan komponen horisontal yang dihitung dari utara menuju timur.

2. Inklinasi (I)

Merupakan sudut antara medan magnet total dengan bidang horisontal yang dihitung dari bidang horisontal menuju bidang vertikal ke bawah.



Gambar 2.4 Pengaruh inklinasi benda (Siahaan, 2009)

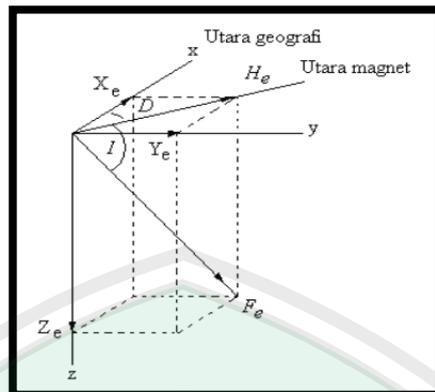
3. Intensitas horisontal (H)

Merupakan besar dari medan magnet ada bidang horisontal.

4. Medan magnetik total (F)

Merupakan besar dari vektor medan magnet total.

Medan magnet bumi merupakan suatu besaran vektor, maka besaran ini dapat diuraikan menjadi komponen-komponennya. Setiap titik di permukaan bumi memiliki elemen yang berbeda-beda tergantung pada letak titik tersebut (Nuha, 2011: 42).



Gambar 2.5 Unsur-unsur medan magnet bumi (Telford, 1987)

Pada tahun 1983 Gauss pertama kali melakukan analisa harmonik dari medan magnetik 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 magnet bumi hampir seluruhnya berasal dari dalam bumi.
2. Medan yang teramati di permukaan bumi dapat di dekati dengan persamaan harmonik yang pertama yang berhubungan dengan potensial dwikutub di pusat bumi. Dwikutub Gauss ini mempunyai kemiringan $11,5^\circ$ terhadap sumbu geografi.

Sumber medan magnet bumi secara umum dibagi menjadi tiga, yaitu medan magnet utama bumi (*main field*), medan luar (*external field*), dan medan anomali (*anomaly field*):

1. Medan Magnet Utama (*main field*)

Secara teoritis medan magnet utama bumi disebabkan oleh sumber dari dalam dan luar bumi. Medan magnet dari dalam bumi diduga dibangkitkan oleh perputaran aliran arus dalam inti bagian luar bumi yang bersifat cair dan konduktif (Sharma,1997).

Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu, dan variasinya relatif kecil, maka untuk menyeragamkan nilai-nilai medan utama magnet bumi, dibuat standar nilai yang disebut *Internasional Geomagnetics Reference Field* (IGRF). Nilai medan magnet utama ditentukan berdasarkan kesepakatan internasional di bawah pengawasan *International Association of Geomagnetic and Aeronomy* (IAGA). IGRF diperbaharui tiap 5 tahun sekali dan diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar 1 juta km² yang dilakukan dalam waktu satu tahun (Telford,1990).

2. Medan Magnet Luar (*external field*)

Medan magnet bumi juga dipengaruhi oleh medan luar. Medan ini bersumber dari luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Karena sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu jauh lebih cepat dari pada medan magnet utama dan berubah terhadap waktu. Beberapa sumber medan luar antara lain (Telford,1990:72):

- a) Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dengan siklus 11 tahun dan berkorelasi dengan aktivitas matahari.
- b) Variasi harian (*Diurnal Variation*) dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari dan mempunyai *range* 30 nT dan dipengaruhi oleh aksi matahari pada lapisan ionosfer.

- c) Variasi harian (*Diurnal Variation*) 25 jam yang berhubungan dengan pasang surut bulan dan mempunyai *range* kira-kira 2 nT, yang diasosiasikan dengan interaksi bulan-ionosfer.
- d) Badai magnetik (*Magnetic Storm*) yang bersifat acak 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

Ini terjadi di dekat permukaan kerak bumi dan merupakan penyebab perubahan dalam medan magnet utama, yang biasanya jauh lebih kecil daripada medan utama serta relatif konstan terhadap waktu dan tempat. Perubahan ini dapat dihubungkan dengan perubahan kandungan mineral magnetik dalam batuan-batuan dekat permukaan. Kadang-kadang anomali ini cukup besar, hingga besar medan magnet menjadi lebih besar dua kali lipat dari pada medan utama lokal. Anomali ini disebabkan oleh gangguan lokal yang ada di kerak bumi, dan anomali tersebut adalah yang menjadi tujuan utama dalam penyelidikan geomagnet (Telford, 1982:72).

Pada umumnya medan anomali lokal ini tidak menyebar pada daerah yang luas karena letak sumbernya tidak terlalu dalam seperti halnya dalam metode gravitasi. Medan magnet lokal sering disebut juga dengan medan magnet anomali (*Crustal Field*). Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral bermagnet seperti (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 dipole persatuan volume (M) adalah (Grant, 1965):

$$U(r) = - \int M \nabla \frac{1}{|r-r_0|} d^3 r_0 \quad (2.1)$$

jika M konstan dengan arah k , maka:

$$M \cdot \nabla = M \frac{\partial}{\partial k} \quad (2.2)$$

sehingga persamaan menjadi:

$$U(r) = -M \frac{\partial}{\partial k} \int M \nabla \frac{1}{|r-r_0|} d^3 r_0 \quad (2.3)$$

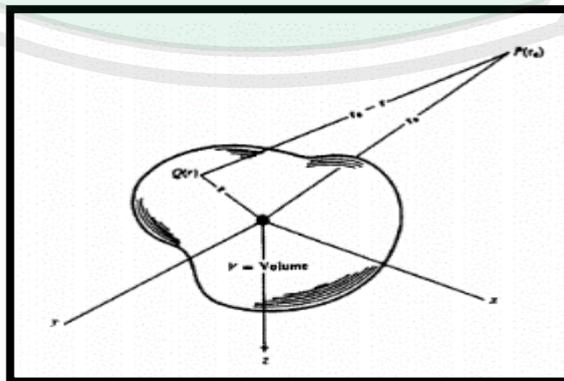
karena medan magnet anomali jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan medan magnet utama, maka medan magnet anomali terukur pada arah medan magnet utama. Jika komponen adalah ΔT maka:

$$\Delta T = - \frac{\partial U}{\partial a} \quad (2.4)$$

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

$$\frac{\partial}{\partial a} = \cos i \sin \lambda \frac{\partial}{\partial x} + \cos i \cos \lambda \frac{\partial}{\partial y} + \sin i \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.5)$$

dimana i adalah inklinasi dan λ adalah deklinasi terhadap y ,



Gambar 2.6 Medan magnet anomali (Telford, 1978)

4. Variasi medan magnet

Variasi medan magnet berubah terhadap 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, 1998).

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. Ionisasi dan elektron yang terlempar dari matahari juga akan menimbulkan fluktuasi arus sebagai sumber medan magnet. Sifat perubahan harian bersifat acak tapi periodik dengan periode rata-rata sekitar panjang hari (24 jam). Periode perubahan berkisar $10-30\lambda$ (Baisa, 2007).

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

2.6 Teori Dasar Magnetik

Metode geomagnet atau metode magnet merupakan salah satu metode fisika untuk eksplorasi bawah permukaan bumi yang banyak digunakan untuk mengeksplorasi mineral dan batuan (Sharma, 1997). Metode geomagnet merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi minyak bumi, panas bumi, batuan mineral maupun untuk keperluan

pemantauan (*monitoring*) gunung berapi. Metode ini juga dapat digunakan untuk eksplorasi bawah permukaan seperti sesar, lipatan, intrusi batuan beku atau kubah garam dan *reservoir geothermal*. Pada eksplorasi geofisika lingkungan, metode magnetik hanya akan memberikan gambaran secara umum (Reynold, 1997). Burger dkk (1992) menyebutkan 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 mempunyai kesamaan latar belakang fisika dengan metode gravitasi. Kedua metode tersebut sama-sama berdasar kepada teori medan potensial, sehingga keduanya sering disebut sebagai metode potensial. Akan tetapi, ditinjau dari parameter besaran fisika yang terkait keduanya mempunyai perbedaan yang mendasar. Pada 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 berdasar pengukuran variasi kecil intensitas medan magnetik di permukaan bumi. Variasi ini disebabkan oleh kontras sifat kemagnetan (suseptibilitas) antar batuan di dalam kerak bumi (termasuk di dalamnya kemagnetan induksi dan kemagnetan permanen), sehingga menimbulkan medan magnet bumi yang tidak homogen, bisa disebut juga sebagai suatu anomali magnetik. Variasi medan magnetik dapat disebabkan adanya perubahan struktur geologi di bawah permukaan bumi.

Dasar peninjauan anomali dari metode magnetik adalah gaya Coulomb antara dua kutub magnet m_1 dan m_2 (e.m.u) yang berjarak r (cm) dalam bentuk (Telford, dkk., 1979: 63):

$$F = \frac{m_1 m_2}{\mu_0 r^2} r(\text{dyne}) \quad (2.6)$$

dimana F adalah gaya yang bekerja diantara dua magnet dengan kuat medan magnet m_1 dan m_2 . μ adalah permeabilitas suatu medium dengan satuan Henry per meter (Hm^{-1}). Dalam medium hampa permeabilitas mutlak sama dengan μ_0 yang nilainya $4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$. Tidak seperti kasus pada kasus gravitasi, meskipun persamaannya mirip, gaya antara kedua kutub magnet ini bisa bernilai positif (+) yang berarti tolak-menolak dan negatif (-) berarti tarik-menarik. Konstanta μ_0 adalah permeabilitas untuk ruang hampa tidak berdimensi. Besarnya dalam satuan SI adalah $4\pi \times 10^{-7} \text{ Newton/Ampere}^2$ (Dorbin, 1960:264).

2.6.1 Medan Magnetik

Kuat medan (H) adalah gaya pada satuan kutub magnetik (m') jika diletakkan pada titik dalam medan magnetik yang merupakan hasil dari kuat kutub m (Telford, dkk: 1976) :

$$\vec{H} = \frac{F}{m'} = \frac{m}{\mu_0 r^2} \hat{r}_1 \quad (2.7)$$

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.

2.6.2 Momen Magnetik

Kutub magnet selalu berpasangan (dipole) yakni kutub positif (+) dan kutub negatif (-), dipisahkan oleh jarak l . Momen magnetik (M) didefinisikan sebagai (Siahaan, 2009):

$$\vec{M} = ml\hat{r} \quad (2.8)$$

\vec{M} merupakan sebuah vektor pada arah vektor unit berarah r dari kutub negatif menuju kutub positif. Momen magnet mempunyai satuan dalam *cgs*, yakni $Gauss.cm^3$ atau *emu* dan dalam satuan SI mempunyai satuan $A.m^2$. Arah momen magnetik dari atom material non magnetik tidak beraturan sehingga momen magnetik resultannya bernilai nol. Di dalam material-material yang bersifat magnet arah momen magnetiknya beraturan sehingga momen magnetik resultannya tidak bernilai nol.

2.6.3 Intensitas magnetik

Intensitas magnetisasi merupakan besaran yang menyatakan seberapa besar 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 per unit volume (Lyita, 2012)

$$\vec{I} = \frac{\vec{M}}{v} = \frac{ml\hat{r}}{v} \quad (2.9)$$

Satuan magnetisasi dalam *CGS* adalah gauss atau $emu.cm^3$ dan dalam SI adalah Am^{-1} .

2.6.4 Suseptibilitas Magnetik

Intensitas magnetik pada batuan sebagian disebabkan oleh induksi dari magnet bumi dan yang lain oleh adanya magnetisasi permanen. Intensitas dari induksi geomagnet akan bergantung pada suseptibilitas magnetik batuan dan gaya magnetnya, serta intensitas permanennya berdasarkan sejarah geologi batu tersebut.

Besaran ini digunakan untuk menentukan tingkatan pengaruh medan magnet terhadap suatu benda, dinyatakan sebagai lambang k yang dirumuskan dengan persamaan. Besaran yang tak berdimensi ini merupakan parameter dasar yang digunakan dalam metode magnetik. Nilai suseptibilitas magnetik dalam ruang hampa sama dengan nol karena hanya benda berwujud yang dapat termagnetisasi (Rian, 2008).

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 (Telford, dkk., 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 di dalamnya mengandung mineral magnetik, medan magnet normal bumi akan mengalami gangguan yang disebabkan oleh anomali medan magnet sebagai hasil magnetisasi batuan (Telford, 1982).

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

1. Batuan sedimen. Sebagian besar batuan sedimen merupakan lapisan batuan beku (*igneous*). Besarnya ketebalan batuan sedimen pada daerah 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 $(0,9710) \times 10^{-6}$ dengan rata-rata $(200-1350) \times 10^{-6}$ emu. Contoh: *granite, rhyolie*, basal dan andesit.
3. Batuan metamorf. Batuan metamorf merupakan ubahan dari batuan sedimen dan 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 di bawah ini:

Tabel 2.1 Nilai suseptibilitas magnetik (Mustang, 1990)

No.	Batuan	Suseptibilitas (10^{-6} cgs)
1	Lava andesit	0.02-0.04
2	Breksi	0.01-0.03
3	Alterasi lempung	0.01-0.03
4	Bongkah silisifikasi	0.00-0.02
5	Aliran piroklastik	0.03-0.11
6	Lava dasitik	0.00-0.02
7	Andesit piroksen	1.00-1.20
8	Andesit berubah	0.07-0.11
9	Lampung kaolin	0.00-0.002

Tabel 2.2 Suseptibilitas beberapa jenis batuan pada kuat medan magnet tertentu (Mustang, 1990).

No	Batuan	$K \times 10^{-6}$, cgs unit	Pada H, Oersted
1	<i>Magnetit</i>	300.000-800.000	0,6

2	<i>Pyrrhotik</i>	125.000	0,5
3	<i>Ilmenite</i>	135.000	1
4	<i>Franklinite</i>	36.000	
5	<i>Dolomite</i>	14	0,5
6	<i>Batu pasir</i>	16,8	1
7	<i>Serpentine</i>	14.000	30,5
8	<i>Granit</i>	28-2700	1
9	<i>Diocit</i>	46,8	1
10	<i>Gabro</i>	68,1-2370	1
11	<i>Basalt</i>	600	1
12	<i>Peridotite</i>	12.500	0,5-1,0

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

1. Ferromagnetik

Suseptibilitas magnetik material sebesar $(10^2 < k < 1,6 \times 10^4) \times 10^{-6}$ emu dan tidak bergantung pada *temperature Curie* karena material-material atom mempunyai momen magnet dan interaksi antara atom terdekatnya sangat kuat, kombinasi orbit elektron dan gerak spinnya menghasilkan magnet yang kuat. Material ferromagnetik dibagi lagi menjadi beberapa macam yaitu ferromagnetik anti ferromagnetik dan ferrimagnetik. Nilai k ferromagnetik positif dan tidak tergantung pada *temperature 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:

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



Gambar 2.7 Arah polarisasi ferromagnetik (Rosid, 2008)

- b) Antiferromagnetik (hematite Fe_2O_3). Ini merupakan material yang tidak umum. Misal superkonduktor URu_2Si_2 , logam *chromium Cr*, *Alloys FeMn* dan *NiO*.



Gambar 2.8 Arah polarisasi antiferromagnetik (Rosid, 2008)

- c) 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: aluminium, *cobalt*, nikel, mangan dan seng.



Gambar 2.9. Arah polarisasi ferrimagnetik (Rosid, 2008)

2. Paramagnetik

Pada paramagnetik ini medan magnetiknya hanya akan ada jika dimagnetisasi oleh medan magnet dari luar saja sehingga jika pengaruh medan magnet dari luarnya dihilangkan, maka pengaruh medannya menghilangkan juga. Karena pengaruh termal, maka gerakan elektronnya menjadi random kembali dan nilai k positif dan berbanding terbalik dengan temperature mutlak (*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 tervalenisasi.



Gambar 2.10 Arah polarisasi paramagnetik (Rosid, 2008)

3. Diamagnetik

Material diamagnetik mempunyai harga suseptibilitas magnetik sebesar $(-8 < k < 310) \times 10^{-6}$ emu, karena harga suseptibilitasnya negatif maka intensitas induksi akan berlawanan arah dengan gaya magnetnya. Semua material menunjukkan respon sebagai diamagnetik ketika ia berada dalam medan magnet.



Gambar 2.11 Arah polarisasi diamagnetik (Rosid, 2008)

Jika 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 batuananya: kuarsa, *marmar*, *graphite*, *rock salt*, *anhydrite/hypsum*, 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.

2.6.5 Induksi Magnetik

Bila benda magnetik diletakkan dalam medan magnet luar H , kutub-kutub internalnya akan menyearahkan diri dengan H dan terbentuk suatu medan magnet baru yang besarnya adalah (Telford,1979:63):

$$H' = 4\pi kH \quad (2.10)$$

medan magnet totalnya disebut dengan induksi magnet B dan dituliskan sebagai (Telford,1979:63):

$$B = m_r H \quad (2.11)$$

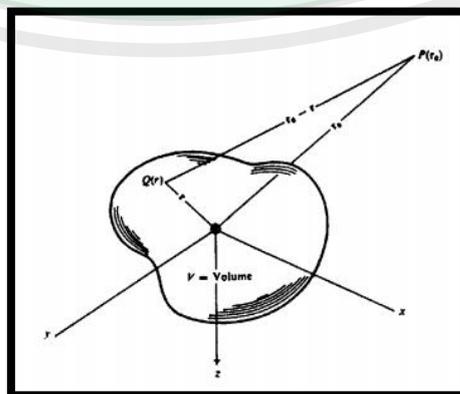
dengan $m_r = 1+4\pi k$ dan disebut sebagai permeabilitas relatif dari suatu benda magnetik. Satuan B dalam *emu* adalah *gauss*, sedangkan dalam eksplorasi geofisika dipakai satuan gamma atau nanotesla SI, dimana (Blakely, 1995: 68):

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

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

2.6.6 Potensial Magnetik

Potensial dan medan dari anomali magnetik biasanya didefinisikan sebagai potensial dan medan yang hanya dibangkitkan oleh beda termagnetisasi.



Gambar 2.12 Potensial magnetik di titik $P(x,y,z)$ dari benda termagnetisasi (Telford, 1978)

Jika sembarang volume termagnetisasi diasumsikan sebagai total dari dipole-dipole magnetik elementer yang terdistribusi di dalamnya, maka potensial magnetik pada titik P (x,y,z) didefinisikan sebagai (Sudarmaji, 2005:84):

$$V(x, y, z) = -C_m \int_v^n M(x, y, z) \cdot \nabla \frac{1}{r} dv \quad (2.12)$$

dengan $r^2 = (x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2$, $M(x',y',z')$ adalah kuat magnetisasi ($A.m^{-1}$) dengan arah magnetisasi \vec{m} dan C_m adalah konstanta pembanding yang bernilai $\frac{\mu_0}{4\pi}=10^{-7}$ (Henry.m⁻¹) dengan μ_0 merupakan permeabilitas ruang hampa. Medan magnet di titik P (x,y,z) diturunkan sebagai gradien dari potensial magnetik persamaan 2.12 sehingga (Sudarmaji,2005:84):

$$B(x,y,z) = C_m \nabla \int_v^n M(x, y, z) \cdot \nabla \frac{1}{r} d \quad (2.13)$$

A. Koreksi Data Magnetik

Data magnetik yang telah diperoleh harus dibersihkan atau dikoreksi dari pengaruh beberapa medan magnet yang lain. Beberapa koreksi yang dilakukan dalam survei magnetik agar didapat data anomali medan magnetik yang menjadi target survei, antara lain:

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 udara yang terionisasi oleh matahari sehingga menjadi ion-ion yang akan menjadi magnet ketika ada listrik di ionosfer (Rosid, 2009). Koreksi harian juga merupakan penyimpangan intensitas medan magnet bumi yang disebabkan oleh perbedaan waktu pengukuran dan efek sinar matahari dalam satu

hari. Variasi harian 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 magnet utama bumi, medan magnetik luar dan medan anomali. Nilai medan magnetik utama tidak lain adalah nilai IGRF. Jadi nilai 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 berada di posisi geografis yang sesuai.

2.8 Transformasi Medan

2.8.1 Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas atau *upward continuation* merupakan transformasi data medan potensial dari suatu bidang yang lebih tinggi. Pada pengolahan data geomagnetik, proses ini dapat berfungsi sebagai filter tapis rendah, yakni untuk menghilangkan atau mereduksi efek magnetik lokal yang berasal dari berbagai sumber benda magnetik yang tersebar di permukaan topografi yang tidak terkait dengan survei (Blakely, 1995: 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 $U(x, y, z_0)$. Δz merupakan medan potensial pada bidang hasil kontinuasi, $U(x', y', z_0)$ adalah harga medan potensial pada bidang observasi sebenarnya, Δz merupakan 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. Akhirnya diperoleh data medan magnet total yang sudah terbebas dari pengaruh regional, IGRF, dan medan regional, sehingga yang tersisa hanya akibat benda penyebab anomali saja.

2.8.2 Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub atau *Reduction to Pole* (RTP) merupakan salah satu transformasi yang digunakan dalam proses interpretasi data magnetik. Transformasi ini dilakukan karena adanya perbedaan nilai inklinasi dan deklinasi dari setiap daerah, sehingga medan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnet (Dafiqiy, 2012).

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

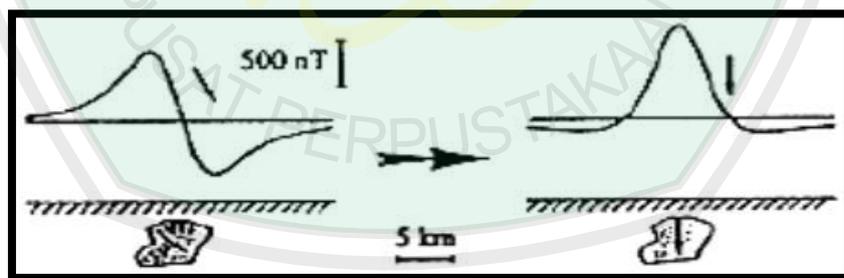
Pada metode reduksi ke kutub ada proses transformasi yang dilakukan dengan mengaplikasikan *Fast Fourier Transform* (FFT). Transformasi menggunakan FFT dapat dirumuskan:

$$F[\Delta T_r] = F[\psi_r]F[\Delta T] \quad (2.15)$$

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

$$= \frac{k}{1k_x^2 + a_2ky_y^2 + a_zk_xk_y + i|k|(b_1k_xk_y + b_2k_y)} \quad (2.16)$$

$F[\Delta T_r]$ adalah 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 ini 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)

2.9 Eksplorasi dengan Metode Magnetik

Eksplorasi atau pencarian adalah semua usaha untuk mencari dan menemukan cadangan minyak dan gas bumi ataupun sumber daya lain di daerah-daerah yang belum terbukti mengandung hal-hal tersebut. Penyelidikan ini berupa

topografi, geologi, geofisika, pemboran sumur eksplorasi dan pemboran sumur uji stratigrafi. Penyelidikan geofisika meliputi kegiatan penyelidikan gravitasi, magnetik, seismik, dan lain-lain.

Studi mengenai magnetisasi telah dikenal sekitar 400 tahun yang lalu. Penelitian magnetisasi bumi yang pertama kali menunjukkan bahwa medan magnet bumi ekuivalen dengan arah utara – selatan sumbu rotasi bumi. Penemuan tersebut kemudian diperdalam untuk melokalisasi endapan bijih besi dengan mengukur variasi magnet di permukaan bumi. Hasil penelitian itu kemudian dibukukan dalam "*The Examination Of Iron Ore Deposite By Magnetic Measurement*" yang kemudian menjadi pionir bagi pengukuran magnetisasi bumi (geomagnet).

Metode magnetik adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menyelidiki kondisi permukaan bumi dengan memanfaatkan sifat kemagnetan batuan yang diidentifikasi oleh kerentanan magnet batuan.

Metode ini didasarkan pada pengukuran variasi intensitas magnetik di permukaan bumi yang disebabkan adanya variasi distribusi (anomali) benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Perbedaan distribusi mineral ferromagnetik, paramagnetik, diamagnetik perbedaan kontras susceptibilitas, atau permeabilitas magnetik jebakan dari daerah sekelilingnya. Selain itu metode magnetik memang memiliki beberapa kelebihan yakni:

1. Metode ini sensitif terhadap perubahan vertikal, umumnya digunakan untuk mempelajari tubuh intrusi, batuan dasar, urat *hydrothermal* yang kaya akan mineral ferromagnetik, dan struktur geologi. Umumnya tubuh intrusi, urat

hydrothermal yang kaya akan mineral ferromagnetik (Fe_3O_4 , Fe_2O_3) yang memberi kontras pada batuan sekelilingnya.

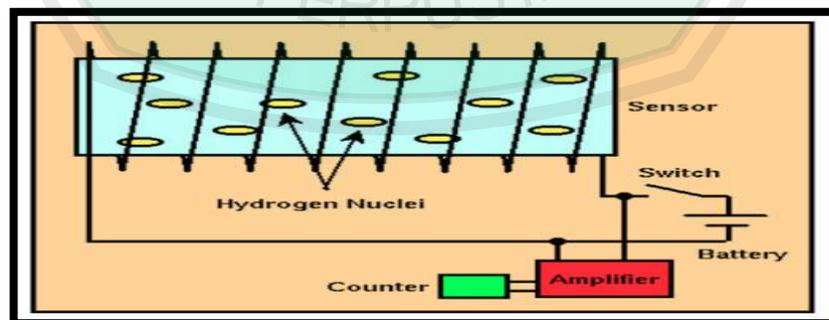
2. Mineral-mineral ferromagnetik akan kehilangan sifat kemagnetannya bila dipanasi mendekati temperatur *Curie* oleh karena itu efektif digunakan untuk mempelajari daerah yang dicurigai mempunyai potensi *geothermal*.
3. Akuisisi data tidak serumit metode gaya berat. Penggunaan filter matematis umum dilakukan untuk memisahkan anomali berdasarkan panjang gelombang maupun kedalaman sumber anomali magnetik yang ingin diselidiki.

2.10 Magnetometer

Alat untuk mengukur medan magnet bumi namanya magnetometer. Hasil pengukurannya adalah medan magnet absolut, ketelitiannya biasanya sampai 1 nT (nano Tesla). Cara mengukurnya bisa dengan magnetometer *portable* (alatnya digendong seperti tas punggung), bisa dengan *aero magnetometer* (yang ini digandeng dengan pesawat) dan menggunakan kapal laut. Prinsip kerjanya menggunakan precesi dari proton. Medan magnet yang cukup kuat akan menginduksi proton (yang terdapat dalam cairan kaya hidrogen), kemudian sumbu putar proton akan mengikuti sumbu dari magnet, lalu medan magnet yang kuat dihilangkan setelah itu sumbu putar proton akan berubah mengikuti sumbu medan magnet bumi. Perubahan arah sumbu putar dari proton ini (dari medan yang kuat ke medan magnet bumi) disebut dengan precesi. Perubahan arah sumbu putar ini yang kemudian diterjemahkan oleh alat menjadi pembacaan besarnya medan magnet bumi di lokasi tersebut.

Pengukuran intensitas medan magnet total dilakukan dengan peralatan *Proton Precession Magnetometer* (PPM) model G-856 dilengkapi dengan sensor. Instrumen ini mengukur besar (*magnitude*) medan magnet total. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua buah PPM. PPM dengan satu sensor dipasang di tempat yang sama selama pengukuran (dalam penelitian ini dipasang di *base camp*) yang berlaku sebagai *base station* dan dioperasikan secara otomatis merekam data medan magnet dengan selang waktu selama dua menit (PPMvh). Tujuan dari pemasangan *base station* ini adalah untuk mendapatkan data variasi harian, sedangkan PPM dengan dua sensor digunakan untuk mengukur medan magnet total.

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



Gambar 2.14 Diagram kotak dari PPM

Berdasarkan gambar di atas dapat dijelaskan proses kerja dari PPM yakni botol yang dililitkan kumparan dimasuki cairan yang banyak mengandung proton. Proton ini mempunyai 2 macam gerakan yang tidak beraturan . Gerakan tersebut adalah gerakan spin (berputar pada porosnya) dan gerak presesi (gerak gasing yang oleng). Apabila tegangan polarisasi diaktifkan maka timbul medan magnet H_1 yang kuat di sekeliling botol. Hal ini mengakibatkan gerak proton-proton tadi menjadi lebih teratur. Gerak presesi proton pada keadaan ini mengikuti aturan sedemikian rupa sehingga dipenuhi hubungan:

$$\omega_1 = \gamma H_1 \quad (2.17)$$

dalam hal ini:

ω_1 = kecepatan sudut gerak presesi proton

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

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 presesi proton-proton tadi. Akibat tidak adanya medan magnet polarisasi tadi proton-proton berpresesi di bawah pengaruh medan magnet lain yakni medan magnet bumi. Dalam keadaan ini dipenuhi hubungan:

$$\omega_2 = \gamma H_2 \quad (2.18)$$

dimana:

ω_2 = kecepatan sudut gerak presesi proton akibat pengaruh medan magnet bumi

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

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 minimal terdapat dua buah alat magnetometer. Alat pertama mengukur variasi harian yang bertujuan untuk mengukur pengaruh medan magnet dari luar bumi, sedangkan alat kedua digunakan untuk mengukur lintasan-lintasan yang telah ditentukan. Selain itu medan magnet utama bumi dihitung berdasarkan persamaan *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF). Dengan demikian anomali magnetik yang diamati ditulis dengan persamaan (Santoso, 2002):

$$\Delta T = T_{OBS} - T_{IGRF} \pm T_{VH} \quad (2.19)$$

dimana:

T_{obs} = medan magnet total terukur

T_{IGRF} = medan magnet teoritis berdasarkan IGRF

T_{VH} = koreksi medan magnet akibat variasi harian

2.11 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian

2.11.1 Fisiografi dan Morfologi

Secara fisiografi, bagian utara daerah Probolinggo termasuk di dalam lajur Antiklinorium Kendeng dan bagian selatannya termasuk di dalam lajur Rendahan Tengah, sedangkan secara morfologi daerah ini dapat dibagi menjadi empat satuan, yaitu dataran aluvium, perbukitan menggelombang, pegunungan dan kipas gunung api (Van Bammelan, 1949).

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 gunung api yang pernah dimuntahkan Gunung Lamongan tersebar ke arah barat laut, barat dan tenggara dengan membentuk kipas aluvial. Pada lerengnya banyak dijumpai kerucut-kerucut kecil yang ditafsirkan 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 ditafsirkan merupakan hasil kegiatan gunung api 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).

2.11.2 Stratigrafi



Gambar 2.15 Peta geologi daerah penelitian (Suwarta dan Suharsono, 1992)

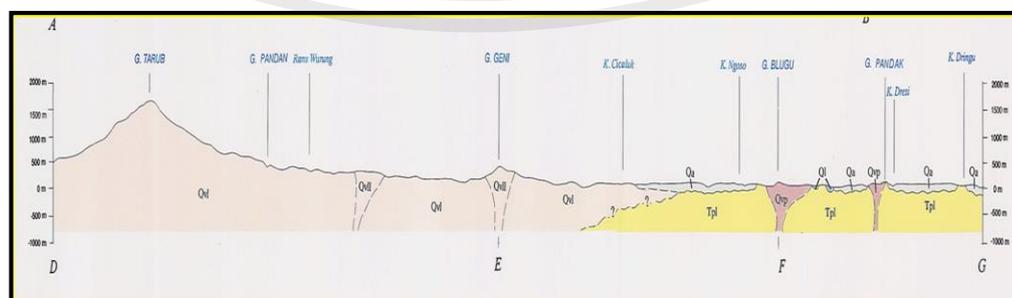
Keterangan:

- Qa
 Aluvium terdiri dari lempung, lumpur, pasir, kerikil kerakal, bongkah dan sisa tanaman
- Ql
 Batu gamping koral terdiri dari batu gamping, koral dan batu gamping
- Qvl
 Batuan Gunung api Lamongan yang terdiri dari lava, *tuff* halus-lapili, lahar, dan breksi gunung api
- Qvll
 Lava Lamongan yang terdiri dari lava andesit- basal
- Qva
 Batuan Gunung api Argopuro terdiri dari lava andesit-basal, breksi gunung api dan *tuff*

- Tpl** Formasi Leprak terdiri dari batupasir, batu lanau, batu lempung, napal dan batu gamping
- Lokasi penelitian, yakni Ranu Segaran Duwes

Ranu Segaran Duwes merupakan salah satu ranu di kawasan 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 dan Gunung Argopuro. Berdasarkan data geologi menunjukkan bahwa produk Gunung api 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 atau piroklastik dan kombinasi lava serta piroklastik. Hasil proses sekunder umumnya berupa lahar dan endapan fluvial.



Gambar 2.16 Peta dasar daerah penelitian (Suwarti, 1992)

Batuan Gunung api Lamongan (Qv1) meliputi *tuff*, lahar, breksi gunung api, lava. Batuan gunung api ini merupakan hasil kegiatan Gunung api Lamongan dan dari pusat erupsi parasit yang ada pada lerengnya. Sebenarnya cukup luas di bagian tengah lembar dan menindih batuan Gunung api Argopuro. Keselatan sebenarnya menerus hingga lembar Lumajang. Lava (Qv11) berwarna coklat kelabu dan kehitaman, berulang-ulang, berstruktur alir porfiritik dengan fenokris plagioklas, piroksen dan mineral mafik yang tertanam dalam masa dasar mikrolit plagioklas dan kaca gunung api bersusunan andesit-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 maar terisi air atau kering, dan ini merupakan ciri dari Gunung Lamongan (Suwarti, 1992).

Breksi berwarna kelabu kehitaman, berkomponen andesit, basal, mineral mafik dan sedikit batu apung yang berwarna kelabu tua, berukuran 3-25 cm. menyudut tanggung-membundar tanggung, tertanam dalam masa dasar *tuff* pasiran. *Tuff* berukuran halus-lapili: berkomponen batu apung, kepingan batuan dan kaca gunung api. Lahar berkomponen andesit, basal, batuapung, obsidian, berstruktur aliran, setempat membentuk gumpuk pada lereng Gunung Lamongan (Suwarti, 1992).

2.11.3 Struktur dan Sejarah Geologi

Gunung Lamongan (1671 mdpl) yang dikelilingi banyak kerucut eksentrik atau parasit (*epigones*) 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 sampai barat-barat daya terbuka sepanjang 4 km antara Zona Klakah dan Zona Puncak Gunung Lamongan, disertai gempa bumi lokal (Bemmelen, 1949).

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. Berdasarkan hasil penafsiran potret udara terlihat adanya beberapa kelurusan yang menunjukkan arah barat laut-tenggara dan utara selatan, sedangkan hasil analisa citra Landsat secara digital, di daerah ini terdapat struktur terban (graben), maar dan kelurusan melingkar (Suwarti, 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 Gunung api Pandak, dan terobosan mikrogabro dan andesit-basal. Menjelang akhir Plistosen kegiatan gunung api lebih meningkat lagi,

ditunjukkan oleh terbentuknya runtuhuan batuan *tuff* Rabano, batuan Gunung api Tengger, batuan Gunung api Lamongan. pada saat yang bersamaan terjadi pula pembentukan batu Gamping koral (Suwarti, 1922: 9).

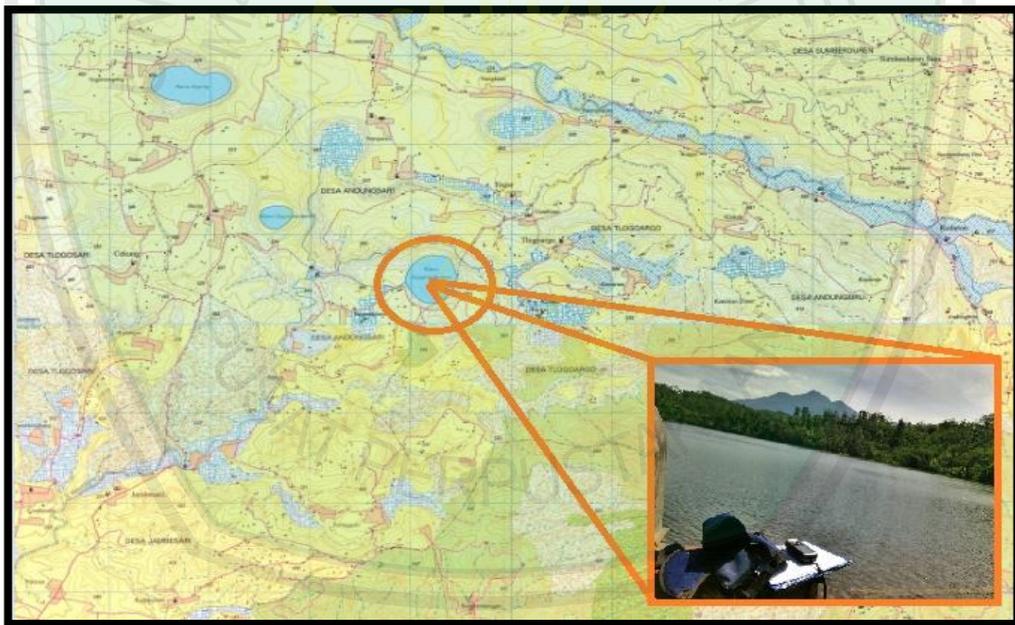


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 8-12 Desember 2015 di daerah Ranu Segaran Duwes, Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo. Di sisi lereng timur Gunung Lamongan dengan ketinggian berkisar 1651 meter. Pengolahan data bertempat di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Lokasi daerah penelitian

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, diantaranya:
 - Medan total
 - Variasi harian
 - Medan utama bumi (IGRF)

Data koordinat lintang dan bujur, waktu pengambilan data, ketinggian titik ukur didapat melalui GPS yang digunakan di lapangan. Keadaan alam di daerah titik pengukuran harus didata seperti tower, pohon, batu, gedung, dan lain-lain.

3.3 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Magnetometer, jenis magnetometer yang digunakan adalah jenis *Proton Precession Magnetometer* (PPM).
2. GPS, untuk menentukan posisi stasiun pengukuran secara presisi
3. Kompas, penunjuk arah mata angin
4. Jam
5. Buku manual alat
6. Peralatan pendukung: peta geologi, alat tulis, penggaris, perangkat komputer untuk pengolahan data, dan software (Ms. Excel, Magpick, Surfer 10, Mag2dc V 2.1)

3.4 Prosedur 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. Prosedur pelaksanaan penelitian dalam metode geomagnetik meliputi:

3.4.1 Akuisisi Data

Pengambilan data dilakukan di sekitar Ranu Segaran Duwes. Akuisisi data ini merupakan tahapan yang penting, karena dalam tahap ini terdapat kesalahan, akan mengakibatkan tahapan berikutnya menjadi sia-sia. Pengukuran dengan metode ini memiliki kesensitifan yang cukup tinggi terhadap sumber medan listrik maupun medan magnet yang ada di sekitar titik pengukuran, sehingga ketika mengambil data harus meminimalisir medan magnet dan medan listrik.

Data yang dihasilkan pada penelitian ini sebanyak 62 titik dengan luas daerah penelitian seluas Ranu Segaran Duwes, jarak antara satu titik dengan yang lainnya 5-50 meter dengan lima kali pengambilan data pada setiap titik pengamatan.

3.4.2 Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data (*data processing*) adalah semua proses yang dilakukan terhadap data lapangan meliputi koreksi-koreksi, *conturing* dan analisa. Ketika pengambilan data di lapangan maka akan tertangkap medan magnet total bumi. Medan magnet total bumi merupakan gabungan dari medan magnet bumi yang dihasilkan oleh sifat-sifat bumi secara keseluruhan (medan utama), medan magnet yang dihasilkan oleh sumber di atas permukaan bumi (medan magnet eksternal) dan medan magnet yang dihasilkan oleh ketidakhomogenan kerak bumi (*anomaly*).

Data magnetik total hasil pengukuran masih tercampur antara efek dari luar dan dari dalam. Efek medan magnetik dari luar bumi dihilangkan dari data pengukuran dengan koreksi harian (diurnal). Koreksi harian (diurnal) terhadap data menghasilkan medan magnetik yang hanya berasal dari dalam bumi. Sebagian besar efek medan magnetik dari dalam bumi berasal dari medan utama, sedangkan target survei adalah medan magnetik yang berasal dari kerak bumi.

Efek medan magnetik utama dari data pengukuran dihilangkan dengan koreksi *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF). Hasil koreksi IGRF berupa data anomali medan magnetik total pada topografi. Anomali medan magnetik total pada topografi, kemudian diangkat (*upward continuation*) pada ketinggian tertentu untuk memisahkan antara efek lokal dengan efek regional dan selanjutnya direduksi ke kutub untuk memudahkan proses penginterpretasian. Data lapangan yang sudah terkoreksi akan dibuat peta kontur daerah penelitian. Pembuatan peta kontur dilakukan dengan bantuan software Surfer 10.

A. 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 luar 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. Persamaan koreksinya (setelah dikoreksi harian) dapat dituliskan sebagai berikut (Kurniati, 2008:19):

$$\Delta H = H_D - H_0 \quad (3.1)$$

dimana:

$$H_D = H \pm V_D \quad (3.2)$$

Keterangan:

ΔH = Anomali medan magnet

H_D = Intensitas medan magnet pengaruh luar (Diurnal)

H = Intensitas medan magnet terukur

H_0 = Medan magnet utama bumi (IGRF)

V_D = Variasi diurnal

B. 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 digunakan untuk membawa data medan potensial hasil observasi yang masih terdistribusi di bidang yang tidak horisontal (misalnya bidang topografi) ke bidang horisontal 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.

C. Kontinuitas ke Atas

Pada pengolahan data geomagnetik, proses kontinuitas ke atas dapat berfungsi sebagai filter tapis rendah, yaitu untuk menghilangkan atau mereduksi efek magnetik lokal yang berasal dari berbagai sumber benda magnetik yang tersebar di permukaan topografi yang tidak terkait dengan survei. 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.

D. Reduksi ke Kutub

Transformasi *Reduction to Pole* (RTP) atau reduksi ke kutub merupakan salah satu transformasi yang digunakan dalam proses interpretasi data magnetik. Alasan 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.

E. Pemodelan Geologi

Pemodelan geologi dalam penelitian ini, dilakukan analisa pada dua buah penampang melintang anomali lokal yang masing-masing berarah melintang. Dalam 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.

Pada tahap pemodelan, setelah dilakukan penarikan penampang selanjutnya dilakukan proses *digitize* dan *slice* menggunakan program *Surfer 10*. 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 lokal 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 poligon dan nilai suseptibilitas. 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.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode geofisika yang dipakai untuk analisis struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian Ranu Segaran Duwes adalah metode geomagnetik. Pengambilan data dilakukan pada 62 titik ukur yang tersebar pada daerah penelitian yang memiliki luas 12 km² dengan rentang jarak 5 m - 50 m dan dilakukan secara acak bergantung pada target dan kondisi lapangan. Penggunaan metode magnetik ini menghasilkan kontur yang menggambarkan distribusi susceptibilitas batuan bawah permukaan tanah. 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.

Metode geomagnetik merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnetik di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Data hasil pengukuran adalah medan magnet total bumi yang dihasilkan oleh sifat-sifat bumi secara keseluruhan (medan utama), medan magnet yang dihasilkan oleh sumber di atas permukaan bumi (medan magnet eksternal) dan medan magnet yang dihasilkan oleh ketidakhomogenan kerak bumi (anomali). Kemudian nilai yang terukur dalam metode geomagnetik adalah nilai anomali

magnetik yang menggambarkan distribusi nilai suseptibilitas batuan di bawah permukaan.

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan dua jenis magnetometer, satu *rover* digunakan untuk membaca nilai intensitas magnet di titik lokasi pengukuran, dan *base* magnetometer yang diletakkan di satu lokasi yang diperlukan untuk mengetahui variasi harian magnet dalam 1 hari. Ketika proses pengambilan data pada daerah penelitian telah dilakukan, selanjutnya dilakukan proses pengolahan data untuk kemudian diinterpretasi. Pengolahan data dimulai dengan melakukan koreksi harian dan data IGRF, kemudian reduksi bidang datar, lalu reduksi ke kutub, langkah berikutnya kontinuasi ke atas dan setelah itu interpretasi.

4.1 Hasil Pengolahan Data

Pengolahan data magnetik ditujukan untuk mengidentifikasi litologi batuan bawah permukaan Ranu Segaran Duwes dan untuk menduga adanya irisan yang dapat dilihat dari perubahan harga intensitas medan magnet pada lokasi tersebut. Perubahan nilai intensitas medan magnet ini berupa lonjakan dan penurunan harga anomali. Kenaikan harga intensitas medan magnet yang tidak terlalu tinggi disebabkan proses pelapukan atau terjadinya proses perubahan karena suatu proses metamorfosa.

4.1.1 Pengolahan Data Awal (Koreksi Harian dan Koreksi IGRF)

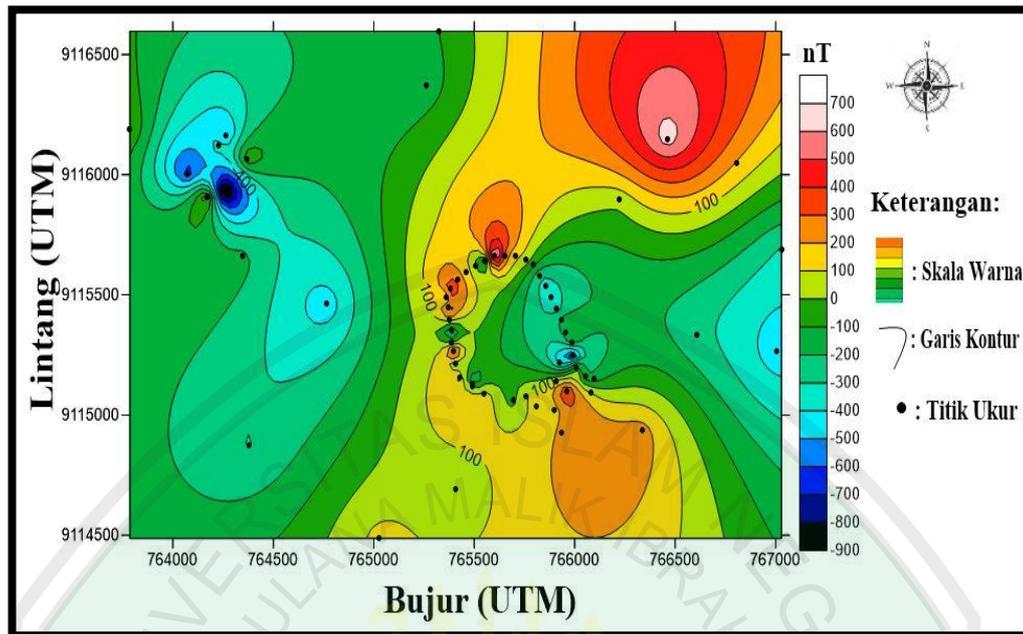
Field magnetometer melakukan pembacaan sebanyak 5 kali untuk setiap titik lokasi pengukuran. Hal ini dilakukan agar didapatkan distribusi nilai intensitas magnet yang detail. Data yang diperoleh tersebut berupa data mentah hasil

pengukuran di lapangan dimana masih terdapat pengaruh dari dalam dan luar bumi, artinya data yang diperoleh bukan data yang menunjukkan nilai intensitas medan magnet. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu koreksi terhadap data yang diperoleh agar didapat nilai intensitas medan magnet yang sudah tidak dipengaruhi oleh nilai magnetik dari dalam dan luar bumi.

Koreksi ini dapat diperoleh dengan mengurangi nilai intensitas magnet pada titik pengukuran dengan nilai intensitas magnet pada *base station*. *Base station* magnetometer melakukan pembacaan dengan selang waktu 5 menit, jadi variasi magnet dalam 1 hari dapat diketahui.

Jika proses pengolahan awal telah selesai, selanjutnya didapatkan hasil akhir dari nilai intensitas medan magnet yang berikutnya akan di plot untuk mengetahui hasil dari intensitas medan magnet di titik lokasi penelitian. Plot ini dilakukan pada software Surfer 11. Dilakukan proses *gridding* data dengan data inputan berupa koordinat (x dan y) dan data intensitas medan magnet.

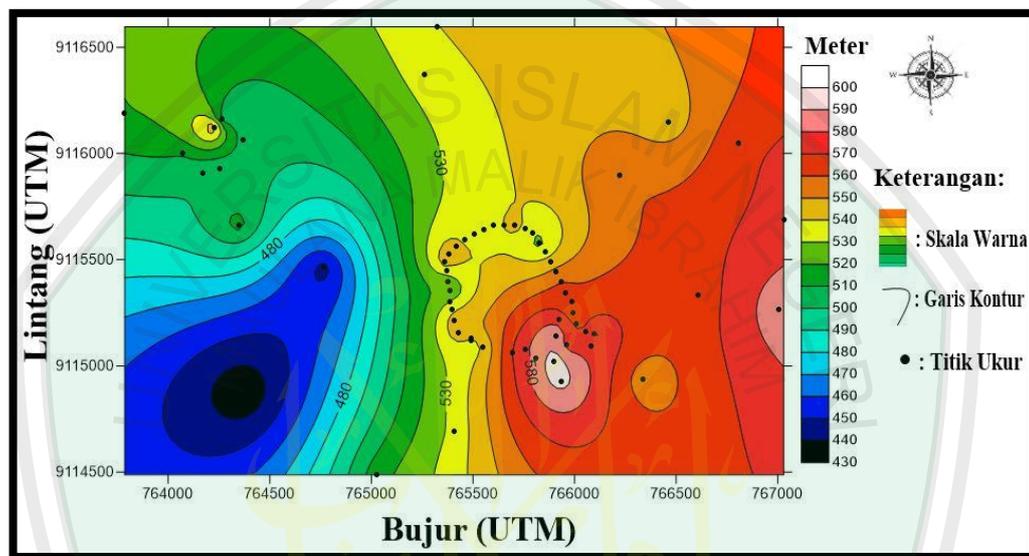
Nilai intensitas magnet ini masih berupa nilai campuran intensitas medan magnet regional dan residual sehingga informasi tentang bagian dalam dan dangkal masih tergabung. Berikut adalah peta kontur sebaran intensitas magnetik di lokasi penelitian:



Gambar 4.1 Peta kontur intensitas medan magnet total dengan interval kontur 100 nT.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai intensitas medan magnet lokasi penelitian berkisar antara -900 nT sampai 700 nT. Intensitas yang dimiliki daerah penelitian yang bernilai positif yakni 100 nT sampai 400 nT. Pada lokasi penelitian terdapat daerah yang memiliki intensitas medan magnet maksimum yang bernilai sekitar 700 nT dan hal ini berbeda sekali terhadap nilai intensitas medan magnet yang terdapat pada Ranu Segaran Duwes (lingkaran) yang berada di sebelah selatan dari titik tersebut. Lokasi Ranu Segaran Duwes memiliki intensitas medan magnet yang bernilai -400 nT sampai 500 nT. Berdasarkan gambar 4.1 terlihat bahwa intensitas medan magnet positif yang terdapat pada daerah penelitian tersebut kemungkinan disebabkan oleh batuan lebih magnetik, yakni lapisan piroklastik sedangkan intensitas medan magnet yang bernilai negatif kemungkinan disebabkan oleh batuan sedimen magmatik yang ada di daerah penelitian tersebut.

Data pengukuran juga memperlihatkan nilai topografi atau ketinggian pengukuran dari permukaan yang dapat digunakan sebagai acuan ketika melakukan pengolahan data selanjutnya. Berikut ini adalah peta kontur dari nilai topografi lokasi penelitian:



Gambar 4.2 Peta kontur topografi

Pada peta di atas tampak bahwa titik pengukuran tertinggi terdapat pada ketinggian 430 meter dan terendah pada ketinggian 600 meter. Peta tersebut menggambarkan topografi dari salah satu sisi kaki Gunung Lamongan, yakni di Ranu Segaran Duwes (gambar lingkaran) dan lokasi sekitarnya yang merupakan objek penelitian. Di sekitar kaki Gunung Lamongan tampak topografi tinggi rendah yang dikenal sebagai maar dan bocca. Maar dengan topografi rendah diasumsikan sebagai akibat dari letusan yang meledak, dan bocca yang mempunyai topografi tinggi terjadi akibat letusan yang meleler. Dari gambar 4.2 dapat diamati lokasi Ranu Segaran Duwes bertopografi rendah dengan ketinggian sekitar 530 mdpl.

Topografi rendah memiliki pengaruh terhadap sebaran intensitas medan magnet total. Hal ini dapat diamati dari gambar 4.1 dan 4.2 dan dari keduanya memberikan informasi jika daerah dengan topografi tinggi memiliki intensitas medan magnet yang rendah, demikian dengan lokasi yang memiliki topografi rendah memiliki intensitas medan magnet yang tinggi.

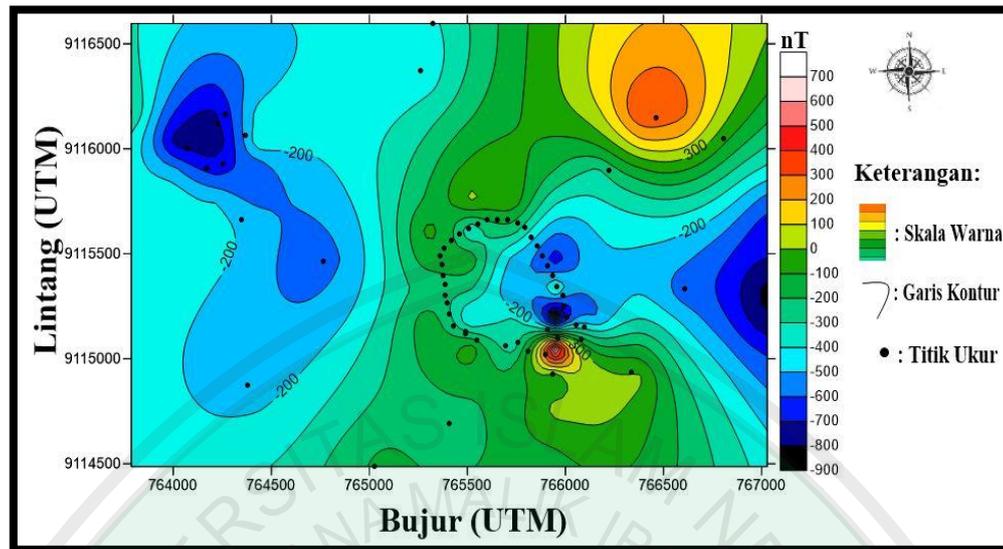
Probolinggo merupakan daerah gunung api. Hal ini ditandai dengan adanya bahan induk alluvial dan vulkanik muda (kuarter) yang ditemukan di daerah tersebut. Ledakan yang sangat kuat melempar ujung atas gunung sehingga membentuk cekungan yang disebut kaldera. Wilayah probolinggo dibentuk dari bahan induk batuan vulkanik dari zaman kuartar muda (*young quarternary volcanic product*) dan batuan endapan (*alluvium*). Bahan induk tersebut terbentuk pada wilayah bagian Utara dan Tenggara, sedangkan bahan induk *volcanic product* terdapat pada bagian lainnya (BPS Kota Probolinggo, 2011).

Bukti di lapangan menyebutkan bahwa wilayah Probolinggo dikelilingi oleh beberapa gunung di daerah tenggara hingga barat daya, gunung-gunung tersebut meliputi Gunung Argopuro, Gunung Lamongan, dan Pegunungan Tengger (Bromo-Semeru). Gunung-gunung tersebut yang menyebabkan adanya tanah-tanah vulkanis di daerah sekitarnya yang salah satunya adalah Probolinggo. Ketika gunung-gunung tersebut erupsi, dampaknya terasa hingga pesisir utara bagian Probolinggo. Hal ini mengakibatkan terdapat partikel-partikel letusan berupa abu vulkanik yang terbawa oleh udara, dan partikel-partikel tanah yang dibawa oleh sungai-sungai yang ada di Probolinggo (29 sungai) (Dinas PU Kabupaten Probolinggo, 2011).

4.1.2 Reduksi Bidang Datar

Data intensitas medan magnet total yang diperoleh dari lokasi penelitian masih terdistribusi pada permukaan topografi daerah penelitian. Secara matematis data intensitas medan magnet yang berada pada daerah topografi tidak rata, sehingga akan menyebabkan kesalahan pada tahap pengolahan data berikutnya dalam interpretasi atau pemodelan. Pengukuran magnetik pada ketinggian yang berbeda akan dihasilkan medan magnet yang berbeda pula. Sehingga data intensitas medan magnet perlu diproyeksikan ke bidang datar dengan ketinggian yang sama (*level surface*) dalam arti lain merupakan reduksi bidang datar. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk membuat data intensitas medan magnet hasil dari penelitian yang masih terdistribusi di bidang yang tidak horisontal (misalnya topografi) ke bidang horisontal dengan melalui pendekatan deret Taylor (*Taylor series approximation*).

Sebuah deret Taylor menggunakan turunan sebuah fungsi yang dihitung pada suatu titik untuk mengekstrapolarisasi fungsi terhadap titik yang berdekatan. Deret Taylor diterapkan sebagai suatu teknik untuk memodifikasi bentuk benda penyebab intensitas medan magnet agar bisa memecahkan problem *invers non linier*. Deret Taylor juga dapat digunakan untuk memprediksi harga suatu medan potensial pada titik yang jauh dari permukaan observasi (Blakely, 1995: 322-323).



Gambar 4.3 Peta kontur intensitas medan magnet total setelah direduksi bidang datar pada ketinggian 300 mdpl dengan interval kontur 100 nT

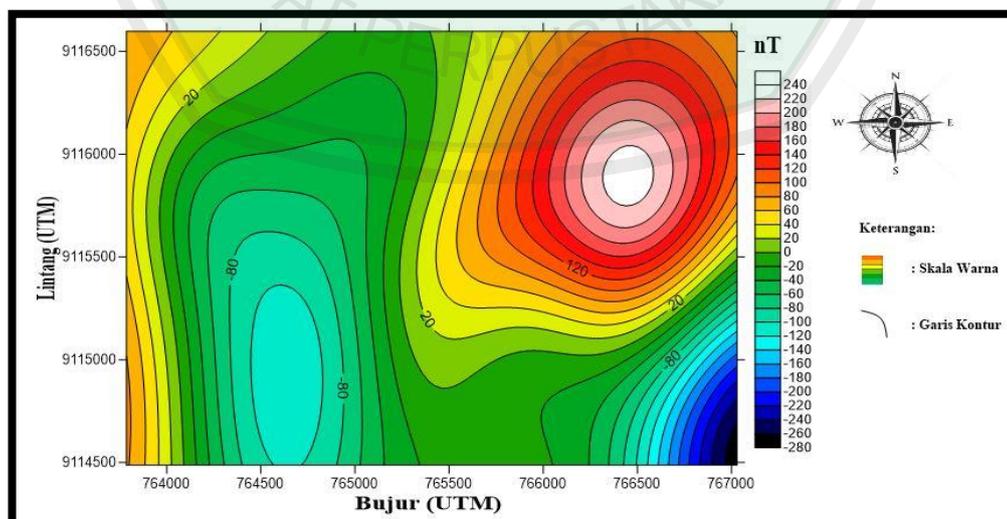
Hasil reduksi bidang datar menunjukkan pola kontur yang mirip dengan kontur intensitas medan magnet total topografi, tanpa ada perubahan nilai pada harga intensitas magnet hasil reduksi bidang datar. Harga intensitas medan magnet total pada bidang datar adalah mulai dari -900 nT sampai 700 nT. Berdasarkan peta intensitas magnet tersebut diketahui bahwa data-data intensitas medan magnet hasil reduksi bidang datar telah cukup konvergen daripada ketika masih di topografi.

4.1.3 Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)

Penerapan filter *upward continuation* data intensitas medan magnet dilakukan dengan menggunakan software Potensoft. Proses ini diterapkan di semua daerah pengukuran, dengan cara ini diharapkan dapat menekan *noise* frekuensi tinggi atau benda-benda magnet yang dekat dengan permukaan yang tergabung dalam anomali yang diperoleh. Dalam menggunakan filter ini, peneliti harus mengatur besar ketinggian yang diangkat dari permukaan tanah. Jika peneliti

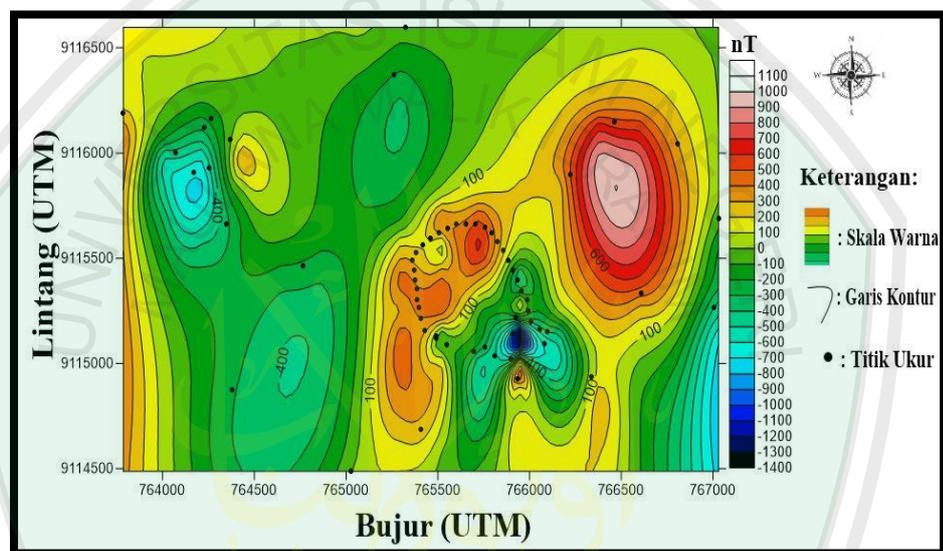
menetapkan nilai yang terlalu besar maka akan menghilangkan intensitas medan magnet yang muncul dan cenderung akan menghilangkan informasi pada daerah tersebut. Akan tetapi jika peneliti menetapkan nilai pengangkatannya yang terlalu kecil, hal itu akan menghasilkan nilai yang tidak berbeda dengan nilai pada kondisi awal. Proses kontinuitas ke atas menggunakan metode coba-coba (*trial and error*) pada ketinggian 100 meter sampai 2000 meter.

Hasil dari kontinuitas ini kemudian dipilih untuk diinterpretasikan hingga dilakukan pemodelan. Kontinuitas yang dipilih adalah kontinuitas ke atas 500 meter di atas permukaan laut. Kontur kontinuitas 500 meter di atas permukaan laut dipilih karena sudah dianggap cukup memperlihatkan keberadaan badan intensitas medan magnet untuk diinterpretasikan. Hasil dari proses kontinuitas ke atas ini berupa intensitas medan magnet regional dan lokal yang telah terpisah. Berikut adalah peta kontur intensitas medan magnet regional hasil kontinuitas 500 meter di atas permukaan laut.



Gambar 4.4 Peta kontur intensitas medan magnet regional hasil kontinuitas ke atas

Hasil kontinuitas ke atas dengan ketinggian 500 mdpl atas permukaan laut sudah menunjukkan nilai intensitas medan magnet regional yang cukup stabil. Selanjutnya, intensitas medan magnet lokal diperoleh dengan mengurangi intensitas medan magnet sebelum dilakukan kontinuitas ke atas dengan intensitas medan magnet regional hasil kontinuitas ke atas.



Gambar 4.5 Peta kontur intensitas medan magnet lokal hasil kontinuitas ke atas pada ketinggian 500 mdpl.

Gambar 4.5 menggambarkan intensitas medan magnet lokal yang tak jauh berbeda dengan peta kontur intensitas medan magnet sebelum dilakukan proses kontinuitas ke atas ini. Ketika intensitas medan magnet dikontinuitas ke atas 500 mdpl, nilai intensitasnya berubah menjadi sekitar -1400 nT sampai 1100 nT dari sebelumnya -1400 nT sampai 1300 nT. Perubahan nilai intensitas medan magnet terjadi, karena ketika intensitas magnet dikontinuitas ke atas, sebenarnya peneliti sedang menentukan nilai intensitas magnet dengan mengubah bidang pengamatnya.

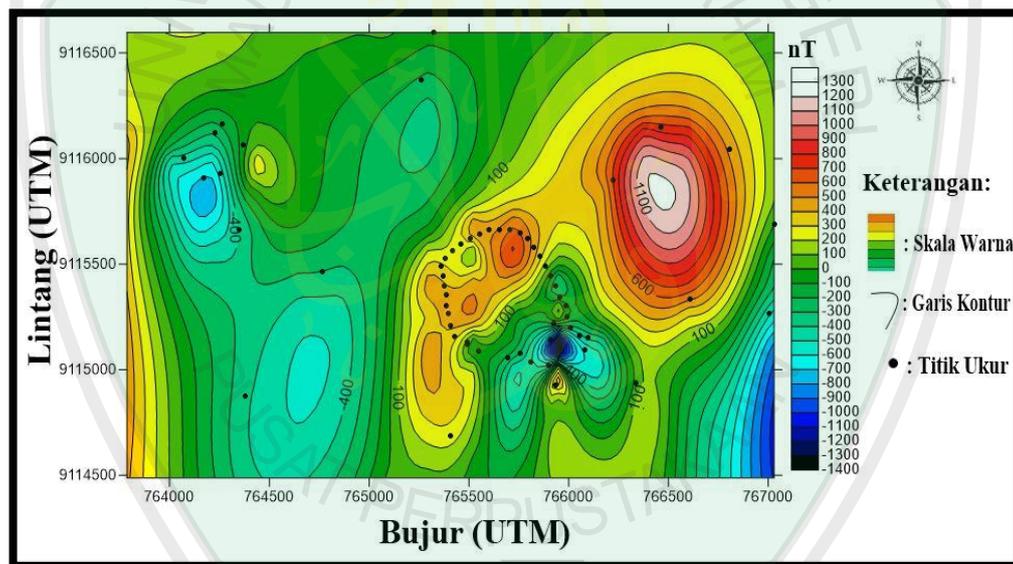
Variasi nilai intensitas magnet lokal tersebut bisa disebabkan oleh adanya perbedaan material di bawah permukaan pada lokasi penelitian. Intensitas magnet tinggi mengindikasikan suseptibilitas batuan positif dan bernilai tinggi serta memiliki kerentanan magnetik tinggi. Intensitas medan magnet sedang mengindikasikan suseptibilitas batuan positif yang bernilai sangat kecil dengan kerentanan magnetik yang sedang. Intensitas medan magnet rendah mengindikasikan suseptibilitas batuan negatif dengan nilai yang kecil dan kerentanan magnetiknya rendah.

Berdasarkan gambar 4.5 dapat diketahui bahwa nilai intensitas medan magnet positif daerah penelitian yang diperoleh berkisar antara -1400 nT sampai -100 nT dan nilai anomali magnetik negatif berkisar antara 100 nT sampai 1100 nT. Nilai intensitas medan magnet positif ditafsirkan ssebagai batuan yang bersifat magnetik yang ditempati oleh satuan batu lava dan andesit, sedangkan intensitas medan magnet negatif ditafsrikan sebagai batuan yang bersifat non magnetik yang kemungkinan ditempati oleh batuan sedimen (*tuff*), 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 dan vulkanik Argopuro yang meliputi *tuff*, lahar, breksi gunungapi, dan lava-andesit basal.

4.1.4 Reduksi ke kutub

Setelah data intensitas medan magnet total di kontinuasi ke atas kemudian direduksi ke kutub menggunakan Potensoft. Reduksi ke kutub digunakan untuk melokalisasi daerah dengan intensitas medan magnet maksimum atau minimum

berada di atas 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 beda 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 intensitas medan magnet seperti berikut:



Gambar 4.6 Peta kontur intensitas medan magnet total hasil reduksi ke kutub dengan interval 100 nT

Gambar 4.6 memperlihatkan hasil reduksi ke kutub terhadap data hasil reduksi bidang datar. Dari gambar tersebut terlihat perbedaan nilai intensitas medan magnet antara sebelum dan sesudah dilakukan proses reduksi ke kutub. Gambar 4.3 memperlihatkan nilai intensitas medan magnetik hasil reduksi bidang datar sebelum di reduksi ke kutub berkisar antara -900 nT sampai 700 nT. Sedangkan gambar 4.6

di atas memperlihatkan setelah direduksi ke kutub nilai intensitas medan magnetnya sebesar -1400 nT sampai 1300 nT.

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

Berdasarkan gambar 4.6 nilai intensitas medan magnetik daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga kelompok. Dari skala warna pada gambar dapat diketahui bahwa intensitas medan magnetik rendah pada skala warna -1400 nT sampai dengan nilai -600 nT. Selanjutnya daerah yang memiliki nilai intensitas medan magnetik sedang ditunjukkan dengan skala -500 nT sampai dengan nilai 300 nT kemudian daerah yang memiliki nilai intensitas magnetik tinggi ditunjukkan dengan skala 400 nT sampai dengan nilai 1300 nT.

4.2 Interpretasi Kualitatif

Interpretasi secara kualitatif telah dilakukan dengan menganalisis peta kontur medan magnet total, kontur intensitas medan magnet total yang sudah di kontinuasi dan kontur intensitas magnet yang telah direduksi ke kutub. Berdasarkan peta intensitas magnet yang diperoleh, menunjukkan pasangan pola kontur besar-kecil. Perubahan nilai intensitas magnet kemungkinan disebabkan oleh pola struktur yang ada di bawah permukaan atau juga karena ketidakseragaman batuan di bawah permukaan.

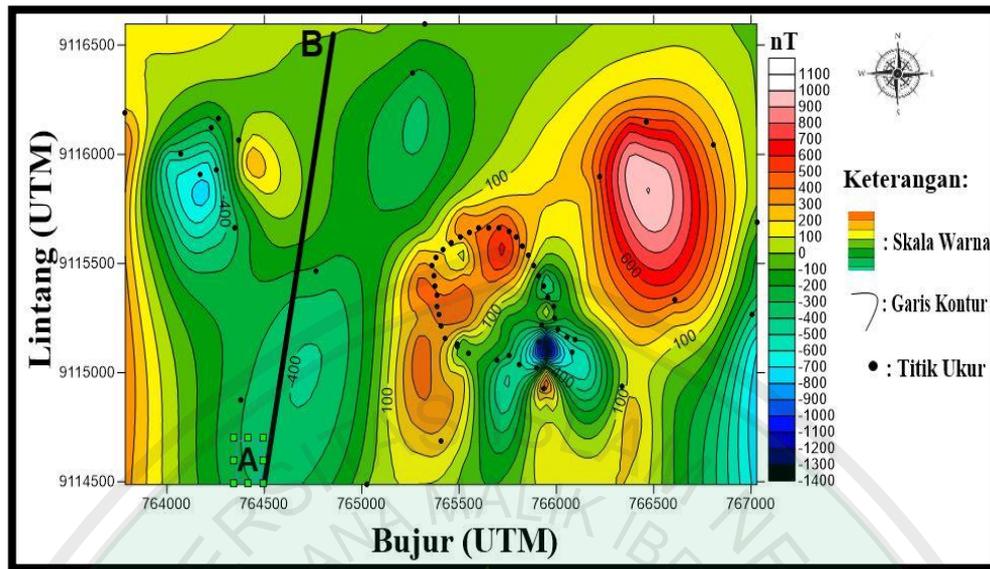
4.3 Interpretasi Kuantitatif.

Interpretasi kuantitatif dilakukan untuk menentukan model dan kedalaman benda atau struktur geologi hasil pengukuran. Interpretasi kuantitatif dilakukan berdasarkan hasil penafsiran kualitatif sehingga dapat menentukan bagian penampang intensitas magnet yang tepat untuk disayat. Ketika membuat sayatan diusahakan memotong intensitas magnet dengan klosur negatif dan klosur positif. Dari intensitas magnet lokal yang telah dikontinuasi 500 mdpl peneliti mengambil 3 bagian sayatan (sayatan A-B, C-D, E-F). Data hasil sayatan kemudian digunakan sebagai masukan ketika melakukan pemodelan.

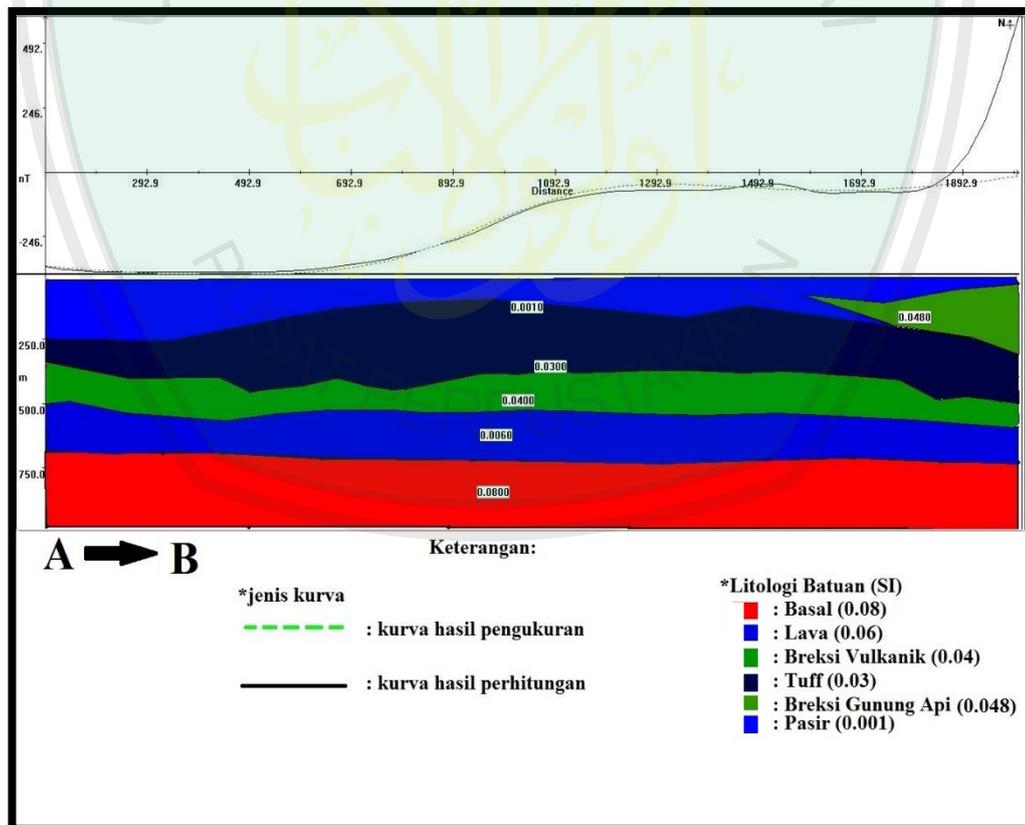
Pemodelan dilakukan dengan metode *trial and error* menggunakan software Mag2dc. Prinsip kerja dari program Mag2dc adalah menyamakan bentuk dari intensitas magnet pengukuran (garis putus-putus) dengan anomali perhitungan (garis tegas). Pembuatan model ini harus memasukkan IGRF (medan magnet utama bumi), inklinasi, dan deklinasi. Nilai inklinasi $-31,3^\circ$, deklinasi $1,1^\circ$ dan IGRF 44483,1.

4.3.1 Lintasan A-B

Lintasan ini menyayat klosur negatif dari arah Selatan sepanjang 2092,9 meter. Pada jarak 0 sampai 2012,5 meter, didominasi oleh intensitas magnet negatif. Lintasan tersebut menyayat 73 titik pengukuran dengan intensitas magnet yang bervariasi antara -13.38 nT sampai -389.39 nT.



Gambar 4.7 Peta sayatan penampang melintang lintasan A-B



Gambar 4.8 Peta model bawah permukaan lintasan A-B

Pada gambar 4.8 menggambarkan struktur bawah permukaan. Pada gambar tersebut terdapat sumbu x dan y. Sumbu x menunjukkan panjang sayatan, serta sumbu y positif menunjukkan variasi nilai intensitas magnetik dan sumbu y negatif menunjukkan kedalaman. Pemodelan ini dibuat dengan kedalaman maksimum mencapai 1000 meter.

Di bawah permukaan A-B dimodelkan memiliki 6 *body*. Lapisan pertama yang dekat dengan permukaan memiliki ketebalan kurang lebih 120 meter, yang diindikasikan sebagai pasir dan lahar yang memiliki nilai susceptibilitas 0,0005 sampai 0,018 (dalam satuan SI) dengan lebar 1909,41 meter di kedalaman 11,94 meter. Lapisan yang kedua diindikasikan sebagai breksi gunung api dengan nilai susceptibilitas 0,0480 (dalam satuan SI) dengan lebar 424,8 meter yang terletak pada kedalaman 38,8 meter. Lapisan berikutnya diindikasikan sebagai batuan *tuff* dengan nilai susceptibilitas 0,03 (dalam satuan SI) yang terletak pada kedalaman 92,53 meter dan lebar 1913,74 meter. Di bawah batuan *tuff* terdapat lapisan dengan susceptibilitas 0,04 meter (dalam satuan SI) yang diindikasikan sebagai breksi vulkanik, batuan ini memiliki yang terletak pada kedalaman 338,8 meter dan lebar 1915,19 meter. Lapisan berikutnya diindikasikan sebagai lava dengan nilai susceptibilitas 0,006 (dalam satuan SI) yang memiliki ketebalan di kedalaman 489,55 meter dan lebar 1907,97 meter. Lapisan paling bawah diindikasikan sebagai batuan basal dengan nilai susceptibilitas 0,08 (dalam satuan SI) dengan ketebalan 686,56 meter dengan lebar 1907,97 meter.

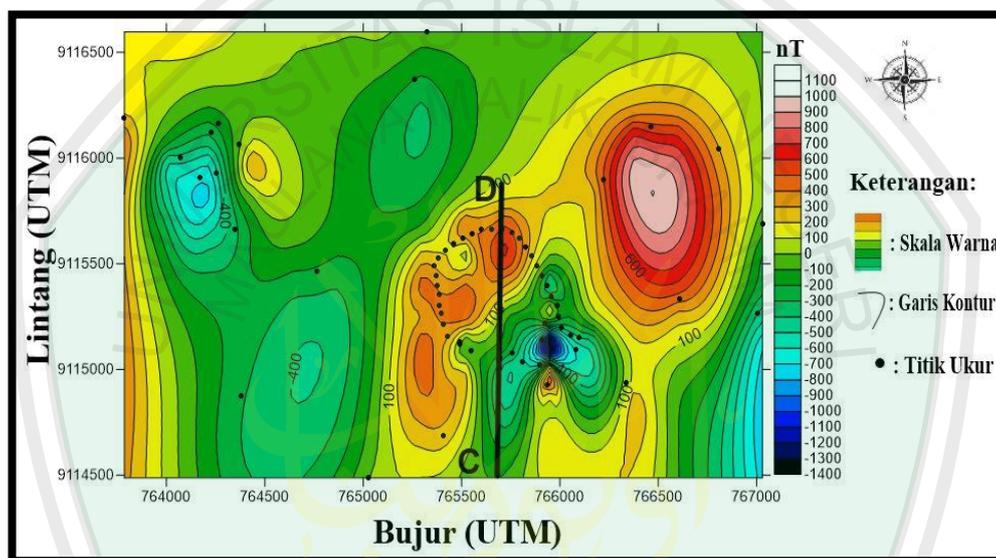
Data geologi digunakan sebagai bahan acuan dalam menafsirkan litologi batuan pada daerah penelitian ini. Informasi dari geologi menyebutkan bahwa

daerah penelitian didominasi oleh *Lamongan Volcanic Rocks* (QVL) yang merupakan batuan Gunung Lamongan dan *Argopuro Volcanic Rocks* (QVA) yang merupakan batuan Gunung Argopuro. Baik QVL dan QVA memiliki lapisan batuan yang sama, yaitu *tuff*, lahar, breksi gunung api dan lava. *Tuff* sebagai sisipan dalam breksi, berwarna kelabu-kuning kecoklatan, banyak batu apung, mineral terang. Breksi tertanam dalam massa dasar *tuff*, berwarna kelabu kehitaman, berkomponen andesit, basal, mineral mafik dan sedikit batu apung. Lava berwarna coklat-kelabu dan kehitaman, berstruktur alir yang tertanam dalam masa dasar kaca gunung api bersusun andesit-basaltik. Satuan batuan QVL berumur Pleistosen awal dan tersingkap di bagian selatan. Batuan gunung api merupakan hasil kegiatan Gunung Lamongan dan dari beberapa pusat erupsi parasit yang ada pada lerengnya. Struktur bawah permukaan dapat diindikasikan dari perubahan nilai intensitas magnet. Dari gambar 4.8 terlihat bahwa ada perubahan nilai intensitas magnet yang cukup besar.

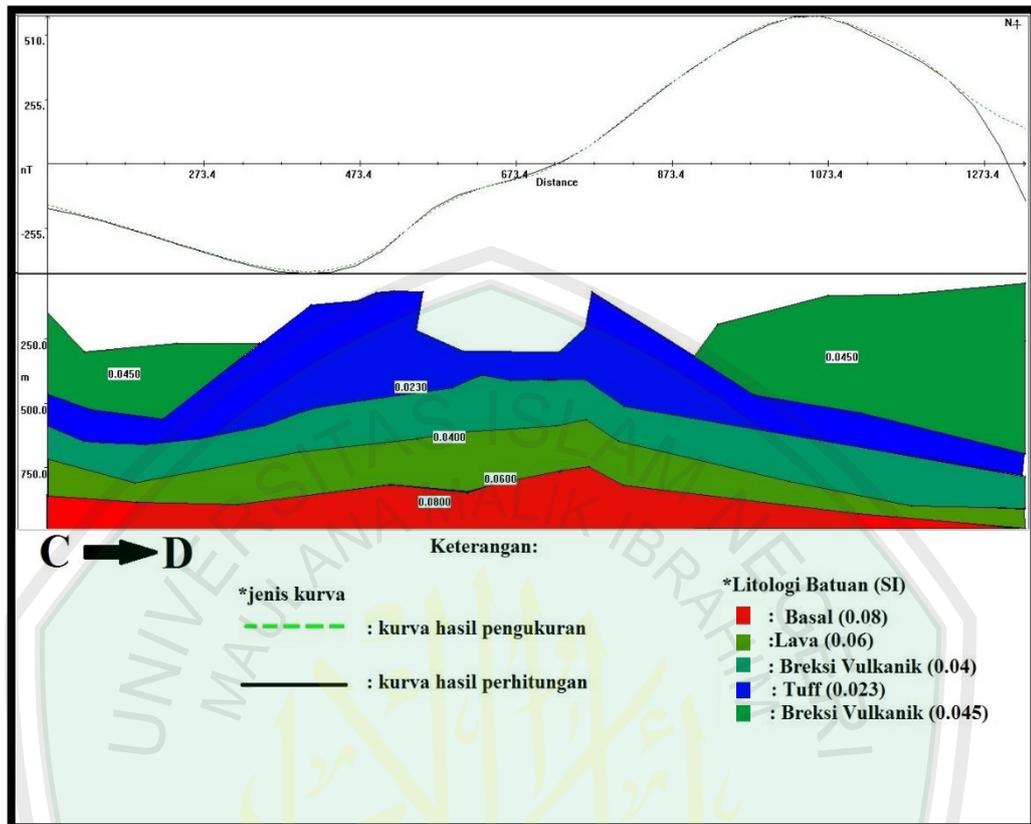
Lereng Pegunungan Argopuro bagian selatan merupakan bagian dari Kabupaten Jember. Puncak gunung Argopuro menunjukkan 5 kerucut yang berbeda. Lereng bagian selatan merupakan lereng tua gunung api, lereng sebelah tenggara Gunung Argopuro dipilah oleh beberapa bukit sehingga dapat terlihat runtuh lereng dan lembah dalam. Sebuah perwakilan lembah dihancurkan oleh sungai Karangbayat, sungai Klatakan, sungai Kali Putih, dan sungai Kemiri (Jompo) dari arah barat, yang kesemuanya menghasilkan sejumlah besar endapan yang membentuk kipas aluvial pada kaki gunung api dan teras runtuh pecahan batuan. Kipas aluvial tua di sekeliling lereng gunung Argopuro berbentuk bukit dengan ketinggian 400 meter - 500 meter.

4.3.2 Lintasan C-D

Penampang intensitas magnetik lokal lintasan C-D diambil berdasarkan hasil penafsiran kualitatif pola kontur intensitas magnet. Sayatan dibuat melintang mulai dari utara hingga ke selatan dengan melewati Ranu Segaran Duwes dan beberapa intensitas magnet positif dan negatif.



Gambar 4.9 Peta sayatan penampang C-D



Gambar 4.10 Peta model bawah permukaan lintasan C-D

Intensitas magnet pada lintasan C-D memperlihatkan harga antara -255 nT sampai 510 nT. Pada lintasan ini terjadi fenomena naik turunnya intensitas magnet. Intensitas magnet negatif terletak pada jarak 0 sampai 723,4 meter. Kenaikan nilai intensitas magnet yang cukup tajam dari negatif ke positif terjadi di area Ranu Segaran Duwes pada jarak 723,4 meter sampai 1300 meter. Terjadinya fenomena ini diduga karena terdapat pola struktur yang melaluinya atau juga akibat pengendapan dari batuan hasil erupsi samping yang merupakan produk dari batuan vulkanik Gunung Lamongan. Ketidakteragaman suseptibilitas batuan sebagaimana yang terlihat pada hasil pemodelan diduga karena sebagian batuan yang ada di daerah tersebut telah mengalami demagnetisasi batuan.

Material penyusun struktur bagian dalam maar terdiri dari material hasil letusan dan runtuhannya maar yang terjadi secara periodik. Hasil pemodelan intensitas magnet lintasan C-D di atas menunjukkan adanya kenampakan batuan basal yang berada terletak di dasar lapisan pada kedalaman 725,37 meter dengan lebar 1243,32 meter, dan memiliki nilai suseptibilitas 0,08 (dalam satuan SI). Lapisan di atas basal diindikasikan sebagai lava yang pemekarannya diduga lambat sehingga membentuk morfologi *vulcanic dome* yang memiliki nilai suseptibilitas 0,06 (dalam satuan SI) pada kedalaman 561,19 meter dengan lebar 1250,92 meter. Lapisan yang ada di atas batuan lava diindikasikan sebagai batuan breksi vulkanik yang memiliki lebar 1251,86 meter dan terletak pada kedalaman 391,04 meter dengan nilai suseptibilitas 0,04 (dalam satuan SI). Endapan di cekungan ranu diduga sebagai batuan piroklastik yang merupakan hasil dari letusan. Sedangkan pada kedalaman 65,67 meter terdapat lapisan batuan yang terletak di atas batuan breksi vulkanik yang kemudian diindikasikan sebagai *tuff* dan bagian teratas dekat permukaan memiliki nilai suseptibilitas 0,023 (dalam satuan SI) yang memiliki lebar 1250,92 meter. Lapisan ini diduga sebagai wadah air pada ranu karena bentuknya berupa cekungan yang menyerupai mangkok/wadah. Di sisi kanan dan kiri dari *tuff* terdapat lapisan dengan nilai suseptibilitas 0,045 (dalam satuan SI) yang diduga sebagai breksi vulkanik dengan lebar 271,15 meter yang terletak pada kedalaman 149,25 meter. *Body* kedua dengan nilai suseptibilitas yang sama terdapat di sebelah kiri pada kedalaman 35,8209 meter dengan lebar 424,21 meter. Tekanan tinggi yang berasal dari bawah mengakibatkan sebagian batuan di atasnya terpotong dan terbentuk bekas erupsi berupa cekungan yang diduga sebagai wadah air pada Ranu Segaran

Duwes. Hasil pemodelan lintasan C-D semakin menguatkan indikasi bahwa material penyusun struktur bawah permukaan Ranu Segaran Duwes berasal dari material erupsi Gunung Lamongan dan Gunung Argopuro.

Ranu Segaran Duwes pada mulanya diduga sebagai bekas lubang erupsi eksplosif sebuah dapur magma yang relatif kecil dan dangkal. Rangkaian erupsi gunung api maar diawali 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 yang disebabkan adanya tekanan dari bawah tersebut mampu mendorong batuan yang dilaluinya terangkat naik. Pada letusan freatomagmatik sebagian kecil berupa komponen magma yang telah ikut terlontar keluar. Sedangkan bahan utaman hasil letusan berasal dari magma yang kemudian membentuk endapan piroklastik.

Gunung Lamongan memiliki kerucut-kerucut epigones yang teretak pada sayatan depresi sumbu antiklin pulau Jawa. Demikian pula antara timur-timur laut dan barat-barat daya terbuka sepanjang 4 km antara zona Klakah dan zona puncak Gunung Lamongan. Oleh karena itu daerah kompleks Gunung Lamongan memiliki intensitas gempa yang cukup sering sehingga mengakibatkan rekahan baru (Bammelan, 1949).

Ranu Segaran Duwes 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 bergerak sebagai aliran air tanah melalui pori batuan atau rekahan pada batuan

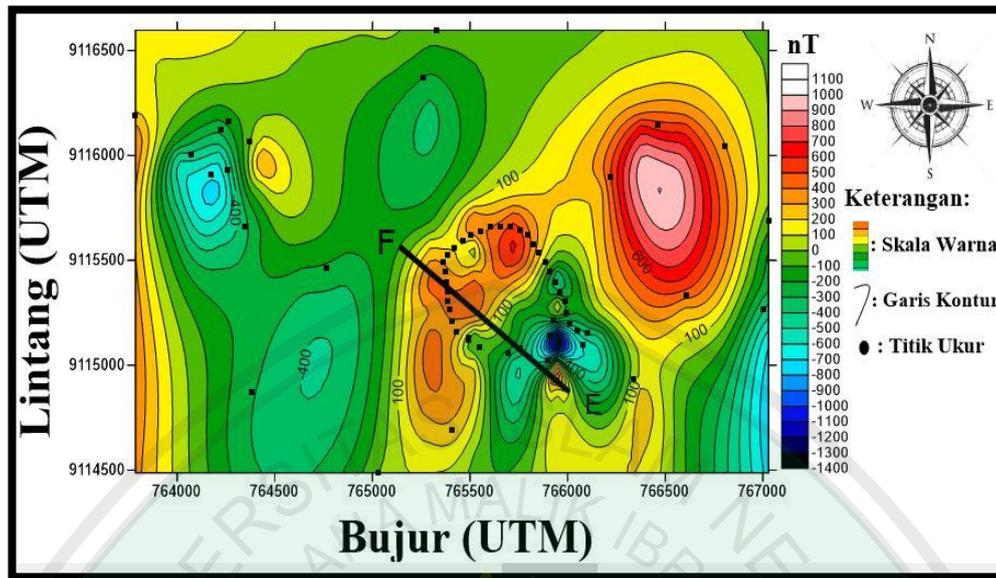
bawah permukaan dan terkumpul pada cekungan yang telah terbentuk dan secara alami berubah menjadi danau.

4.3.3 Lintasan E-F

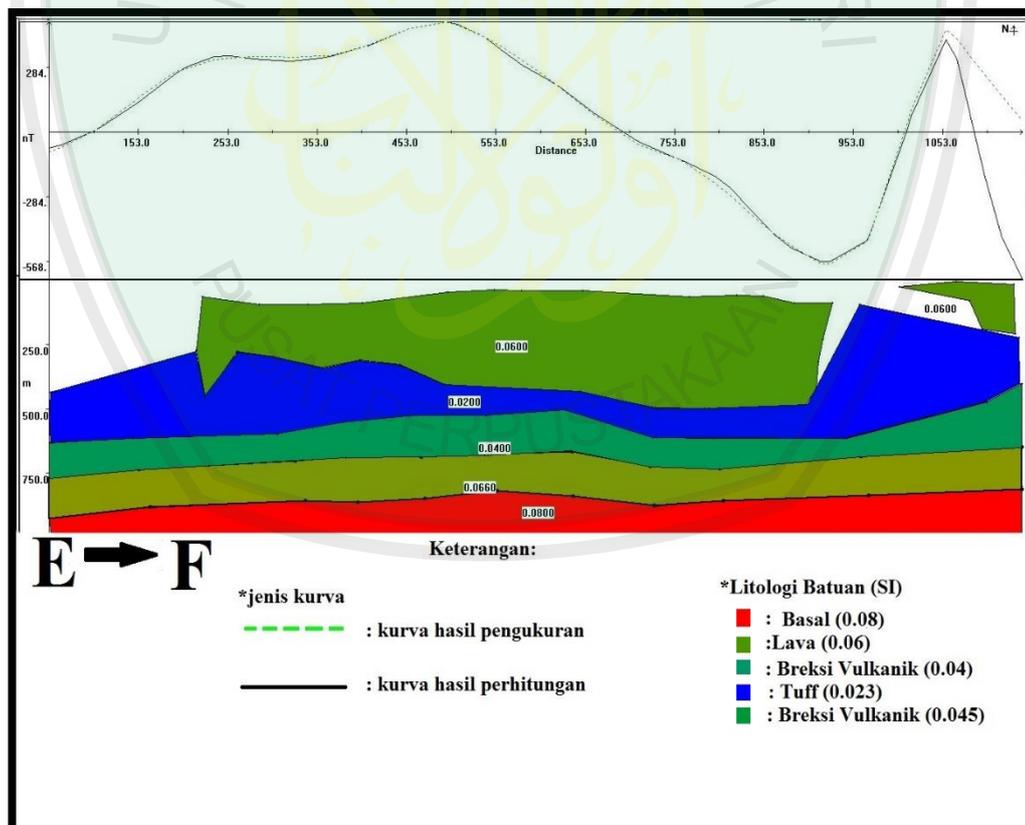
Penelitian sebelumnya dengan menggunakan analisa citra Landsat 7ETM+ menunjukkan bahwa daerah sebelah barat dan timur Ranu Segaran Duwes merupakan daerah tertekan yang dipengaruhi oleh sistem vulkanik Gunung Bromo dan Gunung Argopuro. Secara berurutan dari hasil analisis citra satelit tampak bahwa adanya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

Lintasan E-F disayat berdasarkan data geologi daerah penelitian sebelumnya dan interpretasi kualitatif. Lintasan disayat dari arah tenggara dan barat laut sepanjang 1092,52 meter. Sayatan memotong klosur positif dan negatif dan juga melewati Ranu.

Gambar 4.11 juga menggambarkan adanya sistem tertekan. Timbulnya harga lipatan-lipatan kemungkinan juga dipengaruhi oleh sistem vulkanik Gunung Argopuro yang lokasinya dekat dengan Gunung Lamongan bahkan Ranu Segaran Duwes terletak di kawasan QVA.



Gambar 4.11 Peta sayatan penampang melintang E-F



Gambar 4.12 Peta model bawah permukaan lintasan E-F

Gambar 4.12 menggambarkan model bawah permukaan lintasan EF yang memotong 49 titik. Intensitas magnet di sebelah Tenggara memiliki harga yang lebih tinggi daripada intensitas magnet di daerah barat laut. Hal ini dimungkinkan karena kontak batuan di bawahnya. Litologi batuan pada daerah ini secara umum memiliki kesamaan dengan litologi bawah permukaan lintasan C-D. Mereka terdiri dari basal yang diinterpretasi berada pada kedalaman 800 meter dan memiliki nilai suseptibilitas 0,08 (dalam satuan SI) dengan lebar 1088,57 meter. Lapisan dengan nilai suseptibilitas 0,066 (dalam satuan SI) yang berada di atas lapisan basal diindikasikan sebagai batuan lava, batuan tersebut berada di kedalaman kurang lebih 647,76 meter dan memiliki lebar kurang lebih 1088,57 meter. Di atas lava terdapat lapisan batuan yang memiliki nilai suseptibilitas 0,04 (dalam satuan SI) yang diindikasikan sebagai breksi gunung api yang terletak pada kedalaman 402,98 meter dengan lebar yang sama pada lapisan di bawahnya. Di atas breksi gunung api terdapat lapisan batuan yang diduga sebagai *tuff* yang memiliki nilai suseptibilitas batuan sebesar 0,02 (dalam satuan SI) yang terletak pada kedalaman 95,52 meter dengan lebar 1086,1 meter. Lapisan teratas dari lintasan E-F ini berupa batuan lava dengan 2 *body*. *Body* pertama memiliki lebar 711,47 meter dengan kedalaman 38,8 meter. *Body* kedua terletak pada kedalaman 5,97 meter dengan lebar 129,8 meter.

Pada lintasan E-F ini terdapat *body* yang *abnormal*, yakni di lapisan paling atas pojok kanan dengan nilai suseptibilitas 0,066 (dalam satuan SI) yang berada di kedalaman kurang lebih 5,97 meter dan memiliki lebar kurang lebih 129,8 meter yang diindikasikan sebagai lava. Jika dilihat *body* tersebut seolah terpotong dengan *body* di sebelah kirinya yang memiliki nilai suseptibilitas yang sama. *Body*

yang diduga lava ini seolah terdorong oleh *body* di bawahnya berupa *tuff* dengan nilai suseptibilitas 0,02 (dalam satuan SI). Hal ini semakin menegaskan jika lapisan *tuff* kembali ditutup oleh material baru, yakni lava.

Berdasarkan sejarah pengendapan dan perkembangan tektonik di daerah ini dimulai pada Pliosen, yaitu dengan diendapkannya Formasi Leprak pada lingkungan laut dangkal. Kegiatan tektonik meningkat pada Plio-Plistosen, menyebabkan terjadinya pengangkatan dan memicu kegiatan kegunungapian yang dicirikan oleh terbentuknya batuan Gunung api Pandak, dan terobosan mikrogabro dan andesit-basal. Menjelang akhir Plistosen kegiatan gunung api lebih meningkat lagi, ditunjukkan oleh terbentuknya runtunan batuan Tuf Rabano, batuan Gunung api Tengger, batuan Gunung api Lamongan. Pada saat yang bersamaan terjadi pula pembentukan batu Gamping koral (Suwarti, 1992: 9).

Gunung api Lamongan diindikasikan sebagai salah satu lingkungan geologi gunung api 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.

Jika dilihat dari gambar 4.10 yang menggambarkan bagian tengah Ranu Segaran Duwes tampak jika ranu ini merupakan ranu hasil dari aktivitas meletusnya Gunung Lamongan yang telah mengalami beberapa kali letusan. Hal ini terlihat dari lapisan yang seolah mendorong dan bahkan merobek lapisan di atasnya, inilah yang disebut *cross*. Pembentukan *cross* ini juga semakin terlihat pada lintasan E-F yang

memiliki *body abnormal*. Akan tetapi pemodelan *cross* tidak nampak pada lintasan C-D maupun E-F. Hal ini dikarenakan pada saat pengambilan data di lapangan, peneliti tidak mengambil data di atas atau di tengah Ranu (di permukaan air). Sehingga *body* yang harusnya menggambarkan irisan/*cross* tidak terdeteksi.

Tektonik regional yang cukup kompleks yang berhubungan dengan tekanan magmatik mungkin merupakan faktor utama yang mempengaruhi distribusi vulkanisme di kompleks Gunung api Lamongan. Munculnya magma hingga menyentuh air permukaan tersebut kemungkinan dikontrol oleh pola struktur bawah permukaan. Sejarah pengendapan dan perkembangan tektonik di daerah ini dimulai pada pliosen yaitu dengan diendapkannya formasi Laprak pada laut dangkal. Kegiatan tektonik meningkat pada Plio-Plistone, menyebabkan terjadinya pengangkatan dan memicu kegiatan kegunung-apian (Suwarti, 1992: 9).

Berdasarkan data geologi menunjukkan bahwa produk Gunung api Lamongan dapat dikelompokkan menjadi produk erupsi pusat Gunung Tarub (Lamongan Tua) dan Lamongan muda (Gunung Lamongan sekarang), hasil erupsi samping, erupsi ekstrinsik, erupsi freatik, dan endapan sekunder (Sukhyar dkk, 1980). Gunung api Lamongan diindikasikan sebagai salah satu lingkungan geologi gunung api yang bersusun basal. Dari hasil pemodelan dapat diindikasikan bahwa batuan lava sebagian besar berasal dari erupsi kawah pusat dan sebagian kecil berasal dari erupsi samping. Erupsi ekstrinsik menghasilkan lava atau piroklastik dan juga gabungan antara keduanya. Lahar dan endapan piroklastik juga diindikasikan sebagai hasil letusan sekunder.

4.4 Pemodelan Struktur Bawah Permukaan dalam Pandangan al-Quran

Telah terbukti secara ilmiah melalui berbagai kajian dan penelitian geofisika maupun geologi bahwa bumi terbentuk dari tujuh lapisan tertentu di dalam zona berurutan di sekelilingnya, dimana bagian luar menutupi bagian dalam hingga ke inti bumi. Tujuh lapisan itu sangat bereda-beda dari segi struktur, kepadatan, suhu, dan materialnya berdasarkan perbedaan kedalaman bawah permukaan (*subsurface*).

Al-Quran juga telah menjelaskan kepada manusia tentang tujuh lapisan bumi di dalam Q.S al-Isra' [17]: 44, Q.S ath-Thalaq [65]: 12 dan Q.S al-Mulk [67]: 3. Al-Quran juga memberikan penjelasan yang tepat mengenai struktur bumi dengan menggunakan kata "*thibaqon*" (berlapis-lapis). Al-Quran menegaskan suatu fakta bahwa langit juga berlapis tujuh. Demikian pula dengan bumi terdiri dari tujuh lapis. Penegasan sebutan bumi di dalam al-Quran juga selalu dengan kata tunggal dan jamak.

Allah SWT dengan sifat-Nya *al-'aliim* dan *ar-Rohman* telah memberikan isyarat bahwa suatu saat pengetahuan manusia akan dapat mencapai fakta tujuh lapis bumi di bawah kaki manusia sendiri. Allah SWT cukup menyebutkan dengan kata tunggal pada 461 tempat di dalam al-Quran (el Naggar, 2010: 113).

Mengenai struktur bumi yang terdiri dari tujuh lapis, Rasulullah SAW juga menegaskan tentang keberadaan tujuh lapis bumi dalam salah satu sabdanya:

حَدَّثَنَا أَبُو الْيَمَانِ أَخْبَرَنَا شُعَيْبٌ عَنِ الزُّهْرِيِّ قَالَ حَدَّثَنِي طَلْحَةُ بْنُ عَبْدِ اللَّهِ أَنَّ عَبْدَ الرَّحْمَنِ بْنَ عَمْرٍو
 بْنَ سَهْلٍ أَخْبَرَهُ أَنَّ سَعِيدَ بْنَ زَيْدٍ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ قَالَ سَمِعْتُ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ يَقُولُ مَنْ
 ظَلَمَ مِنَ الْأَرْضِ شَيْئًا طَوَّفَهُ مِنْ سَبْعِ أَرْضِينَ

"Barang siapa yang mengambil sejenkal tanah secara zhalim, sesungguhnya ia akan dibebani tujuh (lapis) bumi pada hari kiamat nanti." (HR. Bukhari).

Dari hadits di atas, secara tekstual terdapat dua kata kunci yaitu: hadits tersebut melarang segala bentuk kezholiman, dan lebih spesifik lagi tindakan mengambil tanah milik orang lain. Kedua, banyak juga yang menyorot hadits ini dan kemudian dihubungkan dengan keadaan lapisan bumi yang menyatakan ada tujuh lapisan yang dimiliki bumi. Kata سبع ارضين memiliki arti tujuh lapis bumi (Syamilah, 2008).

Hadits mengenai struktur lapisan bumi yang terdiri dari tujuh lapis tersebut semakin menguatkan fakta ilmiah dari berbagai hasil penelitian geosains saat ini. Al-Quran dan Hadits telah mendahului ilmu pengetahuan modern dalam mengungkap fakta ilmiah bahwa bumi terbentuk dari tujuh lapisan dari dalam dan 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).

Lapisan kerak bumi dapat memberikan informasi mengenai struktur 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 dan mineral yang terkandung di dalamnya (Dafiqi, 2012).

Tujuh lapisan bumi tersebut memiliki massa jenis, nilai suseptibilitas yang beragam nilai dan warna bergantung dari batuan penyusun struktur lapisan bawah

permukaan. Keberagaman warna ini juga telah dikabarkan Allah SWT 14 abad yang lalu dalam Q.S Faathir [35]: 27:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا ۗ وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيضٌ
وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَعَرَايِبُ سُودٌ

“Tidakkah kamu melihat bahwasanya Allah SWT 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).

Al-Quran telah menjelaskan bahwa *“dan diantara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka ragam warnanya”*. Ayat tersebut menjelaskan mengenai struktur lapisan yang telah dipaparkan bentuk dan batuan pembentuk struktur pada pembahasan di atas. Lapisan dan struktur bahan tersebut memisah dan membentuk seperti garis-garis. Lapisan ini dapat terbentuk akibat batuan yang dikeluarkan dari letusan gunung api.

Dari hasil penelitian tergambar beberapa lapisan batuan/tanah penyusun bumi yang berbeda-beda. Batuan tersebut meliputi *tuff*, lahar, breksi gunung api, dan lava. Batuan gunung api ini merupakan hasil kegiatan Gunung api Lamongan. Data geologi sebelumnya menyatakan bahwa hasil erupsi Gunung Lamongan sebenarnya cukup luas di bagian tengah lembar dan menindih batuan Gunung api Argopuro.

Pembentukan bumi sangat dipengaruhi oleh kemunculan rangkaian gunung-gunung. Berdasarkan penelitian para ahli geologi dan geofisika yang berkaitan dengan struktur bumi yang memiliki tingkat ketinggian tertentu seperti gunung. Berdasarkan geomorfologi, gunung memiliki fungsi sebagai pasak yang menancapkan bumi di jagat raya. Dengan adanya gunung, keseimbangan bumi dapat terjaga, puncak gunung menjadi penahan kesimbangan 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 yang diibaratkan seperti pasak ini juga telah difirmankan Allah SWT dalam surat an-Naba [78]: 6-7:

أَلَمْ نَجْعَلِ الْأَرْضَ مِهَادًا وَاجِبَالَ أَوْتَادًا

"*Bukankah Kami telah menjadikan bumi ini sebagai hamparan. Dan gunung-gunung sebagai pasak?*" (Q.S an-Naba [78]: 6-7).

Firman Allah SWT ini jelas menunjukkan bahwa fungsi gunung-gunung diciptakan sebagai pasak tepatnya pada kata "*autadan*" yang merupakan bentuk jamak dari kata "*watada*" yaitu paku yang besar. Lapisan padat kerak bumi mencapai ketebalan sampai 60 km, lapisan ini meninggi ataupun menurun menjadi dasr lautan dan samudera. Keadaan ini membentuk puncak dan lembah dan menjadikan keseimbangan akibat tekanan yang ditimbulkan oleh gunung-gunung tersebut (Faqih 2006). Ayat ini menerangkan bahwa gunung menggenggam lapisan kerak bumi dengan satu "pancang" yang memanjang dari atas ke bawah permukaan bumi yang menghubungkan semua lapisan dalam bumi (Jasmi, 2013).

Al Quran mengarahkan perhatian manusia pada fungsi penting geologis dari gunung.

وَجَعَلْنَا فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِهِمْ وَجَعَلْنَا فِيهَا فِجَاجًا سُبُلًا لَعَلَّهُمْ يَهْتَدُونَ

"*Dan telah Kami jadikan di bumi ini gunung-gunung yang kokoh supaya bumi itu (tidak) goncang bersama mereka...*" (Q.S al-Anbiya'[21]: 31).

Ayat tersebut menyatakan bahwa gunung-gunung berfungsi untuk mencegah goncangan di permukaan bumi. Kenyataan ini tidaklah diketahui oleh siapapun di masa ketika al-Quran diturunkan. Secara ilmiah, hal ini baru saja terungkap sebagai hasil penemuan geologi modern.

Menurut penemuan ini, gunung-gunung muncul sebagai hasil pergerakan dan tumbukan dari lempengan-lempengan raksasa yang membentuk kerak bumi. Ketika dua lempengan bertabrakan, lempengan yang lebih kuat menyelip di bawah lempengan yang satunya, sementara yang di atas melipat dan membentuk dataran tinggi dan gunung. Lapisan bawah bergerak di bawah permukaan dan membentuk perpanjangan yang dalam ke bawah. Ini berarti gunung mempunyai bagian yang menghujam jauh ke bawah yang tak kalah besarnya dengan yang tampak di permukaan bumi.

Emeritus Frank Press mengungkapkan bahwasannya gunung-gunung mempunyai akar di bawah mereka. Akar ini menghujam dalam, sehingga seolah gunung-gunung mempunyai bentuk bagaikan pasak. Dalam sebuah ayat, peran gunung seperti ini diungkapkan melalui sebuah perumpamaan sebagai "pasak".

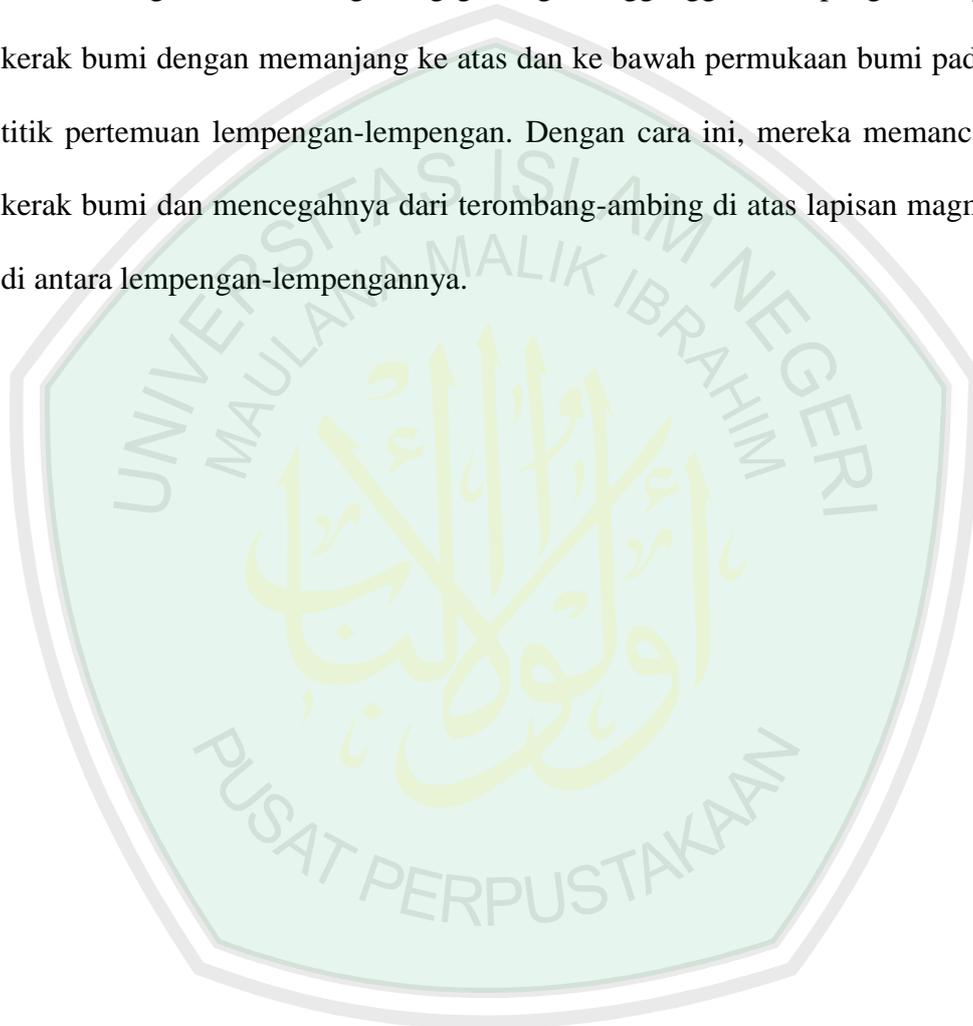
Ilmu bumi modern telah membuktikan bahwa gunung-gunung memiliki akar di dalam tanah dan akar ini dapat mencapai kedalaman yang berlipat dari ketinggian mereka di atas permukaan tanah. Jadi, kata yang paling tepat untuk menggambarkan gunung-gunung berdasarkan informasi ini adalah kata "pasak" karena bagian terbesar dari sebuah pasak tersembunyi di dalam tanah. Pengetahuan semacam ini, tentang gunung-gunung yang memiliki akar yang dalam, baru diperkenalkan di paruh kedua dari abad ke-19.

Sebagaimana pasak yang digunakan untuk menahan atau mencancang sesuatu agar kokoh, gunung-gunung juga memiliki fungsi penting dalam menstabilkan kerak bumi. Mereka mencegah goyahnya tanah. Allah SWT berfirman:

وَأَلْقَى فِي الْأَرْضِ رَوَاسِيَ أَنْ تَمِيدَ بِكُمْ وَأَنْهَارًا وَسُبُلًا لَعَلَّكُمْ تَهْتَدُونَ

“Dan Dia menancapkan gunung-gunung di bumi supaya bumi itu tidak goncang bersama kamu, (dan Dia menciptakan) sungai-sungai dan jalan-jalan agar kamu mendapat petunjuk. (Q.S an-Nahl [16]: 15)”.

Dengan kata lain, gunung-gunung menggenggam lempengan-lempengan kerak bumi dengan memanjang ke atas dan ke bawah permukaan bumi pada titik-titik pertemuan lempengan-lempengan. Dengan cara ini, mereka memancarkan kerak bumi dan mencegahnya dari terombang-ambing di atas lapisan magma atau di antara lempengan-lempengannya.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pemodelan yang dilakukan dengan metode magnetik di sekitar lokasi Ranu Segaran Duwes, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Ranu Segaran Duwes memiliki kontur anomali tinggi, sedang, dan rendah. Nilai intensitas magnet rendah terdapat di barat daya Ranu. Intensitas sedang dan tinggi tersebar di lokasi Ranu Segaran Duwes.
2. Litologi batuan di dominasi basal, lava, breksi vulkanik, piroklastik, dan tuff. Lava memotong batuan sedimen sehingga membentuk cekungan yang mampu menampung air yang saat ini dikenal sebagai Ranu Segaran Duwes.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk mengambil titik di tengah ranu dan memperluas area penelitian ke arah timur ranu Segaran Duwes. Pengambilan data juga dilakukan dengan metode yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Baisa, Ilyas Ghozy. 2007. *Pendugaaan Struktur Waduk Magma Kompleks Arjuno-Welirang Berdasarkan Anomali Magnetik*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Bemmelen, R.W. van. 1937. *The Volcano-Tectonic 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 dr. 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. Sonderveroffentlichungen 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*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- 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.N, 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.

Lampiran 1 Data di lapangan

Nama Titik	Bujur	Lintang	Ketinggian	Anomali
D1N	113.40972	-7.99328	538.48175	-546.47503
D2N	113.4102	-7.993286	540.18286	-548.17615
D3N	113.41067	-7.993283	541.60297	-549.59625
D4N	113.41112	-7.993409	539.18689	-547.1803
D5N	113.41148	-7.993611	530.86499	-538.8586
D6N	113.41175	-7.994017	526.94196	-534.93597
D7N	113.41202	-7.994406	536.23145	-544.22585
D8N	113.41229	-7.994821	543.67853	-551.67335
D9N	113.41253	-7.995229	553.13477	-561.12999
D10N	113.41277	-7.995642	559.7868	-567.78245
D11N	113.40779	-7.996074	517.19464	-525.19072
D12N	113.41296	-7.99611	563.75903	-571.75514
D13N	113.41324	-7.996497	562.42212	-570.41862
D14N	113.41328	-7.996996	566.1546	-574.1516
D15N	113.41345	-7.99744	567.62201	-575.61945
D16N	113.41383	-7.997757	571.29303	-579.29079
D17N	113.41425	-7.997869	581.52991	-589.52778
D18N	113.41409	-7.998371	576.68634	-584.68471
D19N	113.41302	-7.998327	575.69708	-583.69541
D20N	113.41243	-7.999034	595.69867	-603.6977
D21N	113.41254	-7.997975	589.20215	-597.20012
D22N	113.4077	-7.995681	524.79132	-532.787
D23N	113.41268	-7.997281	575.836	-583.83328
D24N	113.40874	-7.998184	535.6604	-543.65858
D25N	113.40929	-7.998468	541.37286	-549.37133
D26N	113.41059	-7.998714	570.52167	-578.52038
D27N	113.41116	-7.998548	578.56506	-586.56361
D28N	113.41162	-7.998905	581.86383	-589.86274
D29N	113.4128	-7.9999	593.7915	-601.7914
D30N	113.41642	-7.999793	553.68054	-561.68033
D31N	113.40818	-7.99785	546.8338	-554.83165
D32N	113.40798	-7.997358	545.69232	-553.68968
D33N	113.40765	-7.995239	533.14941	-541.14465
D34N	113.4079	-7.996857	537.69147	-545.68832
D35N	113.40778	-7.996516	530.85773	-538.85424
D36N	113.40754	-7.994844	545.23517	-553.23001
D37N	113.40775	-7.994501	545.57678	-553.57128
D38N	113.40807	-7.994186	543.10083	-551.09502
D39N	113.40845	-7.993908	538.4541	-546.44801
D40N	113.40884	-7.993637	535.33496	-543.3286
D41N	113.40927	-7.993467	536.05255	-544.04602
BONUS1	113.40876	-7.998077	546.05835	-554.05643
T155N	113.40215	-7.995126	446.11392	-454.10905
BONUS2	113.40457	-8.003918	516.35376	-524.35768
BONUS3	113.408	-8.002079	532.90552	-540.9076
T53N	113.40717	-7.984836	539.87756	-547.8624

T31N	113.40659	-7.986866	534.64362	-542.63048
BONUS 1	113.41749	-7.988833	543.77136	-551.76019
T169N	113.42247	-7.996792	586.82013	-594.81692
T30N	113.41884	-7.996176	564.508	-572.50417
T20N	113.42265	-7.992947	573.59503	-581.58798
T19N	113.42063	-7.989736	567.5249	-575.51464
T18N	113.41531	-7.991112	560.297	-568.28811
T34N /8	113.39323	-7.988602	519.00269	-526.99129
T8N	113.39868	-8.000461	431.1546	-439.15506
T11N	113.39833	-7.9933333	514	-521.99333
T10N	113.39852	-7.989693	506.72253	-514.71223
T170N	113.39749	-7.990925	501.50031	-509.49123
T2N	113.39583	-7.9902778	511	-518.99028
T33N	113.39673	-7.991129	500.64825	-508.63938
T174N	113.39722	-7.9891667	549	-556.98917
T3N	113.39758	-7.988806	504.05341	-512.04221

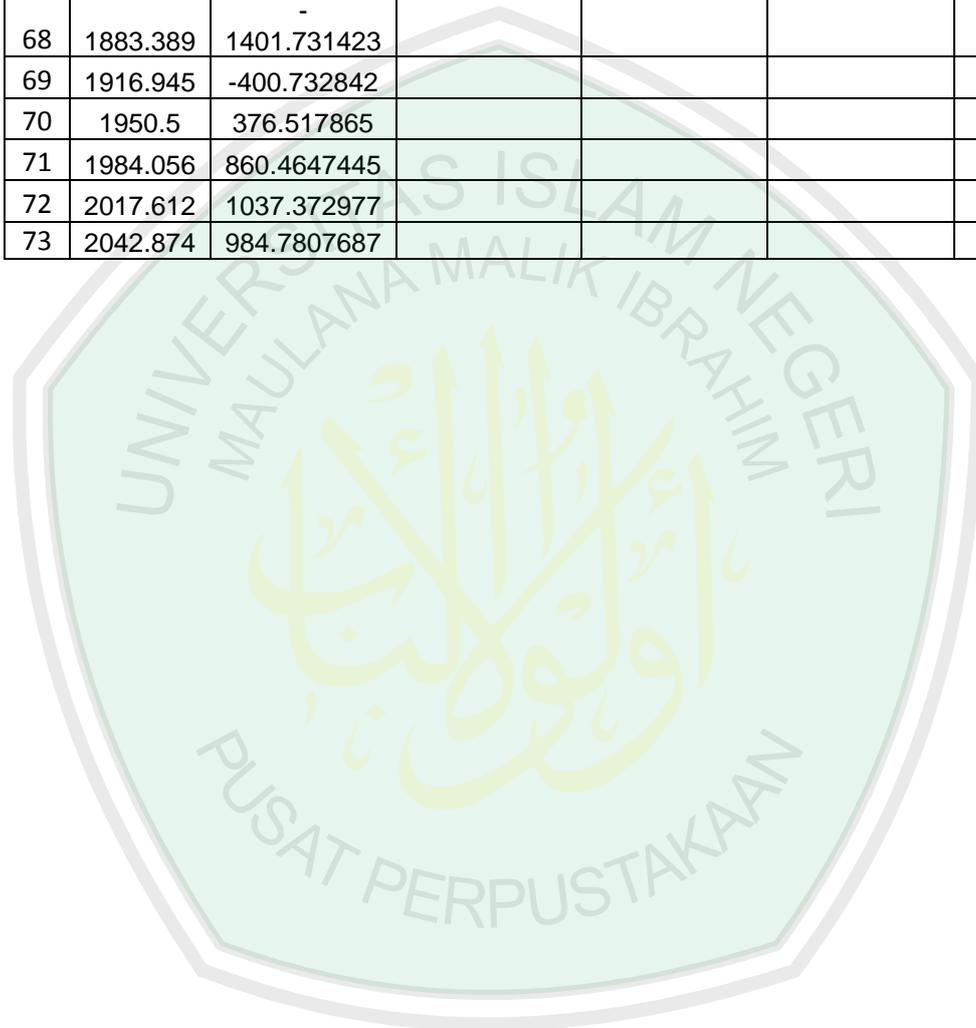


Lampiran 2 Data sayatan A-B, C-D, E-F

No	Jarak	Intensitas Magnetik	Jarak	Intensitas Magnetik	Jarak	Intensitas Magnetik
	AB		C-D		E-F	
1	0	123064.2633	0	117.9554967	0	107.4146026
2	4.260633	122584.2924	21.75275849	142.7770629	10.34874	145.1939292
3	37.81649	118764.4518	54.72178765	191.2252054	30.780845	238.3000235
4	71.37235	114791.2987	87.69081682	254.2559639	63.200243	352.1542008
5	104.9282	110662.0626	120.659846	338.2672034	72.690186	394.5575946
6	114.0445	109497.2808	153.6288751	419.4245854	114.59953	266.8946599
7	138.4841	106343.7189	186.5979043	480.6956863	116.05175	254.8596637
8	172.0399	101946.6214	219.5669335	526.9352063	156.50887	-195.267559
9	205.5958	97456.32306	252.5359626	565.7507737	168.90325	-279.5990811
10	239.1516	92910.07747	285.5049918	591.9620047	198.41821	-444.5772301
11	272.7075	88386.45417	318.474021	588.3187256	221.75475	-492.0257583
12	289.9198	86088.14542	351.4430501	561.86603	240.32755	-491.2343992
13	306.2634	83862.37287	384.4120793	508.1237454	274.60626	-444.0854274
14	339.8192	79374.0525	417.3811084	436.2206504	282.23689	-424.6200905
15	373.3751	74975.6667	450.3501376	364.0468445	324.14623	-298.5860187
16	406.9309	70717.11783	483.3191668	292.6570989	327.45776	-287.1257493
17	440.4868	66626.13177	516.2881959	213.3723731	366.05557	-174.6825333
18	465.7951	63704.24203	549.2572251	123.3945292	380.30927	-144.8930401
19	474.0426	62721.96396	582.2262543	44.10835289	407.96491	-99.40252481
20	507.5985	58986.05336	615.1952834	-	433.16077	-52.75832653
21	541.1544	55507.51698	648.1643126	-	449.87425	-17.48473768
22	574.7102	52389.93564	681.1333418	-	486.01227	76.08778082
23	608.2661	49578.8609	714.1023709	-	491.78359	92.70037199
24	641.6703	47106.35156	747.0714001	-137.294182	533.69293	214.4236149
25	641.8219	47094.49424	780.0404292	-	538.86378	230.1997919
26	675.3778	44804.55985	813.0094584	-	575.60227	341.4619026
27	708.9337	42858.6083	845.9784876	-	591.71528	391.1440115
28	742.4895	41221.82306	878.9475167	-	617.51161	454.5965592
29	776.0454	39892.02799	911.9165459	-	644.56678	482.9179275
30	809.6012	38784.95204	944.8855751	-	659.42096	484.4143724
31	817.5456	38488.96686	977.8546042	-	697.41829	455.2810371
32	843.1571	37360.33376	1010.823633	-414.414591	701.3303	450.2132146

33	876.7129	35573.67488	1043.792663	-	386.3002225	743.23964	412.2641771
34	910.2688	33865.6958	1076.761692	-	352.1191918	750.26979	409.8949568
35	943.8247	32090.50158	1109.730721	-	319.7641918	785.14898	397.4263201
36	977.3805	29830.53256	1142.69975	-	284.9299666	803.1213	400.3418261
37	993.4209	28440.38132	1175.668779	-	-253.336466	827.05832	403.7837128
38	1010.936	26871.83809	1208.637808	-	219.8072292	855.9728	411.7877291
39	1044.492	23556.42787	1241.606838	-	-189.3903	868.96766	413.3290179
40	1078.048	20139.25955	1274.575867	-	158.3800131	908.8243	393.6785227
41	1111.604	16581.14247	1307.544896	-	135.2343332	910.877	391.5348169
42	1145.16	12894.44364	1340.513925	-	112.3269108	952.78634	269.3921458
43	1169.296	10236.2083	1359.184404	-	102.7480355	961.67581	242.8278626
44	1178.716	9170.566659		-		994.69568	143.5041552
45	1212.272	5491.297757		-		1014.5273	89.28928677
46	1245.827	2076.723018		-		1036.605	31.31103219
47	1279.383	1058.256796		-		1067.3788	-34.70908006
48	1312.939	3815.173762		-		1078.5144	-56.21538807
49	1345.171	6068.111224		-		1092.5291	-79.08120609
50	1380.051	8193.688966		-			
51	1413.607	9807.862935		-			
52	1447.163	10939.26484		-			
53	1480.718	11654.55195		-			
54	1514.274	11975.70967		-			
55	1521.047	11983.26128		-			
56	1547.83	11993.55042		-			
57	1581.386	11655.84423		-			
58	1614.942	11013.39857		-			
59	1648.498	-10138.0972		-			
60	1682.054	-9060.34484		-			
61	1696.922	8543.585235		-			
62	1715.609	7854.135609		-			

63	1749.165	-	6527.169402				
64	1782.721	-	5178.300952				
65	1816.277	-	3860.661319				
66	1849.833	-	2590.966991				
67	1872.797	-	1791.371438				
68	1883.389	-	1401.731423				
69	1916.945	-	400.732842				
70	1950.5	-	376.517865				
71	1984.056	-	860.4647445				
72	2017.612	-	1037.372977				
73	2042.874	-	984.7807687				



Lampiran 3. Dokumentasi



Gambar 1 Gunung Lamongan



Gambar 2 Peta Lokasi



Gambar 3 Pemasangan Base Magnetometer



Gambar 4 Di atas Tebing Ranu



Gambar 5 Pengukuran di lapangan



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)



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Isna Laily Juanita
NIM : 11640001
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Aplikasi Metode Geomagnetik untuk Mengetahui Struktur Geologi Bawah Permukaan Ranu Segaran Duwes, Kec.Tiris, Kab.Probolinggo, Provinsi Jawa Timur
Pembimbing I : Irjan, M. Si
Pembimbing II : Umayyatus Syarifah, M. A

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	18 Agustus 2015	Konsultasi Bab I, II dan III	/
2	18 Mei 2016	Konsultasi Agama Bab I	/
3	25 Mei 2016	Konsultasi Agama Bab I dan Acc	/
4	31 Oktober 2015	Konsultasi Bab I, II, III dan Acc	/
5	04 April 2016	Konsultasi Data	/
6	14 April 2016	Konsultasi Data dan Acc	/
7	13 Mei 2016	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	/
8	18 Mei 2016	Konsultasi Bab IV dan V	/
9	31 Mei 2016	Konsultasi Kajian Agama dan Acc	/
10	01 Juni 2016	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan Acc	/

Malang, Juni 2016

Mengetahui,
Ketua Jurusan

