



**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN RANU BETOK
GUNUNG LAMONGAN MENGGUNAKAN METODE MAGNETIK**

SKRIPSI

Oleh
ACHMAD JUNAIDI
NIM 101810201005

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2015



**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN RANU BETOK
GUNUNG LAMONGAN MENGGUNAKAN METODE MAGNETIK**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh
ACHMAD JUNAIDI
NIM 101810201005

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2015

PERSEMBAHAN

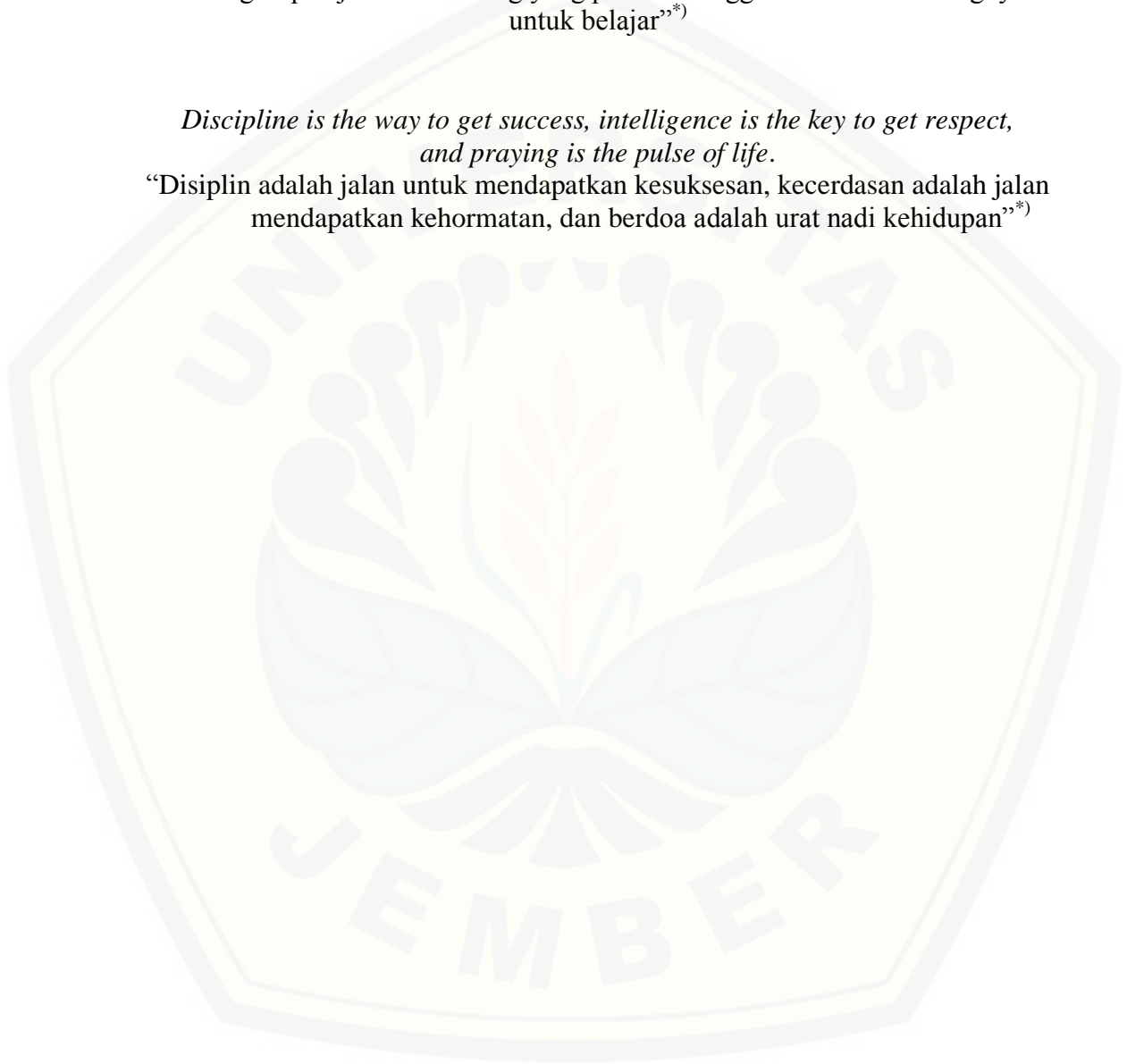
Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Ahmad Yasin dan Ibu Misri yang telah mendoakan dan mengabdikan seluruh hidupnya demi ketiga anaknya serta pengorbanan dan semua curahan kasih sayang yang tiada henti;
2. Seluruh Guru dan Dosen Tercinta di SD Negeri Karanganyar 2, SMP NU Bantaran, SMA Zainul Hasan 1 Genggong dan Universitas Jember atas ilmu dan bimbingannya;
3. Almamater tercinta Fakultas MIPA Universitas Jember.

MOTTO

The educated people are clever at using spare time to study
“Orang terpelajar adalah orang yang pandai menggunakan waktu luangnya
untuk belajar”*)

*Discipline is the way to get success, intelligence is the key to get respect,
and praying is the pulse of life.*
“Disiplin adalah jalan untuk mendapatkan kesuksesan, kecerdasan adalah jalan
mendapatkan kehormatan, dan berdoa adalah urat nadi kehidupan”*)



*) Coelc, Savior. 2009. *Speaking Book for Special Learner*. Pare : BBC.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Achmad Junaidi

NIM : 101810201005

menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi dengan judul "Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Ranu Betok Gunung Lamongan Menggunakan Metode Magnetik" adalah benar-benar merupakan hasil karya bersama antara dosen pembimbing dan saya, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa adanya paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Desember 2015

Yang menyatakan,

Achmad Junaidi

NIM 101810201005

SKRIPSI

**PEMETAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN RANU BETOK
GUNUNG LAMONGAN MENGGUNAKAN METODE MAGNETIK**

Oleh

Achmad Junaidi
NIM 101810201005

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Nurul Priyantari, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Supriyadi, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Ranu Betok Gunung Lamongan Menggunakan Metode Magnetik” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

Hari :

Tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua
(Dosen Pembimbing Utama)

Sekretaris,
(Dosen Pembimbing Anggota)

Nurul Priyantari, S.Si., M. Si.
NIP. 19700327 199702 2 001

Supriyadi, S.Si., M. Si.
NIP. 19820424 200604 1 003

Anggota I,

Anggota II,

Ir. Misto, M.Si.
NIP. 19591121 199103 1 002

Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M. Si.
NIP. 19671215 199802 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Prof. Drs. Kusno, DEA., Ph. D.
NIP 19610108 198602 1 001

RINGKASAN

Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Ranu Betok Gunung Lamongan Menggunakan Metode Magnetik; Achmad Junaidi, 101810201005; 53 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Gunung Lamongan merupakan gunung api aktif yang berada di Jawa Timur. Gunung Lamongan merupakan gunung yang menarik karena mempunyai banyak ranu yang tersebar luas di kawasan tersebut. Salah satu ranu yang berada di Gunung Lamongan adalah Ranu Betok, untuk mengetahui struktur bawah permukaan Ranu Betok dapat dilakukan dengan bermacam metode geofisika. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode magnetik. Metode magnetik adalah metode yang sering digunakan dalam survei pendahuluan pada eksplorasi minyak bumi, gas bumi, dan penyelidikan batuan mineral.

Alat yang digunakan dalam pengukuran metode magnetik yaitu *Proton Procession Magnetometer* berfungsi untuk mengukur intensitas medan magnet dan GPS berfungsi untuk menentukan posisi titik pengukuran. Pengambilan data magnetik dilakukan sebanyak 54 titik ukur yang tersebar secara merata pada area sekeliling dan sekitar ranu, dengan luas penelitian berada pada koordinat $113^{\circ}23'16''$ - $113^{\circ}24'07''$ Bujur Timur dan $7^{\circ}58'12''$ - $7^{\circ}57'28''$ Lintang Selatan. Hasil pengukuran medan magnet kemudian diolah dengan menggunakan *software* pengolahan data magnetik untuk mendapatkan data anomali medan magnet di daerah penelitian. Hasil anomali medan magnet yang terukur kemudian dilakukan koreksi harian, koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*), transformasi reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas. Koreksi tersebut digunakan untuk menghilangkan pengaruh-pengaruh nilai anomali medan magnet yang terukur di daerah penelitian.

Berdasarkan dari hasil penelitian di daerah penelitian didominasi dengan dua nilai anomali yang mempunyai kontras perbedaan yang sangat mencolok, yaitu anomali medan magnet rendah dengan nilai intensitas medan magnet lebih kecil dari -

20 nT serta anomali medan magnet tinggi dengan nilai intensitas medan magnet lebih besar dari 250 nT. Sedangkan sisanya di daerah penelitian merupakan anomali medan magnet sedang dengan nilai intensitas medan magnet berkisar dari -20 nT sampai dengan 250 nT yang mendominasi dari separuh daerah penelitian. Anomali medan magnet rendah menunjukkan bahwa daerah tersebut merupakan daerah yang tersusun atas batuan yang mempunyai demagnetisasi batuan kecil, dan diduga sebagai batuan vulkanik yang telah mengalami pelapukan tinggi seperti batuan breksi yang sudah lapuk. Anomali medan magnet tinggi merupakan daerah yang tersusun atas batuan yang mempunyai demagnetisasi batuan relatif lebih besar sehingga nilai intensitas medan magnet yang muncul adalah nilai anomali tinggi. Daerah dengan anomali tinggi diduga sebagai defleksi dari batuan beku atau batuan vulkanik yang diperkirakan mempunyai hubungan erat dengan batuan intrusi yang bersifat magnetik sedang sampai tinggi. Sedangkan untuk nilai anomali sedang merupakan daerah yang diduga sebagai respon batuan vulkanik yang telah mengalami pelapukan sedang seperti batuan lava dan andesit. Berdasarkan hasil tersebut di daerah Ranu Betok diduga struktur bawah permukaannya didominasi oleh batuan lava, breksi gunung api, batuan andesit, dan basalt.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Ranu Betok Gunung Lamongan Menggunakan Metode Magnetik*. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Fakultas MIPA Universitas Jember.

Penyusun ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ibu Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Bapak Supryadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA), yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga dalam membantu dan membimbing penulis dari awal sampai terselesaikannya skripsi ini;
2. Bapak Ir. Misto, M.Si., selaku penguji I serta Bapak Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M. Si., selaku dosen penguji II dan Dosen Pembimbing Akademik (DPA) yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga dalam membantu dan membimbing penulis dari awal sampai terselesaikannya skripsi ini;
3. Tim Penelitian Geofisika Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta dan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim (UIN) Malang atas kerjasama dan bantuan selama penelitian di daerah Gunung Lamongan;
4. Sahabat angkatan 2010 atas semangat, kerjasama dan persahabatan selama kuliah di Jurusan Fisika Fakultas MIPA;
5. Seluruh Saudara PALAPA Mas Reza, Alit, Rohim, Zazuli dan yang lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selalu memberikan rasa sayang, cinta kasih, doa dan semangat kepada penulis;
6. Sahabat HIMAFI yang telah memberikan semangat, dorongan serta kasih sayang selama ini;
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga isi dan penulisan skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Desember 2015

Penulis



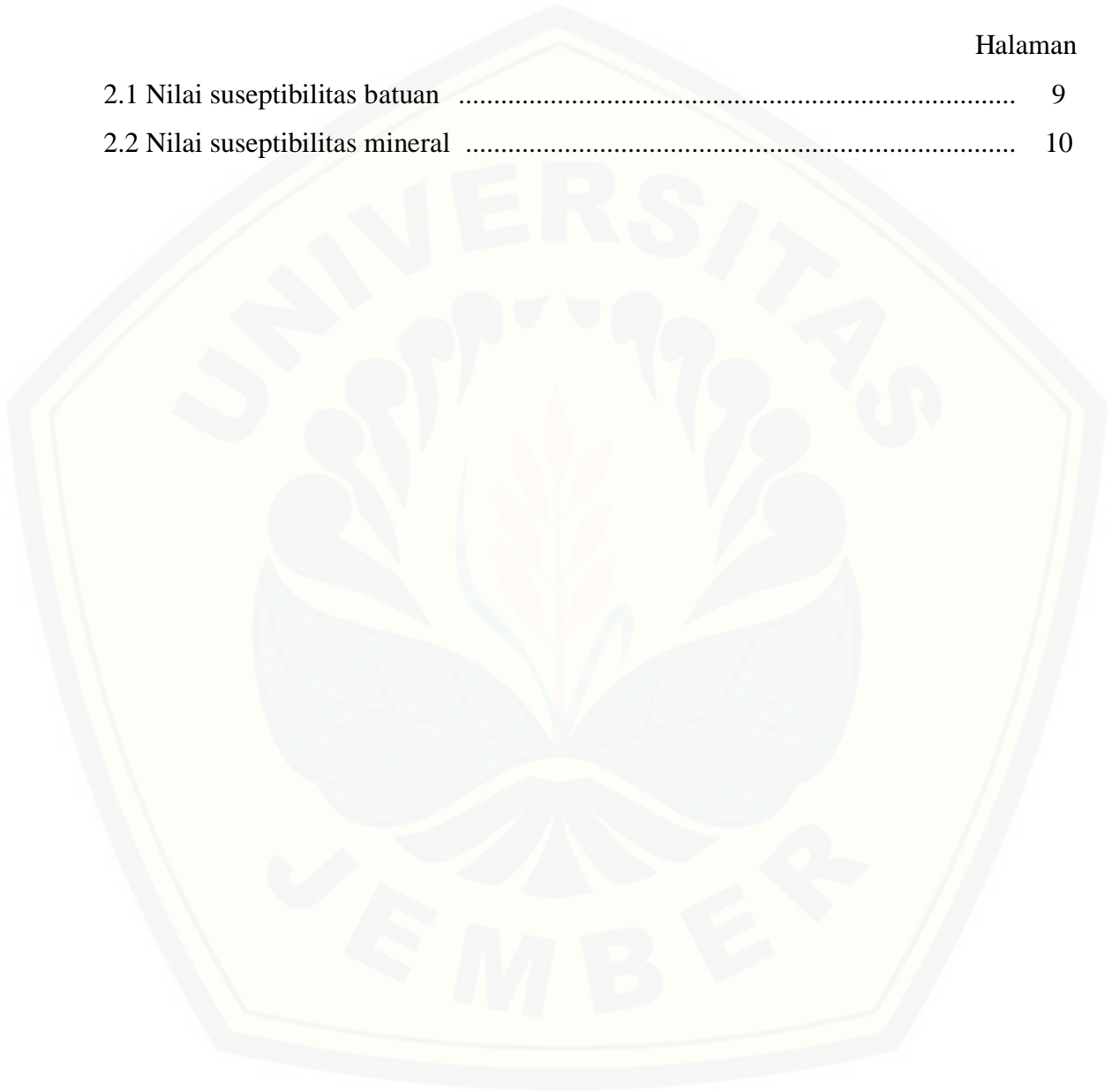
DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | ii |
| HALAMAN MOTTO | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iv |
| HALAMAN PEMBIMBING | v |
| HALAMAN PENGESAHAN | vi |
| RINGKASAN | vii |
| PRAKATA | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Konsep Teori Magnetik | 5 |
| 2.2 Gaya Magnet | 5 |
| 2.3 Kuat Medan Magnetik | 6 |
| 2.4 Suseptibilitas Kemagnetan | 6 |
| 2.5 Jenis-jenis Kemagnetan Pada Batuan | 7 |
| 2.5.1 Diamagnetik | 7 |
| 2.5.2 Paramagnetik | 7 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5.3 Ferromagnetik | 8 |
| 2.6 Medan Magnet Bumi | 11 |
| 2.7 Anomali Medan Magnet | 14 |
| 2.8 Pengukuran Data Geomagnetik..... | 15 |
| 2.9 Pengolahan Data Magnetik | 16 |
| 2.9.1 Koreksi Harian | 16 |
| 2.9.2 Koreksi IGRF (<i>International Geomagnetik Reference Field</i>)..... | 17 |
| 2.9.3 Pemisahan Anomali Regional-Residual..... | 17 |
| 2.9.4 Reduksi ke kutub (<i>Reduction To The Pole</i>) | 18 |
| 2.9.5 Kontinuasi ke atas (<i>Upward Continuation</i>) | 19 |
| 2.10 Geologi Gunung Lamongan | 19 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN | 21 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 21 |
| 3.2 Alat Penelitian | 22 |
| 3.3 Diagram kerja Penelitian | 25 |
| 3.4 Akuisisi Data..... | 25 |
| 3.5 Pengolahan dan Interpretasi Data..... | 28 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 30 |
| 4.1 Hasil | 30 |
| 4.2 Pembahasan | 38 |
| BAB 5. PENUTUP..... | 43 |
| 5.1 Kesimpulan | 43 |
| 5.2 Saran | 43 |
| DAFTAR PUSTAKA | 45 |
| LAMPIRAN | 47 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Nilai suseptibilitas batuan | 9 |
| 2.2 Nilai suseptibilitas mineral | 10 |



DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Pengaruh Inklinasi Benda..... | 12 |
| 2.2 Elemen Medan Magnet Bumi..... | 13 |
| 2.3 Anomali magnetik dari batuan datau benda anomali permukaan bumi | 14 |
| 2.4 Sebuah anomali magnetik sebelum dan setelah reduksi ke kutub | 18 |
| 2.5 Ilustrasi kontinuitas ke atas | 19 |
| 2.6 Peta geologi Gunung Lamongan | 20 |
| 3.1 Peta lokasi penelitian Ranu Betok Desa Ranuagung Tiris Probolinggo | 21 |
| 3.1 Lokasi penelitian Ranu Betok Desa Ranuagung Kecamatan Tiris | 22 |
| 3.3 <i>Proton Precession Magnetometer</i> | 24 |
| a. Base Station..... | 24 |
| b. Rover..... | 24 |
| 3.4 GPS Garmin | 24 |
| 3.5 Diagram kerja penelitian | 25 |
| 3.6 Gambar penelitian data <i>Field</i> dan <i>Base</i> | 26 |
| 4.1 Kontur anomali medan magnet total | 31 |
| 4.2 Kontur anomali medan magnet | 33 |
| 4.3 Kontur anomali medan magnet setelah di reduksi ke kutub | 34 |
| 4.4 Kontur hasil kontinuitas ke atas anomali medan magnet pada ketinggian 50 mdpl | 36 |
| 4.5 Kontur hasil kontinuitas ke atas anomali medan magnet pada ketinggian 100 mdpl | 36 |
| 4.6 Kontur hasil kontinuitas ke atas anomali medan magnet pada ketinggian 150 mdpl | 37 |

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikelilingi oleh gunung berapi aktif dan termasuk dalam lingkaran gunung api pasifik. Salah satu gunung api yang berada di Jawa Timur adalah Gunung Lamongan yang mempunyai ketinggian 1671 mdpl. Gunung api Lamongan merupakan gunung api muda dari Gunung Tarub yang posisinya berada di bagian timur. Pertumbuhan Gunung Lamongan diawali pensesaran Gunung Tarub yang berarah tenggara – barat laut. Pensesaran ini mengakibatkan bagian barat Gunung Tarub runtuh, kemudian pada bagian ini tumbuh Gunung Lamongan (Anonim, 2014).

Gunung Lamongan yang dikelilingi banyak kerucut eksentrik atau parasite (epigones) adalah sangat aktif dalam daerah yang mempunyai sumbu barat-timur sepanjang 37 km dan sumbu utara - selatan sepanjang 18 km. Gunung Lamongan dan kerucut-kerucut eksentrik tersebut terletak pada sayatan depresi sumbu antiklin Pulau Jawa. Demikian juga sistem *fissure* antara timur – timur laut (ENE) sampai barat – barat daya (WSW) Zona Klakah dan Zona Puncak Gunung Lamongan, disertai gempa bumi lokal (Bemmelen, 1949). Oleh karena itu daerah kompleks Gunung Lamongan cukup sering terjadi gempa bumi yang mengakibatkan rekahan-rekahan baru. Adanya banyak ranu dan bukit-bukit lava serta piroklastik di daerah Lamongan berhubungan erat dengan adanya pola-pola struktur yang berkembang di daerah tersebut. Dengan demikian bukan suatu hal yang tidak mungkin bahwa gempa bumi dapat juga terjadi lagi pada suatu waktu (Anonim, 2014).

Gunung Lamongan merupakan gunung api aktif yang berada di Jawa Timur. Gunung Lamongan adalah gunung api yang menarik karena mempunyai banyak maar yang terbentuk dan tersebar luas di kawasan Gunung Lamongan. Secara umum aktifitas gunung api maar dapat berupa letusan freatik, magmatik dan freatomagnetik. Beberapa maar di kawasan Gunung Lamongan sudah terisi dengan air dan

membentuk sebuah ranu, diantaranya yaitu Ranu Betok yang akan menjadi objek penelitian kali ini.

Ranu Betok merupakan daerah yang terletak di Desa Ranuagung Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo yang berada di ketinggian sekitar \pm 553 mdpl. Manifestasi hidrotermal berupa mata air panas muncul di beberapa titik di Kali Pekalen yang berlokasi di sebelah utara Ranu Betok. Studi endapan mineral menunjukkan ada keterkaitan antara endapan maar dengan hidrotermal. Berdasarkan teori dapat diasumsikan bahwa apabila di lapangan ditemukan batuan yang belum teralterasi, maka sumber panas sistem hidroteral dan sumber panas maar adalah sumber panas yang sama, sedangkan apabila ditemukan batuan yang telah teralterasi di lapangan, maka sumber panas maar dan sumber panas sistem hidrotermal adalah sumber panas yang berbeda (Rukmini, 2014). Untuk mengetahui endapan maar Ranu Betok dapat dilakukan dengan bermacam metode geofisika, salah satu metode yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan metode magnetik.

Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi minyak bumi, gas bumi dan penyelidikan batuan mineral (Yuliyanto, 2001). Metode magnetik bekerja berdasarkan sifat-sifat magnetik batuan yang terdapat di bawah permukaan bumi. Metode ini sangat efektif untuk memisahkan anomali massa yang memiliki perbedaan konduktivitas dan susceptibilitas yang signifikan terhadap lingkungan sekitarnya, atau pada kondisi pembebanan massa tanah (*overburden mass*) yang relatif dangkal (Telford *et al*, 1990).

Penelitian yang menggunakan metode magnetik diantaranya dilakukan oleh Bagus *et al* (2012), untuk mengetahui struktur bawah permukaan di sekitar Gunung Kelud Kabupaten Kediri, Rian *et al* (2008), untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan yang berpotensi memiliki emas di daerah Papandayan Garut, Jawa Barat. Selanjutnya Desy (2008), menggunakan metode magnetik untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan dan menentukan posisi atau kedudukan

batuan sedimen terhadap batuan beku dan batuan metamorf di daerah Watuperahu perbukitan Jiwo Timur Bayat, Klaten. Sedangkan penelitian khusus panas bumi di daerah Tiris Probolinggo pernah dilakukan oleh Nella *et al* (2013) dengan metode magnetik. Penelitian tersebut bertujuan menentukan nilai anomali magnetik dan menentukan litologi batuan di daerah panasbumi Tiris. Hasil penelitian tersebut menunjukkan sebaran batuan dengan identifikasi bawah permukaan didominasi oleh batuan *shale*, breksi gunungapi, lava dan basalt.

Berangkat dari latar belakang di atas peneliti ingin mengetahui gambaran struktur bawah permukaan secara lebih detail di Ranu Betok, karena di Ranu Betok diduga terdapat manifestasi panas. Penelitian ini mengasumsikan endapan maar hasil pengukuran di Ranu betok dengan daerah sumber panas di Kali Pekalen dan berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Nella *et al* (2013), peneliti ingin mengetahui lebih detail tentang struktur bawah permukaan khususnya di daerah Ranu Betok Gunung Lamongan dengan menggunakan metode magnetik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang muncul dari latar belakang di atas adalah bagaimana gambaran struktur bawah permukaan Ranu Betok ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan di dalam penelitian ini adalah :

1. Pengolahan data menggunakan *Software* geofisika.
2. Koreksi yang digunakan dalam pengolahan data yaitu koreksi harian, koreksi IGRF, kontinuasi ke atas (*upward*), dan reduksi ke kutub (*reduction to the pole*).
3. Pengambilan data magnetik dilakukan di daerah Ranu Betok yaitu sekeliling ranu dan sekitar Ranu Betok.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah peneliti dapat mengetahui dan menerangkan gambaran struktur bawah permukaan Ranu Betok.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dengan adanya penelitian ini adalah dapat memberikan tambahan informasi baru tentang gambaran struktur bawah permukaan Ranu Betok serta kandungan yang terdapat dalam bawah permukaan Ranu Betok, dan juga dapat memberikan informasi kepada masyarakat di sekitar Ranu Betok tentang jenis dan karakteristik tanah, serta dapat memberikan informasi dan landasan untuk penelitian lebih lanjut bagi instansi atau lembaga terkait.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Teori Magnetik

Metode magnetik adalah salah satu metode geofisika untuk mengukur variasi medan magnetik dipermukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi (suseptibilitas). Variasi yang terukur (anomali) berada dalam latar belakang medan yang relatif besar. Variasi intensitas medan magnetik yang terukur kemudian ditafsirkan dalam bentuk distribusi bahan magnetik di bawah permukaan, yang kemudian dijadikan dasar bagi pendugaan keadaan geologi yang mungkin. Metode magnetik memiliki latar belakang fisika berdasarkan kepada teori potensial, sehingga sering disebut sebagai metode potensial. Dalam metode magnetik harus mempertimbangkan variasi arah dan besar vektor magnetisasi. Data pengamatan magnetik lebih menunjukkan sifat residual yang kompleks. Pengukuran intensitas medan magnetik bisa dilakukan melalui darat, laut dan udara. Metode magnetik sering digunakan dalam eksplorasi pendahuluan minyak bumi, panas bumi, dan batuan mineral serta bisa diterapkan pada pencarian prospeksi benda-benda arkeologi.

2.2 Gaya Magnet

Gaya magnet adalah suatu gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antara kutub-kutub magnet yang terpisah sejauh r dan menimbulkan gaya magnet sebesar F . Dasar dari metode magnetik adalah gaya Columb (Telford *et al*, 1990), antara dua kutub magnetik m_1 dan m_2 (e.m.u) yang berjarak r (m) dalam bentuk

$$\vec{F} = \frac{m_1 \cdot m_2}{(\mu_0 r^2)} \hat{r}_1 \quad (2.1)$$

Dengan :

\vec{F} = Gaya interaksi antara massa kutub (N)

m_1, m_2 = Kuat kutub medan magnetik (m/A)

μ_0 = Konstanta permeabilitas medium dalam ruang hampa, tidak berdimensi dan berharga satu ($4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$).

r = Jarak antara dua titik massa dari setiap kutub (m)

\hat{r}_1 = Vektor satuan

2.3 Kuat Medan Magnetik

Kuat medan magnetik (\vec{H}) ialah besarnya medan magnet pada suatu titik dalam ruangan yang timbul sebagai akibat adanya kuat kutub yang berada sejauh r dari titik m tersebut. Kuat medan magnet (\vec{H}) didefinisikan sebagai gaya persatuan kuat kutub magnet.

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{m_2} = \frac{m_1}{\mu_0 r^2} \vec{r} \quad (\text{oersted}) \quad (2.2)$$

dengan \vec{r} adalah jarak titik pengukuran dari m . \vec{H} mempunyai satuan A/m dalam SI sedangkan dalam cgs \vec{H} mempunyai satuan oersted (Hunt *et al*, 1995).

2.4 Suseptibilitas Kemagnetan

Suseptibilitas (χ) merupakan derajat termagnetisasinya suatu benda karena pengaruh medan magnet magnetik. Nilai suseptibilitas (χ) ini sangat berperan penting dalam pencarian benda-benda penyebab anomali karena sifat ferromagnetik untuk setiap jenis mineral dan batuan yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Magnitudo suatu medan magnet bergantung pada kerentanan magnet tersebut. Jadi

medan magnet tersebut dapat ditulis sebagai intensitas magnet dengan persamaan sebagai berikut :

$$\vec{I} = \chi \vec{H} \quad (2.3)$$

Dengan :

I = Intensitas magnetik (T)

χ = Suseptibilitas value

harga (χ) pada batuan semakin besar apabila dalam batuan semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik. Berdasarkan harga (χ), benda-benda magnetik dapat dikategorikan sebagai diamagnetik, paramagnetik dan ferromagnetik (Gibson dan Milligan, 1988).

2.5 Jenis-jenis Kemagnetan Pada Batuan

2.5.1 Diamagnetik

Diamagnetik adalah benda magnetik yang mempunyai nilai suseptibilitas kecil dan negatif (Tipler,1996), sehingga magnetisasi yang diinduksikan di dalam bahan oleh medan magnetik bumi menghasilkan arah yang berlawanan terhadapnya. Beberapa bahan diamagnetik yang paling kuat adalah logam bismuth dan molekul organik seperti benzena. Contoh lain bahan diamagnetik yaitu: Grafit, Gypsum, Marmer, Kuarsa, dan Garam.

2.5.2 Paramagnetik

Paramagnetik adalah benda yang mempunyai nilai suseptibilitas sangat kecil dan positif (Tipler,1996), seperti gneiss, pegmatite, dolomit, syenite. Paramagnetik terdapat kulit elektron terluar yang belum jenuh yakni ada elektron yang putarannya tidak berpasangan dan mengarah pada arah putaran yang sama. Jika terdapat medan magnetik luar, putaran tersebut berpresesi menghasilkan medan magnet yang mengarah searah dengan medan tersebut sehingga memperkuatnya. Momen magnet bahan paramagnetik mempunyai sifat :

1. Suseptibilitasnya positif dan sedikit lebih besar dari satu.
2. Suseptibilitasnya bergantung pada temperatur.

Contoh : Piroksen, Olivin, Garnet, Biotit, Amfibolit, dan lain-lain.

2.5.3 Ferromagnetik

Ferromagnetik adalah benda magnetik yang mempunyai nilai suseptibilitas positif dan besar (Tipler,1996). Terdapat banyak kulit elektron yang hanya diisi oleh satu elektron sehingga mudah terinduksi oleh medan luar. Keadaan ini diperkuat lagi oleh adanya kelompok-kelompok bahan dengan putaran searah yang membentuk dipole-dipole magnet (domain) yang mempunyai arah sama. Bahan ferromagnetik mempunyai sifat :

1. Suseptibilitasnya positif dan jauh lebih besar dari pada satu.
2. Suseptibilitasnya bergantung pada temperatur.

Contoh : Besi, Nikel, Kobal, *Terbium*, *Dysprosium*, dan *Neodymium*.

Ferromagnetik dibagi menjadi dua yaitu :

1) Antiferromagnetik

Pada bahan antiferromagnetik domain-domain dihasilkan oleh dipole magnetik yang saling berlawanan arah, sehingga momen magnetik secara keseluruhan sangat kecil. Bahan antiferromagnetik yang mengalami cacat kristal akan mengalami medan magnet kecil dan suseptibilitasnya seperti pada bahan paramagnetik suseptibilitas, tetapi harganya naik sampai dengan titik *Curie* kemudian turun lagi menurut hukum *Curie-Weiss*. Contoh : Hematit (Fe_2O_3).

2) Ferrimagnetik

Pada bahan ferrimagnetik domain-domain saling antipartikel dan jumlah dipole pada masing-masing arah tidak sama sehingga masih mempunyai resultan magnetisasi cukup besar, suseptibilitasnya tinggi dan tergantung pada temperatur. Contoh : Magnetit (Fe_3O_4), Ilmenit ($FeTiO_3$), Pirhotit (FeS), *Ferrite* ($NiOFe_2O_3$), *Yttrium* ($Y_3Fe_5O_{12}$).

Berdasarkan proses terjadinya ferrimagnetik terdapat dua macam magnet :

- Magnet induksi bergantung pada nilai suseptibilitas yang menyebabkan anomali pada medan magnet bumi.
- Magnet permanen bergantung pada sejarah pembentukan batuan (Jensen dan MacKintosh, 1991).

Berdasarkan sifat magnetik dari sejumlah batuan dan mineral batuan nilai suseptibilitasnya dijelaskan dalam bentuk Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Batuan

| Batuan | Tipe | Suseptibilitas $\chi \cdot 10^3$ (SI) | |
|----------|---------------|---------------------------------------|-----------|
| | | Rentang | Rata-rata |
| Sedimen | Dolomite | 0-0,9 | 0,1 |
| | Batu gamping | 0-3 | 0,3 |
| | Batu pasir | 0-20 | 0,4 |
| | Serpih | 0,01-15 | 0,6 |
| Metamorf | Amphibiolite | | 0,7 |
| | Sekis | 0,3-3 | 1,4 |
| | Filit | | 1,5 |
| | Gneiss | 0,1-25 | |
| | Kuarsit | | 4 |
| | Serpentim | | |
| Beku | Sabak | 0-35 | 6 |
| | Granit | 0-50 | 2,5 |
| | Riolit | 0,2-35 | |
| | Dolorit | 1-35 | 17 |
| | Olivin-diabas | | 25 |
| | Diabas | 1-160 | 55 |
| | Porphyry | 0,3-200 | 60 |
| Gabro | | 70 | |

| | | |
|------------|---------|-----|
| Basalt | 0,2-175 | 70 |
| Diorit | 0,6-120 | 85 |
| Piroksenit | | 125 |
| Peridotit | 90-200 | 150 |
| Andesit | | 160 |

Sumber : Telford *et al* (1990).

Tabel 2.2 Nilai Suseptibilitas Mineral

| Tipe Mineral | Suseptibilitas $\chi \cdot 10^3$ (SI) | |
|--------------|---------------------------------------|-----------|
| | Rentang | Rata-rata |
| Grafit | | 0,1 |
| Kuarsa | | -0,01 |
| Rock salt | | -0,01 |
| Gypsum | | -0,01 |
| Kalsit | -0,001- (-0,01) | |
| Batubara | | 0,002 |
| Lempung | | 0,2 |
| Kalkopirit | | 0,4 |
| Spalerit | | 0,7 |
| Kasiterit | | 0,9 |
| Siderit | 1-4 | |
| Pirit | 0,05-5 | 1,5 |
| Limonit | | 2,5 |
| Arsenopirit | | 3 |
| Hematit | 0,5-35 | 6,5 |
| Kronit | 3-110 | 7 |
| Franklinit | | 430 |
| Piritit | | 1500 |
| Ilmenit | 300-3500 | 1800 |
| Magnetit | 1200-19200 | 6000 |

Sumber: Telford *et al* (1990).

2.6 Medan Magnet Bumi

Nilai medan magnet total setiap lokasi diberbagai belahan dunia tidak sama. Setiap lokasi yang mempunyai koordinat lintang dan bujur yang berbeda akan mempunyai nilai intensitas yang berbeda pula (Blakely, 1995).

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

- 1) Intensitas medan magnetik bumi hampir seluruhnya berasal dari dalam bumi.
- 2) Medan yang teramati dipermukaan bumi dapat didekati dengan persamaan harmonik yang pertama yang berhubungan dengan potensial dwi kutub dipusat bumi. Dwi kutub Gauss ini mempunyai kemiringan 11.50 terhadap sumbu geografi.

Elemen medan magnet bumi yang dapat diukur yaitu meliputi arah dan intensitas kemagnetannya. Elemen-elemen medan magnet tersebut meliputi :

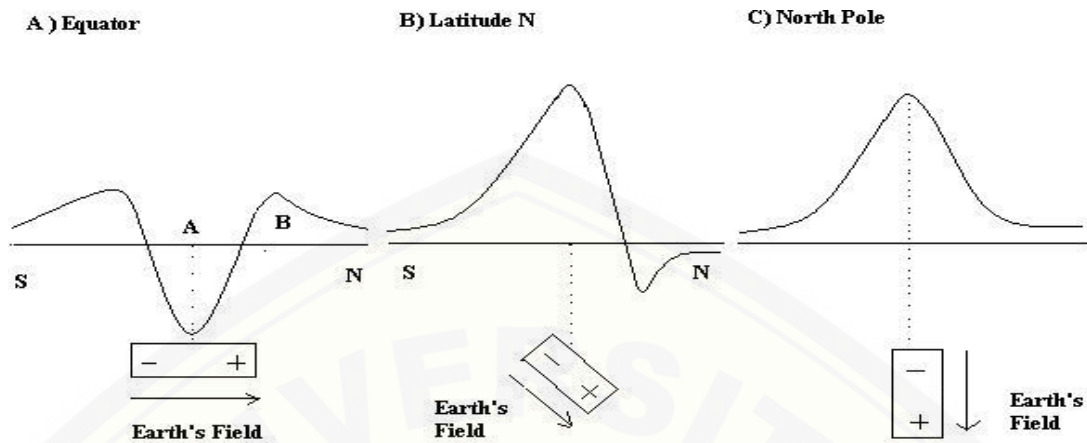
1. Deklinasi (D)

Yaitu sudut antara utara magnetik dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur.

2. Inklinasi (I)

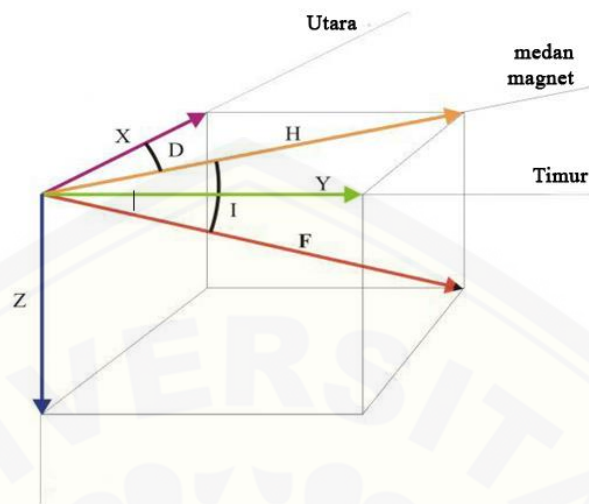
Yaitu sudut antara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah.

Anomali magnetik yang dihasilkan masih dipengaruhi oleh arah inklinasi medan bumi pada daerah penyelidikan sehingga maksimum profil anomali tidak berhubungan langsung dengan posisi sumber benda penyebab anomali (Gambar 2.1). Inklinasi benda magnet bumi pada daerah survei yang berada di sekitar khatulistiwa merupakan kebalikan dari daerah kutub, dimana pada sekitar khatulistiwa posisi sumber berhubungan dengan minimum profil anomali. Untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik maka dilakukan filter reduksi ekuator (Blakely, 1995).



Gambar 2.1 Pengaruh Inklinasi Benda (Siahaan, 2009).

Elemen medan magnet bumi yang dapat diukur yaitu arah dan intensitas kemagnetannya (Gambar 2.2). Elemen-elemen medan magnet itu adalah deklinasi magnetik D , intensitas horizontal H dan intensitas vertikal Z , dari elemen-elemen ini, semua parameter medan magnet lainnya dapat dihitung. Elemen yang menggambarkan arah medan magnetik adalah deklinasi D (sudut antara magnetik utara dan utara geografis) dan inklinasi I (sudut antara bidang horizontal dan vektor medan total), yang diukur dalam derajat. Intensitas medan magnetik total F digambarkan dengan komponen horizontal H , komponen vertikal Z dan komponen horizontal kearah utara X dan kearah timur Y . Intensitas medan magnetik bumi secara kasar antara (25.000-65.000) nT. Indonesia yang wilayahnya terletak di utara ekuator mempunyai intensitas \pm (40.000) nT, sedangkan untuk Indonesia yang wilayahnya terletak di selatan ekuator mempunyai intensitas \pm (45.000) nT.



Gambar 2.2. Elemen Medan Magnet Bumi : (F) adalah Total Intenitas, (H) adalah Horizontal Intenitas, (X) adalah *North Component*, (Y) adalah *East component*, (Z) adalah *Vertical Component*, (I) adalah Inklinasi Geomagnetik, (D) adalah Deklinasi Geomagnetik (sumber: Reynold, 1997).

Medan magnet bumi terdiri dari bagian :

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).

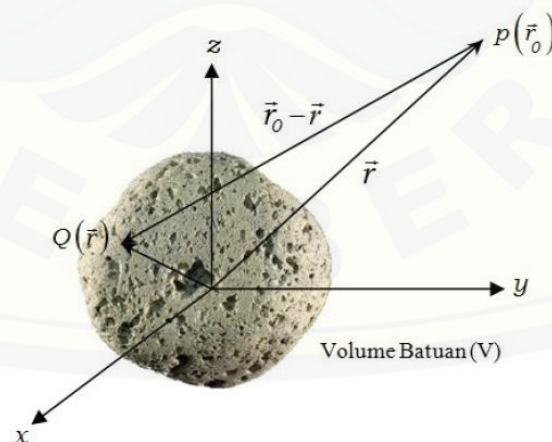
2. Medan magnet luar bumi

Pengaruh medan magnet luar berasal dari pengaruh luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Karena sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka perubahan medan ini terhadap waktu lebih cepat (Blakely, 1995). Beberapa sumber medan luar antara lain :

1. Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dengan siklus 11 tahun.
2. Variasi harian (*diurnal variation*) dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari dan mempunyai jangkauan 30 nT.
3. Variasi harian (*diurnal variation*) 25 jam yang berhubungan dengan pasang surut bulan dan mempunyai jangkauan 2 nT.
4. Bidan magnetik (*magnetic storm*) yang bersifat acak dan mempunyai jangkauan sampai dengan 1000 nT (Telford *et al*, 1990).

2.7 Anomali Medan Magnet

Setiap benda magnetik yang terpendam di bawah permukaan (batuan atau mineral) yang menjadi target penelitian dapat dipandang sebagai anomali magnetik. Menurut Telford *et al.* (1990), suatu volum benda yang terdiri atas berbagai bahan magnetik dapat dianggap sebagai dipol magnetik (Gambar 2.3). Magnetisasi yang terjadi pada benda atau batuan tersebut tergantung dari rekam jejaknya selama berada di dalam medan magnetik utama bumi, atau dengan kata lain tergantung dari besar induksi magnetik yang diterimanya dari medan magnetik utama bumi.



Gambar 2.3. Anomali magnetik dari batuan atau benda anomali bawah permukaan bumi (Telford *et al.*, 1990).

Anomali medan magnet dihasilkan oleh benda magnetik yang telah terinduksi oleh medan magnet utama bumi, sehingga benda tersebut memiliki medan magnet sendiri dan ikut mempengaruhi besarnya medan magnet total hasil pengukuran. Variasi medan magnetik yang terukur dipermukaan merupakan target dari survei magnetik (anomali magnetik). Besarnya anomali magnetik berkisar ratusan sampai dengan ribuan nano-tesla, tetapi ada juga yang lebih besar dari 100.000 nT yang berupa endapan magnetik. Secara garis besar anomali ini disebabkan oleh medan magnetik renamen dan medan magnet induksi. Medan magnet renamen mempunyai peranan yang sangat besar pada magnetisasi batuan yaitu pada besar dan arah medan magnetnya serta sangat rumit diamati karena berkaitan dengan peristiwa kemagnetan yang dialami sebelumnya. Sisa kemagnetan ini disebut dengan *Normal Residual Magnetism* yang merupakan akibat magnetisasi medan utama. Dalam survei magnetik, adanya anomali magnetik menyebabkan perubahan medan magnet total bumi dan dapat dituliskan sebagai berikut (Telford *et al*, 1990) :

$$H_T = H_0 + H_L + H_A \quad (2.4)$$

Dengan :

H_T = Medan magnetik total bumi (nT)

H_0 = Medan magnetik utama bumi (nT)

H_L = Medan magnetik luar bumi (nT)

H_A = Medan anomali magnetik (nT).

2.8 Pengukuran Data Geomagnetik

Dalam melakukan pengukuran *geomagnetic*, peralatan paling utama yang digunakan adalah magnetometer. Peralatan ini digunakan untuk mengukur kuat medan magnetik di lokasi survei. Salah satu jenisnya adalah *Proton Precission Magnetometer* (PPM) yang digunakan untuk mengukur nilai kuat medan magnetik total. Peralatan lain yang bersifat pendukung di dalam survei magnetik adalah *Global Positioning System* (GPS). Peralatan ini digunakan untuk mengukur posisi titik

pengukuran yang meliputi bujur, lintang, ketinggian, dan waktu. GPS ini dalam penentuan posisi suatu titik lokasi menggunakan bantuan satelit. Sinyal satelit digunakan karena menjangkau daerah yang sangat luas dan tidak terganggu oleh gunung, bukit, lembah dan jurang. Pengukuran data medan magnetik di lapangan dilakukan dengan menggunakan peralatan PPM, yang merupakan portable magnetometer. Data yang dicatat selama proses pengukuran adalah hari, tanggal, waktu, kuat medan magnetik, kondisi cuaca dan lingkungan.

Dalam melakukan akuisisi data magnetik yang perlu dilakukan pertama kali adalah menentukan posisi base station dan membuat station-station pengukuran (usahakan membuat grid-grid). Ukuran gridnya disesuaikan dengan luasnya lokasi pengukuran, kemudian dilakukan pengukuran medan magnet di station-station pengukuran di setiap lintasan, pada saat bersamaan pula dilakukan pengukuran variasi harian di base station.

2.9 Pengolahan Data Magnetik

Dalam memperoleh anomali medan magnet yang diinginkan, maka harus dilakukan koreksi data terhadap medan magnetik observasi hasil pengukuran pada setiap stasiun pengukuran yang mencakup koreksi harian dan koreksi IGRF.

2.9.1 Koreksi Harian

Koreksi harian merupakan penyimpanan nilai medan magnetik bumi akibat adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari. Waktu yang dimaksud disini adalah waktu yang mengacu atau sesuai dengan waktu pengambilan data di setiap stasiun pengukuran yang akan dikoreksi. Apabila nilai variasi harian negatif maka koreksi harian dilakukan dengan cara menambahkan nilai variasi harian, sebaliknya apabila variasi harian bernilai positif, maka koreksinya dilakukan dengan cara mengurangi nilai variasi harian. Dapat dituliskan dalam persamaan :

$$\Delta H = H_{obs} \pm \Delta H_{vs} \quad (2.5)$$

Dengan :

- ΔH : Anomali medan magnet (nT)
 H_{obs} : Intensitas medan magnet terukur (nT)
 ΔH_{vs} : Koreksi variasi harian (nT)

2.9.2 Koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*)

Pada dasarnya data hasil pengukuran medan magnet merupakan kontribusi dari tiga komponen dasar yaitu magnet utama bumi, medan magnet luar dan anomali medan magnet. Nilai medan magnet utama bumi adalah nilai IGRF. Koreksi IGRF dapat dilakukan dengan cara mengurangi nilai IGRF terhadap nilai medan magnetik total yang telah terkoreksi oleh koreksi harian pada setiap titik pengukuran. Persamaan koreksinya setelah dilakukan :

$$\Delta H = (H_{obs} \pm \Delta H_{vs}) - H_{IGRF} \quad (2.6)$$

Dengan :

- ΔH : Anomali medan magnet (nT)
 H_{obs} : Intensitas medan magnet terukur (nT)
 ΔH_{vs} : Koreksi variasi harian (nT)
 H_{IGRF} : Nilai medan magnet utama bumi (nT)

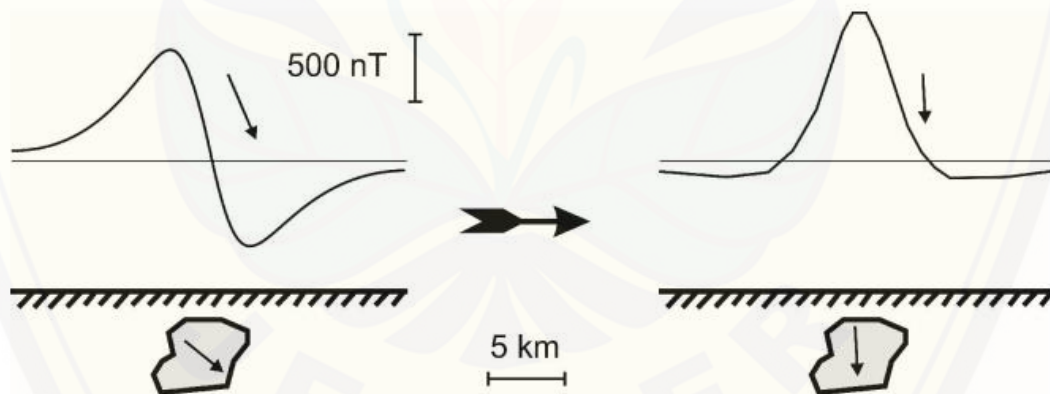
2.9.3 Pemisahan Anomali Regional-Residual

Pemisahan anomali regional dan residual merupakan tahapan yang sangat penting dilakukan pada data magnetik. Pemisahan anomali ini disebut juga koreksi efek regional. Besar anomali magnetik total hasil observasi terdiri atas 2 komponen yang saling bersuperposisi yaitu komponen anomali regional dan anomali residual. Data anomali medan magnet yang menjadi target survei selalu bersuperposisi dengan anomali magnet lain yang bersumber sangat dalam dan luas dibawah permukaan yang disebut dengan anomali magnet regional (Breiner, 1973). Untuk menginterpretasi

anomali medan magnetik yang menjadi target survei (anomali residual), maka perlu dilakukan koreksi efek regional atau pemisahan antara anomali magnet regional dan anomali magnet residual yang menjadi target survei dengan tujuan untuk menghilangkan efek anomali dari data anomali medan magnet total. Dalam pemisahan anomali magnet regional dan residual digunakan beberapa metode antara lain *graphical smoothing*, *polynomial fitting*, *moving averaging*, *upward continuation*, *wavelength filtering*, *second vertical derivative* dan lain-lain.

2.9.4 Reduksi ke kutub (*Reduktion To The Pole*)

Reduksi ke kutub merupakan teknik pengolahan data dengan membuat sudut *inklinasi* benda menjadi 90° dan *deklinsi* 0° . Reduksi ke kutub bertujuan untuk melokalisasi daerah-daerah dengan anomali maksimum tepat berada di atas benda penyebab anomali (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Sebuah anomali magnetik sebelum dan setelah reduksi ke kutub (Blackely, 1996).

Reduksi ke kutub mengubah anomali *dipole* (positif dan negatif) menjadi anomali *monopole* (positif atau negatif) sehingga koreksi ini mempermudah untuk menginterpretasi data magnetik. Reduksi ke kutub mengasumsikan bahwa batuan yang ada pada daerah survei adalah magnetisasi paralel terhadap medan magnet yang

ada di bumi. Adapun yang mendasari dilakukannya filter ini adalah adanya perbedaan nilai *inklinasi* dan *deklinsi* dari setiap daerah, sehingga filter ini mencoba untuk mentransformasikan medan magnet dari tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara magnetik (Baranov dan Naudy, 1964).

2.9.5 Kontinuasi ke atas (*Upward Continuation*)

Suatu proses pengubahan data medan potensial yang diukur pada suatu bidang permukaan, menjadi data seolah-olah diukur pada bidang permukaan lebih ke atas disebut kontinuasi ke atas. Kontinuasi ke atas juga merupakan salah satu koreksi yang sering digunakan karena dapat mengurangi efek dari sumber anomali dangkal, yang diilustrasikan pada Gambar 2.5.

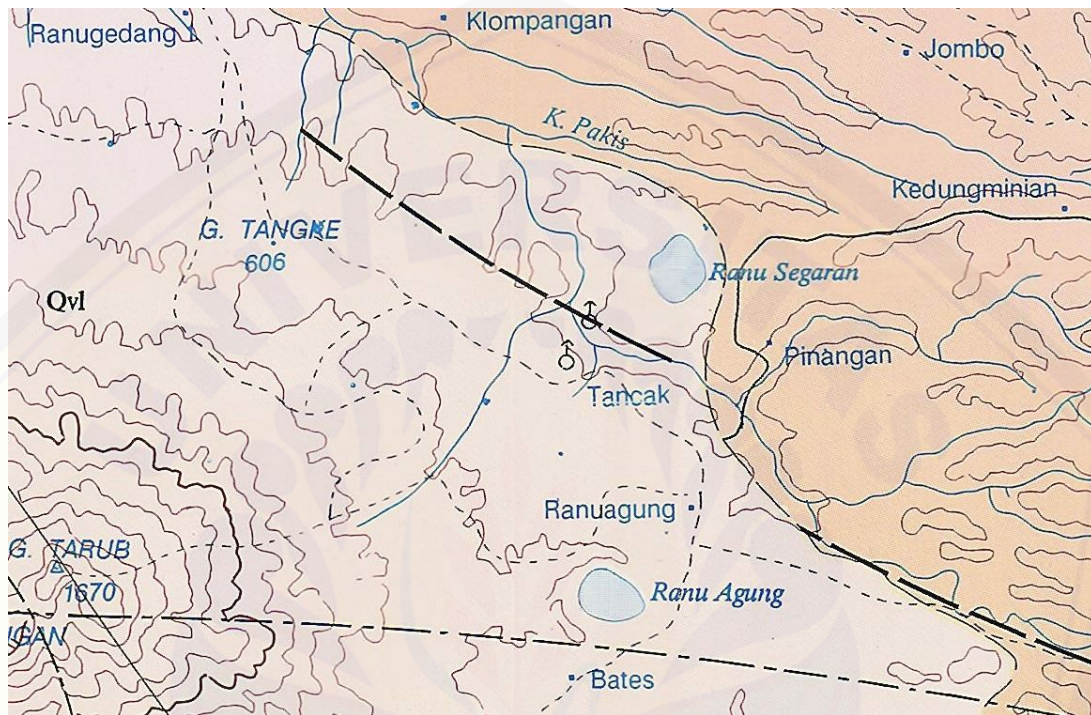


Gambar 2.5 Ilustrasi kontinuasi ke atas (Telford *et al*, 1990)

2.10 Geologi Gunung Lamongan

Berdasarkan data geologi menunjukkan bahwa produk Gunungapi Lamongan dapat dikelompokkan menjadi produk erupsi Gunung Tarub (Lamongan tua), Lamongan muda (Lamongan sekarang), hasil erupsi samping, erupsi freatik, dan endapan sekuder. Hasil erupsi kawah pusat sebagian besar terdiri atas lava, sedangkan erupsi eksentrik terdiri atas lava saja atau piroklastik dan endapan fluviatil (Gambar 2.6). Data geologi baik dari peneliti terdahulu maupun dari hasil penyelidikan

langsung di lapangan tidak ditemukan adanya produk erupsi Gunung Lamongan yang berupa endapan aliran piroklastik.



Gambar 2.6 Peta Geologi Gunung Lamongan (Suharsono dan Suwarti, 1992)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di Ranu Betok Desa Ranuagung Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Agustus 2014 sampai bulan Januari 2015. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui gambaran struktur bawah permukaan dengan berdasarkan data anomali magnetik yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan. (Gambar 3.1) dan (Gambar 3.2) adalah gambar peta lokasi dari penelitian dan foto lokasi dari penelitian.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian Ranu Betok Desa Ranuagung Tiris Probolinggo (Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional, 1999).



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian Ranu Betok Desa Ranuagung Kecamatan Tiris

3.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian dengan metode magnetik adalah (dapat dilihat pada Gambar 3.3):

1. 2 *Proton Precession Magnetometer* (PPM) :

a) *Base Station*, digunakan sebagai koreksi harian (Gambar 3.3a)

- Tipe : GEOMETRICS G-856 MAGNETOMETER
- Resolusi : 0.1 nT (Gamma)
- Ketelitian : ± 1 gamma pada skala penuh
- Toleransi gradien : hingga 1800 nT/meter
- Sumber daya : 13,5 Volt DC
- Jangkauan suhu : - 20 sampai dengan + 50 °C

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan interpretasi magnetik di daerah Ranu Betok, Tiris, Probolinggo dapat disimpulkan bahwa daerah penelitian didominasi dengan nilai anomali magnet rendah dengan kerentanan batuan yang kecil dan nilai anomali tinggi dengan kerentanan batuan yang relatif lebih besar, hasil tersebut digunakan sebagai pendugaan awal dalam gambaran struktur bawah permukaan di daerah penelitian yang didominasi oleh batuan lava, breksi gunungapi, batuan andesit dan basalt.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya akuisisi pengambilan data lebih diperluas lagi areanya dan kerapatan antar titik pengamatan lebih dirapatkan agar hasil sebaran magnetik struktur bawah permukaan dapat diinterpretasi lebih jelas, untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal disarankan untuk melakukan proses pemodelan 2D sehingga hasil yang diperoleh lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Buku

- Baranov dan Naudy, H.1964. *Numerical Calculation of The Formula of Reduction to The Magnetic Pole*, Geophysics 53, I 592-1600.
- Bemmelen, R.W. Van, 1949, *The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. The Hague : Government Printing Office.
- Blakely R.J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. New York : Cambridge University Press.
- Breiner, S., 1973. *Application Manual for Portable Magnetometer*, California : Geometrics.
- Gibson R. I. dan Milligan P. S., 1988. *Geologic Applications of Gravity and Magnetics: Case Histories*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, U.S.A.
- Hunt, C. P., B. Moskowitz, S. K., dan Banerjee, 1995. *Magnetic Properties of Rock and minerals*. In T. J. Ahrens, ed., *Rock Physics & Phase Relation, A Handbook of Physical Constants*, American Geophysical Union, Washington, pp. 189-204.
- Jensen, J., dan MacKintosh, A.R., 1991, *Rare Earth Magnetism*. Oxford : Clarendon Press.
- Reynolds, J. M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, England : Bookcraft (bath) Ltd.
- Sharma, P.V., 1997, *Environmental and Engineering Geophysics*, United Kingdom : Cambridge university Press.
- Telford, M.W., Geldart L.P., Sheriff R.E., dan Keys D.A., 1990. *Applied Geophysics*. New York : Cambridge University Press.
- Tipler, P.A., 1996, *Fisika Untuk Sains dan Teknik*, Jakarta : Erlangga.

Wahyudi, 2001, *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika (Teori dan Aplikasi)*, Yogyakarta : Laboratorium Geofisika FMIPA UGM.

Jurnal dan Skripsi

Bagus, J.S., Mashuri., Wahyu, T.S., Abdurrahman, W., Salim, Riski., dan Radhiyullah, A., 2012. Interpretasi Metode Magnetik untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan di sekitar Gunung Kelud Kabupaten Kediri. *ISSN 2087-9946*. Vol 2, No. 1, (2012) : 7-14.

Desy, H.P., 2008. Analisis Data Magnetik untuk Mengetahui Posisi Batuan Sedimen Terhadap Batuan Beku dan Batuan Metamorf di daerah Watuperahu Perbukitan Jiwo Timur Bayat Klaten. *Exacta*. Vol VI, No. 1 (2008) : 120-127.

Nella, F., Sukir, M., dan Fajar, R., 2013. Identifikasi Litologi Daerah Panasbumi Tiris Probolinggo Berdasarkan Metode Magnetik. (2013) : 1-4.

Nugroho, A. Y., 2014. Analisis Struktur Bawah Permukaan dan Pemetaan Daerah Pembebanan Massa Tanah (*Overburden Mass*) di Kota Jember Menggunakan Metode Magnetik. (2014).

Rian, A.K. dan Yulianto, Tony., 2008. Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Emas Dengan Menggunakan Metode Magnetik Di Papandayan Garut Jawa Barat. *ISSN 1410-9662*. Vol 11, No. 4, (2008) : 127-135.

Rukmini, Niken. A., 2014. Karakterisasi Endapan Maar Ranu Segaran dan Asosiasi dengan Pembentukan Mata Air Panas di Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo, Provinsi Jawa Timur, (2014).

Suharsono dan Suwarti. T., 1992, *Peta Geologi Lembar Probolinggo, Jawa*, (1992).

Yehuda, P. M. 2012. *Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Sekitar Manifestasi Air Panas , Desa Segaran, Kec Tiris, Kab. Probolinggo dengan Menggunakan Metode Magnetik*. Skripsi. Surabaya. ITS.

Yuliyanto, G., Hartantyo, E., Sudarmaji., dan Ismulhadi, A., 2001. Penentuan Batas Kontak Batuan Gunung Pendul dan Gunung Semangu, Bayat, Klaten Menggunakan Metode Magnetik. *ISSN 1410-9662*. Vol 4, No. 3, (2001) : 63-68.

[Serial Online]

Anonim. (2014). *G. Lamongan, Jawa Timur*. from <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/530-g-lamongan>, 2 juni 2014.

