



**TUGAS AKHIR – SF 1320**

**STUDI ANOMALI BAWAH PERMUKAAN DAERAH  
SEKITAR MANIFESTASI AIR PANAS, DESA WAGIR  
LOR, KEC. NGEHEL, KAB. PONOROGO DENGAN  
MENGUNAKAN METODE MAGNETIK**

**KHOIRI ZAMRONI  
NRP 1110100022**

Pembimbing  
Prof. Dr. rer.nat Bagus Jaya Santosa, S.U.

**JURUSAN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014**



**FINAL PROJECT – SF 1320**

**ANOMALY STUDY OF SUBSURFACE AREA AROUND  
HOT SPRING MANIFESTATION OF WAGIR LOR  
VILLAGE, NGEBEL, PONOROGO BY USING  
MAGNETIC METHOD**

**KHOIRI ZAMRONI**  
NRP 1110100022

Advisor  
Prof. Dr. rer.nat Bagus Jaya Santosa, S.U.

Physics Department  
Matematics and Natural Science Faculty  
Institute Technology Sepuluh November  
Surabaya 2014



**STUDI ANOMALI BAWAH PERMUKAAN DAERAH  
SEKITAR MANIFESTASI AIR PANAS, DESA WAGIR  
LOR, KEC. NGBEL, KAB. PONOROGO DENGAN  
MENGUNAKAN METODE MAGNETIK**

**Nama Mahasiswa** : Khoiri Zamroni  
**NRP** : 1110100022  
**Jurusan** : Fisika FMIPA  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr. Rer.nat Bagus Jaya  
Santosa, S.U.

**ABSTRAK**

*Sumber panas bumi memiliki temperatur yang sangat tinggi sehingga dapat mempengaruhi kondisi lingkungan sekitarnya. Salah satu efeknya adalah timbulnya manifestasi air panas yang timbul di sekitar sumber panas bumi. Manifestasi ini terjadi karena adanya patahan yang sehingga terdapat adanya zona trobosan fluida. Identifikasi zona patahan dapat dilihat dengan menganalisa struktur bawah permukaan daerah penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode geomagnet yang menggunakan analisa sifat kemagnetan batuan.*

*Analisa dengan menggunakan metoda geomagnet ini dilakukan di area 1,5 x 1,5 km. Hasil analisa data geomagnet didapatkan peta kontur reduksi ke kutub dan peta kontur pseudogravity. Hasil dari sayatan pada titik A-B menunjukkan adanya perbedaan material penyusun di bawah permukaan. Kisaran nilai suseptibilitasnya  $0.1 \times 10^{-3}$ - $0.6 \times 10^{-3}$  emu/g yang diidentifikasi sebagai batuan sedimen. Adanya manifestasi air panas pada daerah Ngebel disebabkan karena adanya sesar yang membujur dari selatan ke utara yang sesuai dengan data anomali magnetik.*

**Kata kunci** : manifestasi air panas, anomali magnetik

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**ANOMALY STUDY OF SUBSURFACE AREA AROUND  
HOT SPRING MANIFESTATION OF WAGIR LOR  
VILLAGE, NGEBEL, PONOROGO BY USING  
MAGNETIC METHOD**

**Student Name** : Khoiri Zamroni  
**NRP** : 1110100022  
**Department** : Physics  
**Advisor** : Prof. Dr. Rer.nat Bagus Jaya  
Santosa, S.U.

**ABSTRAK**

*Geothermal resource have high temepatur that can affect the surrounding environment. One effect is a manifestation of hot water arising around geothermal sources. The manifestation of the presence of a fault zone that contained the fluid break through. Identification of the fault zone can be seen by analyzing the structure of the subsurface area of research. The method used in this study an analysis method that uses geomacnetic method for identification of rock.*

*Analysis using the geomagnetic method is carried out in an area of 1.5x1.5km. The results of the analysis of data obtained geomagnetic the reduction to pole of contour map and pseudogravity of contour map. The result of the slice at the line A-B reveal differences in the material contents in subsurface. Suseptibility of value have range  $0.1 \times 10^{-3}$ - $0.6 \times 10^{-3}$  em/g were identification as sedimentary rocks. The manifestation of hot water in the area present of the fault that stretching from south to north in accordace with the magnetic anomaly data.*

**Keyword** : *The manifestation of hot water, magnetic anomaly*

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**STUDI ANOMALI BAWAH PERMUKAAN DAERAH  
SEKITAR MANIFESTASI AIR PANAS, DESA WAGIR  
LOR, KEC. NGBEL, KAB. PONOROGO DENGAN  
MENGUNAKAN METODE MAGNETIK**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada  
Program Studi S-1 Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**KHOIRI ZAMRONI**

**NRP 1110100022**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Prof. Dr. rer.nat Bagus Jaya Santosa, S.U.

()

**SURABAYA, JULI 2014**





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Daerah Aliran Sungai Desa Wagir Lor.....	6
Gambar 2.2 Daerah Manifestasi Panas Bumi .....	7
Gambar 2.3 Lengkung histeristis medan magnet .....	9
Gambar 2.4 Bumi sebagai batang magnet raksasa .....	14
Gambar 2.5 Elemen magnetik bumi .....	15
Gambar 2.6 Peta Medan magnet utama bumi.....	16
Gambar 2.7 Vektor medan magnet.....	18
Gambar 2.8 Kontinuasi ke atas.....	18
Gambar 2.9 Hubungan Poisson magnetisasi dan densitas .....	22
Gambar 2.10 Transformasi pseudogravitasi .....	23
Gambar 2.11 Magnetometer proton 25.....	25
Gambar 2.12 Teknik interpretasi data medan potensial dengan metode ke depan .....	26
Gambar 2.13 Contoh pemodelan ke depan dari metode pendekatan Talwani .....	27

Gambar 2.13 Contoh pemodelan ke depan dari metode pendekatan Talwani .....	28
Gambar 3.1 Peralatan yang digunakan .....	30
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian .....	31
Gambar 4.1 Peta kontur anomali magnetik terukur.....	36
Gambar 4.2 Peta kontur anomali magnetik kontinuasi ke atas 850m .....	38
Gambar 4.3 Peta kontur anomali magnetik regional .....	40
Gambar 4.4 hasil sayatan grafik C-D .....	41
Gambar 4.5 Peta kontur anomali magnetik lokal setelah direduksi ke kutub .....	43
Gambar 4.6 Peta kontur anomali magnetik lokal setelah ditransformasi pseudogravity .....	45
Gambar 4.7 Peta sayatan A-B .....	46
Gambar 4.8 grafik hasil sayatan A-B 47 .....	43
Gambar 4.10 Model penampang vertikal sayatan A-B.....	49

Gambar 4.11 Peta geologi lokai penelitian dan hasil anomali regional ..... 50

## KATA PENGANTAR

Segala Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat serta Hidayah-Nya. Shalawat serta salam senantiasa terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi besar SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya sampai di hari kimat. Alhamdulillah Robbil ‘alamin akhirnya penyusun dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “*STUDI ANOMALI BAWAH PERMUKAAN DAERAH SEKITAR MANIFESTASI AIR PANAS, DESA WAGIR LOR, KEC. NGEHEL, KAB. PONOROGO DENGAN MENGGUNAKAN METODE MAGNETIK*” sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Sains.

Pada kesempatan kali ini penyusun mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua Orang Tua (Ibu & Ayah), Kedua adik-adik (Niken dan Syahrul) dan Keluarga besar yang selalu mendukung dengan doa ataupun support yang lain sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas akhir ini dengan baik.
2. Prof. Dr. rer-nat. Bagus Jaya Santosa, selaku pembimbing yang dengan sabar membantu dan memberi diskusi , serta ilmu sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Dr. Dwa Desa Warnana, selaku pembimbing yang telah memberikan masukan kepada penulis sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian ini.
4. Ibu Dr Melania dan Bapak Gontjang P, S.Si, M.Si, selaku dosen penguji.
5. Dr. Yono Hadi Pramono selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA, ITS.

6. Mas Sungkono S.Si,M.Si yang telah memberikan banyak masukan dan ilmunya serta bantuan untuk pengambilan data Tugas akhir ini.
7. Teman-teman laboratorium Geofisika (Thoriq,Hasyim,Pebrian,Okok,Iqbal,Sando,Arga,Ibad,Debi,Intan,Winda,Depta,M Raji,M Arya serta pak Kis) yang telah banyak memberikan diskusi ringan dan *support* atas terselesaikannya Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan pengambilan data ( Syarifudin,Thoriq,Hasyim,Pepi,Mas Sungkono) yang telah menemani penulis dalam proses akusisi data.
9. Teman-teman Cosmic 2010 (Fiqi,Fahrudin,Fahrur,Alfian dan yang lain), trimakasih buat waktu kebersamaan yang telah kita lewati bersama.
10. Rekan – rekan seperjuangan yang tergabung dalam Keluarga Besar HIMASIKA ITS, terima kasih atas kebersamaan, perjuangan kalian.
11. Teman teman Hanzams corps (Ahmad dan Robi) dan Dek Nurul yang selalu memberikan dukungan baik material serta motivasi .
12. Semua pihak yang telah memberi dukungan, yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Surabaya, Juli 2014

Khoiri Zamroni  
*Khoiri10@mhs.physics.its.ac.id*

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 1. Potensi Panas Bumi Jawa Timur .....	4
--	---

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul.....</b>	<b>i</b>
<b>Lembar Pengesahan .....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstrak .....</b>	<b>iv</b>
<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>vi</b>
<b>Daftar Isi.....</b>	<b>viii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Tabel .....</b>	<b>xiii</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Deskripsi Wilayah .....	4
-----------------------------	---

2.2 Energi Panas Bumi Ngebel .....	4
2.3 Tinjauan Magnetik.....	6
2.4 Sifat Magnetik batuan.....	10
2.4.1 Diamagnetik .....	10
2.4.2 Paramagnetik .....	11
2.4.3 Ferromagnetik .....	11
2.5 Medan Magnet Bumi .....	12
2.5.1 Medan utama (Main field).....	15
2.5.2. Medan luar (External field) .....	15
2.5.3 Anomali Medan Magnetik.....	16
2.5.4 Kontinuasi ke Atas .....	18
2.6 Transformasi Pseudogravitasi dan Gradien Horizontal. ...	20
2.7 Proton Magnetimeter .....	24
2.8 Interpretasi Data Menggunakan Metode Talwani 2D...25	

### **BAB III METODOLOGI**

3.1 Peralatan .....	28
---------------------	----



3.2 Prosedur Kerja .....	28
3.2.1 Lokasi Daerah Penelitian.....	29
3.2.2 Survei dan Desain Lintasan .....	30
3.2.3 Akusisi Data Lapangan.....	30
3.2.4 Pengolahan Data.....	30
3.2.5 Interpretasi.....	31
3.2.6 Tahap Kesimpulan.....	31

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Koreksi Variasi Harian(Diurnal) .....	32
4.2 Koreksi IGRF .....	32
4.3 Anomali Medan Magnet .....	33
4.4 Kontinuitas ke Atas .....	35
4.5 Pemisahan Anomali Lokal dan Regional .....	36
4.6 Reduksi ke Kutub Magnet Bumi .....	39
4.7 Transformasi Pseudogravitasi.....	42
4.8 Intepretasi .....	43

## **BAB V KESIMPULAN**

5.1 Kesimpulan .....	48
----------------------	----

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Panas bumi merupakan sumber daya energi baru terbarukan yang ramah lingkungan (clean and renewable energy) dan merupakan salah satu solusi terbaik untuk mengatasi keterbatasan energi. Hal inilah yang membuat energi panas bumi begitu disukai oleh banyak negara sehingga telah digunakan sebagai sumber energi, khususnya sebagai pembangkit listrik tenaga panas-bumi.

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumber energi panas-bumi, karena berada pada daerah terdepan di zona tektonik aktif. Di daerah Jawa Timur, memiliki 11 lokasi yang berpotensi sebagai wilayah pengembangan pembangkit listrik tenaga panas bumi. Pemanfaatan energi panas bumi di wilayah Jawa Timur masih kurang optimal. Sehingga diperlukan survei pendahuluan panas bumi untuk mendukung peningkatan kegiatan eksplorasi panas bumi di wilayah Jawa Timur.

Salah satu Lokasi di Jawa Timur yang berpotensi adalah daerah Kabupaten Ponorogo tepatnya di Kecamatan Ngebel Desa Wagir Lor. Manifestasi yang tampak berupa sumber air panas yang terdapat di daerah Padusan, dimana daerahnya berupa lembah yang diapit oleh kaki Gunung Ngliman. Manifestasi tersebut merupakan indikasi awal potensi panas bumi.

Salah satu survei pendahuluan yang digunakan untuk mengetahui potensi panas bumi yaitu dengan melakukan survei geofisika. Survei Geofisika digunakan untuk melihat struktur bawah permukaan di daerah tersebut. Metoda geofisika yang sudah biasa digunakan dalam penyelidikan panas bumi adalah metode gayaberas, geolistrik dan magnetik. Di dalam penelitian ini akan digunakan metode magnetik karena dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi besar bawah permukaan seperti sesar, lipatan, intrusi batuan beku atau kubah garam dan reservoir geothermal. Menurut Burger dkk (1992), metode magnetik dapat digunakan untuk mengetahui kedalaman dan

struktur permukaan. Pengukuran dapat diperoleh dengan mudah untuk studi lokal dan regional.

Metode magnet ini dilakukan dengan cara mengukur intensitas medan magnet yang terjadi pada batuan-batuan yang ada di sekitarnya akibat adanya proses induksi medan magnet bumi yang sudah ada secara alami di bumi ini. Dari pengukuran magnetik ini diharapkan memperoleh informasi struktur bawah permukaan disekitar daerah manifestasi panas-bumi Ngebel Ponorogo sehingga dapat diperoleh hubungannya dengan sistem panas-bumi yang terjadi di daerah tersebut.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah bagaimana struktur bawah permukaan di sekitar daerah manifestasi panas-bumi desa wagir lor, kecamatan Ngebel, kabupaten Ponorogo.

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data di sekitar daerah manifestasi panas-bumi desa Wagir lor, kecamatan Ngebel, kabupaten Ponorogo.
2. Pengolahan data digunakan perangkat lunak *Surfer*.
3. Interpretasi data secara kualitatif menggunakan Software Matlab dan Magpick.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui struktur bawah permukaan di sekitar daerah manifestasi panas-bumi desa wagir lor, kecamatan Ngebel, kabupaten Ponorogo dari penyebaran anomalnya.
2. Mencari struktur yang mengontrol terjadinya manifestasi air panas di daerah tersebut.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diberikan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah:

1. Memperoleh data terbaru tentang kondisi / potensi panas bumi di Wagir lor, kecamatan Ngebel, kabupaten Ponorogo.
2. Data Tugas Akhir ini dapat digunakan untuk tahapan lebih lanjut, dalam melakukan eksplorasi panas bumi di Wagir lor, kecamatan Ngebel, kabupaten Ponorogo.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Diskripsi Wilayah**

Jawa Timur memiliki potensi panas bumi sebesar 1206,5 MWe. Potensi panas bumi Jawa Timur berada di 11 lokasi (Tabel 1). Daerah panas bumi Telaga Ngebel terletak di Provinsi Jawa Timur. Secara geografis terletak pada posisi 7°42' - 7°53' LU dan 111°30' - 111°45' BT. Luas daerah panas bumi Ngebel sekitar 49.550 Ha (17,48 km x 28,35 km). Potensi energi panas bumi Ngebel ditunjukkan adanya manifestasi berupa fumarol, air panas, gas CO<sub>2</sub>, dan batuan alterasi. Energi panas bumi Ngebel memiliki perkiraan potensi sebesar 120 MWe.

Tabel 1. Potensi Panas Bumi Jawa Timur

Wilayah	Potensi (MWe)
Ngebel – Wilis	120
Gunung Pandan	50
Arjuno Welirang	92
Rejosari	25
Melati	25
Songgoriti	25
Cangar	100
Tiris	92
Argopuro	185
Blawa Ijen	185
Tirtosari	12,5

#### **2.2 Energi Panas Bumi Ngebel**

Energi panas bumi Ngebel telah ditetapkan sebagai WKP

(Wilayah Kerja Pertambangan berdasarkan surat keputusan Menteri ESDM No.1788 K/33/MEM/2007 tanggal 23 Mei 2007. Potensi energi panas bumi Ngebel berasal dari aktivitas vulkanik Gunung Wilis. Potensi energi panas bumi Ngebel ditunjukkan dengan adanya manifestasi tersebar di beberapa tempat diantaranya:

- a. Fumarol terdapat di Glagahombo, pada lereng bagian selatan Telaga Ngebel. Fumarol memiliki suhu  $87,7^{\circ}\text{C}$ .
- b. Air panas muncul di daerah Padusan, Umbul dan Glagahombo. Air panas wilayah Glagahombo bersifat asam dengan  $\text{pH} < 2$ . Air panas Padusan juga berada di selatan lereng Telaga Ngebel yang memiliki suhu  $74^{\circ}\text{C}$  dan bersifat netral. Air panas umbul berada di kaki Gunung Wilis bagian barat.
- c. Aktivitas gas  $\text{CO}_2$  disertai dengan munculnya air dingin berada di sebelah selatan fumarol Glagahombo.
- d. Batuan alterasi dapat ditemui di sepanjang sungai sekitar lokasi mata air panas Padusan.

Berdasarkan data landaian suhu, sumber panas kawasan energi panas bumi Ngebel disebabkan oleh batuan intrusi diorite.





Gambar 2.1. Daerah Aliran Sungai Desa Wagir Lor



Gambar 2.2. Daerah Manifestasi Panas Bumi

### 2.3 Tinjauan Magnetik

Memecahkan permasalahan dalam teori magnet, yaitu hubungan antara  $\mathbf{B}$  dan  $\mathbf{H}$  sangat diperlukan. Besarnya medan magnetisasi di dalam setiap bahan magnetik bergantung kepada besar medan magnetnya. Untuk bahan yang linier - isotropik dan homogen magnetisasinya berbanding lurus dengan medan magnetnya dan biasanya dinyatakan dalam intensitas medan magnet  $\mathbf{H}$  (Zaki, 2000), ditentukan berdasarkan persamaan:

$$\mathbf{M} = \chi_m \mathbf{H} \quad (2.1)$$

$\chi_m$  = suseptibilitas magnetik (*magnetic susceptibility*)

Suseptibilitas magnetik merupakan suatu konstanta yang tidak mempunyai dimensi, karena  $\mathbf{M}$  dan  $\mathbf{H}$  mempunyai satuan yang sama yaitu  $\text{Am}^{-1}$ . Suseptibilitas magnetik menunjukkan kemampuan suatu benda untuk termagnetisasi oleh medan magnet. Besaran  $\chi_m$  ini, juga merupakan parameter dasar yang dipergunakan dalam metode magnetik. Pengukuran kerentanan magnet (suseptibilitas) batuan merupakan ukuran kemampuan dari

suatu batuan untuk mengetahui kandungan di dalam batuan itu pada waktu ada medan magnetik batuan.

Suseptibilitas magnetik ruang hampa sama dengan nol, karena hanya benda berwujud yang dapat dimagnetisasi. Jika suseptibilitas  $\chi_m$  positif, bahan disebut bersifat paramagnetik, dan imbas magnetnya diperkuat oleh adanya bahan itu. Jika suseptibilitas  $\chi_m$  negatif, bahan bersifat diamagnetik, dan imbas magnetnya diperlemah oleh adanya bahan itu sedangkan besarnya sangat kecil,  $|\chi_m| \ll 1$ . Harga  $\chi_m$  pada batuan semakin besar apabila dalam batuan tersebut semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik.

Dalam ruang hampa,  $\kappa_m = 1$  dan  $\mu = \mu_0$ . Inilah sebabnya konstanta magnetik  $\mu_0$  sering pula disebut 'permeabilitas ruang hampa' atau 'permeabilitas ruang bebas'. Begitu pula, karena  $\kappa_m = \frac{\mu}{\mu_0}$ , koefisien magnetik itu disebut permeabilitas relatif.

Pengaruh medan magnet terhadap orientasi molekul bahan paramagnetik ditentang oleh efek agitasi thermal dan lebih tinggi temperatur maka lebih besar pula efek ini. Karena itu, suseptibilitas magnetik bahan paramagnetik turun bila temperatur naik. Bagi banyak bahan, ketergantungan kepada temperatur itu dapat diungkapkan berdasarkan hukum Curie:

$$\chi_m = \frac{C}{T} \quad (2.2)$$

dengan

C = konstanta yang disebut konstanta Curie

T = temperature Kelvin

Suseptibilitas bahan diamagnetik tidak dipengaruhi temperatur. Jika dinyatakan dalam  $\chi_m$ , rapat fluksi **B** adalah:

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_0 (1 + \chi_m) \mathbf{H} \quad (2.3)$$

Koefisien magnetik  $K_m$  adalah

$$\kappa_m = 1 + \chi_m \quad (2.4)$$

Sehingga,

$$\mathbf{B} = \mu_0 \kappa_m \mathbf{H} \quad (2.5)$$

dimana  $\mu_0 \kappa_m$  disebut permeabilitas  $\mu$ :

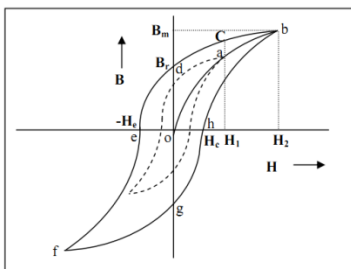
$$\mu = \mu_0 \kappa_m \quad (2.6)$$

dan karena itu

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (2.7)$$

$\mu$  = dinamakan permeabilitas magnetik dan  $\kappa_m$  dinamakan permeabilitas relatif atau konstanta magnetik.

Jika permeabilitas magnet  $\mu$  tidak tergantung pada  $\mathbf{H}$ , maka medium tersebut adalah medium linier. Grafik  $\mathbf{B}$  terhadap  $\mathbf{H}$  untuk medium tersebut adalah suatu garis lurus. Dalam kebanyakan bahan magnetik, misalnya magnetit dan pirhotit, hal tersebut tidak berlaku. Mineral magnetik, misalnya, yang tidak termagnetisasi, jika diberikan intensitas magnetik  $\mathbf{H}$  secara berkelanjutan, maka akan terjadi hubungan antar  $\mathbf{H}$  yang bukan garis lurus, tetapi magnetisasi berlingkung O ab seperti pada Gambar 2.5. Lengkungan ini disebut lengkung atau kurva pemagnetan dari bahan.



Gambar 2.3 Lengkung histerisis medan magnet (Untung, 2001)

Dari Gambar 2.5 titik a menunjukkan kondisi sesuai dengan naiknya intensitas medan magnetik  $\mathbf{H}_1$ . Jika  $\mathbf{H}$  diperbesar pada satu arah (positif), sampai mencapai nilai  $\mathbf{H}_2$  maka magnetisasi mencapai titik b. Titik b menunjukkan keadaan jenuh, artinya kalau medan  $\mathbf{H}$  diperbesar, maka medan  $\mathbf{B}$  tidak bertambah besar lagi, dimana magnet induksi adalah  $\mathbf{B}_m$  yaitu mencapai nilai maksimum, karena pemagnetan  $\mathbf{M}$  di dalam bahan mendekati suatu harga maksimum, dan  $\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M})$  terus meningkat pada harga  $\mathbf{H}$  yang sangat besar hanya karena suku  $\mu_0$ -nya. Harga maksimum  $\mathbf{M}$  disebut *pemagnetan jenuh* dari bahan. Jika intensitas medan magnet  $\mathbf{H}$  diperkecil, tetapi tetap positif sampai kembali ke nilai 0,  $\mathbf{B}$  tidak akan mengecil sampai 0, tetapi menjadi  $\mathbf{B}_r$ , disini medan  $\mathbf{B}$  seakan-akan terlambat. Peristiwa inilah yang disebut histeresis. Titik ini disebut magnet sisa (*remanence*) dan magnetik akan menjadi magnet permanen. Kalau sekarang medan  $\mathbf{H}$  diperbesar pada arah yang berlawanan (negatif) sampai titik  $\mathbf{H}_c$ , maka medan  $\mathbf{B}$  terus turun sampai akhirnya sama dengan nol pada titik e.

Nilai  $\mathbf{H}_c$  pada titik ini disebut koersivitas (*coercivity*). Dibesarkannya  $\mathbf{H}$  kearah negatif, magnetisasi mengikuti lengkung sampai titik f yaitu nilai  $\mathbf{H}$  dan  $\mathbf{B}$  sama dengan pada titik b tetapi berlainan arah. Bilamana  $\mathbf{H}$  dibalik arahnya dan diperkecil, magnetisasi akan mengikuti lengkung fghb. Pada titik g seperti halnya pada titik d, terjadi magnet sisa  $\mathbf{B}_r$  tetapi dengan arah polarisasi yang berlawanan dengan  $\mathbf{B}_r$  pada titik d. Seluruh lengkung bdefghb disebut lengkung histeresis. Jika suatu lengkung histeresis mulai dari suatu titik pada lengkung magnetisasi, misalnya dari titik a, maka akan terdapat lengkung histeresis yang lebih kecil dalam lengkung besar. Menurut Zaki (2000), untuk meniadakan medan magnet  $\mathbf{B}$  di dalam bahan,

maka arus yang bolak-balik itu amplitudonya berangsur-angsur dikecilkan sehingga akhirnya sama dengan nol. Dalam hal ini, kurvanya akan mengikuti lintasan (sosok) yang makin lama makin kecil, sehingga akhirnya sampai dititik O kembali. Jelas bahwa nilai  $\mu$  yang didefinisikan oleh persamaan (2.6) negatif pada kuadran kedua dan keempat dari diagram tersebut. Bentuk sosok histerisis tidak hanya bergantung pada sifat bahan feromagnet tetapi juga pada harga maksimum  $\mathbf{H}$ . Meskipun demikian, setelah  $\mathbf{H}_{\text{maks}}$  mampu menjenuhkan bahan, bentuk sosok histerisis tidak berubah terhadap kenaikan  $\mathbf{H}_{\text{maks}}$ .

## 2.4 Sifat Magnetik Batuan

Metode geomagnet dalam eksplorasi adalah mengukur secara teliti perubahan besaran medan magnet yang dihasilkan oleh variasi intensitas kemagnetan formasi batuan. Kemagnetan dalam batuan sebagian disebabkan oleh imbasan dari suatu gaya magnet yang berasosiasi dengan medan magnet bumi dan sebagian dari kemagnetan sisa. Kemagnetan imbasan suatu formasi batuan semata - mata adalah fungsi dari kerentanan magnet dan besar serta arah dari gaya magnet yang mengimbas, sedangkan kemagnitan sisa berhubungan dengan sejarah terjadinya formasi batuan tersebut.

Sifat magnetik material pembentuk batuan - batuan dapat dibagi menjadi:

### 2.4.1. Diamagnetik

Bahan-bahan yang berkategori diamagnetik mempunyai suseptibilitas negatif sehingga intensitas imbasan dalam bahan tersebut mengarah berlawanan dengan gaya medan magnet dan kerapatan magnet akan lebih kecil dari ruang hampa udara. Asal dari diamagnetik adalah dari

pergerakan elektron mengelilingi inti (*nucleus*). Pergerakan ini terdiri dari kumparan arus dan ditandai oleh vektor momen sudut (*angular momentum vector*) yang keduanya bergerak tegak lurus terhadap bidang gerak elektron. Kedua vektor ini akan berputar mengelilingi medan magnet luar yang diimbaskan (Hukum Larmor). Pada setiap bahan atau batuan terdapat efek diamagnetik. Jumlah diamagnetik total akan timbul bila momen magnet atom akan nol pada waktu tidak ada medan magnet luar. Batuan yang menunjukkan diamagnetik total, diantaranya ialah: marmer, grafit, garam dan anhidrit atau gypsum.

#### **2.4.2. Paramagnetik**

Bahan-bahan paramagnetik mempunyai suseptibilitas magnet positif dan akan mengecil sesuai dengan turunnya suhu (hukum *Curie-Weiss*). Sifat-sifat paramagnetik akan timbul bila atom atau molekul suatu bahan memiliki momen magnet pada waktu tidak terdapat medan luar dan interaksi antar atom lemah. Pada umumnya momen magnet menyebar acak, tetapi bila diberi medan magnet luar tersebut akan mengarah sesuai dengan arah medan luar tersebut. Sebab-sebab sifat paramagnetik ialah karena tidak seimbangannya putaran momen magnet elektron. Banyak batuan yang bersifat paramagnetik antara lain ialah genes (*gneiss*), sekis (*schist*), pegmatite, syanit, dan dolomite.

#### **2.4.3. Ferromagnetik**

Atom-atom dalam bahan ferromagnetik memiliki momen magnet dan interaksi antara atom-atom tetangganya begitu kuat sehingga momen semua atom dalam suatu daerah mengarah sesuai dengan medan magnet luar yang diimbaskan, bahkan dengan tidak hadirnya medan magnet luar. Momen atom yang mengarah dengan sendirinya dalam

suatu wilayah disebut dengan kawasan magnet (*magnetic domain*). Sifat ferromagnetik tergambar pada lengkung histeresis dan besarnya kerentanan magnet yang tergantung dari gaya kemagnetan yang mengimbasnya. Sifat-sifat ferromagnetik akan hilang di atas suhu Curie. Contoh bahan ferromagnetik yaitu: besi, nikel, kobalt.

Pada saat sifat magnet benda ferromagnetik naik sesuai dengan kenaikan temperatur yang kemudian hilang setelah temperatur mencapai titik Curie, maka benda tersebut menjadi antiferromagnetik. Hal tersebut dapat diterangkan sebagai berikut. Keadaan atom adalah sedemikian rupa sehingga momen magnet atom tetangganya menjadi sama besar tetapi berlawanan arah dan terjadi tolak menolak yang mengakibatkan jumlah momen magnet menjadi nol. Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), salah satu contoh mineral yang bersifat antiferromagnetik. Keadaan sifat magnet tinggi dalam alam pada umumnya adalah ferrimagnetik. Momen magnet pada dua daerah magnet yang tidak searah tetapi besaran momen tidak sama akan menimbulkan suatu kawasan magnet dengan momen magnet tertentu tanpa hadirnya medan magnet luar. Mineral-mineral yang bersifat ferrimagnetik adalah magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), titanomagnetit ( $\text{FeO}(\text{Fe},\text{Ti})_2\text{O}_3$ ) dan ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ).

## 2.5 Medan Magnet Bumi

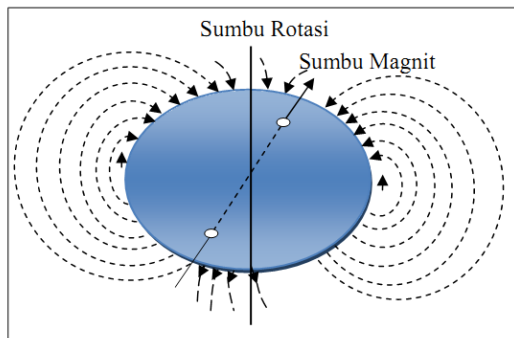
Bumi berlaku seperti sebuah magnet sferis yang sangat besar dengan suatu medan magnet yang mengelilinginya. Medan itu dihasilkan oleh suatu *dipole* magnet yang terletak pada pusat bumi. Sumbu *dipole* ini bergeser sekitar  $11^\circ$  dari sumbu rotasi bumi, yang berarti kutub utara geografis bumi tidak terletak pada tempat yang sama dengan kutub selatan magnetik bumi. Menurut IGRF

(2000), melalui perhitungan posisi simetris dimana *dipole* magnetik memotong permukaan bumi, letak kutub utara magnet bumi adalah 79,3 N, 71,5 W dan 79,3 S, 108,5 E untuk kutub selatan.

Bumi merupakan sebuah benda magnet raksasa Gambar 2.6, letak kutub utara dan selatan magnet bumi tidak berimpit dengan kutub geografis. Pengaruh kutub utara dan selatan magnet bumi dipisahkan oleh khatulistiwa magnet. Intensitas magnet akan maksimum di kutub dan minimum di khatulistiwa (Santoso, 2002).

Karena letaknya yang berbeda terdapat perbedaan antara arah utara magnet dan geografi yang disebut sebagai deklinasi. Arah polarisasi benda magnet akan ditentukan oleh nilai inklinasi dimana benda tersebut diletakkan.

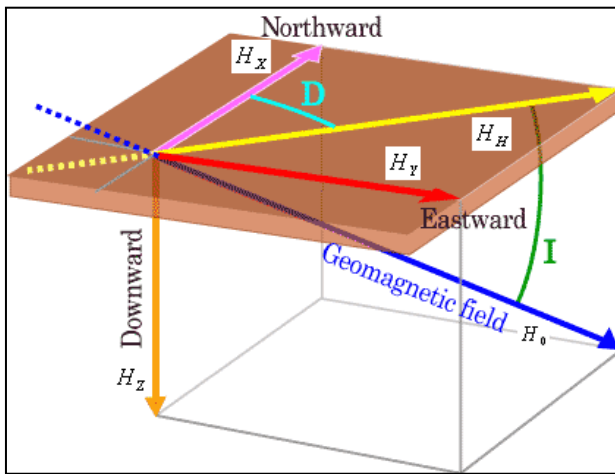
Medan magnet bumi terkarakterisasi oleh parameter fisis yang dapat diukur yaitu arah dan intensitas kemagnetannya. Parameter fisis itu adalah deklinasi magnetik **D**, intensitas horisontal **H** dan intensitas vertikal **Z**. Dari elemen-elemen ini, semua parameter medan magnet lainnya dapat dihitung.



Gambar 2.4 Bumi sebagai batang magnet raksasa dengan garis-garinya.



Parameter yang menggambarkan arah medan magnetik adalah deklinasi  $D$  (sudut antara utara magnetik dan utara geografis) dan inklinasi  $I$  (sudut antara bidang horisontal dan vektor medan total), yang diukur dalam derajat. Intensitas medan magnetik total  $F$  digambarkan dengan komponen horisontal  $H$ , komponen vertikal  $Z$  dan komponen horisontal ke arah utara  $X$  dan ke arah timur  $Y$ .



Gambar 2.5 Elemen magnetik bumi

Intensitas medan magnetik bumi secara kasar antara 25.000 – 65.000 nT. Untuk Indonesia, wilayah yang terletak di utara ekuator mempunyai intensitas  $\pm 40.000$  nT, sedangkan yang di selatan ekuator  $\pm 45.000$  nT.

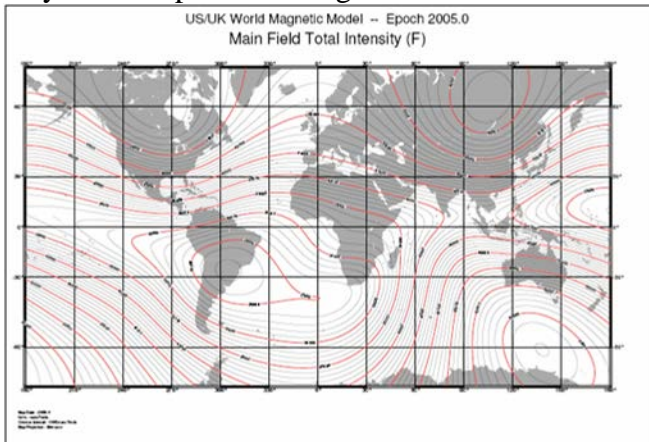
Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu sehingga untuk menyeragamkan nilai-nilai medan utama magnet bumi, dibuat standar nilai yang disebut dengan *International Geomagnetism Reference Field (IGRF)* yang diperbaharui tiap lima tahun sekali. Nilai-nilai IGRF tersebut diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada

daerah luasan sekitar 1 juta km yang dilakukan dalam waktu satu tahun.

Medan magnet bumi terdiri dari tiga bagian, yang akan dijelaskan sebagai berikut.

### 2.5.1. Medan utama (*Main field*)

Pengaruh medan utama magnet bumi  $\pm 99\%$  dan variasinya terhadap waktu sangat lambat dan kecil.



Gambar 2.6 Peta Medan magnet utama bumi untuk epoch 2005

### 2.5.2. Medan luar (*External field*)

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

Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dengan siklus 11 tahun

- Variasi harian dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari dan mempunyai jangkau 30 nT
- Variasi harian dengan periode 25 jam yang berhubungan dengan pasang surut bulan dan mempunyai jangkau 2 nT
- Badai magnetik yang bersifat acak dan mempunyai jangkau sampai dengan 1000 nT.

### 2.5.3. Anomali Medan Magnetik

Variasi medan magnetik yang terukur di permukaan merupakan target dari survey magnetik (anomali magnetik). Besarnya anomali magnetik berkisar ratusan sampai dengan ribuan nano - tesla. Secara garis besar anomali ini disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnet induksi. Medan magnet remanen mempunyai peranan yang 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 dari magnetisasi medan utama.

Anomali yang diperoleh dari survey merupakan hasil gabungan dari keduanya, bila arah medan magnet remanen sama dengan arah medan magnet induksi maka anomalinnya bertambah besar, demikian pula sebaliknya. Dalam survey magnetik, efek medan remanen akan diabaikan apabila anomali medan magnet kurang dari 25 % medan magnet utama bumi (*Telford, 1976*).

Adanya anomali magnetik menyebabkan perubahan dalam medan magnet total bumi dan dapat dituliskan sebagai:

$$\mathbf{H}_T = \mathbf{H}_M + \mathbf{H}_A \quad (2.8)$$

dengan

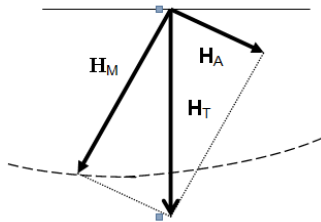
$\mathbf{H}_T$  = medan magnetik total bumi

$\mathbf{H}_M$  = medan magnetik utama bumi

$\mathbf{H}_A$  = medan anomali magnetik

Bila besar  $\mathbf{H}_A \ll \mathbf{H}_T$  dan arah  $\mathbf{H}_A$  hampir sama dengan arah  $\mathbf{H}_T$  maka anomali magnetik totalnya adalah:

$$\Delta T = \mathbf{H}_T - \mathbf{H}_M \quad (2.9)$$



Gambar 2.7 Vektor yang menggambarkan medan anomali ( $H_A$ ), medan utama ( $H_M$ ) dan medan magnet total ( $H_T$ )

Pengukuran medan magnet di permukaan bumi merupakan resultan dari berbagai variabel. Oleh karena itu variasi medan magnet bumi dapat dibedakan dalam 4 hal:

1. Variasi yang relatif berjalan dengan lambat atau disebut sebagai variasi sekuler. Perubahan ini berkaitan dengan perubahan posisi kutub bumi secara perlahan (Gillibrand dalam Santoso, 2002)
2. Variasi medan magnet yang disebabkan oleh sifat fisis kemagnetan yang tidak homogen dari kerak bumi. Perubahan ini relatif memiliki nilai yang kecil. Penyebab dari variasi ini ialah kontras sifat kemagnetan (suseptibilitas) antar batuan di dalam kerak bumi (termasuk di dalamnya kemagnetan induksi dan kemagnetan remanent). Dalam batuan biasanya terkait dengan mineral yang bersifat magnetik.
3. Variasi dengan perubahan yang relatif cepat berkaitan dengan waktu (harian) dan bulanan disebut sebagai

variasi harian. Penyebab variasi ini ialah aktivitas matahari yang mempengaruhi keadaan atmosfer. Variasi ini bersifat periodik.

Variasi dengan perubahan relatif cepat dalam waktu yang relatif singkat dan sangat tidak teratur atau disebut juga dengan badai magnetik. Variasi ini berkaitan dengan aktivitas matahari yang dihubungkan dengan bintik matahari. Akibat tembakan partikel-partikel berenergi tinggi ke atmosfera bumi dari matahari menyebabkan fluktuasi sifat magnetik yang sangat tidak teratur. (Blakely,1995)

#### 2.5.4. Kontinuasi ke Atas (*up ward continuation*)

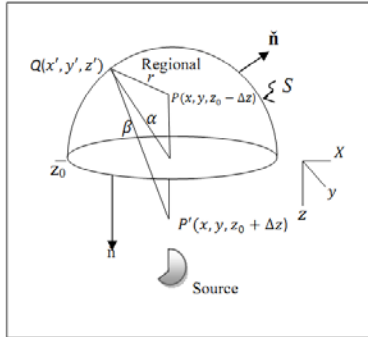
Kontinuasi paling sederhana adalah untuk medan potensial yang terukur pada level surface. Dalam sistem koordinat Kartesian dengan arah  $z$  ke bawah, kita mengasumsikan bahwa medan potensial terukur pada level *surface*  $z = z_0$  dan bahwa medan dikehendaki pada titik tunggal  $P(x, y, z_0 - \Delta z)$  di atas level *surface*, dimana  $\Delta z > 0$ . Permukaan  $S$  tersusun baik oleh level *surface* maupun *hemisphere* yang mempunyai radius  $\alpha$  (Gambar 2.6). Semua sumber terletak pada  $z > z_0$ . Untuk  $\alpha \rightarrow \infty$  maka:

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{1}{4} \iiint_{-\infty}^{\infty} \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial U(x', y', z_0)}{\partial z'} - U(x', y', z_0) \frac{\partial}{\partial z'} \frac{1}{r} \right] dx' dy' \quad (2.10)$$

dimana:

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

$$\Delta z > 0$$



Gambar 2.8 Kontinuitas ke atas dari permukaan horisontal.

Titik  $P'$  proyeksi dari  $P$ , titik integrasi  $Q$  pada permukaan  $S$ , serta  $r$  dan  $\rho$  masing-masing menyatakan jarak dari  $Q$  ke  $P$  dan  $Q$  ke  $P'$ . Persamaan (2.10) membutuhkan gradien vertikal  $U$ , maka diperlukan identitas kedua Green untuk mengeliminasi bagian turunan dalam tersebut. Jika  $V$  adalah fungsi harmonik  $R$ , maka identitas kedua Green menghasilkan:

$$\frac{1}{4\pi} \int_S \left[ V \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial V}{\partial n} \right] dS = 0 \quad (2.11)$$

dan dengan menambahkan identitas kedua Green menghasilkan:

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[ \left[ V + \frac{1}{r} \right] \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \left[ V + \frac{1}{r} \right] \right] dS \quad (2.12)$$

Untuk mengeliminasi bagian pertama,  $V$  harmonik diperlukan sehingga

$V + 1/r = 0$  pada setiap titik  $S$ .  $P'(x, y, z_0 - \Delta z)$  merupakan pencerminan  $P$ , dan diberikan  $V = -1/\rho$  dimana:

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

$V$  memenuhi apabila  $V + 1/r = 0$  pada permukaan horisontal,  $V + 1/r$  akan menghilang pada *hemisphere* pada saat  $\alpha$

menjadi besar, dan  $V$  selalu harmonik karena  $\rho$  tak pernah hilang. Oleh karena itu persamaan (2.13) menjadi:

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[ \left[ \frac{1}{r} + \frac{1}{\rho} \right] \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial}{\partial n} \left[ \frac{1}{r} - \frac{1}{\rho} \right] \right] dS \quad (2.14)$$

Jika *hemisphere* menjadi besar, maka bagian pertama akan menghilang pada setiap titik  $S$ , dan bagian kedua menghilang kecuali pada permukaan horizontal,

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

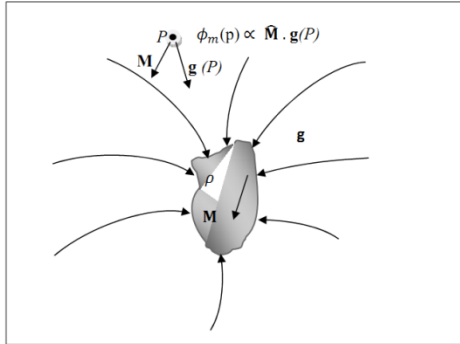
Dengan membawa turunan dan mengeluarkan  $z'$  ke permukaan horisontal diperoleh persamaan integral kontinuitas ke atas:

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{4\pi} \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2]^{3/2}} dx' dy', \Delta z > 0 \quad (2.16)$$

## 2.6 Transformasi Pseudogravitasi dan Gradien Horisontal

Potensial skalar magnetik suatu elemen material magnetik dan gaya gravitasi suatu elemen massa mempunyai kesamaan, keduanya mempunyai besar yang berbanding terbalik dengan jarak sumbernya. Hal ini bisa digunakan untuk menurunkan hubungan antara medan gravitasi dan magnetik.

Misal terdapat tubuh dengan magnetisasi uniform  $M$  dan densitas  $S$  seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Hubungan Poisson untuk tubuh dengan magnetisasi dan densitas uniform. Potensial magnetik pada titik manapun proporsional dengan komponen gravitasi yang searah dengan magnetisasi (Blakely,1995).

Potensial skalar magnetik diberikan oleh persamaan:

$$\begin{aligned}\phi_m(P) &= \frac{1}{\mu} \int \mathbf{M}(Q) \cdot \nabla_Q \frac{1}{r} dv, \\ &= -\frac{1}{\mu} \mathbf{M} \cdot \nabla_p \int \frac{1}{r} dv,\end{aligned}\quad (2.17)$$

dan potensial gravitasi ditulis:

$$\begin{aligned}\phi_g(P) &= \gamma \int_R \frac{\rho}{r} dv, \\ &= \gamma \rho \int_R \frac{1}{r} dv,\end{aligned}$$

maka

$$\int_R \frac{1}{r} dv = \frac{\phi_g}{\gamma \rho} \quad (2.18)$$

jika persamaan (2.17) di substitusi ke dalam persamaan (2.18) diperoleh

$$\begin{aligned}\phi_m(P) &= -\frac{1}{\mu \gamma \rho} \mathbf{M} \cdot \nabla_p \phi_g \\ &= -\frac{1}{\mu \gamma} \frac{M}{\rho} g_m,\end{aligned}\quad (2.19)$$

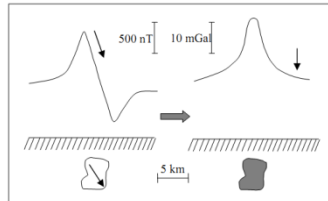


Dimana  $g_m$  merupakan komponen gravitasi yang searah dengan magnetisasi. Persamaan (2.19) disebut hubungan Poisson's, yang menunjukkan bahwa jika (a) batas sumber dari gravitasi dan magnetik adalah sama dan (b) yaitu magnetisasi dan densitas juga sama, maka potensial magnetik sesuai dengan komponen daya tarik gravitasi yang searah dengan magnetisasi seperti pada Gambar 2.11. Apabila diasumsikan bahwa  $M$  dan  $\rho$  konstan, namun kita dapat mempertimbangkan distribusi variabel dari magnetisasi atau densitas persamaan (2.19) dapat digunakan untuk masing-masing bagian kecil ini dan dengan bantuan prinsip superposisi, sangat cocok untuk distribusi variabel dari densitas dan magnetisasi.

Baranov dalam Blakely (1995) menjelaskan aplikasi hubungan Poisson's dimana anomali medan magnet total diubah menjadi anomali gravitasi yang akan diamati jika distribusi magnetisasi diganti dengan distribusi densitas (bernilai konstan sepanjang sumber). Dia menyebut hasil kuantitas tersebut sebagai anomali pseudogravitasi dan transformasi itu sendiri umumnya disebut transformasi pseudogravitasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.

Transformasi pseudogravitasi memiliki beberapa aplikasi penting. Beberapa unit geologis yang bisa bersifat sangat magnetik dan memiliki anomali densitas. Pluton mafik yang dikelilingi oleh batuan sedimen, dapat menghasilkan anomali magnetik dan gravitasi. Anomali pseudogravitasi, yang dihitung dari medan magnet terukur dapat dibandingkan secara langsung dengan perhitungan medan gravitasi. Perbandingan seperti itu, dapat membantu interpretasi bentuk dan ukuran sumber atau paling tidak dapat digunakan untuk investigasi perbandingan

dan bagaimana variasinya di dalam sumber (Agarwal, Bott dan Ingles, Cordell dan Taylor, Chandler dan Malek dalam Blakely, 1995).



Gambar 2.10 Anomali magnetik dan transformasi pseudogravitasi (Blakely, 1995)

Transformasi pseudogravitasi bisa menjadi strategi yang berguna dalam menginterpretasi anomali magnetik, bukan karena distribusi massa 9-0berhubungan dengan distribusi magnetik, namun karena anomali-anomali gravitasi pada tubuh berbentuk tabular memiliki gradien horisontal yang paling curam pada ujung-ujungnya, dan sifat ini dapat dimanfaatkan pada interpretasi magnetik dengan merubah anomali magnetik menjadi anomali pseudogravitasi dan mencari anomali pseudogravitasi untuk gradien horisontal maksimum.

Gradien horisontal tercuram dari anomali gravitasi  $g_z(x,y)$  atau anomali pseudogravitasi yang disebabkan oleh benda batangan cenderung ada pada tepi benda. Tentu saja gradien tercuram akan terlokalisasi secara langsung di atas tepi benda tersebut. Besarnya gradien horisontal anomali gravitasi atau anomali pseudogravitasi dinyatakan sebagai berikut:

$$h(x,y) = \left[ \left[ \frac{\partial g_z(x,y)}{\partial x} \right]^2 + \left[ \frac{\partial g_z(x,y)}{\partial y} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

dengan:

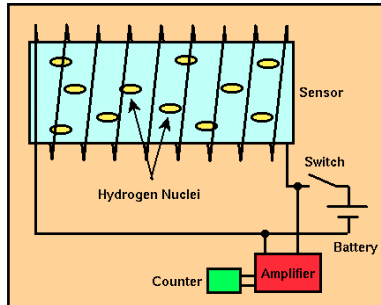
$(x,y)$  = harga gradien horisontal pada  $(x,y)$

$gz(x,y)$  = harga anomali pseudogravitasi pada  $(x,y)$

## **2.7 Proton Magnetometer**

Magnetometer adalah instrument geofisika yang digunakan untuk mengukur kekuatan medan magnet bumi. Prinsip kerja Proton Precession Magnetometer adalah dengan proton yang ada pada semua atom, berputar pada sumbu axis yang sejajar dengan medan magnet Bumi. Normalnya, proton cenderung untuk sejajar dengan medan magnet Bumi. Ketika subjek diinduksi medan magnet (dibuat sedemikian), maka proton dengan sendirinya akan menyesuaikan dengan medan yang baru. Dan ketika medan baru itu dihentikan maka proton akan kembali seperti semula yang sejajar dengan medan magnet Bumi. Saat terjadi perubahan kesejajaran, perputaran proton berpresesi, dan putarannya semakin melambat. Frekuensi pada saat presesi berbanding lurus dengan kuat medan magnet Bumi. Rasio Gyromagnetic proton adalah 0,042576 Hertz / nano Tesla. Sebagai contoh, pada area dengan kekuatan medan sebesar 57.780 nT maka frekuensi presesi menjadi 2460 Hz.

Komponen sensor pada magnetometer proton adalah tabung silinder yang berisi cairan penuh atom hidrogen yang dikelilingi oleh lilitan kabel. Cairan yang digunakan umumnya terdiri dari air, kerosin, dan alkohol. Sensor tersebut dihubungkan dengan kabel ke unit yang berisi sebuah power supply, sebuah saklar elektronik, sebuah amplifier, dan sebuah pencatat frekuensi.

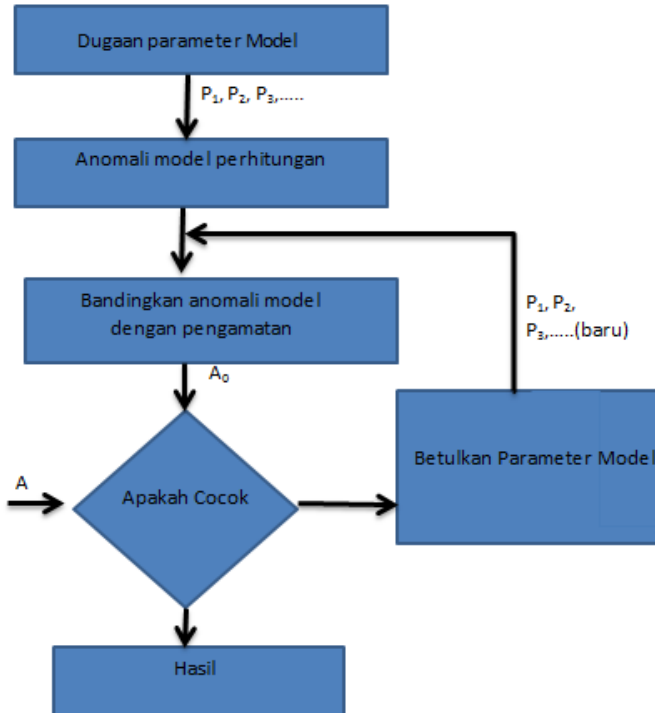


Gambar 2.11 Magnetometer proton

## 2.8 Interpretasi Data Menggunakan Metode Talwani 2D

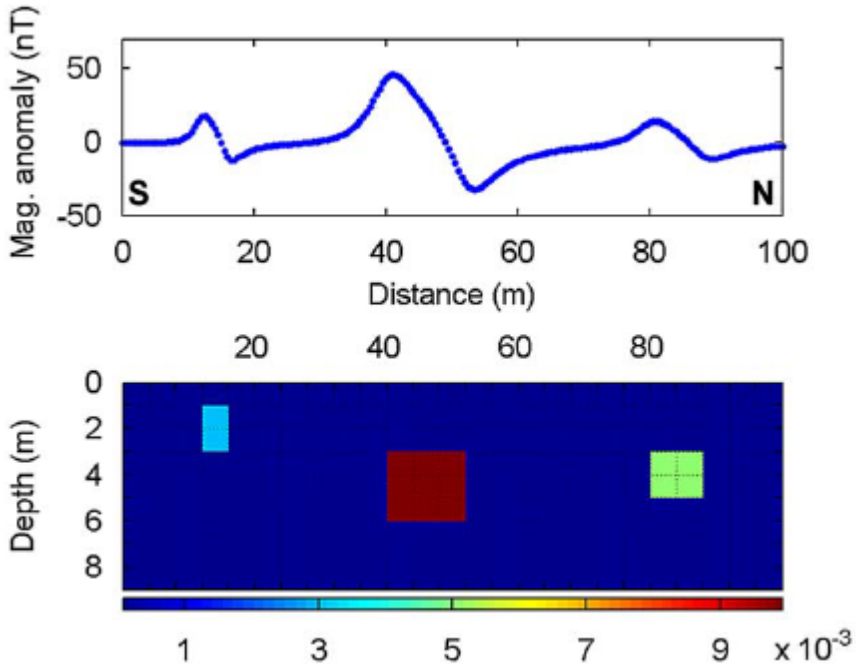
Metode yang digunakan dalam interpretasi data pada penelitian ini dengan menggunakan software surfer dan magpick sebagai interpretasi awal. Setelah diketahui distribusi anomali medan magnet dengan proses tersebut digunakan analisa dengan menggunakan matlab. Interpretasi tahap ini bertujuan untuk mengetahui nilai subsibilitas pada kedalaman tertentu.

Dari pemodelan yang dilakukan dengan matlab yang didasarkan pada data observasi. Data observasi dimodelkan agar bisa dilakukan pendekatan dengan menggunakan hasil model perhitungan. Proses pencocokkan ini dilakukan berulang-ulang hingga abomali perhitungan dan pengamatan dianggap cukup mirip.



Gambar 2.12 Teknik interpretasi data medan potensial dengan metode kedepan  $P_1, P_2, P_3, \dots$  adalah parameter dari sumber seperti kedalaman, ketebalan, susceptibilitas atau magnetisasi,  $A_0$ : anomali perhitungan, dan  $A$ : anomali pengamatan (Blakely, 1995)

Berdasarkan data inklinasi dan deklinasi dapat diinterpretasikan model magnet secara regional. Dimana data yang didapatkan dari pengukuran dapat dibuat grafik seperti pada gambar berikut. Gambar tersebut merupakan hasil dari pemodelan kedepan berdasarkan data pengamatan.



Gambar Contoh pemodelan ke depan dari metode pendekatan Talwani

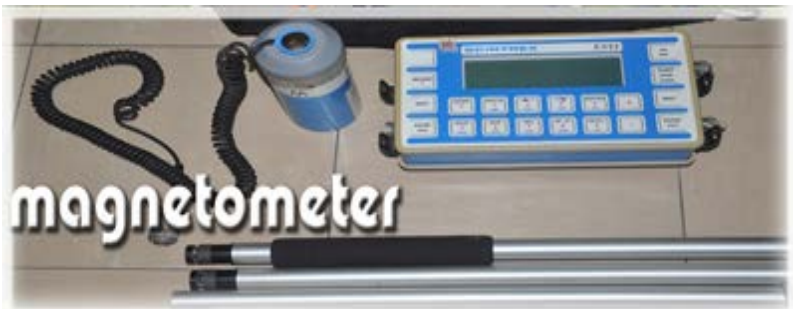
Dari grafik tersebut dapat diamati besarnya nilai susceptibilitas dari suatu material pada kedalaman tertentu. Sehingga dapat diinterpretasikan kondisi geologi dari daerah tersebut.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam akuisisi data magnetik total adalah seperangkat Proton Magnetometer ENVI SCINTREX yang ada di Laboratorium Geofisika ITS seperti terlihat pada gambar di bawah ini (Gambar 3.1), kompas Geologi yang berfungsi untuk menentukan arah utara bumi serta GPS (Global Positioning System) yang berfungsi untuk menentukan posisi titik pengukuran terhadap garis lintang dan garis bujur.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.1. (a). Proton Magnetometer ENVI SCINTREX,  
(b). GPS, (c). Kompas Geologi

### 3.2. Prosedur Kerja

Metodologi dalam penelitian ini disusun dengan diagram alir (Flow Chart) yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut ini:





Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

### 3.2.1 Lokasi Daerah Penelitian

Lokasi penelitian terletak di desa wagir lor, Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo, dimana hanya meliputi sekitar daerah manifestasi air panas di tepi sungai tancak. Di daerah survei ditemukan manifestasi panas-bumi. Mata-air panas keluar dari rekahan-rekahan pada batuan breksi andesit. Di sekitar mata - air panas secara umum ditemukan adanya endapan berwarna kuning kemerahan dan sedikit berbau belerang, endapan ini merupakan unsur besi yang keluar bersama air panas tersebut dan mengalami oksidasi sehingga menunjukkan warna seperti karat.

### **3.2.2 Survei dan Desain Lintasan**

Sebelum dilakukan pengambilan data, terlebih dahulu dilakukan survei lokasi pengukuran dan penentuan lintasan untuk pengukuran geomagnet. Persiapan selanjutnya adalah perencanaan pengukuran lapangan. Hal ini berkaitan dengan desain akuisisi data, dengan target area yang diinginkan.

### **3.2.3 Akuisisi Data Lapangan**

Akuisisi medan magnet total ini menggunakan 1 set alat magnetometer. Pengambilan data dimulai dengan mensetting alat sensor sesuai dengan IGRF daerah setempat dan menyesuaikan dengan arah utara derah penelitian menggunakan kompas geologi. Pengukuran pada hari pertama dan hari kedua dilakukan pada Base station untuk mengukur variasi harian yang terjadi. Pengukuran di titik base station dilakukan secara berulang dengan selang waktu 5 menit. Pada hari ketiga dan keempat dilakukan pengukuran untuk mengukur medan magnet total di setiap titik pada daerah target yang sudah ditentukan.

Pengambilan data magnetik dilakukan secara acak. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa kondisi topografi yang banyak jurang. Penentuan titik pengukuran ditentukan dengan GPS yang secara digital akan menunjukkan lintang dan bujur pada masing-masing titik pengukuran, dengan terlebih dahulu menentukan arah utara bumi dengan kompas geologi. Data terakhir yang didapat adalah data medan magnet total. Pengambilan data di lapangan dengan spasi antara dua titik pengamatan berturut-turut berjarak 100 m terhadap 4 lintasan pada area seluas 1.5 km x 1.5 km.

### **3.2.4 Pengolahan Data**

Pada penelitian ini telah dilakukan akuisisi data pengukuran geomagnet. Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, data intensitas medan magnet total di setiap titik ukur diambil secara berulang-ulang untuk memilih data yang memiliki tingkat error paling kecil. Sehingga data yang dihasilkan dianggap terbebas dari pengaruh noise yang berada di sekitar titik ukur tersebut.

Langkah berikutnya menghitung koreksi variasi harian (diurnal variation) dan koreksi IGRF (International Geomagnetic Rich Field). Selanjutnya data diolah dengan perangkat lunak surfer 8 termasuk posisi Bujur dan Lintang yang telah dikonversi ke dalam satuan meter untuk ditampilkan pada peta kontur 2D anomali medan magnetik total. Untuk melokalisasi anomali medan magnet total dari data observasi dilakukan kontinuasi ke atas (upward continuation) dan hasilnya digunakan untuk pemisahan anomali lokal dan regional. Selanjutnya dilakukan proses reduksi ke kutub magnet bumi, dan transformasi pseudogravitasi serta gradien horisontal dengan menggunakan bantuan perangkat lunak MagPick.

### **3.2.5 Interpretasi**

Interpretasi dilakukan untuk memperkirakan letak dari anomali atau gambaran bawah permukaan yang dikehendaki. Interpretasi ini dilakukan dengan menganalisis data peta kontur anomali medan magnetik total reduksi ke kutub yang sebelumnya telah dikoreksi terhadap variasi harian dan IGRF. Dan membandingkan hasil pengolahan data dengan menggunakan transformasi pseudogravitasi dan gradient horizontal. Hasil yang didapat diinterpretasikan terhadap kedalaman dan material penyusun dari bawah permukaan. Selain itu dilakukan korelasi antara data dengan peta geologi lokasi penelitian.

### **3.2.6 Tahap Kesimpulan**

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari seluruh kegiatan dari tahap persiapan sampai tahap analisis dan interpretasi, yang sekaligus merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Proses analisa yang dilakukan dalam penelitian manifestasi panas bumi di daerah Kec Ngebel ini dimulai dengan pengolahan data mentah. Data mentah tersebut didapatkan dari pengukuran lapangan berupa magnetik total, *noise* dan waktu pengambilan data serta koordinat. Dilakukan proses pengolahan dengan beberapa koreksi. Koreksi yang dilakukan adalah koreksi variasi harian medan bumi dan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Rich Fielg*).

#### **4.1 Koreksi Variasi Harian (Diurnal)**

Koreksi variasi harian merupakan penyimpangan intensitas medan magnet bumi yang disebabkan oleh adanya waktu pengukuran dan efek sinar matahari dalam satu hari. Koreksi ini dilakukan dengan perhitungan waktu pengukuran yang dilakukan disetiap titik serta dikurangi dengan waktu ketika pengukuran di base station. Persamaan yang digunakan untuk menghitung variasi harian tersebut sebagai berikut:

$$H = \frac{(t_n - t_{aw})}{(t_{ak} - t_{aw})} (H_{ak} - H_{aw}) \quad (4.1)$$

Dimana

- H : Nilai intensitas medan magnetik total
- $t_n$  : Waktu pengukuran di titik tertentu
- $t_{aw}$  : Waktu pengukuran awal di base station
- $t_{ak}$  : Waktu pengukuran akhir di base station
- $H_{ak}$  : intensitas medan magnet awal.

#### **4.2 Koreksi IGRF**

Koreksi IGRF merupakan koreksi yang dilakukan untuk mengetahui nilai intensitas medan magnet lokal. Medan magnet yang didapatkan dari hasil pengukuran merupakan medan magnet total hasil sumbangan dari tiga komponen dasar yaitu medan utama (*main field*), medan luar (*external field*), dan observasi

lokal. Sehingga perlu dihilangkan pengaruh-pengaruh selain yang bersal dari anomali medan magnet lokal. Dari ketiga komponen tersebut didapatkan hubungan sebagai berikut:

$$\Delta H = H - H_0 - H_D \quad (4.2)$$

Dimana

$\Delta H$  :anomali intensitas medan magnet total

$H$  :intensitas medan magnet luar

$H_0$  :Intensitas medan magnet utama bumi(IGRF)

$H_D$  :Intensitas medan magnet pengaruh luar(diural)

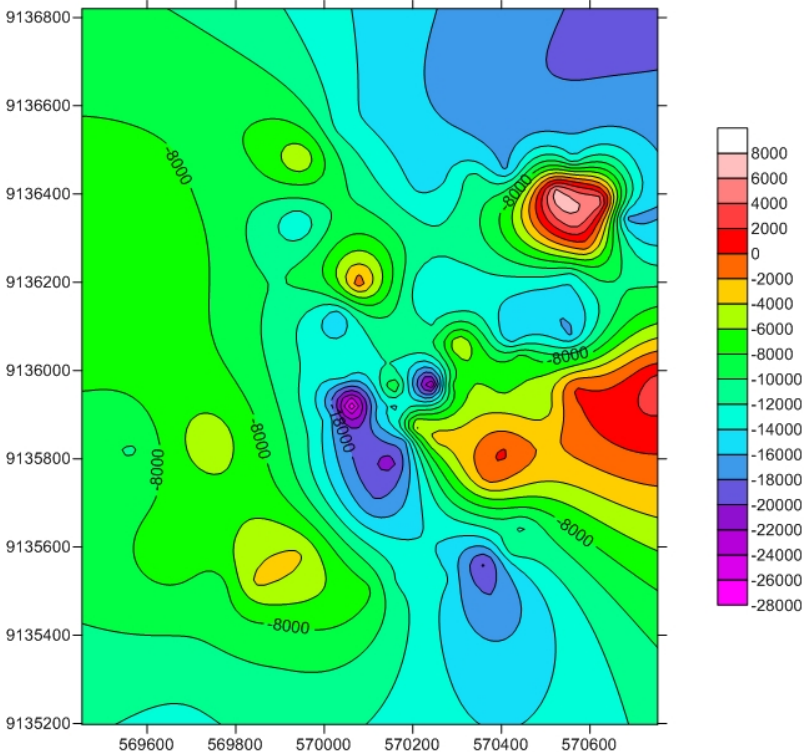
Besarnya nilai IGRF dari suatu daerah akan selalu berbeda. Perubahan nilai IGRF tersebut dipengaruhi oleh derajat inklinasi dan derajat deklinasi. Dalam penelitian ini pada daerah Ngebel memiliki nilai IGRF sebesar 44973,7 nT(nano Tesla). Nilai tersebut didapatkan dari <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/point/index.html> . Nilai IGRF akan selalu berubah ,sehingga dalam mencari nilai IGRF harus pada waktu yang tepat. Nilai IGRF digunakan untuk koreksi normal sedangkan nilai Inklinasi dan deklinasi magnetik ini digunakan pada estimasi lebih lanjut reduksi bidang datar dan reduksi ke kutub.

### 4.3 Anomali Magnet

Anomali medan magnet didapatkan setelah dilakukan pengolahan menggunakan software *Surfer 8.0*. Pengolahan data ini dilakukan dengan memasukkan nilai koordinat dan nilai medan magnet total. Hasil dari pengolahan tersebut ditampilkan pada gambar 4.1. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai medan magnet terukur memiliki nilai tertinggi sebesar 8000nT dan nilai terendah -28000nT.

Pada gambar 4.1 peta kontur medan magnet total yang dikoreksi variasi harian dan IGRF,dapat dilakukan identifikasi terhadap adanya perbedaan medan magnet yang kontras,yang sering juga disebut dengan anomali daerah tertentu. Untuk metode magnetik,bentuk sayatan anomalnya terdapat harga yang maksimum dan minim atau disebut juga dipole magnetik yang

merupakan syarat dalam penggunaan metode geomagnet. Oleh sebab itu nilai pada peta kontur berikut memiliki skala nilai tertinggi positif dan terendah negatif.



Gambar 4.1 Peta kontur anomali magnetik terukur

Peta kontur yang tampak pada gambar diatas merupakan hasil dari pengolahan data dari lapangan dengan analisa perhitungan menggunakan persamaan 4.1 dan 4.2. Analisa tersebut dilakukan karena untuk mengetahui nilai medan magnet total pada setiap titik. Dalam proses interpretasi dibutuhkan tahap yang lain. Hal tersebut dikarenakan untuk meminimalisir tingkat error dari proses pengambilan data. Sehingga perlu dilakukan pengolahan

lebih lanjut untuk mengetahui tingkat akurasi dari interpretasi data.

#### **4.4 Kontinuitas ke Atas**

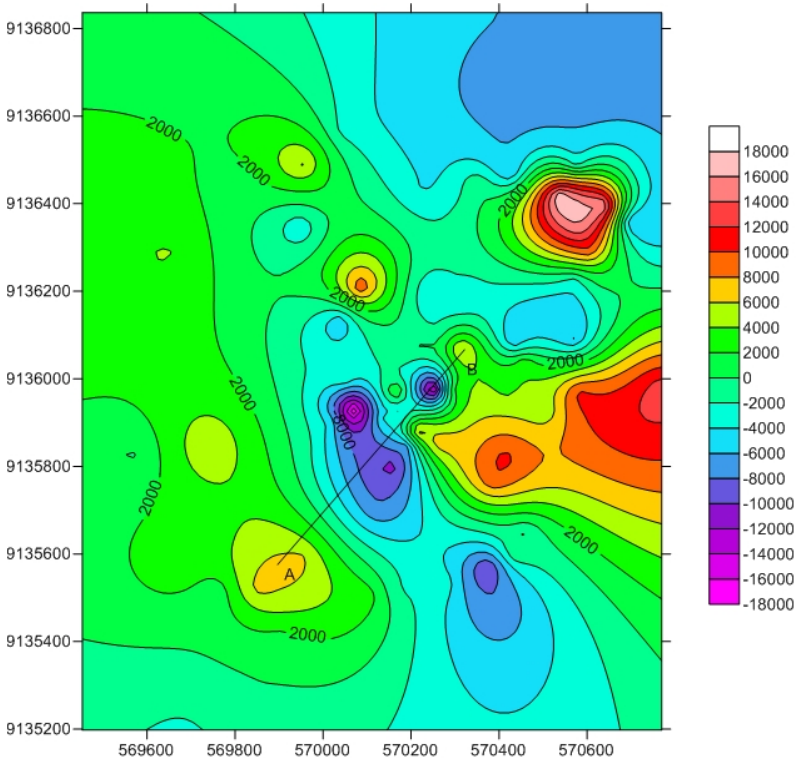
Tahapan kontinuitas ke atas merupakan salah satu tahapan untuk melakukan koreksi pada data magnetik. Dalam pengukuran lapangan akusisi magnetik banyak sekali noise-noise yang berpengaruh pada data. Sehingga perlu dilakukan koreksi noise-noise tersebut. Kontinuitas ke atas dilakukan untuk menghilangkan noise-noise saat akusisi data dilapangan.

Hasil dari peta kontur anomali magnetik terukur tersebut kemudian dilakukan proses kontinuitas keatas dengan menggunakan software *Magpick*. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan efek-efek dari intensitas medan magnet yang berada di sekitar lokasi pengukuran. Proses kontinuitas ke atas ini dilakukan sampai model kontur yang didapatkan telah stabil dan tidak mengalami perubahan. Dalam kontinuitas ke atas yang dilakukan yaitu dari 350m,450m,550m,650m,750m,850m.

Nilai anomali yang paling stabil berada pada peta kontur 850m. Dari kontinuitas yang dilakukan pada 850m nilai skala tertingginya adalah 18000nT dan terendahnya bernilai -18000nT. Data tersebut sudah mengalami perubahan dari bentuk peta kontur magnetik terukur. Berikut ini merupakan hasil dari peta kontur kontinuitas ke atas dengan ketinggian 850m.

Kestabilan tersebut menggambarkan bahwa efek dari noise yang mempengaruhi medan magnet lokal telah hilang pada ketinggian 850m. Sehingga dengan kontur yang ditunjukkan pada peta kontur 850m dapat dilakukan interpretasi awal. Interpretasi awal yang diketahui adalah bahwa terdapat anomali yang membentang dari selatan ke

utara. Sehingga apabila dilihat dari lingkungan sekitar daerah tersebut merupakan daerah manifestasi air panas terbesar.



Gambar 4.2 Peta kontur anomali magnetik kontinuitas ke atas 850m.

Pada peta tersebut digambarkan perbedaan anomali yang ditunjukkan oleh garis A-B. Anomali tersebut akan dianalisa dan dilakukan interpretasi agar diketahui penyebab terjadinya anomali tersebut.

#### 4.5 Pemisahan Anomali Lokal dan Regional

Pemisahan anomali lokal dan regional memiliki tujuan untuk mengetahui efek dari medan magnet total dari



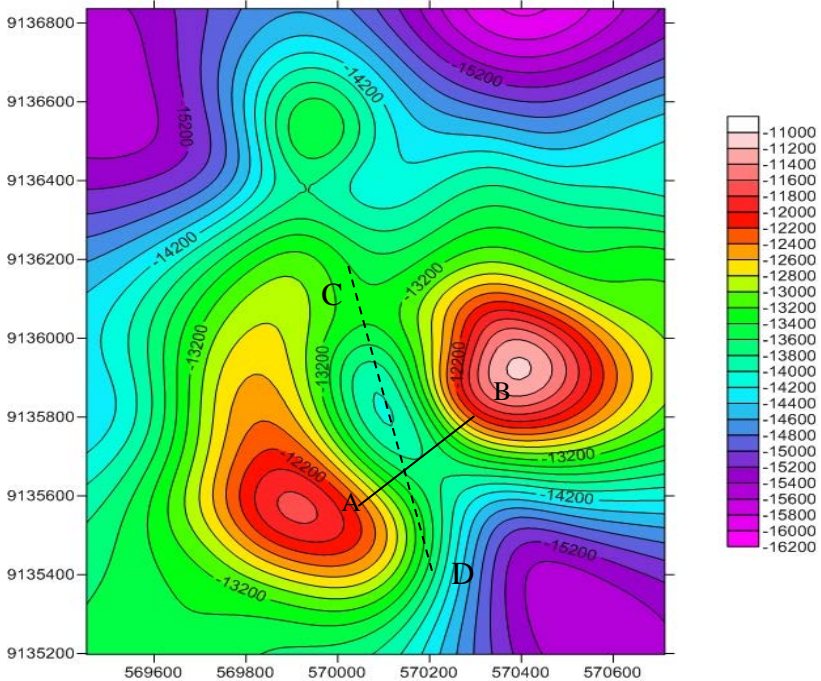
daerah pengukuran tersebut terhadap kedalaman tertentu. Pemisahan anomali lokal dan regional dapat mengetahui kondisi struktur bawah permukaan yang lebih jelas. Untuk anomali lokal memiliki informasi medan magnet total yang letaknya di dekat permukaan. Sedangkan anomali regional merupakan hasil dari medan magnet total bawah permukaan yang lebih dalam dibandingkan anomali regional.

Pada penelitian yang dilakukan ini hanya digunakan anomali lokal karena tujuan dari penelitian adalah mengetahui manifestasi dari air panas. Sedangkan air panas yang diteliti telah tampak di permukaan. Sehingga anomali yang dibutuhkan yaitu anomali lokal. Akan tetapi hasil dari anomali regional tetap menjadi acuan untuk memberikan validasi yang tepat ketika interpretasi.

Hasil anomali regional pada gambar 4.2 merupakan hasil pemisahan anomali lokal yang telah dilakukan koreksi kontinuitas keatas sebesar 850m. Hasil yang didapatkan menunjukkan skala yang memiliki nilai tertinggi -11000nT dan terendah -16200 nT. Nilai medan magnet yang didapatkan memiliki range nilai negatif. Hal ini disebabkan karena anomali regional memiliki koreksi yang luas sehingga pengaruh efek-efek yang diberikan akan semakin banyak. Sehingga mengakibatkan nilai intensitas medan magnetnya juga semakin kecil. Berikut ini merupakan hasil dari pemisahan anomali lokal dan regional.

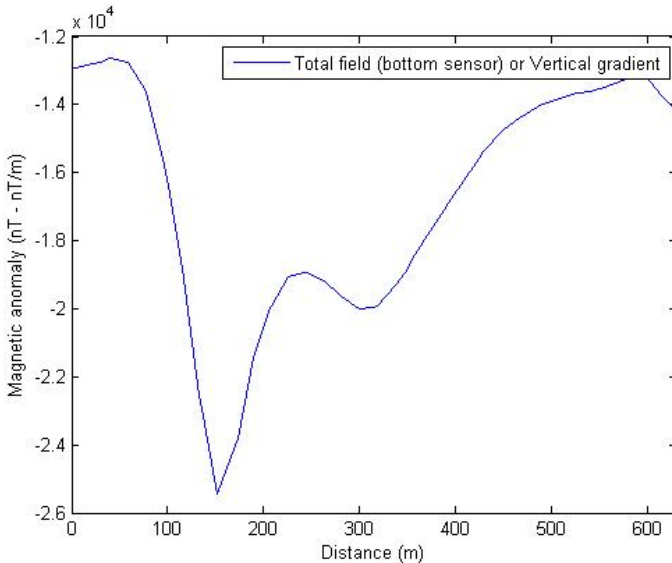
Dari peta kontur yang didapatkan pola konturnya hampir mirip dengan hasil anomali lokal. Hal ini disebabkan kondisi geologi di permukaan tidak jauh beda dengan struktur penyusun lapisan di bawah permukaan. Selain itu adanya zona patahan juga mempengaruhi litologi di bawah permukaan. Sehingga ada indikasi bahwa manifestasi air panas disebabkan karena adanya zona patahan yang melintang dari utara ke selatan.

Hasil dari medan magnet total memiliki nilai rendah di sekitaran manifestasi air panas. Seperti dapat dilihat pada garis C-D yang merupakan alur manifestasi air panas.



Gambar 4.3 Peta kontur anomali magnetik regional

Dari peta kontur anomali di atas terdapat perbedaan nilai yang cukup berbeda dengan nilai yang sama tinggi. Yang ditunjukkan pada sayatan A-B. Hal tersebut menunjukkan terbentuknya anomali medan magnet.



Gambar 4.4 Hasil grafik sayatan C-D

Dari grafik hasil sayatan yang ditampilkan di gambar 4.4 menunjukkan bahwa medan magnet total di sekitaran sayatan C-D memiliki nilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa daerah sekitaran manifestasi air panas memiliki nilai medan magnet total yang rendah. Medan magnet total yang rendah di daerah manifestasi air panas disebabkan karena adanya suhu tinggi yang mengenai batuan. Proses tersebut mengakibatkan tingkat kemagnetan suatu batuan menjadi rendah.

#### 4.6 Reduksi ke Kutub Magnet Bumi

Reduksi ke kutub magnet bumi merupakan tahapan yang dilakukan sebelum melakukan interpretasi data. Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui efek medan magnet bumi yang timbul di daerah penelitian. Selain itu koreksi reduksi ke magnet bumi juga memberikan informasi tentang kondisi bawah permukaan. Dimana nilai dari subsibilitas dari material di daerah

penelitian memiliki nilai yang bervariasi. Sehingga memiliki nilai yang dapat ditunjukkan pada peta kontour.

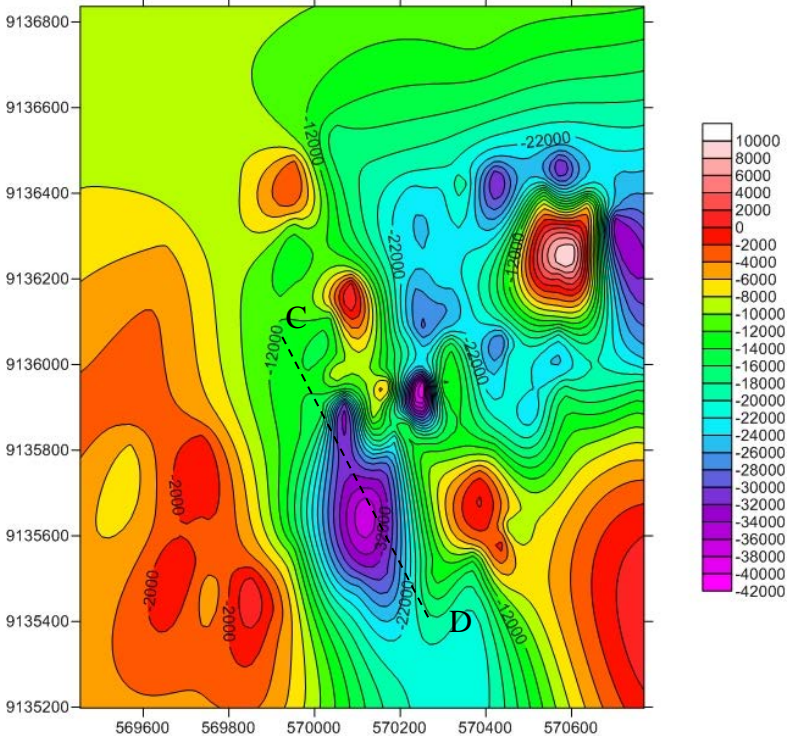
Hasil yang didapatkan dari kontinuitas kemudian dilakukan reduksi ke kutub dengan tujuan dapat melokalisasi daerah-daerah dengan anomali maksimum tepat berada di atas tubuh benda penyebab anomali, sehingga dapat memudahkan dalam melakukan interpretasi. Reduksi ke kutub dilakukan dengan cara membuat sudut inklinasi benda menjadi  $90^\circ$  dan deklinasi  $0^\circ$ . Karena pada kutub magnetik arah dari medan magnet bumi ke bawah dan arah dari induksi magnetisasinya ke bawah juga.

Proses transformasi reduksi ke kutub dilakukan dengan mengubah arah magnetisasi dan medan utama dalam arah vertikal, tetapi masih disebabkan oleh sumber yang sama. Reduksi ini dilakukan dengan menggunakan program MagPick sehingga diperoleh peta kontur anomali tereduksi ke kutub. Hasil dari reduksi ke kutub yang ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut menunjukkan adanya perbedaan anomali yang terlihat jelas. Dari hasil tersebut dapat diinterpretasikan awal bahwa terdapat patahan yang ditunjukkan oleh garis C-D.

Dari garis C-D dapat dilihat bahwa nilai medan magnet di sepanjang garis tersebut relatif kecil. Berdasarkan analisa medan magnetnya jenis dari material yang terkandung di bawah permukaan adalah batuan sedimen. Batuan sediment merupakan batuan yang berasal dari letusan gunung berapi. Dilihat dari kondisi geologis daerah penelitian merupakan daerah yang berada di bawah lereng gunung Ngliman yang merupakan gunung berapi purba yang dulunya pernah aktif. Sehingga dimungkinkan terjadi endapan setelah terjadinya letusan di daerah tersebut.

Batuan yang tersedimentasi secara terus menerus sehingga membentuk lapisan batuan. Adanya anomali pada daerah penelitian dimungkinkan adanya pergerakan tektonik yang mengakibatkan pergeseran pada pelapisan tanah. Sehingga mengakibatkan terjadinya patahan. Di daerah patahan memiliki porositas yang tinggi sehingga mengakibatkan nilai permeabilitasnya tinggi. Hal ini mengakibatkan garis C-D

memiliki nilai medan magnet yang rendah karena batuanannya terisi oleh fluida yang bersuhu tinggi.



Gambar 4.5 Peta kontur anomali magnetik lokal setelah direduksi ke kutub

Garis C-D memberikan informasi awal tentang kondisi bawah permukaan. Dari hasil koreksi-koreksi yang telah dilakukan di daerah garis C-D memang memiliki nilai medan magnet total yang rendah. Demikian juga hasil dari reduksi ke kutub juga menunjukkan nilai medan magnet total yang rendah. Sehingga dimungkinkan adanya daerah patahan di daerah garis C-D. Dilihat dari anomali di daerah C-D tersebut.

Terlihat bahwa setelah dilakukan reduksi ke kutub lintasan C-D memiliki nilai yang rendah. Anomali yang terdapat di daerah lintasan C-D menggambarkan bahwa material penyusun yang ada di bawah permukaan memang memiliki suseptibilitas rendah. Hal tersebut dapat menjadikan salah satu dasar bahwa manifestasi air panas di daerah penelitian disebabkan karena adanya patahan. Berdasarkan data yang diperoleh patahanan dimungkinkan membujur dari selatan ke utara.

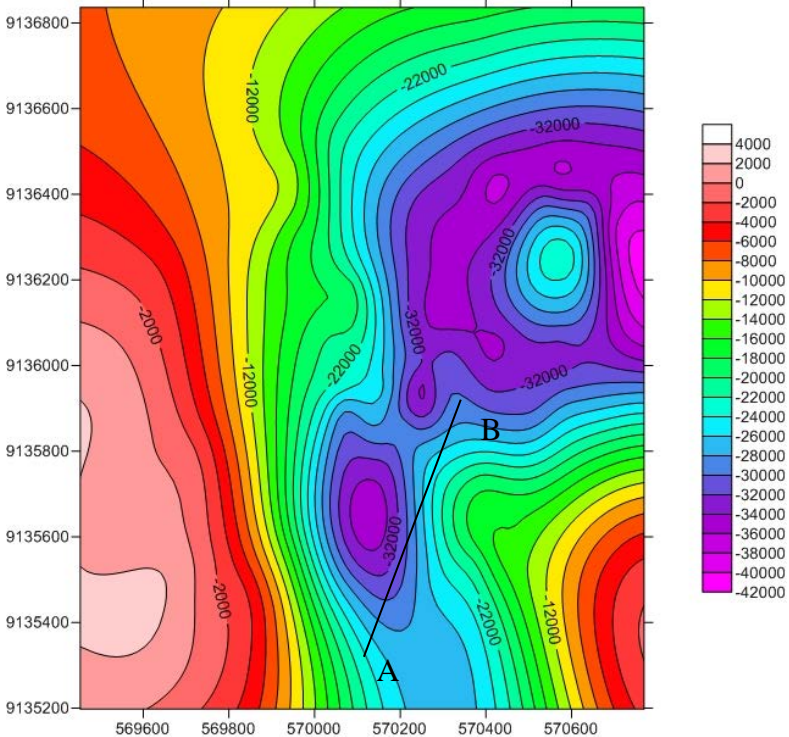
#### **4.7 Transformasi Pseudogravitasi**

Transformasi Pseudogravitasi merupakan tahapan yang dilakukan dalam pengolahan data magnetik untuk mengetahui nilai gravity dari material dibawah permukaan. Hal ini dilakukan untuk membandingkan nilai gravity dan medan magnet total yang ada di daerah penelitian. Selain itu data dari gravity memiliki nilai yang jelas untuk mengetahui material bawah permukaan. Dari data gravity dapat diketahui secara pasti posisi material yang memiliki densitas tertentu. Sedangkan data magnetik yang masih bergantung pada sudut inklinasi dan derajat deklinasi untuk mengetahui material dibawah permukaan.

Hasil dari pseudogravitasi dapat memberikan informasi tentang densitas batuan penyusun di daerah penelitian. Hal ini dikarenakan nilai dari suatu densitas batuan berbanding lurus dengan nilai gravitasinya. Sehingga apabila diketahui nilai dari densitas batuan dapat diinterpretasikan matererial penyusun dibawah permukaanya.

Data pseudogravitasi merupakan gambaran analogis data gravitasi untuk benda dengan densitas yang memiliki kesebandingan dengan magnetisasi. Nilai kesebandingan yang dipakai adalah  $100 \text{ kg/m}^3 \text{ per A/m}$  (Blakely, 1995). Hasil transformasi pseudogravitasi dilakukan gradien horizontal. Hal tersebut berujuan untuk mengetahui nilai densitas dari material yang terkandung dalam material tersebut. Nilai densitas berbanding lurus dengan nilai gravity suatu material. Hasil

pengolahan data transformasi pseudogravitasi ditunjukkan sebagai berikut:



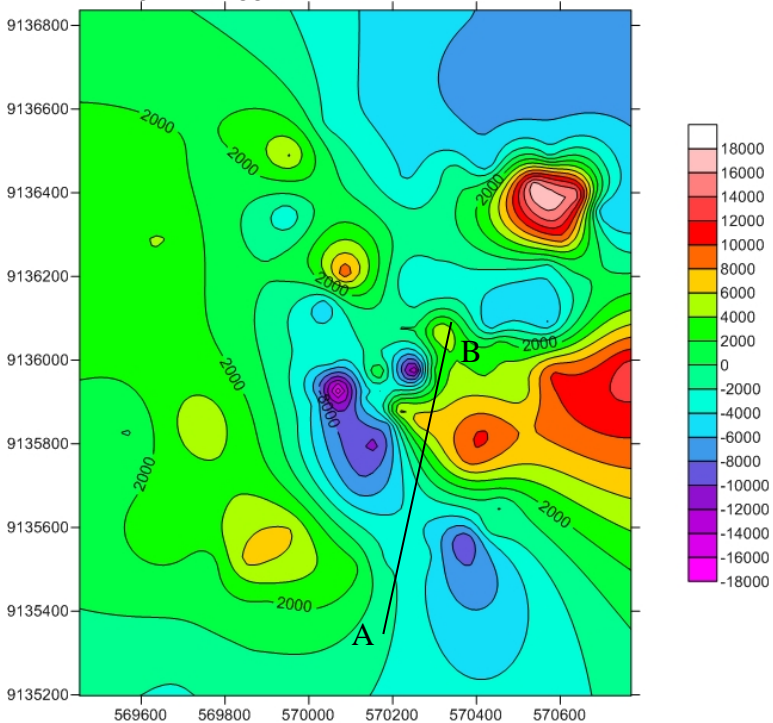
Gambar 4.6 Peta kontur anomali magnetik lokal setelah ditransformasi pseudogravity.

Garis A-B menunjukkan sayatan yang akan dilakukan pengolahan lebih lanjut untuk melihat kondisi bawah permukaan. Hal tersebut dapat digunakan untuk mengetahui material penyusun yang menyebabkan adanya anomali tersebut. Ada indikasi bahwa perbedaan anomali tersebut merupakan patahan.

#### 4.8 Intepretasi

Berdasarkan tahap-tahap yang telah dilakukan yang memiliki tujuan untuk koreksi dan pembanding dapat dilakukan proses selanjutnya untuk interpretasi data. Interpretasi ini

dilakukan berdasarkan hasil dari pengolahan yang dilakukan dengan melakukan pengolahan medan magnet bumi total. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan dari daerah penelitian. Hasil dari peta kontour medan magnet total bumi disayat sesuai dengan gambar 4.6. Dengan menggunakan sayatan garis A-B akan diketahui grafik nilai medan magnet total dan jarak sayatan yang dilakukan. Dari data tersebut akan didapatkan grafik . Grafik yang dihasilkan dari sayatan tersebut di inversi dengan menggunakan metode talwani.



Gambar 4.7 Peta sayatan A-B.

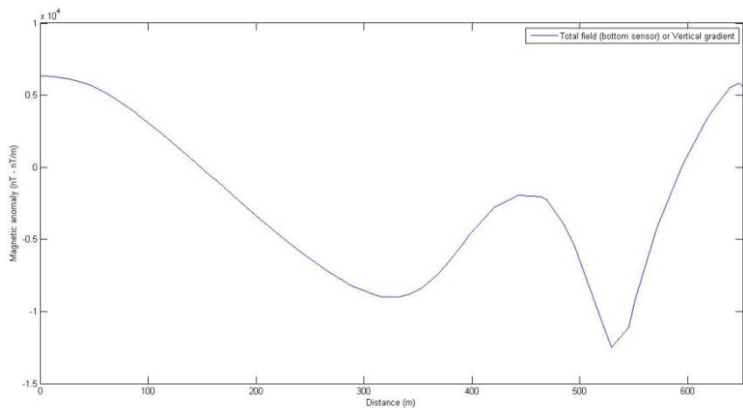
Proses yang dilakukan selanjutnya adalah melakukan interpretasi permodelan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui model bawah permukaan. Software yang digunakan untuk interpretasi ini menggunakan matlab. Anomali model dihitung



dan dibandingkan dengan pengamatan. Proses yang dilakukan yaitu dengan pencocokan ,perhitungan dan perbandingan anomali diulang sampai dengan pengamatan dianggap cukup mirip.

Dalam pencocokan model teoritis terdapat pengamatan medan magnetik dilakukan dengan menampilkan terhitung yang mendekati data pengamatan. Data input untuk interpretasi kuantitatif yaitu sudut inklinasi  $-32.96$  dan sudut deklinasi  $1.20$  serta nilai IGRF sebesar  $44973,7$ .

Berdasarkan data hasil sayatan dan interpretasi kuantitatif berupa nilai IGRF ,sudut inklinasi dan deklinasi tersebut dapat di modelkan pemodelan awal sebagai berikut.



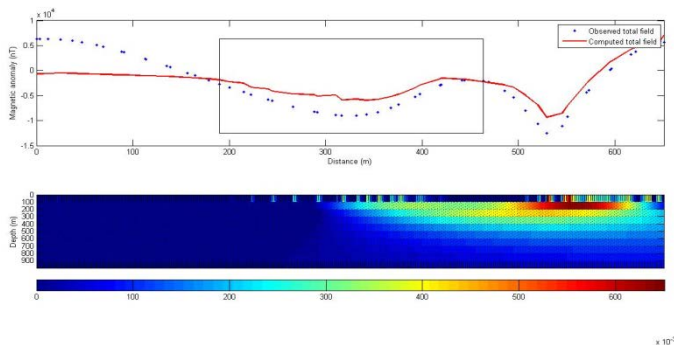
Gambar 4.8 grafik hasil sayatan A-B

Grafik di atas merupakan grafik yang menghubungkan antara nilai intensitas medan magnet dan jarak area sayatan. Bentuk grafik tersebut menggambarkan adanya anomali positif dan negatif sehingga bagian sayatan yang digunakan sudah mewakili kondisi area yang lain.

Dari hasil sayatan tersebut digunakan sebagai pemodelan ke depan (*forward modeling*). Tujuannya untuk mendapatkan pemodelan awal dari data observasi. Tahap selanjutnya yaitu melakukan perhitungan yang berfungsi untuk mendapat informasi material bawah permukaan. Hasil

perhitungan dikorelasikan dengan hasil pengukuran. Sehingga perlu dilakukan *trial and error* dalam analisa ini.

Analisa *trial and error* ini dilakukan berdasarkan grafik yang telah dibuat pada *forward modeling*. Hasil dari korelasi yang dilakukan ini memberikan gambaran nilai subsibilitas material yang ada dibawah permukaan dan kedalaman material tersebut. Sehingga dari hasil tersebut dapat diinterpretasikan kondisi bawah permukaan dari lokasi tersebut. Berikut hasil dari korelasi antara data observasi dan data perhitungan.



Gambar 4.10 Model penampang vertikal sayatan A-B

Model di atas menggambarkan grafik observasi yang dikorelasikan dengan nilai hasil perhitungan sehingga mendapatkan nilai kedalaman dan nilai subsibilitas material. Dari hasil pemodelan tersebut dapat dilihat bahwa nilai subsibilitas yang tinggi berada mendekati B. Dimana persebaran nilai suseptibilitasnya lebih cenderung menyebar dari permukaan. Kisaran dari nilai subsibilitasnya  $0,6 \times 10^{-3}$  -  $0,1 \times 10^{-3}$ . Dengan demikian material penyusun di daerah tersebut lebih cenderung kepada batuan sedimen. Batuan sedimen memiliki tingkat porositas yang tinggi. Sehingga nilai permeabilitasnya juga akan semakin tinggi. Sedangkan

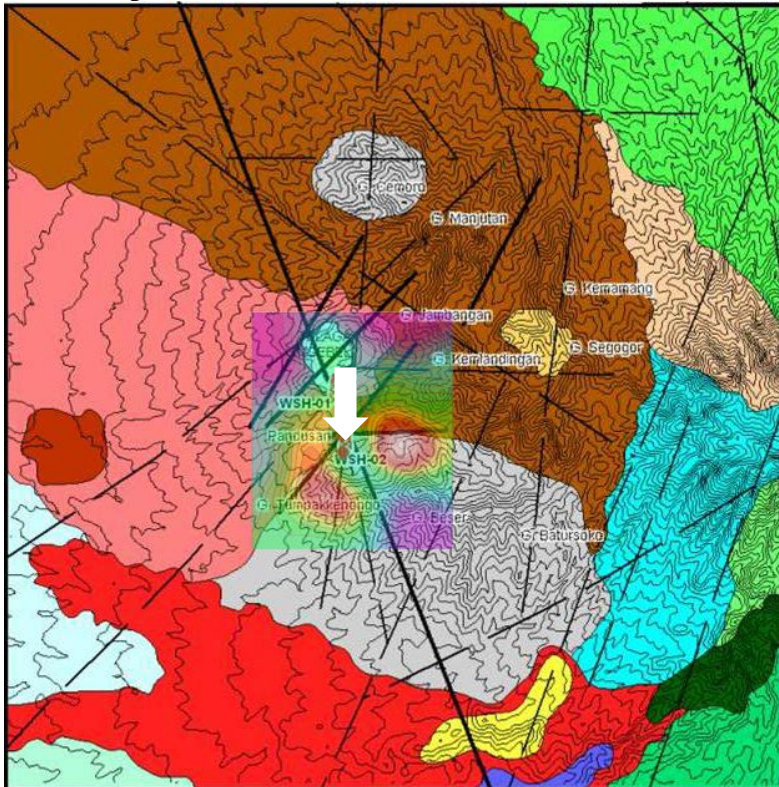
titik A memiliki nilai subsibilitas yang relatif rendah. Melihat dari hasil tersebut ada kemungkinan material di dekat A memiliki tingkat kemagnetan yang rendah. Hal tersebut diakibatkan oleh batuan sedimen yang terisi oleh fluida kemudian mengalami pemanasan. Identifikasi tersebut diambil karena terdapat manifestasi yang berada dipermukaan yang berupa sumber air panas yang kadar suhunya mencapai  $\pm 60^{\circ}\text{C}$ .

Selain itu manifestasi air panas tersebut dapat terjadi jika adanya patahan sehingga dapat dilalui fluida untuk keluar ke permukaan. Analisa ini dapat dibuktikan dengan hasil dari pengolahan data pseudogravity serta data reduksi ke kutub bumi. Dimana dari data tersebut dapat dihubungkan dengan pengaruh temperatur terhadap sifat kemagnetan batuan. Ketika suatu batuan terkena suhu di atas temperatur Curie batuan tersebut akan mengalami perubahan sifat kemagnetan. Dalam analisa ini perubahan sifat kemagnetan batuan terlihat di daerah manifestasi air panas. Daerah manifestasi memiliki nilai kemagnetan yang kecil.

Gambar pseudogravity serta reduksi ke kutub bumi menunjukkan adanya anomali yang membujur ke arah utara yang melewati sayatan A-B. Anomali yang rendah menunjukkan batuan tersebut telah dipengaruhi oleh suhu yang tinggi yang mengakibatkan batuan berubah sifat kemagnetannya. Sehingga manifestasi yang terjadi lokasi penelitian merupakan efek dari patahan.

Dilihat dari peta geologi daerah tersebut memang ada patahan yang melintang dari arah utara ke selatan. Selain itu patahan juga bisa dimungkinkan membujur dari barat daya menuju ke timur laut. Hal ini dapat dilihat dari arah sungai yang mengalir di daerah penelitian. Sedangkan

dilihat dari peta geologi memang ada dua sesar yang berada di daerah penelitian.



Gambar 4.11 Peta geologi lokasi penelitian dan hasil anomali regional

Panah warna putih tersebut menunjukkan manifestasi air panas yang terbesar. Selain itu di sepanjang garis patahan tersebut terdapat persebaran manifestasi air panas. Dari peta tersebut bila dikorelasikan dengan peta kontur hasil penelitian, patahan yang ada di lokasi memiliki nilai subsibilitas yang rendah. Hal ini dikarenakan daerah tersebut memiliki densitas yang rendah.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah melakukan akuisisi, pengolahan dan interpretasi data maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Anomali hasil pengolahan data menunjukkan adanya perbedaan closure positif dan closure negatif. Dengan nilai tertinggi 18000nT dan nilai terendah -18000nT.
2. Dari peta kontur reduksi ke kutub (gambar 4.4) dan gradient horizontal transformasi pseudogravitasi (gambar 4.5) dapat diketahui bahwa anomali magnetik memanjang dari arah selatan ke utara.
3. Hasil dari sayatan pada titik A-B menunjukkan adanya perbedaan material penyusun di bawah permukaan. Kisaran nilai suseptibilitasnya  $0.1 \times 10^{-3}$ - $0.6 \times 10^{-3}$  emu/g yang diidentifikasi sebagai batuan sedimen.
4. Adanya manifestasi air panas pada daerah Ngebel disebabkan karena adanya sesar yang membujur dari selatan ke utara yang sesuai dengan data anomali magnetik.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN 1

Tabell.Data Pengukuran Hari 1

no	Jam	longitude	Latitude	$\Delta H$
1	6:53:00	570127	9135896	-13707,4
2	6:58:00	570162	9135913	-14784,8
3	7:02:00	570169	9135938	-12426,7
4	7:05:00	570157	9135963	-7419,82
5	7:08:00	570155	9136004	-12091,9
6	7:14:00	570183	9136042	-11495,9
7	7:19:00	570217	9136071	-9766,03
8	7:24:00	570241	9136097	-12022,3
9	7:35:00	570229	9136148	-13154,9
10	7:43:00	570222	9136174	-13502,2
11	7:52:00	570225	9136204	-13416,5
12	8:01:00	570261	9136248	-12134,8
13	8:10:00	570292	9136211	-12600,1
14	8:16:00	570305	9136172	-14264,2
15	8:20:00	570359	9136190	-12786,8
16	8:35:00	570470	9136188	-13692,2
17	8:45:00	570557	9136212	-13442,1
18	8:50:00	570619	9136206	-9869,1
19	9:02:00	570682	9136346	-16488,9
20	9:08:00	570696	9136453	-13086,5
21	9:34:00	570562	9136478	-13574,6
22	9:41:00	570413	9136456	-16477,6
23	9:46:00	570337	9136433	-10658,5
24	9:50:00	570285	9136418	-13640,8



25	9:55:00	570217	9136418	-14570,8
26	10:10:00	570039	9136554	-13230,1
27	10:20:00	569947	9136480	-3973,6
28	10:27:00	569942	9136334	-14050
29	10:32:00	569942	9136211	-9442,04
30	10:36:00	569973	9136133	-12322,7
31	10:43:00	570031	9136122	-16001,9
32	10:52:00	570069	9136037	-12929,4
33	11:00:00	570039	9135995	-11955,4
34	11:04:00	570061	9135922	-28182,4
35	11:09:00	570012	9135893	-14893,5
36	11:15:00	569967	9135843	-12141,3
37	14:10:00	570110	9135694	-17635,1
38	14:15:00	570153	9135795	-20929,7
39	14:18:00	570153	9135824	-18345,9
40	14:22:00	570180	9135837	-17565,4
41	14:29:00	570205	9135875	-3073,29
42	14:32:00	570250	9135842	-3416,1
43	14:41:00	570240	9135968	-25321,5
44	14:48:00	570284	9135968	-8406,29
45	14:57:00	570304	9136060	-3427
46	15:06:00	570420	9136075	-15930,6
47	15:11:00	570445	9136030	-6847,1
48	15:18:00	570557	9136082	-16300,7
49	15:24:00	569674	9135198	-12648,9
50	15:36:00	570096	9135502	-7313,42
51	15:47:00	570164	9135517	-12180,5
52	16:03:00	570268	9135530	-13121,2

Tabel 2. Data Pengukuran Hari ke 2

No	Jam	Longitude	Latitude	$\Delta H$
1	7:17:00	570363	9135565	-20629,4
2	7:25:00	570425	9135601	-9731,25
3	7:32:00	570391	9135468	-17811,6
4	7:42:00	570446	9135641	-12672,6
5	7:46:00	570366	9136820	-16574,3
6	7:56:00	569945	9135586	-3766,05
7	8:04:00	569897	9135405	-9025,06
8	8:13:00	569854	9135291	-10423,1
9	9:00:00	569846	9135520	-3551,65
10	9:06:00	569754	9135512	-9550,36
11	9:12:00	569670	9135570	-6198,82
12	9:19:00	569726	9135660	-7488,59
13	9:23:00	569713	9135740	-6612,57
14	9:45:00	569735	9135841	-4388,09
15	9:54:00	569567	9135821	-10254,5
16	10:05:00	569453	9135923	-8192,32
17	10:11:00	569647	9136277	-5998,43
18	10:17:00	569794	9136445	-9088
19	10:21:00	569993	9136406	-8951,33
20	11:39:00	570077	9136199	-422,403
21	11:46:00	570322	9135845	-3267,78
22	11:56:00	570403	9135816	363,335
23	14:31:00	570373	9135761	-463,251
24	14:43:00	570402	9135958	-6452,62
25	14:48:00	570494	9135917	-5628,21
26	14:54:00	570753	9135974	3181,726

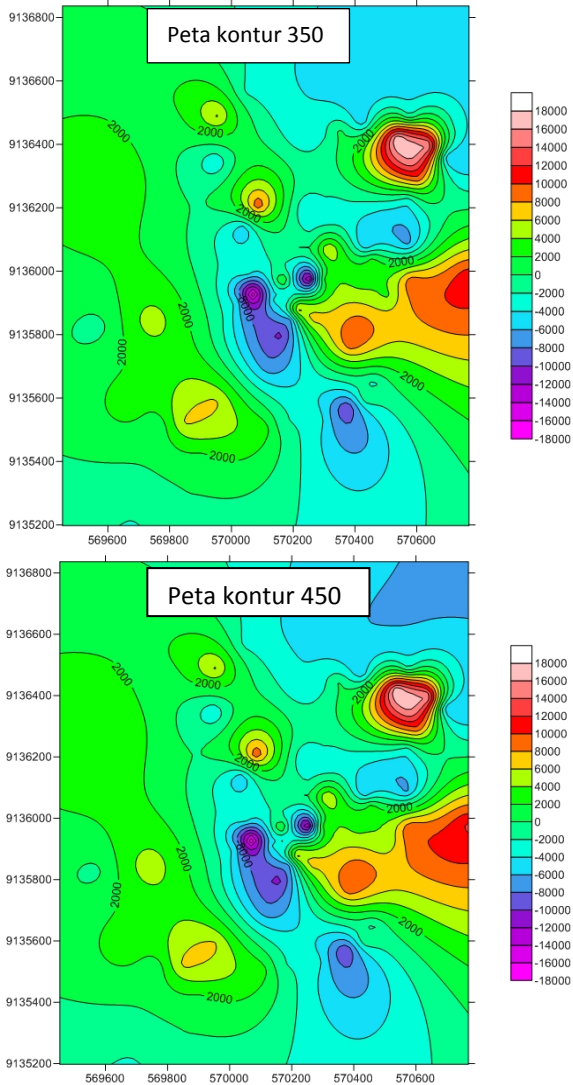
27	15:07:00	570566	9135961	465,1596
28	15:11:00	570609	9136018	-5293,73
29	15:28:00	570591	9136281	-907,097
30	15:43:00	570566	9136331	4742,614
31	15:48:00	570625	9136385	5339,834
32	16:02:00	570523	9136406	7361,552
33	16:07:00	570523	9136406	7361,552
34	16:16:00	570127	9135896	-13707,4
35	16:24:00	570162	9135913	-14784,8

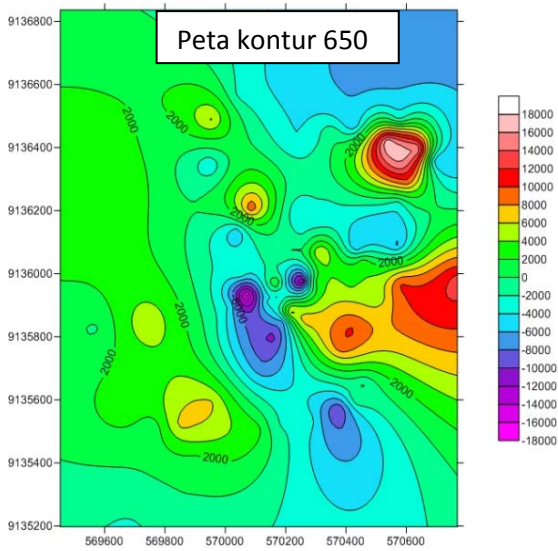
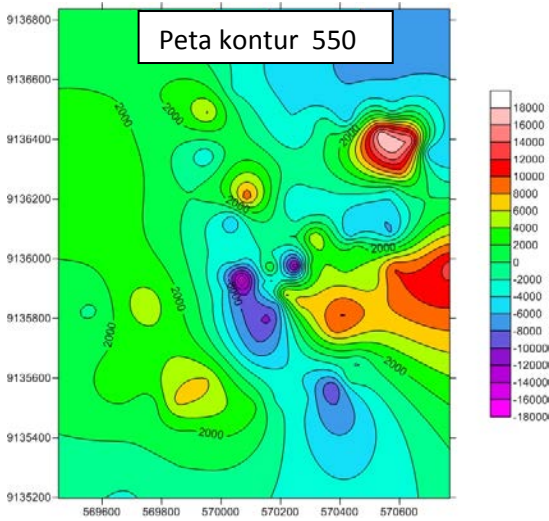
Tabel 3. Data pengukuran Hari Ke 3

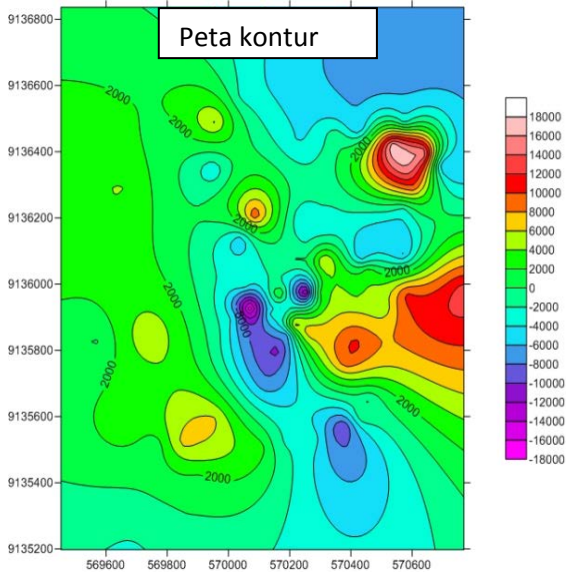
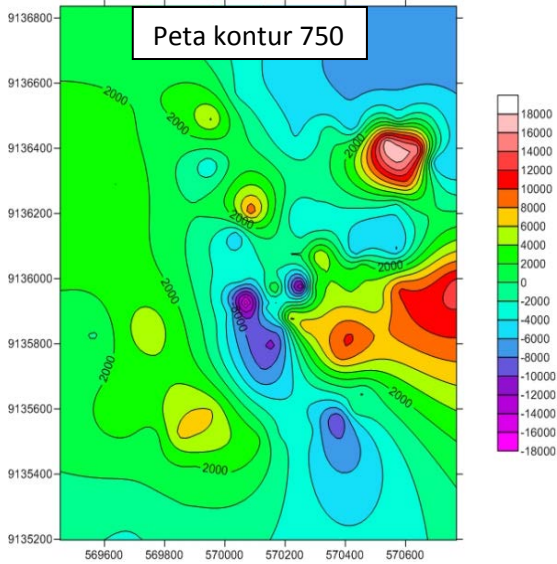
No	Jam	Longitude	Latitude	$\Delta H$
1	8:50:00	570169	9135938	-12426,7
2	8:58:00	570157	9135963	-7419,82
3	9:05:00	570155	9136004	-12091,9
4	9:20:00	570183	9136042	-11495,9
5	9:34:00	570217	9136071	-9766,03
6	9:49:00	570241	9136097	-12022,3
7	9:59:00	570229	9136148	-13154,9
8	10:46:00	570222	9136174	-13502,2

## LAMPIRAN 2

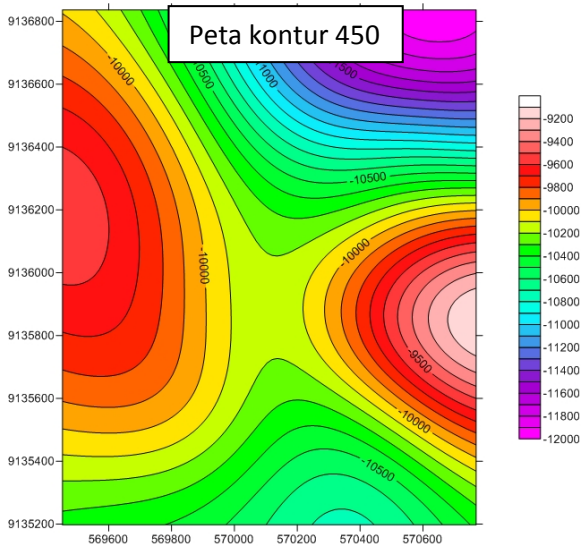
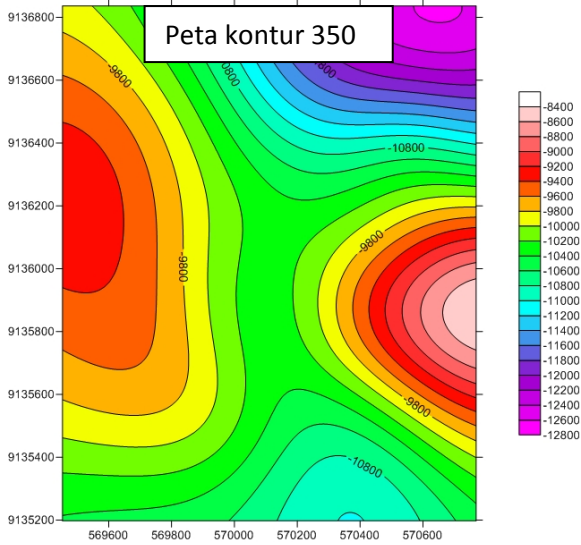
## Peta Kontur Kontinuitas Ke Atas Anomali Lokal

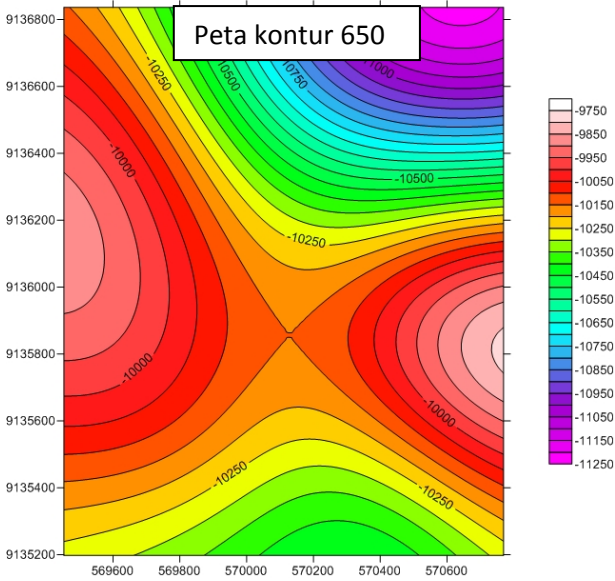
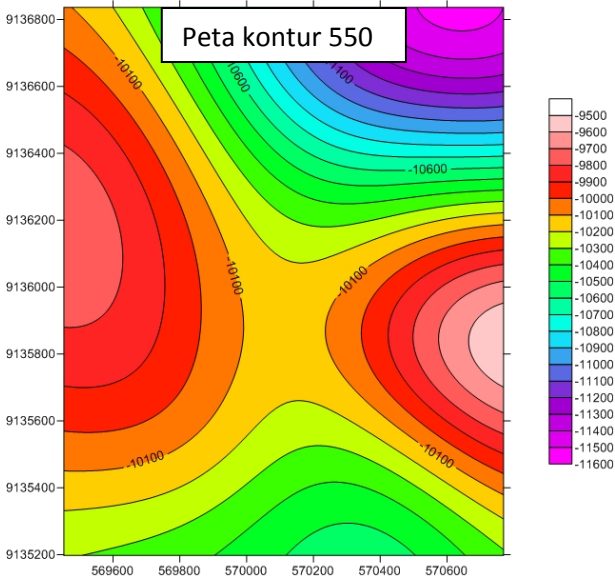




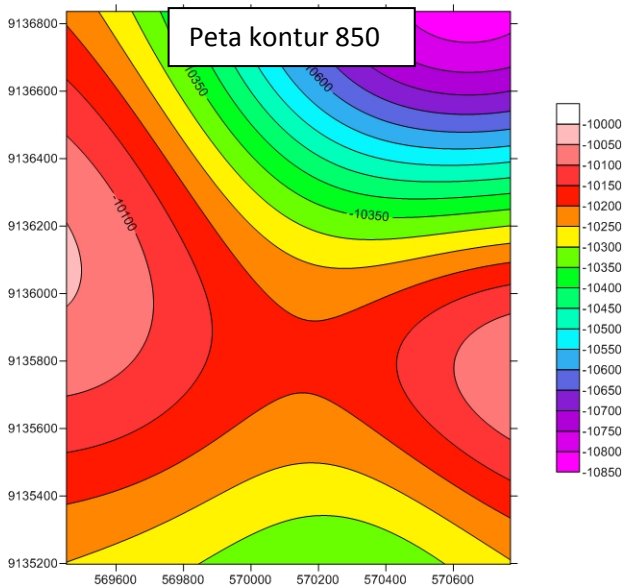
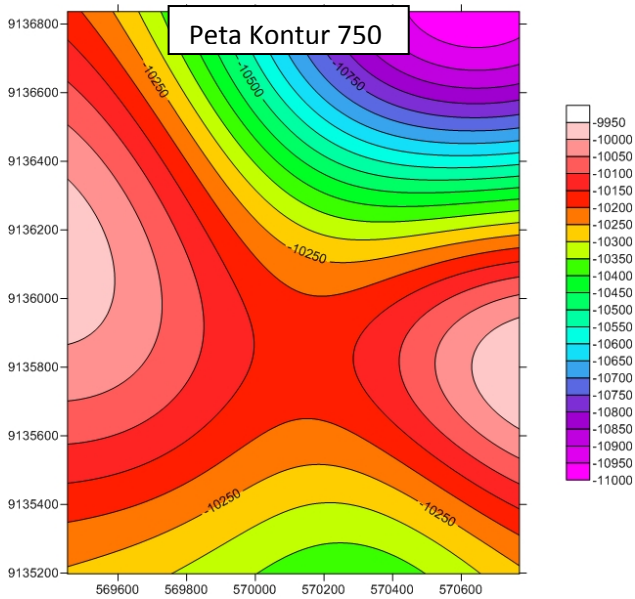


## Peta Kontur Kontinuitas Ke Atas Anomali Regional









Dokumentasi Penelitian



## DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R.J. 1995. Potential theory in gravity and magnetic applications, Cambridge University Press.
- Burger, H. R., Sheehan, A. F., dan Jones, C. H. (1992) *Introduction to Applied Geophysics Exploring the Shallow Subsurface*. W.W. Norton & Company, New York.
- Fatah, Khoirul (2005) *Permodelan Maju Bentuk Prisma Geometri Anomali Geotermal dengan Menggunakan Metode Geomagnet di daerah Pacet, Sidoarjo*. Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya
- Hendrajaya, L., dan Simpen, I.N. (1990) *Simposium Fisika Nasional XIV: Respon Teoritik Elektromagnet VLF Model Sesar dan Penerapannya pada Data Elektromagnet VLF dari Daerah Panasbumi Muralaboh Sumatera Utara*. Medan: Jurusan Fisika-FMIPA USU.
- Hiden dan Bahri, A.S. (2003) *Aplikasi Geomagnet Untuk Identifikasi Pola Sebaran Struktur Pelapisan Batubara Terbakar di Rantaupandan Jambi*. Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya. Fisika-ITS.
- Nurdiyanto, S., dkk, 2004. *Analisis Data Magnetik Untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Airpanas di Lereng Utara Gunung Ungaran*. Prosiding Himpunan Ahli geofisika Indonesia. Fisika-UGM.

- Reynolds, J. M. (1997) *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Sampurno dan Samoedra., 1997. *Peta Geologi Ponorogo, Jawa Timur*. Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Santoso, D. (2002) *Pengantar Teknik Geofisika*. Penerbit: ITB, Bandung.
- Sharma, Prem. V. (1997) *Environmental an Engineering Geophysics*. Cambridge University Press.
- Situmorang, T. (2005) *Penyelidikan Geomagnet Daerah Panas Bumi Ria-ria Sipoholon, Tarutung, Tapanuli Utara, Sumatera Utara*. Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Subdit Panas Bumi.[www.Dim.Esdm.Go.Id](http://www.Dim.Esdm.Go.Id).
- Suwarti, T., dan Suharsono, 1985. *Geologi Lembar Lumajang, Jawa Timur*. Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Telford W.M, Geldart, L.P. Sheriff, R.E. Keys, D. A. (1976) *Aplied Geophysics*. Second edition. Cambridge University Press. Cambridge.
- Untung, M. (2001), *Dasar-dasar Magnet dan Gaya Berat Serta Beberapa Penerapannya*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Utama, W. (2012), *Fracture Modeling Using AzimuthL Resistivity Sounding Method In Geothermal Manifestations*

*Of Gunung Lamongan, East Java 1st ITB  
Geothermal Workshop. 2012*

Zaki, M. (2000) *Medan Elektomagnetik* Bagian kedua *Medan Elektromagnetika dalam Bahan dan Gelombang Elektromagnetik*, Diktat Kuliah, Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya

*<http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/struts/CSVFile>*

*<http://freedomtospeakfreedomtothink.blogspot.com/2008/04/protocol-precession-magnetometer.html>*

*(<http://www.google.co.id/>)*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## PROFIL PENULIS



Khoiri Zamroni lahir di Ponorogo pada 22 Juni 1991. Penulis diterima di Institut Teknologi sepuluh November pada tahun 2010. Penulis menerima beasiswa bidik misi sejak awal masuk ITS. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa ITS Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dengan NRP 1110100022. Selama aktif sebagai mahasiswa penulis juga aktif di beberapa organisasi. Diantaranya adalah

Himpunan Mahasiswa Fisika ITS dan Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas. Selain itu penulis juga tergabung dalam AAPG (*ITS Student Chapter American Association of Petroleum Geologist*). Penulis juga pernah menjadi Asisten laboratorium fisika dasar. Dalam proses pengembangan pengetahuannya penulis melaksanakan kerja praktek di PT Elnusa Geoservice Jakarta sebagai *geophysics processing* serta penelitian di daerah manifestasi air panas Ngebel Ponorogo.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*