

**LAPORAN PENELITIAN**

**PENELITIAN  
PEMBINAAN/KAPASITAS**

**PENENTUAN DAERAH POTENSI GEOTHERMAL DENGAN  
MENGUNAKAN METODE GEOMAGNETIK  
DI PANYABUNGAN SELATAN**



**PENELITI:**

**Ratni Sirait, M.Pd (Ketua)**

**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA  
MASYARAKAT (LP2M) UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)  
SUMATERA UTARA MEDAN**

**2019**

## LEMBAR PENGESAHAN

1. a. Judul Penelitian : Penentuan Daerah Potensi Geothermal Dengan Menggunakan Metode Geomagnetik Di Panyabungan Selatan
- b. Kluster Penelitian : Penelitian Pembinaan/Kapasitas
- c. Bidang Keilmuan : Fisika
- d. Kategori : Individu
2. Peneliti : Ratni Sirait, M.Pd
3. ID Peneliti : 202105890110000
4. Unit Kerja : Prodi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sumatera Utara Medan
5. Waktu Penelitian : Bulan Mei sampai dengan Bulan Oktober 2019
6. Lokasi Penelitian : Panyabungan Selatan
7. Biaya Penelitian : Rp. 15.000.000,- (Lima Belas Juta Rupiah)

Medan, November 2019

Disahkan oleh Ketua  
Lembaga Penelitian dan Pengabdian  
kepada Masyarakat (LP2M) UIN  
Sumatera Utara Medan

Peneliti,  
Ketua

  
Prof. Dr. Pagar, M.Ag.  
NIP. 195812311988031016



Ratni Sirait, M.Pd  
NIB 1100000071

## SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : Ratni Sirait, M.Pd  
Jabatan : Dosen/Asisten Ahli  
Unit Kerja : Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN  
Sumatera Utara  
Alamat : Jln IAIN No 1 Medan Timur

dengan ini menyatakan bahwa:

1. Judul penelitian **“Penentuan Daerah Potensi Geothermal Dengan Menggunakan Metode Geomagnetik Di Panyabungan Selatan”** merupakan karya orisinal saya
2. Jika di kemudian hari ditemukan fakta bahwa judul, hasil atau bagian dari laporan penelitian saya merupakan karya orang lain dan/atau plagiasi, maka saya akan bertanggung jawab untuk mengembalikan 100% dana hibah penelitian yang telah saya terima, dan siap mendapatkan sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Medan, November 2019

Yang Menyatakan,



Ratni Sirait, M.Pd

NIB 1100000071

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan pada daerah panas bumi di Panyabungan Selatan, mengetahui litologi bawah permukaan berdasarkan model penampang anomali di Panyabungan Selatan, mengetahui jenis batuan yang berfungsi sebagai reservoir yang baik dalam manifestasi panas bumi. Jenis penelitian ini merupakan *applied research* yaitu merupakan aplikasi dari ilmu geomagnetik dengan menggunakan metode penelitian observasi dengan melakukan pengukuran di lapangan dengan menggunakan alat PPM kemudian melakukan pengambilan data dari hasil pengukuran. Adapun teknik yang digunakan dalam menganalisis data pada penelitian ini adalah pengambilan data (akuisisi data, pengolahan data, koreksi harian, koreksi IGRF, interpretasi kualitatif yang terdiri dari reduksi ke bidang datar, kontinuasi ke atas, reduksi ke kutub dan interpretasi kuantitatif. Sedangkan data yang dianalisis pada penelitian ini adalah anomali magnetik, suseptibilitas, struktur geologi, litologi dalam menentukan jenis batuan dan jenis batuan yang menjadi pusat sumber air panas. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa Struktur geologi bawah permukaan berupa rekahan naik (sesar naik) untuk model penampang A-A sedangkan pada model penampang anomali B-B berupa rekahan turun (sesar turun). Litologi bawah permukaan pada model penampang anomali A-A dengan nilai suseptibilitas -0,9910 cgs merupakan batuan gamping dolomitan, suseptibilitas 0,6500 merupakan batu andesit, suseptibilitas 0,3360 cgs merupakan batuan sabak, suseptibilitas 0,1030 cgs merupakan batuan shales. Untuk model penampang anomali B-B dengan nilai suseptibilitas 0,3210 cgs merupakan batuan sabak, suseptibilitas 0,8250 cgs merupakan batuan gamping dolomitan, suseptibilitas 0,5100 cgs merupakan batu andesit, suseptibilitas 0,0530 cgs merupakan batuan shales dan suseptibilitas 0,1340 cgs merupakan batuan pasir, suseptibilitas 0,2540 cgs merupakan batu varian. Batuan yang berfungsi sebagai reservoir yang baik dalam manifestasi panas bumi adalah batu gamping dolomitan karena memiliki nilai suseptibilitas yang rendah.

**Kata Kunci: Geomagnetik, Struktur Geologi, Litologi, Suseptibilitas**

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

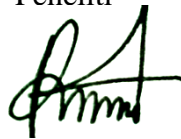
Alhamdulillah segala puji hanya milik Allah Tuhan sekalian alam. Atas berkat rahmat dan karuniaNya, saya dapat menyempurnakan penyelesaian buku ini dengan judul **“Penentuan Daerah Potensi Geothermal Dengan Menggunakan Metode Geomagnetik di Panyabungan Selatan”**. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Muhammad SAW beserta kerabat, sahabat, para pengikutnya sampai akhir zaman, adalah sosok yang telah membawa manusia dan seisi alam dari kegelapan ke cahaya sehingga kita menjadi manusia beriman, berilmu, dan tetap beramal shaleh agar menjadi manusia yang berakhlak mulia.

Penulisan buku ini bertujuan untuk melengkapi persyaratan laporan penelitian. Buku ini diharapkan dapat menambah wawasan ilmu pengetahuan, khususnya fisika dalam instalasi nilai-nilai Islam yang terpadu dalam proses pembelajaran di lingkungan UIN Sumatera Utara Medan.

Dalam penulisan buku ini, saya sangat menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang perlu diabaikan di sana sini, sumbangan pemikiran yang membangun sangat penulis harapkan dari rekan-rekan sejawat terutama dari dosen-dosen senior. Semoga buku ini dapat memberikan sumbangsih pemikiran untuk perkembangan pengetahuan bagi pihak yang berkepentingan.

Medan, November 2019

Peneliti



Ratni Sirait, M.Pd

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<i>i</i>
<b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b> .....	<i>ii</i>
<b>ABSTRAK</b> .....	<i>iii</i>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<i>iv</i>
<b>DAFTAR ISI</b> ... ..	<i>v</i>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<i>vii</i>
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	<i>viii</i>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<i>x</i>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Signifikansi.....	3
1.5 . Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II KAJIAN TEORI DAN HIPOTESIS</b>	
2.1. Panas Bumi (Geothermal) .....	6
2.2. Sistem Panas Bumi .....	7
2.3. Manifestasi Panas Bumi .....	11
2.4. Struktur Geologi .....	13
2.5. Area Magnet Bumi .....	16
2.6. Metode Geomagnetik .....	20
2.6.1. Gaya Magnetik .....	20
2.6.2. Kuat Medan Magnet .....	21
2.6.3. Induksi Magnet .....	22
2.6.4. Momen Magnet .....	22
2.6.5. Intensitas Kemagnetan.....	23
2.7. Sifat Magnetik Batuan.....	23
2.7.1. Diamagnetik .....	28
2.7.2. Paramagnetik .....	29
2.7.3. Ferromagnetik.....	29
2.8. Penelitian Terdahulu.....	30

<b>BAB III</b>	<b>METODE</b>	
	3.1. Lokasi Penelitian .....	32
	3.2. Alat Penelitian .....	32
	3.3. Jenis Penelitian .....	33
	3.4. Variabel Penelitian .....	33
	3.5. Teknik Analisa Data .....	33
	3.5.1. Akuisisi Data .....	34
	3.5.2. Pengolahan Data .....	34
	3.5.3. Koreksi Harian.....	34
	3.5.4. Koreksi IGRF .....	35
	3.5.5. Reduksi Bidang Datar.....	36
	3.5.6. Kontinuasi Ke Atas.....	36
	3.5.7. Reduksi Ke Kutub .....	36
	3.5.8. Interpretasi Kuantitatif.....	37
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
	4.1. Deskripsi Hasil Penelitian .....	38
	4.2. Hasil Penelitian Geomagnet .....	39
	4.2.1. Akuisisi Data .....	39
	4.2.2. Pengolahan Data .....	39
	4.2.3. Koreksi Harian.....	41
	4.2.4. Koreksi IGRF .....	42
	4.2.5. Interpretasi Kualitatif.....	44
	4.2.6. Interpretasi Kuantitatif.....	50
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b>	
	5.1. Kesimpulan.....	56
	5.2. Saran .....	57
	<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>58</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai Suseptibilitas Beberapa Batuan .....	25
Tabel 2.2. Nilai Suseptibilitas Beberapa Mineral.....	27
Tabel 2.3. Nilai Suseptibilitas Mineral Diamagnetisme.....	28
Tabel 2.4. Nilai Suseptibilitas Mineral Paramagnetik.....	29
Tabel 4.1. Nilai Tingkat Kemagnetan Pada Kontur Intensitas .....	40
Tabel 4.2. Nilai Tingkat Kemagnetan Pada Koreksi Harian .....	42
Tabel 4.3. Nilai Tingkat Kemagnetan Pada Magnet Total .....	44
Tabel 4.4. Nilai Tingkat Kemagnetan Pada Peta Total .....	47
Tabel 4.5. Hasil Analisa Suseptibilitas Sayatan A-A .....	53
Tabel 4.6. Hasil Analisa Suseptibilitas Sayatan B-B .....	54



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Model Area Subduksi .....	8
Gambar 2.2. Proses Magnetisasi .....	9
Gambar 2.3. Perpindaham Panas Di Bawah Permukaan.....	10
Gambar 2.4. Model Konseptual Sistem Panas Bumi.....	10
Gambar 2.5. Medan Magnet Bumi .....	17
Gambar 2.6. Ilustrasi Momen Magnetik.....	23
Gambar 4.1. Titik Pengambilan Metode Geomagnetik.....	39
Gambar 4.2. Kontur Intensitas Medan Magnet Total.....	40
Gambar 4.3. Kontur Hasil Koreksi Harian.....	42
Gambar 4.4. Kontur Anomali Medan Magnet AMT.....	43
Gambar 4.5. Kontur Anomali Regional Kontinuasi Ke Atas.....	45
Gambar 4.6. Kontur Anomali Residual Kontinuasi Ke Atas .....	46
Gambar 4.7. Kontur Anomali Residual Hasil Ke Kutub.....	48
Gambar 4.8. Sayatan Kontur Anomali Residual .....	51
Gambar 4.9. Model Penampang Anomali Lokal Lintasan A-A.....	52
Gambar 4.10. Model Penampang Anomali Lokal Lintasan B-B .....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian Di Lapangan.....	61
Lampiran 2. Data Pengamatan Terhadap Waktu.....	63
Lampiran 3. Hasil Pengolahan Data .....	65
Lampiran 4. Data Magnet Dengan Koreksi Harian.....	67
Lampiran 5. Interpretasi Data Inklinasi Dan Deklinasi.....	69
Lampiran 6. Pembuatan Penampang Anomali A-A .....	71
Lampiran 7. Pembuatan Penampang Anomali B-B .....	75
Lampiran 8. Peta Geologi Daerah Penelitian .....	78
Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian .....	79

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Panas bumi (*geothermal*) berasal dari air panas yang terdapat dan terbentuk di dalam kerak bumi. Secara genetik, panas bumi yang terkandung di dalam air panas tidak dapat dipisahkan dari suatu sistem panas bumi dan diperlukan proses penambangan agar panas bumi tersebut dapat dimanfaatkan. (Pasal 1 UU No. 27 Tahun 2003 Tentang panas bumi).<sup>1</sup>

Sistem panas bumi di Indonesia merupakan sistem *hydrothermal* dengan suhu tinggi  $> 225^{\circ}$  C, sedangkan pada suhu sedang hanya beberapa saja yaitu dengan suhu  $150 - 225^{\circ}$  C. Sistem *hydrothermal* dibawah permukaan ditunjukkan karena adanya manifestasi panas bumi di permukaan, seperti mata air panas, kolam air panas yang sering dimanfaatkan masyarakat untuk mandi, berendam, mencuci, masak dan lain-lain. Akibat adanya perambatan panas dari bawah permukaan, maka terjadinya manifestasi panas bumi.<sup>2</sup>

Terjadinya mata air energi panas bumi di Indonesia yaitu karena terjadinya tabrakan antara ketiga lempeng tektonik (lempeng *pacific*, lempeng India-Australia dan lempeng Eurasia) dimana mempunyai peranan penting untuk terciptanya sumber energi panas bumi di Indonesia.

Tabrakan yang terjadi antar lempeng India-Australia yang berada dibagian Selatan dengan lempeng Eurasia yang berada dibagian Utara akan menghasilkan area subdiksi di pulau Jawa-Nusatenggara pada kedalaman 160-210 km dan yang berada di bawah pulau Sumatera pada kedalaman 100

---

<sup>1</sup> Broto, S.S Putranto, T.T., 2011, *Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panas Bumi*, Teknik, Vol.32 No.1 ISSN: 0852-1697

<sup>2</sup> Sekilas Tentang Bumi, <http://geothermal.itb.ac.id> diakses pada tanggal 29 September Jam 14.32 Wib

km (Rocks et.al, 1982). ). Hal tersebut lah yang menyebabkan proses magmatisasi daerah Sumatera lebih dangkal daripada pulau Jawa. Oleh sebab itu reservoir panas bumi di daerah Sumatera terdapat pada batuan Sedimen dan berada pada kedalaman yang lebih dangkal.<sup>3</sup>

Sumatera Utara adalah salah satu prrovinsi yang memiliki potensi energi panas bumi yaitu 1.857,00 MW yang berada pada 6 kabupaten yaitu: Karo, Simalungun, Tapanuli Utara, Tapanuli Selatan, Padang Lawas dan Mandailing Natal.<sup>4</sup>

Panyabungan selatan adalah salah satu daerah yang mengandung banyak sumber mata air panas yang berasal dari gunung sorik marapi yang mengandung belerang. Sehingga penulis tertarik melakukan penelitian untuk mengetahui bahwa sumber mata air panas di panyabungan selatan merupakan salah satu petunjuk daerah yang berpotensi mengandung panas bumi dimana di permukaan mata air panas terbentuk penguapan akibat adanya pertukaran panas pada permukaan air ke atmosfer. Berdasarkan pola penyebaran anomali dengan menggunakan metode geomagnetik struktur geologi bawah permukaan. Akibat adanya perbedaan kontras suseptibilitas atau permeabilitas magnetik, maka perlu dilakukan pengukuran anomali geomagnetik dengan menggunakan metode geomagnetik.

Berdasarkan penjelasan latar belakang masalah di atas, bahwa peneliti hendak melaksanakan penelitian yang berjudul “Penentuan Daerah Potensi Geothermal Dengan Menggunakan Metode Geomagnetik di Panyabungan Selatan”

---

<sup>3</sup> Sekilas Tentang Bumi, <http://geothermal.itb.ac.id> diakses pada tanggal 29 September Jam 14.32 Wib

<sup>4</sup> Gunawan, H, 2013, *Potensi Panas Bumi Di Samosir Siap Dielang*, *Tribunnews*, <http://tribunnews.com>

## **1.2. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana struktur geologi bawah permukaan pada daerah yang berpotensi panas bumi di Panyabungan Selatan?
2. Bagaimana litologi bawah permukaan berdasarkan model penampang anomali di Panyabungan Selatan?
3. Bagaimana jenis batuan yang berfungsi sebagai reservoir yang baik dalam manifestasi panas bumi?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

1. Agar mengenal struktur geologi bawah permukaan di daerah yang berpotensi panas bumi di Panyabungan Selatan.
2. Agar mengetahui litologi bawah permukaan berdasarkan model penampang anomali di Panyabungan Selatan.
3. Agar mengetahui jenis batuan yang berfungsi sebagai reservoir yang baik dalam manifestasi panas bumi.

## **1.4. Signifikansi**

Signifikansi yang diharapkan pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menyampaikan informasi mengenai litologi bawah permukaan agar bisa memberikan gambaran tentang sistem hidrotermal dengan menggunakan metode geomagnetik.
2. Dapat memahami proses pengolahan data serta interpretasi data geomagnetik.
3. Sebagai kontribusi bagi perluasan investigasi pada bidang eksplorasi sumber daya panas.

## **1.5. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan ini terdiri dari 5 Bab yaitu:

**BAB I** : Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, signifikansi penelitian serta sistematika penelitian.

**BAB II** : Kajian Teori Dan Hipotesis

Bab ini berisi tentang teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan yang ada pada rumusan masalah dan tujuan yaitu mengenai penentuan daerah potensi geothermal dengan menggunakan metode geomagnetik yang didalamnya berupa panas bumi (geothermal), sitem panas bumi, manifestasi panas bumi, struktur geologi, medan magnet bumi, metode geomagnetik dan sifat magnetik serta mengenai penelitian terdahulu yang dapat mendukung penelitian ini.

**BAB III** : Metode

Bab ini menjelaskan tentang lokasi penelitian, alat yang digunakan pada saat penelitian, jenis penelitian, variabel apa saja yang digunakan, serta teknik-teknik untuk menganalisa data penelitian agar tujuan dari penelitian terjawab.

**BAB IV : Hasil Dan Pembahasan**

Bab ini berisi tentang deskripsi hasil penelitian, hasil penelitian geomagnetik yang di olah dengan menggunakan *software surfer, magpick dan Mag2dc* dan diskusi data atau temuan penelitian.

**BAB V : Penutup**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang berhubungan dengan perbaikan penelitian.

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI DAN HIPOTESIS**

#### **2.1. Panas Bumi (Geothermal)**

Geothermal adalah panas yang berasal dari dalam bumi. Sedangkan panas bumi didefinisikan sebagai energi yang ditimbulkan oleh panas tersebut. Panas bumi merupakan energi yang dapat diperbarui serta bebas dari polusi. Sumber daya energi panas bumi terdapat pada batuan panas dan air yang terdapat pada permukaan bumi sampai beberapa kilometer hingga sampai dibawah permukaan bahkan sampai ke batuan yang mencair atau magma. Geothermal berasal dari peluruhan radioaktif di pusat bumi sehingga membuat bumi panas dari dalam dan panas matahari yang mengakibatkan panasnya permukaan bumi.

Sejak terbentuknya bumi, kandungan panas bumi sudah terdapat di dalam bumi dan sudah membentuk struktur panas bumi. Sistem hidrotermal adalah merupakan salah satu struktur panas bumi yaitu terdiri dari sistem tata air, proses pemanasan dimana tempat air panas berkumpul sehingga syarat dikatakan panas bumi adalah air tersedia, terdapat batu pemanas, batu sarang dan batu penutup.<sup>5</sup>

Panas mengalir secara konduksi menuju batuan sekitar inti bumi. Panas tersebut menyebabkan batuan-batuan menjadi meleleh hingga membentuk magma. Magma tersebut akan mengalirkan panas secara konveksi dan bergerak naik diakibatkan karena massa jenis batuan padatan lebih besar dibandingkan dengan batuan cair yang dihasilkan dari magma.

---

<sup>5</sup> Sarkowi, Muh, 2010, *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Gunung Merbabu-Merapi Berdasarkan Pemodelan 3d Anomali Bouger*, Berkala Fisika I Vol 13 No.2 ISSN: 1410-9662



Magma memanaskan kerak bumi dan air hingga mencapai 300<sup>0</sup>C. Air panas menyebabkan tekanannya semakin tinggi sehingga air keluar dari kerak bumi.

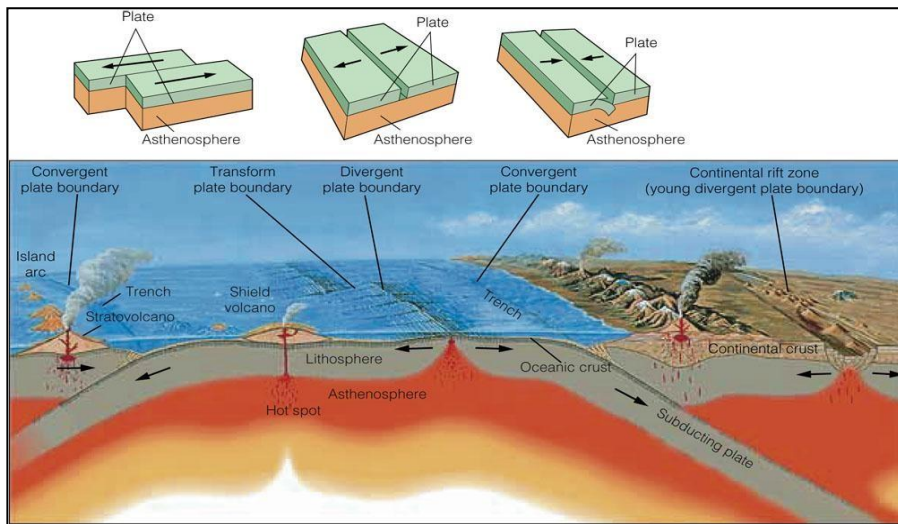
Menurut Andika (2012)<sup>6</sup>, geothermal merupakan panas yang dihantarkan dari sumber panas ke dalam mantel atas dan kerak bumi. Sehingga panas meluas dari dalam bumi menuju permukaan bumi. Proses terjadinya hantaran panas melibatkan fluida termal berupa gas, uap air panas, kandungan mineral dalam batuan yang meleleh dan lain-lain.

## **2.2. Sistem Panas Bumi**

Terjadinya tumbukan antar lempeng bumi (zona subduksi), dimana lempeng samudera menunjam dibawah lempeng benua mengakibatkan pergerakan lempeng benua dan lempeng samudera. Akibat dari gesekan antar lempeng, maka akan terjadi lelehan dan peleburan batuan berpindah ke permukaan lewat rekahan dan akhirnya membentuk busur gunung api pada tepi benua. Rekahan atau patahan terbentuk akibat lempeng benua menjauh satu sama lain secara horizontal.

---

<sup>6</sup> Abdul Basid, dkk, 2014, *Pendugaan Reservoir Sistem Panas Bumi Dengan Menggunakan Survey Geolistrik, Resistivitas Dan Self Potensial*, Jurnal Neutrino, Vol 7, No 1



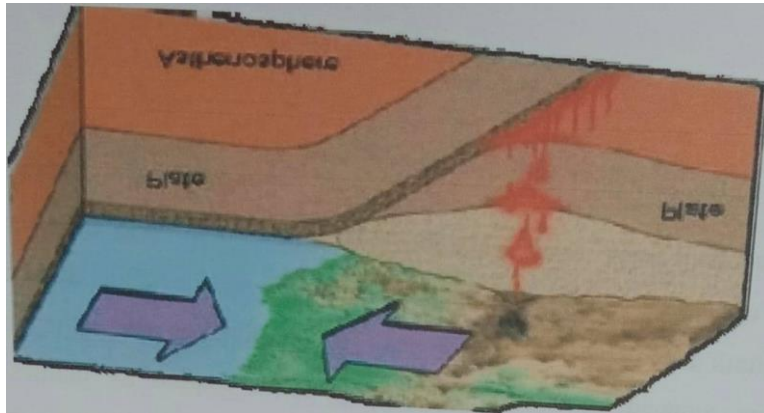
Gambar 2.1. Model area subduksi <sup>7</sup>

Potensi geothermal di Indonesia terjadi akibat adanya aktivitas tektonik pada Gunung Api, sehingga terdapat sesar yang menyebabkan munculnya air hujan akan menuju lapisan yang paling dalam sehingga dapat bertemu dengan batuan panas. Air yang terbentuk di batuan yang mengandung panas lama kelamaan air tersebut akan semakin panas dan berubah menjadi uap panas dan keluar menuju permukaan bumi.

Sumber panas bumi berasal dari distribusi suhu dan energi panas yang berada dibawah permukaan bumi yang berasal dari instruksi magma yang mampu menerobos hingga ke permukaan. Proses terbentuknya magma karena diakibatkan oleh adanya tumbukan antar lempeng yang bergerak secara perlahan dan menerus, karena diakibatkan oleh panas di dalam atmosfer dan panas akibat gesekan, ujung dari lempengan tersebut hancur meleleh dan mempunyai suhu yang tinggi.

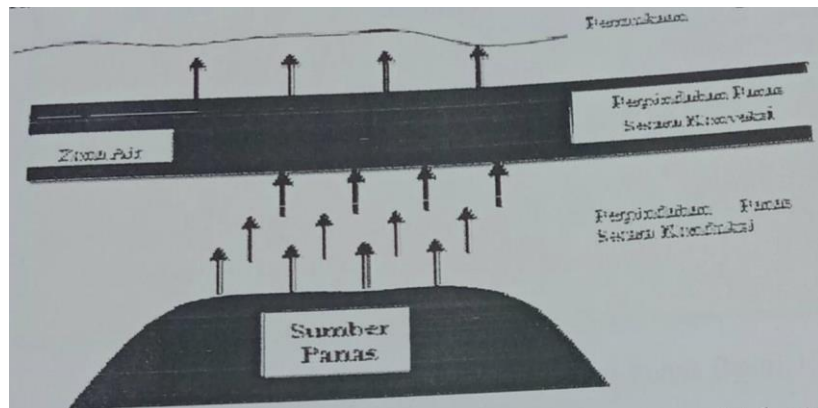
<sup>7</sup> <http://2.bp.blogspot.com> plat boundary

Adanya distribusi suhu dan energi panas merupakan sumber panas bumi berawal dari instruksi magma yang dapat menembus sampai ke permukaan. Dimana magma terlahir karena adanya tabrakan antar lempeng yang bergerak perlahan-lahan yang diakibatkan oleh panas di dalam atmosfer dan efek adanya gesekan.



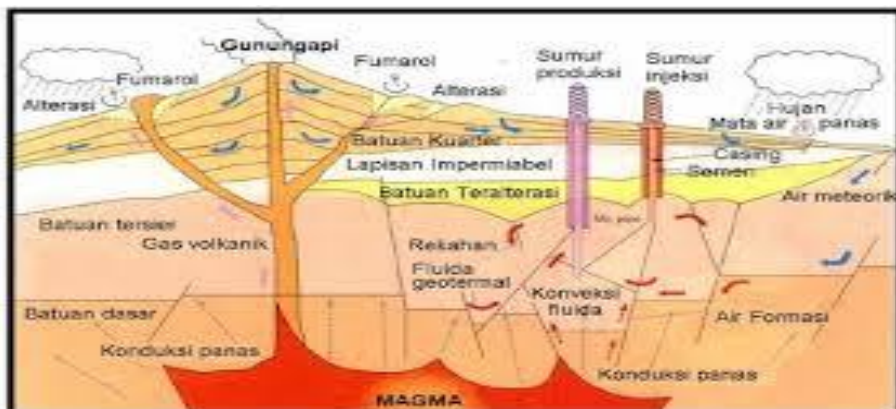
Gambar 2.2. Proses magnetisasi akibat adanya tabrakan antar lempeng

Sistem panas bumi terjadi secara konduksi (terjadi melalui batuan) dan konveksi (terjadi karena adanya kontak air dengan sumber panas). Secara konseptual, bentuk panas bumi berbentuk seperti rekahan dan patahan yang terdapat dipermukaan sehingga membuat air dapat masuk ke dalam pori-pori batuan disebabkan adanya jarak agar air dapat mengalir. Pada saat air tiba ke sumber air panas hingga suhu air mau naik sehingga setengah air akan menguap dan sebagian lagi tetap menjadi air dengan suhu yang tinggi. Melalui proses konveksi, air panas akan mentransfer panas ke batuan, apabila suhunya naik maka akan mengakibatkan bertambahnya volume dan tekanan.



Gambar 2.3. Perpindahan panas dibawah permukaan <sup>8</sup>

Fluida dapat bergerak naik melalui celah apabila tekanan fluida lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan yang dipermukaan sehingga fluida yang panas mampu menekan batuan yang ada disekitarnya untuk mencari celah agar dapat melepaskan tekanan. Fluida itu akan keluar lewat manifestasi tersebut kepermukaan. Munculnya manifestasi tersebut akan menghasilkan panas bumi diposisi bawah permukaan. Contohnya mata air panas, *geyser*, kubangan lumpur panas dan lain-lain.



Gambar 2.4. Model konseptual sistem panas bum

<sup>8</sup> Suhartono, N. 2012. *Pola Sistem Panas dan Jenis Geothermal dalam Estimasi Cadangan Daerah Kamojang*. Jurnal Ilmiah MTG, 5(2):1-14.

Secara garis besar, dapat disimpulkan bahwa panas bumi terjadi karena adanya sumber panas, batuan reservoir, lapisan penutup, keberadaan struktur geologi serta daerah resapan air. Sistem panas bumi dikategorikan menjadi 3 bagian, yaitu:

1. Sistem hidrotermal yaitu terjadi karena adanya transfer panas dari sumber panas sampai ke permukaan secara konveksi. Yang termasuk sistem hidrotermal adalah air panas, reservoir, manifestasi dan daerah resapan
2. Sistem vulkanik yaitu proses dimana terjadi transfer panas berasal dari dapur magma ke permukaan melibatkan konveksi fluida magma.
3. Sistem vulkanik-hidrotermal adalah terjadi karena adanya kombinasi antara sistem hidrotermal dengan sistem vulkanik yang diwakili dengan naiknya air magmatik yang bercampur dengan air meteorik.

Berdasarkan suhu reservoir, suhu suakarena tu sistem panas bumi dikelompokkan menjadi 3 yaitu:

1. Tinggi (suhu reservoirnya < dari 225° C)
2. Sedang (suhu reservoirnya dari 125° C hingga 225° C)
3. Rendah (suhu reservoirnya < dari 125° C)

### **2.3. Manifestasi Panas Bumi**

Manifestasi panas bumi (mata air panas) terbentuk karena adanya rekahan-rekahan panas bumi yang mengalir kepermukaan. Suhu 500° C disebut warm springs. Suhu > dari 500° C disebut hot springs. Hot springs umumnya agak asam, apabila dalam keadaan netral biasanya berasosiasi dengan sistem air panas jenuh dengan silika dan akan menghasilkan endapan sinter.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Broto, S.S Putranto, T.T., 2011, *Aplikasi Metode Geomagnet Dalam*

Dibawah ini merupakan manifestasi panas bumi yaitu:

1. Tanah Panas (*Warm Ground*) terjadi akibat berpindahnya panas melalui konduksi yaitu batuan bawah permukaan hingga batuan permukaan. yang ditandai dengan adanya tanah yang mempunyai suhu yang lebih tinggi daripada suhu tanah yang ada disekitarnya.
2. Tanah Beruap (*Streaming Ground*) terjadi karena lapisan tipis yang dekat dengan permukaan yang mengandung air panas mempunyai suhu yang sama atau bahkan lebih besar dari titik didihnya yang ditandai dengan adanya uap panas yang keluar dari dalam tanah. Apabila gradient suhunya lebih besar dari suhu  $300^{\circ}\text{C}$ , maka artinya tanah beruap sangat berbahaya bagi setiap makhluk hidup yang mengakibatkan tumbuh tumbuhan tidak dapat hidup.
3. Kolam air panas terjadi karena adanya aliran air panas yang berasal dari bawah permukaan lewat rekahan-rekahan batuan.
4. Fumarol merupakan uap panas yang menyimpan butiran air. Uap yang mengandung gas  $\text{H}_2\text{S}$  disebut solfatar karena mengalami manifestasi permukaan. Fumarol yang mengandung  $\text{SO}_2$  akan menyebarkan uap dengan kecepatan yang besar akan ditemukan di daerah yang terdapat dominasi uap.
5. *Geyser* adalah mata air panas yang menyembur ke udara pada selang waktu yang tidak tentu dengan ketinggian air yang beragam yaitu kurang dari 1 meter sampai ratusan meter. Berdasarkan selang waktunya, lamanya air menyembur ke permukaan sangatlah beraneka ragam yaitu mulai dari beberapa *second* sampai beberapa jam.

6. Kubangan Lumpur Panas (*Mud Pool*) yaitu pada suhu yang kecil dari titik didihnya gas keluar dari celah (Santoso, 2002). Keadaan lumpur yang cair disebabkan karena adanya kondensasi uap panas dan ledakan lumpurnya terjadi akibat adanya semburan dari CO<sub>2</sub>.
7. *Sinter Silika* merupakan endapan silika yang berwarna kuning keperakan. *Sinter silika* banyak ditemui di seputar mata air panas dan air yang tersembur dari lubang *geyser* disebut netral.
8. Batuan Teralterasi merupakan suatu proses yang terjadi akibat adanya reaksi antara batuan dengan fluida panas bumi yang berasal dari reservoir panas bumi yang berada dibawah permukaan, sehingga menyebabkan terjadinya pengendapan dan pertukaran elemen batuan dengan fluida. Air yang bersifat asam akan mengubah batuan asal menjadi *clay* dan mineral-mineral lainnya akan terlepas.

#### **2.4. Struktur Geologi**

Struktur geologi merupakan ilmu yang mempelajari bentuk-bentuk batuan yang menjelaskan proses pembentukan perubahan bentuk batuan maupun ukuran batuan yang diakibatkan karena pada batuan terdapat gaya yang bekerja. Pembentukan batuan dapat berupa lipatan, patahan ataupun sesar.

Adapun tujuan dari mempelajari struktur geologi adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui bagaimana struktur geologi terbentuknya batuan, sejarah yang pernah terjadi pada batuan tersebut serta mengetahui proses terjebaknya sumber daya pada geologi tersebut seperti air, minyak bumi, gas serta mineral.

- b. Untuk memahami bagaimana kondisi setiap batuan seperti mengetahui apakah batuan tersebut masih aktif atau tidak, dapaty diketahui dari jenis struktur batumannya.
- c. Untuk melihat kekuatan batuan mampu terkena getaran gempa bumi atau tidak.
- d. Untuk mengetahui jenis struktur pada batuan tersebut seperti lipatan atau sesar. Sehingga mampu membantu kita untuk mengetahui kestabilan kontruksi suatu bangunan terhadap bencana longsor dan sebagainya.

Terdapat 3 jenis struktur geologi pada batuan yaitu sebagai berikut:

1. Kekar (*Fractures*)

Kekar merupakan struktur retakan/rekahan yang terbentuk pada batuan yang diakibatkan adanya gaya yang bekerja pada batuan tersebut yang belum mengalami pergeseran. Ciri-ciri kekar adalah:

- a. Adanya pemotongan bidang pada lapisan batuan
- b. Mengandung mineral seperti kalsit, kuarsa dsb
- c. Terdapatnya breksiasi

Secara umum, kekar dapat ditemui pada batuan yaitu sebagai berikut:

- a. *Shear Joint* (kekar gerus) yaitu retakan atau rekahan dengan pola yang saling berpotongan menciptakan sudut lancip dengan arah gaya utama dan sifatnya tertutup.
- b. *Tension Joint* adalah retakan atau rekahan dengan pola sederet dengan arah gaya utama yang sifatnya terbuka.
- c. *Extension Joint* yaitu retakan atau rekahan dengan pola tegak lurus dengan arah gaya utama dan sifatnya terbuka.



## 2. Lipatan (*Folds*)

Lipatan adalah pembentukan batuan yang terjadi akibat adanya gaya tegasan sehingga posisi semulanya membentuk lengkungan berupa lipatan sinklin (lipatannya cekung ke arah atas) dan lipatan antiklin (lipatannya cembung menuju ke atas). Sesuai dengan posisi garis sumbu dan bentuknya, lipatan terbagi atas 7 yaitu:

- a. *Parallel folds*
- b. *Harmonic or disharmonic folds*
- c. *Ptigmatic folds*
- d. *The chevron fold*
- e. *Isocline fold*
- f. *Fold the clin bands*

## 3. Patahan atau Sesar (*Faults*)

Patahan adalah struktur rekahan yang mengalami pergeseran yang disertai struktur yang lain seperti lipatan, rekahan dan sebagainya. Dilapangan, indikasi dari suatu patahan dapat diketahui melalui:

- a. Bidang sesar
- b. Breksisasi, gouge, milonit
- c. Deretan mata air
- d. Sumber air panas
- e. Pergeseran kedudukan lapisan
- f. Terjadinya gejala cermin sesar, gores garis, lipatan dan sebagainya

Patahan atau sesar terbagi atas 7 jenis yang tergantung terhadap arah relatif pergeserannya yaitu sebagai berikut:

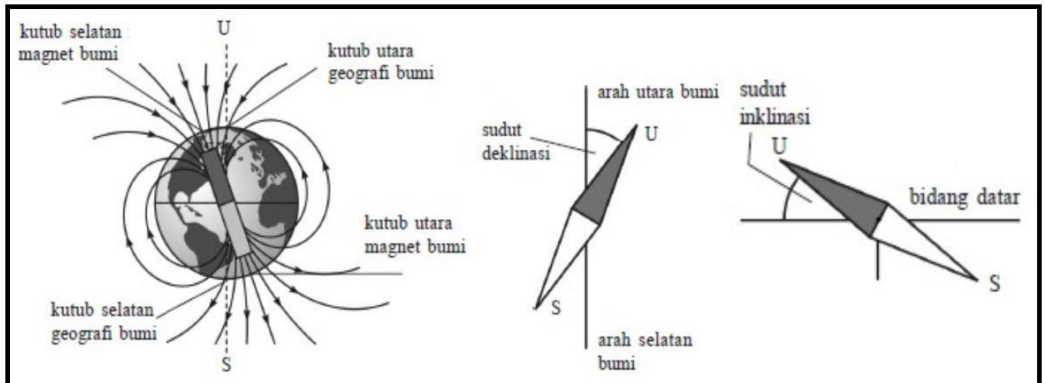
- a. *Dip slip faults*
- b. *Normal faults*
- c. *Horsts faults*
- d. *Half- grabens*
- e. *Reverse faults*
- f. *A thurts faults*
- g. *Strike slip faults*
- h. *Transforms faults*

## **2.5. Area Magnet Bumi**

Area medan magnet jika ditinjau dari permukaan, sebagiannya berasal dari dalam bumi yang mencapai lebih dari  $90^{\circ}$ , dan selebihnya berasal dari lapisan bumi yang merupakan sasaran pada pencarian geofisika dan area dari luar bumi. Karena bagian medan magnet dari dalam bumi yang paling besar maka sering disebut dengan area utama (*main field*) yang dihasilkan dari aktifitas di dalam inti bumi bagian luarnya dengan menggunakan konsep adanya medan utama dari teori dinamo.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Deniyanto, *Pemodelan kedepan (Forward Modeling) 2 Dimensi Data Magnetik Untuk Identifikasi Biji Besi Di Lokasi X, Provinsi Sumatra Bara*, Jurnal Aplikasi Fisika 6, no. 2 (2010).



Gambar 2.5. Medan Magnet Bumi <sup>11</sup>

Pada tahun 1820, Oersted menunjukkan bahwa medan magnet diproduksi oleh arus listrik yang mengalir lewat kawat. Medan magnet berbentuk cincin yang mengelilingi kawat jika arus mengalir lewat sebuah kawat yang lurus. Cara mengukur medan magnet adalah dengan membandingkan medan magnet pada area yang dihasilkan oleh elektromagnet yang berasal dari koil kawat yang terdapat nilai pancaran arusnya, yang disebut juga sebagai bentuk dari magnetometer. Jarum kompas yang diletakkan di area magnet bumi dapat digunakan untuk menentukan kekuatan area magne. <sup>12</sup>

Magnet bumi adalah suatu nilai kemagnetan bumi dengan arus listrik yang mengalir di sekitar inti besi cair dari bumi akan memperoleh nilai medan magnet. Nilai Kerapatan fluks magnet  $B$  adalah  $0.62 \times 10^{-4} \text{ Wb/m}^2$  (0.062 nT) untuk kutub utara magnet sedangkan untuk garis lintang  $40^\circ$  bernilai  $0.5 \times 10^{-4} \text{ Wb/m}^2$  (0.05 nT). poros simpal magnetik berada pada  $11^\circ$  dari poros perputaran bumi.

<sup>11</sup> Sarkowi, Muh, 2010, *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Gunung Merbabu-Merapi Berdasarkan Pemodelan 3d Anomali Bouger*, Berkala Fisika I Vol 13 No.2 ISSN: 1410-9662

<sup>12</sup> Bayong Tjasyono H.K, 2006, *Ilmu Kebumihan Dan Antariksa*, Bandung: PT.Remaja Rosdakarya-UPI

*Equator geomagnet* adalah batas khayal pada permukaan bumi yang berada ditengah-tengah celah dua kutub, sedangkan *equator magnetic* adalah batas penghubung antara titik-titik dengan inklinasi sama dengan nol. Pada permukaan bumi, jarum magnet bebas berputar dan menyesuaikan arah medan magnetnya.

*Magnetic inclination* adalah sudut antara garis gaya magnet dengan permukaan bumi. Pada inklinasi dari  $90^\circ$  pada sumbu magnetic sampai  $0^\circ$  pada magnet khatulistiwa, dimana garis gayanya parallel terhadap permukaan. Jarum pada kompas berputar dari arah mendatar dan menuju ke sumbu magnet sehingga mengidikasikan komponen lokal dalam arah horizontal dari medan magnet bumi. *Magnetic declination* merupakan perbedaan level dan arah utara sebenarnya dan utara magnet dan titik yang ditentukan dipermukaan.

Sumber area magnet bumi terdiri dari 3 bagian yaitu:

### **1. Medan magnet utama (*main field*)**

Medan magnet bumi berasal dari sumber dari dalam bumi dan luar bumi. Medan magnet yang bersumber dari dalam bumi merupakan perputaran dari aliran arus dalam inti bagian luar bumi yang sifatnya cair dan konduktif. Karena medan magnet utama berubah terhadap waktu dengan variasi yang relatif kecil, maka membuat standar nilai yang dikenal dengan nilai *International Geomagnetics Reference Field* (IGRF) untuk menyeragamkan nilai-nilai medan magnet utama yang diperbaharui setiap 5 tahun sekali yang mencakup pada daerah luasan sekitar 1 juta  $\text{km}^2$ .

### **2. Medan magnet luar**

Selain medan magnet utama, medan magnet bumi juga dipengaruhi oleh medan magnet luar. Medan magnet luar berasal dari pengaruh luar bumi yang merupakan hasil ionisasi diatmosfer yang diakibatkan oleh adanya

sinar ultraviolet dari matahari. Akibat pengaruh tersebut sehingga perubahan medan magnet luar jauh lebih cepat terhadap waktu. Dibawah ini merupakan asal medan magnet luar yaitu:

- a. Lapisan atmosfer yang memiliki siklus 11 tahun mengalami perubahan konduktivitas listrik.
- b. Pasang surut matahari mempunyai nilai jangkauan 30 nT mengalami variasi harian dalam waktu 24 jam.
- c. Pasang surut bulan mempunyai nilai jangkauan 2 nT mengalami variasi harian dalam waktu 25 jam.
- d. Nilai jangkauan sampai 1.000 nT mengalami badai geomagnet yang sifatnya acak.<sup>13</sup>

### **3. Anomali magnetik total**

Anomali magnet total adalah penyebab terjadinya perubahan di dalam magnet utama yang nilainya relatif jauh lebih kecil dari medan magnet utama dan konstan terhadap waktu dan tempat yang terjadi di dekat permukaan kerak bumi. Perubahan tersebut terjadi akibat adanya kandungan mineral magnetik di dalam batu-batuan yang dekat dengan permukaan. Terkadang anomali yang dihasilkan cukup besar sehingga besarnya medan magnet menjadi dua kali lebih besar daripada area utama lokal. Penyimpangan tersebut disebabkan karena adanya usikan lokal pada kerak bumi sehingga menjadi tujuan utama untuk penyelidikan geomagnet.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.C., 2004, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Pres, USA

<sup>14</sup> Isna Lailly, Juanita, 2016, *Aplikasi Metode Geomagnetik Untuk Mengetahui Struktur Geologi Bawah Permukaan Ranu Segawan Duwes, Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo Jawa Timur*, Tesis

Anomali medan magnet disebabkan oleh medan magnetik yang disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnetik induksi. Medan magnet remanen merupakan peranan yang penting bagi magnetisasi batuan yaitu ada pada besar dan arah medan magnetiknya yang berkaitan dengan kemagnetannya. Anomali yang didapat dari lapangan merupakan hasil dari gabungan medan magnetik remanen dan induksi. Anomalinnya bertambah apabila arah medan magnet remanen sama dengan arah medan magnet induksinya. Berdasarkan survei magnetiknya, apabila anomaly kurang dari 25 % dari area magnet utama bumi maka dampak medan remanen akan diabaikan sehingga berlaku persamaan medan magnet sebagai berikut:

$$\vec{B}_A = \vec{B}_T + \vec{B}_M + \vec{B}_O$$

Dimana;

$\vec{B}_A$  : medan anomali magnet

$\vec{B}_T$  : medan magnet total

$\vec{B}_M$  : medan magnet utama bumi

$\vec{B}$  : medan magnet luar

## 2.6. Metode Geomagnetik

Metode geomagnetik merupakan suatu metode fisika dalam mengukur nilai variasi medan magnetik dipermukaan bumi karena disebabkan adanya variasi benda termagnetisasi yang berada dibawah permukaan bumi. Kelemahan dari metode geomagnetik yaitu sangat sensitif secara vertikal. Metode geomagnetik digunakan untuk mempelajari bentuk

tubuh instruksi, batuan dasar, akar dari hidrotermal yang kaya akan mineral *ferromagnetik* dan untuk mengetahui struktur geologinya.<sup>15</sup>

### 2.6.1. Gaya Magnetik

Awal pada metode geomagnetik adalah gaya tarik menarik atau tolak menolak yaitu gaya magnet yang ditimbulkan oleh dua buah kutub yang terpisah sejauh  $r$  serta memiliki muatan masing-masing  $m_1$  dan  $m_2$  dengan persamaan:<sup>16</sup>

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

Dimana:

$F$  : gaya yang bekerja diantara dua buah magnet

$m_1 m_2$  : kuat medan magnet

$\mu_0$  : permeabilitas suatu medium ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$ )

Walaupun hampir sama dengan kasus gravitasi, gaya diantara dua kutub magnet dapat bernilai + artinya tolak menolak dan bernilai - artinya menarik.

### 2.6.2. Kekuatan Medan Magnet

Kekuatan medan magnet adalah nilai magnet yang berada pada suatu ruangan karena adanya kutub utara dengan jarak  $r$  dan titik  $m_1$ . Secara matematis, kekuatan medan magnet dapat dituliskan sebagai berikut:

---

<sup>15</sup> Yopanz, 2007, *Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panas Bumi*, Teknik Vol.32 No.1 ISSN:0852-1697

<sup>16</sup> Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P., 1990, *Applied Geophysics* 2<sup>nd</sup> ed, Cambridge University Pres, Cambridge

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{m_2} = \frac{m_1}{\mu_o r^2} \vec{r}$$

### 2.6.3. Induksi Magnet

Terjadinya induksi magnetisasi pada batuan yang memiliki nilai suseptibilitas baik disebabkan karena medan magnet yang berasal dari bumi, sehingga agar dapat menentukan induksi magnet yang di alam yaitu dengan menjumlahkan medan luar dengan medan. Secara matematis dapat dituliskan:

$$B = H + \vec{H}$$

### 2.6.4. Momen Magnet

Apabila sebuah batang magnet diletakkan di medan magnet H yang dapat dilihat pada gambar 2.6, maka batang magnet tersebut akan mengalami sepasang gaya yang saling bekerja secara paralel satu sama lain tetapi berlawanan arah. Besarnya pasangannya dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini:

$$C = 2(ml)H \sin \theta$$

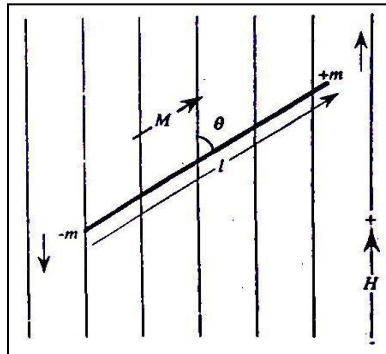
Dimana  $\theta$  adalah ketepatan pada medan magnet. Gerakannya dihasilkan oleh pasangan yang bergantung pada besaran H sebagai nilai dari  $\theta$ . Apabila  $\theta = 0$  maka tidak ada gerakan yang dihasilkan. Selain itu, nilai  $ml$  juga berpengaruh pada besaran pasangan yang disebut dengan momen magnetik. Secara matematis dilambangkan oleh M, sehingga:<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Burger, H.R. 1992, *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, 392-393



$$M = ml$$



Gambar 2.6. Ilustrasi gambar pada momen magnetik dalam menentukan gaya terhadap batang magnet pada sebuah medan magnet

### 2.6.5. Intensitas Kemagnetan

Apabila medan magnet diletakkan pada medan magnet luar, maka benda tersebut akan termagnetisasi karena adanya induksi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa intensitas kemagnetan adalah tingkat kemampuan menyerahkan momen-momen magnet dalam medan magnet luar yang disebut juga dengan magnetik persatuan volume.<sup>18</sup>

$$\vec{I} = \frac{\vec{M}}{v} = \frac{ml \hat{r}}{v}$$

### 2.7. Sifat Magnetik (Suseptibilitas) Batuan

Di dalam medan magnet, setiap batuan memiliki sifat dan karakteristik tertentu. Adanya perbedaan sifat dan karakteristik setiap jenis batuan dan mineral, akan memudahkan kita dalam menentukan jenis-jenis

<sup>18</sup> Sarkowi, Muh, 2010, *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Gunung Merbabu-Merapi Berdasarkan Pemodelan 3d Anomali Bouger*, Berkala Fisika I Vol 13 No.2 ISSN: 1410-9662

setiap batuan. Harga suseptibilitas sangat penting dalam menentukan anomali karena sifat ferromagnetik pada setiap jenis mineral dan batuan berbeda satu dengan yang lainnya. Apabila semakin banyak mineral-mineral pada suatu batuan yang bersifat magnetik, maka nilai suseptibilitas ( $k$ ) pada batuan akan semakin besar.

Untuk mengetahui nilai suseptibilitas magnet pada titik pengukuran, maka dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$I_{A(x)} = k H_0$$
$$k = \frac{I_{A(x)}}{H_0}$$

Dimana;

- $k$  : suseptibilitas medan magnet dititik pengukuran
- $H_0$  : intensitas magnet bumi rata-rata di daerah penelitian yang merupakan harga rata-rata di *station base* (gamma)
- $I_{A(x)}$  : intensitas anomali magnet bumi dititik pengukuran

Secara spesifik, batuan terbagi menjadi 3 jenis yaitu batuan sedimen, batuan beku dan batuan metamorf dimana memiliki nilai suseptibilitas yang berbeda-beda.

Nilai suseptibilitas masing-masing batuan adalah sebagai berikut:

- a. Batuan sedimen yaitu mempunyai nilai suseptibilitas  $(0-4000) \times 10^6$  emu dengan rata-rata  $(10-75) \times 10^6$  emu. Contoh: *dolomite, limestone, sandstone* dan *shales*
- b. Batuan beku yaitu mempunyai nilai suseptibilitas  $(0-97) \times 10^6$  emu dengan rata-rata  $(200-13500)$  emu. Contoh: *granite, rhyiolite, basalt* dan *andesite*.

- c. Batuan metamorf yaitu mempunyai nilai suseptibilitas  $(0-5800) \times 10^{-6}$  emu. Contoh: *amphibole, shist, phyllite, gneiss, quartzite, serpentine* dan *slate*.<sup>19</sup>

Tabel 2.1. Nilai suseptibilitas Beberapa Batuan<sup>20</sup>

No	Jenis Batuan	Suseptibilitas ( $10^3$ SI)	
		Interval	Rata-Rata
<b>Batuan Sedimen</b>			
1	<i>Dolomite</i>	0-0,9	0,1
2	<i>Limestones</i>	0-3	0,3
3	<i>Sandstone</i>	0-20	0,4
4	<i>Shales</i>	0,01 – 15	0,6
5	<i>Av. 48 Sedimentary</i>	0-18	0,9
<b>Batuan Metamorf</b>			<b>0,7</b>
1	<i>Amphibolite</i>	0,3-3	1,4
2	<i>Schist</i>	-	1,5
3	<i>Pheyllite</i>	0,1-25	-
4	<i>Gneiss</i>	-	4
5	<i>Quartzite</i>	3-17	-
6	<i>Serpentine</i>	0-35	6
7	<i>Slate</i>	0-70	4,2
8	<i>Av. 61 methamorphic</i>		-

<sup>19</sup> Solihin, 2005, *Klasifikasi Batuan Berdasarkan Suseptibilitas Magnetik*, Yogyakarta: Pusat Penelitian Metalogi – LIPI

<sup>20</sup> Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P., 1990, *Applied Geophysics 2<sup>nd</sup> ed*, Cambridge University Pres, Cambridge

<b>Batuan Beku</b>			
1	<i>Granite</i>	0-50	2,5
2	<i>Rhyolite</i>	0,2-35	-
3	<i>Dolorite</i>	1-35	17
4	<i>Augite – Syenite</i>	30-40	-
5	<i>Olivine – Diabase</i>	-	25
6	<i>Diabase</i>	1-160	55
7	<i>Phorphyry</i>	0,3-200	60
8	<i>Gabbro</i>	1-90	70
9	<i>Basalts</i>	0,2-175	70
10	<i>Diorite</i>	0,6-120	85
11	<i>Pyroxenit</i>	-	125
12	<i>Peridotite</i>	90-200	150
13	<i>Andesit</i>	-	160
14	<i>Av. Acidic igneous Av</i>	0-80	8
15	<i>Basic igneous</i>	0,5-97	25

Untuk suseptibilitas jenis mineral ada pada tabel 2.2. nilai *khalcopyrit* dan *pirit* adalah tipe dari mineral-mineral sulfide dimana merupakan nonmagnetik. Kecil kemungkinan untuk meletakkan mineral pada suseptibilitas mineral walaupun bernilai negatifnya sangat kecil, namun hal tersebut merupakan hasil dari survey yang telah diteliti.

Tabel 2.2. Nilai Suseptibilitas Beberapa Mineral<sup>21</sup>

No	Jenis Batuan	Suseptibilitas ( $10^3$ SI)	
		Interval	Rata-Rata
<b>Mineral</b>			
1	<i>Graphite</i>	-	0,1
2	<i>Quartz</i>	-	-0,01
3	<i>Rpck Salt</i>	-	-0,01
4	<i>Anhydrite, gypsum</i>	-	-0,01
5	<i>Calcite</i>	-0,001-(-0,01)	-
6	<i>Coal</i>	-	0,02
7	<i>Clays</i>	-	0,2
8	<i>Chalcopyrite</i>	-	0,4
9	<i>Sphalerite</i>	-	0,7
10	<i>Cassiterite</i>	-	0,9
11	<i>Siderite</i>	1-4	-
12	<i>Phyrite</i>	0,05-5	1,5
13	<i>Limonite</i>	-	2,5
14	<i>Arsenopyrite</i>	-	3
15	<i>Hematite</i>	0,5-35	6,5
16	<i>Chromite</i>	3-110	7
17	<i>Franklinite</i>	-	430
18	<i>Pyrrhotite</i>	1-6000	1500
19	<i>Ilmenite</i>	300-3500	1800
20	<i>Magnetite</i>	1200-19200	6000

<sup>21</sup> Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P., 1990, *Applied Geophysics* 2<sup>nd</sup> ed, Cambridge University Pres, Cambridge

Berdasarkan jenis material dan batuan penyusun liteloginya, nilai k dapat dikelompokkan menjadi:

### 2.7.1. Diamagnetik

Batuan diamagnetik mempunyai kulit elektron yang berpasangan dimana setiap pasangan memiliki *spin* yang berlawanan. Apabila medan magnet berada diluar orbit, maka elektron-elektron tersebut tergolong memiliki medan magnet lemah yang melawan medan magnet luar. Nilai suseptibilitas (k) bernilai negatif dan kecil tidak bergantung pada medan magnet luar. Contohnya: bismuth, grafit, gypsum, marmer, kuarsa dan garam.

Tabel 2.3. Nilai suseptibilitas mineral diamagnetisme

No	Mineral	Diamagnetisme ( $\times 10^{-5}$ )
1	Bismuth	-16,6
2	Karbon (Berlian)	-2,1
3	Karbon (Grafit)	-1,6
4	Tembaga	-1,0
5	Timbal	-1,8
6	Mercuri	-2,9
7	Perak	-2,6
8	Air	-0,91

### 2.7.2. Paramagnetik

Paramagnetik adalah bahan yang kulit elektron terluarnya tidak lengkap sehingga terdapat spin elektron yang tidak memiliki pasangan dan selalu menuju ke arah putaran yang sama. Tanpa adanya pengaruh kuat dari medan magnet luar, momen magnet yang terbentuk terorientasi secara acak. Apabila terdapat pengaruh dari medan magnet luar, maka momen magnet akan sejajar dengan medan magnet tersebut. Contohnya: *pyrite*, *zincblende* dan *hematite*.

Tabel 2.4. Nilai suseptibilitas mineral paramagnetik

No	Mineral	Paramagnetisme ( $\times 10^{-5}$ )
1	Tungsen	6,8
2	Cesium	5,1
3	Aluminium	2,2
4	Lithium	1,4
5	Magnesium	1,2
6	Sodium	0,72

### 2.7.3. Ferromagnetik

Suatu elektron yang mudah terinduksi akibat adanya medan luar diisi oleh banyaknya kulit elektron. Hal tersebut diperkuat dengan adanya bahan ferromagnetik dimana arah putarannya searah dengan *dipole-dipole* magnet yang terbentuk. Contohnya: *dysprosium*, besi, kobal, terbium, nikel dan *neodymium*.

## 2.8. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang relevan pada penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Bagus Jaya, dkk, 2012<sup>22</sup> dengan judul “interpretasi metode geomagnetik dalam menentukan struktur bawah permukaan disekitar Gunung Kelud di Kabupaten Kediri”. Bagus Jaya mengatakan bahwa berdasarkan hasil interpretasi kualitatif ditunjukkan bahwa terdapat anomali dipole magnetik disebalah Utara yang membentang dari arah Barat Laut ke Tenggara dengan nilai anomaly yaitu -2125 nT hingga 1863 nT. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode Tahwani 2D untuk menginterpretasi secara kuantitatif. Model geologi yang dihasilkan yaitu berupa patahan atau sesar dengan nilai susceptibilitas  $k = 0.0124$  emu/gram yaitu merupakan batuan basalt dan nilai susceptibilitasnya  $k = 0.0234$  emu/gram yang artinya batumannya didominasi batuan andesit.

Mars Widodo, dkk, 2016<sup>23</sup>, pada jurnalnya yang berjudul “analisis struktur bawah permukaan daerah Harjosari Kabupaten Semarang menggunakan metode geomagnetik 2D dan 3D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan model 2D dapat diketahui bahwa merupakan struktur sesar naik, sedangkan untuk pemodelan 3D dengan menggunakan software UBCMag3D untuk mengetahui bagaimana struktur bawah permukaan yaitu terdapat perbedaan yang sangat kontras terhadap nilai susceptibilitasnya pada kedalaman 225 meter hingga 1200 meter. Akibat adanya perbedaan nilai susceptibilitasnya diduga bahwa termasuk struktur sesar di bawah permukaan.

---

<sup>22</sup> Bagus Jaya, dkk, 2012, *Interpretasi Metode Magnetik Untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan Disekitar Gunung Kelud Kabupaten Kediri*, Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya, Vol 2 No.1 ISSN: 2087-9946

<sup>23</sup> Mars Widodo, dkk, 2016, *Analisa Struktur Bawah Permukaan Daerah Harjosari Kabupaten Semarang Menggunakan Metode Geomagnetik 2D dan 3D*, Youngster Physics Journal, Vol.5 NO.4 ISSN: 2302-7371



Putut Indratmoko, dkk, (2010)<sup>24</sup> pada jurnalnya yang berjudul “interpretasi bawah permukaan daerah manifestasi panas bumi Parang Tritis kabupaten Bantul DIY dengan menggunakan metode geomagnetik”. Adapun hasil penelitian menjelaskan bahwa dengan pemodelan 2 dimensi diperoleh bahwa pada benda pertama nilai suseptibilitas dengan nilai 0.001 cgs dan benda kedua dengan nilai suseptibilitas dengan nilai 0.0034 cgs dan pada benda ketiga nilai suseptibilitasnya adalah -0.048 cgs dengan arah Utara – Selatan dengan benda yang memiliki anomali berada pada kedalaman  $\pm 580$  m dimana batuannya mengalami pelapukan karena adanya demagnetisasi batuan.

---

<sup>24</sup> Indratmoko, Putut, dkk, 2010, *Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Parang Tritis Kabupaten Bantul DIY Dengan Metode Magnetik*, Jurnal Universitas Diponegoro Semarang

## **BAB III**

### **METODE**

#### **3.1. Lokasi Penelitian**

Secara geografis, lokasi penelitian terletak pada koordinat  $0^{\circ}44'43.12''$  N dan  $99^{\circ}32'37.80''$  E.

#### **3.2. Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Satu set alat magnetometer. PPM tipe *else 770* merupakan jenis magnetometer yang digunakan dalam mengukur kuat medan magnet total.
- b. GPS untuk menentukan posisi titik pengukuran yang meliputi bujur, lintang, ketinggian dan waktu dengan menggunakan bantuan satelit.
- c. Kompas untuk menentukan arah mata angin yaitu menentukan arah utara dan selatan dari medan magnet bumi.
- d. Peta topografi untuk menentukan rute perjalanan dan letak titik pengukuran ketika melakukan survei magnetic pada lokasi.
- e. Alat pengukur waktu (stopwatch)
- f. Peralatan yang lainnya seperti: peta geologi, alat tulis (buku dan pulpen), *software surfer 11*, *software Mag2dc*, *software magpick* dan Ms. Excel

### **3.3. Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian *applied research* yaitu merupakan aplikasi dari ilmu geomagnetik dengan menggunakan metode penelitian observasi yaitu melakukan pengukuran di lapangan dengan menggunakan alat PPM serta pengambilan data dari hasil pengukuran

### **3.4. Variabel Penelitian**

Variabel bebas dan terikat adalah variabel yang digunakan dalam penelitian ini. Dimana variabel bebas adalah jarak antara titik acuan, longitude, latitude, waktu dan ketinggian wilayah. Sedangkan variabel terikatnya adalah struktur geologi permukaan bawah tanah, jenis batuan dan litologi bawah permukaan dan jenis batuan.

### **3.5. Teknik Analisa Data**

Adapun teknik dalam menganalisa data penelitian yaitu tahap pertama pengambilan data yang disebut juga dengan akuisisi data, pengolahan data, koreksi harian, koreksi IGRF, interpretasi kualitatif yaitu terdiri dari reduksi ke bidang datar, kontinuitas ke atas, reduksi ke kutub dan interpretasi kuantitatif. Sedangkan data yang akan dianalisa yaitu berupa anomali magnetik, susceptibilitas, struktur geologi, litologi dalam menentukan jenis batuan dan jenis batuan yang menjadi pusat sumber air panas. Adapun tahapan-tahapan dalam penelitian dengan menggunakan metode geomagnetik adalah:

### 3.5.1. Akuisisi Data

Akuisisi data adalah tahapan awal yang sangat penting, sebab apabila pada tahap ini terdapat kesalahan, maka tahapan pengolahan data selanjutnya akan sia-sia. Pengukuran dengan menggunakan metode geomagnetik sangatlah sensitif untuk sumber area listrik maupun area magnet yang terdapat pada daerah pengukuran sehingga perlu diminimalisir dalam pengambilan datanya.

Pengambilan data dalam penelitian ini sebanyak 32 data dengan 3 kali pengambilan data dan mengambil salah satu data pada tingkat kesalahan yang paling kecil dari hasil pembacaan alat.

### 3.5.2. Pengolahan Data

Terlebih dahulu data yang diperoleh dari lapangan dikonversikan terlebih dahulu dari bentuk derajat desimal ke dalam bentuk *Universal Transfer Mercator* (UTM) agar lebih muda dalam pengolahan data selanjutnya dengan menggunakan *software surfer* 11.

### 3.5.3. Koreksi Harian

Koreksi harian (diurnal) adalah penyimpangan yang terjadi dalam pengukuran medan magnet bumi yang disebabkan oleh efek dari sinar matahari pada saat pengambilan data serta adanya perbedaan waktu pengukuran sehingga perlu dilakukan koreksi harian dengan menggunakan

rumus:

$$\Delta H_{\text{harian}} = \left( \frac{t_n - t_{aw}}{t_{ak} - t_{aw}} \right) (H_{ak} - H_{aw})$$

dimana;

H : intensitas medan magnet total

t : waktu

n : nomor data

aw : data awal di base station

ak : data akhir di base station (Dikutip dari rekswanda, 2017)<sup>25</sup>

#### 3.5.4. Koreksi IGRF

Tujuan koreksi IGRF adalah agar pengaruh medan magnet utama dihilangkan dengan mengurangi nilai IGRF pada nilai medan magnet total yang terlebih dahulu sudah dikoreksi dengan menggunakan koreksi harian untuk setiap titik pengukuran. Adapun secara matematis, persamaan koreksi IGRF nya adalah sebagai berikut:

$$\Delta H = H_D - H_0$$
$$H_D = H \pm V_D$$

Dimana;

$\Delta H$  : anomali medan magnet total

$H_D$  : intensitas medan magnet akibat pengaruh luar

H : intensitas medan magnet yang terukur

$H_0$  : medan magnet utama bumi

$V_D$  : variasi koreksi harian

(Dikutip dari isna, 2016)<sup>26</sup>

---

<sup>25</sup> Waskito, Rekswanda Gesit Nalar, 2017, *Pemisahan Anomali Lokal-Regionak Pada Data Magnetik Lapangan Panas Bumi Menggunakan Metode Bidimensional Ensemble Empirical Mode Decomposition Masters*, Thesis, ITS Nopember

<sup>26</sup> Isna Lailly, Juanita, 2016, *Aplikasi Metode Geomagnetik Untuk Mengetahui*

### 3.5.5. Reduksi Bidang Datar

Karena penyimpangan medan magnet yang berada pada topografi yang tidak rata maka proyeksi reduksi ke bidang datar perlu dilakukan dengan ketinggian yang sama. Adapun teknik yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Taylor Series Approximation*.

(Dikutip dari laela fitria, 2015)<sup>27</sup>

### 3.5.6. Kontinuasi Ke Atas

Dapat dilakukan melalui proses reduksi data anomali magnetik yang terukur diatas permukaan yang lebih tinggi dengan menggunakan *software Magpick* yang fungsinya agar pengaruh lokal dapat dihilangkan yang bersumber pada permukaan dan menghasilkan anomali regionalnya lebih jelas. Proses kontinuasi ke atas jangan terlalu tinggi diangkat disebabkan adanya reduksi anomali magnet lokal yang berasal dari struktur geologi yang merupakan inti utama dari penelitian magnetik.

### 3.5.7. Reduksi Ke Kutub

Melakukan kontinuasi ke atas untuk data anomali magnet, maka langkah selanjutnya adalah melakukan reduksi ke kutub. Fungsinya sebagai penyaring saat melakukan pengolahan data magnetik supaya sudut inklinasinya dihilangkan. Reduksi ke kutub digunakan menggunakan *software magpick* dengan dilakukannya reduksi ke kutub maka akan menghasilkan anomali magnet menjadi satu kutub (monopol).

---

*Struktur Geologi Bawah Permukaan Ranu Segawan Duwes, Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo Jawa Timur*, Tesis

<sup>27</sup> Laela Fitria, 2015, *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Data Geomagnetik Pada Daerah Mata Air Panas Jatikurung Kabupaten Semarang*, *Youngster Physics Journal*, Vol.4 No.4 ISSN:2302-2302

### **3.5.8. Interpretasi Kuantitatif**

Tujuan dari interpretasi kuantitatif adalah untuk mengetahui bentuk dan struktur geologi dengan menganalisis penampang pola anomali sepanjang lintasan. Dalam pengolahannya menggunakan *software Mag2Dc* yaitu dengan meratakan bentuk anomali dari hasil pengamatan berupa garis putus-putus dengan anomali perhitungan berupa garis tegas.

Data masukan menggunakan *software Mag2Dc* pada interpretasi kuantitatif berupa jarak lintasan, nilai anomali, anomali observer dan penampang hasil dari pemodelan struktur geologi yang digambarkan sebagai anomali hitungan agar diiterasinya diperoleh ralat atau *error* yang paling terkecil sehingga semakin kecil tingkat keakuratannya.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Deskripsi Hasil Penelitian**

Metode geofisika yang digunakan dalam menganalisa struktur geologi bawah permukaan, mengetahui litologi bawah permukaan dan manifestasi panas bumi pada daerah Panyabungan Selatan dengan menggunakan metode geomagnetik. Luas lokasi penelitian 3,0 km<sup>2</sup> pada rentang jarak 10-100 m dan jumlah titik pengambilan data adalah 32 titik dengan model zigzag. Agar suseptibilitas batuan bawah permukaan tanah dapat digambarkan maka diperlukan suatu metode yaitu metode geomagnetik sehingga peneliti dapat mengetahui efek magnetik yang berada pada batuan di bawah permukaan tanah.

Berdasarkan data hasil geofisika diperoleh di lapangan akan dihubungkan melalui data geologi untuk interpretasi selanjutnya. Sebab informasi yang diperoleh dari data hasil geofisika hanya berdasarkan parameter fisis saja yang bergantung pada metode geomagnetiknya. Salah satu metode geofisika dengan melakukan pengukuran medan magnetik yang berada pada bawah permukaan bumi adalah metode geomagnetik.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa medan utama dapat diperoleh dari data medan magnet total bumi, medan magnet yang dihasilkan berupa medan magnet luar dan anomali. Sedangkan metode geomagnetik yang terukur pada batuan bawah permukaan berdasarkan anomali magnetiknya dapat digambarkan dari nilai suseptibilitasnya.



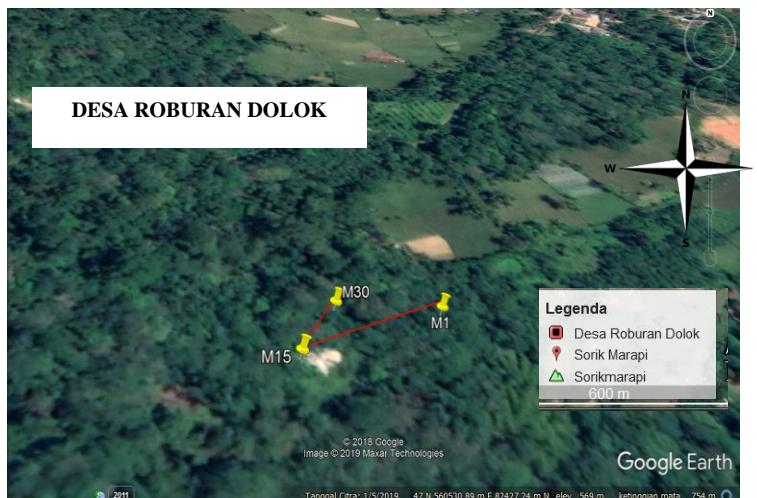
## 4.2. Hasil Penelitian Geomagnet

### 4.2.1. Akusisi Data

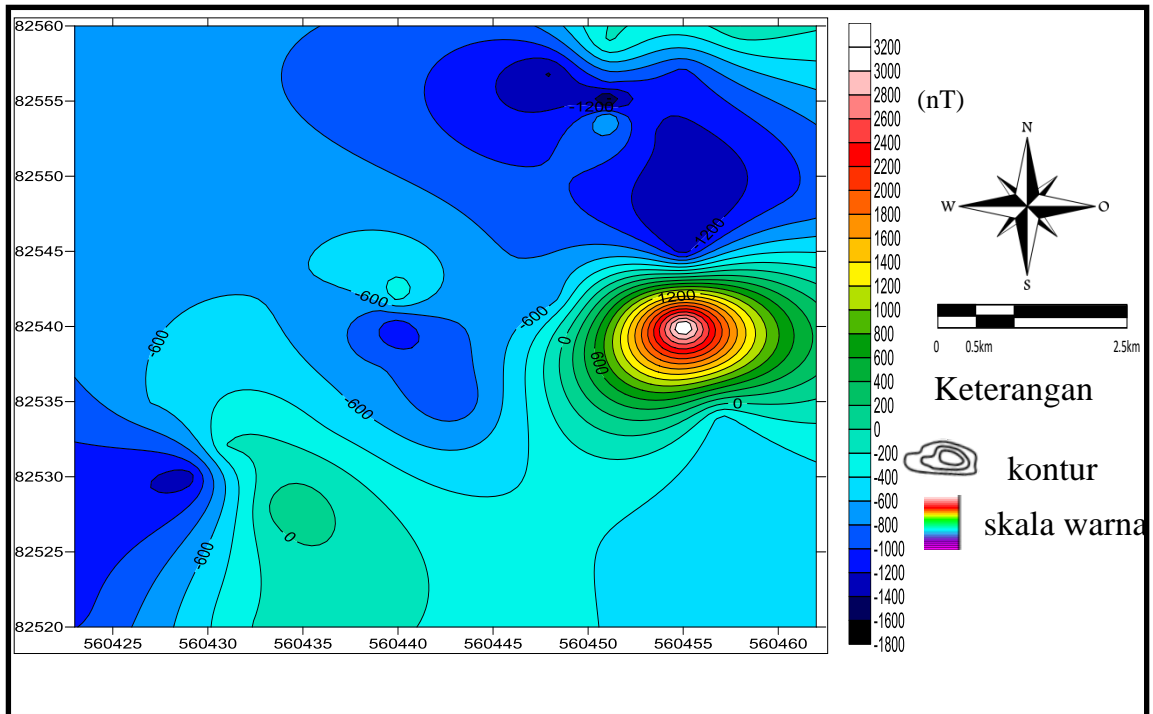
*Proton Procession Magnetometer* (PPM) tipe *else 770* adalah alat yang digunakan dalam penelitian ini dimana ada sebanyak 3 kali pengambilan data pada setiap titik pengukuran dan salah satu dari data tersebut diambil dengan tingkat kesalahan yang terkecil.

### 4.2.2. Pengolahan Data

Data diolah dengan menggunakan metode geomagnetic yaitu agar mengetahui medan magnet totalnya pada 32 titik pengamatan dengan memperoleh data nilai kemagnetan batuan, medan magnet utama bumi dan medan magnet local. Terlebih dahulu konversikan koordinat yang diperoleh dalam bentuk derajat desimal ke bentuk Universal Transverse Mercator (UTM) ketika dilakukan akuisi data di lapangan agar pembacaan *surfer 11* mudah dalam mengolah data selanjutnya. Agar nilai anomali medan magnet total didapat maka dilakukan koreksi harian dan koreksi IGRF. Setelah itu menginterpretasikannya secara kualitatif dan kuantitatif.



Gambar 4.1. Titik Pengambilan Metode Geomagetik Dengan Google Earth



Gambar 4.2. Kontur intensitas medan magnet total dengan interval kontur

Berdasarkan gambar 4.2 memperlihatkan bahwa diperoleh jumlah intensitas medan magnet yang terukur pada peta topografi pada daerah penelitian adalah -1800 nT sampai dengan 3200 nT yang akan dijabarkan secara detail pada tabel 4.1

Tabel 4.1. Nilai tingkat kemagnetan pada kontur intensitas

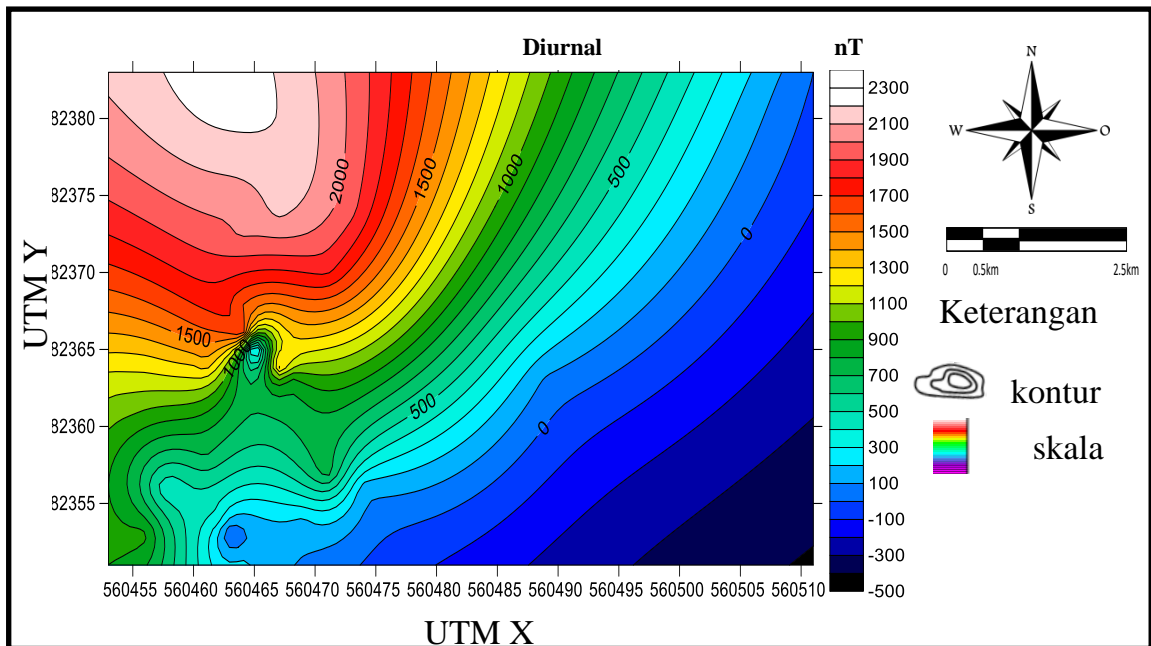
No	Nilai Kemagnetan	Tingkat Kemagnetan	Skala Warna
1	-1800 nT      0 nT	Rendah	Hitam      Hijau Tua
2	0 nT              3200 nT	Sedang      Tinggi	Hijau      Putih

### **4.2.3. Koreksi Harian**

Agar pengaruh medan magnet luar bumi dan medan magnet utama bumi dihilangkan untuk didapatkan data anomali medan magnet total ( $\Delta H$ ) maka bisa menggunakan koreksi harian dan koreksi IGRF. Karena data yang didapat di lokasi penelitian bukanlah data anomali magnetiknya tetapi masih data mentah dimana data mentah tersebut masih dipengaruhi dari luar dan dalam bumi yaitu berupa medan magnet utama bumi, medan magnet luar dan medan magnet total.

Medan magnet bumi pada lokasi penelitian sangatlah bervariasi seperti permukaan waktu ke waktu, tempat ke tempat yang disebabkan karena adanya pengaruh oleh radiasi sinar matahari, efek badai matahari.

Koreksi harian adalah nilai medan magnet yang tersimpan karena terdapat selisih waktu dan efek radiasi matahari di lokasi penelitian. Durasi dilapangan harus sama dengan waktu saat dilakukan pengukuran untuk data medan magnetik yang ingin dikoreksi. Ketika nilai variasi harian bernilai negatif, maka perlu adanya koreksi harian yaitu data medan magnetik yang mau dikoreksi dengan data variasi harian ditambahkan. Tetapi apabila nilai variasi harian bernilai positif, maka perlu adanya pengurangan antara nilai medan magnetic dengan nilai variasi harian dicatat pada waktu tertentu..



Gambar 4.3. kontur hasil koreksi harian

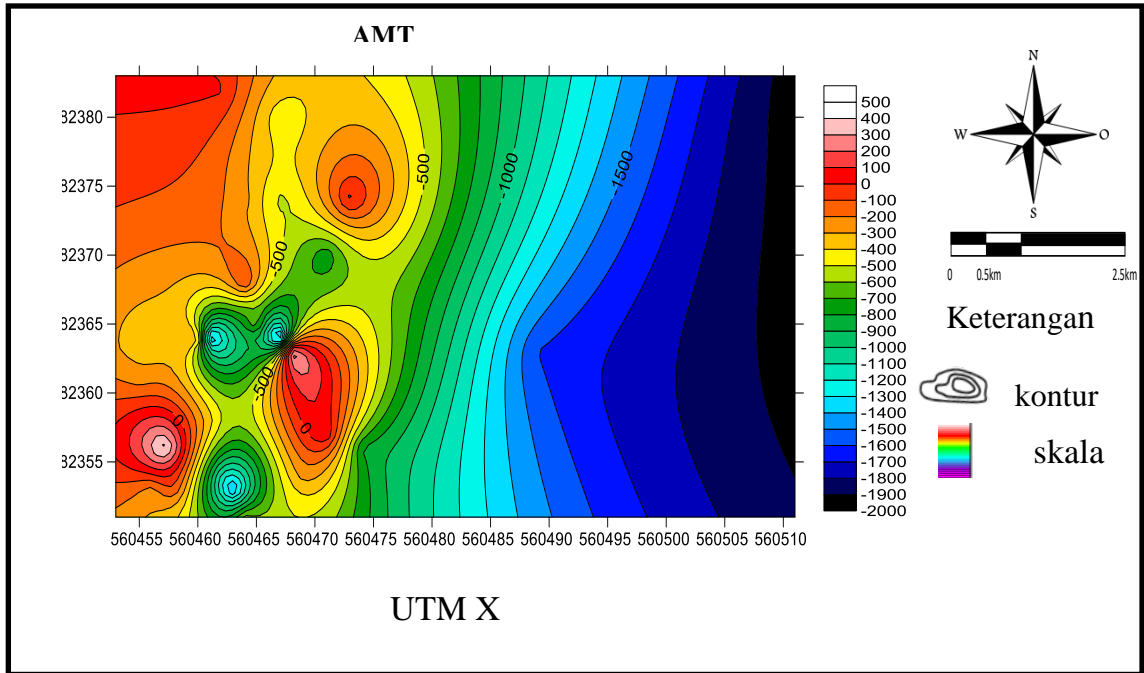
Berdasarkan gambar 4.3 diperoleh bahwa angka intensitas anomali medan magnet adalah -500 nT sampai dengan 2300 nT yang akan dijabarkan secara detail dapat dilihat di tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nilai tingkat kemagnetan pada peta koreksi harian

No	Nilai Kemagnetan (nT)	Tingkat Kemagnetan	Skala Warna
1	-500 n      -100 nT	Rendah	Hitam      Biru
2	100 nT      2300 Nt	Sedang      Tinggi	Biru Muda      Putih

#### 4.2.4. Koreksi IGRF

Fungsi dilakukannya koreksi IGRF yaitu agar dampak medan magnet utama bumi dihilangkan. Secara online, hasil koreksi IGRF didapat 5 tahun sekali. <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>.



Gambar 4.4. Kontur anomali medan magnet AMT

Berdasarkan gambar 4.4 ditunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai anomali yang bernilai negatif. Secara umum, kemagnetan memiliki 3 macam sifat yaitu: *diamagnetic*, *paramagnetik* dan *ferromagnetic*. Dari hasil kontur tersebut, nilai koreksi harian dan koreksi IGRF akan bernilai negatif ketika datanya dikurangkan dengan data di lapangan. Batuan bersifat *diamagnetic* jika memiliki nilai suseptibilitas kecil dan juga disebabkan karena adanya arah orbital substansi yang selalu bertentangan arah terhadap magnet luar sehingga melemahnya medan magnet total yang tidak berpengaruh pada suhu. Contohnya adalah: *grafit*, *marble*, *quartz*, *Marmar*, *salt dam gypsum*.

Berdasarkan gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa batuan bersifat diamagnetik yaitu merupakan batuan tufa dan sedimen yang ditunjukkan oleh adanya medan magnet yang bervariasi dengan nilai anomali medan magnet tersebut dikelompokkan menjadi anomali rendah dan sedang.

Tabel 4.3. Nilai kemagnetan pada peta magnet total

No	Nilai Kemagnetan (nT)	Tingkat Kemagnetan	Skala Warna
1	-2000 Nt      0 nT	Rendah	Hitam      Merah
2	0 nT              500 nT	Sedang      Tinggi	Merah      Putih

#### 4.2.5. Interpretasi Kualitatif

Interpretasi data anomali terdiri dari dua yaitu interpretasi secara kualitatif (diakibatkan karena benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi) dan interpretasi kuantitatif.

##### 4.2.5.1. Reduksi Ke Bidang Datar

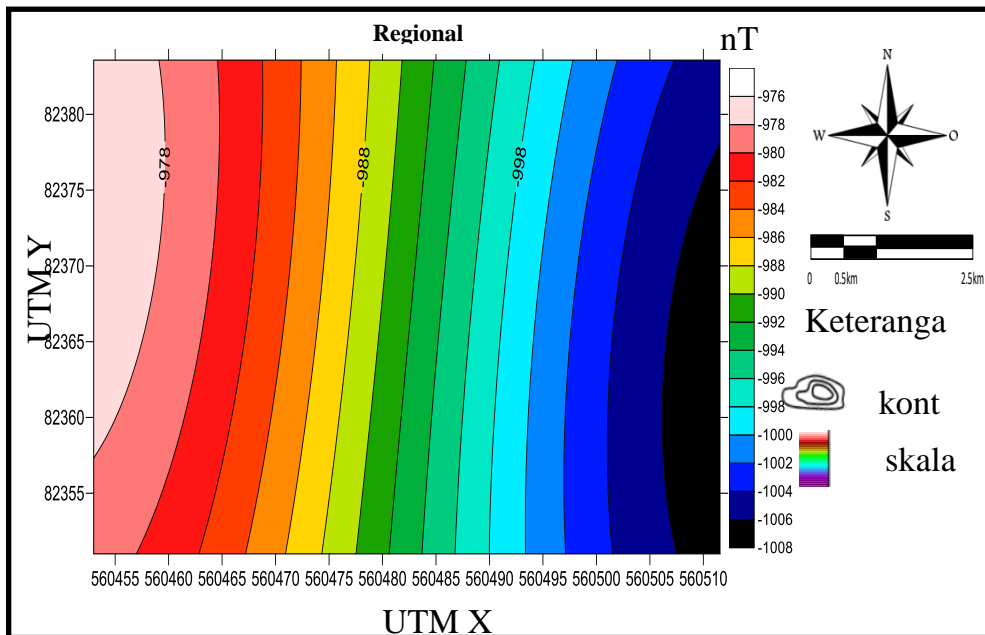
Benda yang mengalami kemagnetan dibawah permukaan akan terbaca oleh pola topografinya berdasarkan lokasi penelitian. Dengan nilai medan magnet pada daerah topografi yang tidak rata akan mempengaruhi kesalahan dalam pemodelan (interpretasi). Agar hal tersebut dapat terhindar, maka perlu dilakukan transformasi data anomali medan total pada ketinggian yang sama agar memudahkan dalam pemodelan. Dalam melakukan perubahan dapat menggunakan metode *Taylor Series Approximation*.

##### 4.2.5.2. Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)

Tujuan dilakukannya kontinuasi ke atas adalah agar anomali regional yang halus dan batuan yang dangkal dapat terfilter sehingga dapat diketahui sebab adanya anomali pada batuan. Untuk mengolah data kontinuasi ke atas dapat dilakukan dengan menggunakan *software Magpick*.

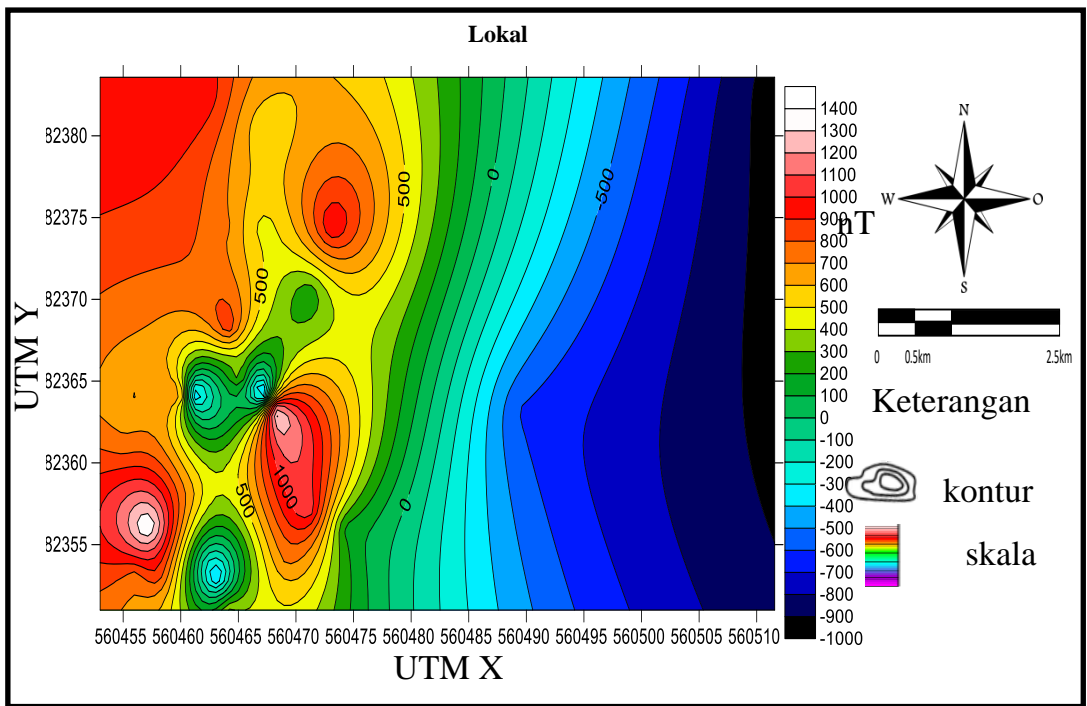
Ketika kontinuasi ke atas dilakukan tidak boleh terlalu tinggi karena dapat mereduksi anomali magnetik lokal yang bersumber pada struktur geologi yang menjadi inti utama pada penelitian magnetik. Dengan dilakukannya kontinuasi ke atas, maka diperoleh dua hasil secara bersamaan yaitu mereduksi efek untuk kontinuasi yang tidak terlalu besar dan menunjukkan efek regional pada daerah pengukuran untuk kontinuasi yang besar. Berdasarkan langkah tersebut, maka diperoleh data medan magnet total tidak dipengaruhi lagi oleh pengaruh regionalnya, IGRF dan medan regional sehingga yang ada akibat benda (batuan) penyebab anomali saja.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah coba-coba (*trial and error*) dengan ketinggian 250 mdpl. Berdasarkan nilai kontinuasi ke atas pada ketinggian tersebut memperlihatkan stabilnya nilai anomali regional artinya kontur anomali regional sudah lemah sehingga *dipole magnetic* nya tidak memiliki pasangan.



Gambar 4.5. Kontur Anomali regional hasil kontinuasi ke atas

Anomali lokal dan anomali regional merupakan hasil dari anomali magnet total yang terkontinuasi ke atas dengan tujuan agar nilai anomali lokal dapat menggambarkan lapisan batuan dan struktur dilapangan bersumber pada hasil pengukuran dan perhitungan. Nilai anomali magnetik lokal bervariasi karena ketidakseragaman batuan dibawah permukaan. Akibat ketidakseragaman itu, anomalnya menjadi bernilai negatif yaitu -1008 nT sampai -976 nT.



Gambar 4.6. Kontur anomali residual (lokal) hasil kontinuasi ke atas

Pada daerah penelitian ini, nilai anomali rendah ataupun sedang yang dipilih sebab erat hubungannya terhadap demagnetisasi suatu batuan akibat adanya kalor yang dilepaskan oleh lokasi manifestasi panas bumi yang berhubungan dengan adanya perbedaan suseptibilitas dibawah permukaan. Nilai anomali magnetik yang tinggi menandakan bahwa nilai suseptibilitas batuan bernilai positif yang artinya memiliki nilai kemagnetan tinggi.



Sedangkan nilai anomali magnetik sedang menandakan bahwa nilai suseptibilitas batuananya positif tetapi nilainya kecil yang artinya memiliki nilai kemagnetan yang sedang. Sedangkan nilai anomali magnetik yang rendah menandakan bahwa nilai suseptibilitas batuananya negative yang artinya nilai magnetik sangat rendah.

Berdasarkan nilai tersebut, nilai anomali terbagi atas 2 kelompok yaitu nilai anomali rendah dan sedang. Anomali rendah berada pada skala warna hitam hingga hijau dengan anomali -1000 nT hingga 0 nT dengan nilai kemagnetan yang rendah yang termasuk ke batuan diamagnetik yaitu dengan jenis batu kuarsa, garam kasar, anhidrit, gipsum, kalsit. Sedangkan nilai anomali sedang berada pada skala warna orange hingga merah dengan anomali 100 nT hingga 1400 nT yang termasuk pada batuan sedimen dengan kandungan mineral kuarsa.

Tabel 4.4. Nilai tingkat kemagnetan pada peta lokal

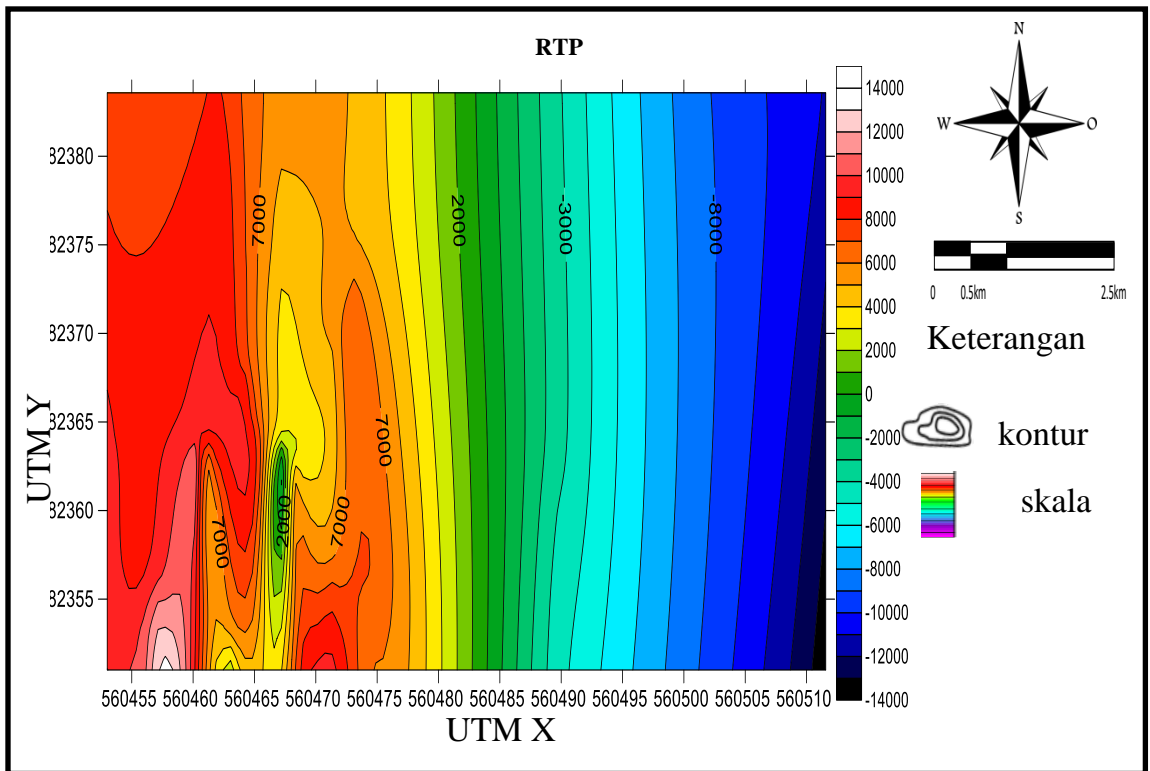
No	Nilai Kemagnetan	Tingkat Kemagnetan	Skala Warna
1	-1000 nT      0 nT	Rendah	Hitam      Hijau
2	0 nT              1400 nT	Sedang	Hijau      Putih

#### 4.2.5.3. Reduksi ke Kutub (*Reduction to The Pole*)

Anomali lokal yang dipengaruhi oleh induksi ataupun medan magnet luar sehingga wajib dilakukan proses transformasi reduksi ke kutub dengan tujuan memfilter data magnetik agar sudut inklinasinya dihilangkan. Proses transformasi reduksi ke kutub pada anomali lokal dilakukan karena dipengaruhi oleh transformasi reduksi ke kutub agar data magnetik terfilter sudut inklinasinya dihilangkan. Proses transformasi ke kutub dilakukan untuk menukar arah magnetisasi medan utamanya dengan arah tegak lurus dengan membentuk sudut inklinasi  $90^0$  dan sudut deklinasi  $0^0$  karena berdasarkan

kutub magnetiknya, arah medan magnet bumi menuju ke bawah, sedangkan arah darin magnetisasi induksinya menuju ke bawah.

Sifat dipole pada anomali lokal akan melakukan reduksi ke kutub dengan mengkonvertnya menjadi anomali lokal yang sifatnya monopol. Hal tersebut memudahkan dalam intetpretasi secara kualitatif yang menyebabkan munculnya air panas dipermukaan.



Gambar 4.7. Kontur anomali residual hasil ke kutub

Pada gambar diatas dapat dilihat nilai signifikan yang berbeda apabila dibandingkan dengan anomali magnetik local sebelum ke kutub. Nilai kemagnetan akan menjadi semakin tinggi setelah reduksi ke kutub dilakukan.

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa nilai anomali magnetnya yaitu -1400 nT hingga 14000 nT. Nilai tersebut sangat berbeda dengan nilai anomali magnet sebelum dilakukannya reduksi ke kutub (gambar 4.6). Berdasarkan bentuk reduksi ke kutub akan nampak dengan detail bahwa dua nilai anomali magnetnya yaitu nilai anomali yang pertama memiliki nilai kemagnetan rendah yang ditunjukkan dengan warna hitam hingga hijau, sedangkan nilai anomali yang kedua memiliki nilai kemagnetan yang sedang yang ditunjukkan dengan warna kuning hingga putih.

Sebelum proses perpindahan reduksi ke kutub dilakukan, nilai kemagnetan akan bernilai positif dan bernilai negatif akan menyebabkan adanya anomali yang tidak merata. Hal tersebut terjadi karena nilai kemagnetan masih terpengaruh oleh nilai inklinasinya sehingga menyebabkan data tersebut masih bersifat dipole. Sedangkan setelah dilakukan proses transformasi reduksi ke kutub maka akan terlihat daerah yang negatif mulai ternormalisasi karena adanya pengaruh dihilangkannya inklinasi sehingga daerah yang sebelumnya bernilai negatif akan mengalami penguatan menjadi positif.

Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan reduksi ke kutub akan menghasilkan nilai suseptibilitas yang rendah pada anomaly yang sebenarnya. Apabila material magnetik dipanaskan hingga mencapai suhu *Curie* pada suatu batuan maka akan menghasilkan suseptibilitas yang rendah. Dengan adanya pemanasan tersebut maka material magnetik akan mengalami demagnetisasi. Sumber air panas di sorik merapi daerah Panyabungun Selatan berada pada anomali magnetik sedang dan rendah yaitu dapat dibuktikan dengan menggabungkan hasil analisa kontur anomali magnetik lokal dengan reduksi kutub. Harga anomali magnetik rendah ditunjukkan pada zona demagnetisasi hidrotermal atau karena sifat kemagnetan batuan menurun

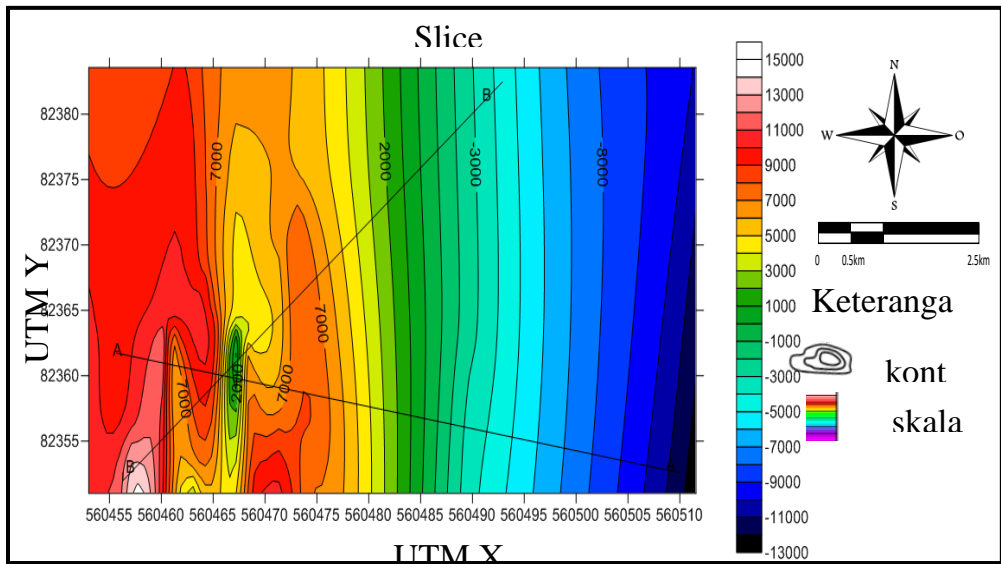
akibat adanya panas yang terdapat hampir pada semua daerah sumber air panas.

#### **4.2.6. Interpretasi Kuantitatif**

Tujuan interpretasi Kuantitatif adalah untuk mengetahui struktur geologi dengan menggunakan pemodelan matematis. Untuk pengolahan datanya menggunakan *software Mag2dc* yaitu dengan menyamakan hasil pengamatan anomali yang ditandai dengan garis putus-putus dan untuk perhitungannya ditandai dengan garis tegas.

Untuk menentukan penampang anomaly maka memprediksi struktur geologi bawah permukaan perlu dilakukan pemahaman secara kuantitatif. Karena interpretasi kuantitatif sifat kedalamannya tidak dapat ditentukan. Agar dapat terhindari maka diperlukan data pendukung yaitu berupa data geologi, susceptibilitas batuan dan data geofisika lainnya sesuai lokasi penelitian.

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan coba-coba agar didapat ralat (*error*) yang terkecil. Gambar 4.8 merupakan hasil anomali lokal yang disayat pada lintasan A-A dan B-B dengan menggunakan *software Mag2dc*. Pada *software mag2dc* diperoleh parameter masukannya yaitu nilai inklinasi, deklinasi, sudut kemiringan dan nilai IGRF nya. Nilai inklinasinya diperoleh -9.6940, nilai deklinasi -0.4098 dan nilai IGRF 41726.4 nT. kemudian dimasukkan panjang lintasannya dikolom X dan nilai anomali lokal dikolom Y adalah hasil dari sayatan tersebut.

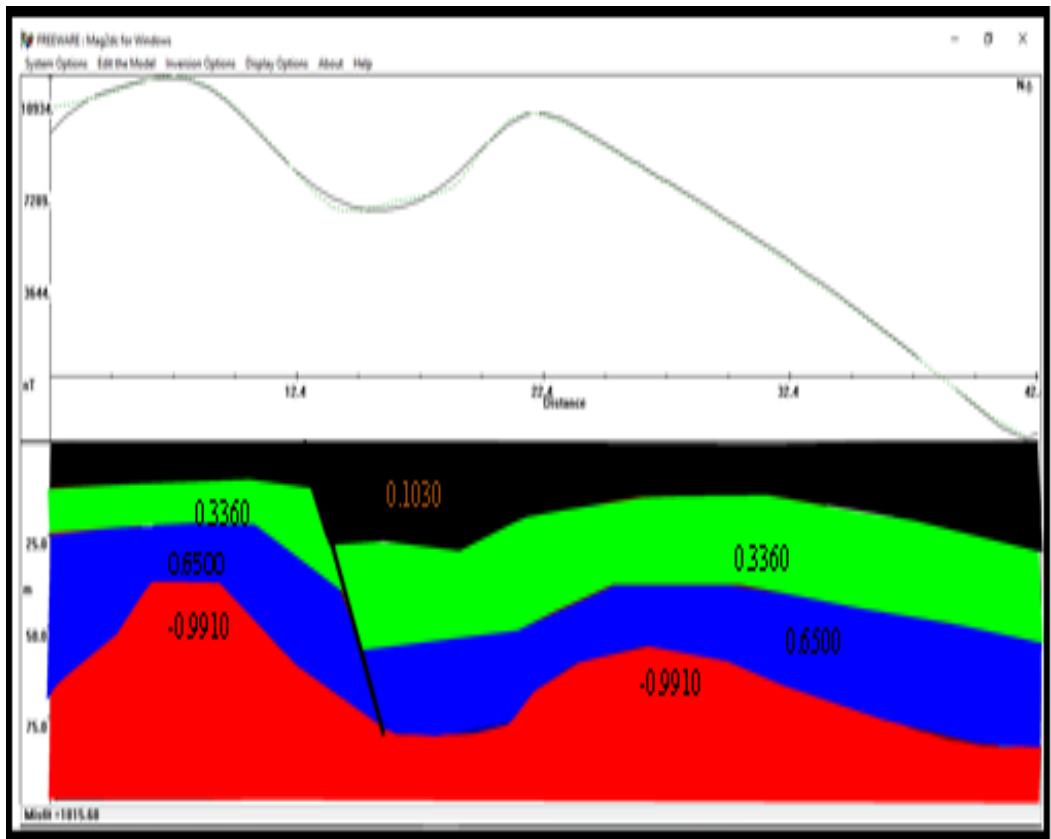


Gambar 4.8. Sayatan kontur anomali residual lintasan A-A dan lintasan B-B

Pemodelan diperoleh dengan menggunakan metode *trial and error* sehingga didapatkan ralat (*error*) yang kecil. Apabila semakin kecil persentase *error*nya maka semakin tinggi tingkat keakuratan dari model tersebut. Begitu juga sebaliknya besarnya persentase *error*nya maka akan semakin kecil tingkat keakuratan dari model tersebut.

#### 4.2.6.1. Penampang Melintang A-A

Secara kualitatif yaitu lintasan dimulai dari arah Tenggara sampai ke Barat Laut melewati titik ukur akan diperoleh penampang anomali magnetik lokal pada lintasan A-A.



Gambar 4.9. Model penampang anomali lokal pada lintasan A-A

Pada gambar 4.9 menjelaskan bahwa pada lintasan A-A terdiri dari sumbu Y, sumbu Y. Garis putus-putus pada kurva menandakan bahwa nilai anomali pengamatan sedangkan garis kontinu menandakan anomali hasil perhitungan. Penafsiran litologi batuan di Panyabungan Selatan diperoleh berdasarkan pada data geologi. Terdapat 4 *body* pada lintasan A-A, dimana 4 *body* tersebut akan dikelompokkan menjadi 4 bagian batuan yang dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini:

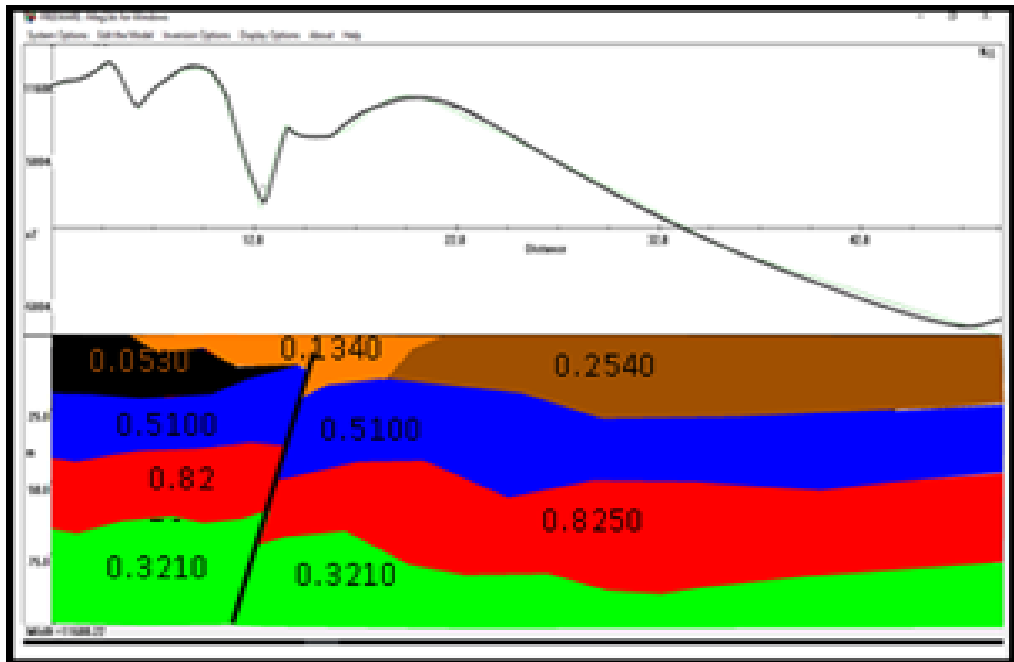
Tabel 4.5. Hasil analisa suseptibilitas pada sayatan penampang A-A

Benda Anomali	Suseptibility Lapangan (Cgs Unit)	Suseptibility Menurut Telford (Cgs)	Warna	Interpretasi Lithologi
Model 1	-0.9910	0.9	Merah	Gamping dolomitan
Model 2	0.6500	0.7	Biru	andesit
Model 3	0.3360	0.3-3	Hijau	sabak
Model 4	0.1030	0.01-1.5	Hitam	shales

Dapat disimpulkan bahwa batuan pada sistem geothermal yaitu batu gamping karena batu gamping dolomitan merupakan reservoir yang baik dalam manifestasi panas bumi di Panyabungan Selatan. Dilapisan tersebut terdapat patahan yang termasuk kedalam sesar naik yang berada di antara lapisan kedua dan ketiga di arah sebelah Barat, sedangkan bagian yang turun berada di arah sebelah Timur dengan arah sesar Utara Barat Laut yang merupakan batu andesit dan sabak.

#### 4.2.6.2. Penampang Melintang B-B

Secara kualitatif yaitu lintasannya dimulai dari arah Barat Daya hingga Timur Laut melalui titik ukur akan diperoleh penampang anomali magnetik lokal pada lintasan B-B.



Gambar 4.10. Model penampang anomali lokal pada lintasan B-B

Terdapat 6 *body* pada lintasan B-B yang dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut ini:

Tabel 4.6. Hasil analisa suseptibilitas pada sayatan penampang B-B

Benda Anomali	Suseptibility Lapangan (Cgs Unit)	Suseptibility Menurut Telford (Cgs)	Warna	Interpretasi Lithologi
Model 1	0.3210	0.3-3	Green	Sabak
Model 2	-0.8250	0.9	Red	Gamping dolomitan
Model 3	0.5100	0.7	Blue	Andesit
Model 4	0.0530	0.01-1.5	Black	Shales
Model 5	0.1340	0-20	Yellow	Batupasir
Model 6	0.254	0-3	Brown	Batuvarian



Dapat disimpulkan bahwa batuan pada sistem geothermal yaitu batu gamping dolomitan yang merupakan reservoir yang baik dalam manifestasi panas bumi di Panyabungan Selatan. Pada Lapisan tersebut tampak jelas terdapat patahan yang merupakan sesar turun yang berada diantara lapisan pertama, kedua dan ketiga. Dengan arah sesar Utara timur laut pada lapisan batu sabak, andesit dan gamping.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah peneliti lakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Struktur geologi bawah permukaan berupa rekahan naik (sesar naik) untuk model penampang A-A sedangkan pada model penampang anomali B-B berupa rekahan turun (sesar turun)
2. Litologi bawah permukaan pada model penampang anomali A-A dengan nilai susceptibilitas  $-0,9910$  cgs merupakan batu gamping dolomitan, susceptibilitas  $0,6500$  cgs merupakan batu andesit, susceptibilitas  $0,3360$  cgs merupakan batu sabak, susceptibilitas  $0,1030$  cgs merupakan batu shales. Untuk model penampang anomali B-B dengan nilai susceptibilitas  $0,3210$  cgs merupakan batuan sabak, susceptibilitas  $0,8250$  cgs merupakan batu andesit, susceptibilitas  $0,0530$  cgs merupakan batu shales, susceptibilitas  $0,1340$  cgs merupakan batuan pasir dan susceptibilitas  $0,2540$  cgs merupakan batuan varian.
3. Batuan yang berfungsi sebagai reservoir yang baik dalam manifestasi panas bumi adalah batu gamping dolomitan karena memiliki nilai susceptibilitas yang rendah.

## 5.1. Saran

Dari hasil penelitian yang telah diperoleh, maka saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Memperluas daerah survei penelitian untuk melihat struktur permukaan tersebut lebih terperinci dengan menggunakan 3 dimensi.
2. Diharapkan penelitian lebih lanjut terhadap pemetaan fluida *geothermal* secara hidrodinamika.

## DAFTAR REFERENSI

- Abdul Basid, dkk, 2014, *Pendugaan Reservoir Sistem Panas Bumi Dengan Menggunakan Survey Geolistrik, Resistivitas Dan Self Potensial*, Jurnal Neutrino, Vol 7, No 1
- Alzwar, dkk, 1987, *Pengantar Dasar Ilmu Gunung Api*, Nova, Bandung
- Bagus Jaya, dkk, 2012, *Interpretasi Metode Magnetik Untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan Disekitar Gunung Kelud Kabupaten Kediri*, Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya, Vol 2 No.1 ISSN: 2087-9946
- Bayong Tjasyono H.K, 2006, *Ilmu Kebumihan Dan Antariksa*, Bandung: PT.Remaja Rosdakarya-UPI
- Broto, S.S Putranto, T.T., 2011, *Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panas Bumi*, Teknik, Vol.32 No.1 ISSN: 0852-1697
- Burger, H.R. 1992, *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*, Prentice Hall, Inc.,Upper Saddle River, 392-393
- Deniyanto, *Pemodelan kedepan (Forward Modeling) 2 Dimensi Data Magnetik Untuk Identifikasi Biji Besi Di Lokasi X, Provinsi Sumatra Bara*, Jurnal Aplikasi Fisika 6, no. 2 (2010).
- Heningtyas, dkk, 2017, *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Metode Geomagnet Di Jalur Sesar Oyo*, Jurnal Fisika, Volume 6 No.2
- Gunawan, H, 2013, *Potensi Panas Bumi Di Samosir Siap Dielang*, *Tribunnews*, <http://tribunnews.com>  
<http://2.bp.blogspot.com> plat boundary

- Indratmoko, Putut, dkk, 2010, *Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Parang Tritis Kabupaten Bantul DIY Dengan Metode Magnetik*, Jurnal Universitas Diponegoro Semarang
- Isna Lailly, Juanita, 2016, *Aplikasi Metode Geomagnetik Untuk Mengetahui Struktur Geologi Bawah Permukaan Ranu Segawan Duwes, Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo Jawa Timur*, Tesis
- Laela Fitria, 2015, *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Data Geomagnetik Pada Daerah Mata Air Panas Jatikurung Kabupaten Semarang*, *Youngster Physics Journal*, Vol.4 No.4 ISSN:2302-2302
- Mars Widodo, dkk, 2016, *Analisa Struktur Bawah Permukaan Daerah Harjosari Kabupaten Semarang Menggunakan Metode Geomagnetik 2D dan 3D*, *Youngster Physics Journal*, Vol.5 NO.4 ISSN: 2302-7371
- Waskito, Rekswanda Gesit Nalar, 2017, *Pemisahan Anomali Lokal-Regionak Pada Data Magnetik Lapangan Panas Bumi Menggunakan Metode Bidimensional Ensemble Empirical Mode Decomposition Masters*, Thesis, ITS Nopember
- Sarkowi, Muh, 2010, *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Gunung Merbabu-Merapi Berdasarkan Pemodelan 3d Anomali Bouger*, *Berkala Fisika I* Vol 13 No.2 ISSN: 1410-9662
- Sekilas Tentang Bumi, <http://geothermal.itb.ac.id> diakses pada tanggal 29 September Jam 14.32 Wib
- Solihin, 2005, *Klasifikasi Batuan Berdasarkan Suseptibilitas Magnetik*, Yogyakarta: Pusat Penelitian Metalogi – LIPI
- Suhartono, N. 2012. *Pola Sistem Panas dan Jenis Geothermal dalam Estimasi Cadangan Daerah Kamojang*. *Jurnal Ilmiah MTG*, 5(2):1-14.

- Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P., 1990, *Applied Geophysics* 2<sup>nd</sup> ed, Cambridge University Press, Cambridge
- Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.E., 1992, *Applied Geophysics Second Edition*, New York: Cambridge University Press
- Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.C., 2004, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press, USA
- Yopanz, 2007, *Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panas Bumi*, Teknik Vol.32 No.1 ISSN:0852-1697

## Lampiran 1

### Data Hasil Penelitian Di Lapangan

No	Longitute	Latitute	elevasi (m)	Nilai Proton (F)			Waktu			Pembacaan (Hunf)		
				F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	1	2	3	Hunf 1	Hunf 2	Hunf 3
1	560511	82383	569	41294	41295	41289	11.1.50	11.2.50	11.03.74	39764	40195	41109
2	560489	82363	570	41360	41340	41329	11.4.20	11.4.26	11.05.13	40560	41240	40829
3	560474	82356	571	41357	41554	41719	11.6.11	11.6.27	11.04.20	41357	41554	41719
4	560469	82354	572	41598	41521	41569	11.7.38	11.7.57	11.08.13	41598	42021	41069
5	560464	82351	572	41655	41647	41616	11.9.9	11.9.35	11.09.51	40655	40447	41016
6	560463	82353	572	41606	41612	41630	11.1.12	11.11.39	11.11.54	39806	42012	42130
7	560462	82354	572	41655	41633	41607	11.12.56	11.13.15	11.13.35	41555	41233	41807
8	560458	82356	575	41414	41416	41431	11.14.38	11.14.56	11.15.15	42514	42116	41431
9	560457	82356	573	41664	41606	41623	11.17.14	11.17.30	11.17.47	41764	40706	40823
10	560458	82356	573	41511	41564	41524	11.19.41	11.19.59	11.20.17	41811	41846	40824
11	560458	82353	572	41365	41305	41348	11.21.36	11.21.43	11.22.17	41365	40005	41748
12	560461	82358	573	41365	41367	41319	11.23.11	11.23.40	11.23.58	41365	40367	40619
13	560471	82357	571	41568	41595	41509	11.24.56	11.25.17	11.25.32	42368	41295	41509
14	560468	82363	572	41657	41605	41640	11.27.31	11.27.48	11.28.06	41757	41805	40840
15	560456	82353	573	41334	41398	41391	11.30.14	11.30.39	11.30.58	41134	41898	41091
16	560455	82361	575	41587	41598	41515	11.32.56	11.33.12	11.33.39	41887	40988	41115
17	560453	82363	576	41497	41419	41487	11.37.11	11.38.6	11.38.26	40897	40719	41987
18	560456	82364	576	41665	41614	41633	11.39.44	11.40.6	11.40.23	41865	42114	42133
19	560460	82364	574	41439	41483	41413	11.41.31	11.41.48	11.42.07	40839	41483	42213
20	560461	82364	574	41533	41516	41518	11.43.26	11.43.42	11.44.02	39633	41516	41518

21	560467	82364	572	41441	41417	41433	11.44.41	11.45.23	11.45.40	40841	41217	41833
22	560465	82365	574	41390	41309	41350	11.4.63	11.46.49	11.47.11	41390	42209	41250
23	560464	82368	574	41533	41594	41557	11.50.42	11.51.01	11.52.49	41933	41394	40457
24	560464	82366	574	41433	41414	41415	11.53.52	11.54.16	11.05.45	40033	39814	40615
25	560471	82370	572	41657	41615	41616	11.57.24	11.52.85	12.59.41	42057	40115	41116
26	560473	82374	573	41408	41435	41455	12.00.46	12.01.15	12.01.34	41408	40335	40955
27	560464	82374	575	41527	41562	41599	12.2.36	12.02.58	12.03.23	41527	41762	40299
28	560464	82373	575	41428	41414	41454	12.4.13	12.04.33	12.04.48	41328	41414	41654
29	560467	82374	573	41281	41291	41290	12.6.47	12.07.05	12.07.33	41051	41191	41050
30	560467	82380	574	41496	41436	41441	12.8.57	12.09.12	12.09.45	41496	39436	41641
31	560462	82382	573	41496	39436	41641	12.11.3	12.11.24	12.11.43	42030	40710	41351
32	560464	82380	575	42030	40710	41351	12.12.44	12.00.13	12.13.16	40803	41136	41297



## Lampiran 2

### Data Pengamatan Terhadap Waktu

No	Waktu 1				Waktu 2				Waktu 3			
	Jam	Menit	Sekon	Waktu	Jam	Menit	Sekon	Waktu	Jam	Menit	Sekon	Waktu
1	11	1	50	39710	11	2	50	39770	11	3	74	39854
2	11	4	20	39860	11	4	26	39866	11	5	13	39913
3	11	6	11	39971	11	6	27	39987	11	4	20	39860
4	11	7	38	40058	11	7	57	40077	11	8	13	40093
5	11	9	9	40149	11	9	35	40175	11	9	51	40191
6	11	1	12	39672	11	11	39	40299	11	11	54	40314
7	11	12	56	40376	11	13	15	40395	11	13	35	40415
8	11	14	38	40478	11	14	56	40496	11	15	15	40515
9	11	17	14	40634	11	17	30	40650	11	17	47	40667
10	11	19	41	40781	11	19	59	40799	11	20	17	40817
11	11	21	36	40896	11	21	43	40903	11	22	17	40937
12	11	23	11	40991	11	23	40	41020	11	23	58	41038
13	11	24	56	41096	11	25	17	41117	11	25	32	41132
14	11	27	31	41251	11	27	48	41268	11	28	6	41286
15	11	30	14	41414	11	30	39	41439	11	30	58	41458
16	11	32	56	41576	11	33	12	41592	11	33	39	41619
17	11	37	11	41831	11	38	6	41886	11	38	26	41906
18	11	39	44	41984	11	40	6	42006	11	40	23	42023
19	11	41	31	42091	11	41	48	42108	11	42	7	42127
20	11	43	26	42206	11	43	42	42222	11	44	2	42242

21	11	44	41	42281	11	45	23	42323	11	45	40	42340
22	11	4	63	39903	11	46	49	42409	11	47	11	42431
23	11	50	42	42642	11	51	1	42661	11	52	49	42769
24	11	53	52	42832	11	54	16	42856	11	5	45	39945
25	11	57	24	43044	11	52	85	42805	12	59	41	46781
26	12	0	46	43246	12	1	15	43275	12	1	34	43294
27	12	2	36	43356	12	2	58	43378	12	3	23	43403
28	12	4	13	43453	12	4	33	43473	12	4	48	43488
29	12	6	47	43607	12	7	5	43625	12	7	33	43653
30	12	8	57	43737	12	9	12	43752	12	9	45	43785
31	12	11	3	43863	12	11	24	43884	12	11	43	43903
32	12	12	44	43964	12	0	13	43213	12	13	16	43996

### Lampiran 3

#### Hasil Pengolahan Data

Titik	Waktu			Nilai Proton (F)			Total	$\Sigma F$	Pembacaan (Hunf)			Selisih Waktu		
	1	2	3	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>			Hunf 1	Hunf 2	Hunf 3	1	2	3
1	39710	39770	39854	41294	41295	41289	123878	41292.667	39764	40195	41109	-1530	-1100	-180
2	39860	39866	39913	41360	41340	41329	124029	41343	40560	41240	40829	-800	-100	-500
3	39971	39987	39860	41357	41554	41719	124630	41543.333	41357	41554	41719	0	0	0
4	40058	40077	40093	41598	41521	41569	124688	41562.667	41598	42021	41069	0	500	-500
5	40149	40175	40191	41655	41647	41616	124918	41639.333	40655	40447	41016	-1000	-1200	-600
6	39672	40299	40314	41606	41612	41630	124848	41616	39806	42012	42130	-1800	400	500
7	40376	40395	40415	41655	41633	41607	124895	41631.667	41555	41233	41807	-100	-400	200
8	40478	40496	40515	41414	41416	41431	124261	41420.333	42514	42116	41431	1100	700	0
9	40634	40650	40667	41664	41606	41623	124893	41631	41764	40706	40823	100	-900	-800
10	40781	40799	40817	41511	41564	41524	124599	41533	41811	41846	40824	300	282	-700
11	40896	40903	40937	41365	41305	41348	124018	41339.333	41365	40005	41748	0	-1300	400
12	40991	41020	41038	41365	41367	41319	124051	41350.333	41365	40367	40619	0	-1000	-700
13	41096	41117	41132	41568	41595	41509	124672	41557.333	42368	41295	41509	800	-300	0
14	41251	41268	41286	41657	41605	41640	124902	41634	41757	41805	40840	100	200	-800
15	41414	41439	41458	41334	41398	41391	124123	41374.333	41134	41898	41091	-200	500	-300
16	41576	41592	41619	41587	41598	41515	124700	41566.667	41887	40988	41115	300	-610	-400
17	41831	41886	41906	41497	41419	41487	124403	41467.667	40897	40719	41987	-600	-700	500
18	41984	42006	42023	41665	41614	41633	124912	41637.333	41865	42114	42133	200	500	500
19	42091	42108	42127	41439	41483	41413	124335	41445	40839	41483	42213	-600	0	800
20	42206	42222	42242	41533	41516	41518	124567	41522.333	39633	41516	41518	-1900	0	0

21	42281	42323	42340	41441	41417	41433	124291	41430.333	40841	41217	41833	-600	-200	400
22	39903	42409	42431	41390	41309	41350	124049	41349.667	41390	42209	41250	0	900	-100
23	42642	42661	42769	41533	41594	41557	124684	41561.333	41933	41394	40457	400	-200	-1100
24	42832	42856	39945	41433	41414	41415	124262	41420.667	40033	39814	40615	-1400	-1600	-800
25	43044	42805	46781	41657	41615	41616	124888	41629.333	42057	40115	41116	400	-1500	-500
26	43246	43275	43294	41408	41435	41455	124298	41432.667	41408	40335	40955	0	-1100	-500
27	43356	43378	43403	41527	41562	41599	124688	41562.667	41527	41762	40299	0	200	-1300
28	43453	43473	43488	41428	41414	41454	124296	41432	41328	41414	41654	-100	0	200
29	43607	43625	43653	41281	41291	41290	123862	41287.333	41051	41191	41050	-230	-100	-240
30	43737	43752	43785	41496	41436	41441	124373	41457.667	41496	39436	41641	0	-2000	200
31	43863	43884	43903	41496	39436	41641	122573	40857.667	42030	40710	41351	534	1274	-290
32	43964	43213	43996	42030	40710	41351	124091	41363.667	40803	41136	41297	-1227	426	-54

## Lampiran 4

### Data Magnet Dengan Koreksi Harian

<b>Titik</b>	<b>Longitute</b>	<b>Latitute</b>	<b>Koreksi Harian</b>	<b>AMT</b>
1	560511	82383	0	-1962.4
2	560489	82363	81.8444498	-1600.7212
3	560474	82356	142.4093426	-804.26684
4	560469	82354	189.8791235	-259.89675
5	560464	82351	239.5314231	-556.87123
6	560463	82353	-20.73392728	-1451.3604
7	560462	82354	363.3893571	-1125.7063
8	560458	82356	419.043583	264.34115
9	560457	82356	504.1618107	446.82225
10	560458	82356	584.3693715	58.955406
11	560458	82353	647.116783	-117.94917
12	560461	82358	698.9516013	-361.4
13	560471	82357	756.2427161	94.333446
14	560468	82363	840.8153142	363.97973
15	560456	82353	929.7529497	-252.47272
16	560455	82361	1018.144955	-250.25914
17	560453	82363	1157.28052	-289.22663

18	560456	82364	1240.761859	-389.56952
19	560460	82364	1299.144233	-327.58396
20	560461	82364	1361.891645	-1435.3706
21	560467	82364	1402.813869	-1544.5206
22	560465	82365	105.3065254	-635.95069
23	560464	82368	1599.786179	-89.676908
24	560464	82366	1703.455815	-656.70364
25	560471	82370	1819.129304	-773.75444
26	560473	82374	1929.346497	35.713653
27	560464	82374	1989.36576	-264.32993
28	560464	82373	2042.291837	-289.8197
29	560467	82374	2126.318806	-524.26058
30	560467	82380	2197.250662	-473.2052
31	560462	82382	2266	12.233759
32	560464	82380	2321.10859	-253.9124

## Lampiran 5

### Interpretasi Dalam Menentukan Inklinasi Dan Deklinasi

Titik	Waktu 1	Hunf 1	Selisih Waktu	DCR	BD	DC	RDC	IGRT	AMT	Koreksi Harian	Deklinasi	Inklinasi
1	39710	39764	0	0.54563	0	0	39764	41726.4	-1962.4	0	-0.4098	-96,940.00
2	39860	40560	796			434.3212136	40125.68	41726.4	-1600.7212	81.8444498		
3	39971	41357	797			434.8668432	40922.13	41726.4	-804.26684	142.4093426		
4	40058	41598	241			131.4967493	41466.5	41726.4	-259.89675	189.8791235		
5	40149	40655	-943			-514.5287744	41169.53	41726.4	-556.87123	239.5314231		
6	39672	39806	-849			-463.2395858	40269.24	41720.6	-1451.3604	-20.73392728		
7	40376	41555	1749			954.3062846	40600.69	41726.4	-1125.7063	363.3893571		
8	40478	42514	959			523.258849	41990.74	41726.4	264.34115	419.043583		
9	40634	41764	-750			-409.222249	42173.22	41726.4	446.82225	504.1618107		
10	40781	41811	47			25.64459427	41785.36	41726.4	58.955406	584.3693715		
11	40896	41365	-446			-243.3508307	41608.35	41726.3	-117.94917	647.116783		
12	40991	41365	0			0	41365	41726.4	-361.4	698.9516013		
13	41096	42368	1003			547.2665543	41820.73	41726.4	94.333446	756.2427161		
14	41251	41757	-611			-333.3797255	42090.38	41726.4	363.97973	840.8153142		
15	41414	41134	-623			-339.9272815	41473.93	41726.4	-252.47272	929.7529497		
16	41576	41887	753			410.859138	41476.14	41726.4	-250.25914	1018.144955		
17	41831	40897	-990			-540.1733686	41437.17	41726.4	-289.22663	1157.28052		
18	41984	41865	968			528.169516	41336.83	41726.4	-389.56952	1240.761859		
19	42091	40839	-1026			-559.8160366	41398.82	41726.4	-327.58396	1299.144233		
20	42206	39633	-1206			-658.0293764	40291.03	41726.4	-1435.3706	1361.891645		

<b>21</b>	42281	40841	1208			659.1206357	40181.88	41726.4	-1544.5206	1402.813869		
<b>22</b>	39903	41390	549			299.5506863	41090.45	41726.4	-635.95069	105.3065254		
<b>23</b>	42642	41933	543			296.2769083	41636.72	41726.4	-89.676908	1599.786179		
<b>24</b>	42832	40033	-1900			-1036.696364	41069.7	41726.4	-656.70364	1703.455815		
<b>25</b>	43044	42057	2024			1104.354443	40952.65	41726.4	-773.75444	1819.129304		
<b>26</b>	43246	41408	-649			-354.1136528	41762.11	41726.4	35.713653	1929.346497		
<b>27</b>	43356	41527	119			64.92993017	41462.07	41726.4	-264.32993	1989.36576		
<b>28</b>	43453	41328	-199			-108.5803034	41436.58	41726.4	-289.8197	2042.291837		
<b>29</b>	43607	41051	-277			-151.1394173	41202.14	41726.4	-524.26058	2126.318806		
<b>30</b>	43737	41496	445			242.8052011	41253.19	41726.4	-473.2052	2197.250662		
<b>31</b>	43863	42030	534			291.3662413	41738.63	41726.4	12.233759	2266		
<b>32</b>	43964	40803	-1227			-669.487599	41472.5	41726.4	-253.9124	2321.10859		



## Lampiran 6

### Pembuatan Penampang Untuk Model Penampang Anomali A-A

UTM X (Longitude)	UTM Y (Latitude)	Suseptibilitas	Jarak	Line
560455,7227	82361,67412	9590,77483	0	1
560455,7956	82361,66193	9579,42714	0,073921885	1
560455,9577	82361,63482	9554,62867	0,238299482	1
560456,5492	82361,53591	9732,47366	0,838052675	1
560457,1408	82361,437	10007,1804	1,437805869	1
560457,7323	82361,33808	10309,3458	2,037559062	1
560458,3239	82361,23917	10679,5354	2,637312256	1
560458,9154	82361,14026	11181,8689	3,237065449	1
560459,3379	82361,0696	11667,7003	3,665466078	1
560459,5069	82361,04134	11857,8881	3,836818643	1
560460,0985	82360,94243	11715,4119	4,436571837	1
560460,69	82360,84352	8434,26629	5,03632503	1
560461,2816	82360,7446	6266,43168	5,636078224	1
560461,8731	82360,64569	7233,01582	6,235831417	1
560462,4646	82360,54678	8407,18933	6,835584611	1
560462,8803	82360,47727	8984,16414	7,25701027	1
560463,0562	82360,44786	9232,04089	7,435337804	1
560463,6477	82360,34895	9741,03687	8,035090998	1
560464,2393	82360,25004	9845,50562	8,634844191	1
560464,8308	82360,15112	9311,88248	9,234597385	1
560465,4223	82360,05221	7550,96619	9,834350579	1

560466,0139	82359,9533	4661,94834	10,43410377	1
560466,4227	82359,88494	2538,3364	10,84855446	1
560466,6054	82359,85438	1599,5448	11,03385697	1
560467,197	82359,75547	559,629207	11,63361016	1
560467,7885	82359,65656	3978,84347	12,23336335	1
560468,3801	82359,55764	6792,07819	12,83311655	1
560468,9716	82359,45873	6587,1611	13,43286974	1
560469,5631	82359,35982	6113,89826	14,03262293	1
560469,965	82359,29261	5991,72413	14,44009866	1
560470,1547	82359,2609	5932,08658	14,63237613	1
560470,7462	82359,16199	5987,76902	15,23212932	1
560471,3378	82359,06308	6291,03116	15,83188251	1
560471,9293	82358,96416	6794,39195	16,43163571	1
560472,5208	82358,86525	7350,02823	17,0313889	1
560473,1124	82358,76634	7789,02823	17,6311421	1
560473,5074	82358,70028	7934,93861	18,03164285	1
560473,7039	82358,66742	8006,74754	18,23089529	1
560474,2955	82358,56851	7991,78033	18,83064848	1
560474,887	82358,4696	7792,26561	19,43040168	1
560475,4785	82358,37068	7473,95822	20,03015487	1
560476,0701	82358,27177	7086,4835	20,62990806	1
560476,6616	82358,17286	6663,08445	21,22966126	1
560477,0498	82358,10795	6372,70473	21,62318704	1
560477,2532	82358,07394	6220,25764	21,82941445	1
560477,8447	82357,97503	5768,53159	22,42916764	1
560478,4362	82357,87612	5312,55203	23,02892084	1
560479,0278	82357,7772	4855,61353	23,62867403	1
560479,6193	82357,67829	4398,32549	24,22842722	1
560480,2109	82357,57938	3941,97629	24,82818042	1
560480,5921	82357,51563	3648,47389	25,21473123	1
560480,8024	82357,48046	3486,29438	25,42793361	1
560481,3939	82357,38155	3031,85387	26,0276868	1
560481,9855	82357,28264	2578,56038	26,62744	1
560482,577	82357,18372	2126,61607	27,22719319	1
560483,1686	82357,08481	1675,57631	27,82694639	1
560483,7601	82356,9859	1225,23939	28,42669958	1
560484,1345	82356,9233	940,430369	28,80627543	1
560484,3516	82356,88698	774,88522	29,02645277	1
560484,9432	82356,78807	323,725759	29,62620597	1
560485,5347	82356,68916	-129,252066	30,22595916	1
560486,1263	82356,59024	-585,699712	30,82571235	1

560486,7178	82356,49133	-1047,5704	31,42546555	1
560487,3093	82356,39242	-1517,52476	32,02521874	1
560487,6768	82356,33097	-1814,98668	32,39781962	1
560487,9009	82356,2935	-1996,54785	32,62497193	1
560488,4924	82356,19459	-2478,73078	33,22472513	1
560489,084	82356,09568	-2929,94223	33,82447832	1
560489,6755	82355,99676	-3290,73679	34,42423151	1
560490,267	82355,89785	-3560,52877	35,02398471	1
560490,8586	82355,79894	-3795,45595	35,6237379	1
560491,2192	82355,73864	-3937,32427	35,98936381	1
560491,4501	82355,70002	-4028,01238	36,2234911	1
560492,0417	82355,60111	-4265,66308	36,82324429	1
560492,6332	82355,5022	-4507,47667	37,42299748	1
560493,2247	82355,40328	-4752,19323	38,02275068	1
560493,8163	82355,30437	-4997,45821	38,62250387	1
560494,4078	82355,20546	-5242,69251	39,22225706	1
560494,7616	82355,14631	-5388,35117	39,58090801	1
560494,9994	82355,10654	-5486,16722	39,82201026	1
560495,5909	82355,00763	-5728,08081	40,42176345	1
560496,1824	82354,90872	-5966,96874	41,02151664	1
560496,774	82354,8098	-6203,49376	41,62126984	1
560497,3655	82354,71089	-6436,41613	42,22102303	1
560497,9571	82354,61198	-6666,76649	42,82077622	1
560498,3039	82354,55398	-6799,66471	43,1724522	1
560498,5486	82354,51306	-6893,42875	43,42052942	1
560499,1402	82354,41415	-7117,77701	44,02028261	1
560499,7317	82354,31524	-7338,63658	44,62003581	1
560500,3232	82354,21632	-7557,65305	45,219789	1
560500,9148	82354,11741	-7773,81285	45,81954219	1
560501,5063	82354,0185	-7989,07063	46,41929539	1
560501,8463	82353,96165	-8111,73913	46,76399639	1
560502,0979	82353,91958	-8202,58278	47,01904858	1
560502,6894	82353,82067	-8416,66604	47,61880177	1
560503,2809	82353,72176	-8630,63497	48,21855497	1
560503,8725	82353,62284	-8847,1598	48,81830816	1
560504,464	82353,52393	-9065,95618	49,41806135	1
560505,0556	82353,42502	-9290,10394	50,01781455	1
560505,3887	82353,36932	-9419,35236	50,35554058	1
560505,6471	82353,3261	-9519,80533	50,61756774	1
560506,2386	82353,22719	-9758,52767	51,21732093	1
560506,8302	82353,12828	-10006,8753	51,81707413	1

560507,4217	82353,02936	-10268,4587	52,41682732	1
560508,0133	82352,93045	-10544,3832	53,01658052	1
560508,6048	82352,83154	-10837,8811	53,61633371	1
560508,931	82352,77699	-11010,0747	53,94708478	1
560509,1963	82352,73262	-11150,2714	54,2160869	1
560509,7879	82352,63371	-11483,4797	54,8158401	1
560510,2997	82352,54813	-11791,3193	55,33472902	1

## Lampiran 7

### Pembuatan Penampang Untuk Model Penampang Anomali B-B

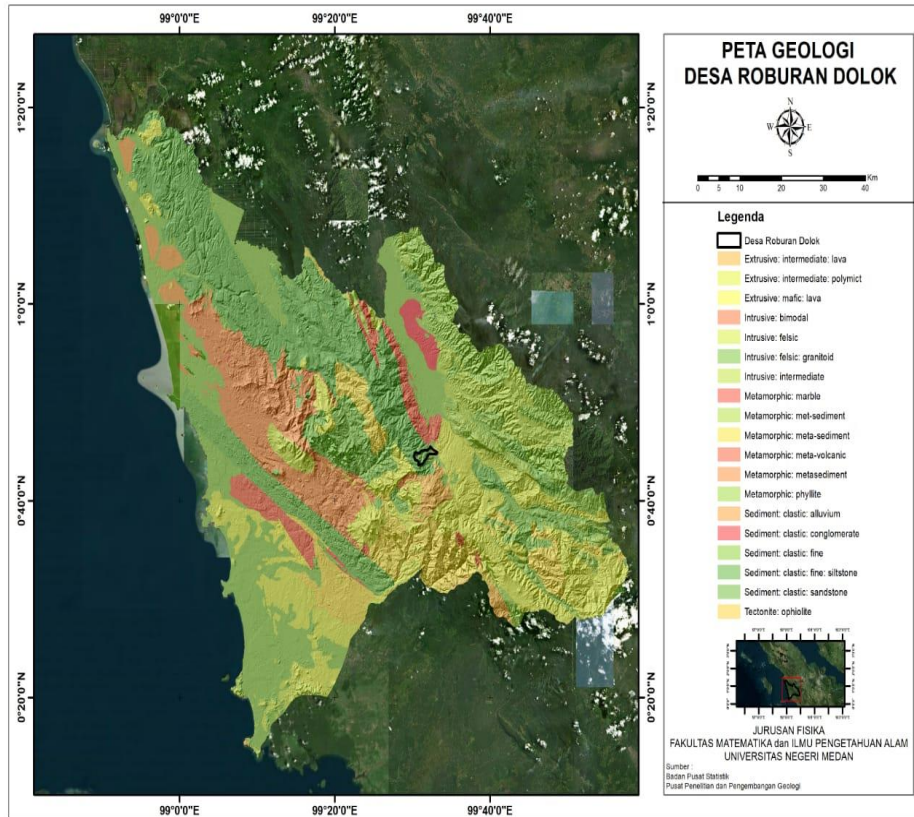
UTM X (Longitude)	UTM Y (Latitude)	Suspensitas	Jarak	Line
560456,4384	82351,83237	12387,43051	0	1
560456,5492	82351,92517	12584,29414	0,144537598	1
560456,8591	82352,18466	13037,96263	0,548703103	1
560457,1408	82352,42055	13407,11872	0,916107472	1
560457,5664	82352,77699	13366,73752	1,471277421	1
560457,7323	82352,91593	13321,06031	1,687677345	1
560458,2737	82353,36932	12887,19706	2,393851739	1
560458,3239	82353,4113	12854,89989	2,459247219	1
560458,9154	82353,90668	12322,21222	3,230817092	1
560458,981	82353,96165	12238,40001	3,316426056	1
560459,5069	82354,40206	11666,52836	4,002386966	1
560459,6883	82354,55398	11273,81876	4,239000374	1
560460,0985	82354,89744	10418,11643	4,77395684	1
560460,3957	82355,14631	9418,805566	5,161574692	1
560460,69	82355,39282	8398,13569	5,545526713	1
560461,103	82355,73864	7153,123539	6,08414901	1
560461,2816	82355,8882	6598,237171	6,317096587	1
560461,8103	82356,33097	6233,628116	7,006723328	1
560461,8731	82356,38358	6200,397981	7,08866646	1
560462,4646	82356,87896	7023,545709	7,860236334	1
560462,5176	82356,9233	7114,966265	7,929297645	1
560463,0562	82357,37433	8087,967989	8,631806208	1
560463,2249	82357,51563	8319,413511	8,851871963	1
560463,6477	82357,86971	8906,318657	9,403376081	1
560463,9322	82358,10795	9071,165631	9,774446281	1
560464,2393	82358,36509	9247,258965	10,17494595	1
560464,6395	82358,70028	8988,089123	10,6970206	1
560464,8308	82358,86047	8866,376608	10,94651583	1
560465,3468	82359,29261	7522,51614	11,61959492	1
560465,4223	82359,35585	7323,824908	11,7180857	1
560466,0139	82359,85123	4636,822075	12,48965558	1
560466,0542	82359,88494	4436,336946	12,54216923	1
560466,6054	82360,34661	1624,678299	13,26122545	1
560466,7615	82360,47727	1260,908977	13,46474355	1
560467,197	82360,84198	104,5481927	14,03279532	1
560467,4688	82361,0696	1700,913483	14,38731787	1

560467,7885	82361,33736	3600,2856	14,8043652	1
560468,1761	82361,66193	5089,630586	15,30989219	1
560468,3801	82361,83274	5751,709372	15,57593507	1
560468,8834	82362,25426	4841,579469	16,23246651	1
560468,9716	82362,32812	4714,286106	16,34750494	1
560469,5631	82362,8235	4650,616534	17,11907482	1
560469,5907	82362,84659	4651,931587	17,15504082	1
560470,1547	82363,31888	4774,810039	17,89064469	1
560470,298	82363,43892	4826,67004	18,07761514	1
560470,7462	82363,81426	5006,906995	18,66221456	1
560471,0053	82364,03125	5211,230139	19,00018946	1
560471,3378	82364,30964	5480,171998	19,43378444	1
560471,7126	82364,62358	6005,193412	19,92276378	1
560471,9293	82364,80501	6319,066675	20,20535431	1
560472,42	82365,21591	7063,790652	20,84533809	1
560472,5208	82365,30039	7218,537047	20,97692419	1
560473,1124	82365,79577	7826,117727	21,74849406	1
560473,1273	82365,80824	7829,802967	21,76791241	1
560473,7039	82366,29115	7941,424948	22,52006393	1
560473,8346	82366,40057	7877,784861	22,69048673	1
560474,2955	82366,78653	7621,198778	23,29163381	1
560474,5419	82366,9929	7417,833446	23,61306105	1
560474,887	82367,28191	7119,268774	24,06320368	1
560475,2492	82367,58523	6797,210554	24,53563537	1
560475,4785	82367,77729	6590,597806	24,83477355	1
560475,9565	82368,17756	6183,562668	25,45820968	1
560476,0701	82368,27266	6087,2261	25,60634343	1
560476,6616	82368,76804	5610,244081	26,3779133	1
560476,6638	82368,76989	5608,539477	26,380784	1
560477,2532	82369,26342	5157,870131	27,14948317	1
560477,3711	82369,36222	5069,966745	27,30335832	1
560477,8447	82369,7588	4722,107208	27,92105305	1
560478,0784	82369,95455	4553,866252	28,22593264	1
560478,4362	82370,25418	4300,043145	28,69262292	1
560478,7858	82370,54688	4054,452469	29,14850695	1
560479,0278	82370,74956	3886,610502	29,46419279	1
560479,4931	82371,1392	3566,883038	30,07108127	1
560479,6193	82371,24494	3481,203765	30,23576267	1
560480,2004	82371,73153	3087,729487	30,99365559	1
560480,2109	82371,74032	3080,705842	31,00733254	1
560480,8024	82372,23569	2686,030696	31,77890242	1

560480,9077	82372,32386	2615,972172	31,91622991	1
560481,3939	82372,73107	2295,165312	32,55047229	1
560481,615	82372,91619	2150,182932	32,83880423	1
560481,9855	82373,22645	1908,879147	33,32204216	1
560482,3223	82373,50852	1690,517882	33,76137854	1
560482,577	82373,72183	1526,468	34,09361204	1
560483,0296	82374,10085	1236,64807	34,68395286	1
560483,1686	82374,21721	1148,147152	34,86518191	1
560483,7369	82374,69318	788,5892042	35,60652718	1
560483,7601	82374,71259	773,9969947	35,63675178	1
560484,3516	82375,20797	404,0595991	36,40832166	1
560484,4442	82375,28551	346,6587228	36,5291015	1
560484,9432	82375,70334	38,44405282	37,17989153	1
560485,1516	82375,87784	-89,05364613	37,45167582	1
560485,5347	82376,19872	-322,8481262	37,9514614	1
560485,8589	82376,47017	-518,5745006	38,37425013	1
560486,1263	82376,6941	-679,6388955	38,72303128	1
560486,5662	82377,0625	-941,6956288	39,29682445	1
560486,7178	82377,18948	-1031,854444	39,49460115	1
560487,2735	82377,65483	-1358,314988	40,21939877	1
560487,3093	82377,68486	-1379,346681	40,26617103	1
560487,9009	82378,18024	-1721,926097	41,0377409	1
560487,9808	82378,24716	-1767,568198	41,14197309	1
560488,4924	82378,67562	-2059,551327	41,80931077	1
560488,6881	82378,83949	-2169,587978	42,0645474	1
560489,084	82379,171	-2391,970462	42,58088065	1
560489,3954	82379,43182	-2564,255727	42,98712172	1
560489,6755	82379,66637	-2719,169266	43,35245052	1
560490,1027	82380,02415	-2951,530414	43,90969604	1
560490,267	82380,16175	-3040,8542	44,12402039	1
560490,81	82380,61648	-3331,022715	44,83227036	1
560490,8586	82380,65713	-3356,973602	44,89559027	1
560491,4501	82381,15251	-3667,390052	45,66716014	1
560491,5174	82381,20881	-3701,996303	45,75484468	1
560492,0417	82381,64789	-3971,862225	46,43873001	1
560492,2247	82381,80114	-4064,15112	46,67741899	1
560492,6332	82382,14327	-4270,457083	47,21029989	1
560492,7634	82382,25234	-4334,839747	47,38017701	1

## Lampiran 8

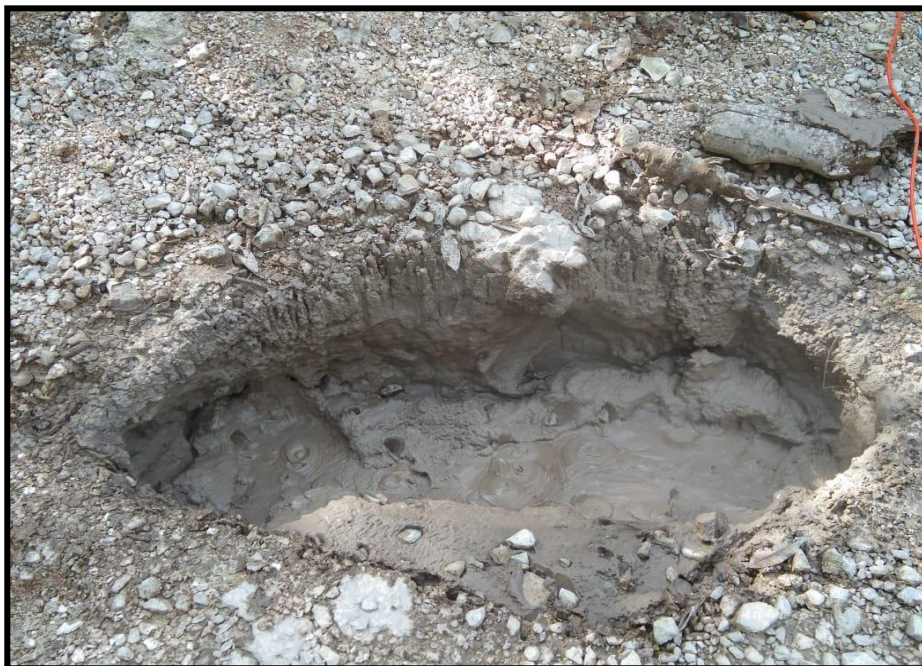
### Peta Geologi Daerah Penelitian





## Lampiran 9

### Dokumentasi Penelitian



Sumber panas yang terdapat pada daerah penelitian  
(Panyabungan Selatan)



