

**INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH POTENSI PANAS BUMI BERDASARKAN DATA
GEOMAGNETIK**

**(Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang
Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep)**

SKRIPSI

Oleh:

MOH. IQBAL FANANI

NIM. 10640064



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2014**

**INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH
POTENSI PANAS BUMI BERDASARKAN DATA GEOMAGNETIK
(Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan
Batang-Batang Kabupaten Sumenep)**

SKRIPSI

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

**Oleh:
MOH. IQBAL FANANI
NIM. 10640064**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2014**

HALAMAN PERSETUJUAN

**INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH
POTENSI PANAS BUMI BERDASARKAN DATA GEOMAGNETIK
(Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan
Batang-Batang Kabupaten Sumenep)**

SKRIPSI

Oleh:

MOH. IQBAL FANANI

NIM. 10640064

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 26 November 2014

Pembimbing I

Pembimbing II

Irjan, M.Si

NIP. 19691231 200604 1 003

Drs. M. Tirono, M.Si

NIP. 19641211 199111 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si

NIP. 19811119 200801 2 009

HALAMAN PENGESAHAN

INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH POTENSI PANAS BUMI BERDASARKAN DATA GEOMAGNETIK (Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep)

SKRIPSI

Oleh:

MOH. IQBAL FANANI

NIM. 10640064

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 26 November 2014

Penguji Utama:	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji:	<u>Agus Krisbiantoro, M.T</u> NIPT. 20140201 1 242	
Sekretaris Penguji:	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji:	<u>Drs. M. Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

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

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN TULISAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Moh. Iqbal Fanani

NIM : 10640064

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil-alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil contekan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 03 November 2014

Yang membuat pernyataan,

Moh. Iqbal Fanani

NIM. 10640064

Motto

﴿٧﴾ وَمَنْ يَعْمَلْ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ شَرًّا يَرَهُ ﴿٨﴾

Barangsiapa yang mengerjakan kebaikan seberat dzarrahpun, niscaya

Dia akan melihat (balasan)nya.(7)

dan Barangsiapa yang mengerjakan kejahatan sebesar dzarrahpun,

niscaya Dia akan melihat (balasan)nya pula.(8)

(QS. Al Zalzalah : 7-8)

وَعَنِ ابْنِ عَبَّاسٍ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُمَا، قَالَ: قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ لَا شَجَّ عَبْدُ الْقَيْسِ : (إِنَّ فِيكَ خَصْلَتَيْنِ يُحِبُّهُمَا اللَّهُ : الْجُلْمُ وَالْأَنَاءُ). رواه مسلم

Ibnu Abbas Ra. Meriwayatkan, Rasulullah SAW berkata kepada Asyaj Abdul Qais, "Sungguh, dalam dirimu ada dua macam perkara yang dicintai oleh Allah: sabar dan tidak tergesa-gesa (dalam bertindak)".

(HR. Muslim)

Halaman Persembahan

Skripsi ini saya persembahkan untuk kedua orang tuaku Sahawi dan Innani, Adikku Iqbil Qouly, serta Emba Tohet, Emba Enna, Lek Iik, Lek Errek, Dek Isom, Dek Ayman, Om Rais, Om Jatim, Lek Ika, Lek Sitti, Bok Aji, Bok Erra, Nde Titin dan Nde Ugik, yang selalu mendoakan dan memberi motivasi serta selalu mendukung apa yang saya kerjakan selama di kampus. Terima kasih untuk segalanya. Saya minta maaf yang tiada batas atas segala perbuatan saya yang selalu mengecewakan, tentang kabar yang yang tidak enak di dengar selama saya di Malang

Kepada guru ngaji semasa kecilku Ust. Nariyanto, Yu Enni, H. Badruddin dan tak lupa pula kepada pengasuh Pondok Pesantren Al-Karimiyyah, Drs. KH. Abya Busro Karim, M.Si, dengan penuh rasa hormat, terima kasih atas segala Ilmu yang telah diberikan kepadaku

Terima kasih kepada semua dosen Fisika yang telah memberikan, mengamalkan Ilmu dan motivasinya selama perkuliahan dan tak lupa pula kepada teman-teman fisika'10 dan '11 yang selalu memberikan semangatnya

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat Sehat wal afiyat sehingga penulis dapat menyumbangkan hasil karya ilmiah dan pemikiran melalui sebuah tulisan kecil yang diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dengan judul INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH POTENSI PANAS BUMI BERDASARKAN DATA GEOMAGNETIK (Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep).

Tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan motivasi dan inspirasi hingga skripsi ini dapat diselesaikan, semoga Allah SWT membalas dengan segala kebaikan yang telah membantu dengan tulus dan ikhlas kepada:

1. Prof. DR. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. DR. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN)Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Irjan M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberikan petunjuk, pengarahan dengan sabar dan teliti serta waktu yang diluangkan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

5. Drs. M. Tirono, M.Si selaku dosen pembimbing Integrasi Sains dan Islam yang telah membantu, memberikan masukan dan arahan terhadap permasalahan integrasi dalam skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Fisika, Dosen Agama, Ustadz-Ustadzah PKPBA dan Ma'had Sunan Ampel al-Aly yang telah mengamalkan ilmunya kepada penulis selama menimba ilmu di UIN Maliki Malang.
7. Kedua Orang tua, Bapak Sahawi dan Ibu Innani serta adikku tersayang Iqbil Qouly yang telah memberikan motivasi dan mendukung penulis menyelesaikan skripsi.
8. Kepala Desa Lombang dan Bapak Bunahwi yang telah memberikan informasi dan izin tempat penelitian skripsi.
9. Teman-teman tercinta tim Pengambilan data Mas Amin, Munir, Dina, Nasih, Atok, Salma, Isna dan Wisno, terimakasih atas keikhlasan dan kerja kerasnya dalam pengambilan data.
10. Seluruh Teman-Teman GEOPHYSICS '09, '10 dan '11 (Mas Amin, Mas Mifta, Fendi, Taufik, Munir, Yasin, Faisol, Dani, Dina, Nita, Salma, dan Izzati), seluruh Fisika Angkatan 2010 yang tidak disebutkan satu persatu, terimakasih atas semangat dan dukungannya karena tanpa adanya kalian penulis tidak akan bisa mengerjakan skripsi ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, kami ucapkan terimakasih banyak atas bantuan, dan motifasinya.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan semua amal ibadah atas bantuan dan bimbingan semua pihak-pihak selama penulisan skripsi ini. Penulis

berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis pada khususnya.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam tulisan-tulisan kecil ini, oleh karena itu, penulis masih membutuhkan kritik dan saran sebagai pengembangan ilmu pengetahuan agar dapat bermanfaat untuk kita semua.

Malang, 01 November 2014

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Struktur Bumi dalam Al-Qur'an	7
2.2 Panas Bumi	14
2.2.1 Sistem Panas Bumi	15
2.2.2 Hidrotermal (<i>Hydrothermal</i>).....	17
2.2.3 Daur Hidrologi Sistem Panas Bumi	19
2.3 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian.....	20
2.3.1 Geografis Wilayah	20
2.3.2 Morfologi	21
2.3.3 Stratigrafi	23
2.3.4 Struktur	26
2.4 Medan Magnet Bumi	27
2.5 Teori Dasar Magnetik	29
2.5.1 Gaya Magnetik.....	29
2.5.2 Kuat Medan Magnet	30
2.5.3 Momen Magnetik.....	30
2.5.4 Intensitas Kemagnetan	31
2.5.5 Susceptibilitas Kemagnetan	32
2.5.6 Induksi Magnetik	36
2.6 Pengukuran Medan Magnet.....	36
2.6.1 Elemen Medan Magnet Bumi	36
2.6.2 Anomali Medan Magnetik Total	40
2.7 Tranformasi Medan	42
2.7.1 Reduksi ke Kutub	42
2.7.2 Kontinuasi ke Atas	43

2.8 Magnetometer (<i>Proton Precision Magnetometer</i>).....	44
BAB III METODE PENELITIAN	46
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	46
3.2 Data Penelitian.....	47
3.3 Peralatan Penelitian	47
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	48
3.4.1 Akuisis Data.....	48
3.4.2 Tahap Pengolahan Data	49
3.4.2.1 Koreksi Harian (Diurnal).....	50
3.4.2.2 Koreksi IGRF	51
3.4.2.3 Reduksi Bidang Datar.....	52
3.4.2.4 Kontinuasi ke Atas.....	52
3.4.2.5 Reduksi ke Kutub	53
3.4.2.6 Pemodelan Geologi.....	53
3.5 Tahap Interpretasi Data.....	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	57
4.1 Akuisisi Data	57
4.2 Penolahan Data	58
4.2.1 Koreksi Harian.....	60
4.2.2 Koreksi IGRF (<i>International Geomagnetic Reference Field</i>)	62
4.3 Interpretasi Kualitatif.....	65
4.3.1 Reduksi ke Bidang Datar	65
4.3.2 Kontinuasi ke Atas (<i>Upward Continuation</i>).....	67
4.3.3 Reduksi ke Kutub (<i>Reduction to the Pole</i>)	71
4.4 Interpretasi Kuantitatif.....	74
4.4.1 Penampang Melintang Lintasan AB.....	75
4.4.2 Penampang Melintang Lintasan CD	79
4.4.3 Penampang Melintang Lintasan EF.....	83
4.4.4 Penampang Melintang Lintasan GH.....	87
4.4.5 Model Penampang 3 Dimensi Lintasan AB, CD, EF dan GH.....	91
4.5 Analisa Potensi Panas Bumi (Geothermal) Desa Lombang	93
4.6 Panas Bumi (Geothermal) dalam Kajian Al Qur'an dan Hadist.....	96
4.6.1 Proses Pembentukan Panas Bumi (Geothermal).....	96
4.6.2 Pemanfaatan Panas Bumi (Geothermal)	102
4.6.3 Pemodelan Struktur Geologi Perspektif al-Qur'an dan al-Hadist.....	104
BAB V PENUTUP.....	107
5.1 Kesimpulan	107
5.1 Saran	108

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tujuh Lapisan Bumi.....	10
Gambar 2.2	Model Zona Subduksi	15
Gambar 2.3	Model Sistem Hidrotermal	17
Gambar 2.4	Daur Hidrologi Panas Bumi	20
Gambar 2.5	Peta Sketsa Fisiografi Jawa Timur dan Madura.....	22
Gambar 2.6	Lembar Geologi Daerah Penelitian	23
Gambar 2.7	Medan Magnet Bumi.....	28
Gambar 2.8	Ilustrasi diagram pada momen magnetik dalam menentukan gaya terhadap batang magnet dalam sebuah medan magnet	31
Gambar 2.9	Unsur-Unsur Medan Magnet Bumi.....	37
Gambar 2.10	Potensial Magnetik di Titik P(x,y,z) dari Benda Temagnetisasi.....	40
Gambar 2.11	Diagram kotak dari PPM.....	44
Gambar 3.1	Lokasi Daerah Penelitian.....	46
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	56
Gambar 4.1	Kontur Topografi Daerah Penelitian	59
Gambar 4.2	Kontur Intensitas Medan Magnetik Total dengan Interval Kontur 1000 nT	60
Gambar 4.3	Kontur Hasil Koreksi Diurnal dengan Interval Kontur 1000 nT	62
Gambar 4.4	Kalkulator IGRF.....	63
Gambar 4.5	Kontur Anomali Magnetik Total dengan Interval Kontur 1000 nT 64	
Gambar 4.6	Kontur Anomali Magnet Total Setelah Reduksi ke Bidang Datar dengan Interval Kontur 1000 nT	66
Gambar 4.7	Kontur Anomali Regional Hasil Kontinuasi ke Atas Pada Ketinggian 2100 mdpl.....	68
Gambar 4.8	Kontur Anomali Residual Hasil Kontinuasi ke Atas Pada Ketinggian 2100 mdpl.....	69
Gambar 4.9	Kontur Anomali Residual Hasil Reduksi ke Kutub dengan Interval Kontur 1000 nT	72
Gambar 4.10	Irisan Kontur Anomali Lokal Lintasan AB, Lintasan CD, dan Lintasan EF	75
Gambar 4.11	Model Penampang Anomali Lokal Lintasan AB	76
Gambar 4.12	Model Penampang Anomali Lokal Lintasan CD	80
Gambar 4.13	Model Penampang Anomali Lokal Lintasan EF	84
Gambar 4.14	Model Penampang Anomali Lokal Lintasan GH.....	88
Gambar 4.15	Model 3D Penampang Lintasan AB, CD, EF dan GH.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian.....	25
Tabel 2.2 Daftar <i>Susceptibilitas</i> Magnetic Beberapa Batuan.....	34
Table 2.3 Daftar <i>Susceptibilitas</i> Beberapa Mineral	35



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Penelitian Geomagnetik
- Lampiran 2 Data Inputan ke Software Surfer 10 (Anomali Magnet Total)
- Lampiran 3 Data Inputan ke Software *Mag2dc*
- Lampiran 4 Reduksi ke Bidang Datar
- Lampiran 5 Kontinuasi ke Atas dan Reduksi ke Kutub
- Lampiran 6 Gambar Pengambilan Data



ABSTRAK

Fanani, Moh. Iqbal. 2014. **Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi Berdasarkan Data Geomagnetik** (*Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep*). Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (I) Irjan, M.Si (II) Drs. M. Tirono, M.Si

Kata Kunci: Anomali Magnet Lokal, Struktur Geologi, Air Panas

Berdasarkan Penelitian sebelumnya tomografi listrik (Arifin, 2013) yang telah dilakukan di daerah panas bumi Lombang memberikan informasi mengenai distribusi fluida panas bumi (*hydrothermal*) yang merata di sekitar sumber air panas desa Lombang. Prospek *geothermal* di desa Lombang ini diperkirakan merupakan sistem panas bumi *geopressured (geopressured system)* yang terasosiasi dengan depresi zona cekungan sedimen yang memanjang dari Jawa Barat ke Jawa Timur, yaitu: Bogor - Serayu Utara – Kendeng – Zona depresi selat Madura.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui anomali magnetik lokal dan struktur geologi potensi geotermal yang ada di Desa Lombang. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat magnetometer jenis *Proton Precession Magnetometer (PPM)* dengan tipe ENVI SCIENTRIX 851 selama dua hari. Luas daerah penelitian 1500 m x 2100 meter dengan jarak anatar titik pengukuran adalah 300 meter dan didapatkan 47 titik ukur. Interpretasi dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif, untuk kualitatif dilakukan dengan software *Surfer-10* sedangkan untuk interpretasi kuantitatif dilakukan dengan software *mag2DC*.

Hasil interpretasi kualitatif diperoleh peta kontur anomali lokal yang memiliki variasi nilai anomali antara -8000 nT s/d 1300 nT. Anomali magnetik rendah hingga sedang menunjukkan zona demagnetisasi hidrotermal (menurunnya sifat kemagnetan batuan akibat panas) yang teridentifikasi pada sumur 1 dan 4 untuk anomali rendah, dan sumur 2 dan sumur 3, untuk anomali sedang. Berdasarkan hasil interpretasi kuantitatif terdapat beberapa batuan yang terdiri dari batuan gamping, batuan lempung, batuan dolomit, dan batuan pasir dengan sisipan berupa mineral kuarsa, gipsum, kerikil dan kerakal. Dari empat hasil pemodelan penampang AB, CD, EF dan GH, terdapat penampang AB yang cukup memberikan informasi tentang akibat terjadinya sumber air panas. Hasil pemodelan tersebut memberikan informasi terindikasinya suatu patahan yang berada pada kedalaman 750 meter yang menunjukkan batuan gamping lempungan dengan nilai suseptibilitas (8,1228 SI dan 13,304 SI) dan batu pasir (20,835 SI, 20,429 SI dan 21,024 SI).

ABSTRACT

Fanani, Moh. Iqbal. 2014. **Structural Interpretation of Under surface of Geothermal Potential Areas Based on Geomagnetic Data** (Case Study in Hot Water Springs Area of Batang-Batang Village Lombang Sumenep). Department of Physics, Faculty of Science and Technology. Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang.
Supervisor: (I) Irjan, M.Si (II) Drs. M. Tirono, M.Si

Keywords: Local Magnetic Anomaly, Structural Geology, Hot Water

Based on previous studies of electrical tomography (Arifin, 2013) has been done in the area of geothermal Lombang provided information about the distribution of the geothermal fluid (*hydrothermal*) are evenly distributed around the hot springs Lombang village. Geothermal prospects there was estimated to constitute geopressured geothermal systems (geopressured system) associated with sedimentary basin depression zone that extended from West Java to East Java, namely: Bogor - North Serayu - Kendeng - depression Zone of Madura Strait.

This study aimed to determine the local magnetic anomalies, geology structural and geothermal potential in rural areas Lombang. Data were collected by using a magnetometer namely *proton precession Magnetometer* (PPM) with the type of ENVI SCIENTRIX 851 for two days. With a broad research area 1500 x 2100 meters and measuring points was made to the distance between points was 300 meters, so we got 47 of measuring points. Interpretation was done qualitatively and quantitatively, for qualitative was done with software *Surfer-10* while for quantitative interpretation was done by *mag2DC* software.

The Results of qualitative interpretation was obtained contour map of local anomaly has a variety of anomalous values between -8000 nT s / d 1300 nT. Low magnetic anomalies to medium indicated zones of hydrothermal demagnetization (decreasing of rocks magnetic properties caused heat) were identified in wells 1 and 4 for low anomaly, and wells 2 and 3 wells, for the medium anomaly. Based on the results of the quantitative interpretation, there were some of the rocks composed of limestone, clay rock, dolomite rock, and sandstone with inserts in the form of the quartz mineral, gypsum, gravel and gravel. From the four cross-sectional modeling results AB, CD, EF and GH, there was a considerable cross-section of AB that provided information about the result of the hot springs. The modeling results provided information of Indication of a fault that was located at a depth of 750 meters which indicated limestone with susceptibility value (8.1228 SI and SI 13.304) and sandstone (SI 20.835, 20.429 and 21.024 SI SI).

الملخص

فناي، محمد إقبال. ٢٠١٤. تفسير البناية السطحية للمنطقة المحتملة على الحرارية الأرضية استناداً للبيانات الجيومغناطيسية (دراسة الينابيع الساخنة الإقليمية في قرية لومبانج لمنطقة باتانج باتانج بسومب). قسم الفيزياء بكلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانج.
المشرف: (١) عرجان، الماجستير (٢) محمد ترانو، الماجستير

الكلمات الرئيسية: الشذوذ المغناطيسية المحلية، الجيولوجيا البناية، المياه الساخنة

استناداً إلى الدراسة السابقة من التصوير المقطعي الكهربائي (عارفين، ٢٠١٣) الذي قد تم دراستها في منطقة الحرارة الأرضية لومبانج بتوفير المعلومات حول توزيع السوائل الحرارية الأرضية (المياه الحارة) موزعةً متساويةً في جميع أنحاء الينابيع الساخنة في قرية لومبانج. ويقدر آفاق الطاقة الحرارية الأرضية في قرية لومبانج لتشكيل نظام الطاقة الحرارية الأرضية المضغوطة (نظام الجيولوجيا المضغوطة) المرتبطة مع الاكتئاب طاقة الحوض الرسوبي الذي يمتد من جاوا الغربية إلى جاوا الشرقية، وهو: بوجور - سرايو الشمالي - كيندينج - طاقة الاكتئاب في مضيق مدورا.

وتهدف هذه الدراسة لمعرفة الشذوذ المغناطيسية المحلية، الجيولوجيا البناية، وإمكانات الطاقة الحرارية الأرضية في قرية لومبانج. وقد تم جمع البيانات باستخدام جهاز قياس المغناطيسية بجنس البروتون المغناطيسية (PPM) مع نوعها ENVI SCIENTRIX 851 لمدة يومين. فالمساحة البحث 2100×1500 متر ونقاط القياس تبدو في المسافة بين نقاط بعد ٣٠٠ متر، حتى يوجد ٤٧ نقاط القياس. ويتم تفسيرها كيميائياً وكمياً، فالكيفية ببرنامج *Surfer-10* والكمي من قبل برامج *mag2DC*.

ونائج البحث في التفسير الكيفي حصل كفاف الخريطة للشذوذ المحلية لديها العديد من القيم بين -8000 nT حتى 1300 nT. الشذوذ المغناطيسية المنخفضة إلى المعتدلة تدل إلى طاقة إزالة المغناطيسية المائية (خفض الخواص المغناطيسية للأحجر بسبب الحرارة) التي تحدد في الآبار ١ و ٤ للشذوذ الانخفاض، والآبار ٢ و ٣، للشذوذ المعتدلة. بناءً على نتائج البحث في التفسير الكمي يوجد بعض الأحجر التي تتكون من الحجر الجيري، والحجر الطينية، والدولوميت، الحجر الرملي، والحجر الرملي مع التدرج في شكل الكوارتز المعدنية، والجبس، والحصى. من نتائج النماذج المستعرضة الرابعة AB، CD، EF، GH، هناك المقطع العرضي AB التي تتوفر معلومات حول سبب الينابيع الساخنة. وقد توفرت هذه نتائج النماذج المعلومات أن هناك من الأخطاء التي يقع على عمق ٧٥٠ متر، الذي يدل على الحجر الجيري الغربي مع قيمة قابلية (SI ٨٠١٢٢٨ و SI ١٣٠٣٠٤) والحجر الرملي (SI ٢٠٠٨٣٥، SI ٢٠٠٤٢٩، و SI ٢١٠٠٢٤)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumber minyak dan gas bumi yang cukup melimpah. Sudah sekian tahun migas di Indonesia banyak yang dieksploitasi, dengan demikian permasalahan energi minyak dan gas bumi akan semakin menipis. Kondisi dimana migas akan lenyap dari wilayah tanah air memang benar-benar akan terjadi karena pada dasarnya sumber daya energi migas itu tidak bisa diperbaharui (*irenewable*). Untuk mengantisipasi situasi dan kondisi kelangkaan sumber daya energi minyak dan gas tersebut tentu saja harus ada usaha dan langkah untuk mencari cadangan migas baru, penghematan energi dan pemanfaatan energi alternatif yaitu diantaranya pemanfaatan SDA panas bumi yang potensial di masa kini.

Secara geografis posisi kepulauan Indonesia terletak dipertemuan tiga lempeng besar (Eurasia, Hindia-Australia dan Pasifik) yang menjadikan Indonesia memiliki tatanan tektonik yang kompleks. Subduksi antar lempeng benua dan samudra menghasilkan suatu proses peleburan magma dalam bentuk *partial melting*. Batuan mantel dan magma mengalami diferensiasi pada saat perjalanan ke permukaan. Proses tersebut membentuk kantong-kantong magma yang berperan dalam pembentukan jalur gunungapi yang dikenal sebagai lingkaran api (*ring of fire*). Munculnya rentetan gunungapi Pasifik disebagaian wilayah Indonesia beserta aktivitas tektoniknya dijadikan sebagai modal konseptual pembentukan sistem panas bumi Indonesia.

Potensi panas bumi di Indonesia tersebar pada dua lingkungan geologi, yaitu lingkungan geologi vulkanik dan non-vulkanik. Pada daerah panas bumi yang berasosiasi dengan lingkungan vulkanik, saat ini sudah banyak yang dikembangkan dan menghasilkan energi listrik yang bisa dimanfaatkan. Sedangkan pada daerah panas bumi yang terdapat pada lingkungan non-vulkanik masih belum dikembangkan dengan optimal. Oleh karena itu perlu adanya kajian lanjutan mengenai data-data geosain, baik itu berupa data geologi, geokimia dan geofisika.

Manifestasi dari suatu sistem panas bumi yang berupa air panas merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi-kondisi dimana air yang terpanasi terkumpul. Air permukaan yang berasal dari sungai, hujan, danau, laut dan lain-lain yang meresap menjadi air tanah, mengalir dan bersentuhan dengan tubuh magma atau batuan beku panas tersebut, mendidih serta kemudian membentuk air dan uap panas. Air panas tersebut mengalir kembali ke permukaan melalui bidang-bidang rekahan di lapisan kulit bumi dan membentuk manifestasi panas bumi.

Panas bumi (*geothermal*) merupakan salah satu bentuk kekuasaan Allah yang bisa dimanfaatkan oleh manusia dalam kebutuhan hidup sehari-hari. Firman Allah dalam surat az-Zumar ayat 21:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنْبِيعَ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ نُخْرِجُ بِهِ
 زَرْعًا مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهِيَجُ فَتَرَهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَمًا ۚ إِنَّ فِي ذَلِكَ
 لَذِكْرًا لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿٢١﴾

“Apakah kamu tidak memperhatikan, bahwa Sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, Maka diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi kemudian ditumbuhkan-Nya dengan air itu tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, lalu menjadi kering lalu kamu melihatnya kekuning-kuningan, kemudian dijadikan-Nya hancur berderai-derai. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal.” (Q.S.az-Zumar [39]: 21).

Al-Qurthubi (2009) menyimpulkan bahwa “Firman Allah SWT *alamtara annallaha anzala minassama’I maa an* (apakah kamu tidak memperhatikan, bahwa sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit) yakni Allah SWT tidak mengingkari janji-Nya untuk menghidupkan kembali hamba-hamba-Nya lalu membedakan antara orang-orang beriman dan orang-orang kafir. Allah SWT mampu melakukan semua itu, sebagaimana Allah SWT mampu untuk menurunkan air hujan dari langit. *Anzala minassama’i* (menurunkan dari langit) yakni dari awan. *Maa’an* (air) yakni hujan. *Fasalakahu* (maka diatur-Nya) yakni Allah SWT memasukkan air tersebut ke dalam bumi dan menyimpannya di sana, sebagaimana berfirman *Fasalakhu fil ardhi* (lalu kami jadikan air itu menetap di bumi). *Yanaabi’a* (menjadi sumber-sumber air), bentuk plural *yaanbuu’* timbangan *yaf’uul* dari kata kerja *yaanbu’u-yaanba’u-yaanbi’u* dengan rafa’, nashab dan kasrah. Makna *yaanba’* adalah yanba’, masdharnya *nubuu’aa* artinya keluar mengalir. *Al Yanbuu’* adalah mata air. Bentuk pluralnya *al yanaabii’* yakni air yang keluar dari mata air”

Geofisika adalah ilmu yang mempelajari tentang bumi dengan menggunakan parameter-parameter fisika. Dalam hal ini yang menjadi target adalah bumi bawah permukaan. Parameter-parameter fisika yang digunakan adalah parameter mekanika yang meliputi metode seismik, gaya berat (*gravity*),

dan geomagnetik. Metode Geomagnetik merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi bawah permukaan. Dengan mengetahui struktur geologi bawah permukaan akan sangat membantu dalam penafsiran struktur dasar dan patahan yang mungkin dijadikan jalur keluar fluida-fluida panas bumi. Adapun manifestasi dari suatu sistem panas bumi (*geothermal*) antara lain sumber air panas (*hydrothermal*), *fumarole*, hembusan gas, dan lain-lain. Hal ini merupakan tanda-tanda alam yang menunjukkan di bawah lokasi manifestasi panas bumi tersebut diperkirakan adanya intrusi magma yang memanaskan batuan di sekelilingnya.

Kabupaten Sumenep merupakan salah satu kabupaten di pulau Madura dengan potensi sumber daya alam (SDA) yang cukup banyak. Eksplorasi mineral, minyak dan gas bumi telah banyak dilakukan di beberapa tempat di wilayah kabupaten Sumenep dan kepulauannya. Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang yang terletak di timur laut kepulauan Madura merupakan salah satu tempat yang mempunyai manifestasi sumber air panas bumi. Kemungkinan besar potensi air panas tersebut bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan masyarakat setempat sebagai salah satu energi alternatif yaitu pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP).

Penelitian sebelumnya tomografi listrik (Arifin, 2013) yang telah dilakukan di daerah panas bumi Lombang memberikan informasi mengenai distribusi fluida panas bumi (*hydrothermal*) yang merata di sekitar sumber air panas Desa Lombang. Hasil penelitian juga memperkirakan bahwa sistem panas bumi di daerah panas bumi Lombang ini berupa sistem panas bumi oleh

cekungan sedimentasi sebagai akibat dari tatanan geologi daerah setempat. Penelitian tersebut hanya memberikan informasi kondisi struktur bawah permukaan dangkal sehingga perlu dilakukan eksplorasi lebih lanjut untuk mengetahui keadaan geologi bawah permukaan yang lebih dalam. Salah satunya dapat dilakukan survei dengan menggunakan metode geomagnetik. Dengan menggunakan metode tersebut diharapkan mendapat informasi tentang struktur bawah permukaan yang lebih dalam dan detail, khususnya mengenai sumber panas (*hot rock*) di daerah panas bumi setempat.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pola sebaran anomali medan magnetik lokal di daerah sumber air panas Lombang Kabupaten Sumenep?
2. Bagaimana struktur geologi bawah permukaan daerah sumber air panas Lombang Kabupaten Sumenep?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pola sebaran anomali medan magnetik lokal di daerah sumber air panas Lombang Kabupaten Sumenep.
2. Untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan daerah sumber air panas Lombang Kabupaten Sumenep.

1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan lebih terkonsentrasi, maka dilakukan pembatasan-pembatasan dalam penelitian. Batasan masalah yang akan diteliti yaitu:

1. Area penelitian berada pada daerah sumber air panas Lombang Kabupaten Sumenep.
2. Metode geofisika yang digunakan adalah metode magnetik, dengan menggunakan instrument akuisisi data berupa Magnetometer jenis PPM.
3. Pengolahan data menggunakan *software Surfer 10, Magpick V 3.06, Mag2DC dan Adobe Photoshop CS3.*

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat memahami proses pengolahan data dan interpretasi data geomagnetik.
2. Dapat memberikan informasi mengenai model struktur geologi bawah permukaan yang dapat memberikan gambaran mengenai sistem hidrotermal yang dapat dimanfaatkan secara langsung dan tidak langsung berdasarkan hasil pengukuran data geomagnetik.
3. Dapat dijadikan bahan pertimbangan sebelum dilakukan proses lebih lanjut (penelitian dalam bidang Geofisika, Geokimia Dan Geologi) agar dapat memaksimalkan potensi panas bumi yang ada di daerah sumber air panas Lombang Kabupaten Sumenep.

BAB II **TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Struktur Bumi dalam Al-Qur'an

Berbagai kajian dan penelitian geofisika telah membuktikan bahwa bumi terbentuk dari tujuh lapisan tertentu dari dalam keluar dengan susunan sebagai berikut (An-Najjar, 2006: 269)

1. *Centrosphere* (Inti Bumi)

Centrosphere (inti bumi) adalah nucleus atau bagian tengah yang sangat keras yang memiliki kandungan besi 90%, nikel 9%, ditambah unsur-unsur lain seperti karbon, fosfor, sulfat, silicon, dan oksigen yang mencapai 1%. Komposisi ini mirip dengan komposisi meteor-meteor besi. Bedanya kandungan besi inti bumi ini lebih banyak. Garis tengah (diameter) *centrosphere* kini mencapai kurang lebih 24,2 km, dengan rata-rata tingkat kepadatan yang mencapai 10-13,5 gram/cm³. Hal ini mengisyaratkan kepastian adanya material yang mempunyai kepadatan yang cukup tinggi dalam inti bumi. Inti bumi yang terletak di dalam perut bumi merupakan lapisan ketujuh.

2. Lapisan Luar Inti Bumi

Lapisan ini lunak dan elastis atau semi cair. Lapisan ini meliputi inti bumi dan memiliki komposisi kimia yang hampir sama, hanya saja lapisan ini berstatus semi cair. Ketebalannya kira-kira mencapai 2.275 km. Antara inti bumi dan lapisan luar inti bumi terdapat kawasan *transitory* yang memiliki ketebalan mencaai 450 km yang kemudian biasa disebut dengan bagian

terbawah lapisan sebelah luar inti bumi (inti bumi yang lunak) ini. Kawasan *transitory* ini menjadi bagian bawah lapisan ini yang merupakan lapisan bumi keenam.

3. Lapisan Terbawah Pita Bumi (Pita Bawah)

Adalah lapisan keras yang mengelilingi lapisan luar inti bumi (yang lunak). Ketebalan lapisan ini mencapai 2.215 km (dari kedalaman 670 km hingga kedalaman 2.885 km). Lapisan ini dipisahkan dari pita tengah yang berada di atasnya oleh bidang kontinuitas gelombang getar yang mengakibatkan gempa. Lapisan ini kemudian disebut lapisan bumi kelima.

4. Lapisan Tengah Pita Bumi (Pita Tengah)

Adalah lapisan keras yang ketebalannya mencapai kira-kira 270 km. Dari bawah dan atas, lapisan ini dipisahkan oleh dua bidang diskontinuitas gelombang getar. Bidang yang satu terletak pada kedalaman 670 km (dan memisahkan pita tengah ini dengan pita bawah). Sedangkan yang lain terletak pada kedalaman 400 km di bawah permukaan bumi dan memisahkannya dengan pita atas. Lapisan ini merupakan lapisan bumi keempat.

5. Lapisan Teratas Pita Bumi (Pita Atas)

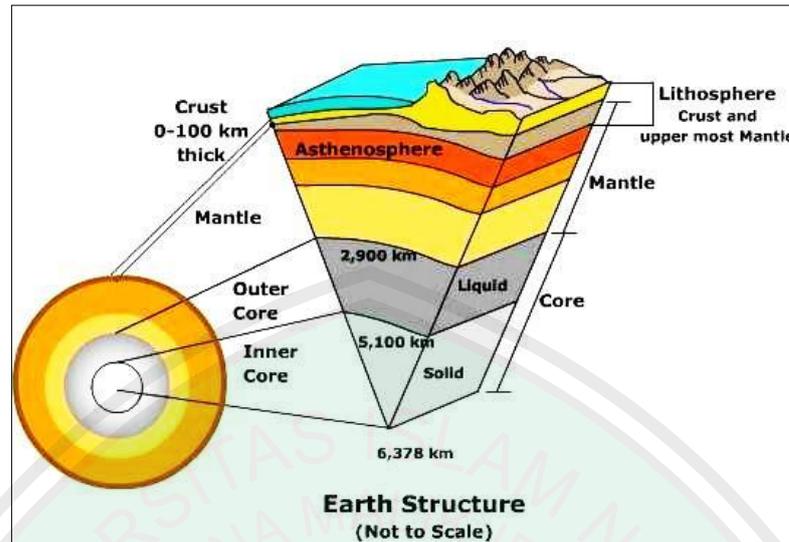
Adalah lapisan elastis atau semi cair yang memiliki tingkat kepadatan dan kerekatan yang sangat tinggi. Kadar fusi di dalamnya mencapai kira-kira 1%. Karena itu, lapisan ini terkenal dengan sebutan “lapisan lunak bumi” (*nithaq adh-dha'f al-ardhi*). Lapisan ini membentang antara kedalaman 65-120 km dan kedalaman 400 km di bawah permukaan bumi. Sehingga, ketebalannya berkisar antara 335-380 km. Lapisan ini merupakan lapisan bumi ketiga.

6. Lapisan Bawah Kerak Bumi

Ketebalan lapisan ini berkisar antara 5-8 km di bawah permukaan air laut dan samudera atau antara kedalaman 60-80 km dan 120 km di bawah permukaan bumi. Dari bawah, lapisan ini dibatasi oleh batas teratas lapisan lemah bumi. Sementara dari atas ia dibatasi oleh garis diskontinuitas gelombang getar yang disebut *mohorovicic discontinuity*. Kerak batuan ini disebut dengan lapisan bumi kedua.

7. Lapisan Atas Kerak Bumi

Ketebalan lapisan ini berkisar antara 5-8 km di bawah dasar laut dan samudera atau rata-rata antara 60-80 km di bawah benua. Lapisan yang berada di bawah benua ini biasanya tersusun dari batu-batu granit (marmer) yang dilapisi oleh penutup tipis yang berasal dari sedimen dan debu. Komposisi lapisan ini dimonopoli oleh unsur-unsur ringan. Lapisan ini juga kebanyakan terdiri dari batu-batu basis dan batu-batu suprabasis, dan beberapa sedimen yang terdapat di dasar laut dan samudera. Lapisan atas kerak bumi ini disebut dengan lapisan bumi pertama.



Gambar. 2.1 Tujuh Lapisan Bumi (Noor, 2009)

Penjelasan mengenai tujuh lapisan bumi tersebut didukung oleh beberapa firman Allah dalam Surat Ath-Thalaq ayat 12:

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ وَمِنَ الْأَرْضِ مِثْلَهُنَّ يَتَنَزَّلُ الْأَمْرُ بَيْنَهُنَّ لِتَعْلَمُوا أَنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ وَأَنَّ اللَّهَ قَدْ أَحَاطَ بِكُلِّ شَيْءٍ عِلْمًا ﴿١٢﴾

“Allah-lah yang menciptakan tujuh langit dan seperti itu pula bumi. perintah Allah Berlaku padanya, agar kamu mengetahui bahwasanya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu, dan Sesungguhnya Allah ilmu-Nya benar-benar meliputi segala sesuatu.”

Ditambah lagi dengan firman Allah SWT dalam surat Al-Anbiya’ ayat 30:

أَوَلَمْ يَرِ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا ۖ وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴿٣٠﴾

“Dan Apakah orang-orang yang kafir tidak mengetahui bahwasanya langit dan bumi itu keduanya dahulu adalah suatu yang padu, kemudian kami pisahkan antara keduanya. dan dari air Kami jadikan segala sesuatu yang hidup. Maka Mengapakah mereka tiada juga beriman?”

Pendapat ini dikemukakan oleh Al Qutabi di dalam ‘*Uyun Al-Akhbarnya*’ dari Isma’il bin Abu Khalid, mengenai Firman Allah ‘*Azza wa Jalla*’: *أَوَلَمْ يَرِ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهَا* “*Dan Apakah orang-orang yang kafir tidak mengetahui bahwasanya langit dan bumi itu keduanya dahulu adalah suatu yang padu, kemudian kami pisahkan antara keduanya. Ia mengatakan, dulunya langit diciptakan tersendiri dan bumi juga diciptakan tersendiri. Lalu Allah memisahkan dari langit menjadi tujuh langit, dan dari bumi menjadi tujuh bumi. Allah menjadikan bumi yang paling tinggi dengan para penghuninya yang berupa jin dan manusia. Allah juga membelah padanya sehingga menjadi sungai-sungai, menumbuhkan buah-buahan, menciptakan lautan yang di atasnya daratan, jaraknya sejauh perjalanan lima ratus tahun (Al Qurtubi, 2008: 758).*

Sejalanjutnya dikemukakan oleh para pakar penyusun *Tafsir al-Muntakhab* bahwasanya dapat dipahami dari firman Allah di atas menyatakan bahwa bumi dan langit pada dasarnya tergabung secara koheren sehingga tampak seolah satu massa. Hal ini sesuai dengan penemuan mutakhir mengenai teori terjadinya alam raya. Menurut penemuan itu, sebelum terbentuk seperti sekarang ini, bumi merupakan kumpulan sejumlah besar kekuatan atom-atom yang saling berkaitan dan di bawah tekanan sangat kuat yang hampir tidak dapat dibayangkan oleh akal. Selain itu, penemuan mutakhir itu juga menyebutkan bahwa semua benda langit sekarang beserta kandungan-kandungannya, termasuk di dalamnya tata surya dan bumi, sebelumnya terakumulasi sangat kuat dalam bentuk bola yang jari-jarinya tidal lebih dari 3.000.000 mil. Lanjutan firman Allah yang berbunyi “...*fa fataqnahuma...*” merupakan isyarat tentang apa yang terjadi pada cairan atom

pertamanya berupa ledakan dahsyat yang mengakibatkan tersebarinya benda-benda alam raya ke seluruh penjuru, yang berakhir dengan terciptanya berbagai benda langit yang terpisah, termasuk tata surya dan bumi (Shihab, 2002: 444)

Dari lapisan ke-6 dan ke-7 yaitu lapisan atas kerak bumi dan lapisan bawah kerak bumi kita dapat mengetahui struktur bumi. Dari lapisan atas kerak bumi kita dapat melihat bentuk bumi berupa pegunungan, gunungapi, samudera, dataran, dan sebagainya. Sedangkan dari lapisan kerak bawah bumi kita dapat mengetahui struktur bumi berupa jenis batuan atau mineral yang terkandung.

Setiap lapisan bumi mempunyai sifat atau kandungan mineral yang berbeda-beda, sesuai dengan kedalaman lapisan atau sesuai dengan keadaan geologi lapisan tersebut. Keadaan lapisan bumi seringkali tampak dari warnanya, sebagai contoh tanah lempung yang berwarna kemerah-merahan akan lain sifatnya dengan tanah yang berwarna hitam kecoklat-coklatan. Tanah berbukit yang berwarna putih biasanya banyak mengandung kapur. Adapula lapisan tanah yang berwarna kuning dan ini menunjukkan tanah tersebut banyak mengandung belerang. Keadaan geologi lapisan bumi yang dibedakan dari warnanya, ternyata diungkapkan juga di dalam Al-Qur'an Surat Al-Fathir ayat 27:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ

الْجِبَالِ جُدُدٌ بَيْضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٌ ﴿٢٧﴾

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

Ayat ini melanjutkan uraian tentang bukti-bukti kekuasaan Allah SWT. Ia menagajak setiap orang dengan menggunakan gaya pertanyaan untuk berpikir dan memperhatikan. Allah berfirman: Wahai siapa pun yang mampu melihat dan berpikir! *Tidakkah engkau melihat bahwa Allah menurunkan dari langit air hujan lalu Kami dengan kuasa Kami dan melalui hukum-hukum Allah yang Kami tetapkan mengeluarkan yakni menghasilkan memunculkan dengannya yakni dengan hujan itu berbagai jenis buah-buahan yang beraneka macam warna, bentuk, rasa dan aroma-nya*. Seandainya yang melakukan itu adalah alam tentu hal tersebut tidak akan beragam dan bermacam-macam. *Dan perbedaan serta keragaman serupa terjadi juga pada yang lebih kukuh dari buah-buahan*. Engkau dapat melihat *di antara gunung-gunung ada yang memiliki jalur dan garis-garis yang terlihat berwarna putih dan ada juga yang merah yang kejelasan warna dan keburamannya beraneka macam warnanya dan ada pula disamping yang merah dan putih itu yang pekat hitam* (Shihab, 2002: 463).

Menurut tim penyusun *Tafsir al-Muntkhab*, kemukjizatan ayat ini dari segi ilmu pengetahuan bukan saja tampak ketika ia menyebutkan bahwa warna gunung yang bermacam-macam itu disebabkan adanya perbedaan materi-materi yang dikandung oleh bebatuan gunung-gunung itu. Jika materinya besi, maka warna dominannya adalah merah; jika materinya batubara, maka warna dominannya hitam; jika materinya perunggu, maka gunung tersebut berwarna kehijau-hijauan dan seterusnya. Tidak hanya sampai disitu, kemukjizatan ayat ini sebenarnya sangat menonjol ketika ia mengaitkan adanya berbagai jenis buah-buahan meskipun pepohonannya disiram dengan air yang sama, dengan penciptaan

gunung-gunung yang beraneka warna merah, putih atau hitam meskipun juga berasal dari suatu materi yang sama di dalam perut bumi. Materi ini, oleh para geolog, dinamakan magma yang muncul di berbagai kawasan bumi. Akan tetapi, karena kemunculan magma itu dari kedalaman yang berbeda, maka kandungannya menjadi berbeda pula. Magma yang berproses dari kedalaman yang berbeda, pada akhirnya, mengkristal membentuk gundukan-gundukan atau gunung-gunung yang beraneka ragam warna dan materinya. Demikianlah sebenarnya kesatuan hukum Allah. Meskipun bentuknya beraneka ragam, tetapi berasal dari materi yang satu. Semua itu adalah untuk kemudahan dan kemanfaatan umat manusia (Shihab, 2002: 464).

Apabila ayat di atas diikuti pelaksanaannya oleh manusia, maka manusia akan melihat bahwa bumi mengandung bahan-bahan galian atau tambang yang dapat dimanfaatkan oleh manusia. Panas bumi atau *Geothermal* yang terbentuk di dalam bumi dimana batuan panas yang terbentuk beberapa kilometer di bawah permukaan bumi memanaskan air disekitarnya, sehingga akan dihasilkan sumber uap panas, Geiser (*Geyser*). Sumber air panas ini dibor dan uap panas yang keluar dari pengeboran setelah disaring digunakan untuk menggerakkan generator, sehingga menghasilkan energi listrik (Dyayadi, 2008:118).

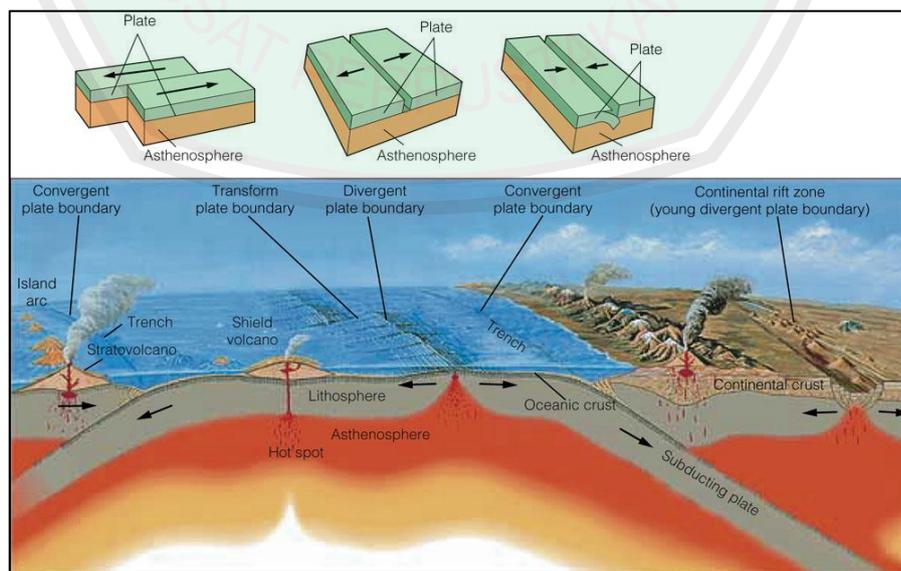
2.2 Panas Bumi (*Geothermal*)

Secara bahasa, kata *geothermal* terbentuk dari dua kata yaitu *geo* yang berarti bumi dan *thermal* yang artinya panas. Jadi istilah *geothermal* diartikan sebagai panas bumi. *Geothermal* juga dapat diartikan sebagai panas bumi yang terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi.

Panas bumi secara umum dapat diartikan sebagai jumlah kandungan panas yang tersimpan dalam bumi dan membentuk sistem panas bumi yang telah ada sejak bumi terbentuk. Sistem panas bumi tersebut mencakup sistem hidrotermal yang merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistem dimana air yang terpanasi terkumpul sehingga sistem panas bumi mempunyai persyaratan seperti harus tersedianya air, batuan pemanas, batuan sarang, dan batuan penutup (Alzwar, 1987: 90).

2.2.1 Sistem Panas Bumi

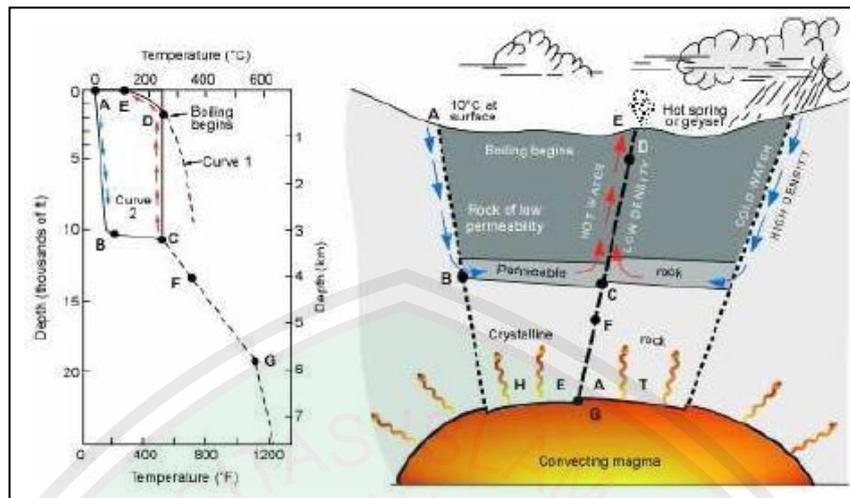
Pergerakan lempeng benua dan lempeng samudera menyebabkan terbentuknya zona subduksi (tumbukan antar kerak, dimana kerak samudera menunjam di bawah kerak benua). Akibat gesekan antar kerak tersebut terjadi peleburan batuan dan lelehan batuan ini bergerak ke permukaan melalui rekahan kemudian membentuk busur gunungapi di tepi benua. Kerak benua menjauh satu sama lain secara horizontal sehingga menimbulkan rekahan atau patahan.



Gambar 2.2 Model Zona Subduksi (<http://2.bp.blogspot.com> plat boundary)

Di daerah gunungapi (Indonesia) yang terdapat potensi geotermal, banyak terdapat sesar akibat aktivitas tektonik, sesar-sesar tersebut akan mengakibatkan zona-zona rekahan yang menyebabkan air hujan akan menerobos masuk melalui rongga-rongga rekahan tersebut dan menuju lapisan yang lebih dalam sampai akhirnya bertemu dengan batuan panas. Air yang terakumulasi pada batuan panas tersebut semakin lama akan semakin panas kemudian sebagian berubah menjadi uap panas. Akibat perbedaan tekanan antara permukaan bumi dengan bawah permukaan, maka air maupun uap panas akan berusaha mencari jalan keluar menuju permukaan bumi.

White (1967) dalam Saptadji (2009) berpendapat, bahwa fluida panas bumi yang terkandung dalam *reservoir hydrothermal* berasal dari air permukaan, antara lain air hujan (air meteorik) yang meresap masuk ke bawah permukaan dan terpanaskan oleh suatu sumber panas (Gambar 2.3). Air tersebut akan masuk melalui rekahan-rekahan kedalam batuan permeabel. Apabila disekitar batuan tersebut terdapat sumber panas, maka panas akan dirambatkan melalui batuan (secara konduksi) dan melalui fluida (secara konveksi). Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung (*bouyancy*). Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak kebawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi.



Gambar 2.3 Model Sistem Hidrotermal (Saptadji, 2009)

2.2.2 Hidrotermal (*Hydrothermal*)

Secara bahasa, kata hidrotermal terdiri dari dua kata yaitu *Hydro* yang berarti air dan *thermal* yang berarti panas. Jadi istilah hidrotermal dapat diartikan sebagai air panas. Hidrotermal termasuk dalam salah satu sistem panas bumi. Sistem panas bumi adalah sistem energi panas bumi yang memenuhi kriteria geologi, hidrogeologi, dan *heat transfer* yang cukup terkontaminasi untuk membentuk sumber daya energi. Tidak setiap kondisi geologi yang serupa menghasilkan sistem panas bumi yang sama. Secara umum pembagian sistem panas bumi di Indonesia ada dua yaitu sistem konveksi hidrotermal dan sistem panas kering (Santoso, 1995).

Sistem konveksi hidrotermal merupakan sistem yang dibentuk oleh massa air tanah meteorik yang selama berjuta-juta tahun terpanasi oleh massa pemanas dan tertampung dalam batuan sarang yang tertutupi oleh lapisan kedap air atau batuan penutup. Jika dalam sistem konveksi hidrotermal ini uap yang dihasilkan tidak bercampur dengan air panas maka akan terbentuk sistem uap basah

meskipun suhunya mencapai 370°C . Sistem uap basah ini dikenal dengan sistem air panas.

Sistem batuan panas kering merupakan sistem panas bumi berupa batuan panas kering yang berada dalam perut bumi akibat terpanasi oleh sumber panas bumi umumnya berwujud terobosan magma. Energi panas bumi ini harus diambil sendiri dengan cara menyuntikkan air bersih ke dalam batuan panas dan uap panas yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan turbin. Sumber batuan panas kering pada umumnya terletak di dalam perut bumi sehingga untuk memanfaatkannya diperlukan teknik pengeboran khusus yang memerlukan biaya yang cukup tinggi. Sumber panas bumi batuan kering secara teoritis banyak dijumpai sebagai massa batuan pembentuk kulit bumi.

Batuan pada sistem hidrotermal umumnya merupakan batuan rekah alam. Apabila struktur geologi memungkinkan maka air tersebut akan mengalir melalui rekahan-rekahan dan atau batuan permeabel, dan kemudian muncul di permukaan. Perubahan fasa mungkin saja terjadi dalam perjalanannya ke permukaan, yaitu pada saat temperatur air telah mencapai temperatur saturasinya atau temperatur titik didihnya. Bila hal itu terjadi maka fluida akan berupa campuran uap-air atau mungkin berupa uap satu fasa saja. Hal ini menyebabkan jenis-jenis manifestasi panas bumi permukaan (*geothermal surface manifestation*) menjadi sangat beragam, ada mata air panas, geyser atau mata air panas yang menyembur ke permukaan hingga ketinggian mulai dari satu meter hingga beberapa puluh meter setiap selang waktu mulai dari beberapa menit hingga beberapa jam atau beberapa hari, kolam lumpur panas (*mud pools*), kolam air panas, serta manifestasi

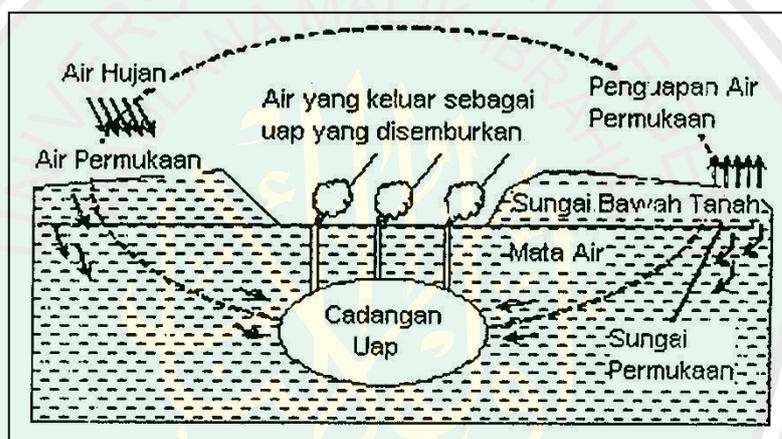
panasbumi lainnya yang masing-masing mempunyai karakteristik yang berbeda-beda walaupun letaknya berdekatan.

Keanekaragaman sifat batuan dan intensitas panas menyebabkan sistem panas bumi mempunyai karakteristik yang unik, yaitu berbeda satu dengan lainnya, tidak hanya jenis-jenis manifestasi permukaan dan karakteristik reservoirnya, tetapi juga dari kandungan kimia dalam air dan gas. Air meteorik (permukaan) yang masuk ke bawah permukaan melalui daerah resapan, karena terpanaskan oleh sumber panas dapat berubah komposisinya. Disamping itu batuan yang terpanaskan tentunya akan mengalami perubahan bila ada mineral batuan yang ikut larut bersama air yang melaluinya. Selain itu air panas dalam perjalanannya ke permukaan juga dapat mengalami perubahan fasa sehingga menjadi fluida dua fasa, yaitu campuran uap air. Fluida panas tersebut dapat juga bercampur dengan fluida lainnya, misalnya dengan fluida magmatik (termasuk gas-gas yang berasal dari magma) dan air dingin dari sumber lain. Komposisi fluida panas juga akan berubah akibat oksidasi di dekat permukaan (Saptadji, 2009).

2.2.3 Daur Hidrologi Sitem Panas Bumi

Daur hidrologi sistem panas bumi dimulai dari perubahan bentuk dari cair ke uap yang kemudian naik ke permukaan melalui retakan batuan dan dihembuskan keluar berupa uap yang terkumpul di udara. Uap tersebut akan terkondensasi menjadi air hujan, dan turun ke bumi. Air hujan yang jatuh sebagian akan mengalir di permukaan dan sebagian meresap ke dalam tanah. Air permukaan, baik itu berupa sungai, danau atau laut akan mengalami penguapan

karena pemanasan matahari. Air yang masuk ke dalam tanah akan membentuk aliran sungai bawah tanah atau akuifer, dan jika melewati batuan panas akan terpanasi dan berubah ke fasa uap. Uap ini akan naik ke permukaan, bercampur dengan penguapan air sungai, danau atau laut, terkondensasi dan turun lagi menjadi hujan. Dalam daur hidrologi panas bumi ini perlu diperhatikan karena terputusnya satu mata rantai daur ini akan mempengaruhi kelestarian sistem panas bumi.



Gambar 2.4 Daur Hidrologi Panas Bumi (Alzwar, 1987)

2.3 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian

2.3.1 Geografis Wilayah

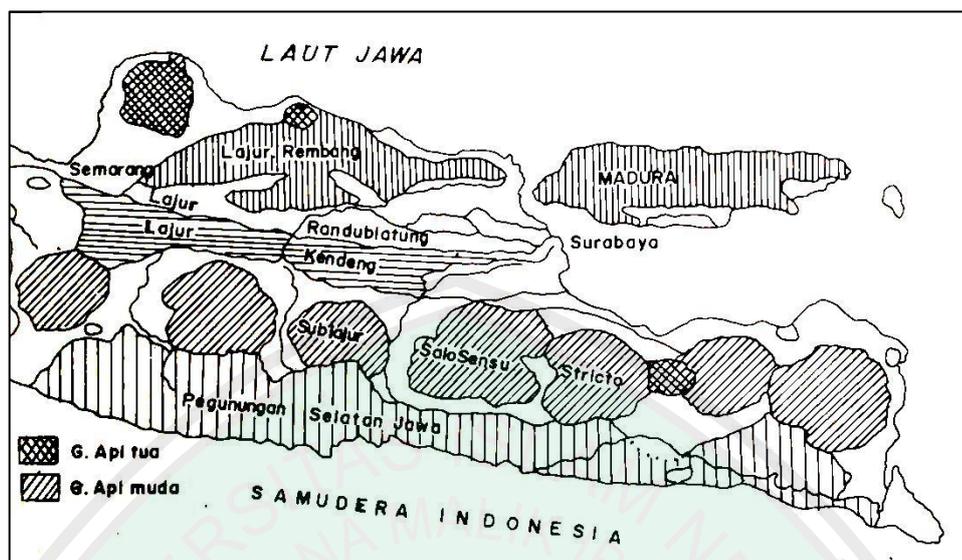
Daerah penelitian ini terletak di sekitar area sumber mata air panas (hydrothermal) yang berada di desa Lombang, Kecamatan Batang-batang Kabupaten Sumenep, sekitar ± 20 Km dari Kota Sumenep. Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat $07^{\circ} 55' 52.79''$ LS dan $114^{\circ} 04' 11.05''$ BT. Wilayah ini berada di bagian ujung timur utara dari Kabupaten Sumenep dan berhadapan dengan laut Jawa di sebelah utara sehingga daerah ini secara geografis

terletak berdekatan dengan kawasan pesisir pantai utara Madura, berjarak ± 1 Km dari pesisir pantai.

Adapun manifestasi panas bumi (*geothermal*) di daerah ini antara lain adalah keberadaan sumber mata air panas (*hot springs*) yang mengandung belerang (*sulfur*) dengan kolam pemandian air panas belerang berukuran 3×3 m² dan beberapa sumur air panas. Manifestasi panas bumi (*geothermal*) tersebut di daerah ini terletak di sekitar area persawahan dan ladang daerah setempat pada ketinggian 16-22 m dpl dengan suhu air panas yang pernah diukur ialah sebesar 45° C. Kedalaman lapisan bawah permukaan yang mengandung air di beberapa sumur daerah setempat ialah terletak pada kedalaman 5-8 m dari permukaan sehingga akifer di daerah ini tergolong zona akifer dangkal.

2.3.2 Morfologi

Daerah Waru-Sumenep termasuk Lajur Rembang (Bemmelen, 1949). Lajur ini merupakan punggungan yang terlipat dan membentuk *anticlinorium* yang memanjang pada arah barat-timur, mulai dari Purwodadi (Jawa Tengah) menerus ke daerah Tuban-Surabaya (Jawa Timur) dan berakhir di daerah yang dipetakan (Gambar.2.4). Daerah ini pada umumnya termasuk pebukitan landai hingga pegunungan berlereng terjal. Mempunyai julang (ketinggian) dari 0 hingga 440 m di atas muka laut.

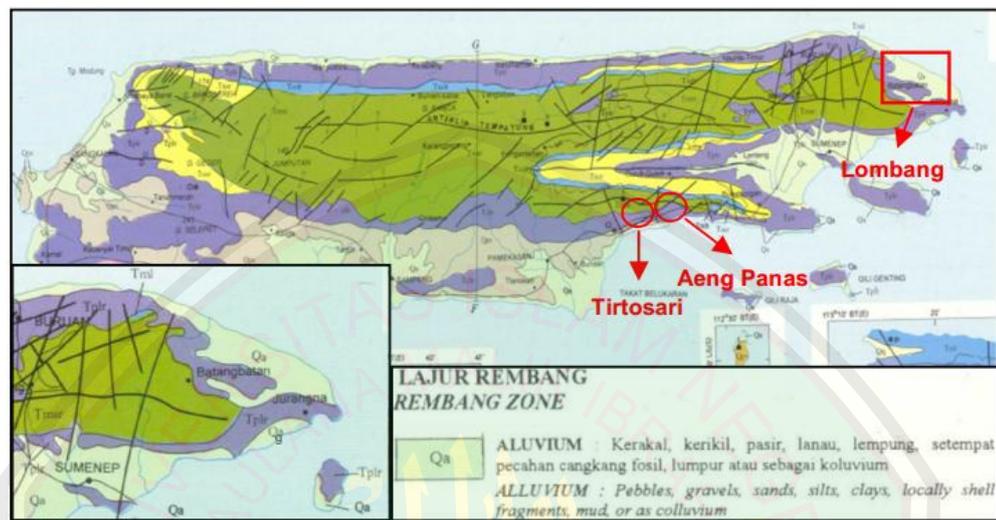


Gambar 2.5 Peta Sketsa Fisiografi Jawa Timur dan Madura (Situmorang, 1992)

Berdasarkan keadaan bentang alam yang dapat diamati di lapangan dan peta topografi, daerah ini dapat dikelompokkan menjadi tiga satuan morfologi, yakni: dataran rendah, pegunungan bergelombang dan kras (*karst*). Morfologi pegunungan bergelombang berjulung antara 0 dan 200 m di atas muka laut; menempati bagian utara, memanjang berarah barat-timur mulai G. Kepong (Waru) sampai ke daerah G. Buruan (Batuputih) melalui G. Tanggal (Ambunten). Di bagian tengah memanjang berarah barat-timur dari daerah sumber waru sampai ke daerah (termasuk daerah rospek geothermal Desa Lombang) melalui G. Tegel dan G. Gading. Di selatan dari daerah Rompeng (barat) sampai ke daerah Saronggi melalui daerah Gulukguluk, dan dari daerah G. Madis (Pamekasan) sampai ke Tanjung melalui G. Malang. Batuan penyusun satuan ini adalah batuan sedimen berupa batulempung (Formasi Tawun), batupasir (Anggota Ngrayong) dan batugamping.

Pola aliran sungai secara umum adalah pola mendaun, hanya sebagian kecil saja yang hampir sejajar. Sungai Mangsai mengalir dengan arah barat-timur,

berhulu di Pakong dan bermuara di Teluk Sumenep, melalui jalur lemah dan searah dengan arah jurus lapisan (Situmorang, 1992: 3-5).



Gambar 2.6 Lembar Geologi Daerah Penelitian (Gafoer dan Ratman,1999)

2.3.3 Stratigrafi

Lembar Waru-Sumenep, terdiri dari batuan sedimen Tersier dan Kuarter yang termasuk ke dalam Lajur Rembang. Penyebaran satuan batuan umumnya berarah barat-timur dan berfasies lempungan, pasiran dan gampingan.

Batuan tertua di daerah ini adalah Formasi Tawun (Tmt) secara litologis terdiri atas batulempug, napal, batugamping lempungan dengan sisipan orbitoid. Formasi ini berumur Miosen Awal-Tengah dan sedimennya diendapkan pada lingkungan laut agak dangkal (sublitoral) dengan ketebalan sekitar 300 m.

Formasi Ngrayong (Tmtn) yang menindih secara selaras atas Formasi Tawun merupakan perulangan batupasir kuarsa dengan batugamping orbitoid dan batulempung. Formasi ini berumur Miosen tengah dan diendapkan pada lingkungan laut dangkal (*litoral*) dengan ketebalan lebih kurang 600 m.

Formasi Bulu (Tmb) menjemari dengan Formasi Ngrayong terdiri atas batugamping pelat dengan sisipan napal pasiran. Formasi ini berumur Miosen Tengah bagian akhir, diendapkan dalam lingkungan laut dangkal (zona neritik tengah) dengan ketebalan sekitar 200 m.

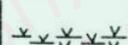
Formasi Pasean (Tmp), yang menindih selaras Formasi Bulu, merupakan perselingan napal dengan batugamping lempungan, batugamping pasiran dan batugamping oolit, napal pasiran, berbutir halus sampai sedang, berlapis baik dan mengandung sedikit kuarsa. Formasi ini berumur Miosen Akhir dan diendapkan dalam laut dangkal (*inner sublittoral*) dengan tebal kurang lebih 600 m (Situmorang, 1992: 5-6).

Formasi Madura (Tpm) sebagian menindih selaras dan sebagian lagi tidak selaras Formasi Pasean, Formasi Bulu, Formasi Ngrayong dan diduga berumur Pliosen, sedangkan di Lembar Tanjung Bumi-Pamekasan dan Lembar Surabaya-Sapulu berumur Miosen Akhir-Pliosen. Formasi Madura terdiri dari batugamping terumbu dan batugamping dolomitan. Batugamping terumbu berbentuk padat dan permukaannya umumnya berongga, setempat dolomitan. Satuan batuan ini beragam antara batuan gamping kapuran, di bagian bawah batugamping pasiran batugamping oolit, batugamping hablur dan batugamping dolomitan. Formasi ini diendapkan dalam lingkungan laut dangkal dan tenang dengan ketebalan sekitar 250 m.

Formasi Pamekasan (Qpp) menindih tidak selaras Formasi Madura terdiri atas konglomerat, batupasir, batu lempung dan batugamping. Konglomerat bersifat kompak, padat, terpilah buruk dengan komponen dasar terdiri atas

batugamping foraminifera dan batugamping hablur dan ketebalannya sekitar 4 m. Formasi Pamekasan diperkirakan berumur Pleistosen. Sejak kala Holosen telah terjadi pegerosian dan terendapan aluvium yang terdiri atas fraksi lepas berukuran lempung-krakal dan pertumbuhan terumbu koral (Arifin, 2010).

Tabel 2.1 Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian (Situmorang, 1992)

UMUR KALA	FORMASI	TEBAL (m)	LITOLOGI	PERIAN LITOLOGI	FOSIL
H O L O S E N		5-15		Pasir kuarsa lempung, kerikil, kerakal dan batugamping koral	
PLI S T O S E N	P A M E K A S A N	50		Konglomerat, batupasir, batulempung dan batugamping	
P L I O S E N	M A D U R A	± 2.50		Batugamping terumbu, dolomitan terdiri dari batugamping kapuran, batugamping pasiran, batugamping hablur dan batugamping oolit, setempat berlapis.	<i>Operculina</i> sp <i>Amphistegina</i> sp <i>Ephidium</i> sp <i>Pseudorotalia</i> sp <i>Ammonia</i> sp
M I O S E N	P A S E A N	± 6.00		Perselingan napal pasiran dengan batugamping lempungan, batugamping pasiran dan batugamping oolit, berlapis baik, mengandung banyak foraminifera	<i>Lepidocyclus ruttleri</i> <i>Lepidocyclus</i> sp <i>Cycloclpeus</i> sp <i>Operculina</i> sp <i>Globigerina acostaensis</i>
	N G R A Y O N G	± 600		Batupasir kuarsa, umumnya lepas, putih, putih kecoklatan, berselingan dengan batugamping orbitoid dan batulempung, setempat menyerpih, selingan batu lempung, selingan batugamping orbitoid semakin rapat dan tebal kebagian atas. Tebal lapisan 8 - 20 m pada bagian atas di dalam lempung dan pasir kuarsa di jumpai gipsum dan konkresi besi	<i>Lepidocyclus ruttleri</i> <i>Cycloclpeus annulatus</i> <i>Cycloclpeus</i> spp <i>Myogypsina</i> sp <i>Amphistegina</i> sp <i>Orbulina universa</i> <i>Globigerinoides immaturus</i> <i>Globigerina trilobus</i> <i>Ammonia</i> sp

2.3.4 Struktur

Daerah Lembar Waru-Sumenep merupakan bagian dari *anticlinorium* Rembang paling timur. Struktur penting di daerah ini adalah lipatan dan sesar. Struktur antiklin dan sinklin berarah barat-timur, jurus sesar umumnya berarah baratdaya-timurlaut dan baratlaut-tenggara dan hanya beberapa yang berarah barat-timur.

Struktur lipatan di antaranya Antiklin Sumberwaru, Antiklin Tempajung, Antiklin Batuputih, Antiklin Kartagena, Sinklin Edan dan Sinklin Pakong. Daerah penelitian termasuk Antiklin Batuputih yang sumbunya berarah barat-timur melalui G. Batuputih menunjam di daerah Batang-Batang dengan panjang kuarang lebih 53 km. Antiklin ini berkembang dalam Formasi Tawun dan Formasi Ngrayong. Sudut kemiringan yang menempati sayap utara ($15^{\circ} - 30^{\circ}$) nisbi lebih kecil dari selatan ($25^{\circ} - 45^{\circ}$) sehingga lipatan ini termasuk dalam lipatan terbuka dan tidak setangkup (Situmorang, 1992: 12)

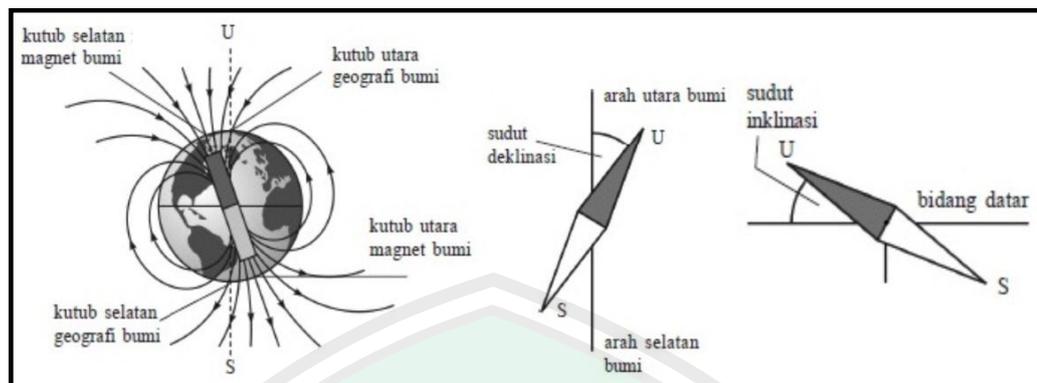
Daerah prospek *geothermal* ini terletak di Kecamatan Batang-Batang, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur (Madura). Keberadaan potensi panas bumi atau *geothermal* diindikasikan oleh munculnya sumber mata air panas (*hot springs*) di desa Lombang. Seperti halnya daerah prospek *geothermal* Tirtosari Sumenep, tatanan geologi (*geological setting*) di daerah ini didominasi oleh batuan sedimen dari Formasi Madura dan Formasi Ngrayong yang mana terdiri dari batu gamping terumbu, batu gamping *dolomite* dan pasir (*sandstone*)” (Utama dkk, 2012).

Prospek *geothermal* di desa lombang ini diperkirakan merupakan sistem panas bumi *geopressure* (*geopressured system*) yang terasosiasi dengan depresi

zona cekungan sedimen yang memanjang dari Jawa Barat ke Jawa Timur, yaitu: Bogor - Serayu Utara – Kendeng – Zona depresi selat Madura (Utama dkk., 2012).

2.4 Medan Magnet Bumi

Bumi merupakan *dipole magnetic* yang besar dengan kutub-kutub magnetik utara dan selatan terletak kira-kira 75° Lintang Utara, 101° Bujur Barat di kepulauan Kanada, dan 67° Lintang Selatan, 143° Bujur Timur pada ujung Antartika. Pusat dipole ini bergeser kira-kira 750 mil dari pusat geometris bumi dan sumbunya miring 18° terhadap diameter kutub-kutub bumi. Medan magnet bumi dinyatakan dalam besar dan arah (vektor), dengan arahnya dinyatakan dalam deklinasi (penyimpangan terhadap arah utara-selatan geografis) dan inklinasi (penyimpangan terhadap arah horizontal). Kuat medan magnet yang terukur di permukaan sebagian besar berasal dari dalam bumi (*internal field*) mencapai lebih dari 90° , sedangkan sisanya adalah medan magnet dari kerak bumi yang merupakan target dalam eksplorasi geofisika dan medan dari luar bumi (*external field*). Karena medan magnet dari dalam bumi merupakan bagian yang terbesar, maka medan ini sering juga disebut sebagai medan utama (*main field*) yang dihasilkan oleh adanya aktifitas di dalam inti bumi bagian luar (*outer core*), dengan salah satu konsep adanya medan utama ini adalah dari teori dynamo (Deniyanto, 2010: 77-78).



Gambar 2.7 Medan Magnet Bumi (Sarkowi, 2010)

Pada tahun 1820, Oersted menunjukkan bahwa medan magnet diproduksi oleh arus listrik yang mengalir melalui sebuah kawat. Jika arus mengalir melalui sebuah kawat lurus maka medan magnet membentuk cincin mengelilingi kawat. Medan magnet bumi dapat diukur dengan membandingkannya pada medan yang dihasilkan oleh sebuah elektromagnet yang terdiri dari beberapa koil kawat yang diketahui aliran arusnya, hal ini merupakan jenis magnetometer. Kekuatan medan magnet bumi dapat juga ditentukan dengan mengukur osilasi sebuah jarum kompas yang ditempatkan pada medan magnet bumi (Tjasyono, 2006:172).

Magnet bumi adalah harga kemagnetan dalam bumi. Diyakini bahwa arus listrik mengalir dalam inti besi cair dari bumi dan menghasilkan medan magnet. Kerapatan fluks magnet B sekitar $0,62 \times 10^{-4} \text{ Wb/m}^2$ (0.062 nT) di kutub utara magnet dan sekitar $0,5 \times 10^{-4} \text{ Wb/m}^2$ (0,05 nT) di garis lintang 40° . Sumbu simpal arus magnetik efektif berada pada 11° dari sumbu rotasi bumi (Liang Chi Shen, 2001). Sementara itu Demarest (1998) dalam Zubaidah (2005) menyatakan bahwa harga komponen horizontal dari medan magnet bumi di daerah katulistiwa sekitar $35 \mu\text{T}$ (0,035 nT).

Garis fiktif pada permukaan bumi yang terletak di tengah-tengah antara dua kutub disebut *equator geomagnet*. Sedangkan *equator magnetic* didefinisikan sebagai garis penghubung titik–titik dengan inklinasi sama dengan nol. Pada permukaan bumi, jarum magnet bebas untuk berputar dan mengorientasikan dirinya sesuai dengan arah medan magnet tempat itu.

Sudut diantara garis gaya magnet dan permukaan bumi disebut *magnetic inclination*. Cakupan inklinasinya dari 90^0 pada sumbu magnetik sampai 0^0 pada equator magnetik, dimana garis gayanya paralel terhadap permukaan. Jarum kompas berputar mengikuti arah horizontal dan menunjuk ke kutub magnet, hal tersebut mengindikasikan komponen lokal horizontal dari medan magnet bumi. Perbedaan derajat tingkat dan arah antara utara sebenarnya dan utara magnet dan titik yang ditentukan di permukaan disebut *magnetic declination* pada titik tersebut (Ludman, 1982:458-459).

2.5 Teori Dasar Magnetik

2.5.1 Gaya Magnetik

Metode geomagnetik merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi minyak bumi, panas bumi, batuan mineral maupun untuk keperluan pemantauan (monitoring) gunung berapi. Dasar dari metode magnetik adalah gaya Coulomb antara dua kutub magnet m_1 dan m_2 (emu) yang berjarak r (cm) dalam bentuk (Telford dkk., 1979):

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

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

2.5.2 Kuat Medan Magnet

Kuat medan magnet (\vec{H}) ialah besarnya medan magnet pada suatu titik dalam ruangan yang timbul sebagai akibat adanya kuat kutub yang berada sejauh r dari titik m_1 . Kuat medan magnet (\vec{H}) didefinisikan sebagai gaya persatuan kuat kutub manet, dapat dituliskan sebagai:

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

dengan r adalah jarak titik pengukuran dari m_1 . \vec{H} mempunyai satuan A/m dalam SI sedangkan dalam cgs \vec{H} mempunyai satuan oersted (Sarkowi, 2010: 79).

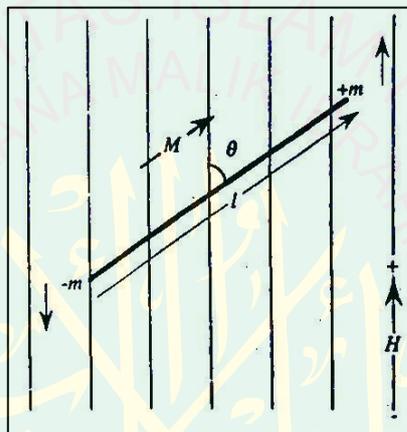
2.5.3 Momen Magnetik

Jika sebuah batang magnet diletakkan di medan magnet H yang seragam (gambar 2.8), ia akan mengalami sepasang gaya yang sama yang bekerja secara paralel satu sama lain tetapi berlawanan arah (sebuah pasangan). Besarnya pasangan adalah:

$$C = 2(ml) H \sin \theta \quad (2.3)$$

dimana θ ketetapan pada medan magnet. Gerakan ini dihasilkan oleh pasangan adalah bergantung terhadap besaran H sebagai nilai dari θ (tidak ada gerakan yang dihasilkan jika $\theta = 0$). Kuantitas lain (ml) yang mana juga mempengaruhi besaran dari pasangan disebut momen magnetik, secara khusus dilambangkan oleh M , jadi (Burger, 1992: 392-393)

$$M = ml \quad (2.4)$$



Gambar 2.8 Ilustrasi diagram pada momen magnetik dalam menentukan gaya terhadap batang magnet dalam sebuah medan magnet (Burger, 1992)

2.5.4 Intensitas Kemagnetan

Sejumlah benda-benda magnet dapat dipandang sebagai sekumpulan benda magnetik. Apabila benda magnet tersebut diletakkan dalam medan luar, benda tersebut menjadi termagnetisasi karena induksi. Dengan demikian, intensitas kemagnetan dapat didefinisikan sebagai tingkat kemampuan menyerahkan momen-momen magnetik dalam medan magnetik luar dapat juga dinyatakan sebagai momen magnetik persatuan volume.

$$\vec{I} = \frac{\vec{M}}{V} = \frac{ml\hat{r}}{V} \quad (2.5)$$

Satuan magnetisasi dalam cgs adalah gauss atau emu. Cm^{-3} dan dalam SI adalah Am^{-1} (Sarkowi, 2010: 79).

2.5.5 Susseptibilitas Kemagnetan

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

$$I = kH \quad (2.6)$$

besaran yang tidak berdimensi ini merupakan parameter dasar yang digunakan dalam metode magnetik. Nilai susseptibilitas magnetik dalam ruang hampa sama dengan nol karena hanya benda berwujud yang dapat termagnetisasi.

Susseptibilitas magnetik dapat diartikan sebagai derajat kemagnetan suatu benda. Nilai susseptibilitas magnetik untuk setiap bahan berbeda-beda, hal ini bergantung dengan jenis bahan. Susseptibilitas magnetik ini akan menentukan sifat magnetik pada setiap bahan. Harga k pada batuan semakin besar apabila dalam batuan semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik. Setiap batuan yang terdiri dari bermacam-macam mineral, yang memiliki sifat magnetic dan susseptibilitas yang berbeda dan dikelompokkan pada 3 bagian yaitu:

1. *Diamagnetik*

Batuan ini mempunyai susseptibilitas negative dan nilainya kecil serta susseptibilitas tidak bergantung pada temperature dan magnet luar H . mineral ini mempunyai harga susseptibilitas $(-8 < 310) \times 10^{-6}$ emu, contoh: bismut, *gypsum*, marmer, dan lain-lain.

2. *Paramagnetik*

Sifat material ini adalah nilai susceptibilitas positif dan sedikit lebih besar dari satu serta nilai susceptibilitas tergantung pada temperatur. Mineral ini mempunyai susceptibilitas $(4 < 36000) \times 10^{-6}$ emu, contoh: *pyroxene, fayalite, amphiboles biotite, garnet*. Efek paramagnetik merupakan suatu efek orientasi, mirip dengan efek orientasi dari molekul-molekul polar yaitu dalam hal sifatnya yang bergantung pada temperatur, membesar jika temperatur menurun karena agitasi termis dari atom-atom atau molekul cenderung untuk mencegah orientasi.

Dalam benda-benda paramagnetik, medan yang dihasilkan oleh momen-momen magnet atomik permanen, cenderung untuk membantu medan magnet luar, sedangkan untuk dielektrik medan dari dipol-dipol cenderung untuk melawan medan luar.

3. *Ferromagnetik*

Sifat yang dimiliki oleh material ini adalah susceptibilitas positif dan jauh lebih besar dari satu, serta nilai susceptibilitasnya bergantung pada temperatur. Nilai susceptibilitas mineral ini adalah $(100 < (1.6 \times 10^6)) \times 10^{-6}$ emu, contoh: besi, nikel dan kobalt. Bahan-bahan ferromagnetik intensitas magnetisasi besarnya sejuta kali lebih besar dari pada bahan-bahan diamagnetik dan paramagnetik (Santoso, 2002, Sarkowi, 2010:80-81).

Secara lebih spesifik batuan terbagi menjadi tiga macam, yaitu batuan sedimen, batuan beku, batuan metamorf yang memiliki susceptibilitas yang berbeda, berikut nilai susceptibilitas masing-masing batuan:

- a. Batuan sedimen, biasanya mempunyai jangkauan susceptibilitas $(0-4000) \times 10^{-6}$ emu dengan rata-rata $(10-75) \times 10^{-6}$ emu, contoh: *dolomite, limestone, sandstone dan shales*.
- b. Batuan beku, biasanya mempunyai jangkauan susceptibilitas $(0-97) \times 10^{-6}$ emu dengan rata-rata $(200-13500)$ emu, contoh: *granite, rhyolite, basalt dan andesite*.
- c. Batuan metamorf, biasanya mempunyai jangkauan susceptibilitas $(0-5800) \times 10^{-6}$ emu dengan rata-rata $(60-350) \times 10^{-6}$ emu, contoh: *amphibolite, shist, phyllite, gneiss, quartzite, serpentine dan slate* (Solihin, 2005, Sarkowi, 2010:81).

Tabel 2.2 Daftar *Susceptibilitas Magnetic* Beberapa Batuan (Telford, 1990)

Type	Susceptibility $\times 10^3$ (SI)	
	Range	Average
<i>Sedimentary</i>		
<i>Dolomite</i>	0 – 0.9	0.1
<i>Limestones</i>	0 – 3	0.3
<i>Sandstone</i>	0 – 20	0.4
<i>Shales</i>	0.01 – 15	0.6
<i>Av. 48 sedimentary</i>	0 – 18	0.9
<i>Methamorphic</i>		0.7
<i>Amphibolite</i>	0.3 – 3	1.4
<i>Schist</i>		1.5
<i>Phyllite</i>	0.1 – 25	
<i>Gneiss</i>		4
<i>Quartzite</i>	3 – 17	
<i>Serpentine</i>	0 – 35	6
<i>Slate</i>	0 – 70	4.2
<i>Av. 61 methamorphic</i>		
<i>Igneous</i>		
<i>Granite</i>	0 – 50	2.5
<i>Rhyolite</i>	0.2 – 35	
<i>Dolorite</i>	1 – 35	17
<i>Augite – syenite</i>	30 – 40	

<i>Olivine – diabase</i>		25
<i>Diabase</i>	1 – 160	55
<i>Phorphyry</i>	0.3 – 200	60
<i>Gabbro</i>	1 – 90	70
<i>Basalts</i>	0.2 – 175	70
<i>Diorite</i>	0.6 – 120	85
<i>Pyroxenite</i>		125
<i>Peridotite</i>	90 – 200	150
<i>Andesite</i>		160
<i>Av. Acidic igneous</i>	0 – 80	8
<i>Av. Basic igneous</i>	0.5 – 97	25

Untuk *suseptibitas*/kerentanan jenis mineral ada pada table 2.3. Harga chalcopyrite dan pirit adalah tipe dari mineral-mineral sulfide dimana umumnya nonmagnetik. Adalah kemungkinan untuk meletakkan mineral pada *susceptibilitas* mineral, meskipun harga negatifnya sangat kecil, namun hal ini merupakan hasil dari survey yang teliti.

Table 2.3 Daftar *Susceptibilitas* Beberapa Mineral (Telford, 1990)

Type	<i>Susceptibility x 10³ (SI)</i>	
	Range	Average
<i>Mineral</i>		
<i>Graphite</i>		0.1
<i>Quartz</i>		-0.01
<i>Rock salt</i>		-0.01
<i>Anhydrite, gypsum</i>		-0.01
<i>Calcite</i>	-0.001 - -0.01	
<i>Coal</i>		0.02
<i>Clays</i>		0.2
<i>Chalcophyrite</i>		0.4
<i>Sphalerite</i>		0.7
<i>Cassiterite</i>		0.9
<i>Siderite</i>	1 – 4	
<i>Phyrite</i>	0.05 – 5	1.5
<i>Limonite</i>		2.5
<i>Arsenopyrite</i>		3
<i>Hematite</i>	0.5 – 35	6.5
<i>Chromite</i>	3 – 110	7
<i>Franklinite</i>		430
<i>Pyrrhotite</i>	1 – 6000	1500

<i>Ilmenite</i>	300 – 3500	1800
<i>Magnetite</i>	1200 – 19200	6000

2.5.6 Induksi Magnetik

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

$$H' = 4\pi kH \quad (2.7)$$

medan magnet totalnya disebut dengan induksi magnet B dan dituliskan sebagai:

$$B = m_r H \quad (2.8)$$

dengan $m_r = 1+4\pi k$ dan disebut sebagai permeabilitas relatif dari suatu benda magnetik. Satuan B dalam emu adalah gauss, sedangkan dalam geofisika eksplorasi dipakai $1g = 10^{-5}$ gauss = 1nT (Joko, 2011).

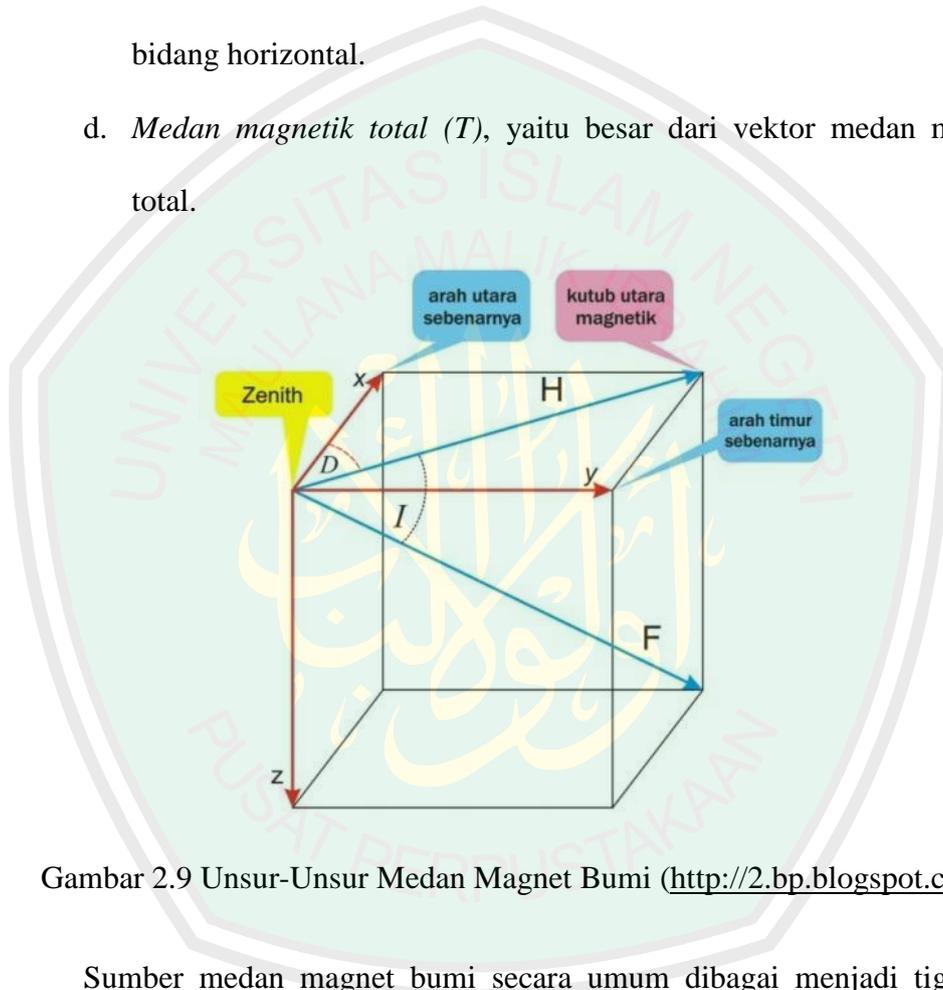
2.6 Pengukuran Medan Magnet

2.6.1 Elemen Medan Magnet Bumi

Medan magnet bumi merupakan suatu besaran vektor, maka besaran ini dapat diuraikan menjadi komponen-komponennya. William Gilbert menganggap bahwa bumi adalah sebuah magnet yang diketahui adanya Inklinasi (I), deklinasi (D), medan magnet tegak (*vertical magnetic field*) (Z), medan magnet datar (*horizontal magnetic field*) (H) dan medan magnet total (*total magnetic field*) (T). Medan magnet tersebut disebut unsur magnet (*magnetic elements*) (Untung, 2001 :9).

- a. *Deklinasi (D)*, yaitu sudut antara utara magnetik dengan komponen horizontal yang dihitung dari utara menuju timur.

- b. *Inklinasi (I)*, yaitu sudut antara medan magnetik total dengan bidang horizontal yang dihitung dari bidang horizontal menuju bidang vertikal ke bawah.
- c. *Intensitas Horizontal (H)*, yaitu besar dari medan magnetik total pada bidang horizontal.
- d. *Medan magnetik total (T)*, yaitu besar dari vektor medan magnetik total.



Gambar 2.9 Unsur-Unsur Medan Magnet Bumi (<http://2.bp.blogspot.com>)

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

1. Medan Magnet Utama (*main field*)

Secara teoritis medan magnet utama bumi disebabkan oleh sumber dari dalam dan luar bumi. Medan magnet dari dalam bumi diduga

dibangkitkan oleh perputaran aliran arus dalam inti bagian luar bumi yang bersifat cair dan konduktif (Sharma, 1997, Joko, 2011).

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

2. Medan Magnet Luar (*external field*)

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

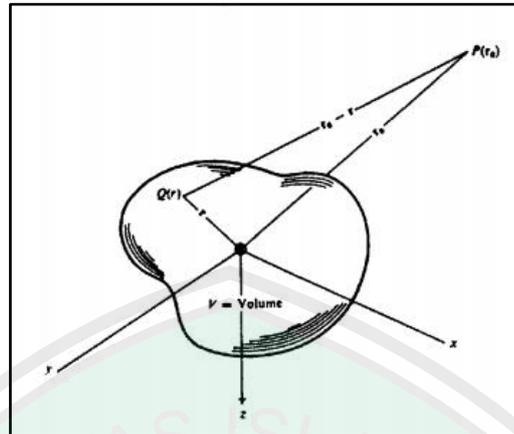
1. Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dengan siklus 11 tahun.
2. Variasi harian (*diurnal variation*) dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari dan mempunyai jangkau 30 nT.

3. Variasi harian (*diurnal variation*) 25 jam yang berhubungan dengan pasang surut bulan dan mempunyai jangkau 2 nT.
4. Badai magnetik (*magnetic storm*) yang bersifat acak dan mempunyai jangkau sampai dengan 1000 nT.

3. Anomali Medan Magnet

Ini terjadi di dekat permukaan kerak bumi dan merupakan penyebab perubahan dalam medan magnet utama, yang biasanya jauh lebih kecil daripada medan utama serta relatif konstan terhadap waktu dan tempat. Perubahan ini dapat dihubungkan dengan perubahan kandungan mineral magnetik dalam batuan-batuan dekat permukaan. Kadang-kadang anomali ini cukup besar, hingga besar medan magnet menjadi lebih besar dua kali lipat dari pada medan utama lokal (Telford, 1990:72).

Medan magnet anomali sering juga disebut medan magnet local (*crustal field*). Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral bermagnet seperti magnetite (Fe_3O_4), titanomagnetite (Fe_2TiO_4) dan lain-lain yang berada di kerak bumi. Potensial dan medan dari anomali magnetik biasanya didefinisikan sebagai potensial dan medan yang hanya dibangkitkan oleh beda termagnetisasi.



Gambar 2.10 Potensial Magnetik di Titik $P(x,y,z)$ dari Benda Temagnetisasi

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

$$V(x, y, z) = -C_m \int_v M(x, y, z) \cdot \nabla \frac{1}{r} dv \quad (2.9)$$

dengan $r^2 = (x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2$, $M(x',y',z')$ adalah kuat magnetisasi ($A.m^{-1}$) dengan arah magnetisasi \hat{r} dan C_m adalah konstanta pembanding yang bernilai $\frac{\mu_0}{4\pi}=10^{-7}$ ($Henry.m^{-1}$) dengan μ_0 merupakan permeabilitas ruang hampa. Medan magnet di titik $P(x,y,z)$ diturunkan sebagai gradient dari potensial magnetik persamaan (2.9), sehingga (Sudarmaji, 2005: 84):

$$B(x,y,z) = C_m \nabla \int_v M(x, y, z) \cdot \nabla \frac{1}{r} dv \quad (2.10)$$

2.6.2 Anomali Medan Magnetik Total

Anomali medan magnetik dihasilkan oleh benda magnetik yang telah terinduksi oleh medan magnet utama bumi, sehingga benda tersebut memiliki

medan magnet sendiri dan ikut mempengaruhi besarnya medan magnet total hasil pengukuran. Variasi medan magnetik yang terukur di permukaan merupakan target dari survei magnetik (anomali magnetik). Besarnya anomali magnetik berkisar ratusan sampai dengan ribuan nano-tesla, tetapi ada juga yang lebih besar dari 100.000 nT yang berupa endapan magnetik. Secara garis besar anomali ini disebabkan oleh medan magnetik remanin dan medan magnet induksi. Bila arah medan magnet remanin sama dengan arah medan magnet induksi maka anomalnya bertambah besar, demikian juga sebaliknya. Medan magnet remanen mempunyai peranan yang besar pada magnetisasi batuan yaitu ada besar dan arah medan magnetnya serta sangat rumit diamati karena berkaitan dengan peristiwa kemagnetan yang dialami sebelumnya. Sisa kemagnetan ini disebut dengan *Normal Residual Magnetism* yang merupakan akibat magnetisasi medan utama. Dalam survei magnetik, adanya anomali magnetik menyebabkan perubahan medan magnet total bumi dan dapat dituliskan sebagai berikut (Telford,1990):

$$H_T = H_0 + H_L + H_A \quad (2.11)$$

dimana:

H_T = medan magnetik total bumi

H_0 = medan magnetik utama bumi

H_L = medan magnetik luar

H_A = medan anomali magnetik

2.7 Tranformasi Medan

2.7.1 Reduksi ke Kutub

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

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

Pada metode reduksi ke kutub ada proses transformasi, yang dilakukan dengan mengaplikasikan *Fast Fourier Transform* (FFT). Berikut perumusan transformasi dengan menggunakan FFT (Blakely,1995:331):

$$F[\Delta T_r] = F[\Psi_r]F[\Delta T] \quad (2.12)$$

dimana

$$F[\Psi_r] = \frac{1}{\Theta_m \Theta_f} = \frac{|k|^2}{a_1 k_x^2 + a_2 k_y^2 + a_3 k_x k_y + i|k|(b_1 k_x + b_2 k_y)}, |k| \neq 0, \quad (2.13)$$

2.7.2 Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas atau *upward continuation* merupakan proses transformasi data medan potensial dari suatu bidang yang lebih tinggi. Pada pengolahan data geomagnetik, proses ini dapat berfungsi sebagai filter tapis rendah, yaitu untuk menghilangkan atau mereduksi efek magnetik lokal yang berasal dari berbagai sumber benda magnetik yang tersebar di permukaan topografi yang tidak terkait dengan survey (Blakely, 1995:316).

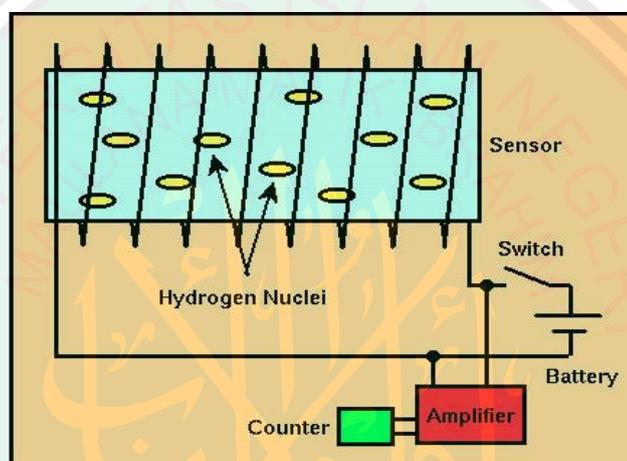
$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{((x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2)} dx' dy' \quad (2.14)$$

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

Proses pengangkatan tidak boleh terlalu tinggi, karena ini dapat mereduksi anomali magnetik lokal yang bersumber dari benda magnetik atau struktur geologi yang menjadi target survei magnetik ini. Dengan melakukan kontinuasi ke atas maka diperoleh dua hasil sekaligus, yaitu mereduksi pengaruh untuk kontinuasi yang tidak terlalu besar dan menampakkan efek regional dari daerah pengukuran untuk kontinuasi yang besar. Hingga langkah ini diperoleh data medan magnet total yang sudah terbebas dari pengaruh regional, IGRF, dan medan regional, sehingga yang tersisa hanya akibat benda penyebab anomali saja. Untuk melakukan kontinuasi ke atas dapat dilakukan dengan menggunakan kontinuasi *surface to surface* atau *Fourier-Domain Representation*.

2.8 Magnetometer (*Proton Precision Magnetometer*)

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



Gambar 2.11 Diagram kotak dari PPM (www.mines.edu)

Cara kerja dari *Proton Precision Magnetometer* dapat dijelaskan pada gambar di atas (gambar 2.8). Di dalam botol yang dililitkan kumparan dimasuki cairan yang mengandung banyak proton. Proton-proton ini mempunyai 2 macam gerakan yang tidak beraturan. Gerakan tersebut adalah gerakan spin (berputar pada porosnya) dan gerak precesi (gerak gasing yang oleng). Apabila tegangan polarisasi diaktifkan maka timbul medan magnet H_1 yang kuat disekeliling botol. Hal ini mengakibatkan gerak proton-proton tadi menjadi lebih teratur. Gerak precesi proton pada keadaan ini mengikuti aturan sedemikian rupa sehingga dipenuhi hubungan (Munadi,2001:49) :

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

dimana:

ω_1 = kecepatan sudut gerak precesi proton

γ = rasio giromagnetik dari proton yang besarnya adalah $2,6752 \times 10^8$

H_1 = kuat medan magnet yang dibangkitkan oleh tegangan polarisasi

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

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

dimana :

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

γ = rasio giromagnetik dari proton

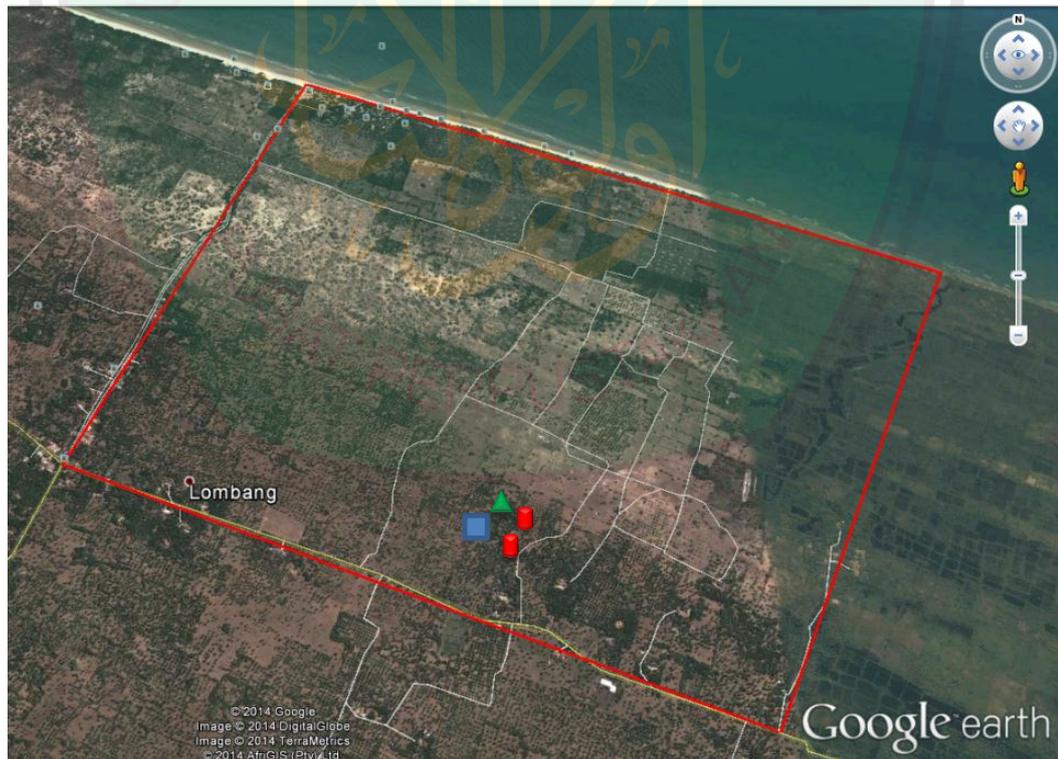
H_2 = kuat medan magnet bumi yang mempengaruhinya

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

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 3-4 Mei 2014. Tempat penelitian terletak di sekitar sumber air panas Desa Lombang Kecamatan Batang-batang Kabupaten Sumenep Madura. Lokasi mata air panas tersebut berdekatan dengan pesisir pantai daerah setempat. Di sekitar sumber panas tersebut adalah sawah, ladang, rumah dan bekas tempat wisata pemandian air panas. Pengolahan data bertempat di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Lokasi Daerah Penelitian

Keterangan:

-  Sumur air panas
-  Bekas kolam pemandian
-  Mata air panas
-  Daerah penelitian

3.2 Data Penelitian

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah :

- a. Koordinat Lintang dan Bujur
- b. Waktu pengambilan data (hari, jam, dan tanggal)
- c. Ketinggian titik ukur
- d. Data geomagnetik, meliputi:
 - Medan total
 - Variasi harian
 - Medan utama bumi (IGRF)

Data koordinat lintang dan bujur, waktu pengambilan data, ketinggian titik ukur dibaca melalui GPS yang digunakan pada waktu di lapangan dan juga benda-benda disekitar titik pengukuran harus di data seperti pohon, batu, bangunan, dan lain-lain.

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Magnetometer, jenis magnetometer yang digunakan adalah jenis Proton Precession Magnetometer (PPM) ENVI SCIENTREX 851.
- b. GPS, untuk penentuan posisi stasiun pengukuran secara presisi

- c. Kompas, alat penentu arah mata angin
- d. Alat pengukur waktu
- e. Buku manual alat
- f. Peralatan pendukung : Peta geologi, alat tulis, penggaris, perangkat komputer untuk pengolahan data, dan Software (Ms. Excel, *Magpick*, *Surfer 10*, *Mag2dc V 2.1* dan *Adobe Photoshop CS3*).

3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini meliputi tahap pengambilan data (akuisisi data), pengolahan data dan interpretasi terhadap hasil pengolahan data. Pada penelitian ini yang dianalisa adalah berupa data anomali magnetik, geologi daerah penelitian, dan kontras suseptibilitasnya. Berikut akan dijelaskan tahap-tahap prosedur pelaksanaan penelitian dalam metode geomagnetik.

3.4.1 Akuisisi Data

Pengambilan data dilakukan di daerah sumber air panas Desa Lombang. Luas daerah pengambilan data adalah 1500 meter x 2100 meter. Akuisisi data ini merupakan tahapan yang tidak kalah pentingnya dibandingkan tahap-tahap lainnya, sehingga kalau terjadi suatu kesalahan dalam tahap ini akan mengakibatkan seluruh pekerjaan selanjutnya menjadi tidak berguna. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengambilan data menggunakan metode magnetik ini. Pengukuran menggunakan metode ini memiliki kesensitifan yang cukup tinggi terhadap sumber medan listrik maupun medan magnet yang berada di sekitar titik pengukuran, sehingga akan lebih baik

dalam pengambilan data pada setiap titik pengukuran untuk menghindari sumber yang menimbulkan medan tersebut.

Proses pengukuran dilakukan dengan metode *loop* tertutup. Maksud dari *loop* tertutup adalah setiap siklus pengukuran, posisi dari titik awal pengukuran dan titik akhirnya adalah sama yang ditentukan sebagai titik acuan (*base station*). Tujuan dari digunakannya metode *loop* ini yaitu agar koreksi harian (*diurnal*) dapat dilakukan terhadap data pengukuran. Koreksi harian (*diurnal*) merupakan penyimpangan intensitas medan magnet bumi yang disebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengukuran dalam satu hari, sedangkan proses pengukuran menggunakan metode magnetik ini tidak selesai dalam satu waktu.

Data yang dihasilkan pada penelitian ini adalah sebanyak 47 titik dengan luas daerah penelitian 1500 x 2100 m, jarak antara satu titik dengan yang lainnya 300 meter dengan lima kali pengambilan data pada setiap titik pengamatan dan di ambil tingkat kesalahan yang terkecil dari pembacaan alat tersebut.

3.4.2 Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data (*data processing*) adalah segala sesuatu proses yang dilakukan terhadap data lapangan meliputi koreksi-koreksi, konturing dan analisa. Dalam pengukuran magnetik di lapangan akan tertangkap medan magnet total bumi. Medan magnet total bumi merupakan gabungan dari tiga elemen yaitu medan magnet bumi yang dihasilkan oleh sifat-sifat bumi yang secara keseluruhan (medan utama), medan magnet yang dihasilkan oleh sumber di atas permukaan bumi (medan magnet eksternal) dan medan magnet yang dihasilkan oleh ketidakhomogenan kerak bumi (*anomaly*).

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

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

3.4.2.1 Koreksi Harian (*Diurnal*)

Koreksi harian (*diurnal*) adalah merupakan penyimpangan intensitas medan magnet bumi yang disebabkan oleh perbedaan waktu pengukuran dan efek sinar matahari dalam satu hari. Koreksi harian dapat diperoleh dengan mengurangi nilai intensitas magnet pada titik pengukuran dengan nilai intensitas magnet pada *base station* (interpolasi linier terhadap waktu), dengan rumusan sebagai berikut:

$$\Delta H_{\text{harian}} = \left(\frac{t_n - t_{aw}}{t_{ak} - t_{aw}} \right) (H_{ak} - H_{aw}) \quad (3.1)$$

Dimana H menyatakan intensitas medan magnet total, t menyatakan waktu, indeks n menyatakan nomor data, indeks aw menyatakan data awal (data pertama di *base station*), dan indeks ak menyatakan data akhir (data akhir di *base station*).

3.4.2.2 Koreksi IGRF

Data hasil pengukuran medan magnetik pada dasarnya adalah kontribusi dari tiga komponen dasar, yaitu medan magnetik utama bumi, medan magnetik luar dan medan anomali. Nilai medan magnetik utama tidak lain adalah nilai IGRF. Jika nilai medan magnet luar dihilangkan dengan koreksi harian, maka kontribusi medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi IGRF. Koreksi IGRF dapat dilakukan dengan cara mengurangi nilai IGRF terhadap nilai medan magnetik total yang telah terkoreksi harian pada setiap titik pengukuran pada posisi geografis yang sesuai. Persamaan koreksinya (setelah dikoreksi harian) dapat dituliskan sebagai berikut (Kurniati,2008:19):

$$\Delta H = H_D - H_0 \quad (3.2)$$

$$H_D = H \pm V_D \quad (3.3)$$

dimana:

ΔH = Anomali Medan Magnet Total

H_D = Intensitas Medan Magnet pengaruh luar (Diurnal)

H = Intensitas Medan Magnet terukur

H_0 = Medan Magnet Utama Bumi (IGRF)

V_D = Variasi Diurnal

3.4.2.3 Reduksi Bidang Datar

Anomali medan magnet ini masih berada pada topografi yang tidak rata, sehingga data anomali tersebut perlu diproyeksikan ke bidang datar dengan ketinggian yang sama. Kesalahan yang mungkin timbul jika dilakukan interpretasi/pemodelan pada bidang yang tidak rata (*uneven surface*), disebabkan oleh ketidak-teraturan ketinggian data pengukuran. Suatu metode yang dapat dipergunakan untuk membawa data medan potensial hasil hasil observasi yang masih terdistribusi di bidang yang tidak horizontal (misalnya bidang topografi) ke bidang horizontal adalah melalui pendekatan deret Taylor (*Taylor series approximation*).

Sebuah deret Taylor menggunakan turunan sebuah fungsi yang dihitung pada satu titik untuk mengekstrapolasi fungsi terhadap titik yang berdekatan. Deret Taylor diterapkan sebagai suatu teknik untuk memodifikasi bentuk benda penyebab anomali agar bias memecahkan problem invers nonlinier. Deret Taylor juga dapat digunakan untuk memprediksi harga suatu medan potensial pada titik-titik yang jauh dari permukaan observasi.

3.4.2.4 Kontinuitas ke Atas

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

magnetik lokal yang bersumber dari benda magnetik atau struktur geologi yang menjadi target survei magnetik ini.

3.4.2.4 Reduksi ke Kutub

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

3.4.2.5 Pemodelan Geologi

Pemodelan geologi dalam penelitian ini, dilakukan analisa pada tiga buah penampang melintang anomali lokal yang masing-masing berarah melintang. Dalam melakukan penarikan garis penampang perlu diperhatikan bentuk dari konturnya atau pola anomalnya. Bentuk yang dipertimbangkan adalah berupa tinggian atau rendahan anomali, kerapatan kontur sehingga dapat diperkirakan pola struktur geologi bawah permukaan yang berupa suatu patahan, suatu intrusi atau berupa lipatan (*antiklin* atau *sinklin*). Dalam penentuan garis penampang harus berarah tegak lurus terhadap garis kontur, sehingga dapat diperkirakan pola struktur geologi dengan baik.

Pada tahap pemodelan, setelah dilakukan penarikan penampang selanjutnya dilakukan proses *digitize* dan *slice* menggunakan program *Surfer 10*. Hasil dari *digitize* dan *slice* adalah data berupa nilai anomali lokal dan jarak lintasan pada penampang yang telah dibuat, yang merupakan data masukan untuk

program *Mag2dc* sebagai suatu penampang melintang anomali. Setelah model anomali tergambar, maka dapat dilakukan pemodelan struktur bawah permukaan dengan memasukkan nilai kontras suseptibilitas batuan, ketebalan lapisan batuan tertentu seperti yang terbaca pada peta geologi.

3.5 Tahapan Interpretasi Data

Interpretasi data dapat dilakukan dengan dua cara yaitu interpretasi secara kuantitatif dan interpretasi secara kualitatif. Interpretasi kualitatif didasarkan pada analisis peta kontur anomali lokal sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan bantuan program *Mag2dc*.

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

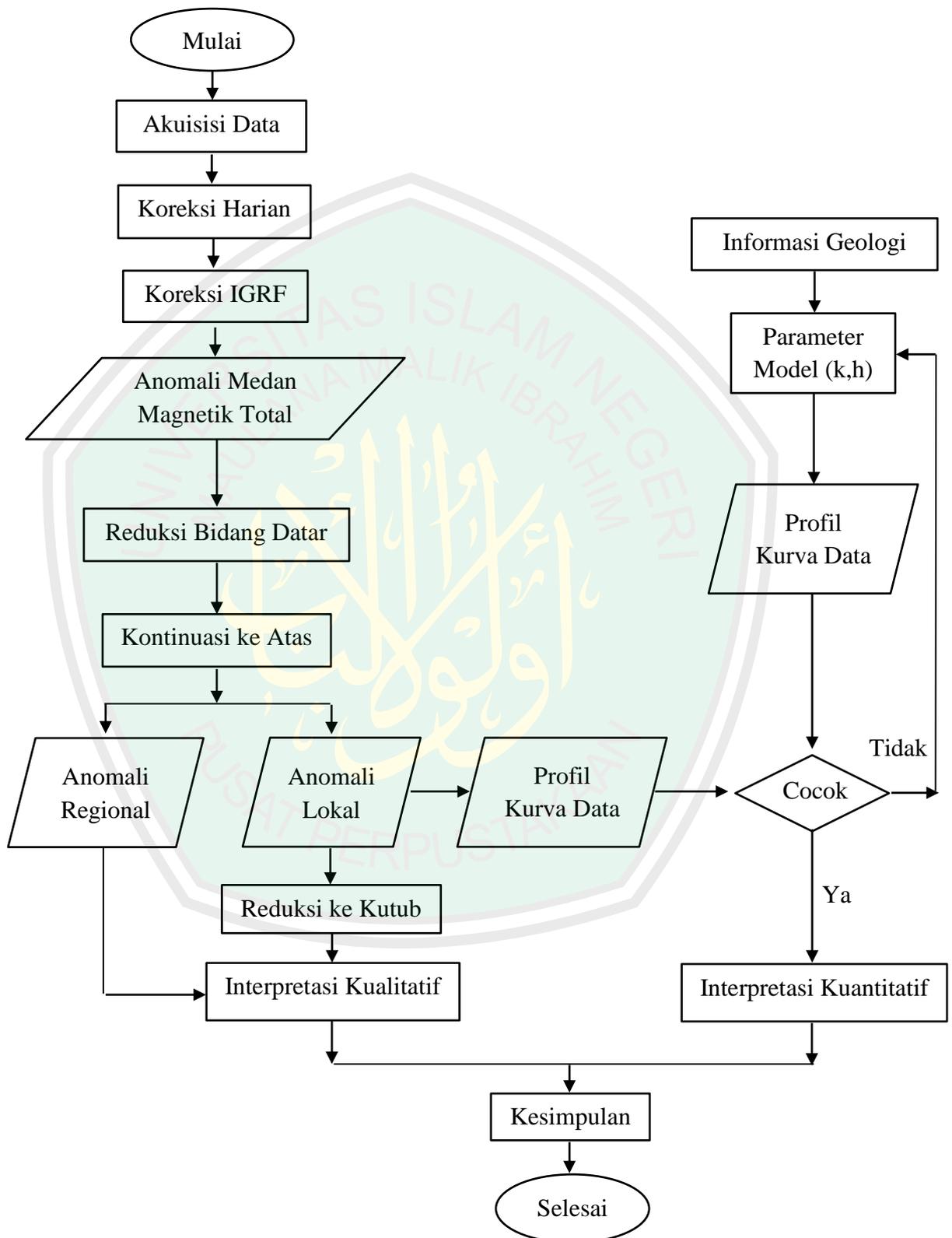
Program ini terdiri dari dua parameter. Parameter pertama merupakan parameter tetap dan parameter dua merupakan parameter variabel. Parameter tetap terdiri dari nilai intensitas magnetik daerah pengukuran sesuai IGRF, sudut inklinasi, sudut deklinasi dan profil *bearing*.

Parameter kedua terdiri dari kedalaman, bentuk poligon dan nilai susseptibilitas. Parameter ini merupakan parameter yang akan dicari nilainya.

Perubahan nilai pada parameter ini akan didapatkan model lapisan bawah permukaan.

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





Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode geomagnetik adalah salah satu metode eksplorasi geofisika yang didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnetik di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Data hasil pengukuran adalah medan magnet total bumi yang terdiri dari elemen medan magnet bumi yang dihasilkan oleh sifat-sifat bumi yang secara keseluruhan (medan utama), medan magnet yang dihasilkan oleh sumber di atas permukaan bumi (medan magnet eksternal) dan medan magnet yang dihasilkan oleh ketidakhomogenan kerak bumi (*anomaly*). Kemudian nilai yang terukur dalam metode geomagnetik adalah nilai anomali magnetik yang menggambarkan distribusi suseptibilitas batuan di bawah permukaan. Tahapan eksplorasi geomagnetik terdiri dari akuisisi data, pengolahan data dan tahap interpretasi.

4.1 Akuisisi Data

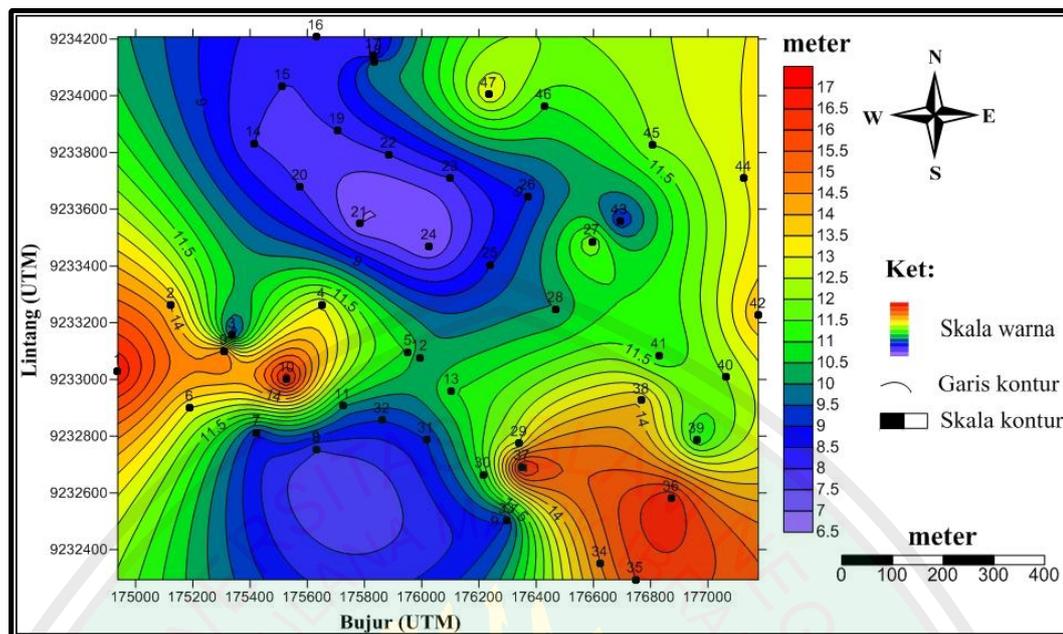
Dalam penelitian ini, alat yang digunakan adalah Proton Processing Magnetometer (PPM) ENVI SCIENTRIX tipe 851, dimana setiap titik pengukuran akan diberikan perlakuan sebanyak 5 kali pengambilan data dan diambil salah satunya dengan catatan adalah tingkat kesalahan yang terkecil. Data yang diperoleh pada saat penelitian adalah sebanyak 47 titik dengan jarak spasi setiap titik 300 m pada luas area penelitian 1500 m x 2100 m. Kemudian juga mengukur lintang dan bujur di setiap titik pengukuran dalam bentuk *Decimal Degree*.

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data geomagnetik bertujuan untuk mengetahui medan magnet total dari satu titik amat yang ditimbulkan oleh kemagnetan batuan akibat induksi medan magnet luar, medan magnet utama bumi dan medan magnet lokal. Pengolahan data dimulai dengan mengkonversi koordinat yang didapat pada saat akuisisi data di lapangan yang berbentuk *Decimal Degree* ke dalam bentuk *Universal Transfer Mercator* (UTM) dengan tujuan untuk mempermudah pembacaan pada *Surfer 10* dan pengolahan data selanjutnya. Langkah selanjutnya adalah melakukan koreksi yaitu koreksi harian dan koreksi IGRF dengan tujuan untuk memperoleh anomali medan magnetik total (ΔH). Kemudian dilakukan penginterpretasian baik itu secara kualitatif maupun secara kuantitatif.

Dari data yang telah dikoreksi, selanjutnya adalah membuat peta kontur yang terdiri dari peta kontur topografi, peta kontur intensitas medan magnetik total, peta kontur anomali magnetik total, peta kontur anomali magnetik total pada bidang datar, peta kontur anomali magnetik regional, peta kontur anomali magnetik local dan peta kontur anomali magnetik lokal yang direduksi ke kutub.

Pembuatan peta kontur dilakukan dengan menggunakan *Software Surfer 10*. Untuk kontur peta topografi ialah dengan cara memasukkan nilai koordinat-koordinat Lintang (LS) pada kolom (x), Bujur (BT) pada kolom (y) dan Ketinggian pada kolom (z).

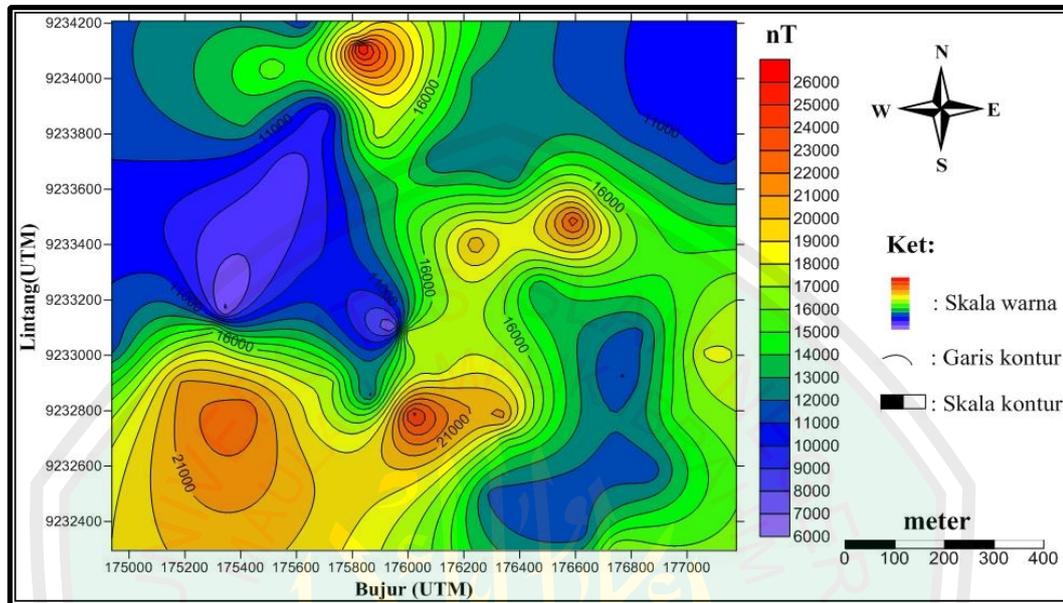


Gambar 4.1 Kontur Topografi Daerah Penelitian

Gambar 4.1 merupakan peta kontur topografi pada daerah penelitian yaitu di Desa Lombang. Kontur tersebut menunjukkan adanya daerah yang tinggi dan daerah yang rendah. Dimana dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu daerah lembah, datar dan tinggi. Akan tetapi pada kontur topografi tersebut hanya mempunyai selisih ketinggian yang kecil, tidak terlalu ekstrim. Warna ungu sampai biru merupakan daerah yang rendah. Warna hijau sampai kuning merupakan daerah yang sedang atau datar. Sedangkan warna kuning sampai merah merupakan daerah yang lebih tinggi.

Data yang terbaca pada alat magnetometer merupakan nilai intensitas medan magnetik total yang terukur di topografi. Untuk memperoleh peta kontur intensitas medan magnetik total tersebut ialah caranya sama seperti pada pembuatan peta kontur topografi yaitu dengan memasukkan nilai Bujur (BT), nilai

Lintang (LS) dan nilai intensitas medan magnetik total yang diperoleh saat pengukuran data di lapangan.



Gambar 4.2 Kontur Intensitas Medan Magnetik Total dengan Interval Kontur 1000 nT

Gambar 4.2 tersebut menunjukkan nilai intensitas medan magnet yang terukur pada topografi daerah telitian yaitu dari 6000 nT sampai dengan 27000 nT. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat nilai intnsitasnya yaitu rendah (kurang dari 13000 nT), sedang (13000 nT sampai dengan 20000 nT) dan Tinggi (20000 nT sampai dengan 26000 nT).

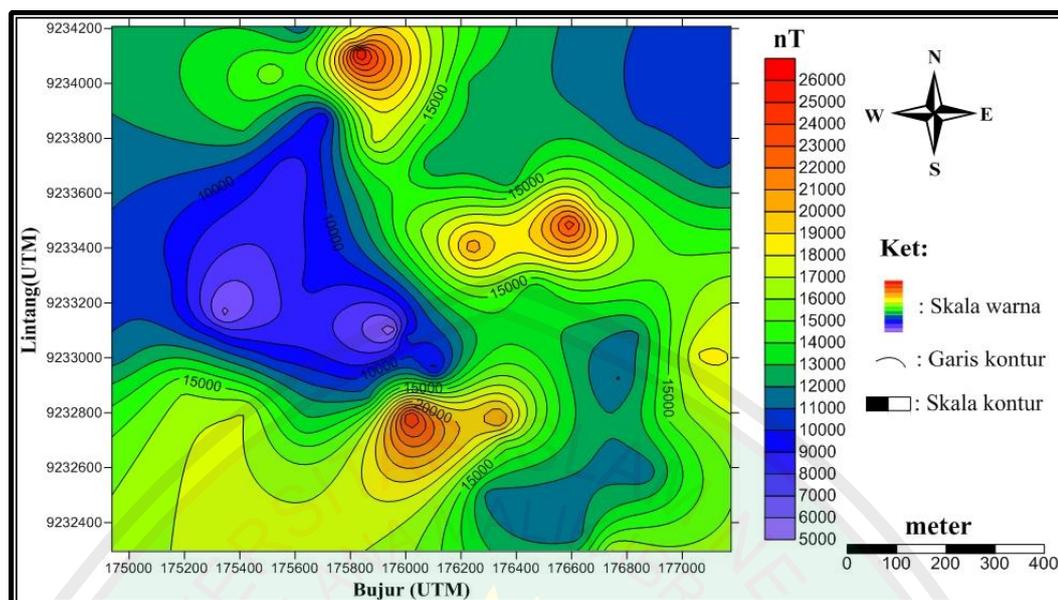
4.2.1 Koreksi Harian

Data yang diperoleh pada saat penelitian di daerah telitian adalah bukan nilai anomali magnetik yang diharapkan, melainkan data mentah hasil pengukuran yang masih ada pengaruh dari luar dan dalam bumi. Data tersebut tidak lain intensitas medan magnetik total (H) yang merupakan gabungan dari tiga komponen yaitu medan magnet utama bumi (*main field*), medan magnet luar

(*external field*), dan medan magnet lokal. Selanjutnya dilakukan suatu koreksi yaitu koreksi harian (*diurnal correction*) dan koreksi IGRF yang bertujuan untuk menghilangkan pengaruh-pengaruh medan magnet dari luar bumi dan pengaruh dari dalam bumi (medan magnet utama bumi). Dengan demikian maka didapatkan suatu anomali medan magnet total (ΔH).

Medan magnet bumi bervariasi baik itu dari permukaan, dari waktu ke waktu dan tempat ke tempat. Perubahan ini terutama disebabkan oleh variasi radiasi matahari dan efek badai matahari yang ada pada tempat lokasi daerah telitian.

Koreksi harian (*diurnal correction*) merupakan penyimpangan nilai medan magnetik bumi akibat adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari. Waktu yang dimaksudkan harus mengacu atau sesuai dengan waktu pengukuran data medan magnetik di setiap titik lokasi (stasiun pengukuran) yang akan dikoreksi. Apabila nilai variasi harian negatif, maka koreksi harian dilakukan dengan cara menambahkan nilai variasi harian yang tercatat pada waktu tertentu terhadap data medan magnetik yang akan dikoreksi. Sebaliknya apabila variasi harian bernilai positif, maka koreksinya dilakukan dengan cara mengurangi nilai data medan magnetik terhadap nilai variasi harian yang tercatat pada waktu tertentu. Untuk memperoleh peta kontur anomali magnetik setelah dikoreksi harian ialah dengan melakukan hal yang sama seperti proses sebelumnya yaitu dengan memasukkan nilai Bujur (BT), Lintang (LS) dan nilai intensitas medan magnetik total setelah dikurangi nilai variasi hari. Berikut merupakan peta kontur dari hasil koreksi harian:



Gambar 4.3 Kontur Hasil Koreksi Diurnal dengan Interval Kontur 1000 nT

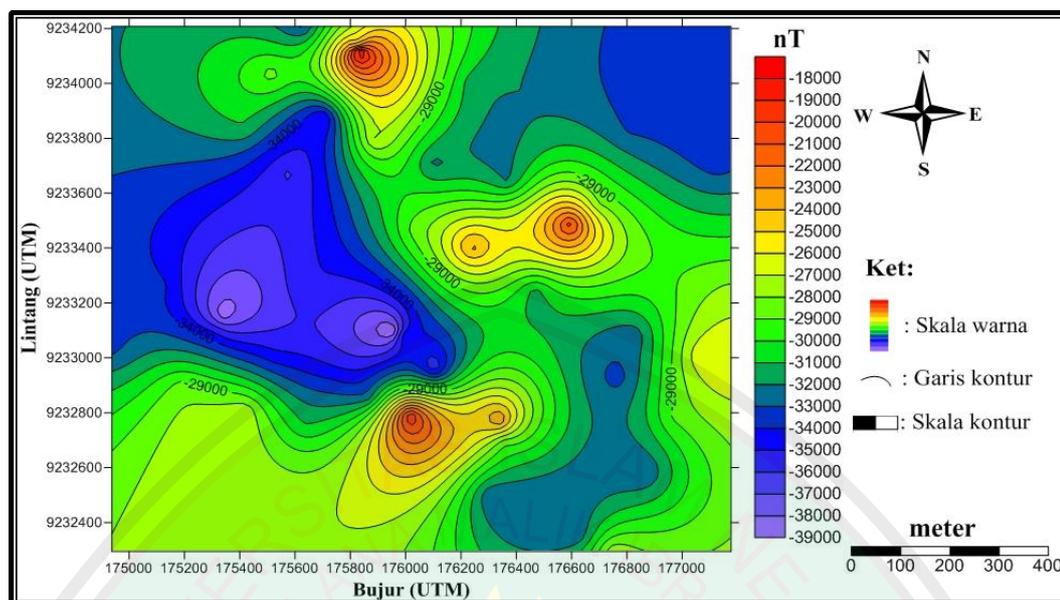
Gambar 4.3 tersebut menunjukkan nilai hasil koreksi harian (*diurnal correction*). Berdasarkan hasil tersebut didapatkan nilai kontur yaitu dari 5000 nT sampai dengan 27000 nT. Hal demikian dapat dilihat nilainya yaitu ada yang nilainya rendah yaitu warna ungu sampai biru muda (5000 nT sampai 13000 nT), nilainya sedang yaitu warna biru muda sampai warna jingga (13000 nT sampai dengan 19000 nT) dan nilai yang Tinggi yaitu warna jingga sampai merah (19000 nT sampai dengan 27000 nT).

4.2.2 Koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*)

Koreksi IGRF dilakukan untuk menghilangkan pengaruh dari medan magnet utama bumi. Nilai IGRF ini diperbarui setiap lima tahun sekali, dimana nilai tersebut didapat dengan cara *online* melalui *website* <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>, maka akan muncul tampilan berikut:

Gambar 4.4 Kalkulator IGRF (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>)

Pada penelitian nilai IGRF yang digunakan ialah pada tahun 2014 dengan letak geografis pada *base station* ($07^{\circ} 55' 52.79''$ LS dan $114^{\circ} 04' 11.05''$ BT), dengan nilai IGRF 44326.7 nT. Setelah didapat nilai IGRF maka dilakukan koreksi dengan mengurangi nilai intensitas medan magnetik total yang sudah dikoreksi harian dengan nilai IGRF. Nilai yang sudah dikoreksi harian dan koreksi IGRF disebut dengan nilai anomali magnetik total (ΔH). Nilai anomali magnetik total tersebut kemudian dikonturkan dengan menggunakan *Software Surfer 10* yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.5 Kontur Anomali Medan Magnetik Total dengan Interval Kontur 1000 nT

Dari gambar 4.5 menunjukkan nilai anomali magnetik yaitu dari -39000nT sampai -17000 nT. Nilai tersebut menunjukkan perbedaan nilai anomali yang sangat kecil atau negatif. Sifat kemagnetan batuan secara umum ada tiga macam, yaitu *diamagnetic*, *paramagnetic* dan *ferromagnetic*. Sebagaimana pada kontur tersebut setelah data dari lapangan dikurangi koreksi harian dan koreksi IGRF mendapatkan nilai negatif. Suatu batuan bersifat *diamagnetic* apabila mempunyai nilai suseptibilitas kecil dan dikarenakan orientasi orbital substansi ini selalu berlawanan arah dengan magnet luar, sehingga medan totalnya selalu berkurang atau melemah tidak bergantung pada temperature (suhu). Sebagai contoh adalah *grafit*, *marbele*, *kuarsa*, *marmar*, *garam* dan *anhidrit* atau *gypsum*.

Pada Peta Geologi Lembar Waru Sumenep daerah penelitian berada pada daerah pengendapan Aluvium (Qa) yang terdiri dari batuan Pasir kuarsa, lumpur, lempung, kerikil, kerakal. Dengan demikian daerah penelitian kemungkinan besar didominasi oleh beberapa batuan yang bersifat diamagnetik. Maka dari itu yang

terjadi pada saat pengambilan data nilai dari suatu kemagnetan cenderung kecil. Akan tetapi nilai yang didapat tersebut juga tergantung kepada pengoprasi alat atau alat yang digunakan mengalami rusak atau gangguan sehingga data atau nilai yang didapat kurang valid.

Gambar 4.5 menunjukkan variasi medan magnet yang berbeda-beda berdasarkan skala warnanya. Nilai ini juga menunjukkan sifat kemagnetan suatu batuan, dimana dengan nilai anomali magnet total yang ada tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu: anomali rendah pada warna biru sampai ungu (-39000 nT sampai -33000 nT), anomali sedang pada warna kuning sampai hijau (-32000 sampai -25000) dan anomali tinggi dengan warna jingga sampai merah yaitu di atas -25000 nT.

4.3 Interpretasi Kualitatif

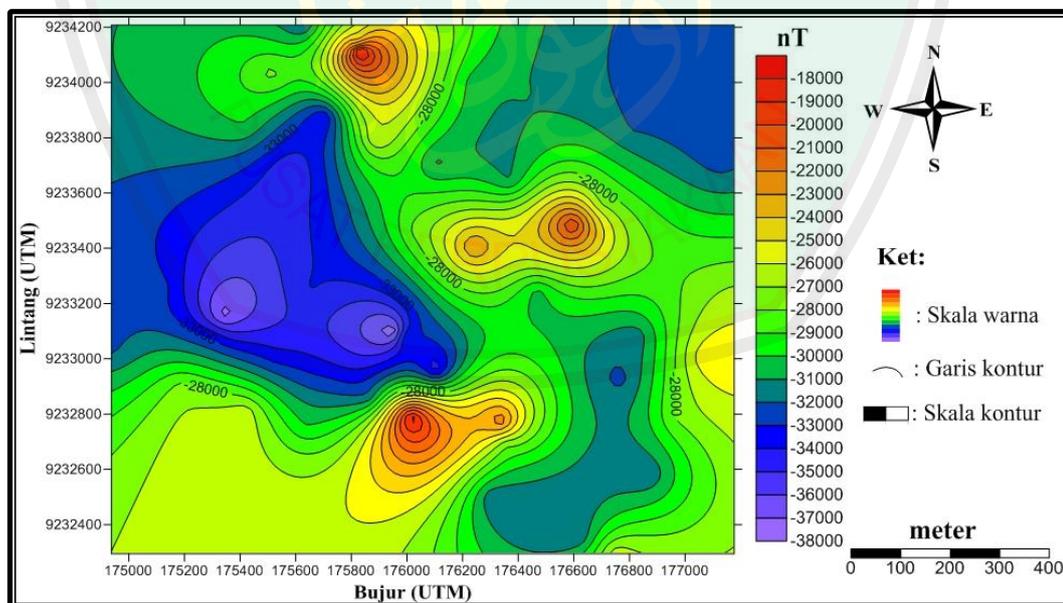
Secara umum Interpretasi data anomali dibagi menjadi dua, yaitu secara kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi secara kualitatif didasarkan pada pola kontur anomali medan magnet yang bersumber atau disebabkan oleh benda-benda termagnetisasi yang ada di bawah permukaan bumi. Dengan demikian, interpretasi kualitatif dilakukan dengan menganalisa pola-pola kontur anomali magnet total yang di kontunuasi ke atas dan direduksi ke kutub.

4.3.1 Reduksi ke Bidang Datar

Suatu benda termagnetisasi di bawah permukaan akan terbaca sesuai dengan pola topografi yang ada pada daerah observasi. Dimana suatu nilai medan magnet yang terdapat pada daerah topografi tidak rata akan mempengaruhi kesalahan dalam interpretasi atau pemodelan. Untuk menghindari hal tersebut,

data anomali medan magnet total harus ditransformasi pada suatu bidang dengan ketinggian yang sama (*level surface*) untuk mempermudah dalam melakukan interpretasi atau pemodelan. Dalam melakukan transformasi pada suatu bidang pada ketinggian yang sama (*level surface*), dalam arti lain adalah reduksi ke bidang datar dapat menggunakan beberapa metode, diantaranya menggunakan pendekatan *Taylor Series Approximation*.

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



Gambar 4.6 Kontur Anomali Magnet Total Setelah Reduksi ke Bidang Datar pada ketinggian 15 m dpl dengan Interval Kontur 1000 nT

Gambar 4.6 merupakan hasil dari reduksi ke bidang datar pada ketinggian rata-rata di topografi yaitu 15 m dpl. Hasil tersebut menunjukkan pola kontur yang

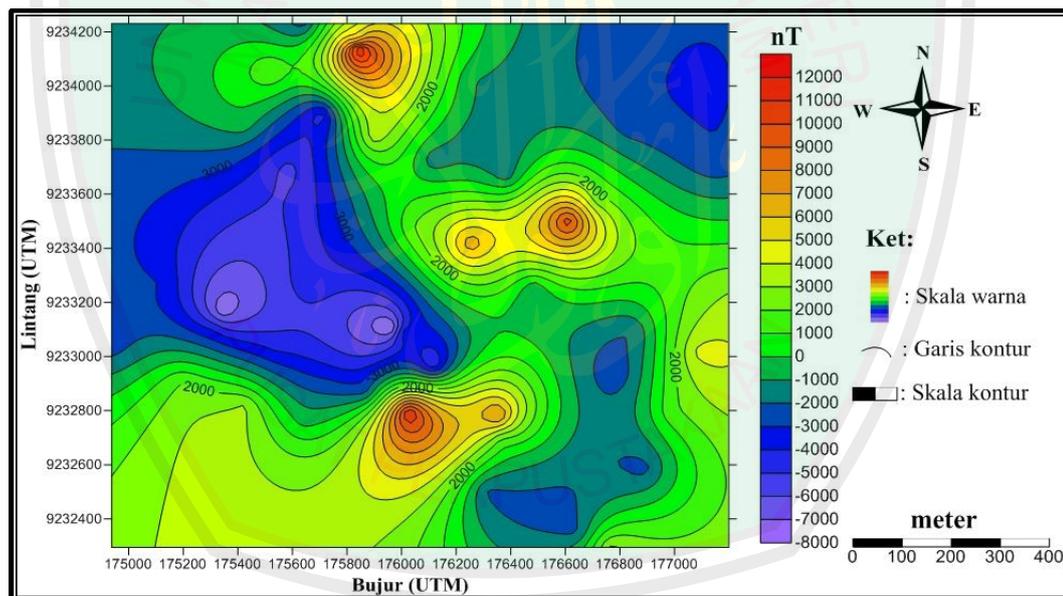
mirip dengan kontur anomali magnet total di topografi, akan tetapi ada perubahan nilai yang terjadi pada anomali hasil reduksi ke bidang datar tersebut. Harga anomali medan magnetik total pada bidang datar adalah mulai dari -38000 nT sampai dengan -17000 nT. Dengan demikian dapat dibagi menjadi empat bagian yaitu, warna biru tua memberikan nilai anomali magnetik kurang dari -34000 nT, warna biru muda sampai hijau memberikan nilai anomali magnetik -32000 nT sampai dengan -28000 nT, warna hijau muda sampai warna jingga memberikan nilai anomali magnetik -27000 nT sampai dengan -24000 nT, warna jingga sampai merah memberikan nilai anomali magnetik -23000 nT sampai -17000 nT.

4.3.2 Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)

Hasil yang didapatkan setelah dikoreksi harian dan IGRF adalah anomali medan magnet total yang merupakan gabungan dari anomali regional dan anomali residual. Setelah diperoleh anomali tersebut maka dilakukanlah reduksi ke bidang datar. Dengan demikian hasil tersebut diperlukan pemisahan anomali residual dan regional. Langkah yang dilakukan adalah melakukan kontinuasi ke atas dengan tujuan untuk memfilter anomali regional yang lebih halus dan benda yang bersifat dangkal sehingga diperoleh anomali yang lebih terlihat dan dapat diketahui benda-benda yang menyebabkan anomali tersebut. Proses kontinuasi ke atas dilakukan dengan menggunakan *Software MagPick*.

Proses kontinuasi ke atas dilakukan pada ketinggian tertentu dengan cara seolah-olah menghitung data pada ketinggian tersebut. Saat melakukan kontinuasi atau pengangkatan tidak boleh terlalu tinggi, karena ini dapat mereduksi anomali magnetik lokal yang bersumber dari benda magnetik atau struktur geologi yang

Hasil anomali magnet total yang sudah dikontinuasi ke atas terdiri dari anomali lokal dan anomali regional. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan anomali lokal, sehingga dari anomali lokal dapat menggambarkan pola dan karakteristik sebaran nilai pengukuran, perlapisan batuan dan struktur yang ada di lapangan berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan. Nilai anomali magnetik lokal yang terdapat pada daerah penelitian sangat bervariasi dikarenakan ketidakseragaman batuan di bawah permukaan. Akibat dari ketidakseragaman tersebut nilai anomalnya ada yang bernilai positif dan ada yang bernilai negatif. Adapun nilainya adalah -8000 nT sampai 13000 nT.



Gambar 4.8 Kontur Anomali Residual Hasil Kontinuasi ke Atas Pada Ketinggian 2100 m dpl

Pada daerah penelitian nilai anomali yang ditargetkan adalah nilai anomali yang rendah atau sedang, karena hal ini berkaitan dengan demagnetisasi suatu batuan akibat dari panas yang dilepaskan oleh suatu daerah manifestasi panas bumi yang ada pada daerah tersebut. Hal tersebut berhubungan dengan perbedaan distribusi suseptibilitas di bawah permukaan. Dimana nilai anomali magnetik

yang tinggi mengindikasikan suseptibilitas batuan yang ada pada daerah tersebut bernilai positif dan tinggi serta mempunyai kerentanan kemagnetan yang tinggi pula. Anomali magnetik yang sedang mengindikasikan suseptibilitas batuan positif, akan tetapi nilainya kecil dengan kerentanan magnet yang sedang. Sedangkan anomali magnetik yang rendah mengindikasikan suseptibilitas batuan yang negatif dan kerentanan magnet sangat rendah.

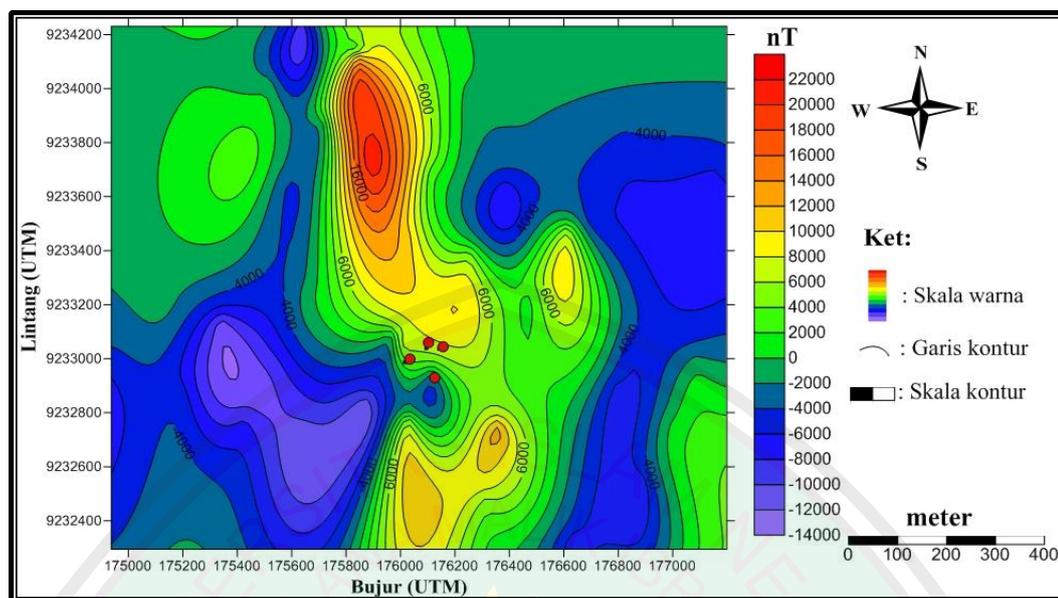
Nilai anomali yang terbaca pada kontur berdasarkan skala merupakan nilai anomali lokal yang masih dalam bentuk *nanotesla* (nT). Agar lebih mudah dalam menginterpretasi suatu kontur, maka nilai tersebut di konversi ke dalam bentuk *gauss* atau *cgs emu*, dikarenakan keduanya sama dalam suatu komponen magnetik, sehingga mempunyai hubungan $B = H + 4\pi M$. Dalam geofisika eksplorasi dipakai $1\text{g} = 10^{-5}\text{ gauss} = 1\text{nT}$. Setelah dikonversi maka bisa dilihat pada (Tabel 2.3). Berdasarkan nilai tersebut dapat dibagi menjadi tiga kelompok nilai anomali yaitu nilai anomali rendah mulai skala hijau tua sampai ungu dengan nilai anomaly kurang dari -2000 nT yang ditafsirkan didominasi batuan yang memiliki nilai kerentanan magnet yang rendah dikarenakan termasuk batuan diamagnetik yang terdiri dari *quartz*, *rock salt*, *anhydrite*, *gypsum*, *calcite*. Anomali magnetik sedang ada pada skala warna hijau muda sampai kuning dengan nilai anomali -1000 nT sampai 4000 nT yang ditafsirkan sebagai sedimentasi batuan *dolomite* dengan mineral yang terkandung adalah kuarsa. Anomali magnetik tinggi berada pada skala kuning sampai merah dengan nilai anomali lebih dari 4000 nT yang ditafsirkan mengandung batuan *limestones* yang terdiri dari mineral kuarsa. Berdasarkan tiga kelompok tersebut daerah penelitian

didominasi oleh nilai anomali magnet rendah dan sedang yang merata di area sumber air panas Lombang.

4.3.3 Reduksi ke Kutub (*Reduction to the Pole*)

Anomali lokal yang diperoleh dari proses kontinuitas ke atas itu masih dipengaruhi oleh induksi ataupun medan dari luar. Oleh karena itu perlu dilakukan proses transformasi reduksi ke kutub yang merupakan salah satu filter data magnetik untuk menghilangkan sudut inklinasi. Proses reduksi ke kutub dilakukan dengan mengubah arah magnetisasi medan utama dalam arah vertikal, tetapi masih disebabkan oleh sumber yang sama. Proses tersebut dilakukan dengan cara membuat sudut inklinasi 90° dan deklinasinya 0° , karena pada kutub magnetik arah dari medan magnetik bumi ke bawah dan arah dari magnetisasi induksinya juga ke bawah.

Data anomali lokal yang bersifat dipol diharapkan dengan dilakukannya reduksi ke kutub dapat mengubahnya menjadi anomali lokal yang bersifat monopul (anomali maksimum tepat berada di atas benda penyebab anomali). Dengan demikian maka dapat memudahkan dalam interpretasi secara kualitatif pada posisi sumur-sumur yang menyebabkan munculnya air panas (*hydrothermal*) di permukaan. Dari proses reduksi ke kutub didapatkan pola kontur anomali magneti seperti berikut:



Gambar 4.9 Kontur Anomali Residual Hasil Reduksi ke Kutub dengan Interval Kontur 1000 nT

Gambar 4.9 merupakan peta kontur anomali magnetik hasil reduksi ke kutub. Dari hasil tersebut terlihat perbedaan anomali yang sangat signifikan jika dibandingkan dengan anomali magnetik lokal sebelum direduksi ke kutub. Dimana setelah direduksi ke kutub menunjukkan nilai kemagnetan yang lebih tinggi. Setelah dilakukan proses reduksi ke kutub didapatkan peta kontur anomali magnetik yang mengalami penguatan nilai kemagnetan.

Berdasarkan gambar 4.10 juga dapat dilihat bahwa nilai anomali magnetnya berkisar antara -14000 nT sampai 23000 nT. Hal ini berbeda dengan nilai anomali magnet sebelum dilakukan reduksi ke kutub (gambar 4.9) yang memiliki nilai antara -8000 nT sampai 13000 nT. Dari kontur reduksi ke kutub di atas terlihat jelas terdapat nilai anomali magnet. Pertama yaitu nilai anomali yang terjadi di daerah yang memiliki kemagnetan rendah yang ditunjukkan ada skala warna biru sampai warna ungu. Nilai anomali yang kedua ditunjukkan pada nilai

anomali yang sedang yaitu pada skala warna kuning sampai warna hijau muda. Sedangkan anomali tinggi berada pada skala warna merah sampai warna jingga.

Sebelum dilakukan proses transformasi reduksi ke kutub kontras nilai kemagnetan yang bernilai positif dan kemagnetan yang bernilai negatif yang menyebabkan adanya anomali tidak merata. Hal tersebut dikarenakan nilai kemagnetan masih terpengaruh oleh nilai inklinasi, sehingga menyebabkan data tersebut masih bersifat dipol. Sedangkan setelah dilakukan proses transformasi reduksi ke kutub maka terlihat bahwa daerah negatif mulai ternormalisasi karena struktur anomalnya berubah sifat menjadi monopol karena pengaruh dari inklinasi dihilangkan sehingga daerah yang sebelumnya negatif mengalami penguatan menjadi positif.

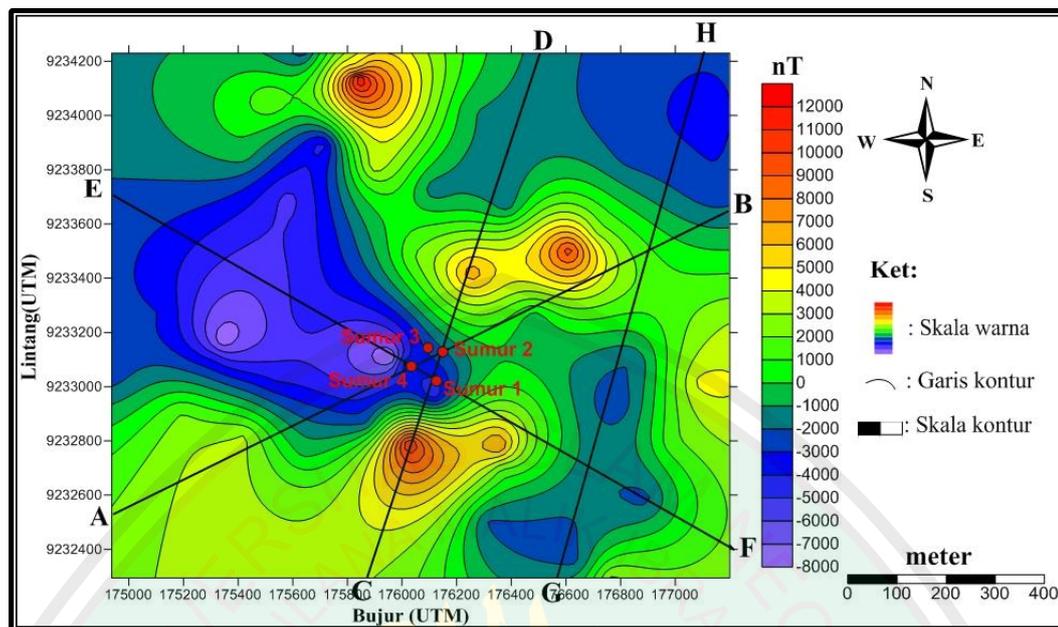
Hasil analisa dengan menggunakan reduksi ke kutub menghasilkan anomali yang sebenarnya mempunyai nilai suseptibilitas yang rendah. Suseptibilitas yang rendah hanya bisa terjadi jika suatu material magnetik terpanaskan hingga mencapai temperatur Curie suatu batuan. Dengan pemanasan tersebut material magnetik dapat mengalami demagnetisasi. Dengan menggabungkan hasil analisa kontur anomali magnetik lokal dan reduksi ke kutub menunjukkan bahwa daerah sumber air panas Lombang terletak pada anomali magnetik yang sedang dan rendah, sementara harga anomali magnetik rendah yang menunjukkan zona deagnetisasi hidrotermal (menurunnya sifat kemagnetan batuan akibat panas) terletak di sebelah kanan dan sebelah kiri dari daerah sumber air panas tersebut.

4.4 Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan bentuk atau model dan kedalaman benda anomali atau struktur geologi melalui pemodelan matematis. Prinsip kerja dari program *Mag2dc* adalah menyamakan bentuk dari anomali pengamatan (yang berupa garis putus-putus) dengan anomali perhitungan (yang berupa garis tegas).

Interpretasi secara kuantitatif dilakukan berdasarkan hasil dari penafsiran secara kualitatif, sehingga dapat menentukan bagian-bagian penampang anomali yang menarik untuk memperkirakan struktur geologi bawah permukaan. Dalam interpretasi kuantitatif masih terdapat ambiguitas karena bisa saja beragam model, geometri dan kedalaman yang tidak pasti dapat dihasilkan. Untuk menghindari hal demikian supaya dalam pemodelan bisa lebih dipercaya, maka diperlukan adanya data pendukung yang berupa data geologi daerah penelitian, data susceptibilitas batuan dan data geofisika lainnya.

Gambar 4.11 merupakan anomali lokal yang akan dipotong atau di slice pada lintasan AB, lintasan CD, lintasan EF dan lintasan GH. Dengan menggunakan software *Mag2dc*, dimana parameter inputannya adalah sudut kemiringan, kedalaman, sudut inklinasi, sudut deklinasi, dan nilai IGRF (medan magnetic utama bumi). Pada daerah penelitian ini harga inklinasi dan deklinasi berturut-turut $-30,88^\circ$ dan 1.3° dan harga IGRF daerah penelitian adalah 44326,7 nT. Setelah itu juga memasukkan jarak lintasan pada kolom X dan nilai anomali lokal pada kolom Y yang merupakan hasil dari pemotongan tersebut.



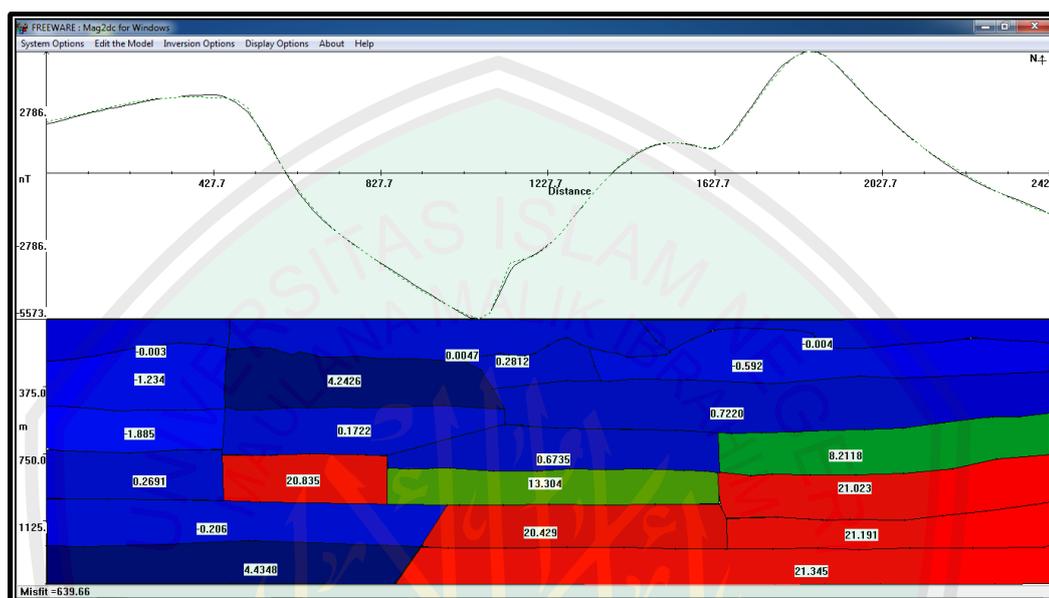
Gambar 4.10 Irisan Kontur Anomali Lokal Lintasan AB, Lintasan CD, EF dan Lintasan GH

Pemodelan dilakukan dengan metode *trial and error* sehingga dalam pekerjaannya harus diiterasi sampai didapatkan ralat (*error*) yang terkecil. Semakin kecil prosentase *error* yang didapatkan, maka dapat dikatakan bahwa semakin tinggi pula tingkat keakuratan dari model yang dihasilkan. Demikian juga sebaliknya, semakin besar prosentase *error*, maka tingkat keakuratan dari model yang dihasilkan juga akan semakin kecil.

4.4.1 Penampang Melintang Lintasan AB

Penampang anomali magnetik lokal lintasan AB diambil berdasarkan penafsiran secara kualitatif, dimana lintasan AB melintang mulai dari arah barat-barat daya sampai arah timur timur laut melewati dua titik sumur (sumber air panas Lombang) yaitu sumur 4 dan sumur 2 (gambar 4.11) . Dimana terdapat beberapa anomali positif yang terletak pada jarak 0 sampai 597.7 meter dan 1387.7 meter sampai 1817.7 meter. Anomali negatif terletak pada jarak 597.7

meter sampai 1387.7 meter dan 1817.7 meter sampai 2427 meter. Jadi total panjang lintasan AB adalah 2427 meter yang terdiri dari 145 titik dengan beberapa variasi nilai anomali magnetik yaitu -6056 nT sampai 5059 nT.



Gambar 4.11 Model Penampang Anomali Lokal Lintasan AB

Gambar 4.11 merupakan penampang melintang anomali lokal untuk lintasan AB yang terdiri dari sumbu Y negatif, sumbu Y positif dan sumbu X. Sumbu Y positif merupakan nilai anomali magnet dari hasil pengamatan (nT), sumbu Y negatif adalah kedalaman dari permukaan yang akan diamati, dimana pada pemodelan ini kedalaman maksimum yang digunakan mencapai 1500 meter. Sedangkan untuk sumbu X merupakan jarak lintasan pengamatan (meter) mulai titik A sampai B. Garis putus-putus pada kurva adalah nilai anomali pengamatan sedangkan garis kontinu adalah anomali hasil perhitungan (respon dari pemodelan lapisan). Penafsiran litologi batuan pada daerah penelitian didasarkan pada data geologi. Berdasarkan informasi geologi diketahui bahwa daerah penelitian di permukaan didominasi oleh batuan Aluvium (Qa) yang terdiri dari pasir kuarsa

lempung, kerikil, kerakal dan batugamping koral. Pada pemodelan penampang anomali lokal lintasan AB terdapat 21 *body*, dimana 21 *body* tersebut kemudian dikelompokkan menjadi 4 bagian batuan.

Penampang AB memberikan informasi bahwasanya batuan yang berada pada daerah tersebut sesuai hasil pemodelan itu termasuk pada batuan sedimen. Lapisan pertama nilai susceptibilitas pada warna biru ■ bernilai positif adalah 0,0047, (satuan SI) dengan panjang 1100 meter dan tebal 187 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomitan. Sedangkan warna biru ■ bernilai negatif dengan nilai susceptibilitas -0,003 dan -0,004 (satuan SI) dengan panjang 427.7 meter 1000 meter, ketebalannya 187 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Pada lapisan pertama termasuk dalam Formasi Holosen dan Pamekasan yang terdiri dari (pasir kuarsa lempung, kerikil, kerakal, batugamping koral, konglomerat, batupasir, batulempung, dan batugamping). Lapisan kedua dengan nilai susceptibilitas warna biru ■ bernilai negatif adalah -0,592 dan -1,234 (satuan SI) dengan panjang 427,7 meter dan 1100 meter, tebalnya 250 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Nilai susceptibilitas warna biru ■ positif adalah 0,2812 dan 0,7220 (satua SI) dengan panjang 300 meter dan 1300 meter, ketebalannya 190 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomit. Nilai susceptibilitas warna biru tua ■ adalah 4,2426 (satuan SI) dengan panjang 700 meter dan tebalnya 250 meter. Nilai susceptibilias warna biru ■ adalah Nilai batuan tersebut diduga sebagai batu gamping. Pada lapisan kedua termasuk pada Formasi Madura yang terdiri dari (batugamping terumbu, dolomitan terdiri dari batugamping kapuran,

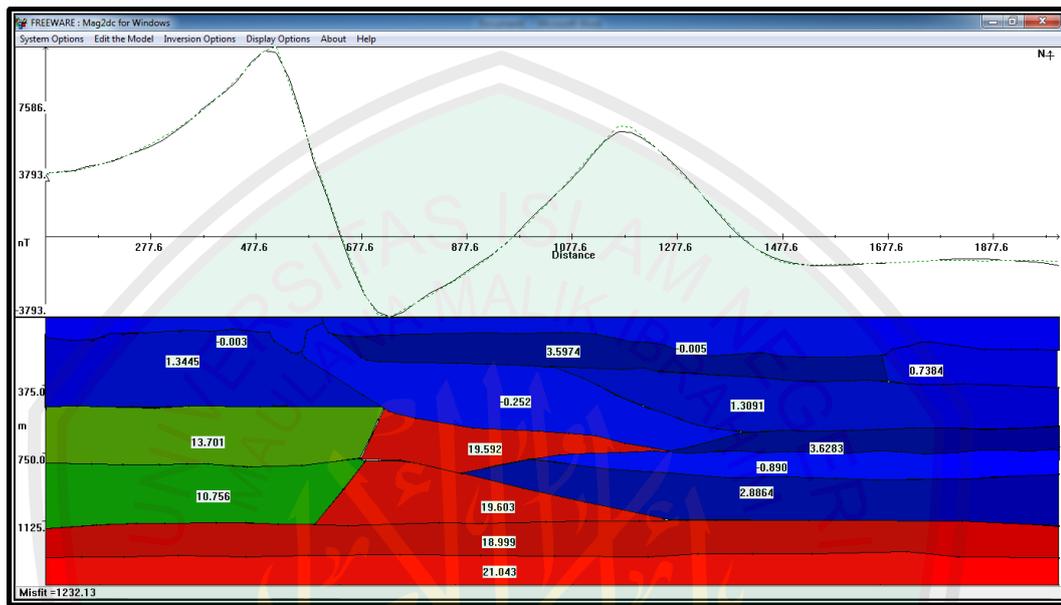
batugamping pasir, batugamping hablur, dan batugamping oolit setempat berlapis). Lapisan ketiga dengan nilai susceptibilitas warna biru ■■■ negatif adalah -1,885 (satuan SI) dengan panjang 400 meter dan tebalnya 250 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Nilai susceptibilitas warna biru ■■■ positif adalah 0,1722 dan 0,6735 (satuan SI) dengan panjang 700 meter dan 800 meter, ketebalannya 260 meter dan 250 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomit. Sedangkan nilai susceptibilitas warna hijau ■■■ adalah 8,2118 (satuan SI) dengan panjang 800 meter dan tebalnya 250 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batu gamping lempungan. Lapisan keempat dengan nilai susceptibilitas warna biru ■■■ adalah 0,2691 (satuan SI) dengan panjang 400 meter dan tebalnya 250 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomit. Nilai susceptibilitas warna merah ■■■ adalah 20,838 dan 20,023 (satuan SI) dengan panjang 380 meter dan 800 meter, ketebalannya 240 meter dan 250 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan pasir. Nilai susceptibilitas dengan warna hijau ■■■ 13,304 (satuan SI) dengan panjang 900 meter dan tebalnya 150 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping lempungan. Pada lapisan ketiga dan keempat termasuk dalam Formasi Pasean yang terdiri dari (perselingan napal pasir dengan batugamping lempungan, batugamping pasir, dan batugamping oolit, berlapis baik, mengandung banyak foraminifera). Lapisan kelima dengan nilai susceptibilitas warna biru ■■■ negatif adalah -0,206 (satuan SI) dengan panjang 850 meter dan tebalnya 200 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Nilai susceptibilitas warna merah ■■■ adalah 20,429 dan 21,191 (satuan SI) dengan panjang 700 meter dan

800 meter, ketebalannya 200 meter dan 150 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batupasir. Pada lapisan kelima termasuk dalam Formasi Bulu yang terdiri dari (batugamping pasiran dengan sisian napal, puth-coklat, struktur plat-plat dan silang-siur berkembang baik, mengandung foraminifera besar dan foram kecil, moluska). Lapisan keenam dengan nilai suseptibilitas warna biru tua ■■■■■ adalah 4,4348 (satuan SI) dengan panjang 827 meter dan tebalnya 200 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping. Nilai suseptibilitas warna merah ■■■■■ adalah 21,345 dengan panjang 1600 meter dan tebalnya 200 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batupasir. Pada lapisan keenam termasuk dalam Formasi Ngrayong yang terdiri dari (batupasir kuarsa, umumnya lepas, putih, putih kecoklatan, berselingan dengan batugamping orbitoid dan batulempung, stempat menyerpih, selingan batu lempung, selingan batugamping orbitoid semakin rapat dan tebal ke bagian atas di dalam lempung dan pasir kuarsa, dijumpai gipsum dan konreksi besi). Keberadaan batugamping, batupasir dan dolomit pada lapisan ini diduga sangat kuat sebagai batuan sistem geotermal, karena batuan tersebut akan cepat panas ketika bersentuhan dengan air.

4.4.2 Penampang Melintang Lintasan CD

Penampang anomali magnetik lokal lintasan CD diambil berdasarkan penafsiran secara kualitatif, dimana lintasan CD melintang mulai dari arah selatan barat daya sampai arah utara timur laut melewati dua titik sumur (sumber air panas Lombang) yaitu sumur 1 dan sumur 2 (gambar 4.11). Dimana terdapat beberapa anomali positif yang terletak pada jarak 0 sampai 560 meter dan 967.6 meter sampai 1397.6 meter. Anomali negatif terletak pada jarak 560 meter sampai

967.6 meter dan 1397.6 meter sampai 1992.6 meter. Jadi total panjang lintasan CD adalah 1992.6 meter yang terdiri dari 114 titik dengan beberapa variasi nilai anomali magnetik yaitu -4470,493 nT sampai 10642,47 nT.



Gambar 4.12 Model Penampang Anomali Lokal Lintasan CD

Gambar 4.12 merupakan penampang melintang anomali lokal untuk lintasan CD yang terdiri dari sumbu Y negatif, sumbu Y positif dan sumbu X. Sumbu Y positif merupakan nilai anomali magnet dari hasil pengamatan (nT), sumbu Y negatif adalah kedalaman dari permukaan yang akan diamati, dimana pada pemodelan ini kedalaman maksimum yang digunakan mencapai 1500 meter. Sedangkan untuk sumbu X merupakan jarak lintasan pengamatan (meter) mulai titik C sampai D. Garis putus-putus pada kurva adalah nilai anomali pengamatan sedangkan garis kontinu adalah anomali hasil perhitungan (respon dari pemodelan lapisan). Penafsiran litologi batuan pada daerah penelitian didasarkan pada data geologi. Berdasarkan informasi geologi diketahui bahwa daerah penelitian di permukaan didominasi oleh batuan Aluvium (Qa) yang terdiri dari pasir kuarsa

lempung, kerikil, kerakal dan batugamping koral. Pada pemodelan penampang anomali lokal lintasan CD terdapat 16 *body*, dimana 16 *body* tersebut kemudian dikelompokkan menjadi 4 bagian batuan.

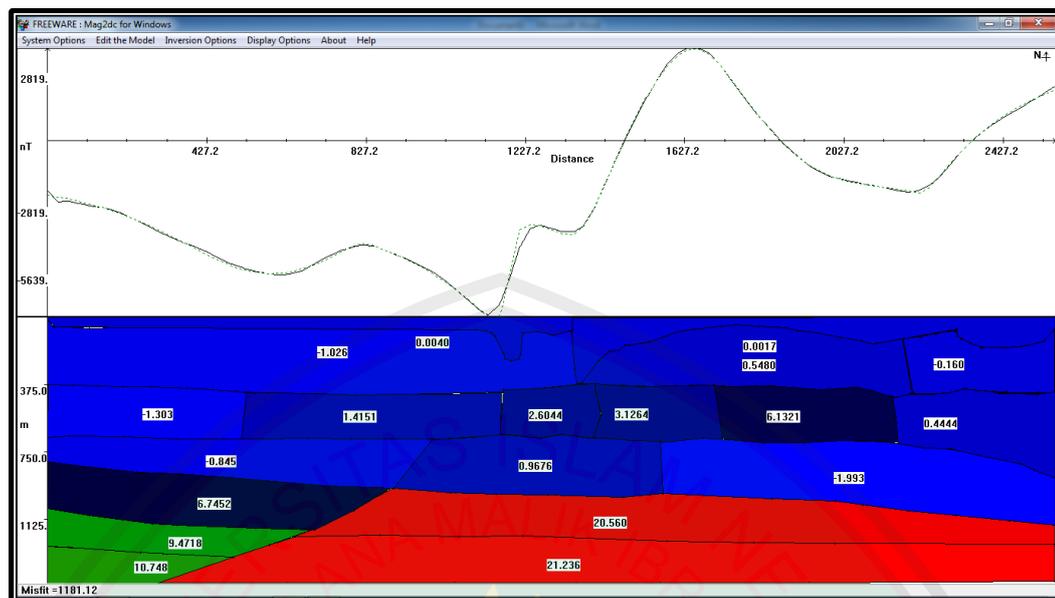
Penampang CD memberikan informasi bahwasanya batuan yang berada pada daerah tersebut sesuai hasil pemodelan itu termasuk pada batuan sedimen. Lapisan pertama nilai susceptibilitas pada warna biru ■ bernilai positif adalah 0,7384, (satuan SI) dengan panjang 350 meter dan tebal 100 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomitan. Nilai susceptibilitas warna biru ■ negatif adalah -0,003 dan -0,005 (satuan SI) dengan panjang 500 meter dan 1420 meter, ketebalannya 100 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Nilai susceptibilitas warna biru tua ■ adalah 3,5974 (satuan SI) dengan panjang 1080 meter dan tebalnya 100 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping. Pada lapisan pertama termasuk dalam Formasi Holosen dan Pamekasan yang terdiri dari (pasir kuarsa lempung, kerikil, kerakal, batugamping koral, konglomerat, batupasir, batulempung, dan batugamping). Lapisan kedua dengan nilai susceptibilitas warna biru ■ bernilai positif adalah 1,3445 dan 1,3091 (satuan SI) dengan panjang 600 meter dan 980 meter, ketebalnya 375 meter dan 250 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomit. Nilai susceptibilitas warna biru ■ negatif adalah -0,252 (satuan SI) dengan panjang 820 meter dan ketebalannya 360 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Pada lapisan kedua termasuk pada Formasi Madura yang terdiri dari (batugamping terumbu, dolomitan terdiri dari batugamping kapuran, batugamping pasiran, batugamping hablur, dan batugamping oolit setempat

berlapis). Lapisan ketiga dengan nilai suseptibilitas warna hijau ■■■ adalah 13,701 (satuan SI) dengan panjang 600 meter dan tebalnya 350 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batulempung. Nilai suseptibilitas warna biru tua ■■■ adalah 3,6283 (satuan SI) dengan panjang 750 meter dan ketebalannya 100 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping. Nilai suseptibilitas warna merah ■■■ adalah 19,592 (satuan SI) dengan panjang 550 meter dan tebalnya 300 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batupasir. Sedangkan nilai suseptibilitas dengan warna ■■■ adalah -0,890 dengan panjang 1050 meter dan tebalnya 100 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuasa. Lapisan keempat dengan nilai suseptibilitas warna biru tua ■■■ adalah 2,8864 (satuan SI) dengan panjang 600 meter dan tebalnya 375 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping. Nilai suseptibilitas warna merah ■■■ adalah 19,603 (satuan SI) dengan panjang 700 meter dan tebalnya 375 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batupasir. Nilai suseptibilitas dengan warna hijau ■■■ 10,756 (satuan SI) dengan panjang 600 meter dan tebalnya 375 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping lempungan. Pada lapisan ketiga dan keempat termasuk dalam Formasi Pasean yang terdiri dari (perselingan napal pasiran dengan batugamping lempungan, batugamping pasiran, dan batugamping oolit, berlapis baik, mengandung banyak foraminifera). Lapisan kelima dengan nilai suseptibilitas warna merah ■■■ adalah 18,999 (satuan SI) dengan panjang 1977 meter dan ketebalannya 170 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batupasir yang berselingan dengan batulempung. Pada lapisan kelima termasuk dalam Formasi Bulu yang terdiri dari (batugamping pasiran dengan sisipan napal,

putih-coklat, struktur plat-plat dan silang-siur berkembang baik, mengandung foraminifera besar dan foram kecil, moluska). Lapisan keenam dengan nilai susceptibilitas warna merah ■■■■■ adalah 21,043 dengan panjang 1977 meter dan tebalnya 170 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batupasir. Pada lapisan keenam termasuk dalam Formasi Ngrayong yang terdiri dari (batupasir kuarsa, umumnya lepas, putih, putih kecoklatan, berselingan dengan batugamping orbitoid dan batulempung, stempat menyerpih, selingan batu lempung, selingan batugamping orbitoid semakin rapat dan tebal ke bagian atas di dalam lempung dan pasir kuarsa, dijumpai gipsum dan konreksi besi). Keberadaan batugamping, batupasir dan dolomit pada lapisan ini diduga sangat kuat sebagai batuan sistem geotermal, karena batuan tersebut akan cepat panas ketika bersentuhan dengan air.

4.4.3 Penampang Melintang Lintasan EF

Penampang anomali magnetik lokal lintasan EF diambil berdasarkan penafsiran secara kualitatif, dimana lintasan EF melintang mulai dari arah barat-barat laut sampai arah timur tenggara melewati dua titik sumur (sumber air panas Lombang) yaitu sumur 4 dan sumur 1 (gambar 4.11). Dimana terdapat beberapa anomali positif yang terletak pada jarak 1477.2 meter sampai 1867.2 meter dan 2337.2 meter sampai 2542.2 meter. Anomali negatif terletak pada jarak 0 sampai 1477.2 meter dan 1867.2 meter sampai 2337.2 meter. Jadi total panjang lintasan EF adalah 2542.2 meter yang terdiri dari 156 titik dengan beberapa variasi nilai anomali magnetik yaitu -7414,91 nT sampai 3835,367 nT.



Gambar 4.13 Model Penampang Anomali Lokal Lintasan EF

Gambar 4.13 merupakan penampang melintang anomali lokal untuk lintasan EF yang terdiri dari sumbu Y negatif, sumbu Y positif dan sumbu X. Sumbu Y positif merupakan nilai anomali magnet dari hasil pengamatan (nT), sumbu Y negatif adalah kedalaman dari permukaan yang akan diamati, dimana pada pemodelan ini kedalaman maksimum yang digunakan mencapai 1500 meter. Sedangkan untuk sumbu X merupakan jarak lintasan pengamatan (meter) mulai titik E sampai F. Garis putus-putus pada kurva adalah nilai anomali pengamatan sedangkan garis kontinu adalah anomali hasil perhitungan (respon dari pemodelan lapisan). Penafsiran litologi batuan pada daerah penelitian didasarkan pada data geologi. Berdasarkan informasi geologi diketahui bahwa daerah penelitian di permukaan didominasi oleh batuan Aluvium (Qa) yang terdiri dari pasir kuarsa lempung, kerikil, kerakal dan batugamping koral. Pada pemodelan penampang anomali lokal lintasan EF terdapat 19 *body*, dimana 19 *body* tersebut kemudian dikelompokkan menjadi 4 bagian batuan.

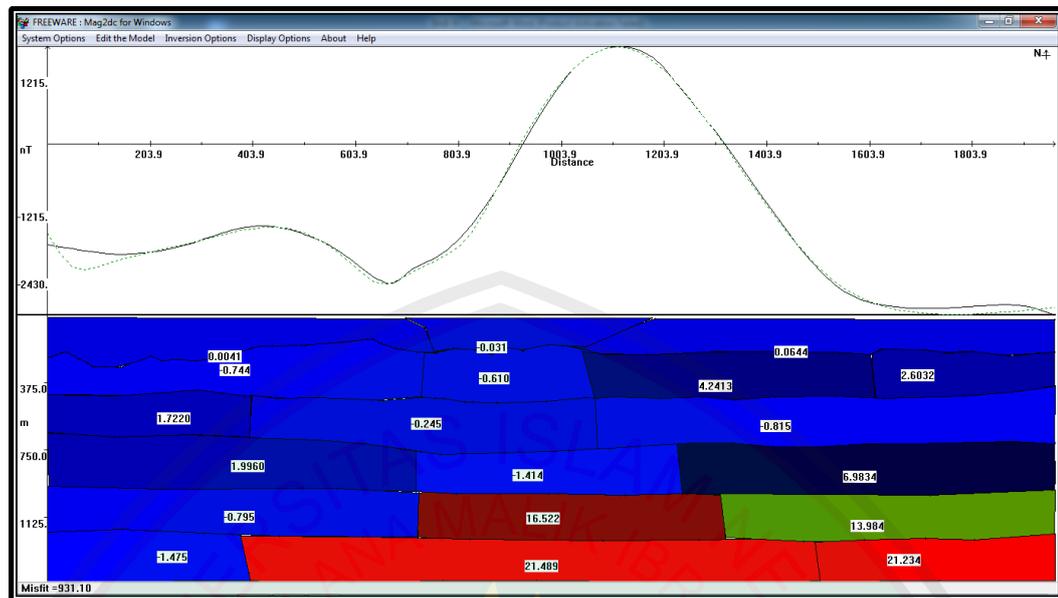
Penampang EF memberikan informasi bahwasanya batuan yang berada pada daerah tersebut sesuai hasil pemodelan itu termasuk pada batuan sedimen. Lapisan pertama nilai suseptibilitas pada warna biru ■■■■■ adalah 0,0040 dan 0,0017 (satuan SI) dengan panjang 1270 meter dan 1200 meter, ketebalannya 90 meter dan 150 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomitan. Pada lapisan pertama termasuk dalam Formasi Holosen dan Pamekasan yang terdiri dari (pasir kuarsa lempung, kerikil, kerakal, batugamping koral, konglomerat, batupasir, batulempung, dan batugamping). Lapisan kedua dengan nilai suseptibilitas warna biru ■■■■■ bernilai positif adalah 0,5480 (satuan SI) dengan panjang 800 meter dan tebalnya 280 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomit. Nilai susuptibilitas warna biru ■■■■■ negatif adalah -1,026 dan -0,160 (satuan SI) dengan panjang 1327 meter dan 350 meter, ketebalannya 250 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Pada lapisan kedua termasuk pada Formasi Madura yang terdiri dari (batugamping terumbu, dolomitan terdiri dari batugamping kapuran, batugamping pasiran, batugamping hablur, dan batugamping oolit setempat berlapis). Lapisan ketiga dengan nilai suseptibilitas warna biru ■■■■■ negatif adalah -1,303 (satuan SI) dengan panjang 427 meter dan tebalnya 270 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Nilai suseptibilitas warna biru gelap ■■■■■ adalah 6,1321 (satuan SI) dengan panjang 450 meter dan ketebalannya 270 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping tidak murni, masih bercampur batulempung. Nilai suseptibilitas warna biru tua ■■■■■ adalah 2,6044 dan 3,1264 (satuan SI) dengan panjang 250 meter dan 300 meter, ketebalannya 270 meter. Nilai batuan tersebut

diduga sebagai batugamping. Sedangkan nilai suseptibilitas dengan warna biru ■■■■■ adalah 0,4444 dan 1,4151 (satuan SI) dengan panjang 420 meter dan 650 meter, ketebalannya 375 meter dan 270 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomit. Lapisan keempat dengan nilai suseptibilitas warna biru tua ■■■■■ positif adalah 0,9676 (satuan SI) dengan panjang 650 meter dan tebalnya 270 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomit. Nilai suseptibilitas warna biru ■■■■■ negatif adalah -0,845 dan -1,993 (satuan SI) dengan panjang 927 meter dan 1000 meter, ketebalannya 187 meter dan 270 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Pada lapisan ketiga dan keempat termasuk dalam Formasi Pasean yang terdiri dari (perselingan napal pasiran dengan batugamping lempungan, batugamping pasiran, dan batugamping oolit, berlapis baik, mengandung banyak foraminifera). Lapisan kelima dengan nilai suseptibilitas warna merah ■■■■■ adalah 20,560 (satuan SI) dengan panjang 1900 meter dan ketebalannya 250 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batupasir. Nilai suseptibilitas dengan warna biru gelap ■■■■■ adalah 6,7452 (satuan SI) dengan panjang 875 meter dan tebalnya 250 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping tidak murni, masih ada campuran batulempung. Pada lapisan kelima termasuk dalam Formasi Bulu yang terdiri dari (batugamping pasiran dengan sisian napal, puth-coklat, struktur plat-plat dan silang-siur berkembang baik, mengandung foraminifera besar dan forum kecil, moluska). Lapisan keenam dengan nilai suseptibilitas warna merah ■■■■■ adalah 21,236 dengan panjang 2227 meter dan tebalnya 360 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batupasir. Nilai suseptibilitas warna hijau ■■■■■ adalah

9,4718 dan 10,748 (satuan SI) dengan panjang 675 meter dan 427 meter, ketebalannya 190 meter dan 200 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping lempungan. Pada lapisan keenam termasuk dalam Formasi Ngrayong yang terdiri dari (batupasir kuarsa, umumnya lepas, putih, putih kecoklatan, berselingan dengan batugamping orbitoid dan batulempung, stempat menyerpih, selingan batu lempung, selingan batugamping orbitoid semakin rapat dan tebal ke bagian atas di dalam lempung dan pasir kuarsa, dijumpai gipsum dan konreksi besi). Keberadaan batugamping, batupasir dan dolomit pada lapisan ini diduga sangat kuat sebagai batuan sistem geotermal, karena batuan tersebut akan cepat panas ketika bersentuhan dengan air.

4.4.4 Penampang Melintang Lintasan GH

Penampang anomali magnetik lokal lintasan GH diambil berdasarkan penafsiran secara kualitatif, dimana lintasan GH melintang mulai dari arah selatan barat daya sampai arah utara timur laut memotong Lintasan AB dan EF (gambar 4.11). Dimana terdapat beberapa anomali positif yang terletak pada jarak 933.9 meter sampai 1313.9 meter. Anomali negatif terletak pada jarak 0 sampai 933.9 meter dan 1313.9 meter sampai 1950.9 meter. Jadi total panjang lintasan GH adalah 1950.9 meter yang terdiri dari 108 titik dengan beberapa variasi nilai anomali magnetik yaitu -3074,32 nT sampai 1755,745 nT.



Gambar 4.14 Model Penampang Anomali Lokal Lintasan GH

Gambar 4.14 merupakan penampang melintang anomali lokal untuk lintasan GH yang terdiri dari sumbu Y negatif, sumbu Y positif dan sumbu X. Sumbu Y positif merupakan nilai anomali magnet dari hasil pengamatan (nT), sumbu Y negatif adalah kedalaman dari permukaan yang akan diamati, dimana pada pemodelan ini kedalaman maksimum yang digunakan mencapai 1500 meter. Sedangkan untuk sumbu X merupakan jarak lintasan pengamatan (meter) mulai titik G sampai H. Garis putus-putus pada kurva adalah nilai anomali pengamatan sedangkan garis kontinu adalah anomali hasil perhitungan (respon dari pemodelan lapisan). Penafsiran litologi batuan pada daerah penelitian didasarkan pada data geologi. Berdasarkan informasi geologi diketahui bahwa daerah penelitian di permukaan didominasi oleh batuan Aluvium (Qa) yang terdiri dari pasir kuarsa lempung, kerikil, kerakal dan batugamping koral. Pada pemodelan penampang anomali lokal lintasan GH terdapat 19 body, dimana 19 body tersebut kemudian dikelompokkan menjadi 4 bagian batuan.

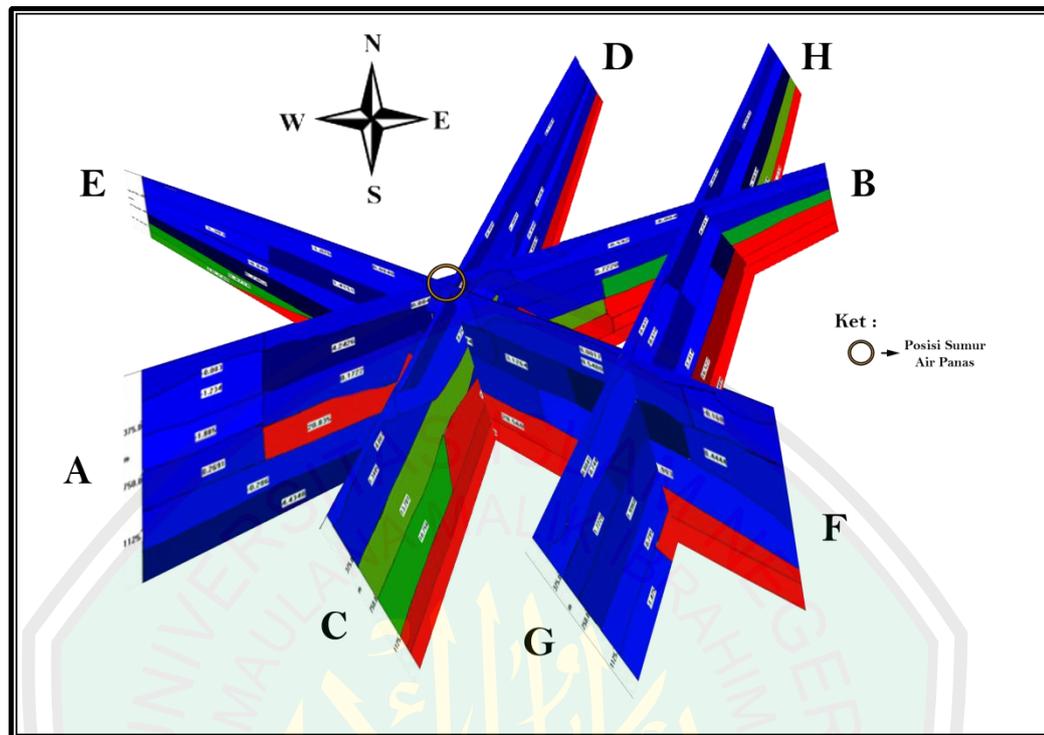
Penampang EF memberikan informasi bahwasanya batuan yang berada pada daerah tersebut sesuai hasil pemodelan itu termasuk pada batuan sedimen. Lapisan pertama nilai suseptibilitas pada warna biru ■■■■■ adalah 0,0041 dan 0,0644 (satuan SI) dengan panjang 710 meter dan 900 meter, ketebalannya 187 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomitan. Nilai suseptibilitas pada warna biru ■■■■■ negatif adalah -0,031 (satuan SI) dengan panjang 450 meter dan tebalnya 187 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Pada lapisan pertama termasuk dalam Formasi Holosen dan Pamekasan yang terdiri dari (pasir kuarsa lempung, kerikil, kerakal, batugamping koral, konglomerat, batupasir, batulempung, dan batugamping). Lapisan kedua dengan nilai suseptibilitas warna biru ■■■■■ bernilai positif adalah 2,6032 (satuan SI) dengan panjang 350 meter dan tebalnya 200 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping dolomitan. Nilai suseptibilitas warna biru tua ■■■■■ adalah 4,2413 (satuan SI) dengan panjang 600 meter dan tebalnya 200 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping. Nilai susuptibilitas warna biru ■■■■■ negatif adalah -0,744 dan -0,610 (satuan SI) dengan panjang 710 meter dan 300 meter, ketebalannya 180 meter dan 250 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Pada lapisan kedua termasuk pada Formasi Madura yang terdiri dari (batugamping terumbu, dolomitan terdiri dari batugamping kapuran, batugamping pasiran, batugamping hablur, dan batugamping oolit setempat berlapis). Lapisan ketiga dengan nilai suseptibilitas warna biru ■■■■■ negatif adalah -0,245 dan -0,815 (satuan SI) dengan panjang 650 meter dan 900 meter, ketebalannya 200 meter. Nilai batuan tersebut diduga

sebagai sisipan mineral kuarsa. Nilai suseptibilitas warna biru ■■■■■ adalah 1,7220 (satuan SI) dengan panjang 400 meter dan ketebalannya 180 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomit. Lapisan keempat dengan nilai suseptibilitas warna biru ■■■■■ positif adalah 1,9960 (satuan SI) dengan panjang 710 meter dan tebalnya 200 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batuan dolomit. Nilai suseptibilitas warna biru ■■■■■ negatif adalah -1,414 (satuan SI) dengan panjang 520 meter dan ketebalannya 180 meter. Nilai suseptibilitas warna biru gelap ■■■■■ adalah 6,9834 (satuan SI) dengan panjang 850 meter dan ketebalannya 200 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping tidak murni, masih ada campuran batulempung. Pada lapisan ketiga dan keempat termasuk dalam Formasi Pasean yang terdiri dari (perselingan napal pasiran dengan batugamping lempungan, batugamping pasiran, dan batugamping oolit, berlapis baik, mengandung banyak foraminifera). Lapisan kelima dengan nilai suseptibilitas warna merah gelap ■■■■■ adalah 16,522 (satuan SI) dengan panjang 670 meter dan ketebalannya 180 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batulempung pasiran. Nilai suseptibilitas dengan warna biru ■■■■■ negatif adalah -0,795 (satuan SI) dengan panjang 710 meter dan tebalnya 180 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Nilai suseptibilitas dengan warna biru ■■■■■ adalah 13,984 (satuan SI) dengan panjang 650 meter dan tebalnya 180 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batugamping lempungan. Pada lapisan kelima termasuk dalam Formasi Bulu yang terdiri dari (batugamping pasiran dengan sisian napal, puth-coklat, struktur plat-plat dan silang-siur berkembang baik, mengandung foraminifera besar dan foram kecil, moluska). Lapisan keenam

dengan nilai suseptibilitas warna merah ■■■ adalah 21,489 dan 21,234 (satuan SI) dengan panjang 1120 meter dan 500 meter, ketebalannya 180 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai batupasir. Nilai suseptibilitas warna biru ■■■ negatif adalah -1,475 (satuan SI) dengan panjang 350 meter dan tebalnya 200 meter. Nilai batuan tersebut diduga sebagai sisipan mineral kuarsa. Pada lapisan keenam termasuk dalam Formasi Ngrayong yang terdiri dari (batupasir kuarsa, umumnya lepas, putih, putih kecoklatan, berselingan dengan batugamping orbitoid dan batulempung, stempat menyerpih, selingan batu lempung, selingan batugamping orbitoid semakin rapat dan tebal ke bagian atas di dalam lempung dan pasir kuarsa, dijumpai gipsum dan konreksi besi). Keberadaan batugamping, batupasir dan dolomit pada lapisan ini diduga sangat kuat sebagai batuan sistem geotermal, karena batuan tersebut akan cepat panas ketika bersentuhan dengan air.

4.4.5 Model Penampang 3 Dimensi Lintasan AB, CD, EF dan GH

Model penampang 3 dimensi (3D) merupakan hasil gabungan dari penampang lintasan AB, CD, EF dan GH. Model ini memberikan informasi mengenai kondisi lapisan bawah permukaan dengan korelasi antar setiap lapisan hasil pemodelan penampang lintasan tersebut. Melalui model 3 dimensi (3D) diharapkan dapat menggambarkan batuan yang diduga sebagai terbentuknya sistem panas bumi, sehingga dapat memudahkan proses interpretasi secara vertikal.



Gambar 4.15 Model 3D Penampang Lintasan AB, CD, EF dan GH

Hasil pemodelan 3 dimensi (3D), terutama pada area titik sumur 1, sumur 2, sumur 3, dan sumur 4 memberikan informasi terdapatnya batugamping yang merata yaitu pada kedalaman 100 meter sampai 450 meter. Batuan tersebut didukung oleh batuan dolomit dan sisipan mineral kuarsa yang ada di atas sebaran batugamping tersebut. Pada kedalaman tersebut dalam stratigrafi daerah penelitian termasuk pada Formasi Madura, dimana pada formasi ini diduga kuat sebagai terbentuknya sistem panas bumi yang diakibatkan oleh sedimentasi setempat. Seperti halnya daerah prospek geothermal Tirtosari Sumenep, dimana menurut Utama dkk. (2012) tatanan geologi (*geological setting*) di daerah ini didominasi oleh batuan sedimen dari Formasi Madura dan Formasi Ngrayong yang mana terdiri dari batu gamping terumbu, batu gamping *dolomite* dan pasir (*sandstone*).

4.5 Analisa Potensi Panas Bumi (Geothermal) Desa Lombang

Potensi panas bumi di Indonesia tersebar pada dua lingkungan geologi, yaitu lingkungan geologi vulkanik dan non-vulkanik. Sistem panas bumi Non-vulkanik adalah sistem panas bumi yang tidak berkaitan secara langsung dengan proses vulkanisme dan umumnya berada di luar jalur vulkanik Kuartar. Fluida panas bumi tipe ini biasanya mempunyai temperatur lebih rendah dan disebut sistem *low entalphy*. Lingkungan non-vulkanik di Indonesia bagian barat pada umumnya tersebar di bagian timur Paparan Sunda termasuk di desa Lombang.

Penafsiran litologi batuan pada daerah penelitian berdasarkan data geologi lembar Waru Sumenep diketahui bahwa daerah penelitian merupakan bagian struktur antiklin batuputih, yang ditemukan di bagian utara Lembar. Dengan Sumbu yang memanjang dari arah barat ke timur melalui gunung Batuputih menunjam di daerah Batang-batang. Antiklin ini berkembang dalam Formasi Tawun dan Formasi Ngrayong yang didominasi oleh batu pasir dan batu gamping (Situmorang, dkk : 12. 1992).

Hasil pemodelan metode geomagnetik menunjukkan kehadiran batuan gamping, batu pasir, kuarsa, dolomit yang diduga sebagai batuan reservoir panasbumi sistem *geopressure* yang berkaitan dengan pembentukan cekungan sedimen. Hal ini juga dikemukakan oleh Jones (1970) serta Duffield dan Sass (2003) dalam Nur Hadi (2012), menyatakan bahwa sistem panas bumi *geopressure* terbentuk ketika air panas terperangkap dan terjadi pertukaran atau pencampuran dengan batuan sekitarnya. Panas bumi di cekungan sedimen merupakan hasil interaksi dari berbagai sumber panas dan mekanisme

pemindahan (transfer) panas dimana panas dari kedalaman dipindahkan ke permukaan. Sistem panas bumi cekungan sedimen berkaitan dengan pembentukan cekungan sedimen yang terisi secara cepat oleh produk sedimentasi, sehingga fluida hidrotermal yang terbentuk mengalami tekanan tinggi. Sistem panas bumi yang berhubungan dengan geopressure ataupun yang berada di lingkungan sedimentasi umumnya memiliki depresi yang sangat tebal, bisa mencapai 5 – 8 km. Di Indonesia sistem panas bumi cekungan sedimen atau *geopressure* tidak lepas dari sejarah tektonik setempat, seperti prospek geotermal Tirtosari Sumenep. Dimana geotermal di desa lombang tak lain sama halnya dengan geotermal Tirtosari yang merupakan sistem panas bumi geopressured (geopressured system) yang terasosiasi dengan depresi zona cekungan sedimen yang memanjang dari Jawa Barat ke Jawa Timur, yaitu: Bogor - Serayu Utara – Kendeng – Zona depresi selat Madura.

Keberadaan mata air panas (*hot springs*) di daerah hidrotermal desa Lombang merupakan indikasi kemungkinan adanya suatu sistem geotermal. Perubahan fisika batuan reservoir seperti porositas dan permeabilitas dapat terjadi karena alterasi hidrotermal, sedangkan pengaruh dari alterasi hidrotermal adalah menurunnya porositas. Ciri-ciri dan kelimpahan mineral hidrotermal yang terbentuk selama interaksi fluida dan batuan tergantung beberapa faktor, khususnya temperatur, komposisi fluida (pH), ketersediaan fluida (zona permeabilitas) dan adanya pendidihan (boiling temperature). Identifikasi yang telah dilakukan pada daerah air panas ini meliputi suhu air panas yang terukur berkisar pada suhu 45° C (pada permukaan). Adapun komposisi mineral fluida

(air) panas di desa Lombang berupa kandungan kimia Sulfur (S) atau belerang (Arifin, 2013).

Berdasarkan hasil dari interpretasi secara kualitatif yang mengacu pada kontur anomali lokal menghasilkan nilai suseptibilitas rendah, sedang hingga tinggi. Pada umumnya suseptibilitas yang rendah hanya bisa terjadi jika suatu material magnetik terpanaskan hingga mencapai temperatur Curie suatu batuan. Dengan pemanasan tersebut material magnetik dapat mengalami demagnetisasi. Dengan menggabungkan hasil analisa kontur anomali magnetik lokal dan hasil reduksi ke kutub diduga bahwa sumber air panas Lombang terletak pada anomali magnetik rendah hingga sedang yang menunjukkan zona demagnetisasi hidrotermal (menurunnya sifat kemagnetan batuan akibat panas) yang teridentifikasi pada sumur 1 dan 4 untuk anomaly rendah, dan sumur 2 dan sumur 3, untuk anomali sedang.

Dari hasil interpretasi secara kuantitatif penampang AB, CD, EF dan GH terdapat beberapa body yang dapat dikelompokkan menjadi beberapa batuan. Batuan tersebut terdiri dari batuan gamping, batuan lempung, batuan dolomit, dan batuan pasir dengan sisipan berupa mineral kuarsa, gipsum, kerikil dan kerakal. Hasil pemodelan penampang AB memberikan informasi suatu patahan pada kedalaman 750 meter yang menunjukkan batuan gamping lempungan (8,1228 dan 13,304) dan batu pasir (20,835, 20,429 dan 21,024). Dalam kolom stratigrafi pada kedalaman 750 meter berada pada Formasi Pasean yang menghadirkan batuan perselingan napal pasiran dengan batugamping lempungan, batu gamping pasiran dan batugamping oolit, berlapis baik, mengandung banyak foraminifera.

Berdasarkan keadaan geologi serta berkaitan dengan sejarah geologi daerah setempat memberikan kemungkinan bahwa dominasi batuan sedimen di sekitar daerah penelitian ini merupakan endapan pantai hasil proses sedimentasi dengan perselingan batuan gamping (batu gamping terumbu, kuarsa dan napal) mengingat lokasi daerah penelitian panas bumi (geotermal) yang berada di dekat pesisir pantai (± 1 km dari garis pantai) disamping juga sejarah geologi (geokronologi) dari pulau Madura sendiri yang terbentuk dari terumbu atau batuan kapur. Hal ini diperkuat dengan keberadaan singkapan-singkapan (*outcrops*) batuan gamping yang berada tidak jauh dari lokasi penelitian. Keberadaan lapisan batuan gamping di bawah permukaan pada area penelitian ini dapat dimungkinkan sebagai lapisan jenuh air atau lapisan penyimpan fluida (air) panas dengan karakteristik porositas sekunder pada batuan jenis gamping atau karbonat.

4.6 Panas Bumi (Geothermal) dalam Kajian Al Qur'an dan Hadist

4.6.1 Proses Pembentukan Panas Bumi (*Geothermal*)

Geotermal dapat diartikan sebagai panas bumi yang terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi (*subsurface*) dengan kuantitas kandungan panas yang tersimpan dalam bumi dan membentuk sistem panas bumi yang telah ada sejak bumi terbentuk. Sistem panas bumi tersebut mencakup sistem hidrotermal (*hydrothermal*) yang merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistem dimana air yang terpanasi terkumpul. Sistem panas bumi dapat berada pada daerah bermorfologi datar (*flat terrain*) dan dapat pula berada pada daerah bermorfologi curam (*step terrain*). Sistem panas bumi di Indonesia yang umum

ditemukan adalah sistem hidrotermal yang berasosiasi dengan pusat vulkanisme pada daerah bermorfologi *step terrain*. Selain sistem hidrotermal, terdapat pula jenis lain dari sistem panas bumi, seperti: *hot dry rock system*, *geopressured system*, dan *heat sweep system*.

Awal mula terbentuknya panas bumi (geotermal) ialah disebabkan karena adanya batuan panas (*hot rocks*) di bawah permukaan bumi. Batuan yang menjadi sumber pemanas pada suatu medan panas bumi yang berada di sekitar daerah vulkanik adalah batuan yang dihasilkan oleh magma yang ada di bawah litosfir (*lithosphere*). Proses munculnya magma ke permukaan disebabkan oleh aliran konveksi (pergerakan cairan magma) yang terjadi di bawah lempeng bumi yang berusaha keluar melalui rekahan-rekahan yang muncul akibat perbedaan tekanan dan temperatur di dalamnya.

Proses konveksi yang terjadi di bawah lapisan litosfir bumi menyebabkan pergerakan lempeng, yaitu lempeng benua (*continental plate*) dan lempeng samudera (*oceanic plate*). Aktivitas pergerakan lempeng ini telah dijelaskan dalam al-Qur'an surat an-Naml [27]: 88.

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي أَتَقَنَ كُلَّ

شَيْءٍ إِنَّهُ خَيْرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ ﴿٨٨﴾

“Dan kamu Lihat gunung-gunung itu, kamu sangka Dia tetap di tempatnya, Padahal ia berjalan sebagai jalannya awan. (Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu; Sesungguhnya Allah Maha mengetahui apa yang kamu kerjakan.” (Q.S. an-Naml [27]: 88).

Dalil naqli pada Q.S. an-Naml [27]: 88 di atas memuat perumpamaan tentang pergerakan relatif pada lempeng-lempeng tektonik bumi, yaitu pada

penggalan ayat. Makna tentang kandungan ayat (وَهِيَ تَمْرٌ مَّرَّ السَّحَابِ) “*Padahal ia berjalan sebagai jalannya awan*” menganalogikan bahwa gunung berjalan seperti jalannya awan. Seperti yang sudah diketahui bahwa gunung berada di atas lempeng bumi dan awan tidak bergerak sendiri melainkan digerakkan oleh angin. Gerakan gunung-gunung ini disebabkan oleh gerakan kerak bumi tempat mereka berada. Kerak bumi ini seperti mengapung di atas lapisan magma yang lebih rapat. Demikian pula dengan lempeng bumi (lempeng samudera dan lempeng benua) yang tidak bergerak sendiri, tetapi bergerak karena adanya aliran konveksi magma di bawah litosfir bumi (Arifin, 2013).

Petunjuk ilmiah lain dalam al-Qur’an mengenai penegasan kebenaran teori lempeng tektonik yang dikemukakan oleh Alfred Wagener (1915) juga telah terdapat dalam Q.S. ar-Ra’du [13]: 4:

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَاوِرَاتٌ وَجَنَّاتٌ مِّنْ أَعْنَابٍ وَزُرْعٌ وَنَخِيلٌ وَصِنَوَانٌ غَيْرٌ
 صِنَوَانٍ يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُفِضَلُ بَعْضُهَا عَلَىٰ بَعْضٍ فِي الْأُكُلِ ۚ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ
 لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ﴿٤﴾

“*Dan di bumi ini terdapat bagian-bagian yang berdampingan, dan kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman dan pohon korma yang bercabang dan yang tidak bercabang, disirami dengan air yang sama. Kami melebihkan sebahagian tanaman-tanaman itu atas sebahagian yang lain tentang rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berfikir.*” (Q.S. ar-Ra’du [13]: 4).

Ayat al-Qur’an yang mulia ini mengindikasikan fakta-fakta ilmiah luar biasa khususnya pada penggalan ayat ﴿وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَاوِرَاتٌ﴾, yaitu sebagai berikut (el Naggar, 2010: 94):

1. Lapisan batu karang bumi terbentuk dari sejumlah lempengan-lempengan berdampingan yang diperkirakan berjumlah 12 lempengan besar, di samping lempengan kecil. Setiap lempengan lapisan batu karang bumi memiliki asal-usul tersendiri serta memiliki perbedaan dalam komposisi kimia dan mineral dalam kepadatan dan ketebalan materinya.
2. Setiap lempengan lapisan batu karang bumi terbentuk dari 3 jenis terpenting batu karang, yaitu batu karang api, endapan batu karang dan batu karang berubah dengan berbagai pecahannya.
3. Perbedaan konkrit jenis tanah yang dihasilkan oleh peleburan setiap jenis batu karang ini (akibat berbagai proses erosi, faktor cuaca dan abrasi) secara signifikan sejalan dengan perbedaan sumber batu karang, komposisi kimia dan mineralnya dan juga perbedaan kondisi lingkungan.

Beberapa hal tersebut memberikan sejumlah besar keragaman bagi bumi dalam karakter alami, kimianya dan dalam kemampuan untuk menumbuhkan segala macam tanaman serta untuk kehidupan makhluk-Nya.

Penegasan Firman Allah SWT mengenai proses tektonisme yang berdampak pada gejala vulkanisme terdapat dalam isi kandungan Q.S. Saba' [34]: 2 berikut ini:

يَعْلَمُ مَا يَلْجُ فِي الْأَرْضِ وَمَا يَخْرُجُ مِنْهَا وَمَا يَنْزِلُ مِنَ السَّمَاءِ وَمَا يَعْرُجُ فِيهَا وَهُوَ

الرَّحِيمُ الْعَفُورُ ﴿٢﴾

“Dia mengetahui apa yang masuk ke dalam bumi, apa yang ke luar daripadanya, apa yang turun dari langit dan apa yang naik kepadanya. dan Dia-lah yang Maha Penyayang lagi Maha Pengampun.” (Q.S. Saba' [34]: 2).

Dalam Q.S. Saba' [34]: 2 di atas terdapat penegasan bahwa Allah SWT “mengetahui apa yang masuk ke dalam, dan apa yang keluar daripadanya”. Menurut el-Naggar (2010), Tabrakan antar lempeng juga dapat berakibat pada terdorongnya lantai samudera masuk ke bawah massa kontinen (palung samudera) dan melebur secara bertahap yang membawa kepada terbentuknya kantong magma (*magma chamber*) pada lokasi pertemuan lantai samudera (*oceanic plate*) dengan massa kontinen (*continent plate*), dimana terjadi penumpukan kuantitas besar batuan sedimen, batuan beku (*igneous rocks*) dan batuan metamorf (*metamorphic rocks*) yang berlipat untuk naik ke permukaan dan terjadi pengangkatan pada tepi benua. Tabrakan ini melahirkan rangkaian pegunungan tertinggi seperti pegunungan Himalaya dan atau terbentuknya gunung-gunung api di tengah laut atau samudera seperti pada rantetan gunung-gunung api di kepulauan Pasifik.

Menurut el-Naggar seorang ahli geologi, juga menyatakan bahwa proses meluasnya dasar lautan atau lantai samudera terjadi pada poros tengahnya yang disertai dengan gempa bumi, letusan dan erupsi vulkanik. “Lahirnya” gunung-gunung api beserta aktivitas magmatiknya di tengah samudera ini juga telah termaktub dalam Q.S. at-Thur [52]: 6:

وَالْبَحْرِ الْمَسْجُورِ

“Dan laut yang di dalam tanahnya ada api.” (Q.S. at-Thur [52]: 6).

Pembentukan sistem panas bumi (*geothermal system*) pada suatu daerah panas bumi sangat dipengaruhi oleh aspek-aspek geologi yang berkenaan dengan

hidrologi, struktur geologi, litologi, petrologi, tatanan tektonik dan proses-proses geologi (geokronologi) di sepanjang jalur magmatik. Proses- proses geologi yang dimaksud adalah kegiatan magmatik dan proses pengangkatan. Kegiatan magmatik khususnya kegunungapian terwujud dalam bentuk terobosan dan letusan gunung api, sedangkan proses pengangkatan akan mengakibatkan terbentuknya retakan atau sesar dan membentuk sistem pegunungan yang berfungsi sebagai daerah penangkap air hujan sekaligus merupakan wadah air meteorik selama waktu geologi.

Sistem panas bumi yang berada di desa Lomang merupakan sistem panas bumi *geopressured system*. Dimana sistem panas bumi tersebut terbentuk karena proses sedimentasi. Daerah penelitian umumnya batuan yang berkembang adalah batuan sedimen yaitu batu gamping, pasir, dan lempung. Hal tersebut menandakan adanya suatu laisan bumi yang mempunyai sifat atau kandungan mineral yang berbeda-beda, sesuai dengan kedalaman lapisan atau sesuai dengan keadaan geologi lapisan tersebut. Keadaan lapisan bumi seringkali tampak dari warnanya, sebagai contoh dari batuan sedimen yaitu tanah lempung yang berwarna kemerah-merahan. Akan tetapi lain halnya dengan tanah yang berwarna hitam kecoklatan. Tanah bermukit yang berwarna putih biasanya banyak mengandung kapur tak lain merupakan batu gamping. Adapula lapisan tanah yang berwarna kuning, dan ini menunjukkan tanah tersebut mengandung blerang. Keadaan lapisan di bawah permukaan diungkapkan dalam al-Qur'an surat Faathir ayat 27.

4.6.2 Pemanfaatan Panas Bumi (*Geothermal*)

Sejak jaman dahulu manusia telah memanfaatkan air panas yang muncul ke permukaan melalui mata air panas. Mata air panas pada awalnya hanya dimanfaatkan untuk bersantai dalam air hangat, namun pada perkembangannya air tersebut dimanfaatkan secara lebih kreatif. Masyarakat Romawi menggunakan mata air panas untuk mengobati mata dan kulit serta memanaskan bangunan. Penduduk asli Amerika sejak jaman dahulu telah memanfaatkan air ini untuk kebutuhan memasak dan pengobatan. Berabad-abad suku Maori di New Zealand memasak makanan dengan memanfaatkan air panas yang dihasilkan dari mata air dan masyarakat di Perancis telah memanfaatkan air panas untuk menghangatkan rumah (Hidayat, 2011 dalam Arifin, 2013).

Manifestasi geotermal berupa mata air panas di daerah Lombang Kabupaten Sumenep dapat dimanfaatkan secara langsung seperti berikut ini:

1. Pemandian air panas

Air panas yang muncul dari mata air panas (*hot springs*) di desa Lombang ini memiliki temperatur sekitar 45⁰ C. Air panas (*hydrothermal*) tersebut telah dimanfaatkan secara langsung oleh masyarakat sekitar untuk pemandian berupa kolam air panas serta dialirkan langsung ke rumah-rumah penduduk. Dengan adanya kandungan mineral (Sulfur, Oksida besi dll) di dalam air atau uap, manifestasi tersebut sering pula dimanfaatkan untuk menyembuhkan berbagai penyakit kulit. Selain itu, dapat juga dimanfaatkan untuk melegakan otot-otot yang kaku, melancarkan sirkulasi darah dan bahkan untuk spa kesehatan (*balneologi*).

2. Pengeringan produk pertanian

Banyaknya produk pertanian yang dihasilkan oleh para petani di sekitar daerah prospek dengan lokasi manifestasi yang terletak di tengah area persawahan memungkinkan untuk mengembangkan potensi uap alami panas bumi untuk pengolahan produk pertanian terutama paskapanen berupa pengeringan sehingga dapat meningkatkan mutu dan daya simpan produk pertanian serta memungkinkan untuk membuka produksi pertanian yang baru. Sebagai contoh, yaitu untuk proses produksi gula aren.

3. Budidaya perikanan

Keberadaan air panas di desa Lombang ini memungkinkan masyarakat sekitar untuk mengembangkan perikanan dengan cara mengalirkan air panas ke dalam kolam penakaran yang digunakan untuk menjaga kestabilan suhu sehingga pertumbuhan ikan dapat optimal.

Selain berbagai pemanfaatan seperti di atas, panas bumi juga dapat digunakan untuk pemanasan ruangan, pertanian (*green-house*), perkebunan, peternakan, memasak, pembuatan garam, pengembangan macam-macam hasil industri, pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) dan sebagainya.

Untuk itulah Al-Qur'an mengajak manusia untuk mensyukuri sumber mata air, baik itu yang terjadi akibat vulkanik (air panas) maupun non-vulkanik (air panas) sebagai karunia yang diberikan Allah kepada makhluk-Nya. Dalam surat Az-Zumar ayat 21 Allah SWT berfirman:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنْبِيعَ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ نُخْرِجُ بِهِ
 زَرْعًا مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهِيَجُ فَتَرَهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَمًا إِنَّ فِي ذَلِكَ
 لَذِكْرًا لِيَأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿٢١﴾

“Apakah kamu tidak memperhatikan, bahwa Sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, Maka diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi kemudian ditumbuhkan-Nya dengan air itu tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, lalu menjadi kering lalu kamu melihatnya kekuning-kuningan, kemudian dijadikan-Nya hancur berderai-derai. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal.” (Q.S. Az-Zumar [39]: 21).

4.6.3 Pemodelan Struktur Geologi Perspektif al-Qur’an dan al-Hadist

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

Al-Qur’an juga telah menjelaskan kepada manusia tentang tujuh lapisan bumi di dalam Q.S. al-Isra’[17]: 44, Q.S. ath-Thalaq [65]: 12 dan Q.S. al-Mulk [67]: 3. Dari sini jelas bahwa al-Qur’an menegaskan suatu fakta bahwa langit itu berlapis tujuh. Begitu pula menegaskan fakta bahwa bumi juga berlapis tujuh. Atas dasar itu, tujuh lapisan ini adalah struktur bumi, tempat hidup Makhhluk-Nya. Kesimpulan tersebut ditegaskan Q.S ath-Thalaq [65]: 12. Penegasan sebutan bumi di dalam al-Qur’an juga selalu dengan kata tunggal, sementara sebutan langit dengan kata tunggal dan jamak. Sementara, sesuai dengan ilmu-Nya yang

komprehensif, Allah SWT telah memberikan isyarat bahwa suatu saat pengetahuan manusia akan dapat mencapai fakta tujuh lapis bumi di bawah kaki manusia sendiri. Allah SWT cukup menyebutkannya dengan kata tunggal pada 461 tempat di dalam al-Qur'an (el Naggar, 2010: 113).

Sebagaimana al-Qur'an menuturkan kepada umat manusia mengenai tujuh lapis bumi, dalam al-Hadist pun Rasulullah SAW juga pernah bersabda:

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

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

Penegasan Sabda Rasulullah SAW tersebut mengenai struktur lapisan bumi yang terdiri dari tujuh lapis yang semakin menguatkan fakta-fakta ilmiah dari berbagai hasil penelitian geosains pada saat ini. Al-Qur'an dan al-Hadist telah mendahului ilmu pengetahuan modern dalam mengungkapkan fakta ilmiah ini. Selain itu, al-Qur'an juga telah memberi penjelasan yang tepat mengenai struktur bumi dengan menggunakan kata "*thibaqan*" (berlapis-lapis).

Penampang AB, CD, dan EF merupakan hasil dari pemodelan struktur bawah permukaan yang di dukung oleh beberapa data geosains. Hasil tersebut masih bersifat ambigu, akan tetapi untuk memudahkan dalam interpretasi perlu

adanya data geosains tersebut. Dengan demikian bisa diduga lapisan di bawah permukaan pada daerah desa Lombang yang merupakan tempat terdapat sumber air panas. Hasil pemodelan struktur bawah permukaan di daerah panas bumi Lombang memberikan penafsiran mengenai gambaran atau keadaan geologi di bawah permukaan bumi. Struktur bawah permukaan tersebut terdiri dari lapisan-lapisan tanah (batuan) dengan berbagai macam sifat dan karakteristiknya. Sesuai dengan ilmu geologi, karakteristik berbagai jenis lapisan tanah dibedakan berdasarkan ukuran matrik atau butiran batuan, kerapatan batuan, sifat magnetik dan sifat-sifat fisis yang lain serta berbagai macam sifat kimianya yang dapat memberikan berbagai macam ciri khas terhadap warna dan unsur materi dari lapisan tanah tersebut. Penafsiran struktur lapisan tanah tersebut sesuai dengan penafsiran keadaan geologi lapisan tanah yang senyatanya sebagaimana yang telah dijelaskan dalam Q.S. Faathir [35]: 27. Segala macam perumpamaan mengenai struktur lapisan-lapisan tanah ini dapat disimpulkan di dalam Firman Allah SWT pada akhir Q.S. ar-Ra'd [13]: 17:

وَأَمَّا مَا يَنْفَعُ النَّاسَ فَيَمُكِّتُهُ فِي الْأَرْضِ ۚ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ ﴿١٧﴾

“Adapun yang memberi manfaat kepada manusia, Maka ia tetap di bumi. Demikianlah Allah membuat perumpamaan-perumpamaan.” (Q.S. ar-Ra'd [13]: 17).

Ayat lain yang menungkapkan mengenai kekuasaan Allah SWT yang harus diketahui oleh manusia sebagai pelajaran adalah dalam Q.S. az-Zumar [39]: 27 sebagai berikut:

وَلَقَدْ ضَرَبْنَا لِلنَّاسِ فِي هَٰذَا الْقُرْآنِ مِن كُلِّ مَثَلٍ لَّعَلَّهُمْ يَتَذَكَّرُونَ ﴿٢٧﴾

“Sesungguhnya telah Kami buat bagi manusia dalam Al Quran ini Setiap macam perumpamaan supaya mereka dapat pelajaran.” (Q.S. az-Zumar [39]: 27)

Ayat di atas menjelaskan tentang segala macam perkembangan ilmu pengetahuan yang pada dasarnya telah ada di dalam al-Qur'an sebagai sumber dan pedoman kehidupan melalui berbagai penjelasan dan perumpamaan di dalamnya. Keingintahuan manusia terhadap rahasia-rahasia alam ditelusuri melalui pendekatan-pendekatan ilmiah. Pendekatan sebelumnya yaitu tomografi listrik dengan menggunakan metode geolistrik. Akan tetapi dalam hal ini, pendekatan yang dipakai untuk mengetahui struktur lapisan di bawah permukaan bumi adalah pemodelan struktur bawah permukaan dengan menggunakan metode geomagnetik (*Geomagnetic Method*).

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian geomagnetik dapat disimpulkan beberapa hal terkait sumber air panas desa Lombang Kabupaten Sumenep sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil dari interpretasi secara kualitatif yang mengacu pada kontur anomali lokal menghasilkan nilai suseptibilitas rendah, sedang hingga tinggi. Dengan menggabungkan hasil analisa kontur anomali magnetik lokal dan hasil reduksi ke kutub diduga bahwa sumber air panas Lombang terletak pada anomali magnetik rendah hingga sedang yang menunjukkan zona demagnetisasi hidrotermal (menurunnya sifat kemagnetan batuan akibat panas) yang teridentifikasi pada sumur 1 dan 4 untuk anomali rendah, dan sumur 2 dan sumur 3, untuk anomali sedang.
2. Berdasarkan hasil dari interpretasi secara kuantitatif terdapat beberapa batuan. Batuan tersebut terdiri dari batuan gamping, batuan lempung, batuan dolomit, dan batuan pasir dengan sisipan berupa mineral kuarsa, gipsum, kerikil dan kerakal. Dari tiga penampang hasil pemodelan, terdapat penampang AB yang cukup memberikan informasi tentang terjadinya sumber air panas. Hasil pemodelan tersebut memberikan informasi terindikasinya suatu patahan yang berada pada kedalaman 750 meter yang menunjukkan batuan gamping lempungan dengan nilai suseptibilitas (8,1228 SI dan 13,304 SI) dan batu pasir (20,835 SI, 20,429 SI dan 21,024 SI).

5.2 Saran

Dalam penelitian geomagnetik ini banyak sekali terjadi kekurangan, diantaranya dalam pengambilan data lapangan memperoleh nilai medan magnet yang kecil dan terjadi error yang besar. Alangkah lebih baiknya dilakukan penelitian ulang dan dengan memperluas lagi area pengambilan datanya untuk memperkuat data geofisika yang sudah ada.



DAFTAR PUSTAKA

- Al Albani, M. Nashiruddin. 2007. *Ringkasan Shahih Bukhori*. penj. Faisal, M. dan Suparta Thahirin. Jakarta: Pustaka Azzam
- Al Qurtubi Syaikh Imam. 2008. *Tafsir Al Qurthubi*. Penj. Hamzah, Amir. Jakarta: Pustaka Azzam
- Alzwar, Muzil. 1988. *Pengantar Ilmu Gunungapi*. Bandung : Penerbit Nova
- An-Najjar, Zaghul. 2006. *Pembuktian Sains dalam Sunah*. Jakarta: Amzah
- Arifin, L. 2010. Distribusi Lapisan Batuan Sedimen yang Diduga Mengandung Gas biogenik dengan Metode Tahanan Jenis di Pantai Saronggi, Sumenep, Madura. *Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 5 No. 2 Juni 2010*
- Arifin, Samsul. 2013. Interpretasi Geologi Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi Lembang Sumenep Berdasarkan Pemodelan Electrical Resistivity Tomography (ERT). *Skripsi*. Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
- Blakely, Richard J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. New York : Cambridge University Press
- Burger, Henry Robert. 1992. *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.
- Deniyanto. 2010. Pemodelan ke Depan (*Forward Modelling*) 2 Dimensi Data Magnetik Untuk Identifikasi Bijih Besi di Lokasi X, Propinsi Sumatera Barat. *Jurnal Aplikasi Fisika. Vol. 6 No. 2 Agustus 2010*
- Dobrin, Milton B. 1960. *Introduction to Geophysical Prospecting*. New York: McGraw-Hill Book Company Inc
- Dyayadi. 2008. *Alam Semesta Bertawaf*. Yogyakarta: Penerbit Lingkaran
- Kahfi, Rian Arifan dan Tony Yulianto. 2008. Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Emas Dengan Menggunakan Metode Magnetik Di Papandayan Garut Jawa Barat. *Berkala Fisika. Vol 11 , No.4, Oktober 2008*
- Kurniati, Asih, Kharisma N., Aulia. 2008. *Buku Panduan Workshop Geofisika*. Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang

- Ludman, Alan dan Coch, Nicholas K. 1982. *Physical Geology*. New York: McGraw Hill Book Company Inc
- Milsom, John. 2003. *Field Geophysics Third Edition*. London: John Wiley & Sons Ltd
- Munadi, Suprajitno. 2001. *Instrumentasi Geofisika. Program Studi Geofisika*. Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Indonesia Depok
- Nur Hadi, Mochamad. 2012. *Panas Bumi Non-Vulkanik di Indonesia*. Badan Geologi
- Noor, Djauhari. 2009. *Pengantar Geologi Edisi Pertama*. Bogor: Universitas Pakuan
- Sampurno, Joko. 2011. Pendugaan Potensi Bijih Besi Di Desa Bulik Kecamatan Nanga Bulik Kabupaten Lamandau Kalimantan Tengah Dengan Metode Geomagnet. *Jurnal Positron*, Vol. I, No. 1 (2011)
- Santoso, Djoko. 2002. *Diktat Kuliah TG-424 Eksplorasi Energi Panas Bumi*. Jurusan Teknik Geologi. Bandung: ITB
- Saptadji, Nenny Miryani. 2009. *Karakterisasi Reservoir Panas Bumi*. Bandung: ITB
- Sarkowi, Muh. 2010. *Buku Ajar Pengantar Teknik Geofisika*. Lampung: Universitas Lampung
- Sharma, P.V., 1997, *Environmental and Engineering Geophysics*, Cambridge University Press, United Kingdom
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al Misbah: pesan, kesan dan keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati
- Situmorang, R.L., Agustianto, D.A., dan Suparman, M., 1992. *Geologi Lembar Waru Sumenep, Skala 1:1.00.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sudarmaji, E.V. Budiadi. 2005. Pengukuran Medan Magnetik Total Daerah Gedong Songo dan Bawen, Ambarawa, Semarang, Jawa Tengah. *Jurnal Fisika Indonesia No. 27 Volume IX Edisi Agustus 2005*
- Sudarmojo, Agus Haryo. 2008. *Menyibak Rahasia Sains Bumi dalam Al-Qur'an*. Bandung: Mizania

- Telford, W.N. Geldard, L.P., dan Sherrif, R.E., and Keys, D.A., 1979, *Applied Geophysics*. New Yourk: Cambridge University Press, .
- Telford, W.M, Geldart L.P., dan Sheriff R.E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. New York : Cambridge University Press
- Tjasyono, Bayong. 2006. *Ilmu Kebumian dan Antariksa*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya
- Untung, Muhammad. 2001. *Dasar- Dasar Magnet dan Gaya berat serta Beberapa Penerapannya (seri Geofisika)* : Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia.
- Utama, A. dkk. 2012. *Green Field Geothermal System in Java, Indonesia*. Bandung: ITB
- Wardhana, Wisnu Arya. 2004. *Al Qur'an dan Energi Nuklir*.Yogyakarta: Pustaka Pelajar
- www.mines.edu/ts_home/tboyd/GP311/MODULES/Mag/Notes/proton.html.
Proton Precission Magnetometer. diakses tanggal 02 Januari 2014 pukul 10.16 WIB
- www.2.bp.blogspot.com/2010/12/04/perkembangan-teori-dalam-geoteknik/.
2010. *Perkembangan Teori dalam Geoteknik*. Diakses pada tanggal 23 April 2014 pukul 19.23 WIB

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data Hasil Penelitian Geomagnetik

a. Hari Pertama (Sabtu, 03 Mei 2013)

NO	TITIK PENGUKURAN	WAKTU	BUJUR	LINTANG	TINGGI
1	<i>base station</i>	10:43:00	114,05866	6,92959	18
2	1	11:00:00	114,05866	6,92959	17
3	2	11:17:00	114,06035	6,92748	17
4	3	11:28	114,06228	6,92845	18
5	4	11:40:00	114,06512	6,92751	13
6	5	11:50:00	114,06784	6,92903	15
7	6	14:32:00	114,06093	6,93076	13
8	7	14:38:00	114,06304	6,93156	9
9	8	14:43:00	114,06493	6,93212	8
10	9	15:05:00	114,06202	6,92898	16
11	10	15:20:00	114,064	6,92986	17
12	11	15:25:00	114,06576	6,93072	10
13	12	16:20:00	114,0682	6,9292	10
14	13	16:33:00	114,0692	6,93027	11
15	<i>base station</i>	17:17:00	114,05866	6,92959	18

PEMBACAAN PPM (H)	NOISE	KOREKSI HARIAN	IGRF	ΔH total
11638,5	38,42			
11477,9	39,1	403,8060914	44326,7	-33252,61
11337,4	36,39	807,6121827	44326,7	-33796,91
6767	63,11	1068,898477	44326,7	-38628,6
10639	26,93	1353,938071	44326,7	-35041,64
6866,8	58,13	1591,471066	44326,7	-39051,37
21215,8	18,81	5439,505584	44326,7	-28550,41
22530,8	20,14	5582,025381	44326,7	-27377,93
19094	20,59	5700,791878	44326,7	-30933,49
15520,9	18,48	6223,364467	44326,7	-35029,16
16374,1	13,8	6579,663959	44326,7	-34532,26
17378,7	10,08	6698,430457	44326,7	-33646,43
18166,2	19,99	8004,861929	44326,7	-34165,36
16891	20,05	8313,654822	44326,7	-35749,35
20997,3	15,66			

b. Hari Kedua (Minggu, 04 Mei 2014)

NO	TITIK PENGUKURAN	WAKTU	BUJUR	LINTANG	TINGGI
1	<i>base station</i>	7:00:00	114,05866	6,92959	18
2	14	7:15:00	114,06301	6,92235	17
3	15	7:20:00	114,06392	6,92054	10
4	16	7:24:00	114,06499	6,91897	14
5	17	7:29:00	114,06679	6,91958	14
6	18	7:37:00	114,06681	6,91978	13
7	19	9:18:00	114,06564	6,92195	11
8	20	9:28:00	114,06446	6,92374	13
9	21	9:35:00	114,06633	6,92493	14
10	22	9:45:00	114,06727	6,92273	12
11	23	9:49:00	114,06921	6,92349	14
12	24	9:54:00	114,06853	6,92567	17
13	25	10:10:00	114,07045	6,92626	9
14	26	10:08:00	114,07165	6,92409	17
15	27	10:15:00	114,07367	6,92554	17
16	28	10:22:00	114,07251	6,92769	10
17	29	10:31:00	114,07133	6,93195	13
18	30	10:37:00	114,07018	6,93294	11
19	31	10:41:00	114,06839	6,93181	9
20	32	13:19:00	114,067	6,93119	9
21	33	13:23:00	114,07093	6,9344	9
22	34	13:27:00	114,07386	6,93579	15
23	35	13:31:00	114,07497	6,93631	17
24	36	13:33:00	114,07613	6,93372	17
25	37	13:39:00	114,07142	6,93272	14
26	38	13:47:00	114,0752	6,93061	17
27	39	13:55:00	114,07694	6,93188	18
28	40	14:11:00	114,07787	6,92988	18
29	41	14:18:00	114,07578	6,92918	16
30	42	14:33:00	114,07891	6,92792	14
31	43	14:37:00	114,07455	6,9249	9
32	44	15:08:00	114,07848	6,92356	13
33	45	15:17:00	114,07559	6,92247	12
34	46	15:26:00	114,07218	6,92122	11
35	47	15:32:00	114,07044	6,92084	13
36	<i>base station</i>	16:47:00	114,05866	6,92959	18

PEMBACAAN PPM (H)	NOISE	KOREKSI HARIAN	IGRF	ΔH total
15115,4	8,3			
13143,3	75,59	0,012776831	44326,7	-31183,41
15757,1	18,97	0,017035775	44326,7	-28569,62

11081,5	32,59	0,02044293	44326,7	-33245,22
20033	10,83	0,024701874	44326,7	-24293,72
26964,4	7,08	0,031516184	44326,7	-17362,33
9122,9	54,62	0,117546848	44326,7	-35203,92
8177,9	41,25	0,126064736	44326,7	-36148,93
11121	38,54	0,132027257	44326,7	-33205,83
17386,3	20,58	0,140545145	44326,7	-26940,54
12058,4	40,86	0,1439523	44326,7	-32268,44
15699,6	19,29	0,148211244	44326,7	-28627,25
20760,2	20,06	0,161839864	44326,7	-23566,66
12191,9	49,8	0,160136286	44326,7	-32134,96
23932,4	25,94	0,166098807	44326,7	-20394,47
13021,4	65,96	0,172061329	44326,7	-31305,47
21391,6	12,28	0,179727428	44326,7	-22935,28
18627,9	12,62	0,18483816	44326,7	-25698,98
25451,9	13,1	0,188245315	44326,7	-18874,99
11669,8	20,37	0,322827939	44326,7	-32657,22
11583,1	37,37	0,326235094	44326,7	-32743,93
11534,6	39,13	0,329642249	44326,7	-32792,43
17127,7	20	0,333049404	44326,7	-27199,33
11390,6	36,52	0,334752981	44326,7	-32936,43
15619,5	19,21	0,339863714	44326,7	-28707,54
10915,9	33,17	0,346678024	44326,7	-33411,15
15430,9	13,31	0,353492334	44326,7	-28896,15
18173,1	19,64	0,367120954	44326,7	-26153,97
11745,1	42,24	0,373083475	44326,7	-32581,97
16850,6	19,02	0,385860307	44326,7	-27476,49
16530,3	19,89	0,389267462	44326,7	-27796,79
10737,7	31,56	0,415672913	44326,7	-33589,42
11229	37,56	0,423339012	44326,7	-33098,12
12329,2	51,8	0,431005111	44326,7	-31997,93
12840	62,3	0,436115843	44326,7	-31487,14
15115,9	5,5			

Lampiran 2

Data Inputan ke Software *Surfer 10* (Anomali Medan Magnet Lokal)

No	Bujur (UTM)	Lintang (UTM)	ΔH Lokal
1	174937,9375	9232295	2577,223
2	175260,9799	9232295	3300,13358
3	175584,0223	9232295	3343,89403
4	175907,0647	9232295	2962,24716
5	176230,1072	9232295	128,282148
6	176553,1496	9232295	-1370,31841
7	176876,192	9232295	2508,79943
8	177199,2344	9232295	2630,23999
9	174937,9375	9232682	1439,998
10	175260,9799	9232682	3250,69945
11	175584,0223	9232682	1548,10598
12	175907,0647	9232682	5242,18931
13	176230,1072	9232682	4886,06019
14	176553,1496	9232682	-384,594618
15	176876,192	9232682	-1380,05388
16	177199,2344	9232682	2457,16813
17	174937,9375	9233069	-2584,209
18	175260,9799	9233069	-2700,54986
19	175584,0223	9233069	-4745,56688
20	175907,0647	9233069	-6628,3264
21	176230,1072	9233069	-1411,82868
22	176553,1496	9233069	-576,841996
23	176876,192	9233069	-1355,57009
24	177199,2344	9233069	3940,22297
25	174937,9375	9233456	-2738,35
26	175260,9799	9233456	-4528,44362
27	175584,0223	9233456	-4956,90152
28	175907,0647	9233456	-1168,6943
29	176230,1072	9233456	5414,11618
30	176553,1496	9233456	7063,67322
31	176876,192	9233456	1717,22484
32	177199,2344	9233456	561,726602
33	174937,9375	9233843	-1779,502
34	175260,9799	9233843	-1175,83872
35	175584,0223	9233843	-3166,76662
36	175907,0647	9233843	3511,36112
37	176230,1072	9233843	-1062,03919
38	176553,1496	9233843	-974,884193

39	176876,192	9233843	-2454,00239
40	177199,2344	9233843	-2924,67595
41	174937,9375	9234230	-1376,477
42	175260,9799	9234230	-787,418398
43	175584,0223	9234230	-1826,6428
44	175907,0647	9234230	5046,03557
45	176553,1496	9234230	-1566,64414
46	176876,192	9234230	-2672,86416
47	177199,2344	9234230	-2907,803



Lampiran 3

Data Inputan ke Software *Mag2dc*

- a. Data Inputan Ke Software *Mag2dc* dari Hasil Digitasi Lintasan AB yang telah Dikonversi dari Peta Kontur Anomali Lokal

X (jarak lintasan)	Y (nilai anomali lokal)
0	2053,843
2,427142	2061,613
25,25716	2139,021
27,66941	2147,084
52,91169	2236,523
78,15396	2333,04
78,73892	2335,336
103,3962	2431,917
128,6385	2535,79
132,2207	2550,517
153,8808	2639,579
179,123	2743,837
185,7024	2769,86
204,3653	2843,312
229,6076	2936,534
239,1842	2968,222
254,8499	3018,073
280,0921	3085,568
292,6659	3112,486
305,3344	3135,321
330,5767	3166,302
346,1477	3178,622
355,819	3180,127
381,0612	3176,531
399,6294	3173,797
406,3035	3166,576
431,5458	3143,697
453,1112	3140,721
456,788	3134,169
482,0303	3070,716
506,593	2762,148
507,2726	2748,458
532,5149	1980,428
557,7571	1244,259
560,0747	1179,968

582,9994	518,0063
608,2417	-148,24
613,5565	-277,288
633,4839	-766,582
658,7262	-1316,98
667,0382	-1477,53
683,9685	-1804,48
709,2108	-2228,51
720,52	-2395,19
734,453	-2599,6
759,6953	-2930,36
774,0017	-3102,71
784,9376	-3234,69
810,1799	-3533,61
827,4835	-3750,81
835,4221	-3847,31
860,6644	-4160,7
880,9652	-4405,3
885,9067	-4462,54
911,1489	-4736,35
934,447	-4973,86
936,3912	-4993,97
961,6335	-5231,69
986,8758	-5473,99
987,9288	-5482,58
1012,118	-5706,86
1037,36	-5926,77
1041,411	-5938,79
1062,603	-6056,44
1087,845	-5822,27
1094,892	-5569,55
1113,087	-4838,88
1138,329	-3727,52
1148,374	-3656,23
1163,572	-3614,34
1188,814	-3484,91
1201,856	-3357,63
1214,056	-3201,65
1239,298	-2810,21
1255,338	-2519,15
1264,541	-2337,85
1289,783	-1816,66
1308,819	-1417,59

1315,025	-1281,87
1340,268	-750,389
1362,301	-323,014
1365,51	-258,209
1390,752	195,432
1415,783	567,5456
1415,994	570,8612
1441,237	885,8694
1466,479	1100,354
1469,265	1113,956
1491,721	1239,978
1516,963	1281,388
1522,746	1271,521
1542,206	1258,436
1567,448	1173,174
1576,228	1126,151
1592,69	1079,73
1617,933	1042,362
1629,71	1088,911
1643,175	1185,185
1668,417	1594,928
1683,192	1936,072
1693,659	2168,517
1718,902	2797,89
1736,673	3237,301
1744,144	3421,849
1769,386	4005,995
1790,155	4412,715
1794,628	4501,183
1819,871	4870,585
1843,637	5050,163
1845,113	5059,303
1870,355	5045,179
1895,598	4845,745
1897,119	4828,951
1920,84	4477,642
1946,082	4037,845
1950,6	3960,888
1971,324	3540,311
1996,567	3062,273
2004,082	2934,906
2021,809	2599,376
2047,051	2179,268

2057,564	2024,645
2072,293	1791,934
2097,536	1438,116
2111,046	1267,769
2122,778	1111,93
2148,02	806,9091
2164,527	623,1802
2173,263	521,8478
2198,505	249,6235
2218,009	51,82823
2223,747	-8,3427
2248,989	-257,93
2271,491	-469,988
2274,232	-496,532
2299,474	-727,753
2324,716	-947,814
2324,973	-949,884
2349,958	-1156,9
2375,201	-1348,07
2378,454	-1369,47
2400,443	-1516,07
2425,685	-1650
2431,936	-1674,9
2434,908	-1686,37

b. Data Inputan Ke Software *Mag2dc* dari Hasil Digitasi Lintasan CD yang telah Dikonversi dari Peta Kontur Anomali Lokal

X (jarak lintasan)	Y (nilai anomali lokal)
0	3107,48
4,89523	3120,466
12,75774	3140,335
36,73566	3213,387
60,71358	3303,107
77,62436	3378,821
84,6915	3410,056
108,6694	3533,828
132,6473	3681,946
150,3535	3809,971
156,6253	3855,149
180,6032	4052,258
204,5811	4283,3
223,0826	4488,753

228,559	4549,614
252,537	4846,718
276,5149	5189,428
295,8117	5502,253
300,4928	5577,965
324,4707	6002,531
348,4486	6484,489
368,5409	6940,05
372,4266	7026,385
396,4045	7600,204
420,3824	8249,765
441,27	8895,602
444,3603	8982,289
468,3382	9693,863
492,3162	10413,82
513,9991	10642,47
516,2941	10618,95
540,272	8636,371
564,2499	6489,223
586,7282	4538,645
588,2279	4406,049
612,2058	2333,177
636,1837	344,8088
659,4574	-1500,098
660,1616	-1556,718
684,1395	-3268,681
708,1175	-4358,221
732,0954	-4470,493
732,1865	-4469,725
756,0733	-4114,204
780,0512	-3725,45
804,0291	-3337,236
804,9156	-3323,193
828,0071	-2920,893
851,985	-2504,611
875,9629	-2061,496
877,6448	-2027,764
899,9408	-1576,732
923,9188	-1046,836
947,8967	-465,6178
950,3739	-400,5657
971,8746	153,8222
995,8525	819,5807

1019,83	1531,771
1023,103	1633,91
1043,808	2267,001
1067,786	3037,137
1091,764	3842,398
1095,832	3980,156
1115,742	4640,205
1139,72	5444,659
1163,698	6174,219
1168,561	6200,124
1187,676	6163,697
1211,654	5638,932
1235,632	5010,55
1241,29	4854,726
1259,61	4318,378
1283,588	3607,722
1307,565	2881,185
1314,02	2682,477
1331,543	2133,885
1355,521	1378,85
1379,499	634,1172
1386,749	425,1898
1403,477	-72,87119
1427,455	-689,042
1451,433	-1138,551
1459,478	-1231,714
1475,411	-1399,651
1499,389	-1518,4
1523,367	-1563,033
1532,207	-1567,784
1547,345	-1562,421
1571,323	-1545,067
1595,301	-1526,223
1604,936	-1518,057
1619,278	-1502,775
1643,256	-1479,468
1667,234	-1458,042
1677,665	-1447,681
1691,212	-1433,768
1715,19	-1404,964
1739,168	-1371,15
1750,394	-1354,877
1763,146	-1337,862

1787,124	-1330,72
1811,102	-1337,795
1823,123	-1339,174
1835,08	-1343,955
1859,058	-1346,163
1883,036	-1345,652
1895,853	-1344,252
1907,014	-1344,312
1930,991	-1343,149
1954,969	-1343,595
1968,582	-1344,93
1978,947	-1346,11
2002,925	-1350,786
2007,743	-1352,173

c. Data Inputan Ke Software *Mag2dc* dari Hasil Digitasi Lintasan EF yang telah Dikonversi dari Peta Kontur Anomali Lokal

X (jarak lintasan)	Y (nilai anomali lokal)
0	-2235,94
1,266828	-2238,88
27,2229	-2304,24
27,61684	-2305,28
53,96686	-2380,25
72,8822	-2441,21
80,31688	-2465,89
106,6669	-2562,66
118,5415	-2611,32
133,0169	-2671,91
159,3669	-2795,32
164,2008	-2820,17
185,7169	-2932,37
209,8601	-3073,31
212,067	-3086,3
238,417	-3254,41
255,5194	-3374,34
264,767	-3439,5
291,117	-3639,29
301,1787	-3720,46
317,467	-3852,15
343,817	-4076,65
346,838	-4102,97

370,1671	-4306,2
392,4973	-4502,96
396,5171	-4538,41
422,8671	-4764,59
438,1567	-4889,1
449,2171	-4978,84
475,5671	-5172,47
483,816	-5224,9
501,9171	-5337,95
528,2672	-5466,85
529,4753	-5471,12
554,6172	-5554,62
575,1346	-5587,25
580,9672	-5594,91
607,3172	-5586,87
620,7939	-5560,36
633,6672	-5530,21
660,0172	-5427,82
666,4532	-5394,83
686,3673	-5284,82
712,1125	-5111,36
712,7173	-5107,06
739,0673	-4903,08
757,7718	-4747,98
765,4173	-4681,83
791,7673	-4460,35
803,4311	-4399,18
818,1173	-4340,77
844,4674	-4411,01
849,0904	-4432,42
870,8174	-4575,85
894,7497	-4738,41
897,1674	-4756,52
923,5174	-4957,83
940,409	-5096,56
949,8674	-5177,46
976,2174	-5419,33
986,0683	-5516,69
1002,567	-5683,47
1028,917	-5981,29
1031,728	-6014,29
1055,267	-6295,76
1077,387	-6596,34

1081,618	-6652,59
1107,968	-7022,23
1123,046	-7226,79
1134,318	-7380,46
1160,668	-7414,91
1168,706	-7019,86
1187,018	-5578,84
1213,368	-3750,24
1214,365	-3727,11
1239,718	-3539,52
1260,024	-3573,39
1266,068	-3605,6
1292,418	-3770,5
1305,683	-3839,86
1318,768	-3932,5
1345,118	-3963,18
1351,343	-3904,96
1371,468	-3636,24
1397,002	-2952,98
1397,818	-2922,93
1424,168	-1919,09
1442,661	-1238,32
1450,518	-906,626
1476,868	81,29178
1488,321	459,8556
1503,218	985,1388
1529,568	1788,856
1533,98	1904,216
1555,918	2501,145
1579,639	3026,761
1582,268	3086,416
1608,618	3540,28
1625,299	3710,745
1634,968	3802,068
1661,318	3835,367
1670,958	3778,095
1687,668	3616,269
1714,018	3205,591
1716,617	3159,751
1740,368	2644,152
1762,277	2163,447
1766,718	2051,738
1793,068	1443,964

1807,936	1132,689
1819,418	876,1576
1845,768	356,0619
1853,595	219,8725
1872,118	-111,04
1898,468	-512,842
1899,254	-523,196
1924,818	-861,791
1944,914	-1079,71
1951,168	-1147,12
1977,518	-1379,55
1990,573	-1469,32
2003,868	-1559,95
2030,218	-1696,54
2036,232	-1719,41
2056,568	-1797
2081,892	-1869,78
2082,918	-1872,59
2109,268	-1929,41
2127,551	-1968,94
2135,618	-1984,37
2161,968	-2044,99
2173,21	-2080,39
2188,318	-2116,77
2214,668	-2211,55
2218,87	-2199,14
2241,018	-1981,59
2264,529	-1545,97
2267,368	-1487,59
2293,718	-954,691
2310,188	-660,931
2320,068	-480,901
2346,418	-47,3026
2355,848	91,65572
2372,768	343,6296
2399,118	690,2325
2401,507	718,6623
2425,468	1004,551
2447,166	1231,738
2451,818	1280,067
2478,168	1527,554
2492,825	1649,513
2504,518	1745,677

2530,868	1939,211
2538,485	1989,575
2557,218	2111,797
2558,485	2119,35

d. Data Inputan Ke Software *Mag2dc* dari Hasil Digitasi Lintasan GH yang telah Dikonversi dari Peta Kontur Anomali Lokal

X (jarak lintasan)	Y (nilai anomali lokal)
0	-1549,37616
3,863660508	-1610,496468
27,44450198	-1963,638569
51,02534345	-2209,160456
63,82551535	-2252,155515
74,60618492	-2273,091764
98,18702639	-2226,868887
121,7678679	-2160,593382
145,3487093	-2096,72329
151,4038174	-2080,942206
168,9295508	-2032,443059
192,5103923	-1975,514319
216,0912337	-1924,734484
238,9821195	-1876,784655
239,6720752	-1875,524966
263,2529167	-1823,342177
286,8337581	-1770,038343
310,4145996	-1715,946678
326,5604216	-1677,97644
333,9954411	-1661,339053
357,5762826	-1606,950769
381,157124	-1559,534677
404,7379655	-1525,447262
414,1387236	-1518,793103
428,318807	-1504,258844
451,8996484	-1502,405676
475,4804899	-1529,747594
499,0613314	-1591,674016
501,7170257	-1602,511069
522,6421728	-1675,713829
546,2230143	-1796,506696
569,8038558	-1956,006394
589,2953278	-2115,11449
593,3846972	-2146,252533

616,9655387	-2339,439994
640,5463802	-2508,000864
664,1272217	-2534,331717
676,8736298	-2495,847828
687,7080631	-2441,541752
711,2889046	-2318,255237
734,8697461	-2209,313421
758,4505875	-2111,179847
764,4519319	-2082,548449
782,031429	-1996,176357
805,6122705	-1842,655845
829,1931119	-1594,605026
852,030234	-1258,481108
852,7739534	-1246,665499
876,3547949	-832,3378614
899,9356363	-413,8544902
923,5164778	-12,18773548
939,6085361	244,6281414
947,0973193	365,6707145
970,6781608	713,9026948
994,2590022	1018,474241
1017,839844	1274,57605
1027,186838	1357,635545
1041,420685	1482,30561
1065,001527	1635,511593
1088,582368	1727,37166
1112,16321	1755,744829
1114,76514	1752,66594
1135,744051	1729,902674
1159,324893	1644,557137
1182,905734	1503,000695
1202,343442	1345,873927
1206,486575	1313,558355
1230,067417	1089,634385
1253,648258	831,8129312
1277,2291	548,6346538
1289,921744	386,433414
1300,809941	250,1286255
1324,390783	-57,75160451
1347,971624	-372,0116228
1371,552466	-687,1482752
1377,500046	-765,8616054
1395,133307	-996,4120253

1418,714149	-1296,454595
1442,29499	-1582,285249
1465,078348	-1839,623291
1465,875832	-1848,522348
1489,456673	-2090,123881
1513,037515	-2303,768948
1536,618356	-2486,885452
1552,656651	-2591,396669
1560,199197	-2639,369101
1583,780039	-2762,583498
1607,36088	-2859,40097
1630,941722	-2933,307955
1640,234953	-2955,465857
1654,522563	-2987,742068
1678,103405	-3025,991748
1701,684246	-3051,821826
1725,265088	-3067,637482
1727,813255	-3068,548316
1748,845929	-3074,195304
1772,426771	-3074,319029
1796,007612	-3069,666478
1815,391557	-3062,631767
1819,588454	-3060,810437
1843,169295	-3047,809846
1866,750137	-3032,522401
1890,330978	-3015,63261
1902,969859	-3005,855402
1913,91182	-2996,839169
1937,492661	-2976,548799
1961,073502	-2955,716985
1964,937163	-2952,254537

Lampiran 4

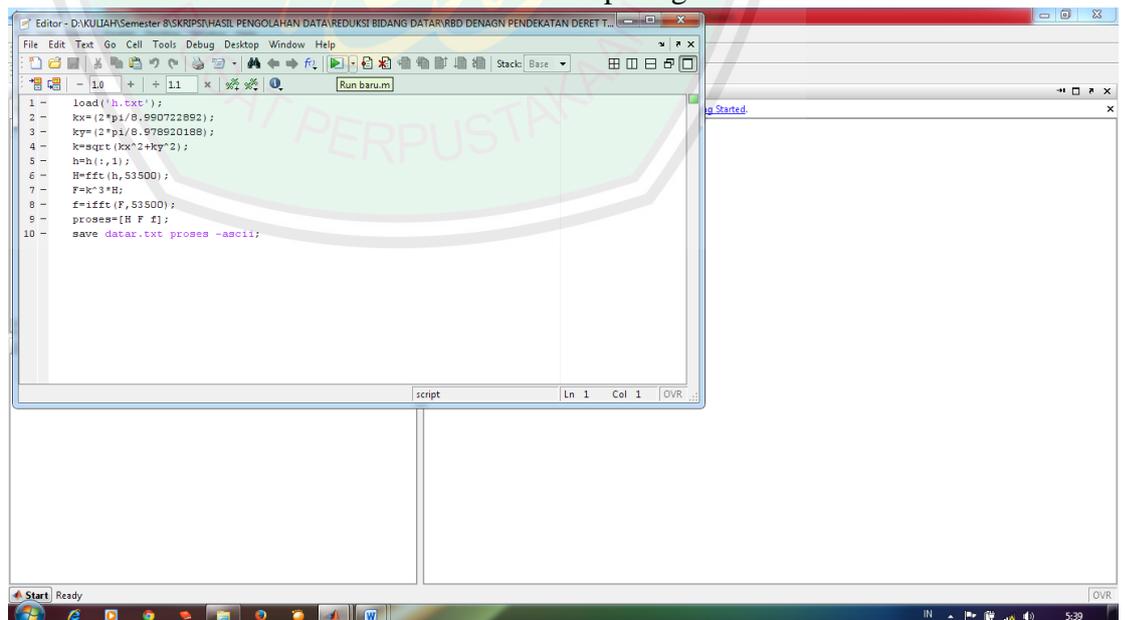
Reduksi ke Bidang Datar

A. Langkah-langkah Reduksi ke Bidang Datar

1. Dibuka software *Surfer10* kemudian *file* → *New* → *worksheet*
2. Kolom A di isi dengan Bujur (UTM), kolom B di isi dengan Lintang (UTM) dan kolom C di isi dengan nilai medan magnet total, dengan gambar sebagai berikut :

	A	B	C
1	633325	9113653.5	-358.8
2	633325	9113656	-177.6967
3	633325	9113658.5	350.49864
4	633325	9113661	-16.68537
5	633325	9113663.5	-126.0095
6	633325	9113666	-148.4337
7	633325	9113668.5	-143.3617
8	633325	9113671	-140.4445
9	633325	9113673.5	-117.1051
10	633325	9113676	-126.4457
11	633325	9113678.5	-201.1316
12	633325	9113681	-201.9481
13	633325	9113683.5	-181.0427
14	633325	9113686	-150.7247
15	633325	9113688.5	-128.3474

3. File disimpan dalam format *.txt*
4. Gabungkan file yang disimpan dalam format *.txt* tersebut dengan *script* matlab yang sudah dibuat dalam satu *folder*.
5. Setelah itu buka *Software Matlab 7.6.0*, kemudian *open file* folder yang dalam satu folder tersebut dan akan muncul seperti gambar dibawah:



```
1 - load('h.txt');
2 - Rk=(2*pi/0.990722892);
3 - ky=(2*pi/0.978920188);
4 - k=sqrt(kx^2+ky^2);
5 - h=h(:,1);
6 - H=fft(h,53500);
7 - F=k^3*H;
8 - F=ifft(F,53500);
9 - proses=[H F];
10 - save data.txt proses -ascii;
```

Klik *Run*, tunggu sampai proses selesai.

B. Script reduksi ke bidang datar

```
load('h.txt');  
kx=(2*pi/λ);  
ky=(2*pi/λ);  
k=sqrt(kx^2+ky^2);  
h=h(:,1);  
H=fft(h,banyaknya data);  
F=k^3*H;  
f=ifft(F,banyaknya data);  
proses=[H F f];  
save datar.txt proses -ascii;
```



Lampiran 5

1. Kontinuasi ke Atas

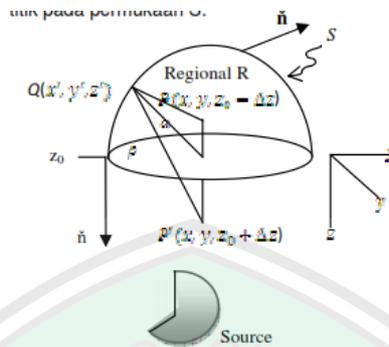
Adanya potensial dasar pada medan gravitasi dan medan magnetik, maka pada setiap tingkatan ketinggian ke atas (dalam beberapa kasus ke bawah) pada suatu pengukuran dapat diperhitungkan. Hal tersebut dilakukan bila tidak terdapat sumber gravitasi atau magnetik diantara dua tingkatan tersebut. Langkah-langkah tersebut dinamakan *upward continuation of potential field* (kontinuasi ke atas pada medan potensial). Kontinuasi tersebut pada umumnya berguna dan menurut ilmu Fisika berarti operasi filter, sehingga memperbolehkan kita untuk menghaluskan medan dan menghilangkan anomali yang kecil dari objek-objek yang ada di dekat permukaan dari daerah penelitian. Pengurangan medan kontinuasi ke atas dari medan asli (*original*) adalah mereduksi pengaruh obyek bagian dalam.

Secara teori, medan juga dapat di kontinuasi kebawah (*downward continuation*) hingga tingkatan kontinuasi persilangan pada tiap sumber medan. Bagaimanapun hal tersebut dapat dibuktikan bahwa operasi ini tidak stabil, karena kontinuasi tersebut dapat memperbesar *noise* yang terjadi dan membuat medan tidak dapat digunakan. Kontinuasi ke atas ini dilakukan dengan menggunakan program *Magpick*.

Konsep dasar kontinuasi ke atas berasal dari identitas ketiga teorema *Green*. Teorema ini menjelaskan, bahwa apabila suatu fungsi U adalah harmonik, kontinu dan mempunyai turunan yang kontinu di sepanjang daerah R , maka nilai U pada suatu titik P di dalam daerah R dapat diketahui (gambar) dirumuskan melalui persamaan (Blakely,1995:313):

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

Dengan S adalah permukaan daerah R, n adalah arah normal keluar dan r adalah jarak dari titik P ke suatu titik pada permukaan S.



Gambar 1. Kontinuasi ke Atas dari Permukaan Horizontal
(Sumber. Blakely,1995:314)

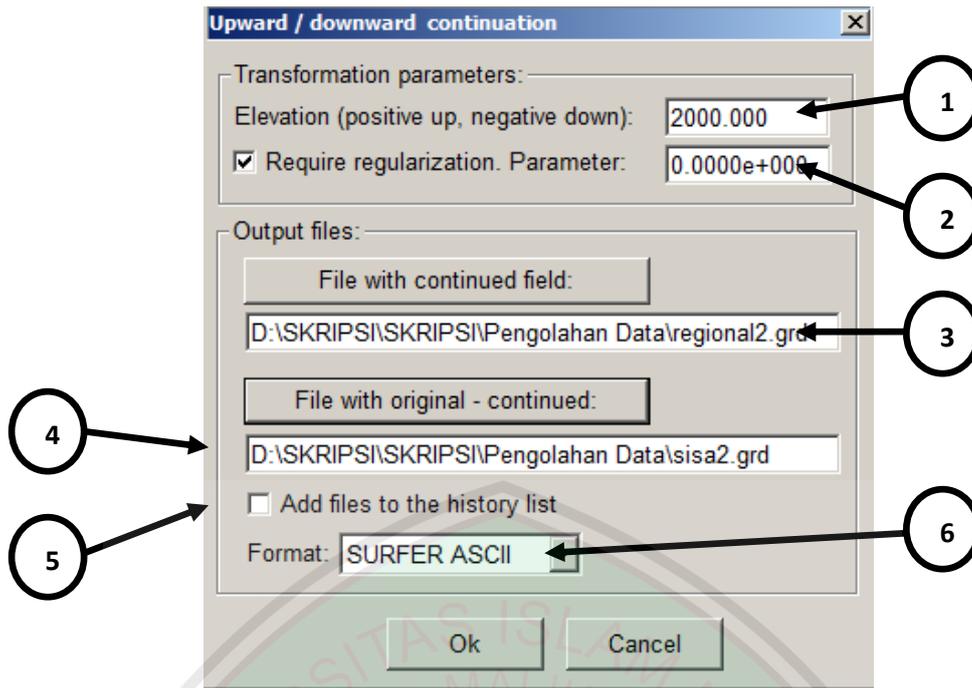
Dalam sistem koordinat kartesian dengan arah z ke bawah, kita mengasumsikan bahwa medan potensial terukur pada level *surface* $z = z_0$ dan bahwa medan yang dikehendaki pada titik tunggal $P(x,y,z_0 - \Delta z)$ di atas level *surface*, dimana $\Delta z > 0$. Permukaan S tersusun baik oleh level *surface* maupun *hemisphere* yang mempunyai radius α . Semua sumber terletak pada $z > z_0$. Untuk $\alpha \rightarrow \infty$ maka (Blakely,1995:316):

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{r} \frac{\delta U(x', y', z_0)}{\delta z'} - U(x', y', z_0') \frac{\delta}{\delta z'} \frac{1}{r} \right) dx' dy' \quad (2)$$

Dimana: $r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z_0 - \Delta z - x')^2}$ dan $\Delta z > 0$.

Titik P' proyeksi dari P, titik integrasi Q pada permukaan S, serta r dan rho masing-masing menyatakan jarak dari Q ke P dan Q ke P'.

Adapun tampilan menu pada *Magpick* dapat dilihat pada gambar kotak box di bawah ini:



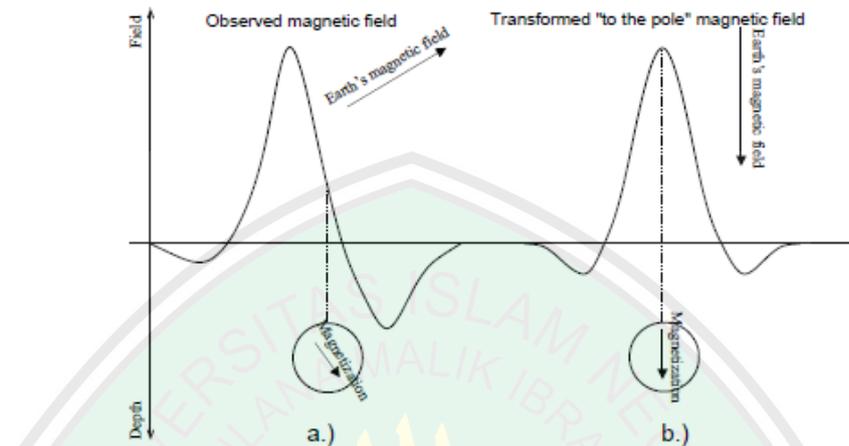
Gambar 2. Tampilan Kotak Box Kontinuasi ke Atas pada *Magpick*

Keterangan:

1. Ketinggian untuk medan kontinuasi, positif untuk kontinuasi ke atas dan negatif untuk kontinuasi ke bawah.
2. Untuk kontinuasi ke bawah *downward* diperlukan, kotak ini dicek dan parameter dimasukkan.
3. Nama arsip untuk kontinuasi, dimana menunjukkan anomali regionalnya.
4. Arsip dengan selisih data asli yang dikurangkan dengan data hasil kontinuasi, dimana menunjukkan anomali lokalnya.
5. Jika kotak ini dicek, maka arsip output akan dimasukkan ke *history list* untuk memudahkan apabila diproses kembali.
6. Kotak ini untuk memilih arsip keluaran yang ingin ditampilkan.

2. Reduksi ke Kutub

Medan magnet total dapat direduksi untuk anomali pada kutub magnetiknya apabila arah dari medan magnetik bumi dan arah dari obyek yang akan dimagnetisasi diketahui.



Gambar 3 Hubungan antara Medan observasi dan Reduksi Ke Kutub

Gambar di atas menunjukkan hubungan antara medan yang diukur pada pertengahan lintang magnetiknya (a) dan pada kutub magnet (b). Kurva (a) mempunyai bentuk yang kompleks dan lokasi sebenarnya dari objek di suatu tempat di antara minimum dan maksimum. Lokasi sebenarnya bergantung pada nilai dari inklinasi dan deklinasi bumi, sebagaimana arah magnetisasi pada suatu objek. Pada medan magnetik kutub menuju ke bawah begitu juga dengan induksi magnetisasinya. Pada kasus ini (b) maksimum utara pada medan yang ditempatkan di kanan atas dari objek sehingga lokasi horizontal lebih mudah untuk ditemukan.

Secara teori, ketika transformasi reduksi kutub digunakan pada semua spesifikasi bentuk baik maksimum atau minimum pada anomalnya akan mengubah salah satunya ke bentuk yang sederhana. Bagaimanapun untuk

mengetahui hal tersebut haruslah mengetahui arah (inklinasi dan deklinasi) dari obyek magnetisasi yang pada umumnya tidak diketahui. Pada beberapa kasus dapat diasumsikan bahwa obyek hanya mempunyai magnetisasi yang terinduksi dan menggunakan IGRF model untuk mencarinya (untuk kasus dimana arah magnetisasi bertepatan dengan arah medan magnet bumi). Obyek yang berbeda juga dapat mempunyai arah magnetisasi yang berbeda pula. Akan tetapi bukan berarti karena beberapa alasan tersebut membuat gambar kontur yang ditransformasikan menjadi lebih sederhana. Sebagian anomali dapat ditransformasikan dan sebagian lagi tidak.

Bentuk operasi filter dari reduksi kutub (Baranov,1957) adalah sebagai berikut:

$$T_{at-pole} = \mu T(0) + I$$

(3)

$$I = \frac{1}{2\pi} \iint T(\rho, \omega) \Omega_3 \frac{d\rho}{\rho} d\omega$$

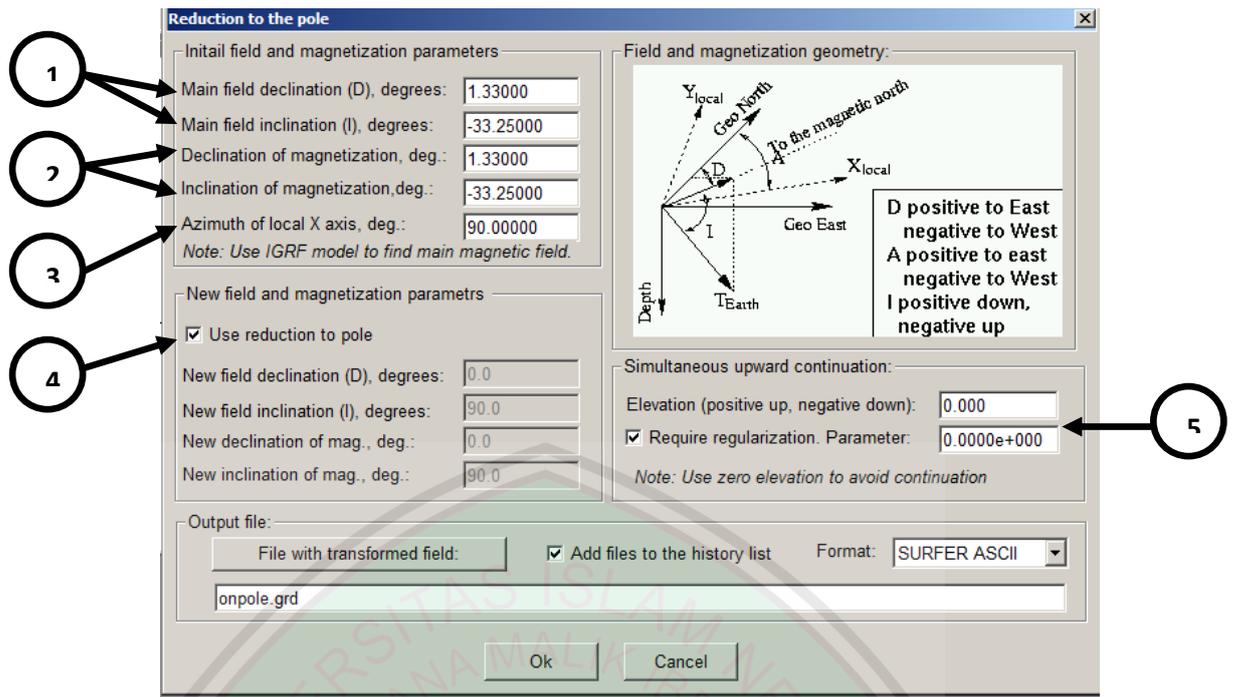
$$\Omega_3(\omega) = \gamma_0 + 2\gamma_1 \cos \omega + \dots + 2\gamma_k \cos \omega \dots$$

$$\gamma_0 = 0, \gamma_k = (-\eta)^k k(k + \mu), \eta = \frac{1 - \mu}{\lambda}$$

$$\lambda = \cos i, \mu = \sin i$$

Dimana ρ dan ω adalah koordinat polar di suatu titik pengukuran, $T = (\rho, \omega)$ adalah nilai medan total pada suatu titik M, $T = (0)$ adalah nilai medan total pada titik 0, dan I adalah nilai I rata-rata pada wilayah pengambilan data.

Kotak dialog dari reduksi kutub pada program *Magpick* dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4 Tampilan Kotak Box Reduksi ke Kutub pada *Magpick*

Keterangan :

1. Nilai inklinasi dan Deklinasi dari daerah pengukuran dimasukkan.
2. Parameter yang sama seperti no.1 tetapi untuk magnetisasi direkomendasikan untuk memulai dengan nilai yang sama dengan medan magnet utama (hanya untuk induksi magnet).
3. Azimuth dari sumbu X lokal 90° jika berada pada titik di sebelah timur.
4. Kotak ini dicek untuk reduksi kutub. Jika ingin menghitung kembali medan untuk arah yang berbeda, maka nilai yang diminta dimasukkan langsung.
5. Kotak ini diisi jika hasil yang didapatkan tidak stabil.

Lampiran 6
Gambar Pengambilan Data





KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341)551345
Fax.(0341)572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Moh. Iqbal Fanani
NIM : 10640064
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Fisika
Judul Skripsi : Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah
Potensi Panas Bumi Berdasarkan Data Geomagnetik
(Studi Kasus di Area Sumber Air Panas Desa
Lombang Kec. Batang-Batang Kab. Sumenep)
Pembimbing I : Irjan, M.Si
Pembimbing II : Drs. M. Tirono, M.Si

No	Tanggal	Materi Konsultasi	Tanda Tangan
1	10 Februari 2014	Konsultasi BAB I, II, III	1
2	17 April 2014	ACC BAB I, II, III	2
3	24 Oktober 2014	Konsultasi BAB I, II Agama	3
4	28 Oktober 2014	ACC BAB I, II Agama	4
5	10 September 2014	Konsultasi BAB IV	5
6	04 November 2014	Konsultasi BAB IV Agama	6
7	07 November 2014	ACC Keseluruhan Agama	7
8	29 Oktober 2014	Konsultasi BAB IV dan V	8
9	10 November 2014	ACC Keseluruhan	9

Malang, 29 November 2014

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

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