

**INTERPRETASI GUNUNG LUMPUR MENGGUNAKAN METODE  
MAGNETIK DI DESA KATAL BARAT KEC. GEGER KAB.  
BANGKALAN MADURA**

**SKRIPSI**

Oleh:

**MAWED DETUR ROHMAH**

**NIM. 12640046**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2017**

**INTERPRETASI GUNUNG LUMPUR MENGGUNAKAN METODE  
MAGNETIK DI DESA KATAL BARAT KEC.GEGER KAB.  
BANGKALAN MADURA**

**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:**

**MAWED DETUR ROHMAH  
NIM. 12640046**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2017**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**INTERPRETASI GUNUNG LUMPUR MENGGUNAKAN METODE  
MAGNETIK DI DESA KATAL BARAT KEC.GEGER KAB. BANGKALAN  
MADURA**

SKRIPSI

Oleh:  
MAWED DETUR ROHMAH  
NIM. 12640046

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,  
Pada tanggal: 18 Desember 2017

Pembimbing I,



Irian, M.Si

NIP. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II,



Dr. H. Agus Mulyono, M.kes

NIP. 196750808 199003 1 003

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Abdul Basid, M.Si

NIP. 19650504 199003 1 003

## HALAMAN PENGESAHAN

INTERPRETASI GUNUNG LUMPUR MENGGUNAKAN METODE  
MAGNETIK DI DESA KATAL BARAT KEC.GEGER KAB. BANGKALAN  
MADURA

SKRIPSI

Oleh:  
MAWED DETUR ROHMAH  
NIM. 12640046

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan  
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 18 Desember 2017

Penguji Utama	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	: <u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	
Sekretaris Penguji	: <u>Irian, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	: <u>Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes</u> NIP. 19750808 199003 1 003	

Mengesahkan,  
Ketua Jurusan Fisika

  
  
Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP. 19650504 199003 1 003

**PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MAWED DETUR ROHMAH  
NIM : 12640046  
Jurusan : FISIKA  
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI  
Judul Penelitian : Interpretasi Gunung Lumpur Menggunakan Metode  
Magnetik Di Desa Katal Barat Kec.Geger Kab. Bangkalan  
Madura

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan 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 dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang 18 Desember 2017  
Yang Membuat Pernyataan,



Mawed Detur Rohmah  
NIM. 12640046

## MOTTO

*Dan (ingatlah juga), tatkala Tuhanmu memaklumkan;  
"Sesungguhnya jika kamu bersyukur, pasti Kami akan menambah  
(nikmat) kepadamu, dan jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), maka  
sesungguhnya azab-Ku sangat pedih".*

*(QS.Ibrahim:7)*



## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Yang pertama dari yang utama...  
Puji syukur ke hadirat Allah SWT. Atas karunia-Nya yang telah  
memberikan kesehatan dan kesempatan kepadaku untuk  
menyelesaikan tugas akhir yang sederhana ini. Shalawat dan salam  
untuk junjungan dan tauladanku Nabi Muhammad SAW.*

#####

*Kupersembahkan tugas akhirku untuk orang-orang yang kusayangi*

### ***Ibu tercinta***

*Hj. Mahmudah*

*Terima kasih ibu kau telah menjadi ayah sekaligus ibuku yang tak  
pernah lelah membanting tulang untuk membiayaiiku dalam mencari  
ilmu, menasehatiku dan mendoakanku, hanya ini yang masih mampu ku  
persembahkan untuk mu ibu*

### ***Suami Tercinta***

*Sodik*

*Terima kasih atas kasih sayangmu yang tak pernah lelah memotivasiku,  
mendoakanku dan membantuku dalam menyelesaikan tugas akhirku*

### ***Saudaraku***

*H.Zainul Akbar & Fathur Rohman*

*Terimakasih kakak dan adekku kalian slalu memotivasiku dan  
mendoakanku*

#####

### ***Dosen Pembimbing Tugas Akhirku***

*Bapak Irjan, M.Si dan Dr.H.Agus Molyono, M.Kes....*

*Terima kasih atas bimbingan dan kesabarannya.*

*Untuk Bapak dan Ibu Dosen Fisika, terima kasih atas ilmu yang telah  
diberikan. Semoga ilmu yang kalian berikan kepadaku menjadi ilmu yang  
bermanfaat dan barokah kedepannya amin.....*

#####

### ***Teman-temanku***

*Terima kasih buat teman-temanku Geofisika '12 .....yang selalu berbagi  
keluh kesah, bahagia dan gembira. Kakak2 Geofisika '11 terima kasih juga  
atas bantuannya. Teman-temanku seperjuangan Fisika '12.....*

*Terima kasih...dan semangat*

*\*the end\**

*By: Mawed.d.r*

## KATA PENGANTAR



Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang ini berjalan dengan lancar baik. Sholawat serta salam semoga senantiasa terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, para sahabat, dan segenap orang yang mengikuti jejaknya.

Penyusunan laporan yang berjudul "Interpretasi Gunung Lumpur Menggunakan Metode Magnetik di Desa Katal Barat Kec. Geger Kab. Bangkalan Madura" ini, disusun dalam rangka menyelesaikan tugas akhir/skripsi yang merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pada kesempatan ini, penulis tidak lupa menyampaikan terima kasih dan harapan *jazakumullah al-khair* kepada semua pihak yang telah membantu, memberi pengarahan, bimbingan supaya skripsinya dapat terselesaikan dengan baik, khususnya kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid M.Si, selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

4. Irjan, M.Si dan Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Segenap Civitas Akademika Jurusan Fisika, terutama seluruh dosen, laboran, dan staf karyawan yang bersedia membantu, menyediakan waktu bagi penulis untuk berbagi ilmu dan memberikan bimbingan.
6. Orangtua tercinta serta segenap keluarga yang selalu mendo'akan, memberi kepercayaan dan memberikan motivasi kepada penulis dalam menuntut ilmu.
7. Teman-teman yang selalu memberikan motivasi, inspirasi, dan kebersamaannya selama ini.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat diharapkan demi kemajuan bersama. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat dan menambah khazanah ilmu pengetahuan. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Malang 25 Desember 2017

Mawed Detur Rohmah

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAN</b> .....	v
<b>MOTTO</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>ABSTRAK</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
مستخلص البحث .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Penelitian .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	6
1.5 Batasan Masalah .....	6
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	
2.1 Lumpur Vulkanik ( <i>Mud vulcano</i> ) .....	7
2.2 Pengertian Gunung Lumpur ( <i>Mud Vulcano</i> ) .....	8
2.3 Proses Terbentuknya Gunung Lumpur .....	9
2.4 Klasifikasi Gunung Lumpur .....	13
2.5 Persebaran Gunung Lumpur di Dunia .....	15
2.6 Gunung Lumpur di Jawa Bagian Timur .....	15
2.7 Gunung Lumpur di Pulau Jawa .....	17
2.8 Geologi Daerah Penelitian .....	19
2.8.1 Stratigrafi .....	19
2.8.2 Struktur .....	20
2.8.3 Fisiografi .....	22
2.8.4 Sejarah Geologi .....	22
2.9 Konsep Metode Magnetik .....	23
2.10 Teori Dasar Magnetik .....	24
2.10.1 Gaya Magnetik .....	24
2.10.2 Kuat Medan Magnetik .....	25
2.10.3 Momen Magnetik .....	26
2.10.4 Intensitas Kemagnetan .....	26
2.10.5 Suseptibilitas Batuan .....	27
2.10.6 Induksi Magnetik .....	33
2.11 Pengukuran Medan Magnet .....	33
2.11.1 Elemen Medan Magnet Bumi .....	33

2.11.2 Anomali Medan Magnet Total .....	37
2.12 Transformasi Anomali Medan Magnet Total .....	38
2.12.1 Reduksi Bidang Datar .....	38
2.12.2 Kontinuasi ke Atas ( <i>Upward Continuation</i> ) .....	39
2.12.3 Reduksi ke Kutub ( <i>Reduction To The Pole</i> ) .....	40
2.13 Prinsip Kerja <i>Proton Precisoon Magnetometer</i> (PPM) .....	41
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	43
3.2 Peralatan Penelitian .....	43
3.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian .....	44
3.4 Metode Penelitian Magnetik .....	44
3.4.1 Pengambilan Data Geomagnetik .....	44
3.4.2 Pengolahan Data Geomagnetik .....	47
3.4.3 Interpretasi Data .....	48
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Akuisi Data .....	49
4.2 Pengolahan Data .....	50
4.3 Interpretasi Data .....	54
4.3.1 Interpretasi Kualitatif .....	54
A. Reduksi Bidang Datar .....	54
B. Kontinuasi ke Atas ( <i>Upward Continuation</i> ) .....	56
C. Reduksi ke Kutub ( <i>Reduction To The Pole</i> ) .....	58
4.3.2 Interpretasi Kuantitatif .....	60
A. Interpretasi Kuantitatif Lintasan A-B .....	61
B. Interpretasi Kuantitatif Lintasan C-D .....	62
C. Interpretasi Kuantitatif Lintasan E-D .....	64
4.4 Analisis Gunung Lumpur .....	65
4.5 Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Dalam Pandangan Islam .....	68
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	71
5.2 Saran .....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Dasar Elemen Utama dari Gunung Lumpur Kerucut.....	11
Gambar 2.2 Gunung Lumpur yang Terdapat di Pulau Jawa Bagian Timur dan Madura .....	18
Gambar 2.3 Gunung Lumpur Bujel Tasek Lakek di Geger, Bangkalan, Madura .	18
Gambar 2.4 Gunung Lumpur Bujel Tasek Binik di Geger, Bangkalan, Madura...	19
Gambar 2.5 Peta Geologi Daerah Penelitian.....	21
Gambar 2.6 Ilustrasi Diagram pada Momen Magnetik dalam Menentukan Gaya terhadap Batang Magnet dalam Sebuah Medan Magnet .....	26
Gambar 2.7 Unsur-Unsur Medan Magnet Bumi.....	34
Gambar 2.8 Potensial Magnetik di Titik P (x, y, z) dari Benda Termagnetisasi ...	36
Gambar 2.9 Diagram Kotak dari PPM.....	41
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	46
Gambar 4.1 Kalkulator IGRF.....	51
Gambar 4.2 Peta Kontur Topografi Tempat Penelitian .....	52
Gambar 4.3 Peta Kontur Anomali Medan Magnet Total.....	53
Gambar 4.4 Kontur Anomali Medan Magnet Total Setelah Reduksi Bidang Datar pada Ketinggian 70 m dpl dengan Interval Kontur 1000 nT .....	55
Gambar 4.5 Kontur Anomali Regional Hasil Kontinuasi ke Atas pada Ketinggian 1900 m dpl .....	57
Gambar 4.6 Kontur Anomali Lokal Hasil Kontinuasi ke Atas pada Ketinggian 1900 m dpl .....	58
Gambar 4.7 Kontur Anomali Medan Magnet Total Setelah Reduksi ke Kutub ....	59
Gambar 4.8 Profil Sayatan Lintasan A-B, C-D, E-D.....	60
Gambar 4.9 Profil Model Penampang Vertikal Bawah Permukaan Lintasan A-B.....	61
Gambar 4.10 Profil Model Penampang Vertikal Bawah Permukaan Lintasan C-D.....	63
Gambar 4.11 Profil Model Penampang Vertikal Bawah Permukaan Lintasan E-D.....	64

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Suseptibilitas Mineral Diamagnetisme .....	28
Tabel 2.2 Suseptibilitas Mineral Paramagnetisme .....	29
Tabel 2.3 Suseptibilitas Batuan dan Mineral .....	30



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Penelitian



## ABSTRAK

Rohmah, Mawed Detur. 2017. **Interpretasi Gunung Lumpur Menggunakan Metode Magnetik Di Desa Katal Barat Kab. Bangkalan Madura**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Irjan, M.Si (II) Dr. H. Agus Mulyono, M.kes

---

**Kata Kunci:** *Kantong Lumpur, Desa Katal Barat. Anomali Magnetik, Susseptibilitas Magnetik,*

Di Madura, tepatnya di Desa Katal Barat Kec. Geger Kab. Bangkalan Madura terdapat 2 semburan lumpur yang masih aktif yang dikenal dengan sebutan Bujel Tasek Lakek dan Bujel Tasek Binik. Survei yang dilakukan dalam penelitian ini adalah survei geomagnetik yang merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menyelidiki kondisi struktur bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan sifat ke magnetan suatu batuan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola kontur anomali lokal yang disebabkan oleh benda penyebab anomali di bawah permukaan. Pengukuran dilakukan menggunakan *Proton Proccession Magnetometer* (PPM) mencakup luasan area penelitian sekitar  $16 \text{ km}^2$  ( $4 \times 4 \text{ km}$ ) dengan jarak antara titik pengukuran 100-200 m dengan jumlah titik pengukuran adalah 60 titik. Pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel 2010*, *Surfer Versi 11*, *Magpic* dan *Mag2dc*. Berdasarkan interpretasi kualitatif, pola kontur semburan lumpur Bujel Tasek Lakek dan Lumpur Bujel Tasek Binik tergambar melalui pola anomali tinggi membentuk klosur tertutup pada area penelitian dan diinterpretasikan sebagai bodi lumpur. Sedangkan berdasarkan interpretasi kuantitatif pada lintasan A-B, C-D dan E-D, kantong lumpur Bujel Tasek Lakek dan Bujel Tasek Binik dapat dimodelkan dengan nilai suseptibilitas 0.0002 SI. Kedua titik semburan yaitu Bujel Tasek Lakek dan Bujel Tasek Binik bersumber pada kantong lumpur yang sama.

## ABSTRACT

Rohmah, Mawed Detur. 2017. **The Interpretation of Mud Mountain Using Magnetic Method in Katal Barat Village, Bangkalan Regency, Madura.** Thesis. Physics Department, Science and Technology Faculty, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors:(I) Irjan, M.Si (II) Dr. H. Agus Mulyono, M. Kes.

---

**Keywords:** Mud pouch, Katal Barat Bangkalan Village Magnetic Anomaly, Magnetic Susceptibility.

In Madura, located in Katal Barat village Geger district Bangkalan regency Madura, there are 2 active bursts muds which known as Bujel Tasek Lakek and Bujel Tasek Binik. The survey which done in this research is the geomagnetic survey that is one of geophysics method used to investigate the condition of the subsurface structure of earth by utilizing the magnetic characteristic of rock. The aims of this research are to study the contour pattern of local anomaly that caused by anomaly causing objects in the subsurface. The measurement is done using Proton Precession Magnetometer (PPM) includes research area for about 16 km<sup>2</sup> (4×4 km) with space between 100-200 m and the measurement result is 60 points. The processing data use Microsoft Excel 2010, Surfer Versi 11, Magpic dan Mag2dc. Based on the qualitative interpretation, the contour pattern of Bujel Tasek Lakek and Bujel Tasek Binik bursts mud are illustrated by hight anomaly pattern which formed the curve with closed closure on research area and interpreted by mud body. While based on quantitative interpretation of A-B, C-D and E-D lines, mud pouch of Bujel Tasek Lakek and Bujel Tasek Binik can be modeled with 0.0002 SI susceptibility value. Both points of bursts are Bujel Tasek Lakek and Bujel Tasek Binik sourced on the same of mud pouch

## مستخلص البحث

ماويد دنور رحمة. 2017. تفسير الجبل الطين باستخدام طريقة المغنطيسي. قسم الفيزياء كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (I) إرجان، الماجستير، (II) أكوس مولونو، الماجستير

الكلمات الأساسية: منبع التدفقة، قرية الكثال الغربي، الشذوذ مغنطيسية، القابلية المغنطيسية.

في مادورا، بالضبط في قرية كتال غربي منطقة غيغير مدينة بنجالان مادورا توجد تدفقي الطنية مازالت الفعالية تسمى ببوجيل تاسيك لايك وبوجيل تاسيك بينيك. أن الاستعراض المستخدم في هذه الدراسة فهي استعراض المغنطية الأرضية وهي من الطريقتات الجيوفيزياء المستخدم لبحث حالات تكوين تحت البسيطة باستخدام مغنطيسية البولدر. تحدف هذه الدراسة لمعرفة نمط كفاف الشذوذ المحلي التي تؤديها سلعة الشذوذ تحت السطح. يقوم المقياس باستخدام *Proton Procession Magnetometer (PPM)* تشمل على نطاق منطقة الدراسة بقدر  $16 \text{ km}^2$  (  $4 \times 4 \text{ km}$  ) بمسافة بين نقطة المقياس 100-200 m بعدد نقطة المقياس 60 نقطة. أما تحويل البيانات المستخدمة فهي *Microsoft Excel 2010*، بسيفر النص 11، *Magpic* و *Mag2dc*. إضافة إلى تفسير الكيفي، أن نمط كفاف التدفقة ببوجيل تاسيك لايك وبوجيل تاسيك بينيك تصور من خلال نمط الشذوذ العالية تشكل الكلوسور المغلق في منطقة الدراسة وتفسير كجسم التدفقة. وفي حين أن تفسير الكمي على مسلك أ-ب، ج-د و ه-د، كيس تدفقة ببوجيل تاسيك لايك وبوجيل تاسيك بينيك يستطيع على الغرار بقيمة قابلية 0,0002 SI0. كلا نقطة التدفقة وهو ببوجيل تاسيك لايك وبوجيل تاسيك بينيك من كيس التدفقة المساوية.

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang Penelitian**

Semburan lumpur adalah fenomena alam yang tersebar luas di belahan dunia salah satunya yang banyak ditemukan di Indonesia bagian timur, salah satu lumpur yang terdapat di Indonesia bagian timur ini antara lain di Bleduk Kuwu dan Sangiran Provinsi Jawa Tengah, serta di Sidoarjo Provinsi Jawa Timur yang dikenal dengan sebutan LUSI (Lumpur Sidoarjo ) dan masih banyak lainnya.

Semburan lumpur atau disebut dengan nama *mud volcano* ini umumnya terdapat pada cekungan yang telah terisi oleh endapan batuan sedimen yang cukup tebal. Kemunculan semburan lumpur pada umumnya diakibatkan oleh adanya struktur geologi daerah setempat, seperti terdapat lipatan, sesar dan retakan serta energi yang cukup kuat untuk mendorong lumpur tersebut dapat mencapai ke permukaan.

Madura, tepatnya di Desa Katal Barat Kec. Geger Kab. Bangkalan ini terdapat sebuah dua semburan lumpur yang dikenal dengan nama Bujel Tasek Lakek dan Bujel Tasek Binik yang sudah ada beratus-ratus tahun lamanya yang tidak diketahui oleh masyarakat luar. Karena dengan adanya bencana alam yang terjadi di Sidoarjo yang banyak mengakibatkan korban, dengan adanya bencana LUSI tersebut maka masyarakat sekitar dan masyarakat luar lainnya menyelidiki atau meneliti tempat semburan lumpur tersebut, karena dikhawatirkan kedepannya akan menyembur seperti LUSI atau mempunyai potensi alam seperti adanya

minyak dan gas bumi sehingga pada akhirnya dapat memberikan kepastian layak atau tidak untuk dieksplorasi.

Bujel Tasek Binik membentuk seperti kolam dan samping semburannya terdapat sebuah sumur dan oleh masyarakat sekitar diberi nama air susu ibu karena airnya berwarna putih keruh, semburan pada Lumpur Bujel Tasek Binik ini lebih deras dibandingkan Bujel Tasek Lakek. Tempat Bujel Tasek Lakek ini tidak terlalu jauh dari Bujel Tasek Binik sekitar 400 meter. Bujel Tasek Lakek berbentuk seperti kerucut seperti bentuk gunung api lumpur pada umumnya namun yang membedakan tingginya lebih kecil sekitar 10–15 meter.

Dengan adanya fenomena alam tersebut, perlu dilakukan sebuah penelitian terhadap kedua semburan lumpur yang bertujuan untuk eksplorasi, untuk mengetahui struktur bawah permukaan dari kedua semburan lumpur tersebut. Sebagaimana firman Allah dalam Surat: al-Imron ayat 5.

إِنَّ اللَّهَ لَا يَخْفَىٰ عَلَيْهِ شَيْءٌ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي السَّمَاءِ (5)

“*Sesungguhnya bagi Allah tidak ada satu pun yang tersembunyi di bumi dan tidak (pula) di langit*” (Q.S. al-Imron:5)

Pada ayat di atas dapat dipahami bahwa Allah tidak menyembunyikan satu apapun yang terdapat di dalam bumi dan juga Allah tidak menyembunyikan satu apapun yang ada di langit. Tetapi kita sebagai manusia mempunyai rasa ingin tahu apa yang ada di dalam bumi dan juga di langit namun manusia mempunyai keterbatasan untuk mengetahui apa yang ada di dalam bumi dan di langit, sehingga kita sebagai manusia membutuhkan instrumen untuk mengetahui hal tersebut.

Dalam penelitian ini peneliti bertujuan untuk mengetahui apa yang ada di dalam bumi, salah satu instrumen yang digunakan untuk mengetahui hal tersebut ialah menggunakan metode magnetik yaitu adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menyelidiki kondisi struktur bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan sifat kemagnetan suatu batuan.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan Metode Geomagnetik jenis *Proton Precession Magnetometer* (PPM). Metode magnetik adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menyelidiki kondisi struktur bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan sifat kemagnetan batuan yang diidentifikasi oleh kerentanan magnet batuan. Proton Precession Magnetometer adalah instrumen geofisika yang mengukur kekuatan medan magnet bumi, pengukuran medan magnet bumi ini bertujuan untuk mengetahui lokasi deposit mineral, struktur bawah permukaan, situs arkeologi, material di bawah tanah, atau objek di bawah permukaan laut seperti kapal selam atau kapal karam dan lain sebagainya.

Penggunaan Metode Magnetik pertama kali dilakukan oleh Sir Willian Gilbert (1540–1603). Metode geomagnetik merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mengukur sifat kemagnetan suatu batuan di bawah permukaan tanah, dengan cara meletakkan tongkat di atas titik yang akan diteliti, ujung paling atas tongkat tersebut terdapat tabung silinder yang di dalamnya terdapat cairan yaitu proton, yang dimana proton dimanfaatkan sebagai sensor medan magnet, ketika proton pada kondisi normal mempunyai 2 macam gerakan yaitu gerakan spin (gerakan pada porosnya) dan gerak presesi (gerak

gasing yang oleng) ketika tegangan polarisasi dinyalakan maka timbul medan magnet H1 di sekeliling botol yang mengakibatkan gerakan proton-proton tadi lebih beraturan menjadi gerak precesi. Beberapa saat kemudian tegangan polarisasi dimatikan, sehingga di sekitar botol tidak ada lagi medan magnet polarisasi sehingga hal ini mempengaruhi gerak precesi proton-proton tadi. Akibat tidak adanya medan polarisasi tadi proton-proton berpresesi di bawah pengaruh medan magnet lain yakni medan magnet bumi H2, maka nilai medan magnet bumi H2 itu yang dicatat.

Komponen sensor pada Proton Precession Magnetometer adalah tabung silinder yang berisi cairan penuh atom hidrogen yang dikelilingi oleh lilitan kabel. Sensor tersebut dihubungkan dengan kabel ke unit yang berisi *power supply*, sebuah saklar elektronik, sebuah amplifier, dan sebuah pencatat frekuensi. Kelebihan dari metode magnetometer ialah alatnya tidak terlalu berat sekitar 1 kg, sehingga dalam pengambilan data lebih mudah dan waktu yang dibutuhkan untuk pengambilan data lebih cepat. Metode geomagnetik merupakan salah satu metode dengan memanfaatkan sifat kemagnetan suatu batuan dan metode ini banyak digunakan hingga saat ini. Contohnya adalah arkeologi, eksplorasi batu bara, eksplorasi mineral, eksplorasi minyak dll.

Sebelumnya daerah kedua semburan lumpur yang berada di Desa Katal Barat Kec. Geger Kab. Bangkalan Madura telah dilakukan penelitian yang menggunakan metode geolistrik *mapping* dengan memanfaatkan sifat tahanan jenis (resistivitas) suatu batuan atau sifat hambatan suatu batuan. Dengan cara mengalirkan arus listrik ke dalam batuan atau tanah melalui elektroda arus.

Analisis geolistrik meliputi proses pengolahan data dan analisis secara kuantitatif dan kualitatif yang berhubungan dengan litologi dan struktur daerah penelitian. Pada penelitian ini menggunakan analisis penampang *interface* 2D yang menggunakan software Res2div dan penampang 3D yang menggunakan software Voxler. Gambaran model dengan menggunakan metode geolistrik ini menggambarkan secara umum litologi bawah permukaan kedua semburan lumpur yang didominasi oleh batuan lempung, batu pasir dan batu kapur yang mengandung air asin. Pemodelan dari bawah permukaan Gunung Lumpur Bujel Tasek Lakek terkait dengan distribusi lumpur memiliki arah persebaran timur laut. Sedangkan untuk distribusi lumpur pada Gunung Lumpur Bujel Tasek Binik diduga memiliki persebaran ke arah timur laut dan barat daya, bentuk pola lumpur membentuk sebuah cekungan yang membentuk elips.

### **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pola kontur anomali lokal di area penelitian?
2. Bagaimana geometri kantong lumpur di bawah permukaan pada area semburan lumpur di daerah penelitian?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui pola kontur anomali lokal di area penelitian.
2. Mengetahui geometri kantong lumpur di bawah permukaan pada area semburan lumpur di daerah penelitian.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

1. Sebagai informasi awal mengenai keberadaan kantong lumpur di bawah permukaan pada area semburan lumpur yang terdapat di Desa Katal Barat Kec. Geger Kab. Bangkalan Madura.
2. Dapat menambah wawasan mengenai keberadaan kantong lumpur menggunakan metode geomagnetik sehingga dapat dijadikan referensi untuk penelitian berikutnya dalam bidang geofisika.

#### 1.5 Batasan Masalah

1. Lokasi tempat penelitian berada di dua semburan lumpur yaitu Bujel Tasek Binik dan Bujel Tasek Lakek di Desa Katal Barat Kec. Geger Kab. Bangkalan Madura, dengan luas area sekitar kurang lebih  $16 \text{ km}^2$  ( $4 \times 4$ ) km.
2. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode geomagnetik dengan jenis penyelidikan *loop* tertutup (pengambilan data diawali dan diakhiri dengan data titik *base station*).
3. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan Software yaitu Ms. Excel, Surfer 11, Matlab 2010, Magpic dan Mag2dc.

## **BAB II DASAR TEORI**

### **2.1 Lumpur Vulkanik (*Mud volcano*)**

Banyak para ahli geologi yang menganalogikan semburan lumpur panas adalah gejala alam yang disebut gunung lumpur/*mud volcano* yang banyak tersebar di Indonesia (khususnya di Indonesia Timur dikenal dengan istilah poton), bahkan di Jawa Timur banyak ditemukan, seperti Bleduk Kuwu dan Gunung Anyar dekat Surabaya bahkan di selatan Kali Porong, yang masa lalunya menyemburkan lumpur tetapi sekarang sudah mati (Koesoemadinata, R, 2006).

Definisi dari *mud volcano* adalah suatu sumber api lumpur yang berbentuk suatu kerucut tanah liat dan lumpur berukuran kecil, yang pada umumnya memiliki tinggi kurang dari 1-2 m. Gunung api lumpur kecil ini berbentuk dari campuran air panas dan sedimen halus (tanah liat dan lumpur) dimana terdapat (1) aliran perlahan dari suatu lubang seperti suatu arus lahar cair, atau (2) menyembur ke udara seperti suatu air mancur lahar yang melepaskan air mendidih dan gas vulkanik. Tanah liat lumpur dan lumpur yang secara khas berasal dari gas batuan vulkanik padat dan panas yang terlepas dari magma yang dalam di bawah memutar air bawah tanah menjadi suatu campuran panas dan asam yang secara kimiawi membentuk batuan vulkanik menjadi fraksi lumpur dan tanah liat.

Menurut Rubiandini, (2006) Sumber air lumpur berasal dari lapisan atau diapir bersifat plastis dan lapisan serpih lumpur yang tidak kompak (*overpressure*). Gunung lumpur juga berkaitan erat dengan adanya retakan atau sesar dan lipatan. Gunung lumpur salah satu petunjuk penting adanya tubuh diapir

lumpur dan tubuh serpih yang tidak kompak yang berasal dari dalam bumi. Gunung lumpur biasanya berbentuk kerucut kecil dan bersifat sementara sangat mudah berubah bila terkena hujan. Gunung lumpur di daratan terbentuk di dua tempat yaitu di daerah gunung api aktif dan di daerah cekungan minyak gas bumi. Di daerah gunung api aktif terutama yang mengeluarkan gas, lumpur menuju ke permukaan bumi melewati lapisan sedimen halus (lempung/serpih). Ini menyebabkan erupsi kecil membentuk kerucut berukuran kecil dengan tinggi tidak lebih dari 2 meter.

## 2.2 Pengertian Gunung Lumpur (*Mud Vulcano*)

*Mud volcano* merupakan sebuah terminologi di dalam ilmu geologi yang bersifat generik. Gunung lumpur merupakan perwujudan dari suatu formasi batuan berbutir pasir hingga lempung dan mempunyai densitas kecil yang mengalami perubahan akibat adanya tekanan aktivitas tektonik yang menyebabkan formasi tersebut tidak terkonsolidasi (*uncorsolidation formation*) karena sifatnya yang lentur. Sebagai lapisan tertekan, lapisan tersebut akan bergerak mencari kesetimbangan dan mengalami pencairan, sehingga mudah bergerak melalui zona lemah seperti patahan dan rekahan, dan dapat naik muncul ke permukaan (Awang dan Asnidar, 2008).

Kenampakan dari *mud volcano* tidak harus dalam bentuk *dome* atau kerucut namun dapat merupakan massa yang tidak kompeten (*incompetent masses*), sebagai lapisan yang tertekan maka lapisan tersebut akan bergerak mencari kesetimbangan dan mengalami pencairan (*fluidize*) sehingga mudah

bergerak melalui zona lemah seperti patahan dan rekahan dan dapat naik muncul ke permukaan.

Gunung lumpur atau *mud volcano* adalah istilah generik yang umum digunakan untuk menggambarkan struktur yang memancarkan air, lumpur, atau hidrokarbon. Daerah panas bumi yang sering ditemui memiliki struktur kecil disebut gunung lumpur yang terbentuk oleh air panas dan uap. Struktur kecil (<5 m) terbentuk selama faksi cair juga disebut gunung lumpur (Milkov, 2000).

Gunung lumpur adalah fenomena geologis yang muncul sebagai akibat semburan lumpur yang liar. Biasanya reservoir batuan yang didiami oleh fluida berupa lumpur adalah batuan gamping pada kedalaman lebih dari 3000 meter di bawah permukaan selain itu juga didiami oleh garam. Sehingga memungkinkan terjadinya kubah garam (*salt dome*), diapir dan gunung lumpur (*mud volcano*). Istilah *mud volcano* atau gunung lumpur digunakan untuk suatu fenomena keluarnya air lumpur atau lempung ke permukaan bumi. Erupsi air lumpur umumnya berhubungan dengan gas alam. Lumpur mengendap di sekitar lubang erupsi dan membentuk kerucut seperti kerucut gunung api (Mazini, 2007).

Mengacu batasan gunung api dari Macdonal (1972), maka gunung api lumpur (*mud volcanoes*) adalah tempat, lubang atau bukaan dari mana bahan lumpur keluar dari dalam bumi ke permukaan, dan endapan lumpur yang terakumulasi di sekeliling lubang itu membentuk bukit kecil.

### **2.3 Proses Terbentuknya Gunung Lumpur**

Gunung lumpur banyak muncul di sepanjang zona depresi. Sedimen yang tidak terkompaksi sempurna akibat proses tektonik yang terus berlangsung

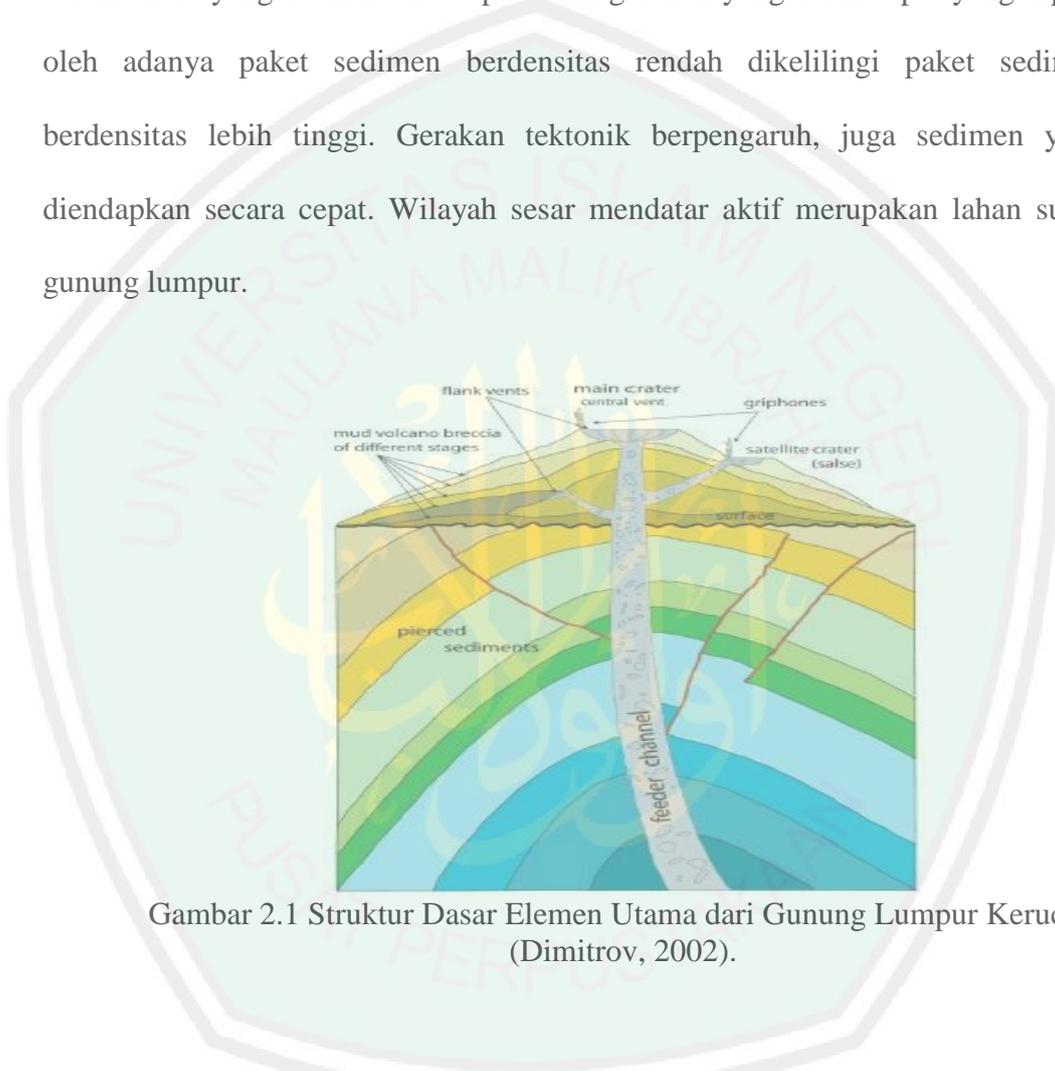
maupun pembebanan lapisan di atasnya dapat menyebabkan munculnya bentukan *mud diaper*. Permeabilitas batuan yang rendah menjadi penghalang fluida formasi yang tersimpan dalam pori batuan mencapai keseimbangan hidrostatik, hingga terjadi *over pressure*. Jika kondisi awal permukaan terganggu, lumpur beserta fluida dan gas dapat berpotensi naik ke permukaan melalui patahan atau rekahan. Adanya rembesan berupa lumpur dan gas yang muncul ke permukaan, biasanya menandakan kehadiran *mud volcano* (Mazzini drr, 2007).

*Mud volcano* terbentuk karena *natural gas* yang naik ke permukaan ketika menemukan (sesar mendatar yang tegak) dan membawa lumpur (*mud*) yang mempunyai densitas lebih ringan dari pada sedimen di sekitarnya. Wilayah sesar mendatar aktif merupakan zona lemah tempat fluida bertekanan tinggi mencari jalan untuk mencapai kesetimbangan membentuk *mud volcano*.

Semburan lumpur vulkanik dapat terjadi karena adanya *liquifaction* (pencairan) atau seperti agar-agar yang ditekan dengan energi yang kuat sehingga menyembur keluar. Pada kondisi stabil *mobile shale (mobile clay)* adalah seperti tanah lempung yang sering dilihat di permukaan bumi dengan wujud sangat liat. Namun ketika kondisi dinamis karena mengalir maka pencampuran dengan air bawah tanah menjadikan lempung ini seperti bubur. Lumpur vulkanik ini bisa melalui *crack* (patahan) yang sudah ada dapat juga melalui pinggiran sumur dengan membentuk *crack/fracture* yang baru.

Gunung lumpur terbentuk karena melepaskan gas alami yang naik ke permukaan ketika menemukan *conduit* (sesar mendatar yang tegak) dan membawa lumpur (*mud*) yang memiliki densitas lebih ringan dari sedimen di sekitarnya.

Lumpur, gas, batuan, belerang dan garam serta air akan diletuskan di permukaan membentuk kerucut seperti gunung. Proses sedimentasinya serupa *mud diapir* dalam skala yang lebih kecil tetapi dalam gerakan yang lebih cepat yang dipicu oleh adanya paket sedimen berdensitas rendah dikelilingi paket sedimen berdensitas lebih tinggi. Gerakan tektonik berpengaruh, juga sedimen yang diendapkan secara cepat. Wilayah sesar mendatar aktif merupakan lahan subur gunung lumpur.



Gambar 2.1 Struktur Dasar Elemen Utama dari Gunung Lumpur Kerucut. (Dimitrov, 2002).

Air dalam ekstrusi gunung lumpur biasanya memblokir dari kedua sumber dangkal dan yang dalam serta biasanya diperoleh melalui berbagai macam proses. Lumpur breksi dan air gunung lumpur umumnya bercampur dimana aliran gunung lumpur memiliki viskositas yang berbeda-beda. Selama erupsi yang besar, gunung lumpur bisa mengeluarkan aliran material hingga 5 juta m<sup>3</sup> (Graue, 2000).

Adapula yang menyebutkan bahwa pemicu gunung lumpur adalah akibat adanya gaya dari dalam perut bumi (endogenik). Gunung lumpur sebenarnya identik dengan diapir lumpur/garam. Gunung lumpur merupakan intrusi massa yang relatif *mobile* (bergerak/berpindah) terhadap strata (lapisan/tingkatan) di sekitarnya yang diakibatkan adanya daya apung (*buoyancy*) dan perbedaan tekanan berlebihan (*oversaturated*) dan ketika massa yang mengintrusi sampai di permukaan, maka fenomena inilah yang dikenal dengan sebutan gunung lumpur (*mud volcano*) (Satyana, 2008).

Purbo-Hadiwidjojo (2013) menerjemahkan *mud volcanoes* sebagai poton, yakni longgokan lumpur dengan kepingan batuan yang terlontar oleh tekanan gas. Garis tengah lubang beragam mulai dari 1-2 m sampai maksimum 10 km, sedang tingginya akumulasi endapan lumpur berkisar dari 1-2 sampai 700 m (*Google: Mud volcanoes*). Secara genesis proses keluarnya lumpur tersebut dapat disebabkan oleh kegiatan tektonik, kegiatan magma (termasuk vulkanisme dan hidrotermal) atau kombinasi keduanya. Apabila pembentukan gunung api lumpur disebabkan oleh kegiatan magma, maka proses itu dapat dipandang sebagai erupsi leleran sampai semburan lemah lumpur gunung api. Hal itu dikarenakan bahan lumpur tidak mengandung gas bertekanan tinggi, yang dapat menimbulkan erupsi letusan kuat seperti halnya magma gunung api. Sebagai akibat kegiatan hidrotermal, proses keluarnya lumpur gunung api ke permukaan dapat pula dipandang sebagai erupsi leleran hidroslastika. Penamaan sebagai gunung lumpur api atau *mud volcanoes* dikarenakan proses keluarnya lumpur ke permukaan bumi dan akumulasi endapan yang dihasilkan sebanding dengan erupsi gunung api,

hanya bahannya berupa lumpur yang tersusun secara dominan oleh campuran klastika silika alam berukuran butir lempung-lanau dengan air.

#### 2.4 Klasifikasi Gunung Lumpur

Komposisi gunung lumpur terdiri dari atas semua material yang dikeluarkan dari perut bumi baik berupa massa padat, plastik, cair dan gas. Massa padat berupa bebatuan, garam sedangkan massa plastik berupa bubuk lempung. Sebaliknya massa cair dapat berupa air (air tanah, air magma/vulkanik dan air laut) sedangkan massa gas berupa gas metana, hidrat dan gas belerang.

Secara umum, gunung lumpur diklasifikasikan menjadi 2 jenis utama yaitu: gunung lumpur yang berasosiasi dengan gunung api dan gunung lumpur yang tidak terhubung dengan gunung api. Gunung lumpur tipe pertama dicirikan keberadaannya berdekatan dengan gunung api aktif. Umumnya gunung lumpur ini bersuhu tinggi, mengeluarkan uap air dalam jumlah besar, dan tidak hadirnya gas hidrokarbon. Contohnya gunung lumpur ini adalah solfatara atau fumarol dan geyser yang dihasilkan oleh aktivitas vulkanik. Gunung lumpur tipe yang kedua adalah gunung lumpur yang tidak ada kaitannya dengan gunung api dengan kata lain gunung ini meletus secara independen tanpa terkait dengan gunung api. Gunung lumpur ini dicirikan dengan air letusan yang bersuhu relatif rendah/dingin dan mengandung material hidrokarbon (dalam bentuk gas). Tipe gunung lumpur ini merupakan gunung lumpur yang sesungguhnya (Graue, 2000).

Sedangkan percobaan untuk mengklasifikasikan gunung lumpur berdasarkan karakter semburan dengan memperhatikan ekspresi permukaan telah

dilakukan oleh (Kalinko, 1964). Ia mendebatkan menjadi tiga kelas gunung lumpur diantaranya:

1. Kelas satu: tipe Lokbatan

Tipe gunung lumpur ini dengan bentuk kerucut terjal.

2. Kelas Kedua: tipe Chikishlyar

Gunung lumpur tipe ini dengan bentuk sangat rendah dengan tonjolan atau kubah rata (*flat domes*), dimana menyatu dengan bidang di sekelilingnya, atau membentuk depresi pipih (*plateshape depressions*) yang diisi oleh air.

3. Kelas tiga: tipe Schugin

Dicirikan oleh suatu bentuk yang bervariasi, tetapi yang umum dari gunung lumpur tipe ini membentuk kawah komposit (*composite crater*).

Menurut Yusifov (2004) ada empat macam gunung lumpur (*mud volcano*) yang dipelajarinya di Azerbaijan yg dikelompokkan oleh *State Oil Company of Azerbaijan Republic*: Pertama tipe *Explosive* yang dicirikan dengan semburan lumpur dan gas yang sangat kuat dan secara seketika terbakar. Sedangkan tipe yang kedua adalah *Effusive* yang dicirikan dengan keluarnya lumpur seketika dalam jumlah yang besar namun tidak ada gas yang terbakar. Tipe yang ketiga adalah *Effusive* yang dicirikan aliran lumpur yang viskositasnya encer tanpa mengeluarkan gas dalam jumlah yang banyak. Sedangkan tipe yang terakhir adalah tipe *Extrusive* yang dicirikan aliran lumpur yang lambat dengan kandungan viskositas yang encer dengan kandungan gas yang sangat sedikit. Dari ke empat di atas tipe pertama dan kedua ini sangat berbahaya. Tipe yang lain agak kurang berbahaya bahkan mungkin bisa diprediksi. Tetapi harus dipelajari dulu struktur

geologi bawah permukaannya sebelum ditentukan tipe dari semburan lumpur tersebut.

## 2.5 Persebaran Gunung Lumpur di Dunia

Gunung api lumpur di dunia antara lain di Hormozgan Iran Selatan, Gobustan di Azerbaijan, Glenblair di California Amerika Serikat dan Yagrumito di Monagas Venezuela (*Google: mud volcanoes*). Di Indonesia sendiri gunung api lumpur antara lain terdapat di Bledug Kuwu dan Sangiran Provinsi Jawa Tengah, serta di Sidoarjo Provinsi Jawa Timur yang dikenal dengan nama Lumpur Sidoarjo (Zaennudin dkk, 2010). Bronto (2008) juga melaporkan kemungkinan adanya lumpur gunung api di zona kontak antara deretan gunung api dengan daratan pantai utara Banten–Jawa Barat. Di luar Jawa, sesuai dengan asal kata *poton*, gunung api lumpur terdapat di Pulau Timor.

## 2.6 Gunung Lumpur di Jawa Bagian Timur

Pada zaman pliosen, aktivitas deretan gunung api selatan Jawa bagian timur mengisi cekungan gendeng/selat Madura purba yang berevolusi dari lingkungan laut dangkal, dan seterusnya menjadi daratan (Van Bemmelen, 1949). Kondisi geologi yang berdekatan deretan gunung berapi/busur magma inilah yang menyebabkan daerah semburan lumpur berpotensi terkoneksi dengan sistem panas bumi kompleks gunung api. Proses sedimentasi yang cepat dengan material kaya organik dan letaknya sangat dalam, menyebabkan wilayah ini kaya akan kandungan gas dan minyak. Sementara sedimen yang tidak terkompaksi sempurna, akibat proses tektonik yang terus berlangsung maupun akibat

pembebanan lapisan yang ada di atasnya, banyak memunculkan *mud volcano* (gunung lumpur).

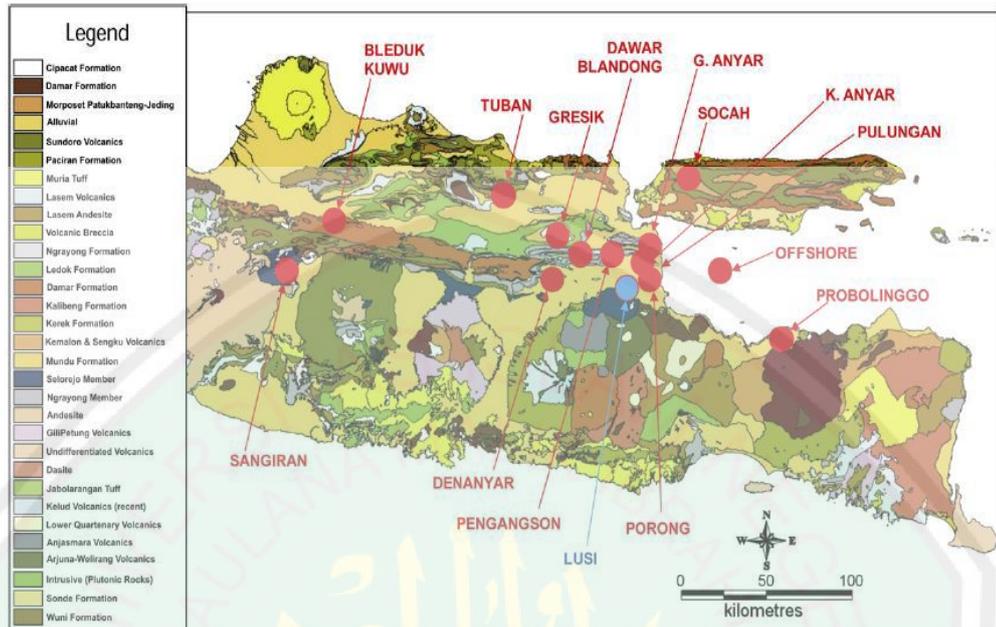
Cekungan Jawa Timur bagian utara dikenal sebagai daerah yang mengalami penurunan pada zaman Oligo–Miosen. Deformasi pertama yang terjadi pada Zona Kendeng terjadi pada akhir Pliosen (Plio-Plistosen) yang merupakan manifestasi zona konvergen yang diakibatkan oleh gaya kompresi berarah relatif utara–selatan. Tipe deformasi di daerah ini berupa deformasi *ductile* yang pada fase terakhirnya berupa pergeseran blok–blok dasar cekungan Zona Kendeng. Intensitas gaya kompresi semakin besar ke arah bagian barat yang menyebabkan banyak dijumpai lipatan dan sesar naik. Banyak Zona sesar naik juga merupakan kontak antara formasi atau anggota formasi (Musliki, 1991).

Deformasi pada Plio-Plistosen dapat dibagi menjadi tiga fase (Van Bemmelen, 1949), yaitu pada fase pertama berupa perlipatan yang mengakibatkan terbentuknya antiklin Kendeng yang memiliki arah umum barat–timur dan menuju di bagian Kendeng Timur, fase kedua berupa pensesaran yang dapat dibagi menjadi dua, yaitu pensesaran akibat perlipatan dan pensesaran akibat berubahnya deformasi *ductile* menjadi deformasi *brittle* karena batuan telah melampaui batas kedalaman plastisnya. Kedua jenis sesar tersebut secara umum merupakan sesar naik, bahkan ada yang berupa sesar sungkup. Fase ketiga berupa pergeseran blok–blok dasar cekungan Zona Kendeng yang mengakibatkan terjadinya sesar-sesar geser berarah relatif utara-selatan. Deformasi kedua terjadi pada masa Kuarter yang berlangsung secara lambat dan mengakibatkan terbentuknya struktur kubah

di Sangiran. Secara umum, struktur-struktur yang ada pada Zona Kendeng berupa lipatan, sesar naik, sesar geser, dan struktur kubah.

### **2.7 Gunung Lumpur di Pulau Jawa**

Gunung-gunung lumpur yang terdapat di Jawa bagian timur tersebut adalah Bledug Kuwu (Grobogan), Sangiran (Sragen), Wringin Anom (perbatasan Gersik–Mojokerto), Kalang Anyar dan Pulungan (Sedati, Sidoarjo), Gunung Anyar (Surabaya), dan Geger (Bangkalan, Madura) dan banyak lainnya. Dari semua gunung lumpur tersebut yang masih aktif mengeluarkan lumpur yang cukup besar sampai saat ini hanya Bledug Kuwu yang terdapat di Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah. Gunung Lumpur Kalang Anyar, Gunung Anyar, dan Geger juga masih mengeluarkan air dan lumpur walaupun dalam volume kecil seperti yang terlihat pada gambar 2.2 dan 2.3 di bawah. Gunung lumpur lainnya hanya mengeluarkan gas bercampur air seperti yang terlihat di Sangiran dan Pulungan.



Gambar 2.2 Gunung Lumpur yang Terdapat di Pulau Jawa Bagian Timur dan Madura (Istadi, 2009).



Gambar 2.3 Gunung Lumpur Bujel Tasek Lakek di Geger, Bangkalan, Madura (Zaennudin, 2010).



Gambar 2.4 Gunung Lumpur Bujel Tasek Binik di Geger, Bangkalan, Madura (Zaennudin, 2010)

## 2.8 Geologi Daerah Penelitian

### 2.8.1 Stratigrafi

Daerah penelitian ini berada di Kecamatan Geger Kabupaten Bangkalan, daerah tersebut merupakan bagian dari Lajur Rembang-Madura, kelanjutan dari Jawa Tengah yang terbentuk oleh batuan sedimen yang berumur Miosen sampai Plistosen dan endapan yang terbentuk sekarang. Batuan yang tergabung dalam Lajur Rembang-Madura adalah Formasi Tawun, Formasi Watukoceng, Formasi Madura, dan Formasi Pamekasan.

Formasi Tawun (Tmt) pada bagian bawah formasi ini terdiri dari batu lempung gampingan, bagian atas terdiri dari napal pasiran yang bersisipan dengan batu gamping dan batu pasir gampingan.

Formasi Watukoceng (Tmw) pada bagian atas ada perselingan antara napal pasiran dengan batugamping dan pada bagian bawah terdapat batupasir kuarsa bersisipan, batugamping dan batupasir kuarsa berlapis tipis. Formasi ini menindih

selaras Formasi Tawun dan setempat menjemari dengan formasi itu, misalnya di daerah Kombangan.

Formasi Madura (Tm<sub>pm</sub>) pada bagian bawah formasi ini terdapat batugamping kapuran dan pada bagian atas terdapat batugamping terumbu. Formasi Madura menindih selarah Formasi Watukoceng. Formasi ini di bagian bawahnya dibagi menjadi Formasi Bulu, bagian tengahnya Formasi Pasean dan bagian atas Formasi Madura.

Formasi pamekasan (Q<sub>pp</sub>) pada formasi ini terdapat batu pasir, batu lempung dan konglongmerat. Formasi ini tersebar di bagian barat dan selatan P. Madura, membentuk daratan rendah dan pebukitan dengan lereng yang sangat landai. Formasi ini tebalnya kurang dari 50 m dan formasi ini menindih tak selaras Formasi Madura.

Batuan tertua di Lajur Rembang-Madura yang tersingkap adalah Formasi Tawun yang berumur Miosen Awal-Tengah. Di atasnya terdapat Formasi Watukoceng yang berumur Miosen Tengah, tetapi setempat formasi itu menjemari dengan Formasi Tawun. Selaras di atas Formasi Watukoceng terdapat Formasi Madura, dan di atasnya lagi menindih tak selaras Formasi Pamekasan yang berumur Plistosen. Satuan paling muda adalah aluvium yang menindih tak selaras semua formasi yang lebih tua.

### **2.8.2 Struktur**

Struktur geologi di Lajur Rembang-Madura memperlihatkan tektonik yang nisbi lebih kuat dari pada di Lajur Kendeng. Lipatan di Lajur Rembang-Madura mempunyai kemiringan lapisan antara 50° dan 20° sedangkan di Lajur Kendeng

hanya berkisar antara  $30^{\circ}$  dan  $10^{\circ}$ . Sesar-sesarnya juga memperlihatkan bahwa yang di Lajur Rembang-Madura lebih rapat dibandingkan dengan yang di Lajur Kendeng. Lipatan di Lajur Rembang-Madura berupa antiklin yang menyelinap ke barat laut, dengan lereng selatan nisbi lebih kejal. Lipatan di Lajur Kendeng berupa antiklinorium yang seluruhnya berarah hampir barat timur. Antiklinnya ada yang menyelinap ke timur, misalnya Antiklin Bungah, Antiklin Kedungwaru dan yang paling ke barat adalah Antiklin Lidah dan Antiklin Sekarkurung. Antiklin Metatu ditampilkan dari data pemboran oleh Duyfjes (1938).



Gambar 2.5 Peta Geologi Daerah Penelitian (Sukardi, 1992).

Keterangan:

Qa	Aluvium	: Kerakal, kerikil, pasir lempung dan setempat pecahan cangkang fosil.
Qpp	Formasi Pamekasan	: Batu pasir coklat kemerahan, batu lempung kelabu, konglomerat, komponen utama batu gamping.

T <sub>mpm</sub>	Formasi Madura	: Batu gamping terumbu, tanah kecoklatan, batu gamping kapuran, putih kekuningan.
T <sub>mw</sub>	Formasi Watukoceng	: Pasiran dengan batu gamping, batu pasir kuarsa bersisipan batu gamping orbitoid dan batu pasir.
T <sub>mt</sub>	Formasi Tawun	: Napal pasiran bersisipan batu gamping dan batu pasir gampingan, batu lempung gampingan.
	Lokasi	: Gunung Lumpur Bujel Tasek.
	U ----- D	: Sesar (U bagian yang naik, D bagian yang turun).

### 2.8.3 Fisiografi

Secara fisiografi daerah Madura ini termasuk bagian timur Perbukitan Kendeng, bagian tengah Perbukitan Rembang-Madura, pedataran aluvium jawa sebelah utara, pedataran tengah Jawa Timur dan bagian timur lekuk Randublatung. Bagian timur Perbukitan Kendeng yang ada di lembar ini tertutup aluvium. Yang berbeda dengan itu ialah Perbukitan Rembang-Madura yang menerus sampai Pulau Madura. Tiga satuan morfologi dapat dibedakan di lembar ini, yaitu pedataran rendah, perbukitan menggelombang dan perbukitan kras (Sukardi, 1992).

### 2.8.4 Sejarah Geologi

Sejarah geologi yang dapat diamati di Lajur Rembang-Madura dimulai pada kala Meosen Awal ketika Formasi Tawun diendapkan dalam lingkungan laut terbuka. Pada Kala Miosen Tengah terbentuk Formasi Watukoceng yang tersusun sebagian besar oleh batupasir kuarsa yang menunjukkan adanya susut laut. Terbenturnya antar lempeng tektonik yang menyebabkan terbentuknya sembul di

Paparan Sunda sebagai asal klastika kuarsa. Pada Kala Miosen Akhir sampai Pliosen awal terbentuk paparan laut dangkal, sehingga terjadi pengendapan karbonat yang cukup luas. Pelipatan, penyesaran, pengangkatan dan erosi terjadi di Lajur Rembang-Madura sejak Pliosen Akhir sampai Plistosen Awal. Pada Plistosen Akhir, terjadi penurunan sebagian yang diikuti sebagian yang diikuti oleh pengendapan Formasi Pamekasan di lingkungan peralihan antara darat dan litoral. Diduga wilayah ini terangkat kembali pada Kala Holosen ( Sukardi, 1992).

Sejarah geologi yang dapat diamati di Lajur Kendeng dimulai pada Kala Pliosen ketika Formasi Sonde diendapkan dalam lingkungan sublitoral-luar, yang kemudian diikuti Formasi Lidah yang diendapkan dalam lingkungan laut dangkal. Pada kala Plio-Plistosen tersebut Formasi Pucangan dalam lingkungan sublitoral dalam. Formasi ini tersusun sebagian besar oleh batupasir tufan, yang menunjukkan adanya kegiatan vulkanik pada saat itu. Diduga pada Kala Plistosen telah terjadi pengangkatan sedikit sehingga laut di daerah ini menjadi sangat dangkal dan setempat menjadi daratan. Kemudian pengendapan Formasi Kabuh berlangsung dalam lingkungan darat (Sukardi, 1992).

## **2.9 Konsep Metode Magnetik**

Metode geomagnetik atau metode magnetik merupakan salah satu metode fisika untuk eksplorasi bawah permukaan bumi yang telah banyak digunakan dalam eksplorasi mineral dan batuan (Sharma, 1997). Metode geomagnetik dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi bawah permukaan seperti sesar, lipatan intrusi batuan beku atau kubah garam dan reservoir geotermal. Dalam eksplorasi geofisika lingkungan metode magnetik hanya akan memberikan

gambaran secara umum (Reynol, 1997). Burger dkk, (1992), mengemukakan bahwa metode magnetik dapat digunakan untuk mengetahui kedalaman dan struktur permukaan bumi, sehingga pengukuran dapat diperoleh dengan mudah untuk studi lokal dan regional.

Metode magnetik juga memiliki kesamaan latar belakang fisika dengan metode gravitasi dimana kedua metode tersebut sama-sama berdasarkan kepada teori medan potensial, sehingga keduanya sering disebut sebagai metode potensial. Namun demikian, ditinjau dari parameter besaran fisika yang terkait keduanya mempunyai perbedaan yang mendasar. Dalam metode geomagnet harus dipertimbangkan variasi besar dan arah vektor magnetisasi. Sedangkan dalam metode gravitasi hanya ditinjau variasi besar vektor percepatan gravitasi. Metode geomagnetik ini bekerja berdasarkan pada pengukuran variasi kecil intensitas medan magnet di permukaan bumi. Variasi ini disebabkan oleh kontras sifat kemagnetan (susceptibilitas) antar batuan di dalam kerak bumi (termasuk di dalamnya kemagnetan induksi dan kemagnetan remanen), sehingga menimbulkan medan magnet bumi yang tidak homogen, bisa disebut juga sebagai suatu anomali magnetik. Selain itu, variasi medan magnetik dapat disebabkan oleh adanya perubahan struktur geologi di bawah permukaan bumi.

## **2.10 Teori Dasar Magnetik**

### **2.10.1 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 antar dua kutub magnet  $m_1$  dan  $m_2$  (emu) yang berjarak  $r$  (cm) dalam bentuk (Telford dkk,1979).

$$F = \frac{1}{\mu_0} \frac{m_1 m_2}{r^2} r \text{ (dyne)} \quad (2.1)$$

Dimana  $F$  adalah gaya yang bekerja diantara dua magnet dengan kuat medan magnetik  $m_1$  dan  $m_2$ .  $\mu$  adalah permeabilitas suatu medium dengan suatu Henry permeter ( $\text{Hm}^{-1}$ ). Dalam medium hampa permeabilitas mutlak sama dengan  $\mu_0$  yang nilainya  $4\pi \times 10^{-1} \text{ H m}^{-1}$ . Tidak seperti kasus pada kasus gravitasi, meskipun persamaannya mirip, gaya antar kedua kutub magnet ini bisa bernilai positif (+) yang berarti tolak-menolak dan negatif (-) berarti tarik-menarik (Dorbin, 1960:264).

### 2.10.2 Kuat Medan Magnetik

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

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{m_2} = \frac{1}{\mu_0} \frac{m_1}{r^2} \vec{r} \text{ (oersted)} \quad (2.2)$$

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).

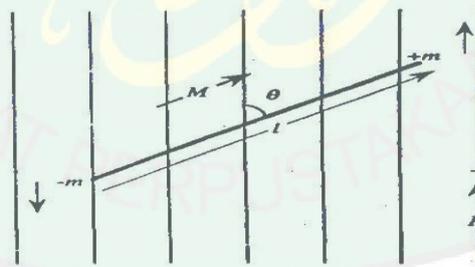
### 2.10.3 Momen Magnetik

Jika sebuah batang magnet diletakkan di medan magnetik  $H$  yang seragam (Gambar 2.6), ia akan mengalami sepasang gaya yang sama yang bekerja secara paralel satu sama lain tetapi berlawanan arah sebuah pasangan (Burger, 1992) Besarnya pasangan adalah:

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

dimana  $\theta$  ketetapan pada medan magnet. Gerakan ini dihasilkan oleh pasangan adalah bergantung terhadap besaran  $H$  sebagai nilai  $\theta$  (tidak ada gerakan yang diahasilkan 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 2.6 Ilustrasi Diagram pada Momen Magnetik dalam Menentukan Gaya terhadap Batang Magnet dalam Sebuah Medan Magnet (Burger, 1992).

### 2.10.4 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.

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

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

### 2.10.5 Suseptibilitas Batuan

Harga suseptibilitas ( $k$ ) ini sangat penting didalam pencarian benda anomali karena sifat ferromagnetik untuk setiap jenis mineral dan batuan yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Nilai ( $k$ ) pada batuan semakin besar jika dalam batuan tersebut semakin banyak dijumpai mineral-mineral bersifat magnetik. Berdasarkan nilai ( $k$ ) dibagi menjadi kelompok-kelompok jenis material dan batuan penyusun litologi bumi, yaitu:

#### 1. Diamagnetik

Dalam batuan diamagnetik atom-atom pembentuk batuan mempunyai kulit elektron berpasangan dan mempunyai putaran yang berlawanan dalam tiap pasangan. Jika mendapat medan magnet dari luar orbit, elektron tersebut akan berpresesi yang menghasilkan medan magnet lemah yang melawan medan magnet luar tadi. Mempunyai suseptibilitas ( $k$ ) negatif dan kecil dan suseptibilitas ( $k$ ) tidak tergantung dari pada medan magnet luar. Contoh: bismuth, grafit, gipsum, marmer, kuarsa dan garam (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Suseptibilitas Mineral Diamagnetisme (Telford, 1990)

Mineral	Diamagnetisme ( $\times 10^{-5}$ )
Bismut	-16.6
Karbon (Berlian )	-2.1
Karbon (Grafit)	-1.6
Tembaga	-1.0
Timbal	-1.8
Mercuri	-2.9
Perak	-2.6
Air	-0.91

## 2. Paramagnetik

Di dalam paramagnetik terdapat kulit elektron yang belum jenuh yakni ada elektron yang putarannya tidak berpasangan dan mengarah pada arah putaran yang sama. Jika terdapat medan magnetik luar, putaran tersebut berpresesi menghasilkan medan magnet yang mengarah searah dengan medan tersebut sehingga memperkuatnya. Akan tetapi momen magnetik yang terbentuk terorientasi acak oleh agitasi termal, oleh karena itu bahan tersebut dapat dikatakan mempunyai sifat:

- a. Suseptibilitas  $k$  positif dan sedikit lebih besar dari satu.
- b. Suseptibilitas  $k$  bergantung pada temperatur

Contoh: Piroksen, Olivin, Gamet, Biotit, Amfibolit, dll (Tabel 2.2 ).

Tabel 2.2 Suseptibilitas Mineral Paramagnetisme (Telford,1990)

Mineral	Paramagnetisme ( $\times 10^{-5}$ )
Tungsten	6.8
Cesium	5.1
Aluminium	2.2
Lithium	1.4
Magnesium	1.2
Sodium	0.72

### 3. Ferromagnetik

Terdapat banyak kulit elektron yang hanya diisi oleh suatu elektron sehingga mudah terinduksi oleh medan luar. Keadaan ini diperkuat lagi oleh adanya kelompok-kelompok bahan perputaran searah yang membentuk *dipole-pole* magnet (domain) mempunyai arah sama, apalagi jika di dalam medan magnet luar. Mempunyai sifat:

- a. Suseptibilitas  $k$  positif dan jauh lebih besar dari satu.
- b. Suseptibilitas  $k$  bergantung dari temperatur

Contoh: besi, nikel, kobal, terbium, dysprosium dan neodimium.

Ferromagnetik dibagi menjadi dua yaitu:

#### a). Antiferromagnetik

Pada bahan antiferromagnetik domain-domain tadi menghasilkan *dipole* magnet yang saling berlawanan arah sehingga momen magnetik secara keseluruhan sangat kecil. Bahan antiferromagnetik yang mengalami cacat kristal

akan mengalami medan magnet kecil dan suseptibilitasnya seperti pada bahan paramagnetik suseptibilitas  $k$  seperti paramagnetik, tetapi harganya naik sampai dengan titik curie kemudian turun lagi menurut hukum curie-weiss. Contoh hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

b). Ferrimagnetik

Pada bahan ferrimagnetik domain-domain tadi juga saling antipararel tetapi jumlah *dipole* pada masing-masing arah tidak sama sehingga masih mempunyai resultan magnetisasi cukup besar. Suseptibilitas tinggi (Tabel 2.3) dan tergantung temperatur. Contoh magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ), pirhotit ( $\text{FeS}$ ), hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ferrite ( $\text{NiOFe}_2\text{O}_3$ ) dan nutrium ( $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ). Berdasarkan proses terjadinya maka ada dua macam magnet (Jensen and Mackintosh, 1991).

1. Magnet induksi bergantung pada suseptibilitasnya menyebabkan anomali pada medan magnet bumi.
2. Magnet permanen bergantung pada sejarah pembentukan batuan.

Tabel 2.3 Suseptibilitas Batuan dan Mineral (Telford,1990)

Jenis batuan	Suseptibilitas $\times 10^3$ (SI)	
	Jarak	Rata
Batuan Sedimen		
Dolomit	0 - 0,9	0,1
Batu Gamping	0 - 3	0,3
Batu Pasir	0 - 20	0,4
Serpih	0,01 - 15	1,6
<b>Batu Metamor</b>		

Amphibolite		0,7
Seksi	0,3 – 3	1,4
Filit		1,5
Gnes	0,1 – 25	
Kuarsit		4
Serpentine	3 – 17	
Sabak	0 – 35	6
<b>Batu beku</b>		
Granit	0 – 50	2,5
Riolit	0,2 – 35	
Doloroit	1 – 35	17
<i>Augite-syenite</i>	30 – 40	
<i>Olivine-dibase</i>		25
<i>Diabase</i>	1 – 160	55
Porfiri	0,3 – 200	60
Gabro	1 – 90	70
Basal	0,2 – 175	70
Diorit	0,6 – 120	85
Piroksenit		125
Peridotit	90 – 200	150
Andesit		160
<b>Jenis</b>	<b>Suseptibilitas X 10<sup>3</sup>(SI)</b>	

<b>Mineral–Mineral</b>	<b>Jarak</b>	<b>Rata-rata</b>
Grapit		0,1
Kuarsa		-0,01
Batugaram		-0,01
<i>Anhidrit gypsum</i>		-0,01
Kalsit	-0,001 - -0,01	
Batubara		0,02
Lempung		0,2
Kalkofirit		0,4
Siderit	1 – 4	
Pirit	0,05 – 5	1,5
Limonit		2,3
Arsenopirit		5
Hematit	0,5 – 35	6,5
Kromit	3 – 110	7
Franklinik		430
Firhotit	1 – 0,006	1500
İlmenit	300 – 3500	1800
Magnetik	1,2 – 0,00192	6000

### 2.10.6 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 ):

$$H = 4\pi kh \quad (2.6)$$

Medan magnet totalnya disebut dengan induksi magnet  $B$  dan dituliskan sebagai:

$$B = m_r H \quad (2.7)$$

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  $1 \text{ g} = 10^{-5} \text{ gauss} = 1 \text{ nT}$  (Joko, 2011).

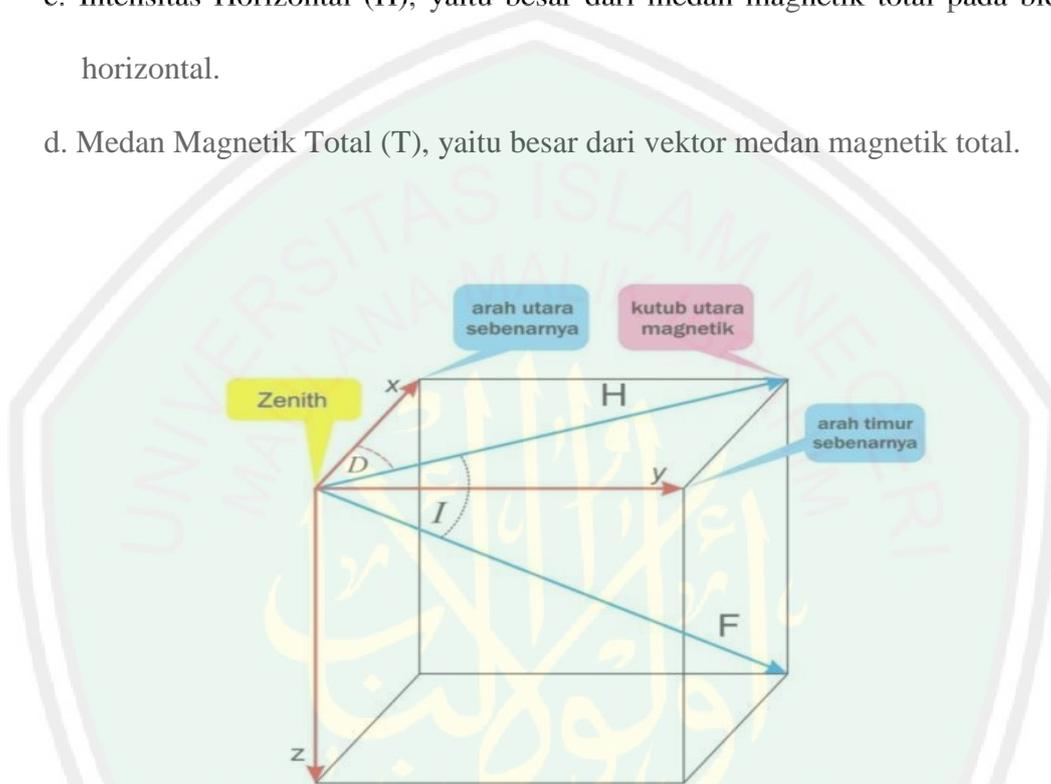
## 2.11 Pengukuran Medan Magnet

### 2.11.1 Elemen Medan Magnet Bumi

Medan magnet bumi merupakan suatu besaran vektor, maka besaran ini dapat diuraikan menjadi komponen-komponennya. William Gibert 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 2.7 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 (*anomali 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 *Internasional Association of Geomagnetic and Aeronomy* (IAGA). IGRF diperbarui tiap 5 tahun sekali dan diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar 1 juta km<sup>2</sup> yang dilakukan dalam waktu satu tahun (Telford, 1990).

## 2. Medan Magnet Luar (*external field*)

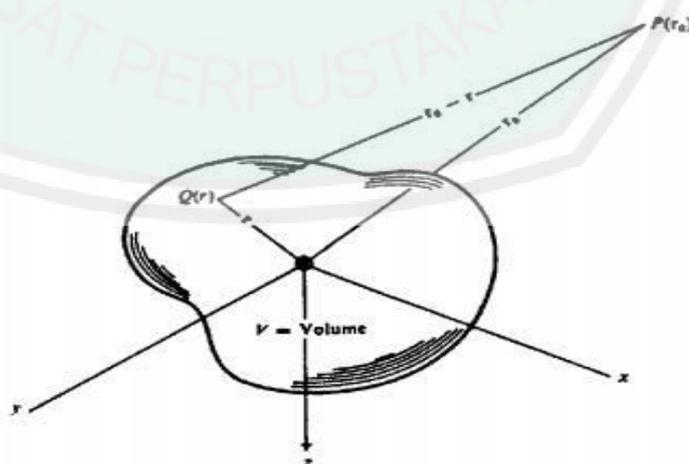
Medan magnet bumi juga dipengaruhi oleh medan luar. Medan ini bersumber dari luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Karena sumber medan luar ini berhubungan dengan arus listrik yang mengalir dalam lapisan terionisasi di atmosfer, maka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

- a. Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dengan siklus 11 tahun.
- b. Variasi harian (*diurnal variation*) dengan periode 24 jam yang berhubungan dengan pasang surut matahari dan mempunyai jangkauan 30 nT.
- c. Variasi harian (*diurnal variation*) 25 jam yang berhubungan dengan pasangan surut bulan dan mempunyai jangkauan 2 nT.
- d. Badai magnet (*magnetic storm*) yang bersifat acak dan mempunyai jangkauan sampai dengan 1000 nT.

### 3. Anomali Medan Magnet

Ini terjadi didekat permukaan kerak bumi dan merupakan penyebab perubahan dalam medan magnet utama, yang biasanya jauh lebih kecil dari pada 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 lokal (*crustal field*). Medan magnet ini dihasilkan oleh batuan yang mengandung mineral bermagnet seperti magnetite ( $F_{e7}S_8$ ), titanomagnetite ( $F_{e2}T_iO_4$ ) 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 2.8 Potensial Magnetik di Titik P ( $x, y, z$ ) dari Benda Termagnetisasi (Sudarmaji, 2005).

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

$$V(x,y,z) = - C_m \int_v M(x, y, z) \cdot \nabla \frac{1}{r} dv \quad (2.8)$$

Dengan  $r^2 = (x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2$ ,  $M(x', y', z')$  adalah kuat medan magnetisasi ( $A \cdot m^{-1}$ ) dengan arah magnetisasi  $\hat{m}$  dan  $C_m$  adalah konstanta perbandingan yang bernilai  $\frac{\mu_0 \cdot 10^7}{4\pi}$  (Henry.  $m^{-1}$ ) dengan  $\mu_0$  merupakan permeabilitas ruang hampa. Medan magnet di titik P (x,y,z) diturunkan sebagai gradient dari potensial magnetik persamaan (2.8), sehingga (Sudarmaji, 2005:84):

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

### 2. 11.2 Anomali Medan Magnet 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 remanen dan medan magnet induksi. Bila arah medan magnet remanen 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 ini dengan *Normal Residual Magnetisme* yang merupakan akibat magnetasi medan utama. Dalam survei magnetik, adanya anomali magnetik menyebabkan perubahan medan magnet bumi dan dapat dituliskan sebagai berikut (Telford, 1990):

$$H_T = H_O + H_L + H_A \quad (2.10)$$

Dimana:

- $H_T$  = Medan magnetik total bumi
- $H_O$  = Medan magnetik utama bumi
- $H_L$  = Medan magnetik luar
- $H_A$  = Medan anomali magnetik

## 2.12 Transformasi Anomali Medan Magnet Total

### 2.12.1 Reduksi Bidang Datar

Untuk mempermudah proses pengolahan data dan interpretasi data magnet, maka data anomali medan magnet total yang masih tersebar di topografi harus direduksi atau dibawa ke bidang datar. Proses transformasi ini mutlak dilakukan, karena proses pengolahan data berikutnya mensyaratkan input anomali medan magnet yang terdistribusi pada bidang datar. Beberapa teknik untuk mentransformasi data anomali medan magnet ke bidang datar, antara lain: teknik sumber ekuivalen (*equivalent source*), lapisan ekuivalen (*equivalent layer*) dan pendekatan deret Taylor (*Taylor series approximation*), dimana setiap teknik mempunyai kelebihan dan kekurangan (Blakely, 1995).

### 2.12.2 Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)

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, untuk menghilangkan atau mereduksi efek magnetik lokal yang berasal dari berbagai sumber benda magnetik yang tersebar di permukaan topografi yang tidak terkait dengan survei (Blakely, 1995:).

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{((x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2)^{3/2}} dx' dy' \quad (2.11)$$

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,  $\Delta z$  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 benda penyebab anomali saja. Untuk melakukan kontinuasi ke atas dapat dilakukan dengan menggunakan kontinuasi *surface to surface* atau *Fourier- Domain Representation*.

### 2.12.3 Reduksi ke Kutub (*Reduction To The Pole*)

*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 magnet.

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 area relatif sempit. Namun hal ini tidak dapat diterima apabila luas daerah pengambilan data sangat luas karena melibatkan nilai lintang dan bujur yang bervariasi, dimana 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).

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

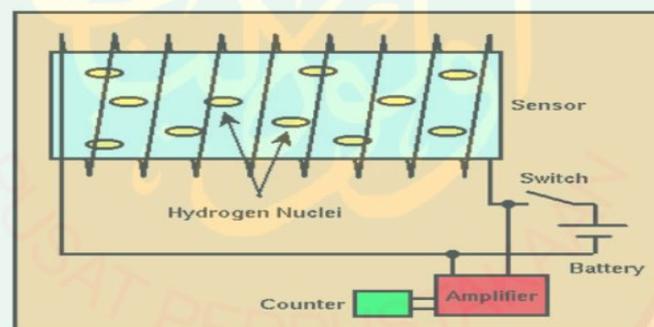
Dimana

$$\begin{aligned} \mathcal{F}[\Psi_r] &= \frac{1}{\theta_m \theta_f} \\ &= \frac{|k|^2}{a_1 k_x^2 + a_2 k_y^2 + a_3 k_x k_y + i|k|(b_1 k_x + b_2 k_y)}, |k| \neq 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

Penerapan  $\mathcal{F}[\Psi_r]$  disebut reduksi ke kutub (Baranov dan Naudy,1964) karena  $\Delta T_r$  adalah anomali yang akan diukur pada kutub utara magnetik, dimana magnetisasi diinduksi dan medan lingkungan keduanya akan diarahkan vertikal ke bawah.

### 2.13 Prinsip Kerja *Proton Precision Magnetometer* (PPM)

*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 tambang. Arus polarisasi dari urutan amp atau lebih dilewati melalui kumparan, menciptakan medan magnet yang kuat (Milsom, 2003:58).



Gambar 2.9 Diagram Kotak dari PPM ([www.mines.edu](http://www.mines.edu)).

Cara kerja dari *Proton Precission Magnetometer* (PPM) dapat dijelaskan pada gambar di atas (2.9). 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 presesi (gerak gasing yang oleng). Apabila tegangan polarisasi diaktifkan maka timbul medan magnet  $H_1$  yang kuat di sekeliling botol.

Hal ini mengakibatkan gerak proton-proton tadi menjadi lebih teratur. Gerak preresi proton pada keadaan ini mengikuti aturan sedemikian rupa sehingga dipenuhi hubungan (Munadi, 2001:49):

$$\omega_1 = \gamma H_1 \quad (2.14)$$

Dimana:

$\omega_1$  = Kecepatan sudut gerak preresi proton.

$\gamma$  = 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 di sekitar botol tak ada lagi medan magnet polarisasi sehingga hal ini akan mempengaruhi gerak preresi proton-proton tadi. Akibat tidak adanya medan magnet polarisasi tadi proton-proton berpresesi di bawah pengaruh medan magnet lain yakni medan magnet bumi. Dalam keadaan ini dipenuhi hubungan:

$$\omega_2 = \gamma H_2 \quad (2.15)$$

Dimana:

$\omega_2$  = Kecepatan sudut gerak preresi proton-proton akibat pengaruh medan magnet bumi.

$\gamma$  = Rasio giromagnetik dari proton.

$H_2$  = Kuat medan magnet bumi yang mempengaruhinya.

Jadi dengan mengukur  $\omega_2$ , maka kuat medan magnet bumi ( $H_2$ ) dapat diketahui (Munaidi, 2001:50).

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan pada Bulan Mei 2015. Tempat penelitian terletak di sekitar Gunung Lumpur Bujel Tasek Lakek dan Bujel Tasek Binik yang terdapat di Desa Katal Barat Kec. Geger Kab. Bangkalan Madura yang secara astronomis terletak 6,977 LS dan 112,91 BT. Pengolahan data bertempat di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

### **3.2 Peralatan Penelitian**

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data di lapangan menggunakan metode Magnetik

1. Seperangkat Magnetometer jenis *Proton Precession Magnetometer* (PPM) dengan tipe *Geometrics G-856/27616*.
2. GPS *GarminCSX 60*, sebagai alat penentu posisi lintang, bujur dan ketinggian dari setiap titik ukur.
3. Alat pengukur waktu.
4. Alat tulis
5. Peta geologi.
6. Kompas
7. Office Excel
8. Surfer Versi 11

9. Magpick
10. Matlab Versi 2010
11. Mag2dc

### **3.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian**

Prosedur pelaksanaan dalam penelitian ini adalah sebelum melakukan pengambilan data di lapangan terlebih dahulu harus survei lokasi dan mengumpulkan referensi tentang sumber lumpur baik secara geologi, topografi dan lain sebagainya maupun metode yang digunakan dalam pengambilan data sehingga nantinya memudahkan dalam pengambilan data di lapangan. Setelah itu baru dilakukan pengambilan data yang dalam penelitian ini menggunakan metode geomagnetik. Data yang diperoleh dari metode geomagnetik kemudian dilakukan pengolahan data berdasarkan pengolahan data masing-masing setelah itu dilakukan analisa data dan interpretasi dari hasil pengolahan data geomagnetik. Hasil akhir dari penelitian tersebut diharapkan bisa mengetahui karakteristik dari sumber lumpur dan struktur batuan yang terdapat di tempat penelitian.

### **3.4 Metode Penelitian Magnetik**

#### **3.4.1 Pengambilan Data Geomagnetik**

Pengambilan data geomagnetik dilakukan dengan menggunakan metode *loop* tertutup, yang artinya dalam satu siklus pengukuran, posisi dari titik awal pengukuran dan titik akhirnya sama, titik ini dijadikan sebagai titik acuan (*base station*). Hal ini dilakukan agar dapat dilakukan koreksi harian terhadap data

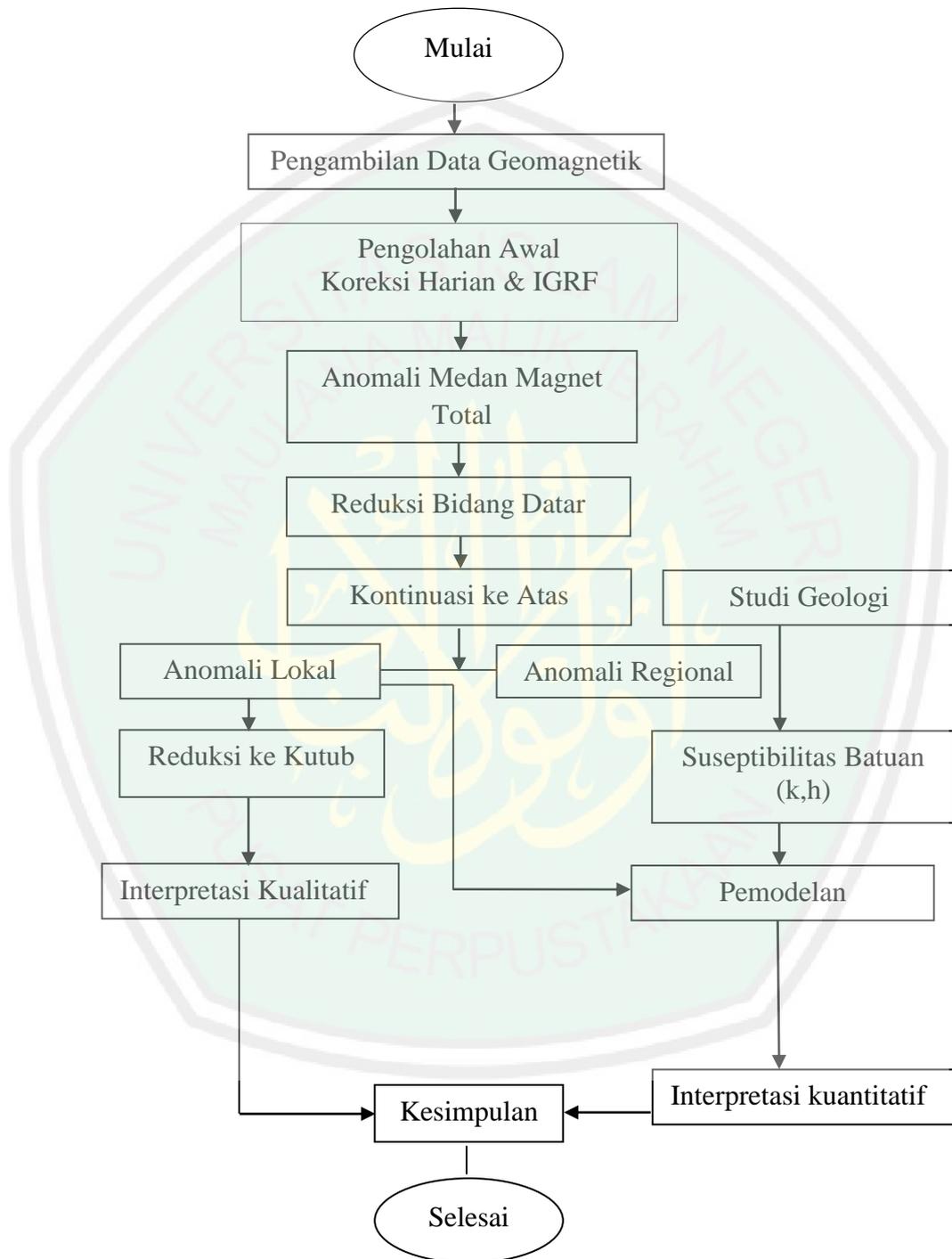
pengukuran. Dalam pengambilan data titik-titik pengukurannya berjarak antara 100-200 meter dengan luas daerah  $16 \text{ km}^2$  ( $4 \times 4 \text{ km}$ ).

Data yang diambil dalam penelitian ini antara lain:

1. Koordinat lintang dan bujur.
2. Waktu pengambilan data.
3. Ketinggian titik ukur.
4. Data geomagnetik: Medan magnet total.



Diagram alir penelitian geomagnetik yang ditunjuk oleh gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.4.2 Pengolahan Data Geomagnetik

Pengolahan data geomagnetik meliputi koreksi harian dan koreksi IGRF (*International Geomagnetik Reference Field*). Untuk memperoleh medan magnet total ( $\Delta H$ ). Koreksi harian merupakan penyimpangan nilai medan magnetik bumi akibat adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari.

$$\Delta H = H \text{ total} \pm \Delta H \text{ harian} \quad (3.1)$$

Sedangkan koreksi IGRF yang merupakan suatu model umum *spherical harmonic* dari medan magnet bumi yang bersumber dari inti bumi yang telah disetujui secara internasional diperoleh dari hasil konversi nilai garis lintang dan garis bujur dari tiap-tiap titik pengukuran. Jika nilai medan magnet luar dihilangkan dengan koreksi harian, maka kontribusi medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi IGRF.

Untuk mengetahui gambaran dasar tentang daerah penelitian maka nilai anomali magnetik dari hasil koreksi yang sudah diperoleh kemudian dibuat peta kontur yaitu dengan menggunakan perangkat lunak *Surfer-11*. Setelah itu dilakukan pemisahan anomali lokal dan regional dan kemudian dilakukan analisis sinyal yaitu langsung ditransformasi dari anomali lokal dan regional yang bertujuan untuk mendapatkan lokasi yang akurat, batas tepi anomali magnetik dan bentuk benda penyebab anomali serta didapatkan anomali-anomali yang kompleks yang disebabkan oleh formasi batuan reservoir di daerah penelitian yang berada di bawah permukaan. Setelah itu dilakukan *forward modelling* dengan menggunakan perangkat lunak *Mag2dc* untuk menentukan bentuk geometri batuan dan nilai

suseptibilitas batuan tersebut sehingga diketahui jenis batuan yang menyebabkan anomali dan kedalaman batuan reservoir tersebut.

### 3.4.3 Interpretasi Data

Analisa dan interpretasi dilakukan dengan dua cara yaitu interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Untuk interpretasi kualitatif yaitu dengan membaca peta kontur yang telah dilakukan transformasi yaitu analisis sinyal yang memberikan kesimpulan secara kualitatif. Gambaran-gambaran yang cenderung aneh (anomali) dapat segera diduga bahwa pasti ada penyebabnya yang dapat berupa bola, kubus dan sebagainya. Sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan cara mencocokkan kurva anomali di lapangan dan kurva model yang telah dibuat dengan perangkat lunak *Mag2dc*. Tujuannya untuk memberi gambaran secara matematik, geometri benda penyebab anomali dikarenakan sudah diketahui nilai suseptibilitas dan kedalamannya.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tempat penelitian ini bertempat di Desa Katal Barat Kec. Geger Kab. Bangkalan Madura, pada tempat tersebut terdapat dua semburan lumpur yang oleh masyarakat setempat diberi nama Bujhel tasek Binik dan Bujhel Tasek Lakek, semburan lumpur tersebut sudah ada sejak ratusan tahun yang lalu. Bujhel Tasek Binik membentuk seperti sebuah kolam dengan luas kolam sekitar 12 meter. Jarak Bujhel Tasek Lakek sekitar 400 meter dari Bujhel Tasek Binik. Bujhel Tasek Lakek berbentuk seperti gunung pada biasanya namun yang membedakan ini ukurannya lebih kecil sekitar 10-15 meter. Semburan kedua gunung lumpur tersebut sangat kecil dengan viskositas yang berbeda.

Metode geomagnetik adalah metode geofisika yang digunakan untuk menyelidiki kondisi struktur bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan sifat kemagnetan batuan. Tahapan eksplorasi geomagnetik terdiri dari akuisisi data, pengolahan data dan tahap interpretasi.

### **4.1 Akuisi Data**

Dalam penelitian ini alat yang digunakan adalah *Proton Processing Magnetometer* (PPM) ENVI SCIENTRIX tipe 851, dimana dalam pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara loop tertutup, maksudnya setiap pengambilan data pada titik harus dimulai dan diakhiri dengan pengambilan data di titik “*base station*” dengan selang waktu pengambilan data awal dan data akhir tidak terlalu jauh. Pada penelitian ini data yang diperoleh sebanyak 60 titik dimana

setiap titik pengukuran akan diberikan perlakuan sebanyak 5 kali, pengambilan data diambil salah satunya dengan tingkat kesalahan nois yang terkecil. Luas daerah penelitian sekitar  $16 \text{ km}^2$  ( $4 \times 4 \text{ km}$ ) dengan jarak antara titik 100-200 meter. Kemudian juga mengukur lintang, bujur, ketinggian dan waktu di setiap titik pengukuran.

#### 4.2 Pengolahan Data

Data yang diperoleh pada penelitian ini adalah medan magnet total bumi di antaranya medan magnet utama, medan magnet luar dan medan magnet total ( $\Delta H$ ) yang menjadi target penelitian. Pengolahan awal dimulai dari mengkonversi koordinat lintang bujur pada setiap titik yang awalnya berbentuk *Decimal Degree* ke dalam bentuk *Universal Transfer Mercator* (UTM) dengan tujuan mempermudah pengolahan data selanjutnya. Langkah selanjutnya adalah melakukan koreksi yaitu koreksi harian dan koreksi IGRF dengan tujuan untuk memperoleh nilai anomali medan magnet total ( $\Delta H$ ).

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

Koreksi harian (*diurnal correction*) merupakan penyimpangan nilai medan magnet bumi akibat adanya perbedaan waktu dan efek radiasi matahari dalam satu hari atau disebut medan magnet luar. Waktu yang dimaksud harus mengacu atau sesuai dengan waktu pengukuran data medan magnet 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 magnetik yang akan dikoreksi. Sebaliknya apabila variasi harian bernilai positif, maka koreksinya dilakukan dengan cara mengurangi nilai data medan magnet terhadap nilai variasi harian yang tercatat pada waktu tertentu.

Medan magnet total merupakan resultan dari tiga komponen dasar medan. Yaitu medan anomali, medan luar, dan medan utama. Medan utama adalah rata-rata nilai intensitas medan magnet pada daerah penelitian pengukuran. Medan magnet utama dapat dihilangkan dengan menggunakan koreksi IGRF. IGRF merupakan singkatan dari *internasional geomagnetik reference field* merupakan model umum *spherical harmonoc* medan magnet yang telah disetujui secara internasional. Nilai dari koreksi IGRF didapat dari kalkulator medan magnet di website NOAA (*national oceanic and atmospheric administration*).

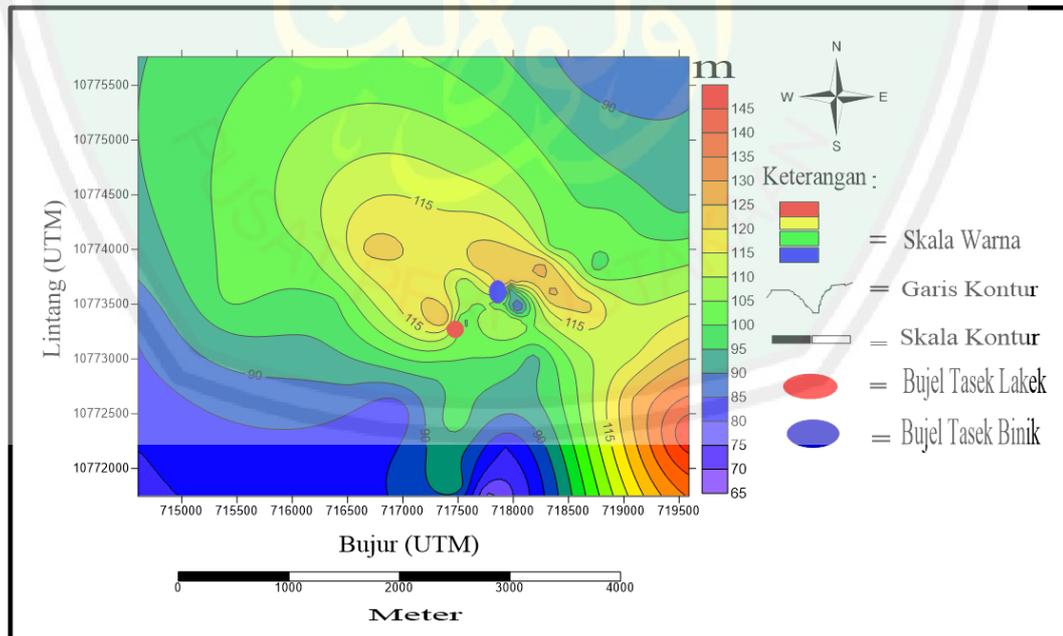
The image shows a screenshot of the NOAA Magnetic Field Calculators website. The page has a header with navigation tabs: 'Declination', 'U.S. Historic Declination', 'Magnetic Field', and 'Magnetic Field Component Grid'. The main heading is 'Magnetic Field Estimated Values'. Below this, there is a brief explanation of the calculation process. The interface is divided into two main sections: 'Calculate Magnetic Field' and 'Lookup Latitude / Longitude'. The 'Calculate Magnetic Field' section includes input fields for Latitude, Longitude, Elevation (with options for GPS and Mean sea level), Model (WMM 2014-2019 or IGRF 1590-2019), Start Date, End Date, and Step size. The 'Lookup Latitude / Longitude' section includes input fields for U.S. Zip Code, Country, and City, with a 'Get & Add Lat/Long' button.

Gambar 4.1 Kalkulator IGRF

Nilai IGRF yang didapat pada penelitian ini dengan letak geografis ( $06^{\circ} 58' 42.0''$  dan  $112^{\circ} 54' 22.3''$ ), dengan nilai IGRF 44428.7 nT.

Dari data yang telah dikoreksi, selanjutnya adalah membuat peta kontur yang terdiri dari peta kontur topografi, peta kontur anomali medan magnet total ( $\Delta H$ ), peta kontur reduksi bidang datar, peta kontur reduksi ke kutub dan peta kontur kontinuitas ke atas yang terdiri dari peta kontur anomali lokal dan peta kontur anomali regional.

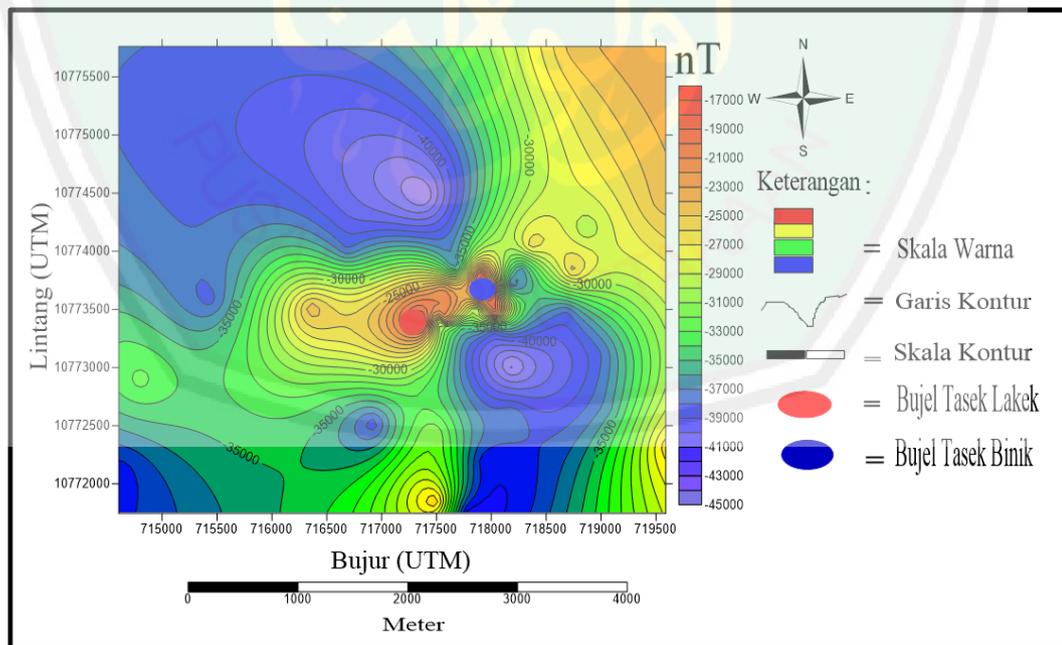
Topografi atau ketinggian adalah memperlihatkan suatu nilai ketinggian pengukuran dari permukaan laut yang dapat digunakan sebagai acuan letak kedua semburan dan dalam melakukan pengolahan data selanjutnya. Di bawah ini adalah peta kontur daerah semburan lumpur di daerah penelitian:



Gambar 4.2 Peta Kontur Topografi Tempat Penelitian

Pola topografi merupakan cerminan ketinggian lokasi penelitian. Bila ditinjau dari peta geologi daerah penelitian berada dimorfologi perbukitan. Secara jelasnya topografi Bujel Tasek Binik berada pada ketinggian 115 m dpl dan tidak jauh berbeda Semburan Bujel Tasek Lakek berada pada ketinggian 110 m dpl. Dengan kata lain semburan lumpur tersebut berada pada daerah topografi yang sedang.

Anomali medan magnet total ( $\Delta H$ ) merupakan hasil akhir setelah koreksi (harian dan IGRF). Nilai anomali ini merupakan campuran antara anomali regional dan lokal, sehingga informasi mengenai nilai anomali daerah yang menjadi target penelitian masih tergabung. Di bawah ini adalah Peta kontur anomali medan magnet total daerah penelitian:



Gambar 4.3 Peta Kontur Anomali Medan Magnet Total

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa daerah Gunung Lumpur Bujel Tasek Binik dan Gunung Lumpur Bujel Tasek Lakek mempunyai nilai anomali medan magnet tinggi sekitar  $-23000$  nT sampai dengan  $-17000$  nT. Pola anomali magnetik merupakan cerminan kondisi bawah permukaan yang berasal dari sifat kemagnetan suatu batuan. Dengan kata lain, pola anomali rendah dan tinggi di daerah penelitian berasal dari litologi yang berbeda.

### **4.3 Interpretasi Data**

Dalam menentukan litologi bawah permukaan Semburan Lumpur Bujel Tasek di Desa Katal Barat kec. Geger kab. Bangkalan Madura yang menggunakan metode magnetik ini dilakukan melalui 2 tahapan yaitu: interpretasi kualitatif dan interpretasi kuantitatif.

#### **4.3.1 Interpretasi Kualitatif**

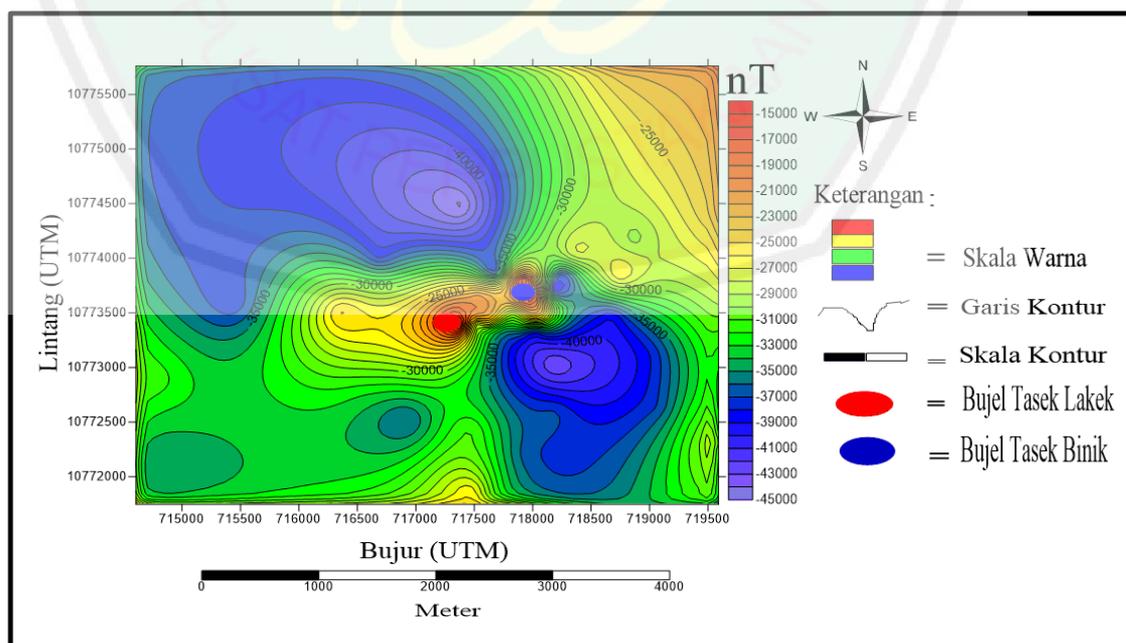
Interpretasi kualitatif didasarkan pada pola kontur anomali medan magnet yang bersumber dari distribusi benda-benda termagnetisasi atau struktur geologi bawah permukaan bumi. Dengan demikian interpretasi kualitatif dilakukan dengan menganalisa pola-pola kontur anomali medan magnet total yang telah diproses ke reduksi bidang datar, reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas.

#### **A. Reduksi Bidang Datar**

Reduksi bidang datar adalah proses untuk mereduksi data anomali medan magnet total yang masih terdistribusi oleh topografi untuk menjadi datar. Secara matematis data anomali medan magnet total yang terdapat pada daerah topografi tidak rata akan menyebabkan kesalahan pada tahap berikutnya. Pengukuran

medan magnet pada daerah yang ketinggiannya berbeda akan menghasilkan medan magnet yang berbeda pula, sehingga data anomali tersebut perlu diproyeksikan ke bidang datar dengan ketinggian yang sama. Suatu metode yang dapat digunakan untuk membawa data anomali ke bidang datar ialah menggunakan metode pendekatan deret Taylor (*Taylor Series Aproximation*).

Sebuah deret Taylor menggunakan turunan sebagai fungsi yang dihitung pada suatu titik untuk mengeksplorasi fungsi terhadap titik yang berdekatan. Deret Taylor diterapkan sebagai suatu teknik untuk memodifikasikan 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. (Balakely, 1995:322-323). Dari proses reduksi bidang datar didapatkan pola kontur anomali medan magnet seperti berikut:

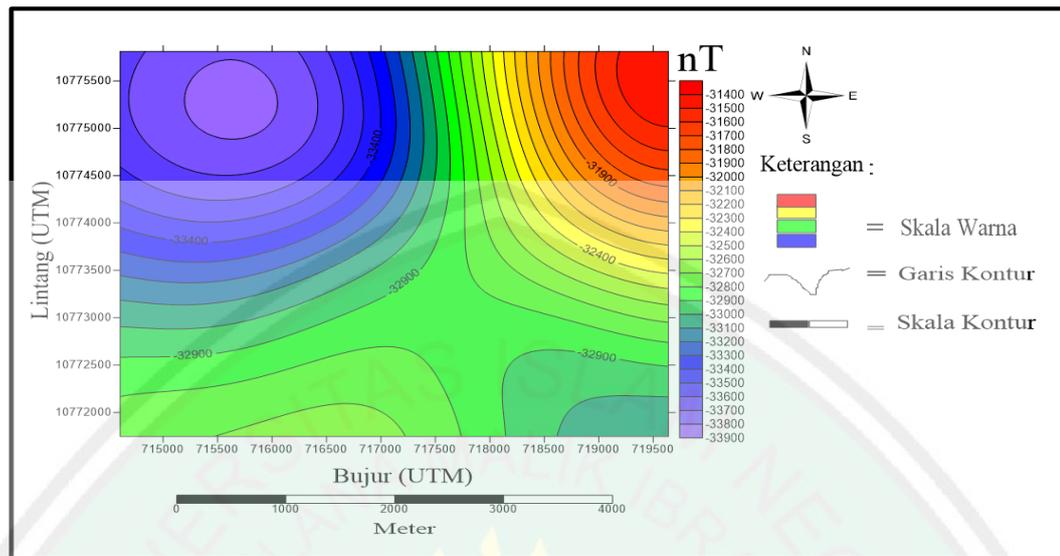


Gambar 4.4 Kontur Anomali Medan Magnet Total Setelah Reduksi Bidang Datar pada Ketinggian 70 m dpl dengan Interval Kontur 1000 nT.

Gambar di atas merupakan hasil anomali medan magnet total setelah direduksi ke bidang datar pada ketinggian rata-rata topografi 70 m dpl. Pada proses ini menunjukkan pola kontur, nilai, interval yang hampir sama dengan pola kontur anomali medan magnet total. Pada pola kontur nilai anomali medan magnet total menunjukkan nilai -45000 nT sampai dengan -17000 nT sedangkan pada hasil anomali setelah direduksi menunjukkan nilai -45000 nT sampai dengan -15000 nT. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh ketinggian dan ke dalam bidang datar pada saat direduksi.

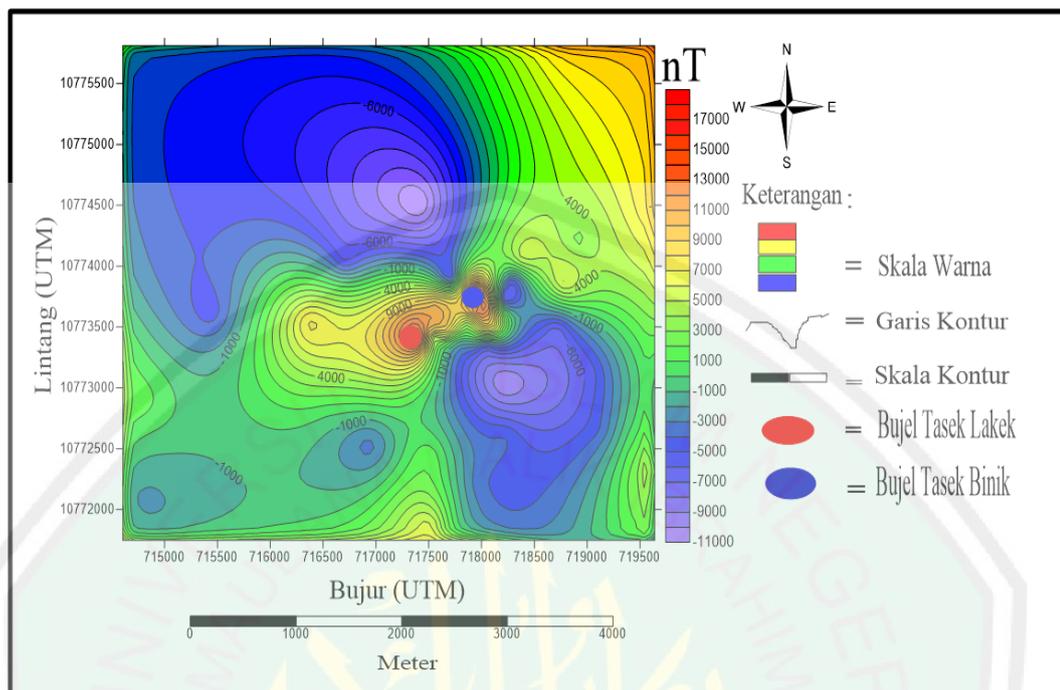
#### **B. Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)**

Proses kontinuasi digunakan untuk mengangkat anomali regional yang masih berada di permukaan anomali medan magnet total yang telah kita peroleh. Pada pengangkatan menggunakan proses kontinuasi ke atas jangan terlalu tinggi nilai pengangkatannya karena dapat menghilangkan nilai medan anomali lokal atau nilai anomali yang menjadi target pada tempat penelitian. Tetapi jika nilai pengangkatannya terlalu rendah takut ada kemungkinan anomali regional masih bergabung dengan anomali lokal, jadi disarankan pengangkatannya jangan terlalu tinggi dan terlalu rendah, dengan cara kita mengacu pada peta kontur anomali medan magnet total sebelumnya. Proses kontinuasi ke atas menggunakan software magpic dan menghasilkan gambaran dengan pengangkatan ketinggian 1900 m dpl.



Gambar 4.5 Kontur Anomali Regional Hasil Kontinuasi ke Atas pada Ketinggian 1900 m dpl.

Hasil anomali medan magnet total yang sudah diproses ke kontinuasi ke atas menghasilkan kontur anomali lokal dan menghasilkan kontur anomali regional. Dimana gambar di atas adalah peta kontur anomali regional dari hasil kontinuasi, menghasilkan nilai anomali regional yaitu -33900 nT sampai dengan -31400 nT.



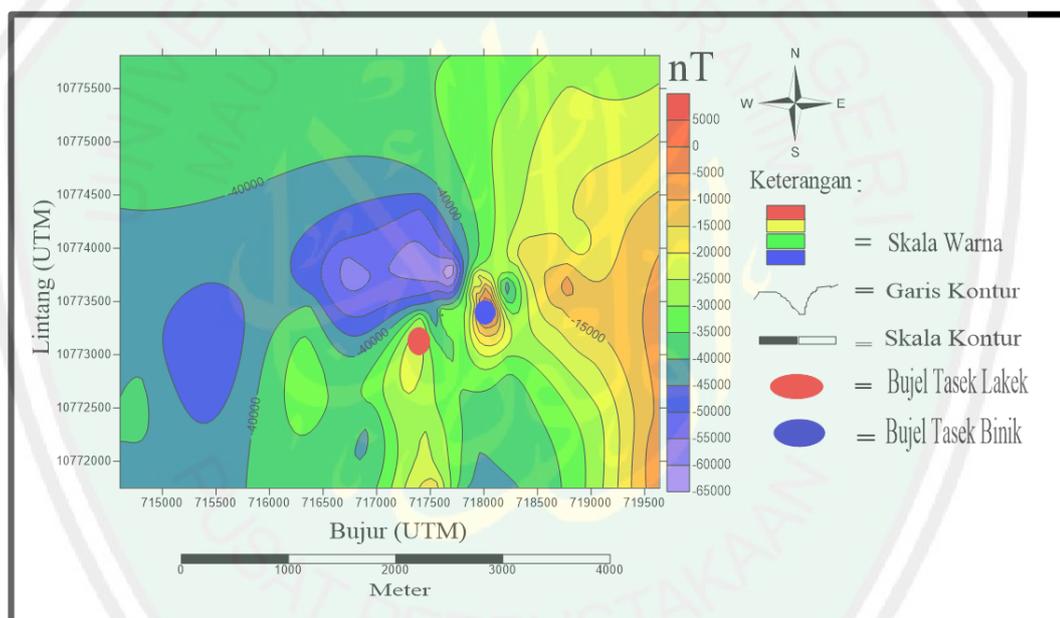
Gambar 4.6 Kontur Anomali Lokal Hasil Kontinuasi ke Atas pada Ketinggian 1900 m dpl

Gambar kontur anomali lokal di atas adalah hasil dari proses kontinuasi ke atas. Dari anomali lokal ini dapat menggambarkan pola atau model lapisan batuan dan struktur yang terdapat di daerah tempat penelitian berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan. Pola anomali medan magnet lokal yang terdapat pada daerah penelitian sangat bervariasi dikarenakan ketidakseragaman batuan atau litologi yang berbeda di bawah permukaan bumi.

### C. Reduksi ke Kutub (*Reduction To The Pole*)

Reduksi ke kutub digunakan untuk mengubah anomali *dipole* (positif dan negatif) menjadi *monopole* (positif) dimana posisi benda anomali menjadi tepat di bawah klosur utama. Dimana kita ketahui deklinasi (penyimpangan terhadap arah utara-selatan geografis) dan inklinasi (penyimpangan terhadap arah

horizontal kutub utara magnet). Reduksi ke kutub dilakukan dengan cara membawa posisi benda ke kutub utara ke arah vertikal. Proses ini akan mengubah parameter medan magnet bumi pada daerah penelitian yang memiliki nilai deklinasi 1.5 dan inklinasi -30.64 dengan nilai IGRF 44428.7. Pada proses reduksi ke kutub ini menggunakan program magpic. Dari proses reduksi ke kutub tersebut didapatkan peta kontur sebagai berikut:



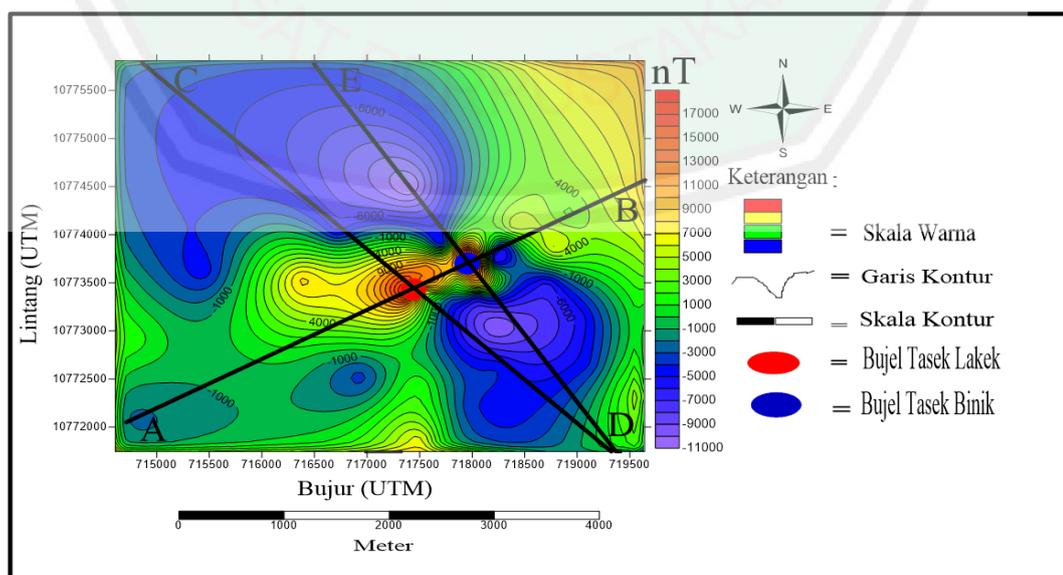
Gambar 4.7 Kontur Anomali Medan Magnet Total Setelah Reduksi ke Kutub.

Reduksi ke kutub pada dasarnya merupakan proses transformasi medan magnet ke arah vertikal atau seolah-olah dilihat dari kutub utara bumi. Sehingga setelah direduksi ke kutub menunjukkan nilai kemagnetan yang lebih tinggi dan juga didapatkan peta kontur anomali magnet yang mengalami penguatan nilai kemagnetannya.

Pola anomali magnetik hasil proses reduksi ke kutub merupakan cerminan kondisi bawah permukaan yang berasal dari sifat kemagnetan batuan. Dengan kata lain pola anomali rendah dan tinggi di daerah penelitian ini berasal dari litologi yang berbeda. Bila ditinjau dari posisi titik pusat semburan yang berada pada anomali tinggi dan rendah, merupakan patahan yang menjadi zona lemah tempat keluarnya lumpur tersebut.

#### 4.3.2 Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan bentuk atau struktur geologi dan kedalaman benda anomali melalui pemodelan matematis. Interpretasi kuantitatif dilakukan berdasarkan hasil interpretasi kualitatif, sehingga dapat menentukan bagian lintasan yang melewati anomali lokal yang tepat untuk disayat. Lintasan ini dipilih dengan memotong pasangan anomali rendah dan tinggi dan menghasilkan 3 penampang (A-B, C-D, E-D) ditunjukkan oleh gambar berikut:

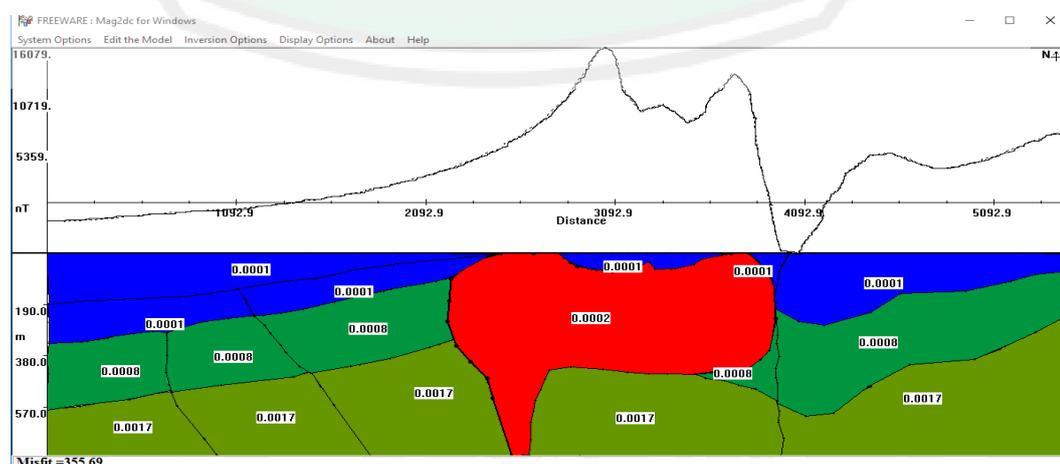


Gambar 4.8 Profil Sayatan Lintasan A-B, C-D, E-D

Data hasil sayatan berupa (jarak lintasan dan nilai anomali) kemudian digunakan sebagai masukan ketika melakukan pemodelan. Pemodelan dilakukan dengan metode *trial and error* menggunakan software *Mag2dc*. Prinsip kerja dari *Mag2dc* adalah membuat model berdasarkan struktur batuan penyusunnya dengan memasukkan nilai suseptibilitas batuan tersebut. Model yang terbangun dilakukan dengan cara meyamakan kurva putus-putus (penampang sayatan anomali lokal) dengan kurva tegas (penampang anomali model). Dalam setiap pemodelan struktur bawah permukaan besarnya eror harus diperhatikan. Semakin kecil presentase eror yang didapatkan, maka semakin tinggi tingkat keakuratan dari model yang dihasilkan. Dan sebaliknya, semakin besar presentase eror yang didapatkan, maka tingkat keakuratan dari model yang dihasilkan akan semakin kecil.

#### A. Interpretasi Kuantitatif Lintasan A-B

Profil model penampang vertikal pada lintasan A-B memotong pola anomali tinggi berupa objek panelitian (Bujel Tasek Lakek dan Bujel Tasek Binik) ditunjukkan oleh gambar berikut:

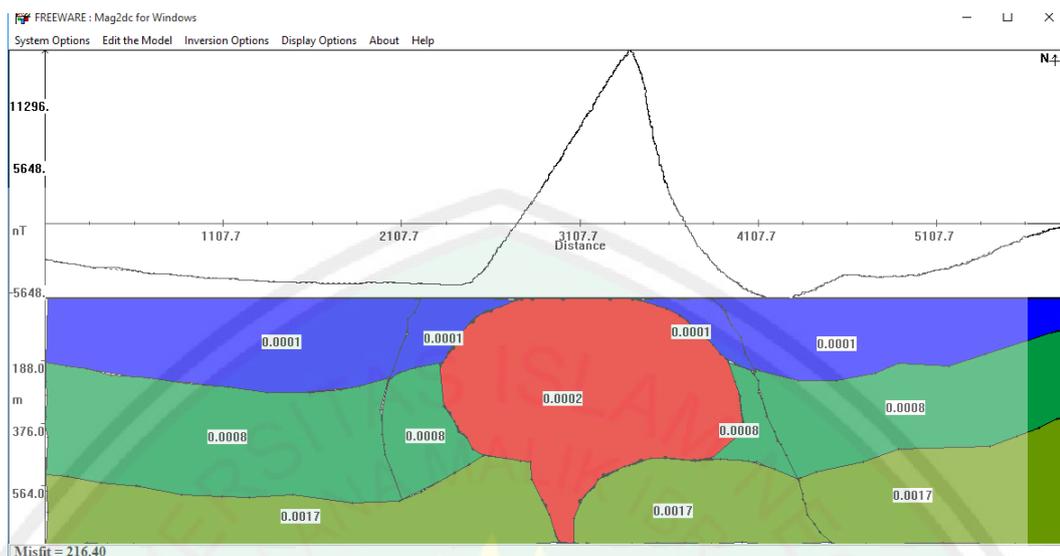


Gambar 4.9 Profil Model Penampang Vertikal Bawah Permukaan Lintasan A-B

Gambar 4.9 merupakan profil model penampang vertikal bawah permukaan lintasan A-B dengan panjang lintasan  $\pm 5467.9$  meter dari arah barat daya ke arah timur laut. Litologi lintasan A-B terdiri atas 4 bodi yaitu bodi warna biru (  ) mempunyai suseptibilitas 0.0001 (satuan SI) diinterpretasikan sebagai napal pasiran hasil rombakan alam dengan variasi ketebalan  $\pm 300$  meter dari permukaan. Lapisan kedua ditunjukkan dengan warna hijau tua (  ) diinterpretasikan sebagai batupasir gampingan dengan nilai suseptibilitas 0.0008 (satuan SI) pada kedalaman  $\pm 300$  meter dan bervariasi ketebalan  $\pm 270$  meter dari permukaan. Lapisan ketiga ditunjukkan dengan warna hijau muda (  ) memiliki nilai suseptibilitas 0.0017 (satuan SI) diinterpretasikan sebagai batulempung gampingan terdapat pada kedalaman  $\pm 510$  meter dari permukaan. Lapisan keempat di tunjukkan dengan warna merah (  ) diinterpretasikan sebagai lumpur yang merupakan objek penelitian dengan nilai suseptibilatas 0.0002 (satuan SI) dengan ketebalan  $\pm 474$  meter dari permukaan.

#### **B. Interpretasi Kuantitatif Lintasan C-D**

Profil model penampang vertikal pada lintasan C-D memotong pola anomali tinggi berupa objek panelitian (Bujel Tasek Lakek) ditunjukkan oleh gambar berikut:

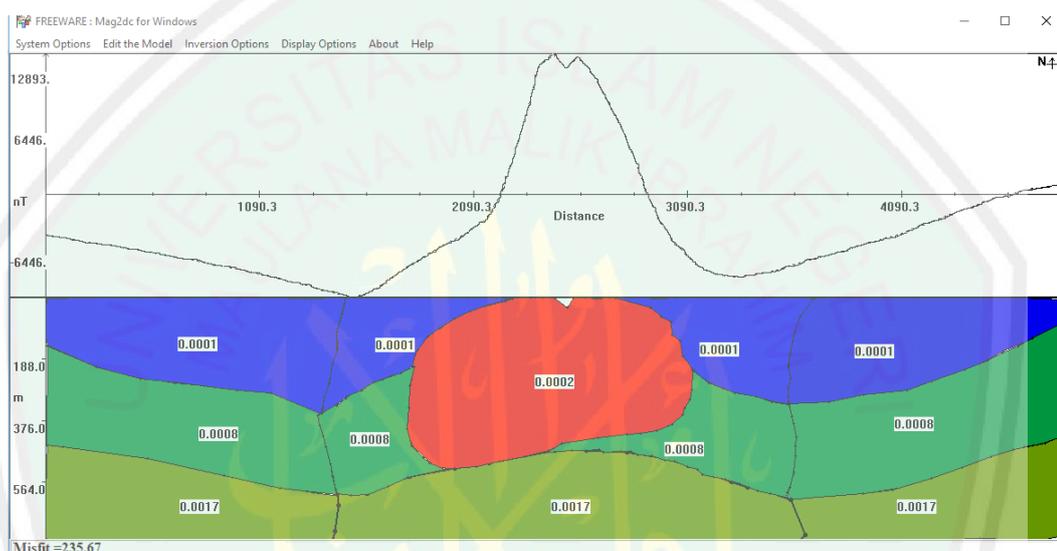


Gambar 4.10 Profil Model Penampang Vertikal Bawah Permukaan Lintasan C-D

Gambar 4.10 merupakan profil model penampang vertikal bawah permukaan lintasan C-D dengan panjang lintasan  $\pm 5807.7$  meter dari arah barat laut ke arah tenggara. Litologi lintasan C-D terdiri atas 4 bodi yaitu bodi warna biru (■) diinterpretasikan sebagai napal pasir dengan nilai suseptibilitas 0.0001 (satuan SI) dengan variasi ketebalan  $\pm 190$  meter dari permukaan. Lapisan kedua ditunjukkan dengan warna hijau tua (■) diinterpretasikan sebagai batupasir gampingan dengan nilai suseptibilitas 0.0008 (satuan SI) pada kedalaman  $\pm 190$  meter dan variasi ketebalan  $\pm 324$  meter dari permukaan. Lapisan ketiga ditunjukkan dengan warna hijau muda (■) diinterpretasikan sebagai batulempung gampingan dengan nilai suseptibilitas 0.0017 (satuan SI) pada kedalaman  $\pm 474$  meter dari permukaan. Lapisan keempat ditunjukkan dengan warna merah (■) merupakan objek penelitian yaitu Bhujel Tasek Lakek yang memiliki nilai suseptibilitas 0.0002 (satuan SI) dengan variasi ketebalan  $\pm 550$  meter dari permukaan bumi.

### C. Interpretasi Kuantitatif Lintasan E-D

Profil model penampang vertikal pada lintasan E-D memotong pola anomali tinggi berupa objek penelitian (Bujel Tasek Binik) ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 4.11 Profil Model Penampang Vertikal Bawah Permukaan Lintasan E-D

Gambar 4.11 merupakan profil model penampang vertikal bawah permukaan lintasan E-D dengan panjang lintasan  $\pm 4840.3$  meter dari arah barat laut ke arah tenggara. Litologi lintasan E-D terdiri atas 4 bodi yaitu bodi warna biru (■) diinterpretasikan sebagai napal pasiran dengan nilai suseptibilitas 0.0001 (satuan SI) dengan ketebalan  $\pm 388$  meter dari permukaan. Lapisan kedua ditunjukkan dengan warna hijau tua (■) diinterpretasikan sebagai batupasir gampingan dengan nilai suseptibilitas 0.0008 (satuan SI) mempunyai kedalaman  $\pm 338$  meter dengan variasi ketebalan  $\pm 288$  meter dari permukaan. Lapisan ketiga yang ditunjukkan dengan warna hijau muda (■) diinterpretasikan sebagai batulempung gampingan memiliki nilai suseptibilitas

0.0017 (satuan SI) dengan kedalaman  $\pm 470$  meter dari permukaan. Lapisan keempat ditunjukkan dengan warna merah ( ████████ ) diinterpretasikan sebagai objek penelitian (Bujel Tasek Binik) memiliki nilai suseptibilitas 0.0002 (satuan SI) dengan variasi ketebalan  $\pm 564$  meter dari permukaan.

#### 4.4 Analisis Gunung Lumpur

*Mud* diapir adalah suatu intrusi dari masa lumpur/serpih yang relatif bergerak yang mengintrusi kedalam lapisan yang sebelumnya telah disebabkan oleh pengapungan dan perbedaan tekanan. Dimana *mud* diapir menembus permukaan karena diakomodasi oleh pengaktifan kembali patahan (*reactivated faults*), terjadi migasi cepat dari material yang mengalami pengurangan tekanan sebagai hasil adalah *mud volcano*. Dalam proses penerobosannya diapir akan mengakibatkan terbentuknya lipatan (antiklin) di bagian atas (Satyana, 2008).

Umumnya gunung lumpur banyak ditemukan pada zona subduksi tektonik, benua pasif dalam sistem delta yang terdapat pada daerah hidrotermal aktif, daerah tumbukan tektonik, sistem sesar aktif, lipatan-lipatan yang berhubungan dengan patahan serta pada sumbu antiklin. Struktur-struktur ini yang bertindak sebagai jalan untuk formasi fluida dalam mencapai permukaan.

Gunung Lumpur Bujel Tasek merupakan gunung lumpur yang sudah ada sejak jutaan tahun lalu termasuk pada batuan selat madura purba- purwodadi Jawa Tengah yang terdiri dari endapan lapisan vulkanik yang usianya lima jutan tahun. Aktivitas gunung lumpur ini meningkat dan lebih banyak mengekstrusi lumpur sejak beberapa tahun belakangan. Hal ini disebabkan karena aktivitas tektonik yang mengangkat menyebabkan fluida tertekan dan naik ke permukaan. Jika

aktivitas tektonik tersebut terjadi di dalam sedimen. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya liquifaksi, patahan dan peningkatan pembentukan gas serta pemisahan antara batuan sedimen.

Berdasarkan litologi batuan tersebut, batuan lempung dan gamping merupakan batuan yang hampir mendominasi daerah penelitian. Batuan lempung termasuk pada batuan *shale* yang umumnya berfungsi sebagai *caprock* yang secara alami tempat terakumulasinya hidrokarbon. Batuan ini dianggap sebagai lapisan penutup yang berpotensi untuk penyimpanan CO<sub>2</sub>. Sedangkan batuan gamping merupakan batuan sedimen karbonat yang terbentuk dari hewan dan tumbuhan karang. Menurut Dunham (1962) bahwa tekstur batu gamping atau batuan karbonat dapat menggambarkan genesa pembentukannya, sehingga klasifikasi ini dianggap mempunyai tipe genetik. Terdapat empat dasar klasifikasi batuan karbonat menurut Dunham (1962) yaitu kandungan lumpur karbonat (*mud*), kandungan butiran, keterikatan komponen dan kenampakan tekstur hasil genesis. Tekstur batuan karbonat yang didominasi oleh keberadaan lumpur terbagi dua, salah satunya yaitu batuan yang mengandung butiran lebih dari 10% digolongkan dalam batuan jenis *mudstone*.

Gunung Lumpur Bujel Tasek tergolong gunung lumpur breksi dari *mud volcano* tua (old). Secara virtual terdiri dari klastik bebas (*clays-free*) dengan kandungan lumpur lebih dari 99% (Kopf, 2002).

Ketika gunung lumpur terektrusi ke permukaan, lumpur yang terektrusi merupakan lumpur dingin yang menandakan bahwa Gunung Lumpur Bujel Tasek tidak memiliki keterkaitan dengan gunung api magmatik. Gunung Lumpur

Bujel Tasek diindikasikan merupakan gunung lumpur yang berhubungan dengan adanya hidrokarbon. *Mud* diapir dan *mud volcano* bisa mempunyai hubungan spasial dan genetik dengan lapangan minyak dan gas bumi dan hal tersebut bisa menyediakan bukti terhadap potensi minyak (Satyana, 2008). Hal tersebut disebabkan karena Madura terletak pada rembesan migas dan lapangan produksi minyak dan gas bumi.

Bersamaan lumpur breksi yang diektrusi, gunung lumpur juga mengektrusi air yang terasa asin. Hal ini disebabkan struktur bawah permukaan daerah penelitian adalah napal pasir, batupasir gampingan dan batulempung gampingan merupakan batuan *evaporitic salt deposits* (tempat terjadinya penguapan endapan garam). Kandungan air di dalam ekstrusi *mud volcano* berasal dari sumber dangkal dan dalam (*shallow and deep source*) dan normalnya diuraikan dari proses bervariasi (Hensen, 2007). Sedangkan menurut Kopf (2002) sumber utama air adalah hasil dari dehidrasi mineral lempung. Breksi lumpur dan air gunung lumpur umumnya tercampur dan membentuk *mud volcano* yang mengalir (*mud flow*) dengan viskositas yang berbeda-beda.

Persebaran gunung lumpur juga menghasilkan gas yang diemisikan melalui vulkanisme gunung lumpur. gas yang keluar dari gunung lumpur merupakan gas yang memiliki kandungan metana, terbukti terdapat api yang menyala ketika disulut korek api. Gas metana merupakan gas yang mendominasi sebesar 70-90 % sedangkan sisanya adalah karbon dioksida, nitrogen, hidrogen sulfida, argon dan helium (Judd, 2005).

Komposisi *mud volcano* terdiri atas semua material yang dikeluarkan dari perut bumi baik berupa massa padat, plastis, cair dan gas. Massa padat berupa bebatuan dan garam sedangkan massa plastis berupa bubur lempung. Sebaliknya massa cair dapat berupa air (air tanah, air magmatik/vulkanik dan air laut) sedangkan massa gas berupa gas metana, hidrat dan gas belerang.

Mulculnya *mud volcano* ini dipicu oleh adanya lumpur yang bercampur dengan kantong–kantong gas (metan) yang mengalami kelebihan tekanan terkubur di bawah permukaan, berusaha keluar ke permukaan bumi. Penyebab keluarnya lumpur tersebut berupa adanya bukaan atau rekahan yang terbentuk akibat proses tektonik/pembentukan patahan atau struktur antiklin. Ada pula yang menyebutkan bahwa pemicu keluarnya *mod volcano* akibat adanya gaya dalam perut bumi (indogenik). Selain itu, ada juga yang menyebutkan bahwa *mud volcano* muncul pada perpotongan dua trend besar. *Mud volcano* sebenarnya identik dengan *mud/salt* diapir. *Mud volcano* merupakan intrusi massa yang relatif bergerak (*mobile*) terhadap strata di sekitarnya akibat adanya daya apung (*buoyancy*) dan perbedaan tekanan yang berlebihan (*oversaturated*) dan ketika massa yang mengintrusi tiba di permukaan, maka hal itu dikenal dengan sebutan *mud volcano* (Satyana, 2008).

#### **4.5 Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Dalam Pandangan Islam**

Al Quran adalah firman Allah SWT yang banyak mengandung pengetahuan. Isi kandungan al-Quran tidak hanya menjelaskan tentang muamalah manusia saja. Namun, dalam sejumlah ayatnya juga terdapat banyak kandungan ilmu pengetahuan yang bisa membuktikan kebenaran ilmiah yang baru bisa terungkap

dengan teknologi abad ke-20. Hal ini sebagai bukti kebesaran Allah SWT dan sebagai petunjuk kepada manusia dalam memanfaatkan apa yang diciptakan-Nya dengan bijaksana dengan tidak lupa mensyukurinya.

Dilihat dari hasil penelitian tergambar beberapa lapisan batuan penyusun struktur bawah permukaan daerah penelitian. Macam-macam batuan tersebut meliputi batu gamping atau batu kapur yang mengandung air asin, lempung dan lain sebagainya. Sesuai dengan firman Allah SWT dalam Surat 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 engkau melihat bahwa Allah menurunkan air dari langit lalu dengan air itu kami hasilkan 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. Fathir [35]:27).

Ayat ini melanjutkan uraian tentang bukti-bukti kuasa Allah SWT mengenai pergerakan lempeng tektonik. Kata (جُدُد) judad adalah bentuk jamak dari kata (جَدَّة) uddah yakni jalan. Kata (بَيْضٌ) bidh adalah bentuk jamak dari kata (أَبْيَضٌ) abyadh yang berarti putih, kata (سُود) sud adalah bentuk jamak dari kata (أَسْوَدٌ) aswad/hitam, dan kata (حُمْر) humur adalah bentuk jamak dari kata (أَحْمَرٌ) ahmar (merah). Adapun kata (غَرَابِيبٌ) gharabib adalah bentuk jamak dari kata (غَرِيبٌ) ghirbib yaitu yang pekat (sangat) hitam. Sebenarnya istilah yang lumrah dipakai adalah (سُود غَرَابِيبٌ) sud gharabib/hitam pekat, tetapi redaksi ayat ini membalikinya untuk menggambarkan kerasnya kepekatan itu.

Berdasarkan tafsir di atas, dapat diketahui bahwa suatu struktur lapisan bumi memiliki garis warna yang bermacam-macam. Warna lapisan yang bermacam-macam ini disebabkan karena adanya perbedaan materi-materi yang dikandung

oleh bebatuan lapisan itu. Warna hitam dan putih menunjukkan tingkat warna gelap hingga terang dan warna merah yang beraneka macam warnanya dapat diartikan dengan gradasi warna.



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian geomagnetik dapat disimpulkan beberapa hal terkait dengan semburan lumpur Bujel Tasek Lakek dan Bujel Tasek Binik di Desa Katal Barat Bangkalan Madura sebagai berikut:

1. Berdasarkan interpretasi kualitatif, pola kontur semburan Lumpur Bujel Tasek Lakek dan Lumpur Bujel Tasek Binik tergambar melalui pola anomali tinggi membentuk klosur tertutup pada area penelitian dan diinterpretasikan sebagai bodi lumpur.
2. Berdasarkan hasil interpretasi secara kuantitatif pada lintasan A-B, C-D dan E-D, kantong Lumpur Bujel Tasek Lakek dan Bujel Tasek Binik dapat dimodelkan dengan nilai suseptibilitas 0.0002 SI.

### **5.2 Saran**

Dalam penelitian geomagnetik ini banyak kekurangannya, diantaranya dalam pengambilan data lapangan memperoleh nilai medan magnet yang kecil dan terjadi error yang besar. Alangkah baiknya dilakukan penelitian ulang untuk memperkuat data geofisika yang sudah ada.

## DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, Richard, J. 1995. *Potensial Theory In Gravity And Magnetic Application*. New Jersey: Cambridge University Press.
- Bronto, S. 2008. *Tinjauan Geologi Gunung Api Jawa Barat Banten dan Aplikasinya*. Jurnal Geoaplikasi 47-61. Bandung: FITK & ITB.
- Burger, Henry Robert. 1992. *Exsploration Geophysics of The Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.
- Dimitrov, L.I. 2002. *Mud Volcanoes-The Most Important Pathway For Degassing Deeply Buried Sediments*. Eart-Science Reviews. 59, 49-76.
- Graue, K. 2000. *Mud Volcanoes In Deep Water Nigeria*. Marine And Petroleum Geology. 17, 959-974.
- Kalinko, M. 1964. *Mud Volcanoes, Their Distribution Regularities and Fading*. VNIGRI, v. 40, p. 30-54 (in Russian).
- Koesoemadinata, R. 2006. *Masalah Pembuangan Lumpur Lapindo Brantas*. [www.rovicky.wordpress.com](http://www.rovicky.wordpress.com). Diakses tanggal 3 januari 2007.
- Kurniati, Asih, Kharisma N., Aulia. 2008. *Buku Panduan Workshop Geofisika*. Malang: Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.
- Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G. G., Aloisi, G., Planke, S., Malthe-Serenssen, A., Istadi, B. 2007. *Triggering and dynamic evolution of LUSI mud volcano*. Indonesia: Earth Planet. Sci. Lett. Vol.261, h.375-388.
- Milkov, A. V. 2000. *Worldwide Distribution of Submarine Mud Volcanoes and Associated Gas Hydrates*. Marine Geology. h. 29-42.
- Munadi, Suprajitno. 2001. *Intrumentasi Geofisika. Program Studi Geofisika*. Depok : Jurusan Fisika FMIP, Universitas Indonesia.
- Musliki, S. 1991. *The effect of structural style to the hydrocarbon accumulation in the Northeast Java Basin*. Proceedings Indonesia Association of Geologists (IAGI), 20th Annual Convention, h.86-96.
- Purbo-Hadiwidjojo, M. M. 2013. *Kamus Geologi dan Ranah Rinangkun*. Bandung: Badan Geologi Bandung.

- Rubiandini, R, S. 2006. *Pembelajaran dari Erupsi Lumpur Di Sekitar Lokasi Sumur Banjarpanji*. Jakarta: Ikatan Ahli Geologi (IAGI).
- Sampurno, Joko. 2011. *Pendugaan Potensi Bijih Besi Di Desa Bulik Kecamatan Nanga Bulik Kab. Lamandau Kalimantan Tengah Dengan Metode Geomagnet*. Jurnal Positron, Vol. I.
- Sarkowi, Muh. 2010. *Buku Ajar Pengantar Teknik Geofisika*. Lampung: Universitas Lampung.
- Satyana, Awang Harun, Asnidar. 2008. *Mud Diapirs And Mud Vulcanoes In Deprissions Of Java To Madura Origins And Implications To Petroleum System*. Indonesian: In Proceedings Indonesian Petroleum Association Thirty-Second Annual Convention & Exhibition, May 2008. IPA08-G-139.
- Setiadi, I., Darmawan, A., Marjiyono. 2016. *Investigation of Subsurface Geological Structure in Sidoarjo Mud Vulcano Affected Area Based on Geomagnetik Data Analysis*. Bandung: Jakarta Selatan.
- Sharma, P. V. 1997. *Environmental and Engineering Geophysics*. New Yourk: Cambridge University Press.
- Sudarmaji, E. V. Budiadi. 2005. *Pengukuran Medan Magnetik Total Daerah Gedong Songo Dan Bawean, Ambarawa, Semarang Jawa Tengah*. Jurnal Fisika Indonesia No. 27 Volume IX Edisi Agustus 2000.
- Sukardi. 1992. *Geologi Lembar Surabaya & Sepulu, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi indonesia .
- Telfoldr, W. N., Gelderd, L. P., Sherrif, R. E., Keys, D. A. 1979. *Applied Geophysics*. New Yourk: Cambridge University Press.
- Telfoldr, M. W., Gerdart, L. P., Sheriff, R. E., Keys, D. A. 1990. *Applied Geophysics*. USA: Cambrige University Press.
- Untung, Mohammad. 2010. *Dasar-Dasar Magnet Dan Gaya Berat Serta Beberapa Penerapan*. Indonesia: Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia.
- Van Bemmelen, R. W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Nederland: Martinus Nyhoff & The Haque.
- Yusinov, Mehdi. 2004. *Thesis, Seismic Interpretation and Classification of Mud Volcanoes of The South Caspian Basin, Offshore*. Azerbaijan: Texaz A & M University.

Zaennudin, A., Badri, I., Padmawidjaja, T., Humaidah, H., Sutaningsing, N. E.  
2010. *Fenomena Geologi Semburan Lumpur Sidoarjo*. Bandung: Badan  
Geologi Bandung.



# LAMPIRAN



## Lampiran 1. Data penelitian

NO.	STASIUN	WAKTU	T	BUJUR	LINTANG	BUJUR (UTM)
1	base station	08.49	31740	112,94528	6,97581	714882,4073
2	1	10.34	38040	112,97304	6,99479	717941,6508
3	2	10.37	38220	112,97301	6,9946	717938,4235
4	3	10.39	38340	112,97283	6,99452	717918,5676
5	4	10.46	38760	112,97264	6,99444	717897,6066
6	5	10.49	38940	112,97265	6,99464	717898,619
7	6	11.00	39600	112,97265	6,99486	717898,5169
8	7	11.06	39960	112,97287	6,99493	717922,7981
9	8	11.09	40140	112,97303	6,99494	717940,4761
10	9	11.27	41220	112,97288	6,99542	717923,6759
11	10	11.31	41460	112,97277	6,99608	717911,2128
12	11	11.41	42060	112,97363	6,99514	718006,6932
13	12	11.50	42600	112,97363	6,99514	718006,6932
14	13	11.53	42780	112,9732	6,99484	717959,3103
15	base station	12.35	45300	112,94528	6,97581	714882,4073
16	base station	13.52	49920	112,94528	6,97581	714882,4073
17	14	14.33	52380	112,97272	6,9929	717907,1623
18	15	14.37	52620	112,9711	6,99237	717728,3705
19	16	14.54	53640	112,96963	6,99286	717565,6836
20	17	15.03	54180	112,96947	6,99275	717548,0519
21	18	15.04	54240	112,96925	6,99267	717523,7752
22	19	15.06	54360	112,9694	6,99248	717540,4407
23	20	15.13	54780	112,96956	6,99231	717558,2021
24	21	15.15	54900	112,96977	6,99235	717581,3922
25	22	15.18	55080	112,96992	6,99248	717597,9095
26	23	15.19	55140	112,96986	6,99278	717591,1396
27	24	15.21	55260	112,97092	6,99327	717708,0604
28	25	15.31	55860	112,97232	6,99379	717862,5428
29	26	15.53	57180	112,96958	6,99531	717559,023
30	27	16.37	59820	112,96791	6,99253	717375,7475
31	28	16.44	60240	112,96747	6,98817	717329,1364
32	29	16.50	60600	112,96877	6,98402	717474,7287
33	30	16.55	60900	112,96894	6,97869	717495,9804
34	31	17.02	61320	112,97389	6,99337	718036,2491
35	base station	17.25	62700	112,94528	6,97581	714882,4073
36	base station	07.40	27600	112,94528	6,97581	714882,4073
37	32	09.28	34080	112,97671	6,9944	718347,4284
38	33	09.37	34620	112,976	6,99677	718267,8599
39	34	09.47	35220	112,97502	6,99545	718160,1672
40	35	09.55	35700	112,97373	6,99222	718019,1001

41	36	10.35	38100	112,97524	6,98924	718187,3647
42	37	10.41	38460	112,97526	6,98554	718191,2922
43	38	10.47	38820	112,97281	6,98186	717922,2259
44	39	10.55	39300	112,97145	6,97779	717773,8024
45	40	11.04	39840	112,96378	6,98477	716922,8947
46	41	11.18	40680	112,9706	6,99701	717670,9615
47	42	11.38	41880	112,97684	6,99851	718359,8843
48	43	11.41	42060	112,98138	6,99979	718861,0305
49	44	11.51	42660	112,98747	7,00184	719533,1147
50	45	12.01	43260	112,9803	6,99658	718743,1691
51	46	12.11	43860	112,97974	6,99345	718682,7372
52	47	12.17	44220	112,98272	6,99023	719013,5801
53	48	12.25	44700	112,98325	6,98577	719074,2331
54	49	14.29	52140	112,9879	6,98294	719589,47
55	50	14.35	52500	112,96801	7,00243	717382,2152
56	51	15.01	54060	112,97406	7,00963	718047,4806
57	52	15.07	54420	112,9804	7,01405	718746,0715
58	53	15.16	54960	112,96172	6,99822	716689,0245
59	54	15.27	55620	112,95869	6,99387	716356,1685
60	55	15.36	56160	112,96006	6,98734	716510,5837
61	56	15.49	56940	112,95674	6,99763	716138,9321
62	57	16.37	59820	112,95042	6,99444	715441,943
63	58	16.42	60120	112,94284	6,99236	714605,1899
64	59	16.49	60540	112,94458	6,98824	714799,3695
65	60	16.56	60960	112,94296	6,98133	714623,4862
66	base station	17.19	62340	112,94528	6,97581	714882,4073

LINTANG (UTM)	KETINGGIAN	Pembacaan PPM	NOISE	KOREKSI DIURNAL	IGRF	H TOTAL
10771515,14	243	30845,2	8,198		44428,7	
10773627,28	380	11080,5	33,321	-7153,380531	44428,7	-26194,81947
10773606,25	373	16159,8	19,769	-7357,762832	44428,7	-20911,13717
10773597,31	361	18575,7	21,21	-7494,017699	44428,7	-18358,9823
10773588,38	378	17258,3	22,05	-7970,909735	44428,7	-19199,49027
10773610,5	381	18024,3	14,576	-8175,292035	44428,7	-18229,10796
10773634,84	380	15213,1	17,82969	-8924,693805	44428,7	-20290,90619
10773642,68	375	17152,2	18,88169	-9333,458407	44428,7	-17943,04159
10773643,86	367	10973,6	27,95669	-9537,840708	44428,7	-23917,25929
10773696,89	405	10714,9	25,8689	-10764,13451	44428,7	-22949,66549
10773769,84	398	17591,7	21,518	-11036,64425	44428,7	-15800,35575
10773666,26	384	15492,6	18,6812	-11717,91858	44428,7	-17218,18142
10773666,26	387	22209,6	23,9022	-12331,06549	44428,7	-9888,034513
10773632,88	234	16390,3	19,3072	-12535,44779	44428,7	-15502,95221

10771515,14	243	15448,4	18,08		44428,7	
10771515,14	243	15989,7	19,557		44428,7	
10773418,07	358	15681,2	18,938	780,7901408	44428,7	-29528,29014
10773358,7	356	10833,6	29,0215	856,9647887	44428,7	-34452,06479
10773412,22	352	22804	23,625	1180,707042	44428,7	-22805,40704
10773399,98	344	15988,1	19,734	1352,1	44428,7	-29792,7
10773391,03	338	16049,8	19,92	1371,143662	44428,7	-29750,04366
10773370,08	336	15321,9	18,7065	1409,230986	44428,7	-30516,03099
10773351,35	308	15165,7	19,14	1542,53662	44428,7	-30805,53662
10773355,87	334	15260,3	19,03	1580,623944	44428,7	-30749,02394
10773370,32	335	15260,3	18,04	1637,75493	44428,7	-30806,15493
10773403,48	328	22866,4	18,847	1656,798592	44428,7	-23219,09859
10773458,17	341	20443,8	21,7591	1694,885915	44428,7	-25679,78592
10773516,33	329	16060,8	17,2801	1885,322535	44428,7	-30253,22254
10773683,19	346	24920,2	25,445	2304,283099	44428,7	-21812,7831
10773374,92	416	31346,8	13,97	3142,204225	44428,7	-16224,10423
10772892,46	316	15515,74	17,34	3275,509859	44428,7	-32188,46986
10772434,02	322	16928,6	5,861	3389,771831	44428,7	-30889,87183
10771844,55	307	21986,8	16,69	3484,990141	44428,7	-25926,89014
10773470,6	267	28730,2	24,817	3618,295775	44428,7	-19316,79577
10771515,14	243	20046	13,205		44428,7	
10771515,14	243	14123,8	0,0053		44428,7	
10773585,84	415	11096,9	31,252	990,4849741	44428,7	-34322,28497
10773847,66	416	8884,8	46,175	1073,025389	44428,7	-36616,92539
10773701,2	395	8054,5	98,021	1164,73696	44428,7	-37538,93696
10773343,33	362	7839,6	69,166	1238,106218	44428,7	-37827,20622
10773014,41	306	1728,5	16,954	1604,952504	44428,7	-44305,1525
10772605,15	309	9050,6	54,581	1659,979447	44428,7	-37038,07945
10772196,97	262	7545,2	46,0681	1715,00639	44428,7	-38598,50639
10771746,16	224	6758,2	56,878	1788,375648	44428,7	-39458,87565
10772514,68	263	7525,1	50,195	1870,916062	44428,7	-38774,51606
10773871,7	402	8923,7	45,0169	1999,312263	44428,7	-37504,31226
10774040,51	336	20250,3	22,739	2182,735406	44428,7	-26361,13541
10774184,21	338	16726,5	21,318	2210,248877	44428,7	-29912,44888
10774413,8	306	22105,5	14,8164	2301,960449	44428,7	-24625,16045
10773828,64	322	21320,6	19,1764	2393,672021	44428,7	-25501,77202
10773482,17	399	8687,6	42,8649	2485,383592	44428,7	-38226,48359
10773127,39	362	9051	55,2192	2540,410535	44428,7	-37918,11054
10772634,31	410	10756,8	34,386	2613,779793	44428,7	-36285,67979
10772323,44	476	21864,3	10,522	3751,003282	44428,7	-26315,40328
10774470,01	370	4071,2	34,562	3806,030225	44428,7	-44163,53022
10775269,22	324	16472,9	6,166	4044,480311	44428,7	-32000,28031
10775761,07	280	24120,6	16,494	4099,507254	44428,7	-24407,60725

10774001,44	399	10730,3	30,4922	4182,047668	44428,7	-37880,44767
10773518,89	323	24521,3	9,262	4282,930397	44428,7	-24190,3304
10772797,23	298	15703,6	18,983	4365,470812	44428,7	-33090,57081
10773933,88	341	15359,3	17,72	4484,695855	44428,7	-33554,09585
10773578,14	333	10917,5	35,3872	4924,911399	44428,7	-38436,1114
10773344,6	281	15091,5	19,523	4970,767185	44428,7	-34307,96718
10772889,69	280	16883,4	20,566	5034,965285	44428,7	-32580,26528
10772124,64	262	10966	31,967	5099,163385	44428,7	-38561,86339
10771515,14	243	19433,9	20,1481		44428,7	

