

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN LOKASI SEMBURAN  
LUMPUR (*MUD VOLCANO*) MENGGUNAKAN METODE GRAVITASI  
(Studi Kasus Desa Jari Kecamatan Gondang Kabupaten Bojonegoro)**

**SKRIPSI**

Oleh:

**FAHRURRIJAL AZIS**

**NIM. 13640052**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2018**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN LOKASI SEMBURAN  
LUMPUR (*MUD VOLCANO*) MENGGUNAKAN METODE GRAVITASI  
(Studi Kasus Desa Jari, Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro)**

**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:

**FAHRURRIJAL AZIS  
NIM. 13640052**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2018**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN LOKASI SEMBURAN  
LUMPUR (*MUD VOLCANO*) MENGGUNAKAN METODE GRAVITASI  
(Studi kasus Desa Jari, Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro)**

SKRIPSI

Oleh:

Fahrurrijal Azis  
NIM. 13640052

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Pada Tanggal ..... 2018

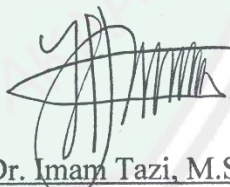
Pembimbing I,



Irjan, M.Si

NIP. 19691231 200604 1 003

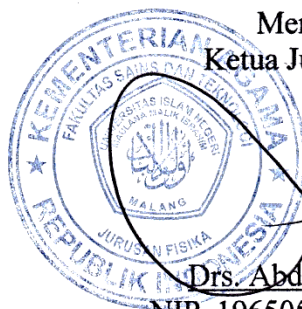
Pembimbing II,



Dr. Imam Tazi, M.Si

NIP. 19740730 200312 1 002

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



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

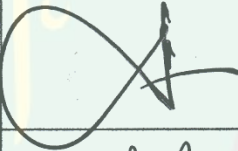
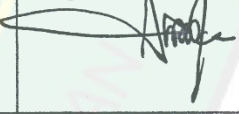


## HALAMAN PENGESAHAN

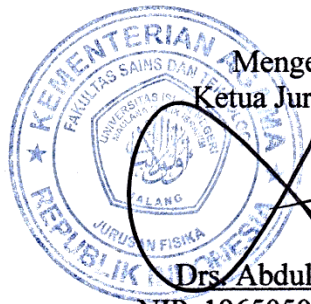
IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN LOKASI SEMBURAN  
LUMPUR (*MUD VOLCANO*) MENGGUNAKAN METODE GRAVITASI  
(Studi kasus Desa Jari, Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro)

SKRIPSI

Oleh:  
Fahrurrijal Azis  
NIM. 13640052

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan  
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 27 Maret 2018

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. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	



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 : Fahrurrijal Azis  
NIM : 13640052  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Penelitian : Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Lokasi Semburan Lumpur (*Mud Volcano*) Menggunakan Metode Gravitasi (Studi Kasus Desa Jari, Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang telah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang dikutip dalam naskah dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur penjiplakan, maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan serta menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Malang, 28 april 2018

Yang membuat pernyataan,



Fahrurrijal Azis

NIM. 13640052



## MOTTO

Ikhtiyar, sabar, ikhlas, tawakkal, bersyukur dan terus berdo'a.

Seorang hamba tidak sedikitpun memiliki kuasa atas apa yang telah diusahakannya, semua adalah kehendak Allah SWT



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Sang Maha Pengasih dan Penyayang Allah SWT.
- ❖ Nabi Muhammad SAW.
- ❖ Orang tua saya tercinta, Bapak Imam Husein dan Ibu Salhah
- ❖ Saudari dan saudara saya yang saya sayangi, Siti Aisyah, Amalah, Khoirus Salam dan Syarif Hidayatullah.
- ❖ Keluarga Besar Bani Thahir.
- ❖ Sahabat saya Alm. Luqman Yusuf.
- ❖ Seluruh dosen Jurusan Fisika UIN Mulana Malik Ibrahim Malang yang telah sudi meluangkan waktunya untuk membimbing saya mulai dari awal masuk perkuliahan hingga saat ini.

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah Swt yang telah memberikan segala rahmat dan nikmat-Nya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, sehingga penulis dapat mengerjakan skripsi yang berjudul **“Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Lokasi Semburan Lumpur (*Mud Volcano*) Menggunakan Metode Gravitasi (Studi Kasus Desa Jari Kecamatan Gondang Kabupaten Bojonegoro)”** dengan baik. Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita pada zaman yang terang benderang dengan agama islam. Penulis menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Lokasi Semburan Lumpur (*Mud Volcano*) Menggunakan Metode Gravitasi (Studi Kasus Desa Jari Kecamatan Gondang Kabupaten Bojonegoro)”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Ucapan terima kasih yang mendalam kami sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
2. Dr. Sri Harini M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Irjan, M. Si. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, pengarahan, saran dan motivasi dalam penulisan skripsi.
5. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Dosen Pembimbing Integrasi yang memberikan bimbingan integrasi dan motivasi dalam penulisan skripsi.
6. Seluruh dosen Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah berkenan mendidik dan membimbing saya.
7. Kawan-kawan geofisika seluruh angkatan yang telah membantu pengambilan data maupun pengolahannya,



8. Kawan saya Alm. Luqman Yusuf. Semoga jiwa, beserta segala kebaikan dan amal shalihnya senantiasa diterima di sisi Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Amin ya Robbal ‘alamin
9. Kawan-kawan seperjuangan di fisika Expop-B yang telah memberikan dukungan moral dan semangat.
10. Staf administrasi serta laboran yang membantu memperlancar penyelesaian skripsi.
11. Teristimewa orang tua saya, saudara-saudariku, serta keluarga Bani Thahir tercinta yang telah memberikan kepercayaan untuk menuntut ilmu serta melimpahkan kasih sayang kepada saya.
12. Seluruh rekan seperjuangan Fisika angkatan 2013 yang saya banggakan.
13. Seluruh pihak yang telah membantu saya dalam penyelesaian skripsi.

Terlepas dari hal itu, kami menyadari bahwa masih ada kekurangan baik dari segi susunan kalimat maupun tata bahasa. Oleh karena itu, kami menerima segala kritik dan saran demi tersusunnya proposal skripsi ini dengan benar.

Akhir kata, kami berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan inspirasi bagi pembaca.

Malang, 28 April 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGANTAR</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</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
<b>المخلص</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II KAJIAN TEORI</b>	
2.1 Mud Volcano .....	5
2.1.1 Pengertian <i>Mud Volcano</i> .....	5
2.1.2 Proses Terbentuknya <i>Mud Volcano</i> .....	6
2.1.3 Faktor Penyebab Keluarnya Lumpur .....	8
2.1.4 Macam-Macam <i>Mud Volcano</i> .....	11
2.2 Prinsip Gravitasi .....	12
2.2.1 Teori Gravitasi Newton .....	12
2.2.2 Metode Gravitasi .....	13
2.2.3 Gravimeter LaCoste & Romberg .....	13
2.2.4 Potensial Gravitasi .....	16
2.2.5 Rapat Massa Batuan .....	16
2.2.6 Koreksi Dalam Metode Gravitasi .....	18
A. Konversi Skala Pembacaan .....	18
B. Koreksi Pasang Surut ( <i>Tidal Correction</i> ) .....	18
C. Koreksi Apungan ( <i>Drift correction</i> ) .....	19
D. Koreksi Gravitasi Normal ( $g_n$ ) .....	19
E. Koreksi Udara Bebas ( <i>Free Air Correction</i> ) .....	20
F. Koreksi Bouguer ( <i>Bouguer Correction</i> ) .....	21
G. Koreksi Medan ( <i>Terrain Correction</i> ) .....	22
H. Anomali Bouguer .....	23
2.3 Reduksi bidang datar .....	24
2.4 Kontinuasi ke Atas ( <i>Upward Continuation</i> ) .....	25
2.5 Geologi daerah penelitian .....	26

2.5.1 Stratigrafi.....	29
2.5.2 Struktur.....	31
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	33
3.2 Data Penelitian .....	34
3.3 Peralatan Penelitian .....	34
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	34
3.4.1 Akuisisi Data .....	35
3.4.2 Pengolahan Data.....	36
3.4.3 Interpretasi.....	41
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Akuisisi Data.....	43
4.2 Pengolahan Data.....	44
4.2.1 Koreksi Awal.....	44
4.2.2 Medan Gravitasi Observasi (g Obs) .....	45
4.2.2 Medan Gravitasi Normal (Koreksi Lintang) .....	46
4.2.3 Koreksi Udara Bebas ( <i>Free Air Correction</i> ).....	47
4.2.4 Koreksi Bouguer .....	48
4.2.5 Koreksi Medan .....	49
4.2.6 Reduksi ke bidang datar .....	50
4.3 Interpretasi Kualitatif .....	52
4.4 Interpretasi Kuantitatif .....	55
4.4.1 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan A-A' .....	57
4.4.2 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan B-B' .....	58
4.4.3 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan C-C' .....	60
4.3.4 Model Penampang 3 Dimensi .....	61
4.5 Kajian Al-Qur'an .....	65
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	67
5.2 Saran.....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses terjadinya semburan lumpur .....	7
Gambar 2.2	Peta persebaran gempa bumi area penelitian .....	10
Gambar 2.3	Desain Gravimeter LaCoste & Romberg (disederhanakan).....	14
Gambar 2.4	Gerakan <i>zero-length springs</i> dalam gravimeter .....	15
Gambar 2.5	Pendekatan Bouguer untuk massa di atas permukaan laut.....	21
Gambar 2.6	Model <i>Hammer Chart</i> untuk koreksi medan.....	23
Gambar 2.7	Sumber ekuivalen titik massa.....	25
Gambar 2.8	Peta geologi daerah penelitian berdasarkan peta geologi regional lembar Bojonegoro .....	27
Gambar 3.1	Lokasi penelitian .....	33
Gambar 3.2	Diagram alir penelitian .....	42
Gambar 4.1	Kontur topografi dan posisi titik pengukuran.....	44
Gambar 4.2	Kontur medan gravitasi observasi .....	45
Gambar 4.3	Kontur anomali medan gravitasi hasil koreksi lintang.....	46
Gambar 4.4	Kontur anomali udara bebas .....	47
Gambar 4.5	Kontur anomali Bouguer sederhana .....	48
Gambar 4.6	Kontur anomali Bouguer lengkap .....	50
Gambar 4.7	Kontur anomali Bouguer lengkap setelah direduksi ke bidang datar .....	51
Gambar 4.8	Kontur anomali regional hasil kontinuitas ke atas .....	53
Gambar 4.9	Kontur anomali lokal pada area penelitian.....	54
Gambar 4.10	Sayatan A-A', B-B' dan C-C' pada kontur anomali lokal .....	56
Gambar 4.11	Model 2D bawah permukaan sayatan A-A' .....	57
Gambar 4.12	Model 2D bawah permukaan sayatan B-B' .....	59
Gambar 4.13	Model 2D bawah permukaan sayatan C-C' .....	60
Gambar 4.14	Model 3D penampang A-A', B-B', dan C-C' .....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Densitas Batuan.....	17
Tabel 3.1 Konversi harga pembacaan. ....	37





## DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1 Data lapangan dan hasil pengolahan
- LAMPIRAN 2 Dokumentasi kegiatan akuisisi data di lapangan
- LAMPIRAN 3 Bukti konsultasi skripsi



## ABSTRAK

Azis, Fahrurrijal. 2017. Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Lokasi Semburan Lumpur (*Mud Volcano*) Menggunakan Metode Gravitasi (Studi Kasus Desa Jari, Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro). Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Irjan, M.Si. (II) Dr. Imam Tazi, M.Si.

**Kata Kunci:** Metode Gravitasi, Lumpur, Densitas, anomali lokal, interpretasi kualitatif, interpretasi kuantitatif

Penelitian geofisika dengan metode gravitasi telah dilakukan pada area semburan lumpur (*mud volcano*) di Desa Jari, Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro menggunakan gravimeter LaCoste & Romberg tipe G-1053. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur geologi di bawah permukaan pada area penelitian dan mengetahui geometri kantong lumpur pada area penelitian penelitian berdasarkan metode gravitasi. Data yang diperoleh sebanyak 30 titik pada luasan area  $\pm 1 \text{ km}^2$ . Pengambilan data dilakukan dengan jalur melingkar dengan titik semburan lumpur sebagai pusatnya. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan menggunakan *Software Surfer* dan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menggunakan *Software Grav2DC*. Hasil penelitian menunjukkan nilai anomali lokal pada area penelitian berada pada rentang -6 mGal hingga 5,5 mGal. Struktur bawah permukaan area penelitian merupakan antiklin yang secara umum tersusun oleh breksi tuf dan breksi andesit, napal, batu pasir tufaan, lempung dan tuf napal. Keberadaan badan lumpur di bawah permukaan ditunjukkan dengan pola klosur anomali lokal tinggi pada tengah mengarah ke barat daya peta. Sedangkan hasil pemodelan 2D bawah permukaan menunjukkan badan lumpur berada pada kedalaman  $\pm 250 \text{ m}$ , ketebalan  $\pm 500 \text{ m}$ , dan panjang horizontal  $\pm 100 \text{ m}$  dengan densitas badan lumpur  $2,6 \text{ g/cm}^3$ .

## ABSTRACT

Azis, Fahrurrijal. 2017. Identification of Subsurface Structure of Mud Volcano Spout Location Using Gravity Method (Case Study Jari Village, Gondang Sub-District, Bojonegoro District). Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Irjan, M.Si. (II) Dr. Imam Tazi, M.Si.

---

**Key Word:** Gravity method, Mud, Density, Local anomaly, Qualitative, Quantitative

Geophysical study with gravity method conducted in mud volcanic area (mud volcano) in Jari Village, Gondang Sub-District, Bojonegoro District using gravimeter La Coste & Romberg type G-1053. This study aims to determine the geological structure beneath the surface of the research area and to find out the geometry of the mud pouch on the research area based on the gravity method. The data obtained 30 points in the area of  $\pm 1$  km<sup>2</sup>. The data collection was done with a circular path with the point of the mudflow as its center. Qualitative interpretation was processed using *Surfer* Software and quantitative interpretation was processed using *Grav2DC* Software. The results showed that the local anomaly value in the study area was in the range of -6 mGal to 5.5 mGal. The subsurface structure of the study area was an anticline that generally composes of tuff-breccia, andesitic breccia, marl, tuffaceous sandstone, clay, and tuff marl. The existence of a subsurface mud body indicated by a high and closed pattern local anomaly at the center pointing to the southwest of the map. Moreover the 2D subsurface modeling results show the mud body at a depth of  $\pm 250$  m, thickness  $\pm 500$  m, and horizontal length  $\pm 100$  m with a density of 2.6 g/cm<sup>3</sup>.

## المخلص

عزيز، فخر الرجال. 2018. تحديد الهيكل تحت السطحية الموقع على بركان الطين (*Mud Volcano*) باستخدام طريقة الجاذبية (دراسة حالة في قرية جاري، كوندانج، بوجونيكورو). البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرف: (I) إرجان الماجستير. (II) والدكتور إمام تازي الماجستير

الكلمات الرئيسية: طريقة الجاذبية، الطين، الكثافة، الشذوذ المحلي، التفسير الكيفي، التفسير الكمي

قد أجرى البحث الفيزياء والجغرافية مع طريقة الجاذبية في منطقة بركان الطين (*mud volcano*) في قرية جاري، كوندانج، بوجونيكورو باستخدام الجاذبية المتر لا كوستي و روميرغ للنوع G-1053. يهدف هذا البحث إلى تحديد الهيكل العلوم الجغرافية تحت السطحية في مجال البحث ومعرفة هندسة الجيوب الطينية في مجال البحث على أساس طريقة الجاذبية. البيانات التي حصلت عليها بقدر 30 نقاط على مساحة  $\pm 1 \text{ km}^2$ . تم جمع البيانات مع مسار دائري مع نقاط التدفق الطيني كمركزها. استخدم التفسير النوعي باستخدام برنامج Software Surfer والتفسير الكمي باستخدام برنامج Software Grav2DC. دلت النتائج البحث أن القيمة الشاذة المحلية في منطقة البحث هي في نطاق -6 mGal إلى 5,5 mGal. الهيكل تحت السطحية البحث الطية المحدبة التي تتألف عمومًا من البريشيا الطاف ويريستيا أندسيت، نافال، حجارة رملية طوفان، طين و طاف نافال. يشير وجود طيني تحت السطح مع نمط كلسور الشذوذ المحلي العال في المركز يشير إلى الجنوب الغربي في الخريطة. تدل نتائج النمذجة الثنائية الأبعاد (2D) تحت السطحية الطين في عمق  $\pm 250 \text{ m}$ ، وسمك  $\pm 500 \text{ m}$ ، وطول أفقي  $\pm 100 \text{ m}$  مع كثافة يعني  $6,2 \text{ gram/cm}^3$ .

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

*Mud volcanoes* atau gunung lumpur merupakan suatu fenomena ekstrusi cairan seperti hidrokarbon dan gas seperti methane. Ekstrusi yang dimaksud disini adalah aktivitas gerakan cairan untuk mencapai permukaan melewati celah-celah batuan. Material yang dikeluarkan *Mud Volcano* berupa butiran sangat halus yang tersuspensi dalam cairan, seperti air atau hidrokarbon. Gas yang diproduksi gunung api lumpur umumnya adalah metana, dengan sedikit kandungan karbondioksida dan nitrogen (Lopes, 2010).

Pada bulan April tahun 2016 terjadi fenomena alam berupa semburan lumpur bercampur gas (*mud volcano*) yang masih berlangsung hingga saat ini di Desa Jari Kecamatan Gondang Kabupaten Bojonegoro. Semburan lumpur bercampur gas ini terjadi bersamaan dengan ledakan yang disusul dengan gempa berkekuatan sedang menguncang desa setempat. Pihak Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kabupaten Bojonegoro menduga semburan lumpur tersebut terjadi akibat aktivitas gas alam, karena wilayah kabupaten bojonegoro kaya akan hasil alam berupa minyak dan gas. Keluarnya material lumpur yang terus menerus dari dalam perut bumi akan meninggalkan rongga di bawah permukaan, sehingga memungkinkan terjadinya bencana alam berupa amblesnya permukaan tanah.

Melihat fenomena tersebut, maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengeksplorasi lokasi semburan lumpur sehingga nantinya dapat diketahui bagaimana struktur bawah permukaan dari lokasi semburan lumpur tersebut, serta dapat diperkirakan geometri dari sumber lumpur di bawah permukaan tanah.



Petunjuk untuk melakukan eksplorasi telah tersirat dalam ayat suci Al-Qur'an.

Sebagaimana firman Allah dalam surat ar-Rahman ayat 33:

يَمَعَشَرَ الْجِنِّ وَالْإِنْسِ إِنَّ اسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ فَانْفُذُوا لَا تَنْفُذُونَ إِلَّا بِسُلْطَنِ ۖ

*“Hai jama'ah jin dan manusia, jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit dan bumi, maka lintasilah, kamu tidak dapat menembusnya kecuali dengan kekuatan.” (Ar Rahman: 33).*

Ayat di atas memberikan pemahaman bahwa sebagai hamba Allah, manusia telah diberikan kesempatan melakukan eksplorasi untuk mengetahui apa yang ada di langit maupun di bumi. Namun untuk dapat melakukan hal tersebut diperlukan kekuatan. Kekuatan yang di maksud dapat berupa ilmu pengetahuan memadai yang telah dimiliki oleh manusia (Purwanto, 2015).

Manusia juga telah diberikan keleluasaan dalam mempelajari dan mengeksplorasi apa yang ada di alam ini sebagaimana firman Allah dalam surat Luqman ayat 20:

أَلَمْ تَرَوْا أَنَّ اللَّهَ سَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ وَأَسْبَغَ عَلَيْكُمْ نِعْمَهُ ظَهْرَةً وَبَاطِنَةً ۗ وَمِنَ النَّاسِ مَن يُجَادِلُ فِي اللَّهِ بِغَيْرِ عِلْمٍ وَلَا هُدًى وَلَا كِتَابٍ مُّنِيرٍ ۖ

*“Tidakkah kamu perhatikan sesungguhnya Allah telah menundukkan untuk (kepentingan)mu apa yang di langit dan apa yang di bumi dan menyempurnakan untukmu nikmat-Nya lahir dan batin. Dan di antara manusia ada yang membantah tentang (keesaan) Allah tanpa ilmu pengetahuan atau petunjuk dan tanpa Kitab yang memberi penerangan.” (Luqman: 20).*

Dari ayat di atas dapat dipahami bahwa apa yang ada di langit maupun di bumi telah ditundukkan untuk manusia, sehingga melalui petunjuk dan izin Allah SWT

manusia dapat mengambil manfaat dan ilmu pengetahuan dari apa yang ada di alam ini untuk kepentingan manusia maupun kepentingan alam (Purwanto, 2015).

Dalam bidang geofisika terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk tujuan eksplorasi bumi, salah satunya ialah metode gravitasi. Metode gravitasi merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika pasif yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan tanah. Metode ini memanfaatkan perbedaan nilai medan gravitasi akibat perbedaan densitas batuan di bawah permukaan. Variasi nilai medan gravitasi ini kemudian dipetakan distribusinya. Metode ini cukup baik digunakan pada tahapan eksplorasi pendahuluan guna menentukan daerah spesifik yang selanjutnya akan disurvei dengan menggunakan metode-metode geofisika yang lebih detail.

Wen-Bin Doo dkk (2015) dalam penelitiannya dengan menggunakan metode gravitasi dapat memodelkan diapir lumpur (*mud volcano*) di bawah permukaan berdasarkan nilai anomali lokal yang diindikasikan dengan nilai anomali tinggi dengan hasil pemodelan menunjukkan nilai densitas badan diapir lumpur lebih tinggi dibandingkan batuan disekitarnya.

Berdasarkan hal-hal di atas penulis bermaksud untuk melakukan penelitian berjudul “Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Lokasi Semburan Lumpur (*Mud Volcano*) Menggunakan Metode Gravitasi (Studi kasus Desa Jari, Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro)”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana struktur geologi di bawah permukaan pada area penelitian berdasarkan metode gravitasi?

2. Bagaimana geometri kantong lumpur di bawah permukaan pada area penelitian?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui struktur geologi di bawah permukaan pada area penelitian berdasarkan metode gravitasi.
2. Untuk mengetahui geometri kantong lumpur di bawah permukaan pada area penelitian.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi kepada *Stakeholder* (pemangku kepentingan) tentang seberapa besar kantong lumpur di bawah permukaan pada lokasi penelitian.
2. Penelitian ini dapat digunakan oleh badan penanggulangan bencana setempat sebagai acuan pengambilan keputusan untuk mitigasi bencana yang mungkin ditimbulkan oleh adanya semburan lumpur.
3. Memberikan pengetahuan tentang teknik dan aplikasi metode gravitasi.

### **1.5 Batasan Masalah**

1. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode gravitasi.
2. Instrumen yang digunakan dalam penelitian adalah Gravimeter LaCoste & Romberg.
3. Luasan area penelitian kurang lebih  $1 \text{ km}^2$  (batas utara  $7,4100333^\circ \text{ LS}$ , batas selatan  $7,4178333^\circ \text{ LS}$ , batas barat  $111,7974167^\circ \text{ BT}$  dan batas timur  $111,8057000^\circ \text{ BT}$ ).

## **BAB II KAJIAN TEORI**

### **2.1 Mud Volcano**

#### **2.1.1 Pengertian *Mud Volcano***

Gunung lumpur atau *mud volcano* merupakan fenomena geologis yang muncul sebagai akibat semburan material lumpur ke permukaan bumi. Material lumpur berupa lempung bertekanan tinggi terdorong keluar ke permukaan melalui rekahan (Ranjbaran dan Sotohian, 2016).

Biasanya reservoir batuan yang didiami oleh fluida berupa lumpur adalah batuan gamping pada kedalaman lebih dari 3000 m di bawah permukaan, selain itu juga didiami oleh garam, sehingga memungkinkan terjadinya kubah garam (*salt dome*), diapir (intrusi atau penerobosan batuan karena tekanan melalui rekahan) 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 (Mazzini dkk, 2007).

Istilah *mud volcano* mengacu pada bentuk kerucut vulkanik yang terbentuk secara alami dengan secara geologis mengekstrusi sedimen cair dan fragmen berukuran tanah liat, cairan dan padatan. Bahan yang sering dilontarkan adalah bubur lumpur dari padatan halus yang tersuspensi dalam cairan yang mungkin termasuk air dan hidrokarbon. Sebagian besar gas yang dilepaskan adalah metana, dengan beberapa karbon dioksida dan nitrogen. *Mud volcano* terbentuk oleh diapir lumpur bertekanan yang menembus permukaan bumi atau dasar laut. *Mud volcano*

paling banyak berada di daerah dengan laju sedimentasi yang cepat, tektonik tekan aktif, dan pembentukan hidrokarbon di kedalaman. Biasanya mereka juga ditemukan di zona subduksi tektonik, baji akustik, margin pasif dalam sistem delta dan di daerah hidrotermal aktif, daerah tektonik yang saling bertabrakan, sabuk konvergen orogenik dan sistem sesar aktif, dan sumbu antiklin. Struktur ini bertindak sebagai jalur preferensial untuk cairan formasi dalam untuk mencapai permukaan. (Wen-Bin Doo, 2015).

### **2.1.2 Proses Terbentuknya *Mud Volcano***

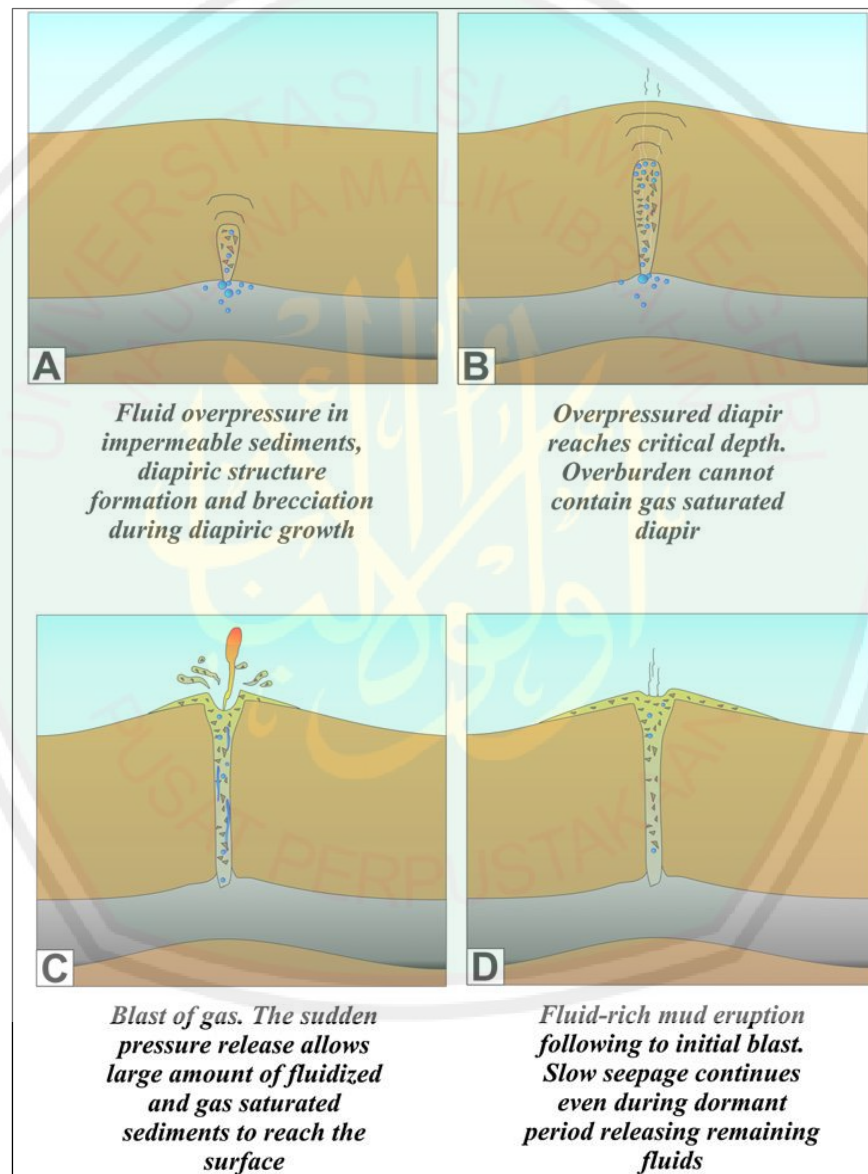
*Mud volcano* terbentuk karena gas alam yang naik ke permukaan ketika menemukan konduit (sesar mendatar yang tegak) dan membawa lumpur (*mud*). Lumpur, gas, batuan, belerang dan garam (di wilayah kering) serta air akan diletuskan di permukaan membentuk kerucut seperti gunung. Proses sedimentasinya dalam skala yang lebih kecil tetapi dalam gerakan yang lebih cepat (Badan Lingkungan Hidup Surabaya, 2012).

Lumpur keluar bercampur dengan air dan gas dari bawah permukaan melalui bidang lemah yang dapat berupa suatu patahan atau rekahan karena adanya tekanan. Gunung lumpur umumnya terjadi pada jalur patahan aktif di batas zona konvergen (Milkov, 2000: Al Firman, 2015).

Ada pula 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 perbedaan tekanan berlebihan (*oversaturated*) dan



ketika massa yang mengintrusi sampai di permukaan, maka fenomena inilah yang dikenal dengan sebutan gunung lumpur (*mud volcano*) (Satyana dan Asnidar, 2001).



Gambar 2.1 Proses terjadinya semburan lumpur (Mazzini, 2009)

Gerakan tektonik dan sedimen yang diendapkan berperan pada pembentukan *mud volcano*. Wilayah sesar mendatar aktif merupakan lahan subur

*mud volcano*. Komposisi dari *mud* terdiri dari berbagai fase yakni, padat, plastis, cair, dan gas. Bahan-bahan yang dibawa berupa batu-batu, lumpur, belerang, garam, dan gas dari dalam membentuk kolom vertikal. Keberadaan *mud volcano* (gunung lumpur) berhubungan dengan minyak dan gas bumi, struktur patahan, potensi bencana, kealamian, dan pemandangan yang menarik. Di Pulau Jawa terdapat 14 *mud volcano*, dan 12 diantaranya terdapat di Jawa Timur dengan lima titik tersebar di sekitar patahan Watu Kosek. *Mud volcano* yang berada di patahan Watu Kosek adalah Lumpur Sidoarjo, Porong, Pulungan, Kalang Anyar, Gunung Anyar, dan Socah. Dari lima titik *mud volcano* yang terdapat di patahan Watu Kosek, yang berpotensi bencana adalah Lumpur Sidoarjo dan *mud volcano* Gunung Anyar Surabaya. *Mud volcano* tersebut dikatakan memiliki potensi bencana karena terletak pada pemukiman padat penduduk. Untuk mengetahui kemungkinan potensi bencananya, diperlukan karakterisasi patahan Watu Kosek dan *mud volcano* Gunung Anyar Surabaya (Badan Lingkungan Hidup Surabaya, 2012).

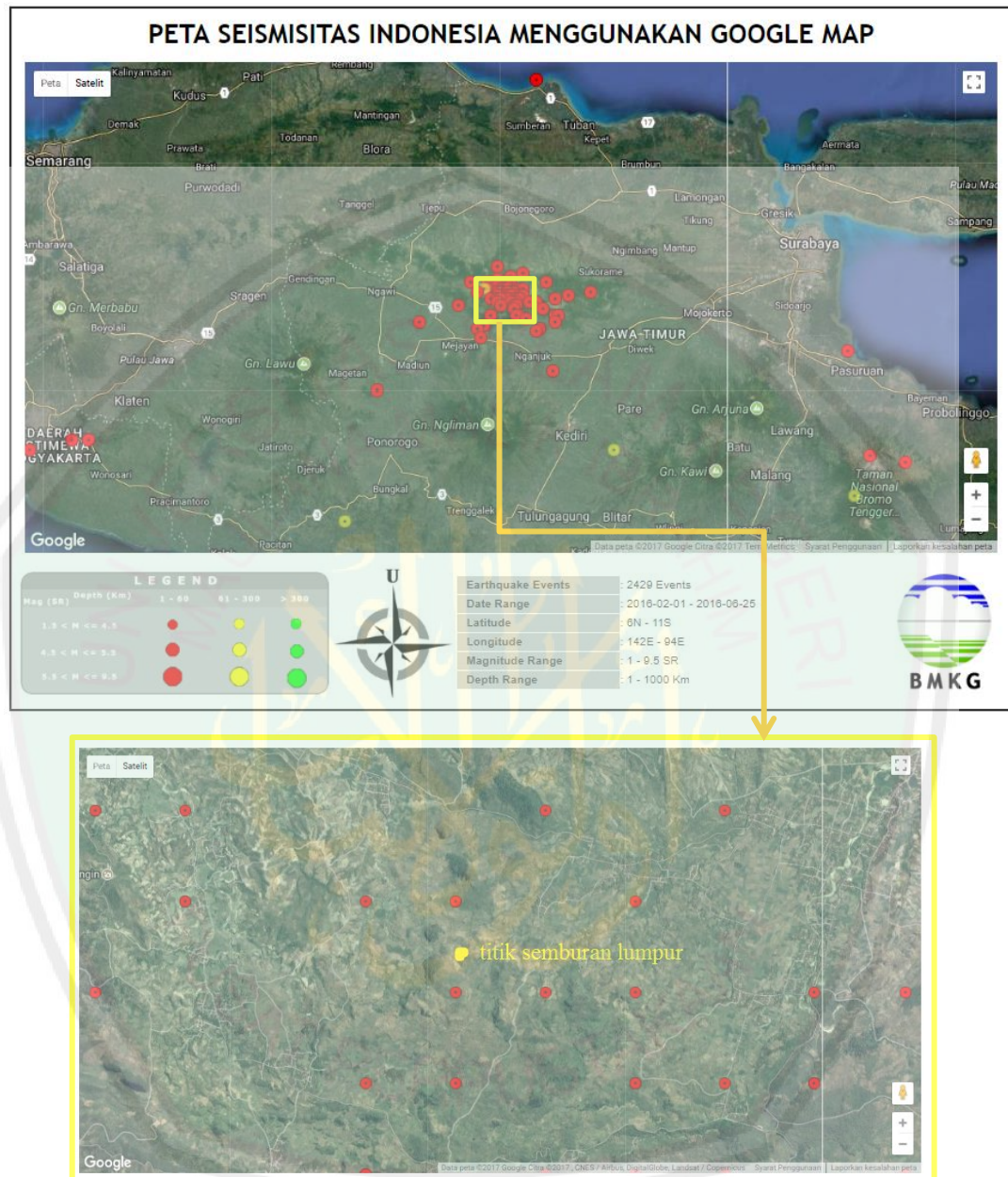
### 2.1.3 Faktor Penyebab Keluarnya Lumpur

Ahli geologi dan saintis mengasumsikan ada dua faktor yang dapat menyebabkan terjadinya semburan lumpur permukaan (Krisnayanti dan Agustajiwa, 2014):

#### 1. Faktor alam

Beberapa ahli geologi percaya bahwa semburan lumpur merupakan bencana alam yang muncul akibat adanya pemicu berupa gempa bumi yang terjadi beberapa hari sebelum muncul semburan.

Fenomena semburan lumpur pada daerah penelitian terjadi pada bulan Juni tahun 2016. Selama periode Januari hingga Juni terjadi gempabumi beruntun hingga ratusan *event* gempa berskala kecil (1,4 - 3,9 SR) dengan sumber dangkal. Gempabumi ini disebut juga gempa bumi *swarm*. Episenter gempabumi tersebar di wilayah Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro. Berdasarkan letak episenter dipastikan bahwa gempabumi *swarm* yang terjadi bukan merupakan aktivitas vulkanik gunungapi di Jawa Timur. Letak episenter jauh dari gunungapi yang terdekat seperti gunung Lawu, Ngliman, Arjuna, dan Bromo. Gempabumi terjadi pada daerah geologi yang memiliki struktur lipatan dan patahan. Secara garis besar gempabumi terjadi disekitar tiga patahan yaitu satu patahan naik dan patahan geser. Patahan naik tersebut dipotong oleh patahan geser sehingga membentuk *offset*. Berdasarkan hasil analisa disimpulkan bahwa gempabumi yang terjadi diakibatkan oleh aktivitas sesar lokal (Anggraeni, 2016).



Gambar 2.2 Peta persebaran gempabumi area penelitian (BMKG, 2016)

Gempabumi beruntun ini dapat menjadi pemicu dari tersemburnya lumpur ke permukaan. Terjadinya patahan maupun rekahan pada struktur bawah permukaan menyebabkan terbentuknya bidang lemah berupa celah-celah di atas lapisan badan lumpur sehingga badan lumpur yang bertekanan tinggi menyembur ke permukaan melalui celah-celah tersebut.



## 2. Kegiatan manusia

Faktor lain yang dapat memicu lumpur menyembur ke permukaan adalah akibat dari adanya kegiatan manusia seperti kegiatan pengeboran, contohnya semburan lumpur lapindo di Sidoarjo

### 2.1.4 Macam-Macam *Mud Volcano*

Kalinko (1964) membangun sistem klasifikasi *mud volcano* berdasarkan karakter aktivitasnya dengan masing-masing ekspresi morfologinya, *mud volcano* dibagi menjadi tiga tipe (Dimitrov, 2003):

#### 1. Tipe *Lokbatan*

*Mud volcano* tipe ini memiliki karakter eksplosif dalam aktivitasnya dan umumnya timbul api akibat terbakarnya emisi gas. Biasanya breksi lumpur yang dikeluarkan memiliki viskositas rendah.

#### 2. Tipe *Chikishlyar*

Berbeda dengan tipe *Lokbatan*, *mud volcano* tipe ini ditandai dengan aktivitas yang tenang, relatif lemah dan kontinyu. Gas dilepaskan terus menerus dalam jumlah yang hampir seragam. Banyak ventilasi meludahkan sejumlah kecil lumpur dan air, fitur yang sangat umum dari kelas ini. Jenis gunung berapi lumpur ini sangat dipengaruhi oleh adanya lapisan jenuh air di bagian atas sedimen. Mereka membentuk kubah yang sangat rendah, menonjol atau datar, yang bergabung dengan bidang sekitarnya, atau depresi berbentuk piring yang sering dipenuhi air. Jenis gunung berapi lumpur ini sangat umum di Semenanjung Kerch, Ukraina.



### 3. Tipe *Schugin*

Tipe ini menunjukkan jenis transisi aktivitas *mud volcano*. Periode letusan digantikan oleh aktivitas yang lemah. Jenis gunung berapi lumpur ini mungkin memiliki distribusi terbesar di seluruh dunia. Tipe ini ditandai dengan berbagai macam bentuk, namun umumnya tipe *Schugin* membentuk kawah komposit.

## 2.2 Prinsip Gravitasi

### 2.2.1 Teori Gravitasi Newton

Hukum gravitasi Newton menyatakan bahwa terdapat gaya tarik  $F$  antara dua partikel bermassa  $m_1$  dan  $m_2$  yang dipisahkan oleh jarak  $r$  yang ditunjukkan oleh persamaan (Reynold, 1997: Torkis, 2012):

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

dimana  $G$  adalah konstanta gravitasi universal. Besaran  $G$  saat ini ditentukan pada 1942, yaitu  $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$  dalam satuan SI.

Jika digunakan asumsi bahwa bumi memiliki bentuk bulat, maka gaya yang diberikan oleh bumi dengan suatu benda dengan massa  $m$  di atas permukaan bumi adalah sebesar

$$F = G \frac{mM}{R^2} \quad (2.2)$$

dengan  $M$  adalah massa bumi dan  $R$  adalah jari-jari bumi. Hal ini juga mengasumsikan bahwa gaya bervariasi hanya terhadap jarak dari pusat bumi (jika bumi bulat simetris) dan  $R$  jauh lebih besar dibandingkan dengan ukuran objek. Gaya juga diberikan oleh hukum gerak kedua Newton (Rahman dkk, 2014):

$$F = ma \quad (2.3)$$

dengan  $a$  adalah percepatan. Jika percepatan gravitasi didefinisikan sebagai  $g$ , dan jika percepatan hanya disebabkan oleh gaya tarik gravitasi bumi maka dapat ditulis (Rahman dkk, 2014).

$$F = mg = G \frac{mM}{R^2} \quad (2.4)$$

dan

$$g = \frac{GM}{R^2} \quad (2.5)$$

### 2.2.2 Metode Gravitasi

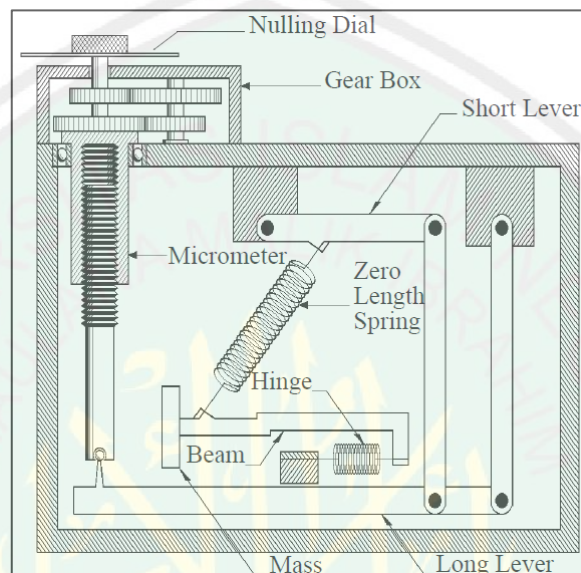
Metode gravitasi merupakan metode geofisika yang digunakan untuk memperkirakan keadaan geologi bawah permukaan berdasarkan distribusi variasi medan gravitasi di permukaan bumi. Variasi medan gravitasi terjadi akibat adanya variasi densitas batuan di bawah permukaan (Kurniawan dan Sehad, 2012).

Dalam metode gravitasi, pengukuran dilakukan terhadap nilai komponen vertikal dari percepatan gravitasi di suatu tempat. Namun pada kenyataannya, bentuk bumi tidak bulat sehingga terdapat variasi nilai percepatan gravitasi untuk masing-masing tempat. Menurut Telford dkk (1990) faktor yang dapat mempengaruhi nilai medan gravitasi adalah perbedaan posisi lintang, topografi, tidal bumi, variasi rapat massa batuan di bawah permukaan bumi, dan perbedaan ketinggian titik ukur atau (Bahri dkk, 2015).

### 2.2.3 Gravimeter LaCoste & Romberg

Alat ukur gravitasi merupakan alat yang memanfaatkan prinsip gravitasi newton tentang gaya tarik antar dua benda yang terpisah oleh suatu jarak. Alat

ini terdiri atas rangkaian pegas dan massa yang didesain sedemikian rupa sehingga sangat sensitif terhadap perubahan nilai gravitasi yang sangat kecil (Freie Universitat Berlin, 2003).



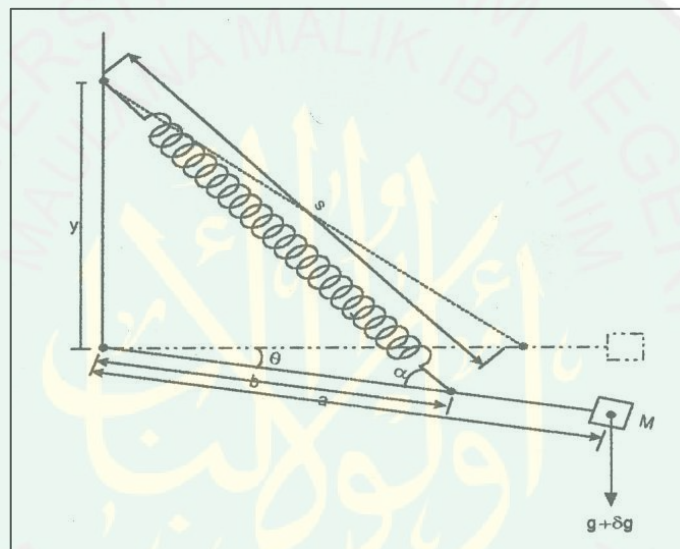
Gambar 2.3 Desain Gravimeter LaCoste & Romberg (disederhanakan) (Freie Universitat Berlin, 2003)

Keterangan:

- Micrometer* = mengatur posisi massa agar kembali ke posisi awalnya setelah terpengaruh oleh variasi medan gravitasi. Pengaturan micrometer dilakukan melalui *nulling dial* yang terhubung dengan *gear box*
- Short dan short lever* = tuas penghubung *micrometer* dengan *zero length spring*
- Zero length spring* = pegas penahan beban (*mass*). pegas ini berada pada keadaan gaya pegas berbanding secara langsung dengan jarak antar titik gaya bekerja dengan titik ikat pegas
- Mass dan beam* = bertindak sebagai beban yang akan berubah posisinya ketika terpengaruh oleh adanya variasi medan gravitasi
- Hinge* = pegas peredam guncangan dari *mass* dan *beam*

Tanggapan sistem gravimeter ini adalah perubahan dari posisi *mass* dan *beam* ketika terdapat variasi medan gravitasi pada suatu titik ukur. Perubahan posisi ini kemudian dinormalkan dengan mengembalikan *mass* dan *beam* ke posisi

semula dengan memutar *nulling dial* yang menggerakkan *micrometer*, *short* dan *long lever*, kemudian *zero length spring*. Nilai gaya gravitasi didapat dari besar gaya yang diperlukan untuk menormalkan posisi *mass* dan *beam*. Sedangkan nilai medan gravitasi diperoleh dari kesebandingannya dengan perubahan panjang dari *zero length spring* (Suyanto, 2013).



Gambar 2.4 Gerakan *zero-length springs* dalam gravimeter (Suyanto, 2013)

LaCoste & Romberg merancang susunan pegas dan beban  $M$  (gambar 2.4) untuk memperoleh suatu instrumen dengan periode tak berhingga secara teoritis.

Dari gambar 3.2 momen torka dari beban  $M$  adalah (Suyanto, 2013):

$$Tg = Mga \cos \theta = k(s - c)b \sin \alpha$$

$$Mga \cos \theta = \frac{k(s-c)b y \cos \theta}{s}$$

$$g = \left(\frac{k}{M}\right) \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{1-c}{s}\right) y \quad (2.6)$$

Pada saat  $g$  meningkat sebesar  $\delta g$  maka panjang  $s$  pegas akan berubah sebesar  $\delta s$

$$\delta g = \left(\frac{k}{M}\right) \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{c}{s}\right) \left(\frac{y}{s}\right) \delta s \quad (2.7)$$

Persamaan (2.6) menunjukkan bahwa instrumen tidak bergantung pada besar penyimpangan sudut  $\theta$  dan  $\alpha$ . Sehingga pada saat terjadi penyimpangan kecil pada sudut  $\theta$  dan  $\alpha$  dari titik setimbangnya maka pada sistem ini gaya tidak kembali dan dapat diatur mempunyai periode tak hingga secara teoritis (Suyanto, 2013).

#### 2.2.4 Potensial Gravitasi

Keberadaan sebuah massa pada suatu ruang akan memunculkan suatu medan potensial skalar di sekitarnya berupa medan gravitasi. Nilai medan gravitasi bergantung pada posisi awal dan posisi akhir dan tidak bergantung pada lintasan yang ditempuhnya (Sari, 2012). Persamaan fungsi potensial skalar oleh massa  $dm$  pada titik  $(x,y,z)$  sepanjang jarak antara  $P(0,0,0)$  dan  $r$  dapat dinyatakan oleh persamaan (Telford dkk, 1990: Torkis, 2012):

$$dU(P) = G \frac{dm}{r} = G \frac{\rho}{r} dx dy dz \quad (2.8)$$

#### 2.2.5 Rapat Massa Batuan

Menurut Kadir (1999) rapat massa batuan adalah perbandingan antara massa suatu batuan dengan volumenya. Batuan dengan pori-pori yang terisi oleh fluida (air, minyak atau gas) dapat dinyatakan sebagai rapat massa dengan  $n$  komponen. Fraksi dan rapat massa fraksi masing-masing  $V_i$  dan  $\rho_i$  yang kemudian disederhanakan menjadi fraksi padat, cair, dan gas (Taufiqudin, 2014):

$$\rho = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{V} \rho_i \quad (2.9)$$



$$\rho = \frac{V_m}{V} \rho_m + \frac{V_f}{V} \rho_f + \frac{V_g}{V} \rho_g \quad (2.10)$$

Dimana:

$\rho_m, \rho_f, \rho_g$  = Rapat massa material matriks, rapat massa fluida dan rapat massa gas  
 $V_m, V_f, V_g$  = Volume material matriks, rapat massa fluida dan rapat massa gas  
 $V$  = Volume total

Anomali medan gravitasi berhubungan dengan perubahan rapat massa yang disebabkan oleh perubahan material pengisi pori batuan sumber anomali (Kadir, 1999: Taufiqudin, 2014).

Tabel 2.1 Densitas Batuan (GPG, 2017)

<i>Rock Type</i>	<i>Density Range (g/cm<sup>3</sup>)</i>
<b><i>Sedimentary Rocks</i></b>	
<i>Clay</i>	1,63 – 2,60
<i>Silt</i>	1,80 – 2,20
<i>Soil</i>	1,20 – 2,40
<i>Sand</i>	1,70 – 2,30
<i>Sandstone</i>	1,61 – 2,76
<i>Shale</i>	1,77 – 3,30
<i>Limestone</i>	1,93 – 2,90
<i>Dolomite</i>	2,28 – 2,90
<i>Chalk</i>	1,52 – 2,60
<i>Halite</i>	2,10 – 2,60
<i>Gypsum</i>	2,20 – 2,60
<i>Marl</i>	2,20 – 2,70
<i>Breccia</i>	1,50 – 3,00
<b><i>Igneous Rocks</i></b>	
<i>Rhyolite</i>	2,35 – 2,70
<i>Granite</i>	2,50 – 2,81
<i>Andesite</i>	2,40 – 2,80
<i>Basalt</i>	2,70 – 3,30
<i>Gabbro</i>	2,70 – 3,50

## 2.2.6 Koreksi Dalam Metode Gravitasi

### A. Konversi Skala Pembacaan

Besaran skalar yang didapatkan dari sebuah pengukuran oleh pembacaan alat gravimeter harus dikonversi ke dalam satuan mGal dengan menggunakan tabel konversi dari alat gravimeter yang digunakan. Konversi pembacaan ini dilakukan untuk setiap titik pengukuran. Menurut Sunaryo (1997) perumusan yang digunakan dalam melakukan konversi skala pembacaan tersebut sebagai berikut (Taufiqudin, 2014):

$$mGal = [ \{ (Bacaan-counter) \times Faktor Interval \} + mGal ] \times CCF \quad (2.11)$$

### B. Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

Koreksi pasang surut dilakukan untuk mereduksi pengaruh medan gravitasi oleh benda di luar bumi yang dapat menghasilkan tarikan terhadap bumi dan mempengaruhi hasil pembacaan medan gravitasi pada titik ukur di bumi (Torkis, 2012).

Bulan dan matahari memiliki pengaruh yang sangat besar dibanding benda-benda langit lainnya, oleh karena itu benda langit lainnya dapat diabaikan. Besarnya koreksi pasang surut bumi dapat diperoleh dengan perumusan yang dilakukan oleh Longman (1959) (Taufiqudin, 2014) :

$$Tdc = \frac{3\gamma r}{2} \left\{ \begin{array}{l} \frac{2M}{3d^2} (\sin^2 p - 1) + \frac{Mr}{d^4} (5\cos^3 p - 1\cos p) \\ + \frac{2S}{3D^3} (3\cos^2 q - 1) \end{array} \right\} \quad (2.12)$$

dimana:

$p$  = sudut zenith bulan

$q$  = sudut zenith matahari

$M$  = massa bulan

$S$  = massa matahari

$d$  = jarak antara pusat bumi dan bulan  
 $D$  = jarak antara pusat bumi dan matahari  
 $\gamma$  = konstanta Gravitasi Newton  
 $r$  = jarak pengukuran dari pusat bumi

### C. Koreksi Apungan (*Drift correction*)

Perubahan pembacaan gravimeter (*drift*) dengan waktu akibat kelelahan pegas akan menghasilkan suatu perubahan pada bacaan medan gravitasi (Reynold, 1997). Koreksi ini mereduksi perbedaan hasil pembacaan nilai medan gravitasi pada titik pengukuran yang sama di waktu yang berbeda (Hardiansyah, 2016).

Koreksi ini dilakukan dengan cara membuat lintasan tertutup pada titik-titik pengukuran (loop tertutup), yaitu dengan cara melakukan pengukuran ulang pada stasiun awal (titik ikat pada tiap loop). Menurut sunaryo (1997) Besarnya koreksi *drift* adalah (Taufiqudin, 2014):

$$D_n = \left\{ \frac{(g_b - g_a)}{(t_b - t_a)} (t_n - t_a) \right\} \quad (2.13)$$

dimana:

$D_n$  = Koreksi drift pada waktu pembacaan titik ikat  
 $g_a$  = Pembacaan gravimeter di titik awal  
 $g_b$  = Pembacaan gravimeter di titik akhir  
 $t_a$  = Waktu pembacaan di titik awal  
 $t_b$  = Waktu pembacaan di titik akhir  
 $t_n$  = Waktu pembacaan di titik pengamatan

### D. Koreksi Gravitasi Normal ( $g_n$ )

Percepatan gravitasi bumi lebih besar di kutub dibandingkan di katulistiwa disebabkan perbedaan jari-jari bumi di lintang yang berbeda, akumulasi massa (fluida) di katulistiwa, dan gaya sentrifugal akibat rotasi bumi yang maksimum pada katulistiwa dan minimum di wilayah kutub (Torkis, 2012).

Gravitasi normal adalah gravitasi teoritis fungsi lintang pada permukaan yang mempresentasikan kecepatan gravitasi yang dihasilkan oleh bumi yang berbentuk elips dengan densitas yang homogen. Nilai gaya berat normal di setiap lintang ditetapkan oleh *The International Association of geodesy* (IAG) yang diberi nama GRS80 dengan rumus (Reza dkk, 2013):

$$g_n = 978031,846 (1 + 0,0053204 \sin^2 \lambda - 0,0000058 \sin^2 2 \lambda) \quad (2.14)$$

Dimana  $\lambda$  adalah sudut lintang. Gravitasi memiliki satuan  $\text{m} \cdot \text{det}^{-2}$  (dalam SI), dimana  $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm} / \text{det}^2 = 10^{-2} \text{ m} / \text{det}^2$ .

#### E. Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Kenyataan bahwa gravitasi bumi secara keseluruhan dapat dianggap sama seandainya massa terkonsentrasi di pusatnya mendasari adanya koreksi udara bebas (Dobrin, 1960). Pada koreksi lintang benda diasumsikan terletak pada permukaan sferoida acuan, akan tetapi pada pelaksanaannya titik pengukuran gravitasi berada di atas bidang sferoida (didekati oleh *mean sea level*), sehingga perlu dilakukan koreksi terhadap hasil bacaan alat yang disebabkan ketinggian sebesar  $h$  (Indrawati, 2016).

Koreksi udara bebas dilakukan untuk mereduksi pengaruh efek ketinggian dari titik pengukuran dengan menarik titik pengukuran ke titik datum geoid. Besar nilai koreksi udara bebas dapat diturunkan melalui persamaan (Burger, 1992):

$$g = G \frac{M}{r^2} \quad (2.15)$$

$$dg(r) = -2G \frac{M}{r^3} dr = -2 \frac{g}{r} dr \quad (2.16)$$

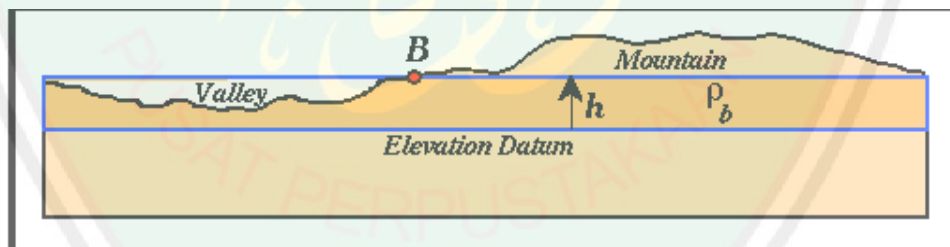
dimana  $g$  adalah percepatan gravitasi dan  $r$  radius bumi dari titik pusatnya. Apabila ketinggian topografi dari permukaan laut  $h$  dinyatakan oleh  $dr$  maka:

$$\frac{dg}{dr} = \frac{dg}{h} = -2 \frac{g}{r} = -0,3086 h \quad (2.17)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa koreksi udara bebas bernilai negatif ketika ketinggian titik pengukuran berada di atas bidang datum (level permukaan laut) dan sebaliknya (Dewi, 2015).

#### F. Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Koreksi bouguer dilakukan untuk mereduksi efek massa di antara titik pengukuran medan gravitasi di lapangan dan bidang datum dengan densitas  $\rho$  setebal  $h$  meter. Massa tersebut diasumsikan berupa lempeng silinder dengan jari-jari tak terhingga (Suhadiyanto, 2008).



Gambar 2.5 Pendekatan Bouguer untuk massa di atas permukaan laut ([www.ukm.my/rahim/Gravity%20method.htm](http://www.ukm.my/rahim/Gravity%20method.htm))

Harga koreksi Bouguer berlawanan dengan koreksi udara bebas, berharga negatif jika titik pengukuran di atas bidang datum dan positif jika titik pengukuran di bawah bidang datum. Jadi koreksi Bouguer tergantung pada ketinggian titik amat dari bidang datum dan rapat massa batuan antara titik amat



dan bidang datum. Besarnya koreksi Bouguer adalah (Telford dkk, 1990: Taufiqudin, 2014):

$$Bc = 0,04193 \rho h \text{ mgal/m} \quad (2.18)$$

dimana:

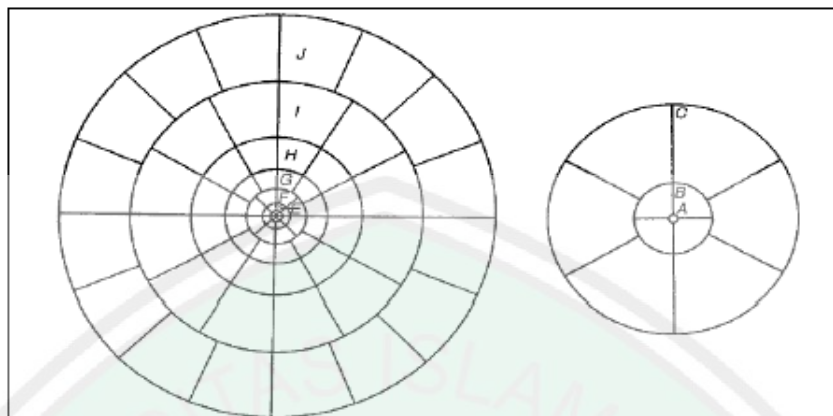
$\rho$  = Rapat massa Bouguer

$h$  = Ketinggian titik pengukuran dari bidang sferoid

### G. Koreksi Medan (Terrain Correction)

Massa bukit di sekitar titik pengukuran memberikan gaya tarik pada massa gravimeter pada titik pengukuran. Komponen vertikal dari gaya tarik ini mereduksi nilai gravitasi observasi (nilai pengukuran). Massa dari bukit akan menarik pegas ke atas pada gravimeter yang mengakibatkan pegas memendek dan mengurangi nilai medan gravitasi yang terukur. Adanya lembah juga mengakibatkan memendeknya pegas dikarenakan tidak adanya massa yang menarik pegas ke bawah (Sari, 2012).

Dalam perhitungan koreksi medan dapat digunakan *hammer chart*. *Hammer chart* membagi daerah sekitar titik pengamatan menjadi beberapa zona dan segmen. Besarnya koreksi medan merupakan total pengaruh topografi dari tiap segmen (Dewi, 2015).



Gambar 2.6 Model *Hammer Chart* untuk koreksi medan (Dewi, 2015)

Koreksi medan menambahkan sebuah kuantitas kecil pada gravitasi observasi untuk mereduksi pengaruh massa dari adanya bukit maupun bentuk topografi lain. Menurut Reynold (1997) besar nilai koreksi medan didapatkan dengan rumusan (Dewi, 2015):

$$TC = 2\pi G\rho \left[ r_2 - r_1 + \sqrt{(r_1^2 + z^2)} - \sqrt{(r_2^2 + z^2)} \right] \quad (2.19)$$

Dimana:

- $r_1$  = Radius bagian dalam suatu zona
- $r_2$  = Radius bagian luar dalam suatu zona
- $z$  = Beda ketinggian dari titik pengamatan
- $G$  = Konstanta Gravitasi

### H. Anomali Bouguer

Suatu pemaparan dari gravitasi yang paling umum untuk memperkirakan gambaran kondisi bawah permukaan berdasarkan rapat massa batuan disebut sebagai anomali Bouguer. Anomali Bouguer merupakan anomali yang bersumber dari semua perlapisan di bawah permukaan tanah (Aufia, 2017)

Nilai anomali Bouguer dirumuskan sebagai berikut (Telford dkk, 1990: Priseptian, 2015):

$$BA = g_{obs} - g_{\phi} \pm FAC \pm BC + TC \quad (2.20)$$

dimana:

$g_{obs}$  = Harga gaya gravitasi pengukuran di titik tersebut

$FAC$  = *Free Air Correction*/ koreksi udara bebas

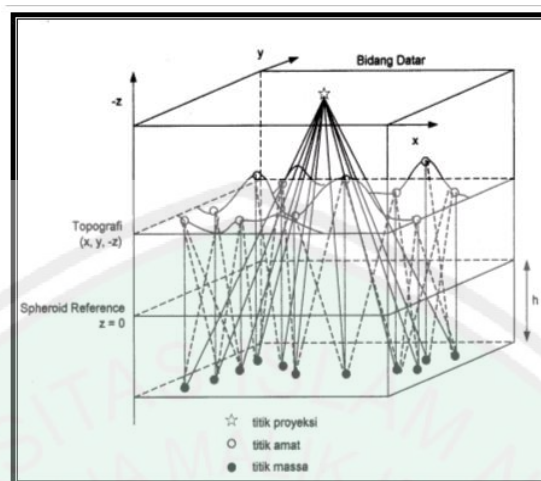
$BC$  = *Bouguer Correction*/ koreksi Bouguer

$TC$  = *Terrain Correction*/ koreksi medan

$g_{\phi}$  = Nilai anomali yang diperoleh adalah nilai anomali pada ketinggian titik amat.

### 2.3 Reduksi bidang datar

Data anomali Bouguer lengkap masih berada pada topografi dengan ketinggian bervariasi. Variasi ketinggian tersebut dapat mengakibatkan distorsi pada data medan gravitasi. Untuk meminimalisasi distorsi yang terjadi maka anomali Bouguer lengkap dibawa ke sebuah bidang datar pada ketinggian tertentu menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa (Dampney, 1969). Proses dengan menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa ini adalah menentukan sumber ekuivalen titik massa diskrit pada kedalaman tertentu di bawah permukaan dengan memanfaatkan data anomali Bouguer lengkap permukaan. Kemudian dihitung medan gravitasi teoritis yang diakibatkan oleh sumber ekuivalen tersebut pada suatu bidang datar dengan ketinggian tertentu seperti gambar 2.4 (Ariyanto, 2014).



Gambar 2.7 Sumber ekuivalen titik massa (Ariyanto dkk, 2014)

Persamaan dasar yang digunakan dalam proses ini adalah sesuai dengan perumusan yang dilakukan oleh Dampney (1969) (Rahman dkk, 2014):

$$\Delta g(x, y, z) = G \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sigma(\alpha, \beta, h)(h-z) d\alpha d\beta}{((x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-h)^2)^{3/2}} \quad (2.21)$$

dimana:

- $\Delta g(x, y, z)$  = Anomali medan gravitasi Bouguer lengkap
- $\sigma(\alpha, \beta, h)$  = Distribusi kontras densitas meliputi bidang  $z = h$
- $z$  = Sumbu vertikal dengan arah positif ke bawah
- $h$  = Kedalam sumber ekuivalen titik massa dari datum (sferoida acuan)

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

Kontinuasi ke atas merupakan langkah pengubahan data medan potensial yang diukur pada suatu level permukaan menjadi data yang seolah-olah terukur pada level permukaan yang lebih tinggi. Kontinuasi ke atas dapat mentransformasi medan potensial yang terukur pada suatu permukaan tertentu menjadi seolah terukur pada suatu permukaan yang lebih tinggi sehingga cenderung menonjolkan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dalam (efek regional). Anomali

residual (anomali lokal) dapat diperoleh dari selisih antara anomali Bouguer lengkap dan anomali regional (Hasria, 2011).

Harga sebuah medan potensial pada titik observasi pada bidang hasil kontinuitas dapat diperoleh menggunakan persamaan (Blakely, 1995: Nugraha, 2016):

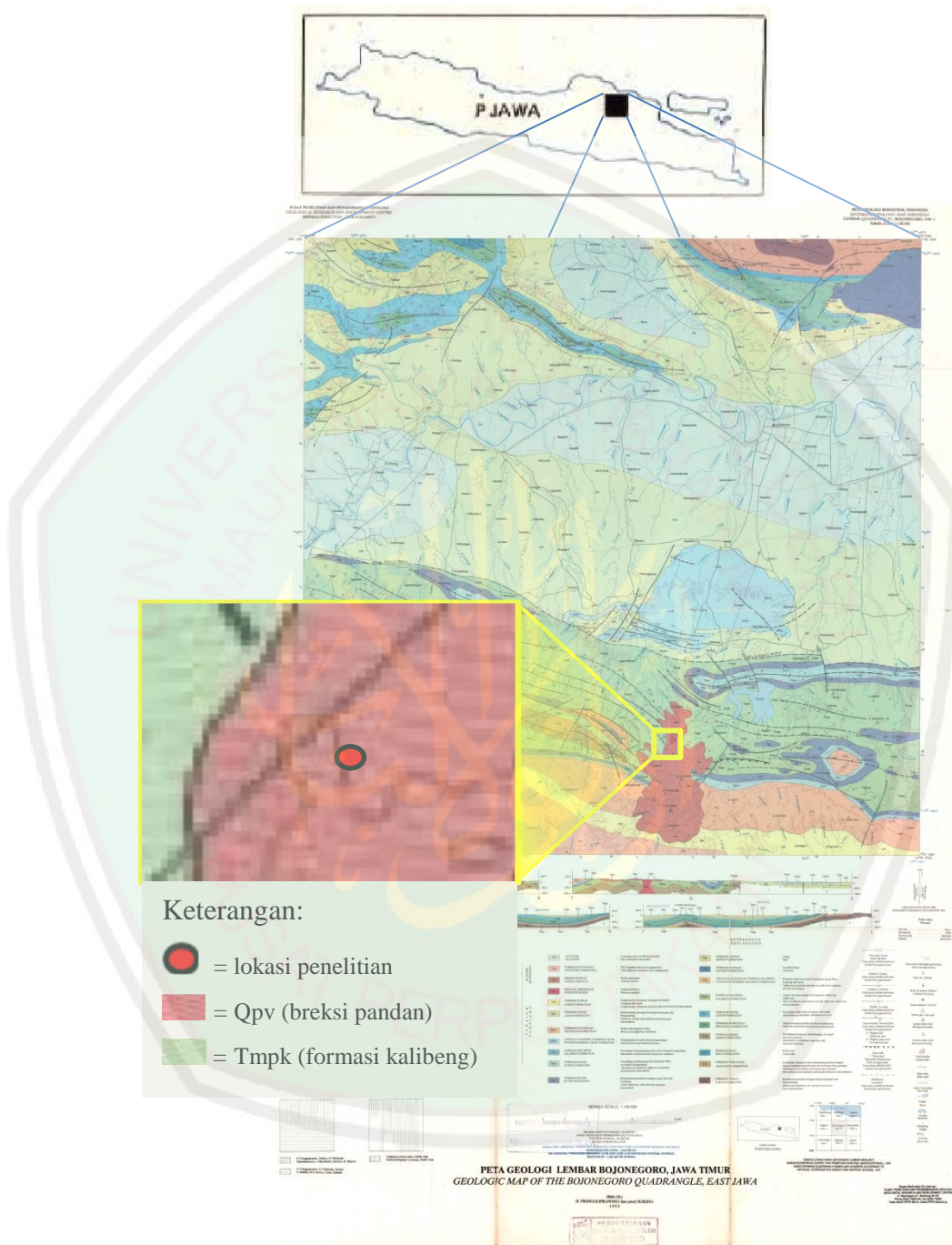
$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{((x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2)^{\frac{3}{2}}} dx' dy' \quad (2.22)$$

Dimana:  $U(x, y, z_0 - \Delta z)$  adalah harga medan potensial pada bidang hasil kontinuitas,  $U(x', y', z_0)$  adalah harga medan potensial pada bidang observasi sebenarnya,  $\Delta z$  adalah jarak atau ketinggian pengangkatan (Blakely, 1995: Nugraha, 2016).

## 2.5 Geologi daerah penelitian

Secara regional, daerah penelitian masuk dalam peta geologi Indonesia lembar Bojonegoro bagian timur Pulau Jawa dengan skala 1:100.000 yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.





Gambar 2.8 Peta geologi daerah penelitian berdasarkan peta geologi regional lembar Bojonegoro (Pringgoprawiro dan Sukido, 1992)

Lokasi penelitian berada di Desa Jari Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro. Berdasarkan peta geologi lembar bojonegoro, daerah penelitian berada pada satuan Breksi Pandan (breksi gunungapi) berupa andesit, kelabu hingga kelabu kecoklatan dan coklat kekuningan, tersusun oleh kepingan batuan andesit, berukuran kerikil hingga kerakal, sampai bongkah. Tidak terdapat fosil dalam satuan ini. Di bawah satuan Breksi Pandan terdapat Formasi Kalibeng berupa napal, setempat bersisipan tuf, batu pasir tufaan, dan kalkarenit. Terdapat fosil *foraminifera plangton* dalam formasi ini. Kumpulan fosil ini menunjukkan umur Miosen Atas hingga Pliosen Bawah. Lingkungan pengendapannya neritik luar hingga batial atas pada kedalaman antara 150-600 m (Pringgoprawiro dan Sukido, 1992).

Formasi Kalibeng menindih Formasi Kerek. Formasi Kerek merupakan formasi batuan yang bersusunan perselingan batu pasir, batu lempung, tuf, dan napal. Secara keseluruhan memperlihatkan endapan *flysch*, dengan struktur turbudit. Berdasarkan fosil *foraminifera plangton* yang teramati di formasi ini, diperkirakan umur dari formasi ini adalah Miosen Tengah hingga Miosen Atas bagian akhir (Pringgoprawiro dan Sukido, 1992).

Terdapat beberapa satuan geomorfologi pada Kecamatan Gondang, yaitu satuan dataran denudasi lipatan, pengunungan sinklin, dan perbukitan sesar. Perkembangan struktur geologi lipatan secara umum berarah barat-timur (Putranto, 2008).

### 2.5.1 Stratigrafi

Secara regional dalam lembar peta geologi Bojonegoro dapat dikenali dua formasi geologi, yaitu formasi kendeng di selatan dan formasi rembang di utara. Perbedaan yang nyata antara kedua formasi tersebut terletak pada stratigrafi, lingkungan pengendapan, ganesa dan tektoniknya (Pringgoprawiro dan Sukido, 1992).

Umur batuan sedimen di formasi Kendeng berkisar dari miosen tengah hingga kuarter, dengan tipe endapan sebagai flysch, turbidit dan sedimen daratan. Formasi Kerek yang berumur miosen tengah hingga miosen atas bagian bawah, adalah formasi tertua di lembar ini, batuanannya terdiri dari perselingan batupasir, batu lempung, tuf, napal, dan kalkarenit. Di atasnya secara selaras terdapat Formasi Kalibeng yang berumur miosen atas hingga pliosen bawah, dan tersusun oleh napal setempat bersisipan tuf, batu lempung, batu pasir tufan, dan kalkarenit (Pringgoprawiro dan Sukido, 1992).

Bagian Tengah Kawasan Kendeng terdiri dari Formasi Kalibeng, Formasi Klitik, Formasi Sonde, Pucangan, dan Breksi Pandan. Formasi Plioson Kalibeng terdiri dari marmer raksasa Globigerina, napal kehijauan, dengan struktur *lokal bedded*. Di bagian atas Formasi Kalibeng, ada campuran Anggota Atas Angin yang ditandai dengan adanya batu pasir vulkanik, tuf, konglomerat dan breksi. Formasi Klitik terdiri dari batu kapur, marl, dan tanah liat. Formasi Sonde terdiri dari interkalasi antara batulempung dan batupasir vulkanik sebagai akhir rangkaian pengendapan laut di Plioson Atas. Formasi Pucangan didominasi oleh sedimen terestrial yang dipengaruhi oleh aktivitas *Volcano Willis* di *Lower Pleistosen* dalam bentuk batupasir konglomerat vulkaniklastik, batupasir tufan,

dan batuan vulkanik. Pringgoprawiro (1992) menjelaskan bahwa Formasi Pandan terdiri dari breksi andesit dan intrusi andesit (Thoha dkk, 2014)

Di lembar ini Formasi Kalibeng tertindih selaras oleh Formasi Klitik yang berumur pliosen tengah, batumannya terdiri dari batu gamping berlapis dan terumbu bersisipan napal dan batu lempung. Di atasnya secara membaji terdapat Formasi Sonde berumur pliosen tengah dan terdiri dari perselingan batu lempung dan batu pasir tufan bersisipan batu gamping. Formasi Pucangan menindih tak selaras di atasnya, berumur plio-plistosen dan terdiri dari breksi dan batu pasir tufan. Formasi Kabuh berumur plistosen tengah menindih selaras formasi pucangan. Formasi Kabuh terdiri dari konglomerat, batu pasir dengan sisipan lempung dan napal. Formasi notopuro berumur plistosen atas dan terdiri dari tuf, batu pasir tufan dan konglomerat. Pada formasi ini terdapat batuan gunungapi muda berumur plitosen akhir dan terdiri dari endapan lahar (Pringgoprawiro dan Sukido, 1992).

Pada lembar bojonegoro formasi kerek menjadi formasi induk. formasi kerek menjadi penopang seluruh formasi di daerah ini. Terdapat sinklin yang membentang pada arah timur-barat pada formasi ini. Pada formasi kerek terdapat perselingan batuan pasir, batuan lempung, dan tuf yang terbentuk pada zaman pliosen bawah. Formasi kerek diapit oleh formasi kalibeng yang mendominasi pada wilayah Bojonegoro Selatan (Maulana, 2017)

Batuan sedimen di Formasi Rembang umumnya bersifat gampingan. Formasi tawun yang berumur miosen tengah bagian tengah merupakan formasi tertua, terbentuk oleh batu lempung pasiran dengan sisipan batu pasir dan batu gamping yang banyak mengandung fosil *foraminifera* besar. Bagian atas secara



berangsur beralih menjadi Formasi Ngrayong yang berupa perselingan batu pasir an batu lempung pasiran dengan sisipan batu lempung karbonan, setempat mengandung batu gamping umurny diduga miosen bagian atas. Selaras di atas formasi ngrayong terdapat Formasi Bulu berumur miosen tengah bagian atas hingga miosen tengah bagian bawah yang tersusun oleh lapisan batu gamping pasiran. Formasi itu tertindih selaras oleh Formasi Wonocolo berumur miosen atas yang tersusun oleh napal pasiran dengan sisipan kalkarenit dan setempat batu lempung. Selaras diatas Formasi Wonocolo terdapat Formasi Ledok berumur miosen atas dan terdiri dari perselingan batu pasir gampingan dan kalkarenit dan setempat napal. Formasi tersebut tertindih selaras oleh formassi mundu brumur pliosen bawah- pliosen tengah dan terbentuk oleh napal pejal mengandung fosil *foraminifera* melimpah. Setempat Formasi Mundu tertindih selaras oleh Formasi Selorejo yang tersusun oleh batu gamping pasiran dan batu pasir gampingan berumur pliosen atas.

### 2.5.2 Struktur

Struktur yang ada di daerah ini tebentuk sebagai akibat kegiatan tektonik selama meogen adalah lipatan, sesar naik, sesar geser, sesar normal dan kekar. Di kedua formasi geologi, struktur lipatan berupa antiklin dan sinklin berkembang sangat baik, umumnya dengan arah sumbu barat laut-tenggara. Formasi Kendeng mengalami pelipatan yang berkembang cukup kuat, terutama pada Formasi Kerek dan Formasi Kalibeng, yang diikuti oleh perkembangan beberapa macam sesar. Sedangkan pada Formasi Rembang, pelipatan hanya terbentuk lipatan tak setangkup dengan sayap anti klin bagian selatan umumnya lebih curam, dengan



kemiringan mencapai  $35^{\circ}$ . Dua buah antiklin yang mempunyai arti penting dalam perminyakan ialah antiklin ledok dan antiklin kawengan (Pringgoprawiro dan Sukido, 1992).

Sesar naik di zona Kendeng banyak terdapat di Formasi Kerek dan Formasi Kalibeng, yang mempunyai arah utama barat-timur. Sesar ini di duga merupakan hasil tektonik pliosen, yang dapat di buktikan dengan adanya rumpang pada masa pliosen akhir (Pringgoprawiro dan Sukido, 1992).



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Tanggal 20-21 Agustus 2017. Tempat penelitian terletak di sekitar semburan lumpur panas Desa Jari Kecamatan Gondang Kabupaten Bojonegoro Jawa Timur. Lokasi semburan lumpur panas tersebut berjarak kurang lebih 2 km dari perkampungan. Di sekitar semburan lumpur panas tersebut merupakan area persawah dan perbukitan. Pengolahan data bertempat di laboratorium geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Lokasi penelitian

### 3.2 Data Penelitian

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Koordinat Lintang dan Bujur
2. Waktu pengambilan data (hari, jam, dan tanggal)
3. Ketinggian titik ukur
4. Pembacaan gravimeter

Data koordinat lintang dan bujur, waktu pengambilan data, ketinggian titik ukur terbaca melalui GPS yang digunakan pada waktu di lapangan. Pembacaan gravimeter harus dikonversi ke satuan mgal dimana  $1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/det}^2 = 10^{-2} \text{ m/det}^2$ .

### 3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Gravimeter LaCoste & Romberg tipe G-1053
2. Peralatan pendukung: Gps Garmin, peta geologi, alat tulis, penggaris, perangkat komputer untuk pengolahan data, dan *Software (Magpick, Surfer, Matlab 2008, MS Excel, Grav2DC, Geosoft Oasis Montaj)*.

### 3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian ini meliputi tahap akuisisi data, pengolahan data, dan interpretasi. Analisis dilakukan terhadap anomali medan gravitasi, struktur bawah permukaan serta densitas hasil dari pemodelan ke depan yang dikontrol oleh data geologi.

### 3.4.1 Akuisisi Data

Pengukuran gravitasi dilakukan secara *closed loop*, yaitu suatu proses pengambilan data dimana data pertama dan terakhir berada pada satu titik yang sama, sehingga koreksi titik ikat dapat dilakukan terhadap titik pengukuran. Proses ini dilakukan karena nilai gravitasi yang diperoleh oleh alat bukan merupakan nilai absolut.

Pengukuran nilai gravitasi di lapangan dilakukan dengan metode melingkar, yaitu mengelilingi sumber lumpur di tiga radius yang berbeda. Radius pertama berada dekat dengan semburan lumpur dengan spasi titik pengukuran 15 m, sedangkan radius kedua dan ketiga berjarak 110 m dan 500 m dari semburan lumpur dengan spasi titik pengukuran masing-masing 75 m dan 350 m.

Sebelum pengambilan data penulis melakukan survei lapangan, hal ini perlu dilakukan untuk menentukan titik-titik pengukuran, dengan memanfaatkan peta topografi yang didapatkan dari *Google Earth* dapat ditentukan lintasan pengukuran serta perkiraan sebaran titik-titik yang dibutuhkan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penentuan lintasan, titik ikat dan *base station* adalah sebagai berikut:

- a. Letak titik pengukuran harus jelas dan mudah dikenal.
- b. Lokasi letak titik pengukuran harus mudah dibaca dalam peta.
- c. Lokasi titik pengukuran harus mudah dijangkau serta bebas dari gangguan kendaraan bermotor, mesin, dll.
- d. Lokasi titik pengukuran harus terbuka sehingga GPS mampu menerima sinyal dari satelit dengan baik tanpa ada penghalang.

Tahap selanjutnya adalah pengambilan data, yaitu dengan melakukan kalibrasi alat dan menentukan titik acuan (*base station*) sebelum pengambilan data gravitasi di titik-titik ukur lainnya. Lokasi titik acuan harus berupa titik atau tempat yang stabil atau mudah dijangkau. Penentuan titik acuan sangat penting, karena pengambilan data lapangan harus dilakukan secara *looping*, yaitu dimulai dari titik acuan yang telah ditentukan dan berakhir pada titik tersebut. Titik acuan perlu diikatkan terlebih dahulu pada titik ikat yang sudah diketahui nilai mutlakannya.

#### 3.4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data terdiri dari dua tahap yaitu tahap awal dan tahap lanjutan. Tahap pengolahan awal pada data gravitasi sering disebut sebagai reduksi data gravitasi. Reduksi data meliputi konversi bacaan alat ke miliGal, koreksi tidal, koreksi apungan, koreksi gravitasi normal, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi medan. Reduksi data gravitasi dilakukan untuk memperoleh nilai anomali Bouguer lengkap di setiap titik ukur. Dalam pelaksanaannya, reduksi data gravitasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Tahap pengolahan lanjutan berupa reduksi ke bidang datar, pemisahan anomali regional dan anomali lokal, dan pemoelan geologi struktur bawah permukaan.

##### a. Konversi harga bacaan gravimeter

Untuk memperoleh nilai anomali Bouguer lengkap dari setiap titik ukur, maka dilakukan konversi pembacaan gravitimeter menjadi nilai gravitasi dalam satuan milligal berdasarkan persamaan (2.9). Untuk melakukan konversi memerlukan tabel konversi dari gravitimeter yang sudah ada pada setiap alat.



Berikut adalah cara dalam melakukan konversi pembacaan alat:

- 1) Misal hasil pembacaan *gravity* m G- 1053 adalah 1745,567 maka diambil nilai bulat yaitu 1700. Dalam tabel konversi (Tabel 3.1) nilai 1700 sama dengan 1723,91 mGal. Dengan faktor interval 1,01413 dan nilai CCF pada alat G- 1053 sebesar 1,00043726
- 2) Masukkan pada persamaan sehingga didapat:  $[(1745,567-1700) \times 1,01413 + 1723,91] \times 1,00043726 = 1770,8948$

Tabel 3.1 konversi harga pembacaan (Sunaryo, 1999).

<i>Counter Reading</i>	<i>Value In Miligal</i>	<i>Factor For Interval</i>
1500	1521,10	1,01404
1600	1622,50	1,01409
1700	1723,91	1,00043726

#### b. Koreksi Pasang Surut

Untuk mendapatkan besar nilai medan efek pasang surut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *GRAVTC* dengan *input* berupa data bujur, lintang, ketinggian, dan waktu pengambilan data (jam, menit, tanggal, bulan, dan tahun). *Software* ini

#### c. Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Akuisisi data dilakukan dengan metode *loop*, pengukuran dimulai di *base* dan diakhiri di *base*, sehingga besarnya koreksi apungan dapat dihitung dengan asumsi bahwa besarnya penyimpangan berbanding lurus terhadap waktu. Koreksi *drift* disebabkan oleh guncangan alat saat dibawa. besar koreksi ini sesuai dengan persamaan (2.11).

#### d. Medan Gravitasi Terkoreksi (Koreksi Awal)

Medan gravitasi terkoreksi merupakan nilai gravitasi hasil pengukuran di lapangan setelah terkonversi ke miligal serta telah terkoreksi dari pengaruh pasang surut dan apungan, yaitu dengan menambahkan koreksi tidal dan koreksi apungan pada nilai pengukuran yang telah dikonversi ke milligal.

$$g_{\text{terkoreksi}} = \text{bacaan alat terkonversi ke mGal} + \text{koreksi pasang surut} \pm \text{koreksi apungan} \quad (3.1)$$

#### e. *Different In Reading* ( $\Delta g$ )

*Different in Reading* yaitu menghitung perbedaan harga gravitasi terkoreksi di setiap titik ukur ( $g_{\text{terkoreksi}}$ ) dengan harga gravitasi di *base station* ( $g_{\text{Base Station}}$ ).

$$g_{\text{diff}} = \Delta g = g_{\text{terkoreksi}} - g_{\text{Base Station}} \quad (3.2)$$

#### f. Medan Gravitasi Observasi

Pengukuran medan gravitasi menggunakan gravimeter adalah relatif terhadap  $g$  absolut, sehingga dalam pengukuran diperoleh beda nilai antara gravitasi observasi ( $g_{\text{obs}}$ ) adalah:

$$g_{\text{obs}} = g_{\text{absolut}} + g_{\text{diff}} \quad (3.3)$$

$g_{\text{absolut}}$  pada penelitian ini adalah 978079,44 mGal.

#### g. Medan Gravitasi Normal ( $g_N$ )

Medan gravitasi normal merupakan medan gravitasi yang terukur dan dihitung pada bidang sferoida acuan (datum), nilai medan gravitasi normal juga berbeda pada setiap lintangnya disebabkan bentuk bumi yang berbentuk bulat pepat dimana jari-jari bumi pada katulistiwa lebih besar dari pada di kutub. Medan gravitasi normal dapat dirumuskan mealui persamaan yang dirumuskan oleh *World Geodetic System 1967* seperti tertera pada persamaan (2.12).

#### h. Koreksi Udara Bebas

Koreksi udara bebas dilakukan untuk mereduksi efek ketinggian dari titik ukur. Medan gravitasi secara teoritis akan berkurang ketika titik ukur berada di atas level sferoida acuan (level permukaan laut) dan sebaliknya. Besar koreksi udara bebas dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$FAC = -0,3086 \text{ mGal/m} \times h \quad (3.4)$$

dimana:

FAC = *free air correction* (mGal)  
h = ketinggian titik ukur (m)

anomali medan gravitasi yang telah terkoreksi udara bebas disebut juga dengan Anomali Udara Bebas (AUB).

$$AUB = g_{\text{obs}} - g_N + FAC \quad (3.5)$$

#### i. Koreksi Bouguer

Massa batuan yang mengisi ruang antara titik pengukuran dan bidang acuan akan menambah besar medan gravitasi teoritis. Besar koreksi ini dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$BC = 2\pi G \rho h \quad (3.6)$$

Karena,  $2\pi G = 0,04191$  maka (Sunaryo, 1997),

$$BC = 0,04191 \rho h \quad (3.7)$$

dimana:

BC = Bouguer *Correction*/koreksi Bouguer (mGal/m)  
G = Konstanta Gravitasi ( $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg.s}^2$ )  
P = Rapat massa batuan rata-rata ( $2,67 \text{ gr/cm}^3$ )  
h = Ketinggian (m)

Anomali Udara Bebas yang telah terkoreksi oleh koreksi Bouguer disebut juga dengan Anomali Bouguer Sederhana (ABS)

$$ABS = g_{obs} - g_N + FAC - BC \quad (3.8)$$

j. Koreksi Medan

Efek massa di sekitar titik ukur berupa lembah, gunung, jurang, bukit, dan lain-lain secara teoritis akan mengurangi nilai medan gravitasi. Perhitungan koreksi medan dapat dilakukan dengan menggunakan *Hammer chart*, dengan menggambar lingkaran yang terbagi dalam beberapa segmen yang diletakkan di atas peta topografi.

Selain menggunakan *hammer chart* perhitungan koreksi medan dapat dilakukan dengan menggunakan metode yang diusulkan oleh Kane. Metode ini didesain untuk menyeleksi data ketinggian disekitar titik pengukuran dimana koreksi medan akan dicari. Pada model ini dibuat grid dengan titik pengukuran sebagai pusatnya dan daerah perhitungan dibagi atas dua zona topografi yaitu zona eksternal dan zona internal.

Pada penelitian ini perhitungan koreksi medan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Geosoft* dengan masukan berupa data koordinat titik ukur, peta DEM, dan ketinggian masing-masing data.

Anomali Bouguer Sederhana yang telah terkoreksi oleh koreksi medan disebut juga dengan anomali Bouguer lengkap. Nilai anomali Bouguer lengkap dapat ditulis dalam persamaan:

$$ABL = g_{obs} - g_N + FAC - BC + TC \quad (3.9)$$

dimana:

ABL = Anomali Bouguer Lengkap (mGal)

TC = *Terrain Correction*/koreksi medan (mGal)

k. Reduksi ke bidang datar

Reduksi ke bidang datar dilakukan dengan metode *Dampney* menggunakan *software MATLAB*.

l. Pemisahan Anomali

Pemisahan anomali lokal dan regional dilakukan dengan metode kontinuitas ke atas menggunakan bantuan *software Magpick*.

m. Pemodelan struktur bawah permukaan

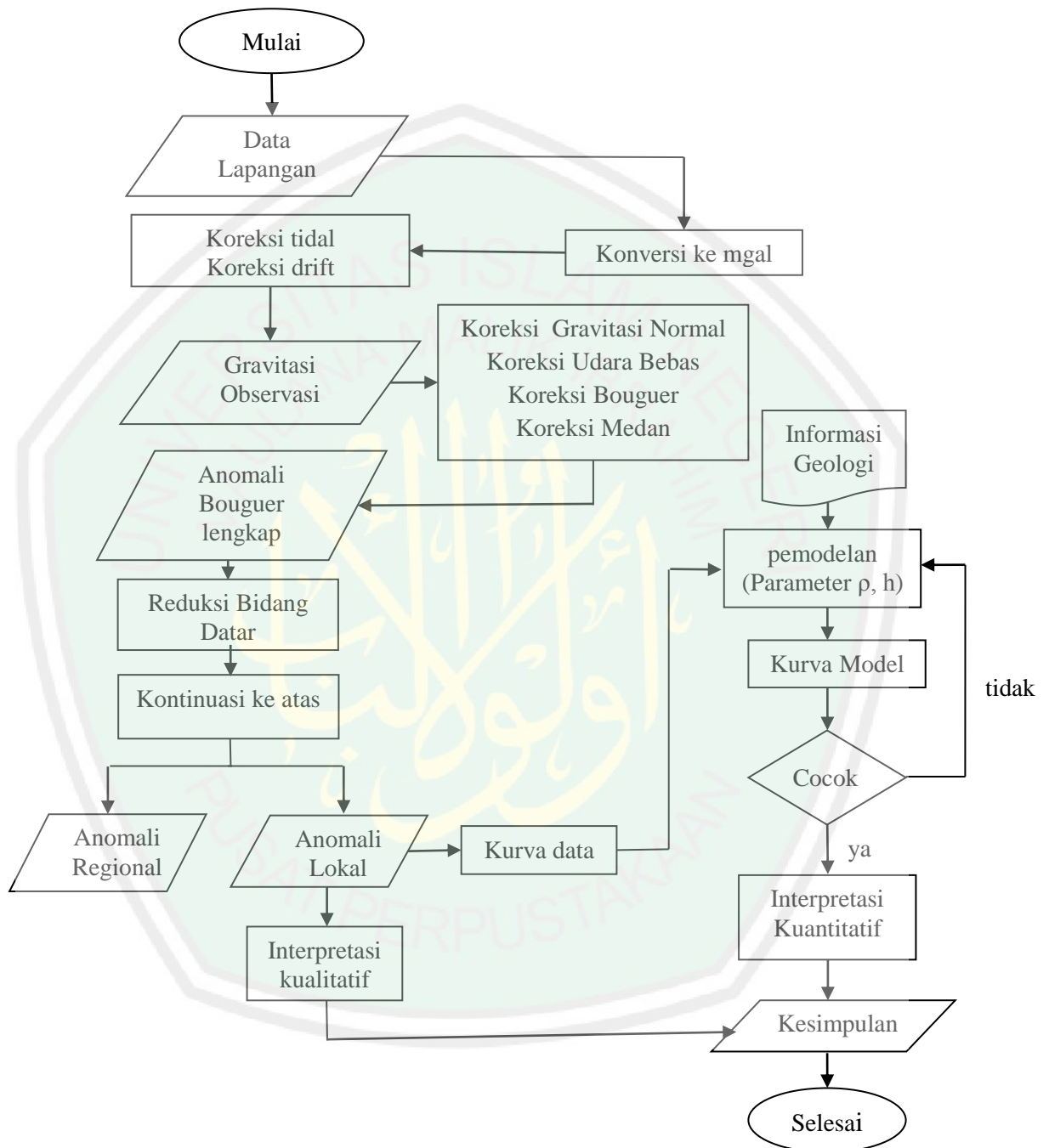
Pemodelan struktur geologi bawah permukaan diproses menggunakan *software Grav2DC* berdasarkan data anomali lokal.

### 3.4.3. Interpretasi

Tahap interpretasi dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif dengan kontrol informasi geologi. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan menganalisis persebaran nilai anomali lokal pada area penelitian yang telah dikonturkan menggunakan *software Surfer*. Sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan menganalisis model bawah permukaan dari suatu penampang anomali lokal dengan menggunakan *Software Grav2DC*.



### 3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

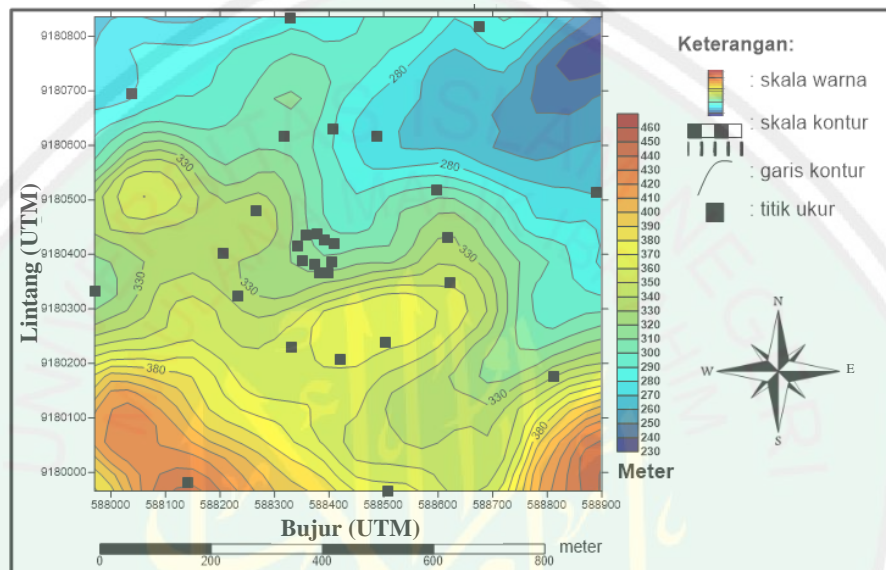
## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Metode gravitasi merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika pasif yang digunakan untuk mengukur perbedaan nilai medan gravitasi dari satu titik ke titik yang lain di suatu tempat yang disebabkan oleh distribusi massa batuan yang berbeda di bawah permukaan. Terdapat tiga tahapan dalam eksplorasi menggunakan metode gravitasi yakni akuisisi data, pengolahan data dan interpretasi hasil pengolahan data.

### **4.1 Akuisisi Data**

Dalam penelitian ini, nilai medan gravitasi diukur menggunakan alat Gravimeter LaCoste & Romberg tipe G-1053. Alat ini memanfaatkan rangkaian pegas dan massa yang peka terhadap perubahan densitas di bawah permukaan bumi. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap titik ukur dan kemudian data-data tersebut dirata-ratakan untuk mengurangi tingkat kesalahan (*error*) pada saat pengolahan data. Data yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebanyak 30 titik. Pengambilan data nilai gravitasi di lapangan dilakukan dengan metode *Ring*, yaitu pengambilan data dengan jalur melingkar mengelilingi objek penelitian (titik semburan lumpur) dengan diameter yang berbeda. Diameter pertama sebesar 30 m dengan spasi titik pengukuran 15 m, sedangkan diameter kedua dan ketiga sebesar 420 m dan 1000 m dengan spasi titik pengukuran masing-masing 75 m dan 350 m. Data koordinat lintang dan bujur, waktu pengambilan data dan ketinggian titik ukur yang terbaca melalui GPS dicatat pada setiap titik pengukuran.

Area penelitian berada di Desa Jari, Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro. Peta kontur topografi beserta persebaran titik ukur di area penelitian dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kontur topografi dan posisi titik pengukuran

## 4.2 Pengolahan Data

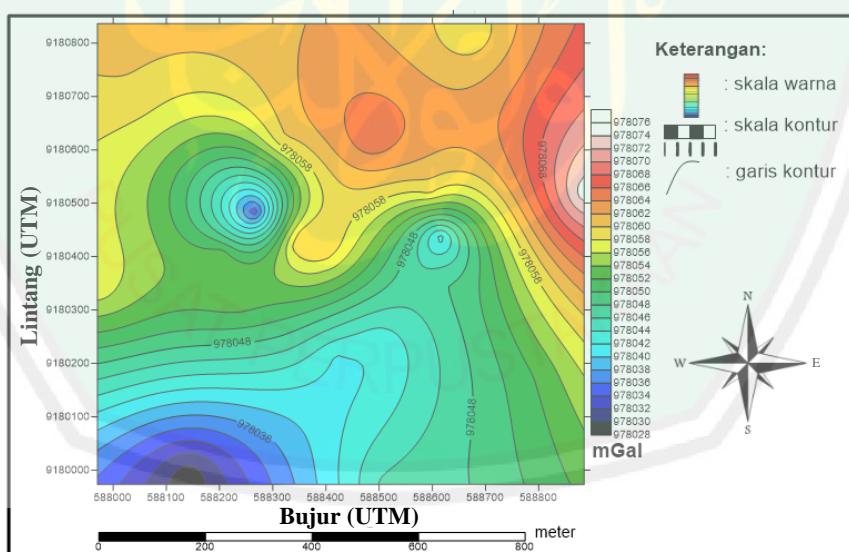
### 4.2.1 Koreksi Awal

Data hasil pembacaan *gravimeter* di area penelitian merupakan data mentah yang besar nilainya dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga diperlukan beberapa koreksi pada data hasil pembacaan alat untuk menghilangkan pengaruh tersebut. Tujuan akhir dari koreksi yang dilakukan adalah untuk memperoleh nilai anomali Bouguer lengkap pada tiap titik ukur. Koreksi awal berupa konversi pembacaan *gravimeter* ke satuan percepatan gravitasi (medan gravitasi), kemudian dilakukan koreksi pasang surut (*tidal*) untuk menghilangkan pengaruh gravitasi dari matahari dan bulan terhadap data yang diperoleh, selanjutnya dilakukan koreksi

*drift* untuk menghilangkan *noise* akibat goncangan alat selama pengambilan data. Nilai koreksi awal dapat diperoleh menggunakan persamaan (3.1).

#### 4.2.2 Medan Gravitasi Observasi (g Obs)

Data koreksi awal pada setiap titik pengukuran kemudian dikurangkan dengan harga koreksi awal pada titik pengukuran pertama (*base station*) sehingga didapatkan nilai *g diff* ( $\Delta g$ ). Besar nilai *g diff* pada tiap titik pengukuran kemudian dijumlahkan dengan besar medan gravitasi absolut di titik ikat, sehingga didapatkan nilai medan gravitasi observasi ( $g_{obs}$ ) pada area penelitian. Nilai medan gravitasi observasi dikonturkan dengan menggunakan *Software Surfer* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.2.

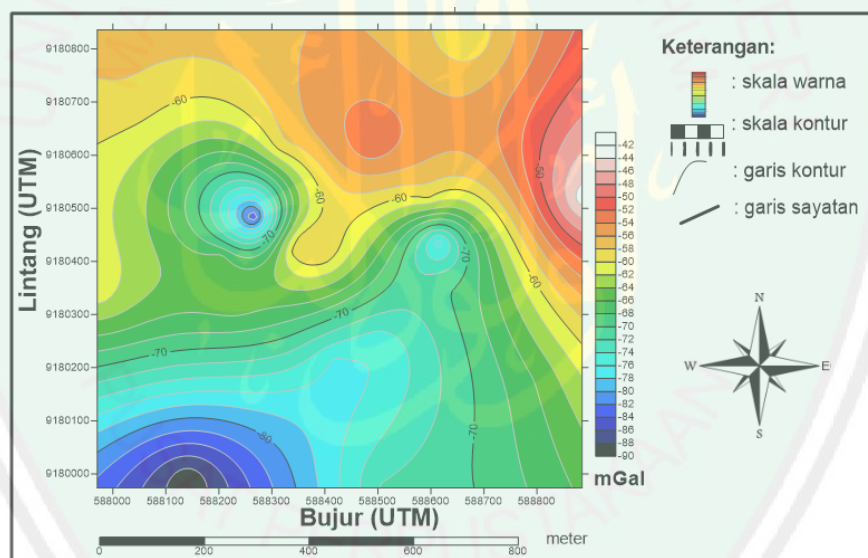


Gambar 4.2 Kontur medan gravitasi observasi

Berdasarkan gambar 4.2 besar medan gravitasi observasi yang terukur pada daerah penelitian berada pada kisaran 978028 hingga 978076 mGal.

#### 4.2.2 Medan Gravitasi Normal (Koreksi Lintang)

Bentuk bumi yang *elipsoid* (jari-jari bumi lebih besar di katulistiwa) menyebabkan terjadinya perbedaan medan gravitasi pada posisi lintang yang berbeda. Secara teoritis kuat medan gravitasi di permukaan akan semakin kecil ketika mendekati katulistiwa dan bertambah ketika mendekati kutub, sehingga harus dilakukan perhitungan nilai  $g$  normal pada tiap titik pengukuran. Dalam penelitian ini koreksi lintang dilakukan berdasarkan persamaan *Geodetic Reference System IGF 1967* (persamaan 2.14).



Gambar 4.3 Kontur anomali medan gravitasi hasil koreksi lintang

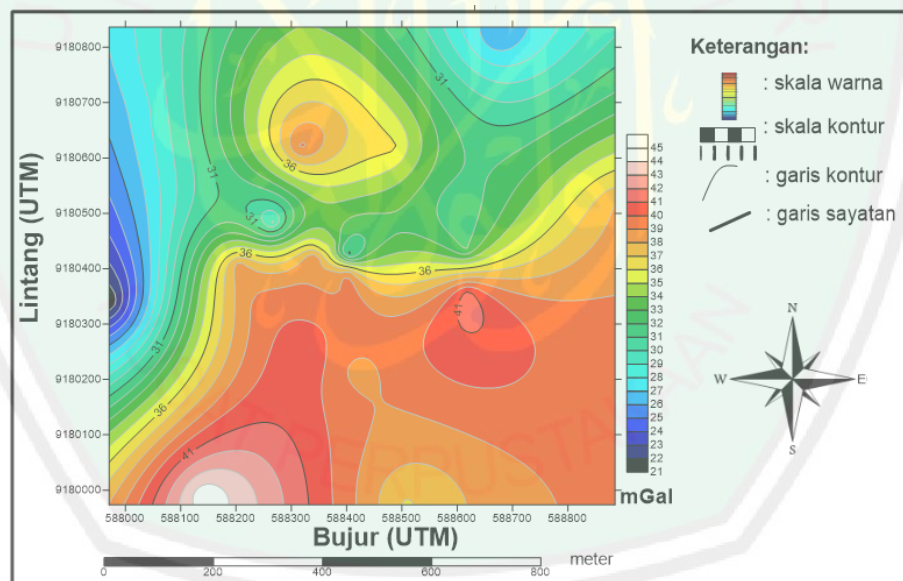
Gambar 4.3 menunjukkan besar nilai anomali medan gravitasi hasil koreksi lintang pada area penelitian berada pada kisaran -90 hingga -42 mGal. Nilai anomali medan gravitasi hasil koreksi lintang ini masih dipengaruhi oleh ketinggian yang berbeda pada tiap titik pengukuran, sehingga perlu dilakukan koreksi terhadap ketinggian topografi di daerah penelitian.



### 4.2.3 Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Nilai gravitasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dua massa yang saling berinteraksi, sehingga perlu dilakukan koreksi untuk mereduksi pengaruh ketinggian dari titik ukur terhadap data medan gravitasi yaitu koreksi udara bebas.

Koreksi udara bebas merupakan koreksi akibat adanya perbedaan ketinggian antara titik pengukuran dengan bidang acuan. Dalam penelitian ini bidang acuan menggunakan bidang *geoid* yang dapat didekati oleh level permukaan laut rata-rata. Anomali medan gravitasi hasil koreksi lintang yang telah direduksi oleh koreksi udara bebas disebut juga dengan anomali udara bebas.



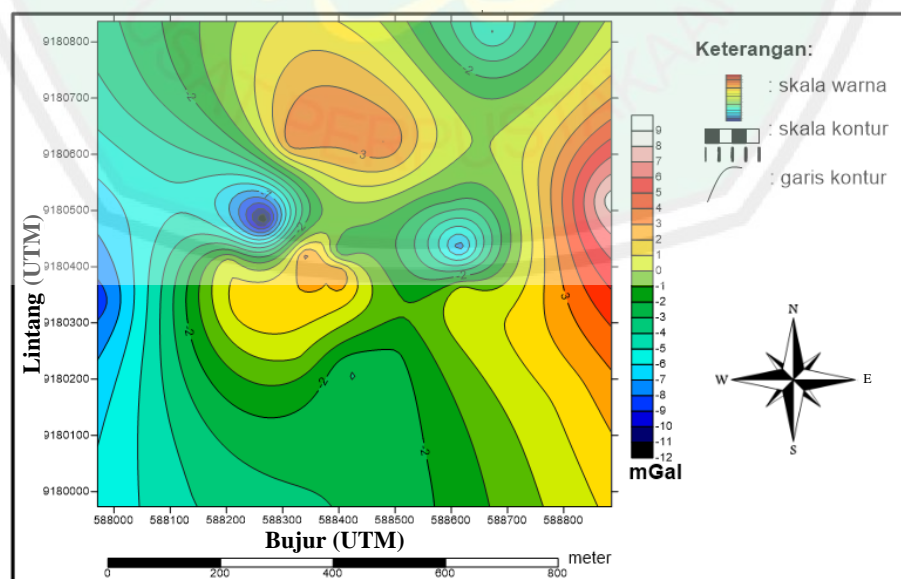
Gambar 4.4 Kontur anomali udara bebas

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai anomali udara bebas berada pada rentang 21 hingga 45 mGal. Nilai anomali medan gravitasi menjadi lebih tinggi setelah terkoreksi udara bebas. Hal ini terjadi akibat distribusi titik pengukuran terletak di atas level permukaan laut.

Koreksi udara bebas masih mengabaikan pengaruh medan gravitasi dari massa yang terletak di antara titik ukur dan bidang acuan (*geoid*), sehingga masih diperlukan koreksi pada nilai anomali udara bebas untuk dapat mereduksi pengaruh massa tersebut yaitu koreksi Bouguer.

#### 4.2.4 Koreksi Bouguer

Pada koreksi Bouguer, jika titik pengukuran berada di atas bidang *geoid*, maka koreksi bouguer yang diperhitungkan berharga negatif. Hal ini dikarenakan massa di atas bidang *geoid* membuat nilai medan di titik pengukuran lebih besar dari nilai medan pada bidang *geoid*. Sebaliknya, jika titik pengukuran berada di bawah bidang *geoid*, koreksi akan akan berharga positif. Pada penelitian ini titik pengukuran berada di atas bidang *geoid*, sehingga nilai koreksi Bouguer berharga negatif. Anomali udara bebas yang telah tereduksi oleh koreksi Bouguer disebut dengan anomali Bouguer sederhana.



Gambar 4.5 Kontur anomali Bouguer sederhana

Gambar 4.5 menunjukkan besarnya nilai anomali bouguer sederhana pada area penelitian berada pada rentang -12 hingga 9 mGal.

#### 4.2.5 Koreksi Medan

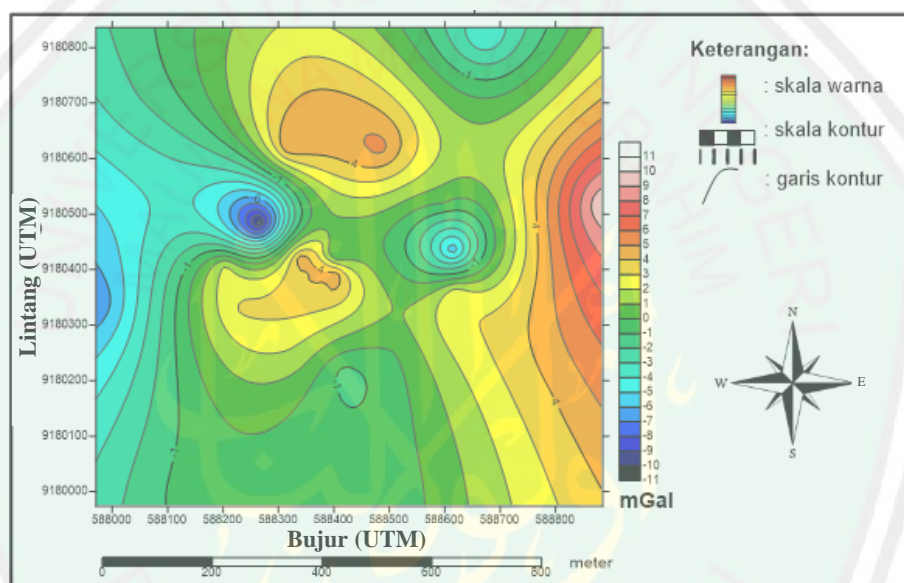
Koreksi bouguer masih mengabaikan efek dari massa bukit atau lembah di sekitar titik pengukuran yang dapat mempengaruhi nilai medan gravitasi yang terukur. Oleh karena itu, perlu dilakukan koreksi untuk menghilangkan pengaruh dari efek tersebut menggunakan koreksi medan.

Massa bukit mengakibatkan adanya komponen gaya ke atas yang berlawanan arah dengan komponen gaya gravitasi. Sedangkan adanya lembah mengakibatkan hilangnya komponen gaya ke bawah pada alat. Efek medan akan mengurangi besarnya nilai medan gravitasi sebenarnya di titik pengukuran, sehingga koreksi medan yang diperhitungkan selalu berharga positif.

Pada penelitian ini koreksi medan dilakukan dengan menggunakan metode yang diusulkan oleh Kane (1962). Metode ini didesain untuk menyeleksi data ketinggian disekitar titik pengukuran dimana koreksi medan akan dicari. Data ketinggian merupakan peta model elevasi digital yang diperoleh dari USGS. Pada model ini dibuat grid dengan titik pengukuran sebagai pusatnya dan daerah perhitungan dibagi atas dua zona topografi yaitu zona eksternal dan zona internal. Zona internal merupakan area penelitian yang telah diperluas 2,5 km, sedangkan zona eksternal merupakan area penelitian yang telah diperluas 15 km. Perluasan ini bertujuan untuk menghitung efek medan diluar luasan area penelitian yang dapat mempengaruhi nilai gravitasi pada titik pengukuran. Area penelitian berada pada daerah yang dikelilingi perbukitan dan lembah sehingga dengan

menggunakan metode tersebut perhitungan koreksi medan akan lebih efisien dan akurat. Program komputasi dari model ini telah dibuat dalam *Software Geosoft*.

Anomali Bouguer sederhana yang telah terkoreksi efek medan disebut juga dengan anomali Bouguer lengkap. Gambar 4.6 menunjukkan besar dan kontur dari anomali Bouguer lengkap pada area penelitian.



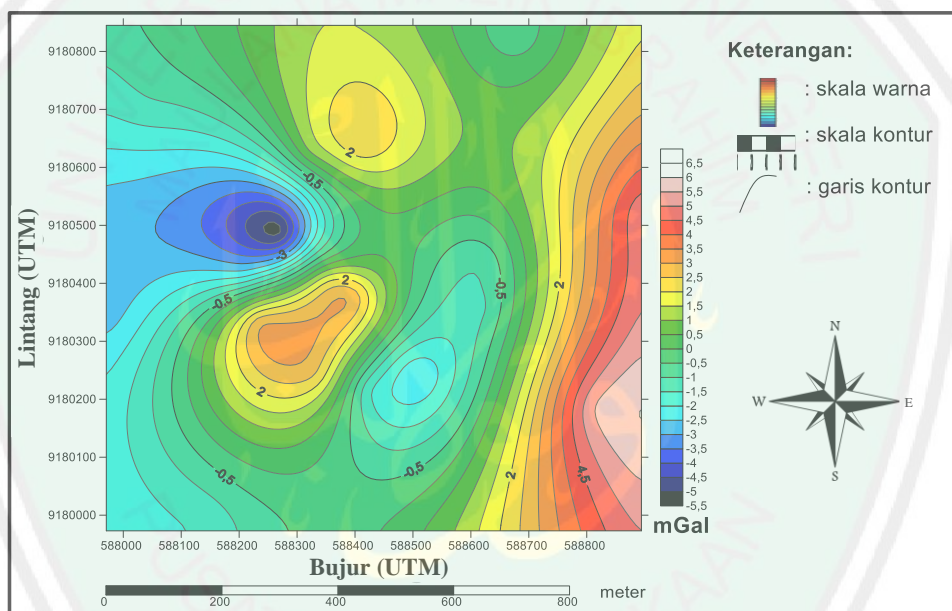
Gambar 4.6 Kontur anomali Bouguer lengkap

Berdasarkan gambar 4.6 dapat diketahui bahwa nilai anomali Bouguer lengkap berada pada rentang -11 mGal hingga 10 mGal. Pengaruh dari efek medan tidak begitu besar sehingga hasil kontur dari anomali Bouguer lengkap tidak berbeda jauh dengan kontur dari anomali Bouguer sederhana.

#### 4.2.6 Reduksi ke bidang datar

Anomali Bouguer lengkap yang telah diperoleh masih terdistribusi pada permukaan yang tidak rata. Hal ini menyebabkan terjadinya distorsi pada nilai medan gravitasi akibat efek variasi ketinggian, sehingga perlu dilakukan proyeksi

atau reduksi ke sebuah bidang datar pada ketinggian rata-rata topografi. Pada penelitian ini proyeksi ke bidang datar dilakukan dengan pendekatan metode *Dampney*. Proses perhitungan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *matlab*, kemudian hasil reduksi dikonturkan dengan menggunakan perangkat lunak *surfer*. Hasil kontur anomali Bouguer lengkap yang telah diproyeksikan ke bidang datar dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Kontur anomali Bouguer lengkap setelah direduksi ke bidang datar

Reduksi ke bidang datar dilakukan pada ketinggian rata-rata yaitu 340 mdpl dengan kedalaman bidang 140 m. Besar nilai anomali Bouguer lengkap hasil reduksi bidang datar berada pada kisaran -5,5 hingga 6,5 mGal dengan persebaran anomali tinggi dan rendah tidak terlalu berbeda dengan anomali Bouguer lengkap di topografi.

Kontur anomali Bourguer lengkap di bidang datar yang dihasilkan memiliki perbedaan yang signifikan dengan kontur anomali Bouguer lengkap sebelum

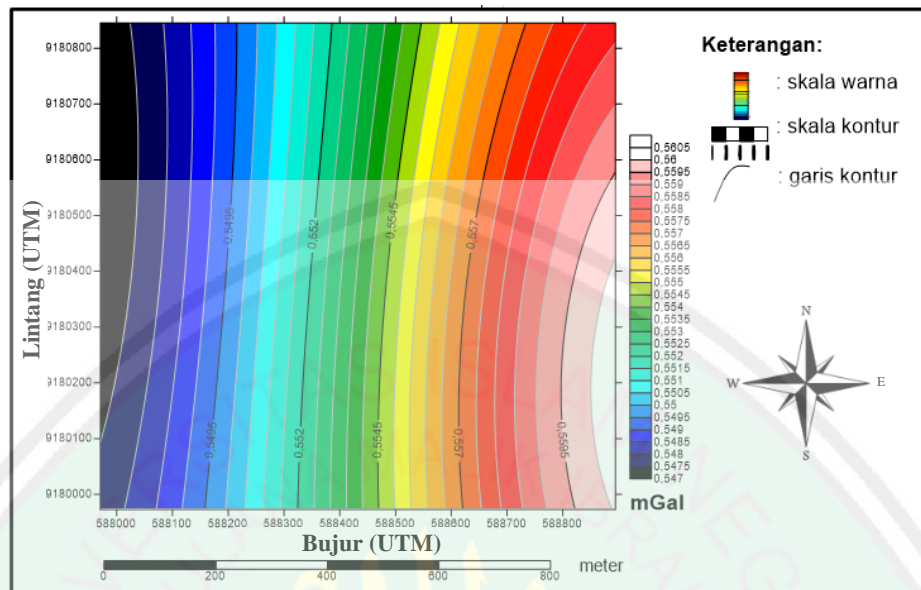


direduksi. Variasi ketinggian antar titik pengukuran di lapangan yang ekstrim menyebabkan distorsi pada data anomali semakin besar dan berpengaruh terhadap hasil kontur anomali bouguer lengkap setelah direduksi ke bidang datar.

Data anomali Bouguer lengkap di bidang datar sudah merepresentasikan distribusi massa jenis batuan di bawah permukaan, namun data ini masih merupakan gabungan dari nilai anomali regional dengan nilai anomali lokal. Sedangkan dalam proses pemodelan yang diperlukan adalah anomali lokal, sehingga masih perlu dilakukan pemisahan antara anomali lokal dengan regionalnya.

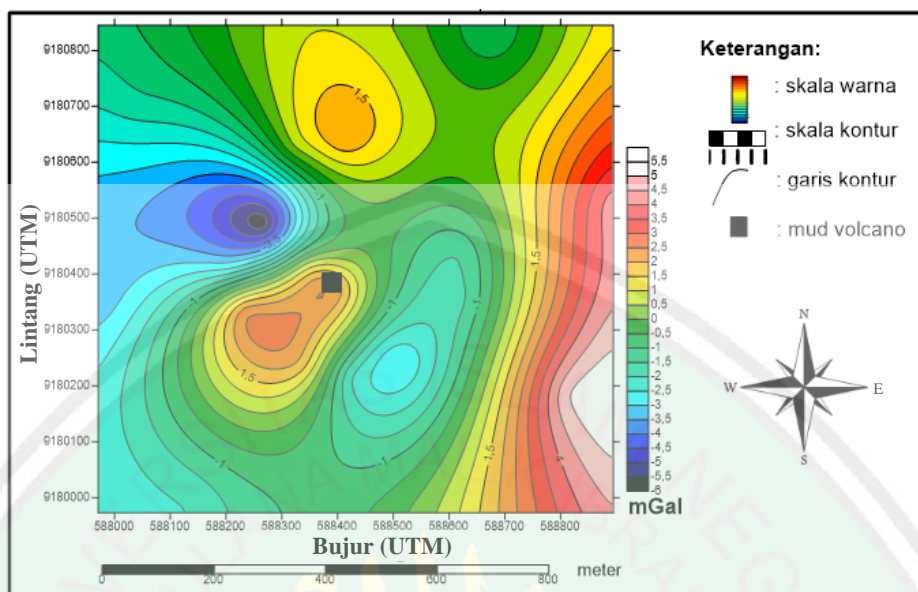
#### **4.3 Interpretasi Kualitatif**

Interpretasi kualitatif dilakukan untuk menganalisis anomali yang diduga muncul akibat adanya *body*/benda yang menjadi target dari penelitian. Interpretasi kualitatif dilakukan berdasarkan peta kontur anomali lokal. Dalam penelitian ini dilakukan kontinuitas ke atas dengan pengangkatan 1845 m pada data anomali Bouguer lengkap untuk mendapatkan nilai anomali regional. Kontinuitas ke atas merupakan suatu proses perubahan data yang diukur pada suatu level permukaan menjadi data yang seolah-olah terukur pada level permukaan yang lebih tinggi. Dalam penelitian ini digunakan *Software Magpick* untuk melakukan proses kontinuitas ke atas pada data.



Gambar 4.8 Kontur anomali regional hasil kontinuasi ke atas

Gambar 4.8 menunjukkan besar nilai anomali regional yang relatif stabil, yaitu pada kisaran 0,5 mGal. Hal ini menunjukkan bahwa sudah tidak ada pengaruh dari anomali medan gravitasi lokal pada pengangkatan 1845 m. Sedangkan nilai anomali lokal dapat dihitung dengan mencari selisih antara anomali Bouguer lengkap di bidang datar dengan anomali regional yang telah diperoleh.



Gambar 4.9 Kontur anomali lokal pada area penelitian

Berdasarkan peta anomali lokal yang ditunjukkan oleh gambar 4.9 nilai anomali berada pada rentang nilai  $-6$  mGal hingga  $5,5$  mGal. Secara kualitatif pola kontur anomali lokal area penelitian terbagi menjadi tiga pola, yaitu pola anomali rendah ( $-6$  mGal hingga  $-2,5$  mGal), anomali sedang ( $-2$  mGal hingga  $0$  mGal) dan anomali tinggi ( $0,5$  mGal hingga  $5,5$  mGal). Besar kecilnya nilai anomali dipengaruhi oleh beberapa hal yakni densitas batuan, posisi batuan dan besar badan batuan

Pola anomali tinggi pada bagian timur peta dengan nilai anomali  $2,5$  mGal hingga  $5,5$  mGal diduga akibat adanya dominasi batuan yang memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan batuan di sekitarnya. Berdasarkan peta geologi lembar Bojonegoro lokasi penelitian berada pada satuan Breksi Pandan berupa tuf dan breksi andesit.

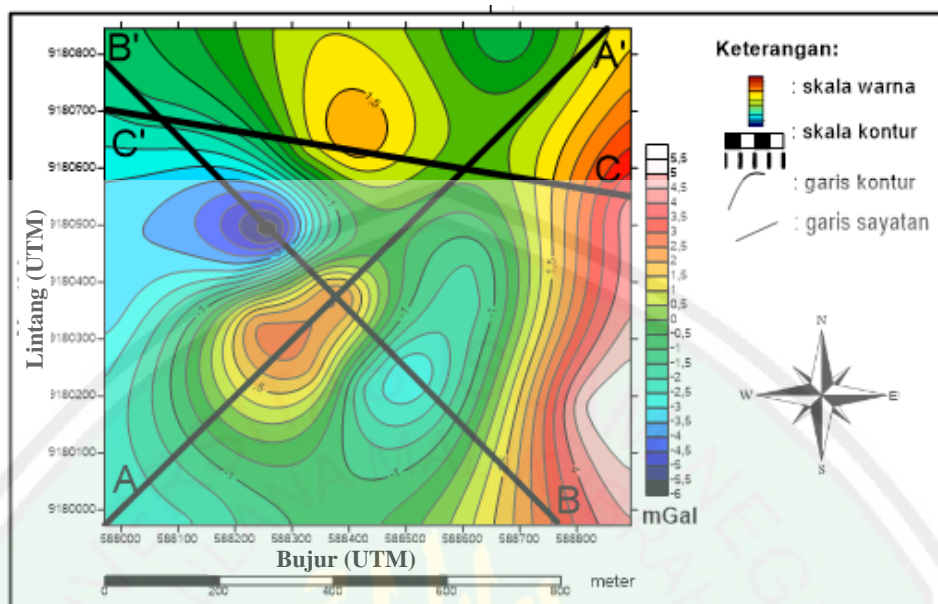
Sedangkan pola anomali rendah berada pada bagian barat peta diduga merupakan pengaruh struktur batuan yang lebih dalam. Batuan pengisi struktur ini

diduga memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan batuan di sekitarnya. Berdasarkan peta geologi lembar Bojonegoro satuan Breksi Pandan menindih Formasi Kalibeng dan Formasi Kerek yang didominasi oleh batu pasir dan napal yang banyak membentuk kemenerusan struktur patahan naik, struktur antiklin dan sinklin di bawah satuan Breksi Pandan.

Titik semburan lumpur (*mud volcano*) yang menjadi target dari penelitian berada dalam pola klosur anomali tinggi pada tengah peta anomali lokal. pola anomali tinggi ini diperkirakan sebagai pola yang terbentuk akibat keberadaan badan lumpur di bawah permukaan yang memiliki densitas lebih tinggi dari pada batuan di sekitarnya.

#### **4.4 Interpretasi Kuantitatif**

Setelah diperoleh kontur anomali lokal daerah penelitian kemudian dibuat sayatan pada kontur tersebut. Hal ini dilakukan untuk memodelkan struktur bawah permukaan dari sayatan. Dalam penelitian ini dibuat tiga sayatan anomali yaitu sayatan penampang A-A', B-B' dan C-C' pada kontur anomali lokal.



Gambar 4.10 Sayatan A-A', B-B' dan C-C' pada kontur anomali lokal

Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk mendapatkan model struktur geologi dengan menganalisis penampang pola anomali lokal sepanjang profil sayatan yang telah ditentukan seperti ditunjukkan pada gambar 4.10.

Dalam interpretasi kuantitatif dapat dihasilkan beragam model yang berbeda, sehingga untuk menghindari hal tersebut maka diperlukan data pendukung berupa data geologi daerah penelitian, data densitas batuan dan data pendukung lain.

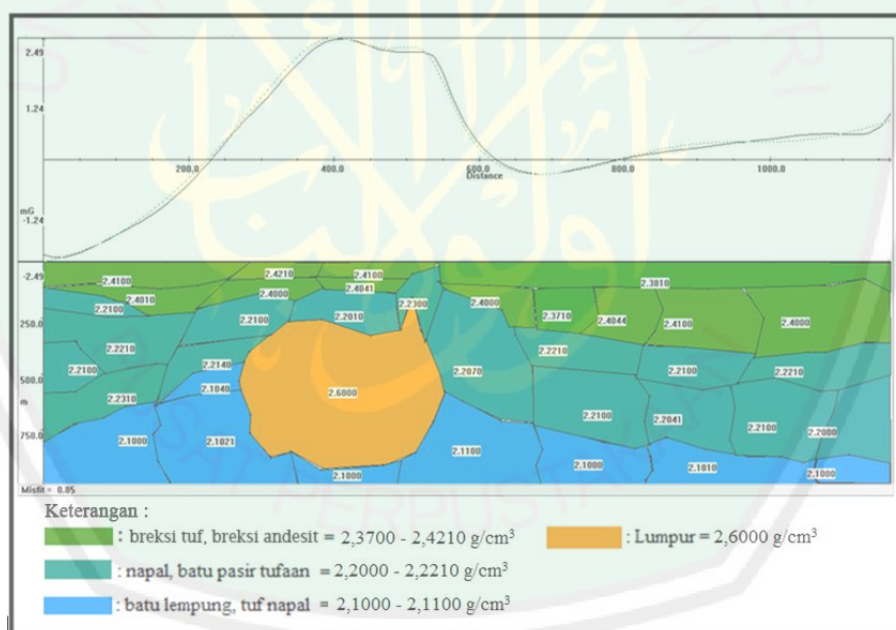
Interpretasi kuantitatif pada penelitian ini berupa analisis model bawah permukaan dari suatu penampang anomali lokal dengan menggunakan *Software Grav2dc*. Data masukan pada *Grav2DC* berupa jarak lintasan (m) dengan nilai anomalnya. Pemodelan dilakukan dengan menyamakan garis putus-putus (penampang sayatan anomali lokal) dengan garis tegas (penampang anomali model) menggunakan metode trial dan *error* sehingga dalam pengerjaannya harus diliterasi hingga didapatkan *error* terkecil.



Pada penelitian ini kedalaman maksimum yang digunakan untuk seluruh model bawah permukaan dari sayatan adalah 1000 m. Penentuan kedalaman maksimum model dilakukan berdasarkan informasi kedalaman model geologi setempat.

#### 4.4.1 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan A-A'

Penampang anomali A-A' memotong pola klosur anomali tinggi yang diduga merupakan pola anomali dari keberadaan badan lumpur. Penafsiran litologi daerah penelitian didasari oleh data geologi daerah setempat.



Gambar 4.11 Model 2D bawah permukaan sayatan A-A'

Gambar 4.11 merupakan gambar model penampang anomali lokal dari sayatan A-A' dengan panjang lintasan  $\pm 1100$  m dari barat daya ke arah timur laut daerah penelitian.

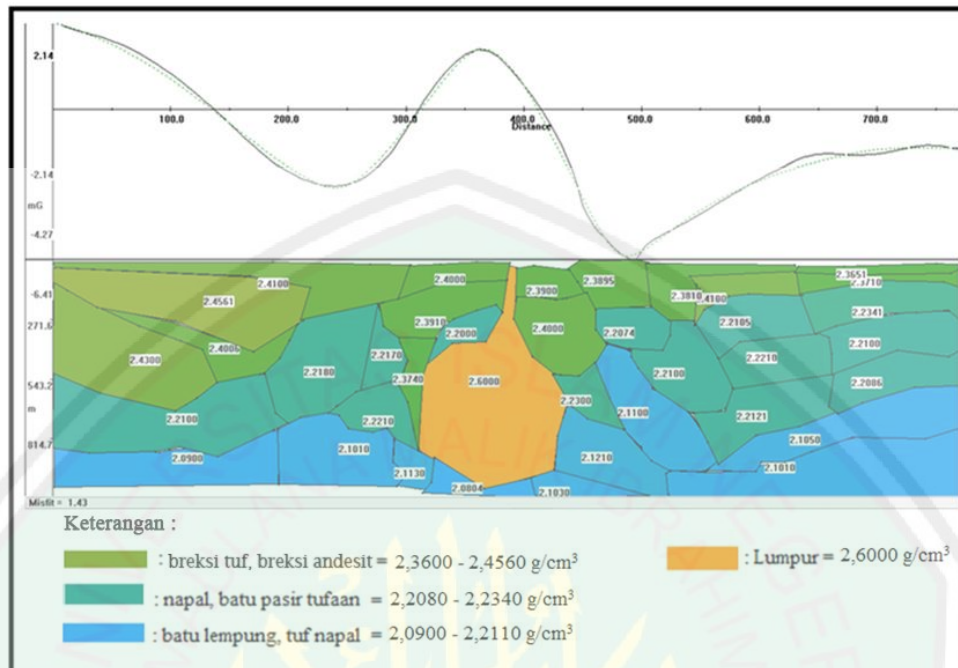
Berdasarkan gambar 4.11 terlihat bahwa terbentuk struktur antiklin pada penampang 2D sayatan A-A'. Secara umum model 2D penampang A-A' terdiri

dari empat jenis *body*. Jenis *body* pertama ditunjukkan dengan densitas 2,3700 - 2,4210 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai breksi tuf dan berksi andesit dimana berdasarkan informasi geologi merupakan breksi dari Gunung Pandan dengan ketebalan ±200 m. Jenis *body* kedua ditunjukkan dengan densitas 2,2000 - 2,2100 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai batuan napal dan pasir tufaan yang merupakan satuan Formasi Kalibeng pada kedalaman ±200 m dan ketebalan ±500 m. Jenis *body* ketiga ditunjukkan dengan densitas 2,1000 - 2,1100 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai batu lempung dan tuf napal yang merupakan satuan dari Formasi Kerek pada kedalaman ±750 m dengan ketebalan ±250 m. Jenis *body* keempat ditunjukkan dengan densitas 2,600 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai badan lumpur di bawah permukaan yang merupakan objek dari penelitian pada kedalaman ±250 m dan ketebalan ±500 m.

Secara umum hasil pemodelan struktur bawah permukaan penampang sayatan A-A' membentuk struktur antiklin yang terdiri dari tiga lapisan batuan yaitu pada lapisan pertama berupa batuan andesit, lapisan kedua berupa batuan napal dan pasir tufaan, dan lapisan ketiga berupa batu lempung dan tuf napal. Kesenambungan lapisan pada struktur ini terpotong oleh keberadaan badan lumpur.

#### **4.4.2 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan B-B'**

Penampang anomali lokal lintasan B-B' memotong pola anomali tinggi yang diduga merupakan indikasi keberadaan objek penelitian (*mud volcano*) dari tenggara ke arah barat laut peta anomali lokal.



Gambar 4.12 Model 2D bawah permukaan sayatan B-B'

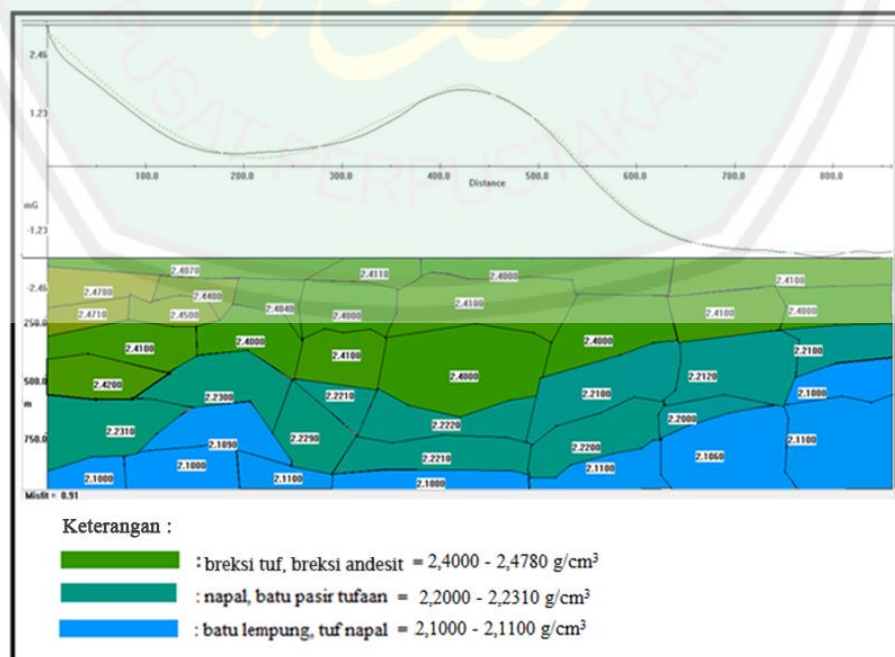
Berdasarkan gambar 4.12 secara umum model 2D penampang B-B' terdiri dari empat jenis *body*. Jenis *body* pertama ditunjukkan dengan densitas 2,3600-2,4560 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai breksi andesit dan breksi tuf, dimana berdasarkan informasi geologi merupakan breksi dari Gunung Pandan pada kedalaman ±250 m dengan ketebalan ±300 m. Jenis *body* kedua ditunjukkan dengan densitas 2,208 - 2,2340 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai napal dan pasir tufaan yang merupakan satuan Formasi Kalibeng pada kedalaman ±300 m dan ketebalan ±350 m. Jenis *body* ketiga ditunjukkan dengan densitas 2,0900 – 2,1100 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai batu lempung dan tuf napal yang merupakan satuan dari Formasi Kerek pada kedalaman ±750 m dengan ketebalan ±250 m. Sedangkan jenis *body* keempat ditunjukkan dengan densitas 2,600 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai badan lumpur di bawah permukaan yang

merupakan objek dari penelitian pada kedalaman  $\pm 250$  m, ketebalan  $\pm 500$  m dan panjang horizontal  $\pm 100$  m.

Secara umum hasil pemodelan struktur bawah permukaan penampang sayatan A-A' membentuk struktur antiklin yang terdiri dari tiga lapisan batuan yaitu pada lapisan pertama berupa breksi andesit dan breksi tuf, lapisan kedua berupa batuan napal dan pasir tufaan, dan lapisan ketiga berupa batu lempung dan tuf napal. Kesenambungan lapisan pada struktur ini terpotong oleh keberadaan badan lumpur.

#### 4.4.3 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan C-C'

Sayatan anomali lokal lintasan C-C' berada pada bagian utara peta memotong garis sayatan A-A' dan B-B' dari timur ke arah barat peta anomali lokal.



Gambar 4.13 Model 2D bawah permukaan sayatan C-C'



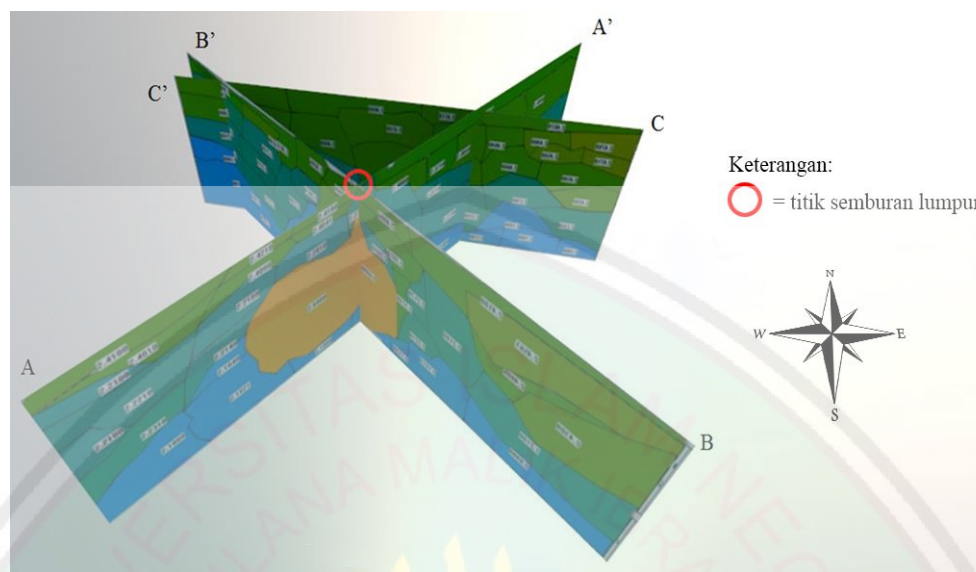
Berdasarkan gambar 4.13, secara umum model 2D penampang C-C' terdiri dari tiga jenis *body*. Jenis *body* pertama ditunjukkan dengan densitas 2,4000 - 2,4780 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai breksi tuf dan breksi, dimana berdasarkan informasi geologi merupakan breksi dari Gunung Pandan dengan ketebalan ±450 m. jenis *body* kedua ditunjukkan dengan densitas 2,2000 - 2,2310 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai napal dan pasir tufaan yang merupakan satuan Formasi Kalibeng pada kedalaman ±500 m dan ketebalan ±250 m. jenis *body* ketiga ditunjukkan dengan densitas 2,1000 – 2,1100 gram/cm<sup>3</sup> diinterpretasikan sebagai batu lempung dan tuf napal yang merupakan satuan dari Formasi Kerek pada kedalaman ±750 m dengan ketebalan ±250 m.

Secara umum hasil pemodelan struktur bawah permukaan penampang sayatan C-C' membentuk struktur antiklin yang terdiri dari tiga lapisan batuan yaitu pada lapisan pertama berupa breksi tuf dan breksi andesit, lapisan kedua berupa batuan napal dan pasir tufaan, dan lapisan ketiga berupa batu lempung dan tuf napal.

#### 4.3.4 Model Penampang 3 Dimensi

Model penampang 3 dimensi (3D) berupa hasil penggabungan dari model 2 dimensi (2D) A-A', B-B', dan C-C' yang saling berpotongan dan kemudian direkonstruksi menjadi bentuk 3D menggunakan bantuan perangkat lunak *Sketchup*. Pemodelan secara 3D ini dilakukan untuk melihat kesinambungan dari model 2D struktur batuan penyusun bawah permukaan area penelitian, sehingga dapat memudahkan interpretasi secara vertikal.





Gambar 4.14 Model 3D penampang A-A', B-B', dan C-C'

Pemodelan 3D memberikan gambaran yang lebih nyata pada struktur bawah permukaan. Gambar 4.14 merupakan model 2D bawah permukaan yang direkonstruksi ke Bentuk 3D. Terlihat bahwa terdapat kesinambungan lapisan dan *body* antar penampang model 2D struktur bawah permukaan. Berdasarkan hasil interpretasi kualitatif dan kuantitatif badan lumpur di bawah permukaan condong mengarah ke barat daya. Hal ini juga terkonfirmasi oleh model 2D tiap penampang sayatan yang telah direkonstruksi ke bentuk 3D (Gambar 4.17) menunjukkan badan lumpur di bawah permukaan condong mengarah ke barat daya.

Berdasarkan hasil pemodelan badan lumpur diperkirakan terbentuk dari Formasi Kerek yang berupa batu lempung dan tuf napal. Lempung merupakan penyusun utama dari lumpur ekstrusi *mud volcano*. Sedangkan Formasi Kalibeng diperkirakan bertindak sebagai *cap* atau penutup dari badan lumpur.

Fenomena semburan lumpur (*mud volcano*) pada area penelitian berada pada wilayah Jawa Timur bagian utara. Menurut Van Bemmelen (1949) pada masa pliosen erupsi dari gunungapi di selatan Pulau Jawa sebelah timur mengisi cekungan mandala kendeng, sehingga merubah lingkungan laut dalam menjadi lingkungan laut dangkal. Aktivitas tektonik pada masa ini juga menyebabkan terjadinya struktur yang kompleks (pelipatan, pengangkatan, dan patahan) pada zona Kendeng di bagian selatan Bojonegoro sehingga yang awalnya laut dangkal berubah menjadi daratan. Proses sedimentasi yang berlangsung cepat dan aktivitas tektonik yang terus berlangsung mengakibatkan sedimen kaya organik yang tertimbun erupsi tidak terkompaksi sempurna ini akan membentuk cikal bakal kantong-kantong lumpur bertekanan di bawah permukaan (*mud volcano*) (Setiadi dkk, 2015).

Lumpur memiliki sifat yang *mobile* atau dapat bergerak bebas. Dalam keadaan bertekanan tinggi lumpur dapat mencapai permukaan ketika menemukan bidang lemah pada lapisan di atasnya. Bidang lemah ini dapat terjadi disebabkan karena adanya sesar maupun rekahan. Berdasarkan informasi peta geologi lembar Bojonegoro lokasi penelitian berada pada zona Mendala Kendeng di bagian selatan peta. Pada zona ini terbentuk struktur yang kompleks. Pelipatan (membentuk struktur antiklin dan sinklin) dan sesar berkembang cukup kuat terutama pada formasi Kerek dan formasi Kalibeng yang diduga hasil tektonik pliosen akhir yang masih aktif hingga saat ini. Aktivitas tektonik ini terbukti dengan masih adanya *event* gempa bumi yang terjadi pada wilayah ini. Aktivitas tektonik ini dapat membuat tekanan pada badan lumpur di bawah permukaan

semakin tinggi sehingga lumpur akan mencari titik setimbang ke area yang memiliki tekanan lebih rendah. Adanya *event* gempa bumi pada daerah penelitian dapat mengakibatkan adanya bidang lemah berupa celah pada lapisan batuan di atas badan lumpur, sehingga lumpur yang bertekanan tinggi menyembur ke permukaan melalui celah tersebut. Selain akibat aktivitas tektonik tekanan pada badan lumpur juga dapat disebabkan oleh adanya gas alam yang terbentuk dan terakumulasi di dalamnya. Berdasarkan informasi geologi pada Formasi Kerek terdapat fosil *foraminifera plankton* yang merupakan petunjuk dari adanya sumber daya alam berupa minyak dan gas alam.

Daya semburan lumpur semakin melemah yang ditandai dengan semburan lumpur yang semakin mengecil sejak dari awal semburan terjadi. Hal ini dapat terjadi akibat tekanan pada badan lumpur di bawah permukaan yang berangsur melemah selama proses ekstrusi lumpur. Semburan lumpur akan berhenti ketika tekanan badan lumpur di bawah permukaan sama dengan tekanan pada lapisan batuan disekitarnya.

Semburan lumpur juga dapat berhenti jika semua material lumpur di bawah tanah telah keluar ke permukaan. Namun berdasarkan hasil pemodelan struktur bawah permukaan menunjukkan keberadaan kantong lumpur yang cukup besar sehingga masih memungkinkan untuk lumpur naik ke permukaan lagi ketika tekanan yang terakumulasi pada badan lumpur cukup untuk mengangkat material lumpur naik ke atas.

Potensi bencana sekunder dari adanya semburan lumpur berupa tanah amblas secara tiba-tiba sangat rendah jika dilihat dari perbandingan antara daya

semburan lumpur yang lemah dengan besarnya kantong lumpur yang didapat dari hasil pemodelan. Namun jika semburan lumpur terus berlangsung dalam waktu yang sangat lama maka kemungkinan akan terjadi penurunan muka tanah secara berkala di area penelitian.

#### 4.5 Kajian Al-Qur'an

Struktur bawah permukaan tanah tersusun atas berbagai macam lapisan dengan sifat fisisnya masing-masing berupa warna, densitas, satuan penyusun dan lain- lain. Seperti tertera dalam Al-Qur'an, Surat Faathir (35), ayat 27 berikut:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيْضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٌ

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

Berdasarkan ayat di atas, gunung tersusun dari berbagai lapisan dengan ciri lapisan yang berbeda. Menurut ilmu geologi gunung dan daratan yang kita tinggali merupakan lapisan litosfer bumi yang terdiri dari berbagai lapisan. Lapisan ini terbentuk akibat adanya sedimentasi dari batuan yang berbeda-beda sehingga membentuk menyerupai garis-garis. Dalam penelitian ini juga terdapat lapisan lempung yang keluar ke permukaan dengan warna hitam keabu-abuan (Jazmi dan Nordyana, 2013).

Gunung-gunung dan lapisan-lapisan batuan tersebut berada pada sebuah lempengan benua maupun samudra yang terus bergerak seperti awan sebagaimana tertera dalam Surat An-Naml (27) ayat 88 berikut (Jazmi dan Nordyana, 2013):

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسِبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ ۚ صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي أَتَقَنَ كُلَّ شَيْءٍ إِنَّهُ خَيْرٌ لِّمَا تَفْعَلُونَ ﴿٨٨﴾

*“Dan kamu Lihat gunung-gunung itu, kamu sangka Dia tetap di tempatnya, Padahal ia berjalan sebagai jalannya awan. (Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu; Sesungguhnya Allah Maha mengetahui apa yang kamu kerjakan”.*

Para ahli geologi menyimpulkan bahwa kerak bumi terdiri dari beberapa lempengan yang terpisah. Lempeng-lempeng ini terus bergerak akibat adanya gaya konveksi di bawahnya. Pergerakan ini menyebabkan terjadinya fenomena saling menjauh dan saling menumbuk antar lempeng.

Fenomena *mud volcano* sering terjadi pada batas lempeng konvergen aktif (zona subduksi). Pulau Jawa (termasuk daerah penelitian) terbentuk akibat adanya pergerakan dua lempeng yang saling mendekat dan bertabrakan antara lempeng samudra hindia pada bagian barat daya dan lempeng Eurasia bagian tenggara.



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian metode gravitasi pada lokasi semburan lumpur maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Struktur bawah permukaan area penelitian merupakan antiklin yang secara umum terdiri dari breksi tuf, breksi andesit, napal, batu pasir tufaan, lempung, dan tuf napal.
2. Berdasarkan interpretasi kualitatif peta anomali lokal potensi persebaran lumpur cenderung mengarah ke arah barat daya peta yang ditunjukkan dengan adanya pola klosur anomali tinggi. Badan lumpur terlihat pada penampang model bawah permukaan sayatan A-A' dan B-B' yang memotong titik semburan lumpur dan pola klosur anomali tinggi pada area tengah peta anomali lokal dengan kedalaman badan lumpur  $\pm 250$  m dan ketebalan  $\pm 500$  m, panjang horizontal  $\pm 200$  m pada sayatan A-A' dan  $\pm 100$  m pada sayatan B-B' dengan densitas badan lumpur sebesar  $2,6 \text{ g/cm}^3$ . Hasil pemodelan 3D menunjukkan adanya kesinambungan antar batuan pada tiap penampang sayatan.

### **5.2 Saran**

Penelitian dengan lanjutan baik menggunakan metode geofisika lain, geologi maupun geokimia perlu dilakukan agar pemodelan struktur bawah

permukaan dan identifikasi *mud volcano* di area penelitian terpetakan dengan detail.



## DAFTAR PUSTAKA

- Al Firman. 2015. *Interpretasi Struktur Pengontrol Mud Volcano Bledug Kuwu Di Wilayah Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah Menggunakan Analisis Data Anomali Magnetik Lokal*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Al-Qur'an al Karim. 2005. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: Departemen Agama RI.
- Anggraeni, Atika Silvi. 2016. *Parameter Sumber Gempabumi Swarm Bojonegoro 13 –25 Februari 2016*. Skripsi: Uiversitas Gajah Mada.
- Ariyanto, Sandy Vikki. Sunaryo. Adi Susilo. 2014. *Pendugaan Struktur Kantong Magma Gunungapi Kelud Berdasarkan Data Gravity Menggunakan Metode Ekvivalen Titik Massa*. Magister Thesis. Malang: Universitas Brawijaya.
- Aufia, Yasrifa Fitri. 2017. *Pendugaan Patahan Daerah "Y" Berdasarkan Anomaligayaberat Dengan Analisis Derivative*. Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.
- Badan Lingkungan Hidup Surabaya. 2012. *Profil Keanekaragaman Hayati Kota Surabaya*. Surabaya: Pemerinah Kota Surabaya.
- Bahri, Radinal J. Dkk. 2015. *Aplikasi Metode Gayaberat Untuk Memprediksi Prospek Panasbumi Di Daerah Kuningan, Jawa Barat*. Fibusi (JoF) Vol. 3 No. 3.
- Blakely, Richard J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. New York: Cambridge University Press.
- BMKG. 2016. *Peta Seismisitas Indonesia Menggunakan Google Map*. [http://repogempa.bmkg.go.id/index\\_peta.php?id=101&session\\_id=mxsqexfI](http://repogempa.bmkg.go.id/index_peta.php?id=101&session_id=mxsqexfI) (diakses pada Tanggal 9 Nopember 2017).
- Burger, Robert H. 1992. *Exploration Geophysics of the shallow subsrface*. New Jersey: Prentice Hall.
- Dampney, CGN.1969. *The Equivalent Source Technique*, Geophysics vol.34, no.1
- Dewi, Anis Kurnia. 2015. *Identifikasi Struktur Dan Model Sistem Panas Bumi Daerah Lilli-Sepporaki Berdasarkan Analiis Data Anomali Bouguer*. Skripsi. Lampung: Universita Lampung.

- Dimitrov, L. I. 2003. *Mud Volcanoes - A Sizeable Source of Atmospheric Carbon*. *Geo-mar lett* (2003) 23: 645-643. DOI 10.1007/s00367-003-0157-7.
- Dobrin, Milton B. 1960. *Introduction to Geophysical Prospecting*. New York: McGraw-Hill Book Company Inc.
- Freie Universitat Berlin. 2003. *Instruction Manual Model G & D Gravity Meters* [PDF]. [userpage.fu-berlin.de/geodyn/instruments/Manual\\_Lacoste\\_GDI](http://userpage.fu-berlin.de/geodyn/instruments/Manual_Lacoste_GDI) (diakses pada tanggal 30 Maret 2018).
- GPG. 2017. *Densities of Sedimentary Rocks*. [https://gpg.geosci.xyz/content/physical\\_properties/tables/density\\_sedimentary\\_rocks.html](https://gpg.geosci.xyz/content/physical_properties/tables/density_sedimentary_rocks.html) (diakses pada tanggal 31 Maret 2018).
- Hammer, S. 1939. *Terrain Corrections for Gravimeter Stations*. *Geophysics*. Vol. 4 No.3: P. 184-194.
- Hardiansyah, Bagus. 2016. *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Tg-11 Dengan Menggunakan Metode Gaya Berat*. Skripsi. Lampung. Universitas Lampung.
- Hasria. 2011. *Aplikasi Software Grav2Dc dalam Interpretasi Data Anomali Medan Gravitasi*. *Jurnal Aplikasi Fisika* Vol 7 No.1.
- Indarwati, Rika. 2016. *Analisa Struktur Bawah Permukaan Daerah Porong Sidoarjo Berdasarkan Data Gaya Berat*. Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.
- Jazmi, Khoirul Azmi, Hassan dan Nordyana. 2013. *Al-Quran Dan Geologi*. pp. 1-19. ISBN: 978-983-52-0914-7. Johor Bahru: Universiti Teknologi Malaysia Press.
- Kadir, Abdul. 1999. *Konsep dan Tuntunan Praktis Basis Data*. Yogyakarta: Andi.
- Kalinko, M. 1964. *Mud Volcanoes, Reasons Of Their Origin, Development And Fading: VNIGRI*, v. 40, p. 30-54 (in Russian).
- Krisnayanti, B D dan Agustawijaya, D S. 2014. *Characteristics of Lusi mud volcano and its impacts on the Porong River*. *JOURNAL OF DEGRADED AND MINING LANDS MANAGEMENT* ISSN: 2339-076X, Volume 1, Number 4 (July 2014): 207-210 DOI:10.15243/jdmlm.2014.014.207.
- Kurniawan, Fatwa Aji dan Sehad. 2012. *Pemanfaatan Data Anomali Gravitasi Citra GEOSAT dan ERS-1 Satellite untuk Memodelkan Struktur Geologi*

- Cekungan Bentarsari Brebes*. Indonesian Journal of Applied Physics Vol.2 No.2 halaman 184.
- Longman, I.M. 1959. *Formula for Computing the Tidal Acceleration Due to the Moon and Sun*. Journal Geophysics Research, Vol.64.2351-2355.
- Lopes, Rosaly. 2010. *Volcanoes (Beginners Guides)*. London: Oneworld Publishing.
- Maulana, Robert Hardiansyah. 2017. *Struktur Geologi Daerah Bojonegoro*. Makalah. Malang: Universitas Brawijaya.
- Mazzini, A. 2009. *Mud volcanism: Processes and implications*. Marine and Petroleum Geology 26 (2009) 1677–1680
- Mazzini, A., Akhmanov, G.G., Svensen, H., Planke, S. 2007. *Pulsating Mud Volcanism at LUSI, Indonesia*. Makalah dipresentasikan. Dalam: The International Geological Workshop of Sidoarjo Mud Volcano. Jakarta
- Milkov, A. V.2000. *Worldwide Distribution of Submarine Mud Volcanoes and Associated Gas Hydrates*. Marine Geology, 167, 29-42.
- Nugraha, Purwaditya. 2016. *Penentuan Kedalaman Optimum Anomali Gaya Berat Dengan Metode Korelasi Antara Analisis Spektrum Dan Continuation Studi Kasus Semarang Jawa Tengah*. Skripsi. Semarang: Universitas Negri Semarang.
- Purwanto, Agus. 2015. *Ayat-Ayat Semesta: Sisi Al-Quran Yang Terlupakan*. Bandung: PT Mizan Pustaka.
- Putranto, Gayuh Nugroho Dwi. 2008. *Tatanan Geologi Daerah Gondang, Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur*. Undergraduate Theses. Bandung: Central Library Institute Technology Bandung.
- Pringgoprawiro, H dan Sukido. 1992. *Geologi Lembar Bojonegoro*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Priseptian, Ryan Tanjung. 2015. *Analisis dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Data Anomali Gayaberat Daerah Danau Toba Provinsi Sumatra Utara*. Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.
- Rahman, M. Dkk. 2014. *Pendugaan Struktur Bawah Permukaan 2½ Dimensi di Kawasan Gunungapi Kelud Berdasarkan Survei Gravitasi*. NATURAL B, Vol. 2, No. 3.



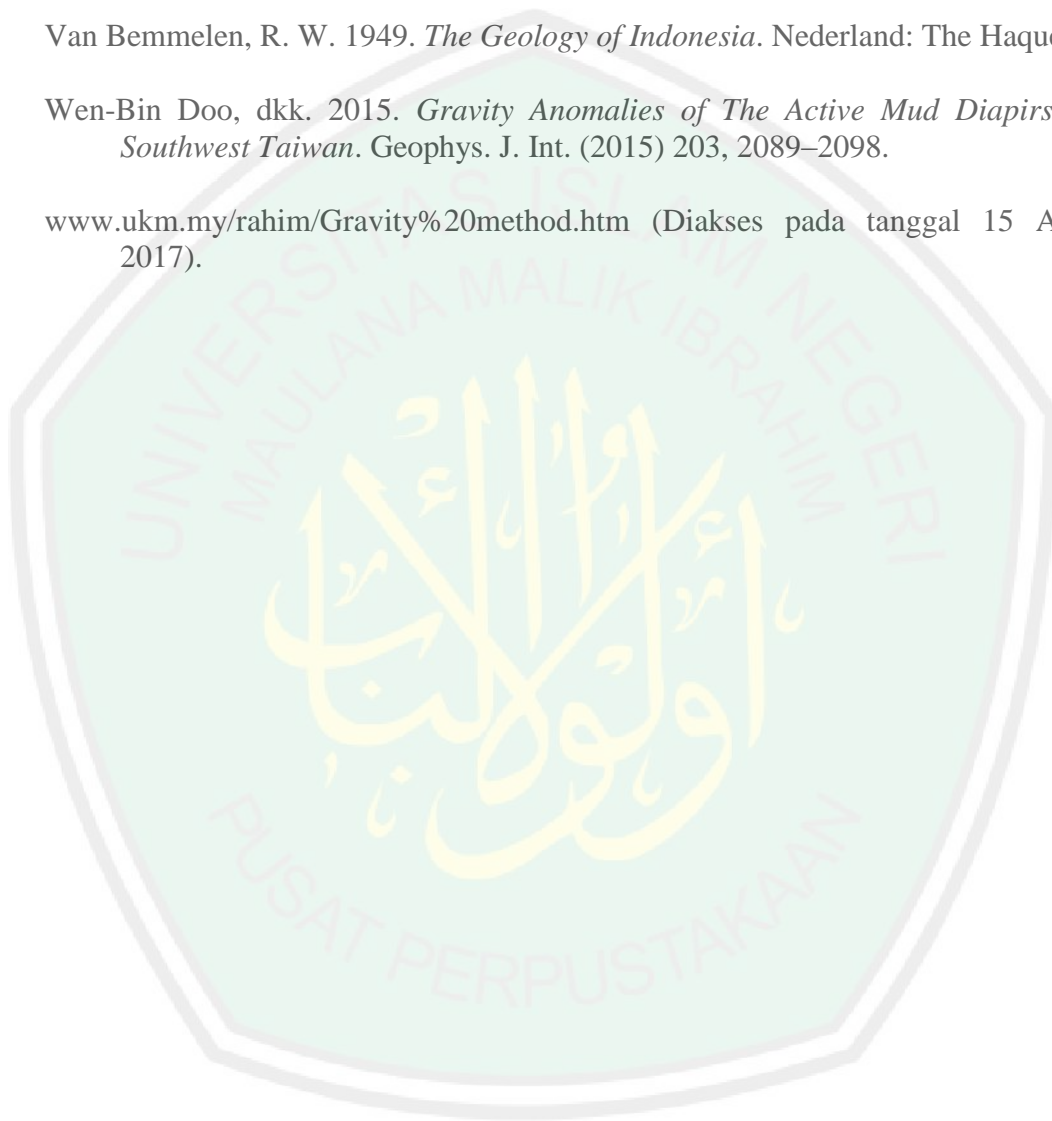
- Ranjbaran, M dan Sotohian, F. 2015. *Environmental impact and sedimentary structures of mud volcanoes in southeast of the Caspian Sea basin, Golestan Province, Iran*. *Caspian J. Env. Sci.* 2015, Vol. 13 No.4 pp. 391-405.
- Reynold, J. M.. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. England: Jhn Wiley and Sons Inc.
- Reza, Muhammad Khaeru. Dkk. 2013. *Pembuatan Peta Model Undulasi Lokal (Study Kasus : Kecamatan Rao, Kabupaten Pasaman-Sumatera Barat)*. *Jurnal Geodesi Undip*.
- Sari, Indah Permata. 2012. *Studi Komparasi Metode Filtering Untuk Pemisahan Anomali Regional Dan Residual Dari Data Anomali Bourguer*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Satyana, Awang Harun dan Asnidar. 2008. *Mud Diapirs And Mud Volcanoes In Depressions Of Java To Madura: Origins, Natures, And Implications To Petroleum System*. In: *Proceedings, Indonesian Petroleum Association. Thirty-Second Annual Convention & Exhibition, May 2008*. IPA08-G-139.
- Setiadi, Imam. dkk. 2015. *Investigation of Subsurface Geological Structure in Sidoarjo Mud Vulcano Affected Area Based on Geomagnetic Data Analysis*. *Journal of Environment and Geological Hazards*. ISSN: 2086-7794, e-ISSN: 2502-8804 Akreditasi LIPI No. 692/AU/P2MI-LIPI/07/2015. <http://jlbgeologi.esdm.go.id/index.php/jlbgeologi>.
- Sunaryo.1997. *Panduan Praktikum Geofisika*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Suyanto, Imam. 2013. *Modul Praktikum Metode Gravitasi Dan Geomagnetik*. [PDF]. <http://elisa.ugm.ac.id> (Diakses pada tanggal 15 April 2017).
- Taufiqudin. 2014. *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi Dengan Metode Gravity (Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep)*. Skripsi. Malang: UIN Malang.
- Telford, W.M., Gerald, L.P. dan Syeriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics Second Editions*. New York: Cambridge University Press.
- Thoha, M. Dkk. 2014. *Geology And Geothermal Manifestations Of Mount Pandan, East Java*. *PROCEEDINGS, 3<sup>rd</sup> International ITB Geothermal Workshop 2014*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Tinivella, Umberta. 2013. *An Overview of Mud Volcanoes Associated to Gas Hydrate System*. Article. National Institute of Oceanography and Experimental Geophysics, Borgo Grotta Gigante 42C, 34010. Trieste: OGS

Torkis, Rahman. 2012. *Analisa Dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gaya Berat di Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Lawu*. Skripsi. Depok. Universitas Indonesia.

Van Bemmelen, R. W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Nederland: The Haque.

Wen-Bin Doo, dkk. 2015. *Gravity Anomalies of The Active Mud Diapirs off Southwest Taiwan*. *Geophys. J. Int.* (2015) 203, 2089–2098.

[www.ukm.my/rahim/Gravity%20method.htm](http://www.ukm.my/rahim/Gravity%20method.htm) (Diakses pada tanggal 15 April 2017).





# LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Data lapangan dan hasil pengolahan

Tanggal	Nama titik ukur	Elevasi	Bujur	Lintang	Waktu (WIB)	Waktu (s)	Bacaan alat
19/08/2017	Base	218	111,80857	-7,40975	7.03	25380	1711,13
	R1	290	111,80137	-7,41375	7.40	27600	1691,32
	R2	293	111,80122	-7,413683	7.58	28680	1691,61
	R3	302	111,80108	-7,413583	8.11	29460	1691,5
	R4	305	111,8009	-7,413617	8.17	29820	1691,29
	R5	319	111,80077	-7,4138	8.29	30540	1690,49
	R6	320	111,80085	-7,414033	8.40	31200	1689,43
	R7	322	111,80105	-7,4141	8.51	31860	1689,45
	R8	321	111,80133	-7,41405	9.03	32580	1689,57
	R9	330	111,80127	-7,414233	9.17	33420	1687,73
	R10	324	111,80113	-7,414233	9.28	34080	1688,11
	R1-9	317	111,80055	-7,411983	10.02	36120	1691,3
	R1-8	299	111,80135	-7,411867	10.2	37200	1694,39
	R1-7	287	111,80207	-7,411983	10.33	37980	1697,38
	R1-6	295	111,80307	-7,412867	11.13	40380	1690,3
	R1-5	353	111,80325	-7,41365	11.41	42060	1673,06
	R1-10	365	111,80008	-7,413217	14.23	51780	1666,38
	R1-11	336	111,79953	-7,413917	14.46	53160	1684,8
	R1-12	335	111,79978	-7,414617	14.56	53760	1685,8
	R1-1	363	111,80067	-7,41545	15.20	55200	1678,77
R1-2	372	111,80147	-7,41565	15.35	56100	1674,03	
R1-3	373	111,80222	-7,415383	16.03	57780	1674,7	
R1-4	362	111,80328	-7,414383	16.22	58920	1679,87	
Base	218	111,80857	-7,40975	17.09	61740	1710,92	
20/08/2017	Base	218	111,80857	-7,40975	7.13	25740	1711,17
	R3-5	262	111,8057	-7,4129	7.51	28260	1706,98
	R3-6	340	111,805	-7,415933	8.34	30840	1684,7
	R3-7	352	111,80227	-7,417833	9.11	33060	1678,39
	R3-8	436	111,79897	-7,417683	10.19	37140	1660,65
	R3-1	265	111,79742	-7,414533	11.40	42000	1689,04
	R3-2	280	111,79802	-7,4113	12.30	45000	1691,14
	R3-3	293	111,80063	-7,410033	13.16	47760	1693,37
	R3-4	278	111,80377	-7,410183	14.09	50940	1689,99
	Base	218	111,80857	-7,40975	15.49	56940	1710,86

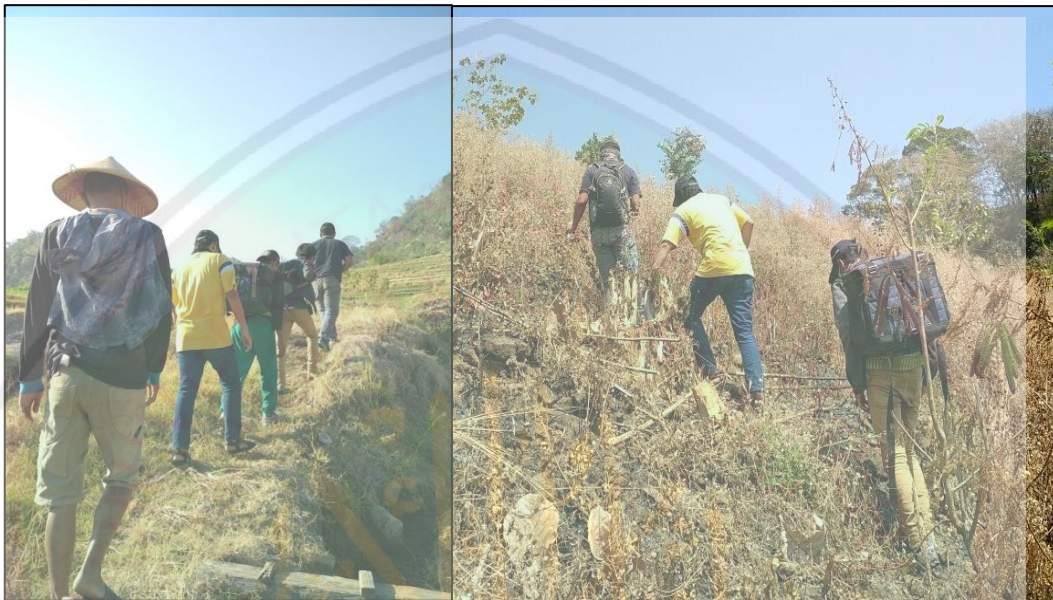
Konversi ke mGal	Tidal	g Tidal	Koreksi Apungan (Drift)	mGal C	ΔG	Gravitasi Observasi
1735,956	0,0686	1736,024599	0	1736,024599	0	978079,44
1715,8566	0,1033	1715,959946	-0,02193392	1715,98188	-20,04271898	978059,3973
1716,1542	0,1186	1716,272842	-0,03260447	1716,305447	-19,7191523	978059,7208
1716,0359	0,1287	1716,164581	-0,04031098	1716,204892	-19,81970734	978059,6203
1715,8296	0,1331	1715,962692	-0,04386783	1716,00656	-20,01803963	978059,422
1715,0146	0,1412	1715,155784	-0,05098154	1715,206765	-20,8178341	978058,6222
1713,9392	0,1478	1714,086978	-0,05750243	1714,144481	-21,88011864	978057,5599
1713,9629	0,1537	1714,11655	-0,06402333	1714,180574	-21,84402563	978057,596
1714,0812	0,1591	1714,240313	-0,07113703	1714,31145	-21,71314936	978057,7269
1712,2145	0,164	1712,378471	-0,07943635	1712,457908	-23,56669153	978055,8733
1712,6034	0,1667	1712,770076	-0,08595724	1712,856033	-23,1685665	978056,2714
1715,8364	0,1691	1716,005456	-0,10611273	1716,111568	-19,91303084	978059,527
1718,9713	0,1664	1719,137664	-0,11678329	1719,254447	-16,77015201	978062,6698
1722,0081	0,1628	1722,1709	-0,1244898	1722,29539	-13,72920913	978065,7108
1714,8252	0,1435	1714,968704	-0,14820214	1715,116906	-20,90769341	978058,5323
1697,3313	0,1234	1697,454666	-0,16480078	1697,619467	-38,40513239	978041,0349
1690,5508	-0,0345	1690,516301	-0,26083577	1690,777137	-45,24746209	978034,1925
1709,2419	-0,0525	1709,189388	-0,27447037	1709,463859	-26,56074044	978052,8793
1710,2564	-0,0594	1710,197022	-0,28039846	1710,47742	-25,54717893	978053,8928
1703,1209	-0,0729	1703,04797	-0,29462586	1703,342596	-32,68200291	978046,758
1698,3154	-0,079	1698,236364	-0,30351799	1698,539881	-37,48471776	978041,9553
1698,9951	-0,0856	1698,909501	-0,32011663	1699,229618	-36,79498173	978042,645
1704,2369	-0,0861	1704,150757	-0,33137999	1704,482137	-31,54246202	978047,8975
1735,7396	-0,0742	1735,665357	-0,359242	1736,024599	0	978079,44
1736	0,0331	1736,033064	0	1736,033064	0	978079,44
1731,7455	0,0754	1731,820919	-0,03438341	1731,855303	-4,177760872	978075,2622
1709,1408	0,1199	1709,260723	-0,06958547	1709,330309	-26,70275502	978052,7372
1702,7422	0,1512	1702,893446	-0,09987561	1702,993322	-33,0397417	978046,4003
1684,737	0,1822	1684,919151	-0,15554399	1685,074694	-50,95836927	978028,4816
1713,5407	0,1649	1713,70559	-0,22185485	1713,927445	-22,10561849	978057,3344
1715,6713	0,1269	1715,798195	-0,26278748	1716,060982	-19,97208164	978059,4679
1717,9372	0,0794	1718,016575	-0,3004455	1718,31702	-17,71604328	978061,724
1714,5045	0,0186	1714,523135	-0,34383408	1714,866969	-21,16609449	978058,2739
1735,6821	-0,0747	1735,607364	-0,42569934	1736,033064	0	978079,44



<b>Koreksi Lintang</b>	<b>Koreksi Udara Bebas</b>	<b>Anomali Udara Bebas</b>	<b>Koreksi Bouguer</b>	<b>Anomali Bouguer sederhana</b>	<b>Koreksi Medan</b>	<b>Anomali Bouguer lengkap</b>
978118,0188	67,2748	28,695976	24,405776	4,290199885	0	4,290199885
978118,1114	89,494	30,779908	32,466399	-1,68649143	1,6363172	-0,05017428
978118,1098	90,4198	32,030825	32,802258	-0,77143344	1,5849941	0,813560629
978118,1075	93,1972	34,709984	33,809836	0,900147915	1,5354469	2,435594853
978118,1083	94,123	35,436665	34,145696	1,290969468	1,48239	2,77335948
978118,1125	98,4434	38,953035	35,713039	3,239996378	1,4475587	4,687555029
978118,1179	98,752	38,193958	35,824992	2,368966218	1,5101156	3,879081835
978118,1195	99,3692	38,845701	36,048898	2,796802349	1,6558567	4,452659006
978118,1183	99,0606	38,669134	35,936945	2,732188941	1,7584595	4,490648398
978118,1226	101,838	39,588756	36,944523	2,644233408	1,7902225	4,434455874
978118,1226	99,9864	38,135281	36,272804	1,862477042	1,7242447	3,586721724
978118,0705	97,8262	39,282685	35,489133	3,79355262	1,0897179	4,883270495
978118,0678	92,2714	36,873448	33,473977	3,399471232	1,2003125	4,59978378
978118,0705	88,5682	36,208507	32,13054	4,077967325	1,3258478	5,403815162
978118,0909	91,037	31,478368	33,026165	-1,54779693	1,7358198	0,18802286
978118,1091	108,9358	31,861608	39,519444	-7,65783581	1,9134574	-5,744378457
978118,099	112,639	28,732499	40,862882	-12,130382	1,5253303	-10,6050517
978118,1152	103,6896	38,453621	37,616242	0,837379529	1,3322625	2,169642013
978118,1314	103,381	39,142381	37,504289	1,63809266	1,4812647	3,119357381
978118,1507	112,0218	40,629075	40,638975	-0,00989983	1,5796086	1,569708755
978118,1554	114,7992	38,599131	41,646553	-3,04742235	1,7010326	-1,346389757
978118,1492	115,1078	39,603648	41,758506	-2,1548587	1,9129274	-0,241931258
978118,126	111,7132	41,484714	40,527022	0,957691959	2,0568089	3,014500843
978118,0188	67,2748	28,695976	24,405776	4,290199885	0	4,290199885
978118,0188	67,2748	28,695976	24,405776	4,290199885	0	4,290199885
978118,0917	80,8532	38,023736	29,331712	8,692024259	1,4127856	10,10480988
978118,1619	104,924	39,499335	38,064054	1,435280535	2,7947981	4,230078658
978118,2059	108,6272	36,821557	39,407491	-2,58593395	1,9126516	-0,673282381
978118,2024	134,5496	44,828803	48,811552	-3,98274858	3,5667779	-0,415970679
978118,1295	81,779	20,983878	29,667572	-8,68369335	1,6285593	-7,055134049
978118,0547	86,408	27,821237	31,346868	-3,52563095	1,2773157	-2,248315292
978118,0254	90,4198	34,118378	32,802258	1,316120154	0,9347478	2,250867969
978118,0288	85,7908	26,035857	31,122962	-5,0871044	1,0820285	-4,00507594
978118,0188	67,2748	28,695976	24,405776	4,290199885	0	4,290199885

## LAMPIRAN 2

Dokumentasi kegiatan akuisisi data di lapangan



Perjalanan menuju semburan lumpur



Lokasi semburan lumpur





Kegiatan pengukuran gravitasi pada titik ukur



**KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI  
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Gajayana No.50 Malang 65144. Telp (0341) 551354**

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : Fahrurrijal Azis  
NIM : 13640052  
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Fisika  
Judul Skripsi : Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Lokasi Semburan Lumpur (*Mud Volcano*) Menggunakan Metode Gravitasi (Studi Kasus Desa Jari, Kecamatan Gondang, Kabupaten Bojonegoro)  
Pembimbing I : Irjan, M.Si  
Pembimbing II : Dr. Imam Tazi, M.Si

No.	Tanggal	Materi	Tanda Tangan Pembimbing
1	27 Agustus 2017	Konsultasi Bab 1-3	
2	12 Nopember 2017	Konsultasi Bab 4	
3	1 Desember 2017	Revisi Bab 4	
4	27 Januari 2018	Konsultasi Bab 4	
5	15 Februari 2018	Konsultasi bab 4,5 dan Abstrak	
6	20 Februari 2018	Konsultasi Bab 1-5 dan Abstrak	
7	20 Februari 2018	Konsultasi kajian Al-Qur'an Bab 1-4	
8	20 Februari 2018	ACC Keseluruhan	

Malang, 28 April 2018  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika

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