

**ANALISA STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PORONG
SIDOARJO BERDASARKAN DATA GAYA BERAT**

(Skripsi)

Oleh

Rika Indrawati



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2016**

ABSTRACT

Analizing Sub-surface structure in Porong Sidoarjo Field According to Gravity Anomali Data

By

RIKA INDRAWATI

There has been conducted a geophysical gravity study which is aims to understand the Bouguer anomaly rates, to determine the sub-surface structure using Second Vertical Derivative (SVD) and Second Horizontal Derivative (SHD) analysis, to make sub-surface 3D inverse modell, and to identify the correlation between mud overflow and the sub-surface structure in Sidoarjo. The geology of Porong Sidoarjo and the surrounding areas located in Randublatung zone which is in between of two zones, Rembang fault and Kendeng fault. Porong Sidoarjo and the surrounding areas have gravity rate about (-4) to (-38) mGal. The high rate is in Southwest and Northwest about -4 to 12 mGal while the low rate is in the East of the research area about -36 to -38 mGal. By the spectrum analysis obtained the windows size 31 x 31 which regional depth generally in 4300 meter and the depth for residual is about 680 meter. According to the SVD and SHD analysis, Porong Sidoarjo showed there is large fault Watukosek which direction Northwest–Southeast. Banjarpanji well is interpreted to be in Watukosek fault, and from inverse modelling showed the anomali which expected to be mud zone is in 2000 to 4000 depth.

Keywords: Bouguer anomaly, SVD, SHD, Porong Sidoarjo.

ABSTRAK

ANALISA STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PORONG SIDOARJO BERDASARKAN DATA GAYA BERAT

OLEH

RIKA INDRAWATI

Telah dilakukan penelitian gayaberat dengan tujuan mengetahui nilai anomali Bouguer, menentukan struktur patahan menggunakan analisa *Second Vertical Derivative* dan *Second Horizontal Derivative*, memodelkan inversi 3D bawah permukaan daerah Porong Sidoarjo, dan mengetahui luapan lumpur Sidoarjo dan hubungannya dengan struktur bawah permukaan. Geologi Porong Sidoarjo dan sekitarnya berada di zona Randu Blatung yang diapit dengan dua zona sesar, yaitu sesar Rembang dan sesar Kendeng. Daerah Porong Sidoarjo dan sekitarnya memiliki nilai anomaly Bouguer rentang nilai -4 mGal sampai -38 mGal. Anomali tinggi di daerah Barat Daya dan Barat Laut nilai berkisar antara -4 mGal sampai -12 mGal,, sementara daerah rendah berada di seblah Timur nilai gravitasi berkisar antara -36 mGal hingga -38 mGal. Hasil analisa spektal daerah penelitian adalah 31x31 dengan kedalaman rata-rata anomali regionalnya adalah 4300 meter dan kedalaman rata-rata anomali residualnya berada pada 680 meter. Berdasarkan analisa SHD dan SVD daerah Porong Sidoarjo menunjukkan adanya sesar besar Watukosek berarah Barat Daya - Timur Laut dan sesar kecil bearah Barat Laut - Tenggara. Sumur Banjarpanji diinterpretasikan berada pada sesar Watukosek, sedangkan pemodelan inversi menunjukkan anomali yang dianggap sebagai zona yang mengandung lumpur berada di kedalaman 2000 meter hingga 4000 meter.

Kata kunci; Anomali Bouguer, SVD, SHD, Porong Sidoarjo.

**ANALISA STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PORONG
SIDOARJO BERDASARKAN DATA GAYABERAT**

Oleh :

RIKA INDRAWATI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

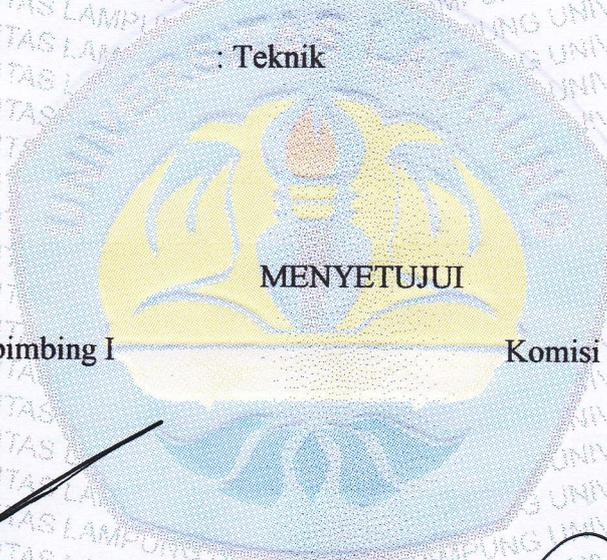
Judul Skripsi : **ANALISIS STRUKTUR BAWAH
PERMUKAAN DAERAH PORONG
SIDOARJO BERDASARKAN DATA
GAYABERAT**

Nama Mahasiswa : **Rika Indrawati**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1115051030**

Jurusan : **Teknik Geofisika**

Fakultas : **Teknik**



MENYETUJUI

Komisi Pembimbing I

Komisi Pembimbing II

Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.

NIP. 19711210 199702 1 001

Rustadi, S.Si., M.T.

NIP. 197205111997031002

Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Ahmad Zaenudin, S. Si., M.T.

NIP. 197209121999031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji

: **Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.**

Sekretaris/Anggota

: **Rustadi, S.Si., M.T.**

Penguji

Bukan Pembimbing

: **Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Prof. Dr. Suharno, S.Si., M.Sc., Ph.D.

NIP.196207171987031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **18 Oktober 2016**

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Oktober 2016



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Papan Asri, 10 Juli 1993 yang merupakan anak keempat dari pasangan Bapak Saeni dan Ibu Sulasten.

Pada tahun 1999-2005, Penulis mengawali pendidikan foemal di Sekolah Dasar Negeri 02 Papan Asri, Lampung Utara, kemudian pada tahun 2005-2008 penulis melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 02 Abung Semuli, Lampung Utara, dan melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas Negeri 05 Metro pada tahun 2008-2011. Pada Tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan di Strata 1 Universitas Lampung pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika mealui jalur SNMPTN tulis.

Selama menjadi mahasiswa penulis mengikuti organisasi internal kampus antara lain, HIMA TG BHUWANA (Himpunan Teknik Geofisika Bhuwana) sebagai anggota periode 2012-2013. Pada tahun 2014 penulis juga melaksanakan Kerja Praktek (KP) di Pusat Penelitian Pengembangan Minyak dan Gas (PPPTMBG LEMIGAS) Jakarta selatan selama satu bulan.

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT,
kupersembahkan karya ini untuk

Ibu yang selalu menjadi panutanku dan ku sayangi
Bapak yang selalu mendukung dan menyayangiku
Kakak yang selalu berjuang bersama dalam menjalani



Orang-orang yang pernah ada di kehidupan ku yang
pernah memberikan suka dukanya bersama

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi yang berjudul “**Analisa Struktur Bawah Permukaan Daerah Porong Sidoarjo Berdasarkan Data Gaya Berat**” dapat terselesaikan dengan baik sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penulis sadari pengerjaan skripsi ini dapat berjalan dan selesai berkat jasa dari berbagai pihak yang senantiasa sabar memberikan semangat dan dukungan kepada penulis berupa materil dan juga moril. Namun kebaikan dari banyak pihak tersebut penulis sadari tidak dapat dibalas satu persatu, oleh sebab itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu saya tercinta **Sulasten**, yang tidak hentinya memberikan kasih sayang dan do'anya kepada saya, hingga masa *study* ini terselesaikan, dan juga kepada ayah saya tersayang **Saeni**, yang senantiasa memberikan kasih sayang dan dorongan moril agar saya tetap semangat menghadapi ujian saat masa kuliah saya.
2. Kakak saya **Nur Wijayanti** dan abang Saya **Adi Siswanto** yang senantiasa sabar menghadapi sikap kekanak-kanakan saya, terimakasih untuk do'anya.

3. Bapak **Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika, Dosen Pembimbing Akademik, dan orang tua kedua saya dimasa perkuliahan, saya ucapkan terimakasih untuk saran yang telahdi berikan kepada mahasiswanya.
4. Bapak **Dr.Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.**, selaku dosen pembimbing I yang telah dengan ikhlas memberikan bimbingan kepada saya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini, dan mohon maaf jika saya banyak merepotkan Beliau.
5. Bapak **Rustadi, S.Si., M.T.**, selaku dosen pembimbing II yang telah dengan sabar mengkoreksi dan memberikan bimbingan pada skripsi saya.
6. Bapak **Dr.Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**, selaku dosen penguji, yang telah banyak memberikan masukan untuk skripsi saya.
7. Bapak-bapak Dosen Teknik Geofisik Unila yang tidak bias saya sebutkan satu persatu, terimakasih untuk semua ilmu, jasa, dan kesabarannya yang telah diberikan selama lima tahun terakhir.
8. **Andres Benson Marganda Simbolon**, yang telah menjadi penghilang penat saat menyelesaikan skripsi, memberikan semangat, do'a dan kesabaran untuk menunggu penulis menyelesaikan kuliahnya.
9. Sahabat saya yang tidak bosan untuk menyemangati, menemani, dan memberikan banyak pelajaran selama masa perkuliahan, **Yeni Purnamasari** koki terbaik untuk anak kosan.
10. Sahabat yang selalu menjadi tempat berbagi cerita **lia Tri Khairum, Asri Wulandari, Hilda Ayu Utami.**

11. Adik saya **Laras Sulasti** yang telah sabar mengingatkan dan menjadi teman sekebutuhan
12. Bang **Ahmad Rifai Lubis**, yang saya anggap sebagai abang saya sendiri. Terimakasih atas semua bantuan, segala saran dan waktunya untuk menyemangati saya mengerjakan skripsi ini.
13. Bang **Ryan Tanjung Priseptian** yang senantiasa ceramah untuk kebaikan penulis.
14. Tutor saya **Doni Zulfafa**, yang telah sabar mengajarkan dan membagi ilmunya untuk skripsi ini.
15. Bang **Marikso Mareno Sihombing**, Bang **Victor Butar**, Bang **Roy Bryanson Sihombing**, dan Bang **Fernando Sialagan** yang selalu sabar menghadapi sikap penulis yang selalu merepotkan, terimakasih karena menjaga penulis selama ini.
16. Bang **Josua C.H. Tampubolon**, Bang **Natanael Sembiring**, **Kornelius M.Saragih**, **Richmond Cosmas Tobias**, **Novendro Oloan Simbolon**, **Rio Yosua Liasta Purba**, dan **Cornelius Edo**, yang telah memberikan suka cita disetiap kesempatan.
17. Teman seangkatan saya di Teknik Geofisika 2011, **Achmadi H.N.**, **Alwi Karya S.**, **Agung M.H.**, **Anisa E.P.**, **Arenda R.R.**, **Asri Wulandari**, **Bagus H.**, **Cristian Sibuea**, **Dian N.R.**, **Dian Trianto**, **Doni Zulfafa**, **Farid Anshari**, **Fitri R.D.**, **Fitri W.N.**, **Guspriandoko**, **Hardeka P.**, **Hilda A.U.**, **Leo R.P.**, **Lia T.K.**, **Mezrin R.**, **M. Herwanda**, **Nanda H.M.**, **Rahmi A.P.**, **Ratu M.F.**, **Rosita R.**, **Sari P.Z.**, **Syamsul M.**, **Titi S.R.** **Wilyan p.**, **Yeni P.S.**, **Yunita P.S.**, dan **Yusuf efendi** yang telah menjadi keluarga kedua,

yang senantiasa mengisi hari selama lima tahun terakhir dan memberikan banyak kenangan.

18. Kakak angkatan 2009, dan 2010 yang telah membagikan ilmu dan pengalamannya selama masa perkuliahan.
19. Adik angkatan 2012, 2013, 2014, dan 2015 yang telah memberikan partisipasi dan bantuannya untuk menyelesaikan skripsi ini.
20. Uni **Yanti, Adel, kiki, Kak Dody** dan **Kak Dora** yang telah saya anggap sebagai keluarga dan telah memberikan dukungannya untuk penulis.

Ucapan terimakasih inilah yang dapat penulis berikan untuk semua orang yang berperan penting dalam penyelesaian skripsi ini. Allah akan membalas semua dengan berkah yang berlimpah atas segala yang telah diberikan kepada penulis. Penulis mengharapkan semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk kita semua. Terimakasih.

Bandar Lampung, Oktober 2016

Rika Indrawati

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|-------------|
| ABSTRACT | i |
| ABSTRAK | ii |
| PERSETUJUAN | iii |
| PENGESAHAN | iv |
| PERNYATAAN | v |
| RIWAYAT HIDUP | vi |
| PERSEMBAHAN | vii |
| SANWACANA | viii |
| DAFTAR ISI | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR TABEL | xvi |
| I. PENDAHULUAN | |
| A. Latar Belakang..... | 1 |
| B. Tujuan Penelitian..... | 3 |
| C. Batasan Masalah..... | 3 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| A. Daerah Penelitian..... | 4 |
| B. Fisiografi Daerah Penelitian | 6 |
| C. Geologi Regional Daerah Penelitian | 8 |
| D. Stratigrafi Daerah Penelitian..... | 10 |
| E. Lumpur Vulkanik..... | 16 |
| F. Luapan Lumpur Porong..... | 18 |

| | |
|---|----|
| G. Amblesan | 20 |
| III. TEORI DASAR | |
| A. Konsep Metode Gravitasi (Gaya Berat) | 22 |
| 1. Hukum gravitasi Newton | 22 |
| B. Konsep Gravitasi Bumi Dan Kaitannya Dengan Metode Gravitasi | 24 |
| 1. Medan gravitasi bumi | 24 |
| C. Reduksi dan Koreksi Gravitasi | 25 |
| 1. Koreksi lintang | 25 |
| 2. Koreksi ketinggian (udara bebas/ <i>free air corection</i>) | 26 |
| 3. Koreksi bouguer | 26 |
| D. Anomali Bouguer | 27 |
| E. Analisis Spektral | 29 |
| F. <i>Moving Average</i> | 31 |
| G. <i>Second Horizontal Derivative</i> | 32 |
| H. <i>Second vertical Derivative</i> | 32 |
| I. Pemodelan Inversi 3D | 34 |
| IV. METODOLOGI PENELITIAN | |
| A. Waktu dan Tempat Penelitian | 35 |
| B. Alat dan Bahan Penelitian | 36 |
| C. Pengolahan Data | 36 |
| D. Diagram Alir | 37 |
| V. HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| A. Hasil Penelitian | 39 |
| 1. Anomali bouguer | 42 |
| 2. Analisis Spektral | 44 |
| 3. <i>Moving average</i> | 47 |
| 4. <i>Second vertical derivative</i> | 50 |
| 5. <i>Second horizontal derivative</i> | 55 |
| 6. Pemodelan inversi | 62 |
| B. Pembahasan | 71 |
| VI. KESIMPULAN DAN SARAN | |
| A. Kesimpulan | 85 |
| B. Saran | 86 |

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 1. Peta fisiografi Jawa Tengah-Jawa Timur..... | 6 |
| 2. Peta geologi Jawa Timur..... | 8 |
| 3. Peta geologi Porong Sidoarjo..... | 10 |
| 4. Stratigrafi daerah Porong Sidoarjo..... | 12 |
| 5. Peta geomorfologi daerah Porong Sidoarjo | 16 |
| 6. Penampang struktur bawah permukaan di Sumur Banjar Panji dekat dengan sumber lumpur panas Porong | 18 |
| 7. Gaya gravitasi antar dua benda | 23 |
| 8. Bentuk muka bumi tidak bulat sempurna dengan $R_e > R_k$, $g_e < g_k$ | 24 |
| 9. Koreksi Bouguer | 27 |
| 10. Grafik hubungan antara amplitudo dan bilangan gelombang Pada analisis spektrum | 30 |
| 11. Macam-macam koefisien filter SVD | 33 |
| 12. Diagram alir penelitian..... | 38 |
| 13. Peta topografi berdasarkan peta srtm 90meter..... | 40 |
| 14. Peta overlay topografi dan peta hasil citra satelit | 41 |
| 15. Peta SBA daerah Porong Sidoarjo menggunakan <i>Surfer</i> | 43 |
| 16. Grafik analisis spektral pada penampang <i>slice</i> 01 | 44 |
| 17. Grafik analisis spectral pada penampang <i>slice</i> 02 | 45 |
| 18. Grafik analisis spectral pada penampang <i>slice</i> 03 | 46 |
| 19. Peta anomali regional daerah PorongSidoarjo | 48 |
| 20. Peta anomali residual Porong sidoarjo..... | 49 |
| 21. Peta SVD anomali Bougeur Porong Sidoarjo | 51 |
| 22. Penampang peta SVD regional dan grafik hasil <i>slice</i> patahannya..... | 52 |
| 23. Penampang peta SVD residual dan grafik hasil <i>slice</i> patahannya | 54 |
| 24. Peta SHD <i>northeast</i> dan grafik hasil <i>slice</i> patahannya | 57 |
| 25. Grafik hasil <i>slice</i> patahan SHD <i>northeast</i> | 58 |
| 26. Penampang peta SHD <i>northwest</i> dan grafik hasil <i>slice</i> patahannya | 60 |
| 27. Grafik Hasil <i>slice</i> patahan pada peta SHD <i>northwest</i> | 61 |
| 28. Pemodelan inversi <i>simple Bouguer anomaly</i> | 63 |
| 29. Densitas batuan 2.68 gr/cc – 2.69 gr/cc dengan indikasi batuan Gunung Api Kuarter Atas dengan unsur Breksi Gunungapi, Lava, Tuf, Breksi Tufan, Anglomerat dan Lahar..... | 64 |

| | |
|---|----|
| 30. Densitas batuan 2.670 gr/cc – 2.675 gr/cc dengan indikasi batuan Alufium dengan unsur Krakal, Krikil, Pasir, Lempung dan Lumpur..... | 65 |
| 31. Densitas batuan 2.66 gr/cc – 2.67 gr/cc pada pemodelan inversi <i>simple bouguer anomaly</i> | 66 |
| 32. Densitas batuan 2.65 gr/cc – 2.66 gr/cc pada pemodelan inversi <i>simple bouguer anomaly</i> | 67 |
| 33. Pemodelan inversi peta residual..... | 67 |
| 34. Penampang <i>Cross-line</i> peta inversi residual dengan densitas batuan 2.67 gr/cc sampai 2.68 gr/cc dengan indikasi batuan Gunungapi Kuarter atas | 68 |
| 35. Penampang <i>Cross-line</i> dengan densitas batuan 2.65 gr/cc-2.66 gr/cc yang diindikasikan batuan Aluvium dengan unsur Krakal, Krikil, Pasir, Lempung dan Lumpur | 69 |
| 36. Penampang <i>Cross-line</i> peta inversi residual dengan densitas batuan 2.67 | 70 |
| 37. Peta geologidengan pola patahanya | 74 |
| 38. Penampang <i>cross-line</i> pada pemodelan <i>inversisimple Bouguer</i> | 75 |
| 39. Grafik pola patahan pada pemodelan inveri residual <i>section 01</i> | 77 |
| 40. Grafik pola patahan pada pemodelan inveri residual <i>section 02</i> | 79 |
| 41. Grafik pola patahan pada pemodelan inveri residual <i>section 03</i> | 81 |
| 42. Grafik pola patahan pada pemodelan inveri residual <i>section 04</i> | 82 |
| 43. Penampang masing-masing <i>section</i> dari pemodelan inversi residual..... | 84 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|--------------------------------------|---------|
| 1. Stratigrafi Porong Sidoarjo | 13 |
| 2. Jadwal penelitian..... | 35 |
| 3. Lebar jendela..... | 47 |

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fenomena alam yang masih menjadi perbincangan di Indonesia sampai saat ini adalah bencana yang disebabkan oleh semburan lumpur Lapindo yang masih belum menemukan titik terang kapan akan berakhirnya bencana tersebut, sehingga masih banyak pakar geologi, geofisika yang masih mencari tahu dan meneliti luapan lumpur Lapindo tersebut. Semburan lumpur ini telah berlangsung selama kurang lebih 10 Tahun yang telah menenggelamkan beberapa wilayah di Daerah Porong Sidoarjo.

Perbincangan yang menjadi perdebatan sampai saat ini hanyalah tentang mengetahui penyebab semburan lumpur, sehingga para ahli saling mengemukakan argumennya tentang penyebab bencana tersebut. Adapun pendapat para ahli tentang semburan lumpur yaitu pendapat pertama menyatakan bahwa luapan lumpur dikarenakan adanya kejadian alam *mud vulcano* terkait gempa Jogja pada 27 Mei 2006, namun ada yang berpendapat bencana tersebut merupakan kesalahan eksplorasi yang dilakukan oleh kontraktor yang ditunjuk PT. Lapindo.

Agus Guntoro (2006) menyatakan bahwa “*Sangat mungkin semburan lumpur Sidoarjo tidak berkaitan dengan pemboran tetapi merupakan sebuah fenomena alam berupa mud volcano yang keluar melalui zona patahan yang teraktifasi yang dapat disebabkan oleh gempa Jogjakarta yang mendahului 2 hari sebelum semburan.*” Agus Guntoro juga menjelaskan bahwa naiknya erupsi semburan lumpur panas di daerah sekitar Sumur BJP 01 merupakan hasil dari adanya zona plastis yang merupakan bagian dari shale diapirism yang naik ke permukaan sebagai *mud volcano*. Fenomena ini tersebar secara regional dari Jawa Barat hingga utara Lombok. Patahan-patahan yang terekam pada bawah permukaan bukan semata terbentuk secara tektonik dan merupakan bagian dari apa yang disebut sebagai *Contemporaneous Fault System*. Patahan tersebut sangat labil terhadap pergerakan masa dari sepih yang masih plastis dan inkompetibel.

Rudi Rubiandini (Ketua Tim Investigasi Independen) menyatakan bahwa dari data-data, secara ringkas penyebab utama semburan lumpur ini ada dua teknis. Pertama, terjadinya kick yaitu luapan tekanan dari bawah yang tidak terkontrol. Kedua, tidak terpasangnya casing dari kedalaman 3.580 kaki sampai 9.200 kaki, karena kedua penyebab ini terjadilah keretakan kemudian terjadi semburan.

Menanggapi dari pendapat tersebut maka penelitian memfokuskan penelitian pada struktur bawah permukaan di Porong Sidoarjo. Sehingga dari penelitian dapat mengetahui struktur bawah permukaan dan hubungannya dengan semburan lumpur Lapindo.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui Anomali Bouguer daerah penelitian.
2. Menentukan struktur patahan berdasarkan analisa *second vertical derivative* dan *second horizontal derivative*.
3. Pemodelan 3D struktur bawah permukaan berdasarkan data *simple Bouguer anomaly*.
4. Mengetahui semburan lumpur panas dan hubungannya dengan struktur bawah permukaan Porong Sidoarjo.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder.
2. Koreksi Terrain dianggap kecil karena topografi daerah penelitian relatif datar.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Daerah Penelitian

Kabupaten Sidoarjo ditinjau dari kondisi geografis wilayah terletak pada 112,5^o-112,9^o Bujur Timur dan 7,3^o-7,5^o Lintang Selatan. Luas wilayah laut Kabupaten Sidoarjo berdasarkan perhitungan GIS sampai 4 mill ke arah laut adalah ±201,6868 Km². Batas administrasi wilayah Kabupaten Sidoarjo adalah:

1. Sebelah Utara : Kota Surabaya dan Kabupaten Gresik.
2. Sebelah Timur: Selat Madura
3. Sebelah Selatan: Kabupaten Pasuruan
4. Sebelah Barat : Kabupaten Mojokerto

Selain itu, Sidoarjo dibatasi oleh dua sungai yang cukup besar, yaitu Kalimas di utara (berbatasan dengan Kota Surabaya) dan Kali Porong di selatan (berbatasan dengan Kabupaten Pasuruan). Disebelah timur terdapat kawasan pertanian tambak yang cukup luas membentang dari Surabaya sampai Pasuruan.

Luas wilayah Kabupaten Sidoarjo adalah 71.424,25 Ha, sebagian besar wilayah Kabupaten Sidoarjo (40,81 %) terletak di ketinggian 3 - 10 meter yang berada di bagian tengah dan berair tawar. Sedangkan 29,99% merupakan daerah pantai dan pertambakan yang memiliki ketinggian 0-3 meter dan sisa wilayahnya

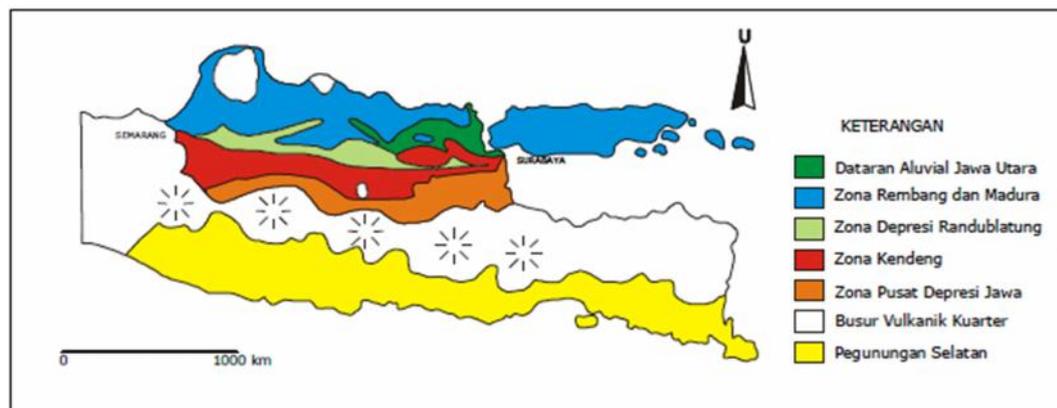
memiliki ketinggian 10-25 meter. Dengan struktur tanah Alluvial kelabu seluas 6.236,37 Ha, asosiasi Alluvial kelabu dan Alluvial Coklat seluas 4.970,23 Ha, Alluvial Hidromart seluas 29.346,95 Ha, dan Grumosol Kelabu Tua seluas 870,70 Ha.

Secara umum wilayah Provinsi Jawa Timur merupakan kawasan subur dengan berbagai jenis tanah seperti Halosen, Pleistosen, Pliosen, Miosen, dan Kwarter yang dipengaruhi adanya gunung berapi, sekitar 20,60 % luas wilayah yaitu wilayah puncak gunung api dan perbukitan gamping yang mempunyai sifat erosif, sehingga tidak baik untuk dibudidayakan sebagai lahan pertanian. Sebagian besar wilayah Jawa Timur mempunyai kemiringan tanah 0-15 %, sekitar 65,49 % dari luas wilayah yaitu wilayah dataran aluvial antar gunung api sampai delta sungai dan wilayah pesisir yang mempunyai tingkat kesuburan tinggi dan dataran aluvial di lajur Kendeng yang subur, sedang dataran aluvial di daerah gamping lajur Rembang dan lajur pegunungan selatan cukup subur.

B. Fisiografi Daerah Penelitian

Daerah Sidoarjo secara fisiografi termasuk dalam Zona Kendeng yang diapit oleh Zona Rembang di bagian utara dan zona Solo di bagian selatan (Bemmelen, 1949) di wilayah ini tersingkap Formasi Kabuh, Formasi Jombang, dan Aluvium. Geologi Lembar Malang dan daerah Sidoarjo termasuk di bagian utaranya yang secara umum tersusun oleh batuan sedimen Klastika, Epiklastik, Piroklastik, dan Aluvium, berumur dari Plistosen Awal hingga Resen.

Di sebelah utara wilayah Sidoarjo terdapat antiklin dengan sumbu berarah Timur ke Barat yang menghunjam ke arah Timur (Selat Madura). Antiklin ini menempati bagian timur dari Zona Kendeng tersebut. Di daerah Porong dan sekitarnya tempat semburan LUSI, merupakan daerah dataran yang ditutupi oleh endapan Aluvial Delta Brantas setebal ± 100 m lebih. Endapan aluvial ini ke arah selatan langsung kontak dengan batuan Vulkanik Gunung Penanggungan, salah satu kerucut tua dari Kompleks Gunung Api Arjuno sampai Welirang. Secara fisiografi daerah penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1** (Santosa dan Suwarti, 1992).



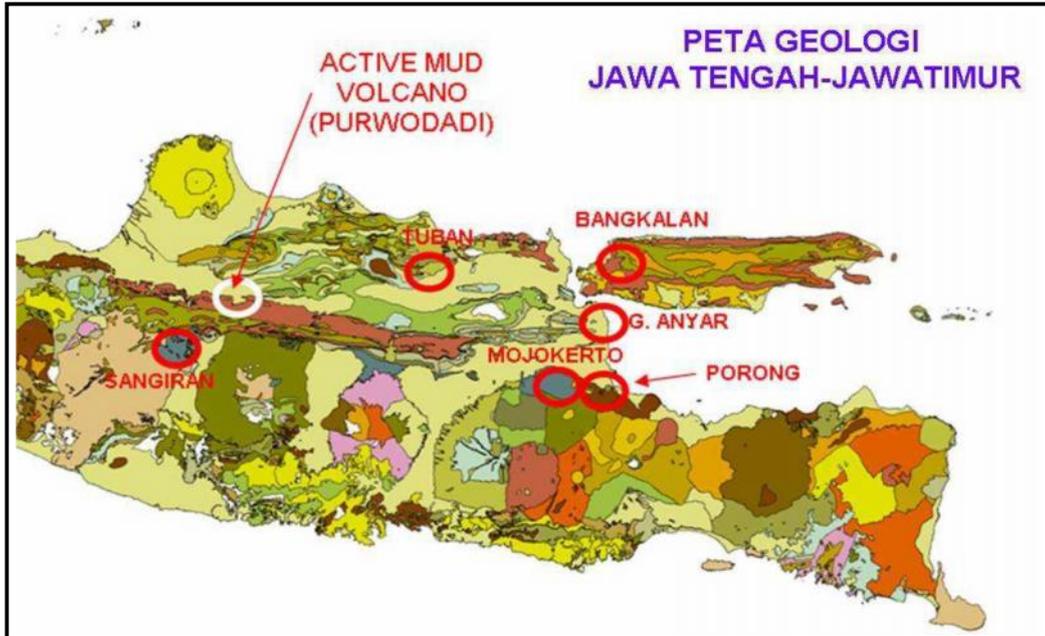
Gambar 1. Peta fisiografi Jawa Tengah-Jawa Timur (Van Bemmelen, 1949)

C. Geologi Regional Daerah Penelitian

Dilihat dari aspek geologi wilayah Sidoarjo berada pada daerah kegiatan termasuk ke dalam zona Randublatung yang merupakan zona sempit memanjang sekitar 250 km dan lebar 10 km dari Semarang sampai Surabaya. Secara struktur bawah permukaan zona Randublatung diindikasikan sebagai *triangle zone*, yakni sebuah zona segitiga yang diapit zona-zona sesar yang saling berlawanan kemiringan dan arahnya.

Kondisi geologi Jawa Timur yang cukup kaya akan potensi sumber daya mineral, sekitar 20 jenis bahan galian yang mendukung sektor industri maupun konstruksi, yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi empat lajur, yaitu: pertama lajur Rembang terbentuk oleh Batu Lempung Napalan dan Batu Gamping merupakan cekungan tempat terakumulasinya minyak dan gas bumi; kedua lajur Kendeng terbentuk Batu Lempung dan Batu Pasir, potensi Lempung, Bentonit, Gamping; ketiga lajur Gunung Api Tengah terbentuk oleh endapan material Gunung Api Kuarter, potensi bahan galian konstruksi berupa Batu Pecah (bom), Krakal, Krikil, Pasir, Tuf, dan keempat lajur pegunungan selatan terbentuk oleh Batu Gamping dengan intrusi batuan Beku dan aliran lava yang mengalami tekanan, untuk potensi mineral terdapat Marmer, Onyx, Batu Gamping, Bentonit dan Pospat.

Di Jawa Tengah dan Jawa Timur, zona Randublatung merupakan wilayah pertemuan dua buah zone besar yakni zona Rembang dan zona Kendeng. Zona Rembang merupakan daerah paparan dan *slope* yang dicirikan dengan dominasi sesar naik yang mengarah (*vergence*) ke selatan. Zona Kendeng merupakan *slope* dan *bathyal* dengan dominasi sesar naik ke arah utara. Sehingga di daerah pertemuan tersebut terbentuk sebuah zona sangat sempit, memanjang dan sangat dalam yang disebut Zona Randublatung. Secara geologi dari daerah Jawa Timur ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta geologi Jawa Timur (Sarkowi, 2008)

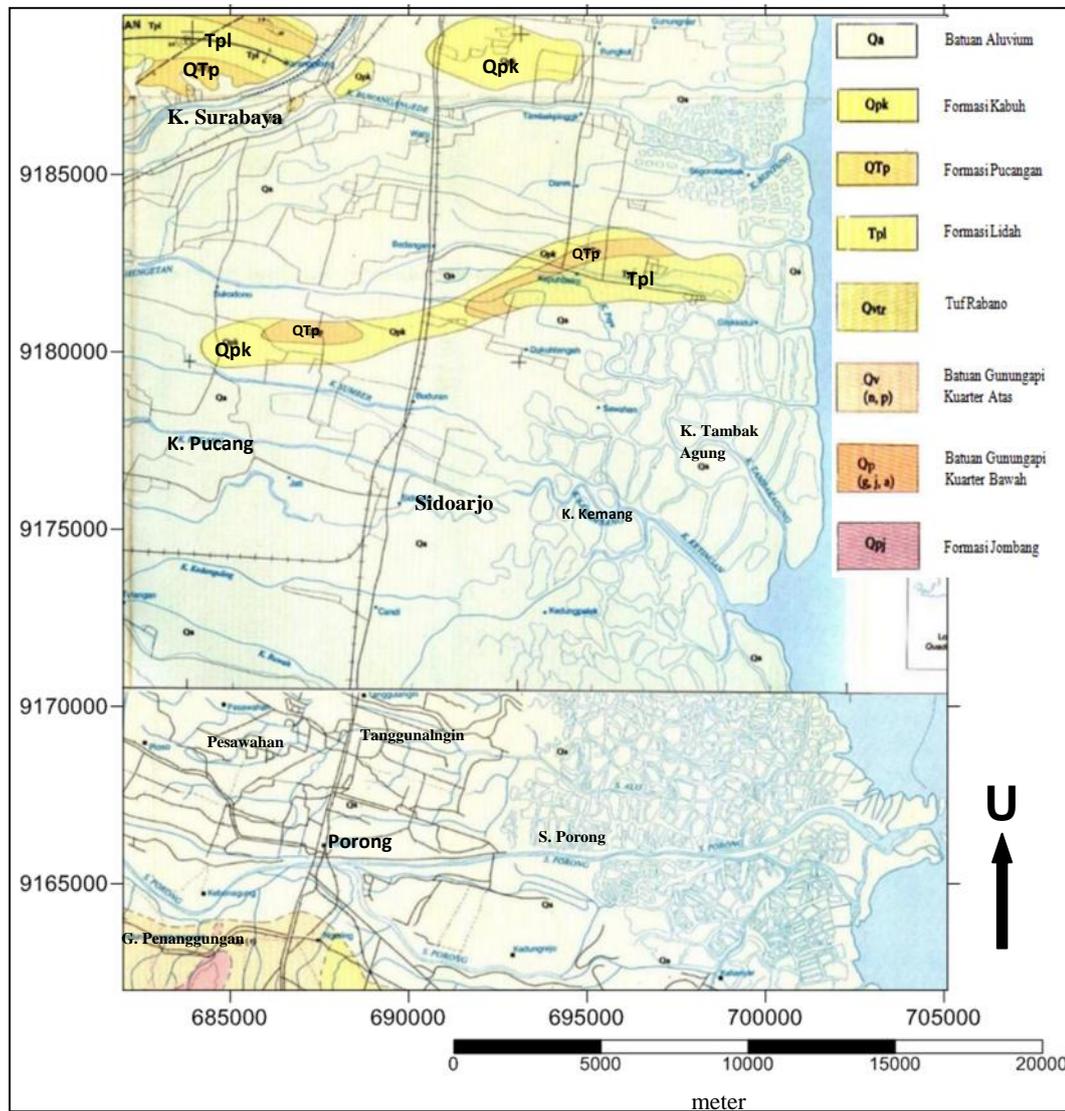
Pada Oligo-Miosen zona ini secara isostatik tenggelam untuk mengkompensasi pengangkatan di kedua zona pengapitnya dan menjadi dapur yang baik untuk terakumulasinya hidrokarbon selama ada suplai sedimen yang kaya organik dan diendapkan di dalamnya. *Subsided triangle zone* memberikan implikasi terhadap pematangan batuan induk dan adanya *subthrust structure* di bawah zona sesar naik menjadi perangkap yang baik, sedangkan reservoir akan tergantung kepada adanya sedimen berkualitas reservoir dari lingkungan yang lebih dangkal.

Batu Pasir Kuarsa dari Formasi Kerek dan Merawu yang berumur Miosen Tengah dan sedimen *debris* kuarsaan dari Formasi Ngrayong berumur Miosen Tengah yang diendapkan ke Zona Randublatung dan Kendeng, sumbernya banyak mengandung Serpih Napalan dan sedimen *Calcareous* lainnya (Santosa dan Suwarti, 1992).

Dengan tatanan geologi yang demikian menjadikan Zona Randublatung menjadi daerah prospek minyak dan gas dan telah dibuktikan dengan temuan Pertamina di Karbonat Formasi Kujung pada zona ini. Secara stratigrafis pada masa Pleistosen merupakan daerah lingkungan laut, Selat Madura menjorok jauh ke Barat hampir sampai Kota Semarang. Sungai-sungai seperti Bengawan Solo dan sungai lainnya bermuara di Selat Madura purba mengendapkan sedimen seperti pasir dan lumpur sehingga terbentuk delta pada pantainya yang selanjutnya berangsur-angsur terjadi pendangkalan. Akibat pendangkalan tersebut lama kelamaan daratan bertambah ke arah pantai Selat Madura dan terbentuklah daratan seperti yang terlihat saat ini.

Pada peta geologi regional lembar Surabaya dan peta geologi regional lembar Malang yang dikeluarkan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, disebutkan bahwa batuan penyusun daerah kegiatan adalah endapan Aluvial. Beberapa kilometer di selatan Porong didominasi endapan Gunggungapi Kuarter dalam sebaran yang luas, dan endapan dari gunungapi yang sampai saat ini masih aktif.

Berdasarkan peta geologi lembar Malang dan lembar Surabaya, Jawa Timur yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi tahun 2007, kondisi Geologi daerah penelitian dan sekitarnya ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Peta Geologi Porong Sidoarjo (Santoso dan Suwarti, 1992)

D. Stratigrafi Daerah Penelitian

Stratigrafi batuan yang terdapat di daerah Sidoarjo dan sekitarnya dapat dicerminkan oleh stratigrafi sumur eksplorasi minyak dan gas bumi Banjar panji-1 dan Porong, Sidoarjo. Endapan batuan di wilayah ini diawali dengan terbentuknya batu gamping pada zaman Pliosen, kemudian ditutupi secara tidak selaras oleh

endapan batu pasir vulkanik Pliosen Atas, batu lempung berwarna kebiru-biruan, selang-seling batupasir dan serpih berumur Plistosen Bawah - Tengah. Kelompok batuan tersebut kemudian yang ditindih secara tidak selaras oleh batuan Gunung Api Notopuro berumur Plistosen Atas dan Aluvial Delta Brantas berumur Resen.

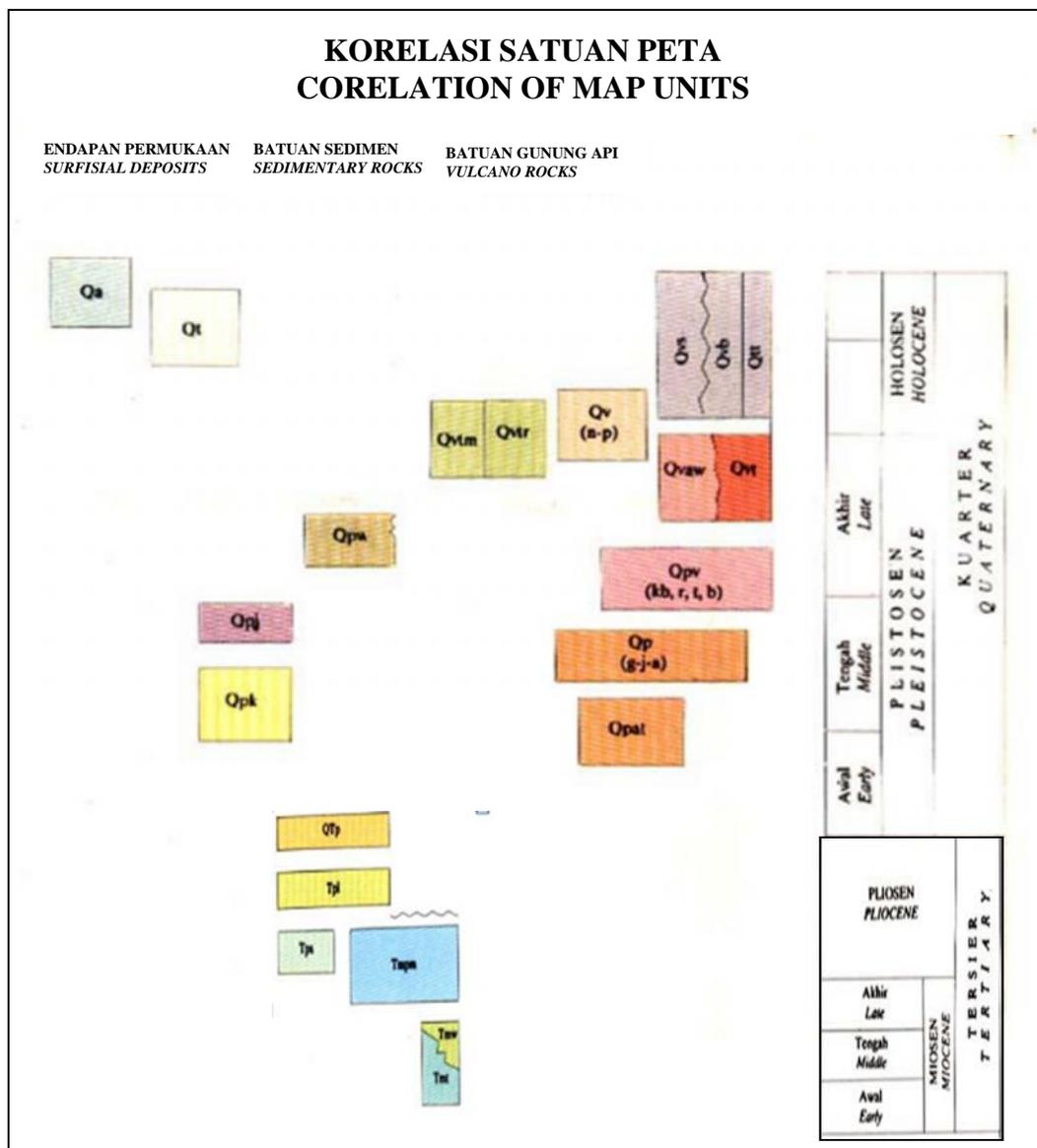
Batu Pasir Vulkanik yang terdapat di sumur Banjar panji-1 ini mempunyai ketebalan sekitar 962 m yang menipis ke arah timur. Lapisan batuan ini adalah endapan batuan vulkanik hasil erupsi gunung api yang berada di sebelah barat atau barat dayanya yang berumur Pliosen Atas dan merupakan hasil orogenesis Plio - Plistosen. Batu Lempung berwarna kebiru-biruan yang menindih di atasnya adalah bagian bawah dari Formasi Pucangan berumur Plistosen Bawah (Kadar, 2007).

Pada zaman Pliosen Bawah terdapat banyak gunung api yang berlokasi di sekitar Surakarta yang masih aktif dan pada saat yang bersamaan di wilayah sebelah timurnya, terdapat aktivitas gunung api lainnya sebagai ujung timur Zona Solo adalah kompleks Gunung Api Wilis Tua dan Anjasmoro Tua. Letusan - letusan dari kompleks gunung api tersebut menghasilkan endapan lahar, aliran piroklastik, dan atau endapan fluvial hasil *reworked* dari endapan piroklastika. Lapisan batupasir vulkanik yang terdapat pada wilayah Porong dan sekitarnya merupakan lapisan batuan hasil erupsi gunung api tersebut (Bemmelen, 1949).

Di atas endapan batu pasir vulkanik kemudian diendapkan batu lempung abu-abu kebiruan setebal 1.285 meter yang berumur Plistosen Bawah-Plistosen Tengah.

Kemudian satuan batuan tersebut selaras ditutupi oleh selang-seling antar batuan lempung dan serpih dari Formasi Pucangan, serta endapan vulkanik Formasi Kabuh pada zaman Plistosen Tengah-Atas dan anggota Jombang dari Formasi Notopuro yang berumur Plistosen Atas. Setelah terbentuknya breksi lahar Jombang, kemudian terjadi pelipatan dan sesaran pada formasi – formasi tersebut (Kadar, 2007). Susunan stratigrafi dari daerah penelitian ditunjukkan pada

Gambar 4:



Gambar 4. Stratigrafi daerah Porong Sidoarjo

Pada zaman Plistosen Atas aktivitas vulkanik dari Gunung Anjasmoro berpindah pusat aktivitasnya ke arah tenggara dan timurnya membentuk Kompleks Gunung Api, meliputi: Gunung Kawi, Gunung Arjuno, Gunung Penanggungan, dan Gunung Welirang. Sesar Watukosek terbentuk pada saat itu yang menyasarkan formasi-formasi lebih tua yang terdapat di wilayah ini termasuk Formasi Kabuh.

Keberadaan sesar Watukosek di sekitar Porong tertutup oleh endapan Aluvial Delta Brantas. Tetapi di wilayah sebelah selatan terindikasi adanya gawir sesar di Desa Watukosek, rembesan minyak di Desa Carat, dan kelurusan gunung lumpur Karang Anyar, Pulungan, dan Gunung Anyar yang terdapat disekitar Bandara Juanda, Waru, Sidoarjo. Sesar ini menerus ke arah timur laut melewati Selat Madura sampai ke Bangkalan (Pulau Madura) dengan ditemukannya gunung lumpur Geger. Uraian dari Susunan stratigrafi dari daerah penelitian ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Stratigrafi Porong Sidoarjo

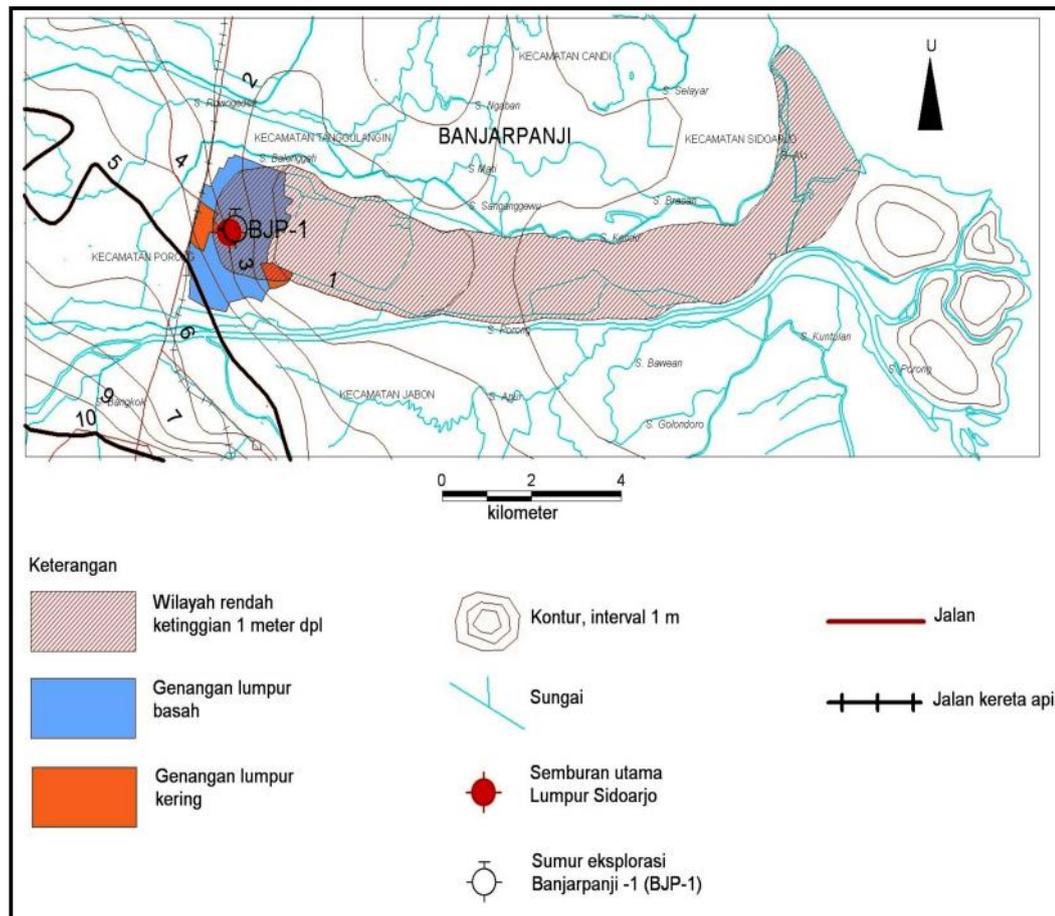
| | |
|--------------|--|
| Qa | Aluvium merupakan endapan sungai (Sungai Porong, Alo, Rejasa) dan endapan panta (Selat Madura) dengan unsur batuan Krakal, Krikil, Lempung dan Lumpur. Sebagian berupa pasir kasar-halus yang banyak tercampur cangkang moluska. |
| Qv (n, p) | Batuan Gunungapi Kuartar Atas terdiri atas Breksi Gunung Api, Lava, Tuf, Breksi Tufan, Konglomerat dan Lahar yang diperkirakan berumur Plistosen Akhir-Holosen, di sekitar Gunungapi Penanggungan, dan Gunungapi Panderman. |
| Qtr | Tuf Rabano terdiri dari Tuf Pasiran, Tuf Batu Apung, Breksi Tuf, dan Tuf Halus dan merupakan endapan epiklastik, yang bahanya berasal dari Gunungapi Tengger, Batuan Gunungapi Arjuna Welirang, dan Gunungapi Ringgit yang berumur Plistosen Akhir-Holosen, dan menindih batuan gunungapi yang lebih tua (Formasi Kabuh, dan Formasi Jombang). |

| | |
|-----------------|---|
| Qm | Batuan Gunungapi Tengger terdiri dari Tuf Pasiran, Tuf Batu Apung, Tuf abu, dan Anglomerat yang berumur Plistosen Akhir. |
| Qvw | Batuan Gunungapi Arjuna-Welirang terdiri atas Breksi Gunungapi (Andesit, Basal, batu Apung, mineral terang yang umumnya berkomposisi Feldspar, Piroksen, bervesikular pada permukaan yang membentuk kerak roti, dan berstruktur aliran), Lava, Breksi Tufan (bersifat menengah basal, kurang mampat, mudah terlepas, berkomponen Andesit, basar Obsidian, Batu Apung, Porfirin, berstruktur perlapisan bersusun, aliran dengan tebalantara puluhan meter) dan Tuf yang berumur Plistosen Akhir. |
| Qp (g, j, a) | Batuan Gunungapi Kuarter Bawah terdiri atas Breksi Gunungapi, Tuf Breksi, Lava, Tuf, dan Anglomerat. Batuan gunungapi ini terdiri dari batuan Gunungaoi Gendis, batuan Gunungapi Jombang dan batuan Gunungapi Anjasmara Muda. Secara stratigrafi tertindih oleh batuan Gunungapi Kuarter tengah yang lebih muda yaitu Gunungapi Penanggungan, Gunungapi Arjuna-welirang, Gunungapi Tengger, dan Tuf Malang yang diperkirakan berumur Plistosen Tengah. |
| Qpj | Formasi Jombang terdiri atas Breksi, Batu Pasir Tufan, Batu Lempung Tufan, Lempung, Batu Gamping, dan Tuf. Secara stratigrafi menindih Formasi Kabuh, dan tertindih batuan Gunungapi Kuarter yang terendapkan pada lingkungan darat sampai litoral dengan tebal sekitar 100m dan 250 meter. Formasi ini merupakan lajur Kendeng bagian Barat (pegunungan kendeng telah mengalami pelipatan dan pengangkatan sebanyak tiga kali, yaitu pelipatan yang berkaitan dengan collapse yang dialami antiklin jawa, vulkan-vulkan di zona solo, dan pengangkatan karena dorongan magma dari dalam) yang diperkirakan berumur Plistosen Tengah. |
| Qpk | Formasi Kabuh terdiri atas Batu Pasir Tufan, Batu Lempung Tufan, Batu Pasir Gampingan, Konglomerat, dan Tuf, yang termasuk dalam lajur Kendeng Timur yang berfasies laut (Lempung Berfosil, batuan Pasir Gampingan, dengan tebal 150 m dan 300 m) berangsur ke darat terdiri dari batuan Sedimen Gunungapi Epiklastik, dan diduga tertindih secara selaras oleh formasi Jombang, dan tidak selaras oleh batuan Gunungapi Kuarter. |
| Qtp | Formasi Pucangan: Pucangan bawah terdiri dari batu Pasir, Tufan berlapis, bersisipan Konglomerat, dan batu Lempung kaya akan fosil moluska; Pucangan atas terdiri dari Batu Pasir, Tufan yang bertekstur perairan, yang berumur Plistosen Awal dan beada pada lajur Kendeng. |
| Qpl | Formasi Lidah yang terdiri atas Batu Lempung Biru yang bersifat kenyal dan pejal dank eras bila kering, miskin fosil yang berumur Pliosen dan termasuk dalam lajur Kendeng. |

Dalam tatanan geologi Jawa Timur, lumpur Porong terdapat di “Cekungan Pengendapan Porong” (Porong Sub-Basin) yang terletak diantara sesar-sesar (patahan) yang sebagian masa aktif, dan merupakan bagian dari Cekungan Sentral (Central Deep) yang mempunyai tatanan geologi dan struktur yang kompleks. Menurut van Bemmelen (1949) data geologi menunjukkan bahwa baik stratigrafi maupun tektonika Zona Kedeng bagian timur yang berada di utara sub-cekungan Porong, masih berada dalam keadaan berevolusi (proses tektonik masih berlangsung) dibandingkan dengan di bagian tengah dan barat.

Menurut Duyfies (1938), juga memperlihatkan bahwa antiklin Gujangan dekat Surabaya dan Pulungan di sebelah selatannya, dipotong oleh sesar transversal, dengan bagian timurnya yang turun. Sesar tersebut merupakan tanda peralihan antara bagian ujung dari Zona Kedeng (yang telah terlipat lemah) yang menjam di Delta Porong dengan Selat Madura yang masih menurun dan diisi oleh sedimen yang belum terlipat. Keadaan tersebut menunjang bahwa proses gerak-gerak tektonik di wilayah cekungan Porong masih berlangsung (Santosa dan Suwarti, 1992).

Semburan utama terletak pada ujung lembah datar sekitar 20 km dari pantai dengan ketinggian sekitar 3 m di atas permukaan laut (dpl). Lembah tersebut mempunyai ketinggian 1-2 mdpl diapit oleh Sungai Balongati dan Sungai Porong yang memanjang ke arah timur sampai ke laut dengan kemiringan sangat landai (0,015%). Ujung lembah tersebut sedikit membelok ke timur laut karena terhalang oleh delta yang dibentuk oleh Sungai Porong. Secara geomorfologi daerah penelitian diuraikan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Peta geomorfologi daerah Porong Sidoarjo (Sudarsono dan Sudjarwo, 2008)

E. Lumpur Vulkanik

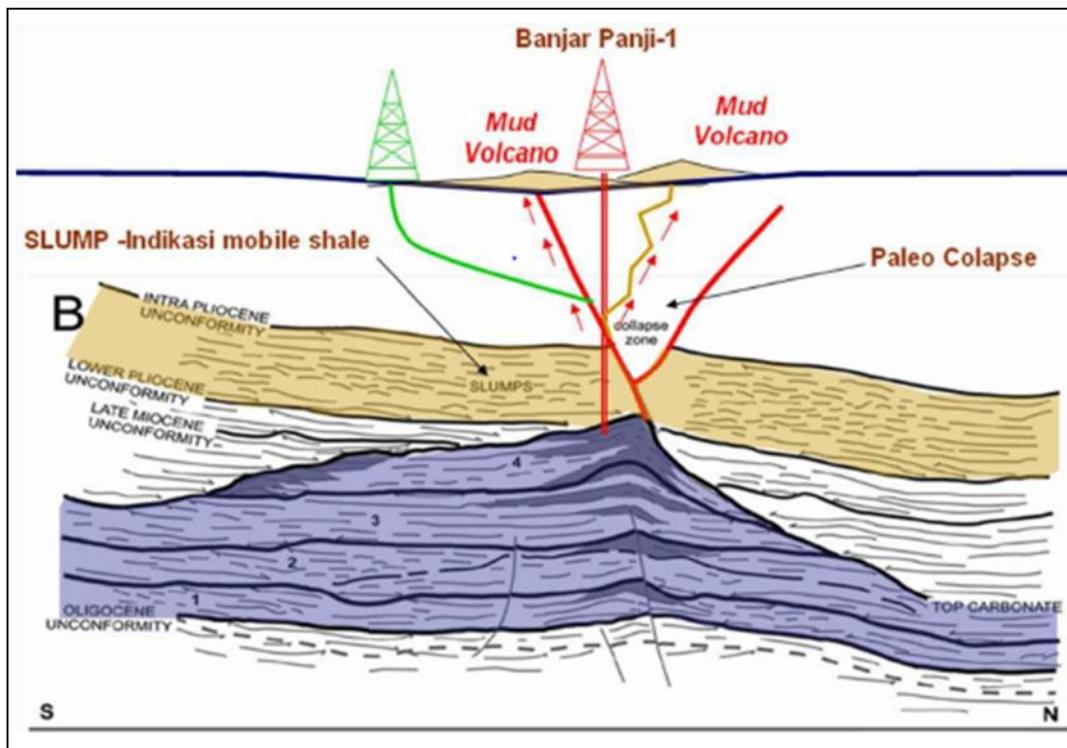
Banyak para ahli geologi yang menganalogikan semburan lumpur panas Lapindo dengan gejala alam yang disebut gunung lumpur/ *mud volcano* yang banyak tersebar di Indonesia (khususnya di Indonesia Timur dikenal dengan istilah *poton*), bahkan di Jawa Timur Utara pun banyak ditemukan seperti Bleduk Kuwu dekat Purwodai, Gunung Anyar dekat Surabaya bahkan di selatan Kali Porong, yang dimasa lalu menyemburkan lumpur tetapi sekarang sudah mati.

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

Fenomena lumpur vulkanik yang terjadi di lokasi kegiatan PT. Lapindo Brantas, Inc Porong Sidoarjo diperkirakan para ahli geologi karena patahan / crack yang memotong puncak dari batu Gamping Formasi Kujung, indikasi *slump* (kemungkinan menunjukkan *mobile shale*) dan *Collapse zone* (indikasi pernah terjadinya *collapse* didaerah ini pada masa lampau). Semburan lumpur vulkanik dapat terjadi karena adanya *liquifaction* (pencairan) atau seperti agar-agar yg dihentakkan secara mendadak sehingga menyembur keluar.

Pada kondisi stabil *mobile shale (mobile clay)* adalah seperti tanah lempung yang sering dilihat dipermukaan bumi dengan wujud sangat liat. Namun ketika kondisi dinamis karena mengalir maka percampuran dengan air bawah tanah menjadikan lempung ini seperti bubur. Lumpur vulkanik ini bisa melalui *crack* (patahan) yang sudah ada dapat juga melalui pinggiran sumur dengan membentuk *crack/fracture*

yang baru. Keduanya akan menyebabkan kejadian yang sama yaitu keluarnya lumpur diuraikan pada **Gambar 6** (Koesoemadinata, R, September 2006).



Gambar 6. Penampang struktur bawah permukaan di sumur Banjar Panji dekat dengan sumber lumpur panas Porong (Hermawati, 2007)

F. Luapan Lumpur Porong

Semburan lumpur panas di Porong merupakan fenomena geologi yang menarik dan menjadi perhatian tidak saja para ahli dari dalam negeri namun juga dari luar negeri. Awal semburan terjadi di sekitar Sumur Banjar Panji 1 (BJP-1), dengan debit 5.000 m³/hari. (Lihat Gambar 3.2) Lubang semburan terjadi di beberapa tempat, sebelum akhirnya menjadi satu lubang yang dari waktu ke waktu menyemburkan lumpur panas dengan volume yang terus meningkat. Pada bulan Mei-Agustus 2006 debit lumpur telah mencapai 126.000 m³/hari.

Semburan lumpur dari lubang pemboran yang menembus sampai pada kedalaman 10.300 kaki membawa bahan padat dan cair dengan unsur-unsur dan senyawa terlarut di dalamnya. Bahan padat berasal dari batuan penyusun formasi yang ditembus lubang bor, sedangkan bahan cair sangat tergantung kondisi geologi dan geohidrologi daerah di sekitarnya. Unsur-unsur dan senyawa terlarut pada fluida yang terbawa keluar bersama semburan lumpur panas akan terdispersi dan mempengaruhi kandungan kimiawi lumpur. Akumulasi dari unsur-unsur tertentu yang terus terbawa dalam fluida, pada kurun waktu yang lama berpotensi menimbulkan perubahan kandungan kimiawi lumpur dan lingkungan yang terlewati.

Tingginya suhu lumpur menimbulkan hipotesa kemungkinan adanya faktor geotermal yang ikut berperan pada mekanisme keluarnya material lumpur panas. Proses geotermal dapat terbentuk oleh pengaruh magmatik menghasilkan cairan hidrotermal yang umumnya mengandung unsur-unsur Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Cd, As, Sb, Au, Ag, Hg, Tl, dan Se. Untuk mengurangi volume lumpur yang ada saat ini telah dilakukan pembuangan lumpur melalui S. Porong setelah ada rekomendasi dari Kementerian Lingkungan Hidup. Kendala yang ada yaitu, karena lumpur bersifat plastis dan pekat, terjadi pengendapan di aliran sungai Porong (Hutamadi, 2008)

Karakteristik lumpur Porong mirip dengan lumpur-lumpur yang umum dijumpai di muara-pantai atau rawa-rawa. Lumpur jenis ini sebenarnya sudah akrab dengan kehidupan manusia terutama nelayan pantai, bahkan dimanfaatkan sebagai dasar kolam-kolam pengendapan kristal garam. Lumpur ini umumnya tidak berbahaya

atau beracun, walaupun terkandung mineral logam atau unsur logam berat maka secara alami akan dinetralkan oleh media lingkungannya.

Terbatasnya pemahaman tentang karakter lumpur ini telah mengakibatkan banyaknya kalangan masyarakat (terutama pemerhati lingkungan) yang secara tegas menolak kehadiran lumpur Porong di Selat Madura. Adalah tidak mungkin menahan lumpur ini di darat menggunakan sistem dam atau tanggul, karena secara alami lumpur ini akhirnya akan mengalir ke laut juga melalui berbagai media, seperti aliran permukaan, limpasan, aliran sungai, ataupun banjir. Mengalirkan luapan lumpur ke Kali Porong sebagai media aliran, secara teknik masih mungkin dilakukan sebab debit aliran air Kali Porong jauh lebih besar dari pada debit aliran lumpur ini. Demikian pula kualitas air dan kandungan padatan tersuspensi Kali Porong di bagian hilir juga sudah jauh lebih pekat, dicirikan oleh cepatnya proses pembentukan delta-delta baru pada muara Kali Porong.

Wacana penempatan lumpur ke dasar laut perlu mempertimbangkan debit aliran, dengan perkiraan debit rata-rata semburan 50.000 m³/hari maka volume lumpur padatan yang akan mengendap di dasar laut mencapai 15.000 m³ (Sabtanto, 2007).

G. Amblesan

Amblesan (*subsidence*) adalah gerakan ke bawah di permukaan bumi dari suatu datum, sehingga elevasi muka tanahnya berkurang atau menjadi lebih rendah dari semula. Kebalikannya adalah pengangkatan (*uplift*) yang menghasilkan naiknya

permukaan atau elevasi permukaan tanahnya bertambah. Amblesan dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain ekstraksi cairan (seperti air tanah, minyak termasuk gas dan geotermal), tambang bawah permukaan, proses pelarutan batuan-batuan seperti Batu Garam, Gypsum, Batu Gamping, Dolomit, Kompaksi, Dan Tektonik.

Hilangnya cairan akibat ekstraksi menyebabkan konsolidasi pori-pori yang kosong. Artinya pori-pori tersebut sebelumnya terisi cairan memadat karena beban material di atasnya, sehingga volume tanah berkurang dan menimbulkan amblesan. Amblesan tipe ini paling umum dijumpai. Amblesan lain disebabkan oleh tambang bawah permukaan. Penambangan tersebut mengambil bahan-bahan tambang di bawah tanah, sehingga permukaannya menjadi ambles atau ambruk. Kondisi yang mirip dengan kegiatan penambangan adalah terjadinya pelarutan pada batuan yang mudah larut (seperti batu gamping, dolomit, gipsum). Dalam hal ini air tanah mengalir melalui batu-batuan tersebut membentuk rongga-rongga di bawah tanah, apabila rongga-rongga tersebut dekat dengan permukaan dapat menimbulkan amblesan atau runtuh.

Amblesan dapat pula disebabkan oleh pengurangan volume endapan sedimen lunak disertai dengan proses kompaksi yang terjadi secara alamiah maupun kegiatan oleh manusia. Amblesan yang terjadi akibat tektonik umumnya berasosiasi dengan gempa bumi berkekuatan besar. Di daerah Porong amblesan terjadi karena keluarnya lumpur dalam jumlah yang amat besar dan lumpur tersebut diduga berasal dari kedalaman 790-1900 meter di bawah permukaan tanah setempat (Sudarsono dan Sudjarwo, 2007).

III. TEORI DASAR

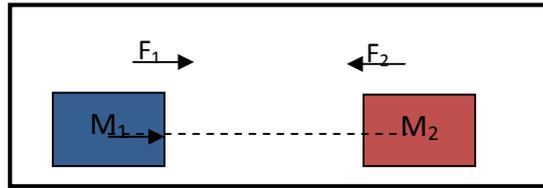
A. Konsep Metode Gravitasi (Gaya Berat)

Metode Gravitasi merupakan salah satu metode geofisika yang prinsip kerjanya didasarkan pada perbedaan medan gaya berat akibat perbedaan rapat massa batuan di bumi. Dengan dasar ini, percepatan gravitasi bumi dapat terukur di lapangan yang kemudian diolah untuk mendapatkan anomali percepatan gravitasi bumi, hal ini disebabkan oleh adanya densitas batuan dibawah permukaan (Ilham, 2009).

Konsep dasar yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

1. Hukum Gravitasi Newton

Metode gravitasi atau gaya berat bekerja berdasarkan Hukum Gravitasi Newton yang menyatakan bahwa gaya antara dua benda bermassa m yang dipisahkan pada jarak r akan berbanding lurus dengan perkalian massa dua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari kedua pusat massa dari kedua benda tersebut (Brown, 2007). Hukum gravitasi Newton ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Gaya Gravitasi antar dua benda (Brown, 2007)

Perumusan Hukum Gravitasi Newton adalah sebagai berikut:

$$F = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

Keterangan : F = Gaya tarik antara m_1 dengan m_2 (Newton)

G = konstanta Gravitasi, $6,673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

r = Jarak antar benda (m)

m_1 = Massa benda 1 (kg)

m_2 = Massa benda 2 (kg)

\hat{r} = Unit vektor dengan arah dari m_2 menuju m_1

(tanda negatif menandakan bahwa gaya bekerja pada arah yang berlawanan terhadap gaya tarik kedua massa).

Gaya pada m_2 dinyatakan dengan Hukum II Newton

$$F = m_2 g \quad (2)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 1 ke persamaan 2 sehingga diperoleh persamaan percepatan (g)

$$g = G \frac{m_1}{r^2} \hat{r} \quad (3)$$

Percepatan (g) sebanding dengan gaya gravitasi per unit massa. Jika m_1 merupakan massa bumi, m_e , (g) akan menjadi percepatan gravitasi bumi dan dituliskan:

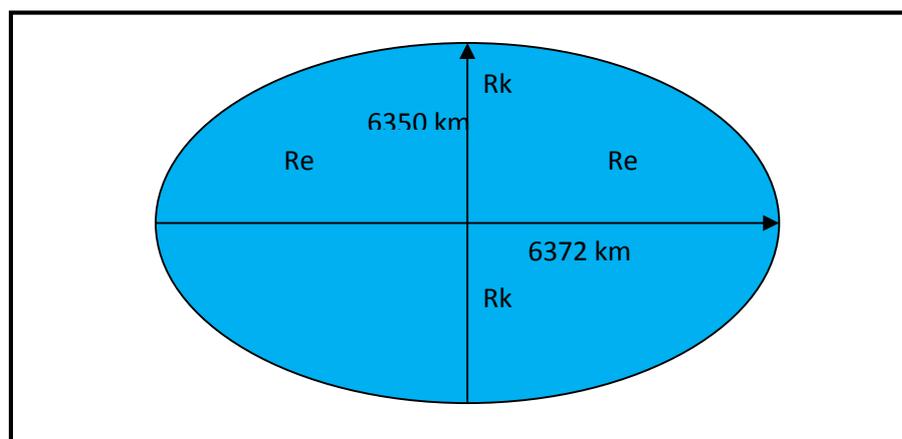
$$g = G \frac{m_e}{R_e^2} \hat{r} \quad (4)$$

B. Konsep Gravitasi Bumi Dan Kaitannya Dengan Metode Gravitasi

Anomali gravitasi adalah perbedaan antara gravitasi observasi dengan gravitasi normal yang mengacu pada perhitungan rumus gravitasi dengan bidang referensi tertentu. Nilai gravitasi observasi tergantung pada bentuk geometri permukaan bumi, struktur, geologi serta penyebaran rapat massa batuan penyusun kulit bumi. Sedangkan nilai gravitasi normal tergantung pada bentuk dan ukuran bidang referensi geodesi yang digunakan dalam pemetaan gravitasi tersebut (Gaol, 2007).

1. Medan gravitasi bumi

Permukaan bumi merupakan bidang tak beraturan yang cenderung berbentuk lengkung, sehingga hubungan geometris antar titik satu dengan lainnya di perlukan model matematis yang mempunyai bentuk dan ukuran tertentu sehingga mendekati bentuk dan ukuran bumi. Bentuk yang paling mendekati adalah elipsoid, karena bentuk ini merupakan mode matematis yang hanya mempunyai bentuk dan ukuran tertentu, seperti pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Bentuk muka bumi tidak bulat sempurna dengan $R_e > R_k$, $g_e < g_k$ (suhadiyatno, 2008)

C. Reduksi dan Koreksi Gravitasi

Permukaan bumi merupakan permukaan yang rata disebut sebagai *spheroid*, yang mana menggelembung di ekuator, dan dengan distribusi densitas meningkat secara teratur. Tetapi pada kenyataannya harga variasi gaya berat di setiap titik permukaan bumi bervariasi, yang di pengaruhi oleh sebaran densitas yang tidak merata. Penggunaan metode gayaberat untuk eksplorasi sumber daya alam, dilakukan dengan menerapkan konsep anomali gayaberat yaitu perbedaan nilai gayaberat terukur dengan nilai gayaberat acuan, yaitu nilai gayaberat teoritis untuk suatu model teoritis bumi. Maka faktor-faktor lain akan direduksi dan dikoreksi untuk menghindari efek gayaberat dari komponen yang tidak di kehendaki (Sarkowi, 2013).

1. Koreksi lintang

Nilai percepatan gravitasi di katulistiwa lebih kecil dari pada di kutub karena jari-jarinya lebih panjang, oleh karena itu di perlukan koreksi untuk mengatasi hal tersebut . untuk menghitung koreksi intang digunakan rumus sebagai berikut (Gaol, 2007) :

$$g_n = 978031.8 (1 + 0.0052884 \sin^2\phi - 0.0000059 \sin^2 2\phi) \quad (5)$$

dimana: ϕ = Sudut lintang

g_n = Gayaberat normal (mGal)

2. Koreksi ketinggian (udara bebas/*free air corection*)

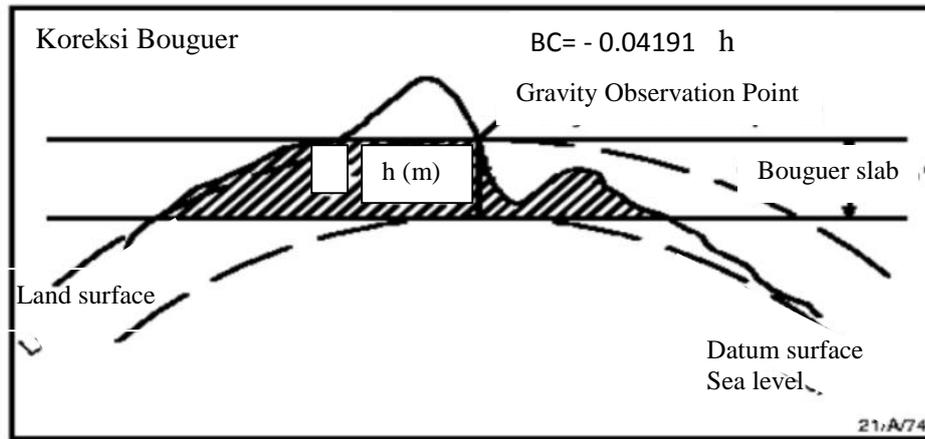
Semakin tinggi suatu tempat dari permukaan bumi maka percepatan gravitasi bumi semakin kecil karena bertambahnya jarak dari pusat bumi ketitik pengukuran. Pada koreksi gravitasi normal benda dianggap terletak di *spheroid referensi*, pada kenyataannya pengukuran gravitasi dilakukan di daerah yang tinggi diatas *mean sea level* (m.s.l). Oleh karena itu harus dilakukan koreksi terhadap pembacaan gravimeter akibat perbedaan ketinggian (FAC) sebesar h , dimana dalam selang ketinggian tersebut terisi oleh udara. Jika gravitasi pada suatu titik di permukaan yang berjarak r ke pusat bumi terbentuk:

$$g = G \frac{m}{r^2} \quad (6)$$

Maka $FAC = - 0.3086 \times h$

3. Koreksi bouguer

Koreksi *Bouguer* memperhitungkan massa batuan yang terdapat di antara stasiun pengukuran dengan bidang *geoid*. Koreksi ini dilakukan dengan menghitung tarikan gravitasi yang disebabkan oleh batuan berupa *slab* dengan ketebalan h dan densitas rata-rata yang ditunjukkan pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Koreksi Bouguer (Budi, 2009)

Koreksi Bouguer diperoleh dengan persamaan dibawah ini:

$$KB = 2 \quad Gh \quad (7)$$

$$KB = 0,04191 \quad h \quad (8)$$

Dengan:

$$G = \text{Konstanta Gravitasi } 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

= Densita benda dari bidang acuan sampai bidang referensi (kg/m^3)

h = Ketinggian titik pengukuran (m)

D. Anomali Bougeur

Data hasil observasi lapangan atau disebut data mentah tidak dapat langsung digunakan untuk interpretasi kondisi bawah permukaan suatu daerah. Dengan menerapkan koreksi-koreksi gravitasi (gayaberat) yang telah disebutkan sebelumnya pada harga pembacaan gayaberat observasi. Hasil pengukuran yang telah direduksi terhadap efek pasang surut dan koreksi driff untuk pengamatan suatu lintasan tertutup, menghasilkan harga yang terkorelasi terhadap keadaan

sekitar (struktur geologi) di bawah permukaan yang disebut Anomali Gravitasi. Pada dasarnya anomali Bouguer adalah selisih antara harga gaya berat pengamatan dengan harga gaya berat teoritis yang seharusnya terukur untuk titik pengamatan (Faizah, 2010).

Complete Bouguer Anomali (CBA) merupakan selisih antara nilai gayaberat pengamatan dengan gayaberat teoritik yang didefinisikan pada titik pengamatan bukan pada bidang referensi, baik elipsoid maupun muka laut rata-rata. *Complete Bouguer Anomali (CBA)* diberikan dalam persamaan (Robinson, 1988) :

$$CBA = g_{obs} - g_{teori} + FAC - BC + TC \quad (9)$$

$$CBA = g_{obs} - g_{teori} + 0,3086h - 0,04192 \rho h + TC \quad (10)$$

dimana:

CBA : *Complete Bouguer Anomali*.

g_{obs} : gayaberat observasi.

g_φ : gayaberat normal/teoritis pada lintang.

FAC : koreksi udara bebas terhadap ketinggian dari muka laut.

BC : koreksi Bouguer

TC : koreksi medan.

... : rapat massa.

h : tinggi (meter)

E. Analisis Spektral

Analisis spektral bertujuan untuk mengestimasi nilai kedalaman rata-rata dari setiap lintasan dan untuk mengetahui lebar jendela yang akan digunakan pada proses penapisan *Moving Average*. Analisis spektral juga merupakan proses Transformasi Fourier (transformasi dari domain waktu ke dalam domain frekuensi) untuk mengubah suatu sinyal menjadi penjumlahan beberapa sinyal sinusoidal dengan berbagai frekuensi.

Hasil dari FFT akan berupa nilai riil, imajiner dari setiap lintasan, spektrum amplitudo dan spektrum *phase* sehingga dapat memperkirakan kedalaman dengan mengestimasi nilai bilangan gelombang (k) dan amplitudo (A) yang dapat digunakan untuk menghitung lebar jendela *filter*, yang selanjutnya akan dijadikan sebagai *input* data dalam proses *filtering*, pemisahan anomali regional dan nilai residual.

Blakely (1995) menurunkan spektrum dari potensial gayaberat yang teramati pada suatu bidang horizontal.

$$F(U) = \gamma\mu F\left(\frac{1}{r}\right) \quad \text{dan} \quad F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z')}}{|k|} \quad (11)$$

Berdasarkan kedua persamaan diatas maka diperoleh:

$$F(U) = 2\pi\gamma\mu \frac{e^{|k|(z_0-z')}}{|k|} \quad (12)$$

Sehingga Transformasi Fourier anomali gayaberat pada lintasan yang diinginkan adalah:

$$F(g_z) = \gamma\mu F\left(\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r}\right) = \gamma\mu \frac{\partial}{\partial z} F\left(\frac{1}{r}\right) \rightarrow F(g_z) = 2\pi\gamma\mu e^{|k|(z_0-z')} \quad (13)$$

dimana:

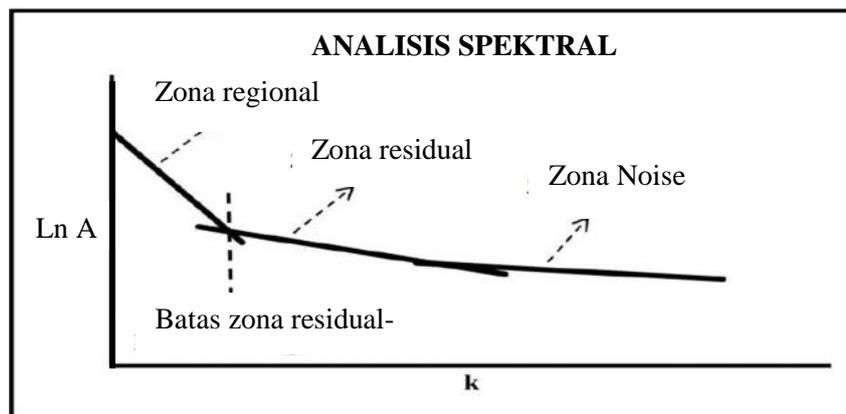
g_z = anomali gayaberat

k = bilangan gelombang

z_0 = ketinggian titik amat

z = kedalaman benda anomali

Hasil dari proses analisis spektral ditunjukkan pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Grafik hubungan antara amplitudo dan bilangan gelombang pada analisis spektrum (Sarkowi, 2011).

Selanjutnya dengan melogaritmakan hasil Transformasi Fourier tersebut di atas, maka akan diperoleh hubungan antara amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan kedalaman ($z_0 - z$):

$$\ln A = (z_0 - z)|k| \quad (14)$$

Hasil logaritma ini menunjukkan bahwa kedalaman rata-rata bidang diskontinuitas rapat massa akan berbanding dengan kemiringan grafik spektrum. Kemudian dari hubungan itu pula, dengan menggunakan metode *least square*, maka estimasi kedalaman anomali adalah gradien dari masing-masing grafik spektrum pada tiap lintasan. Hubungan panjang gelombang () dengan k diperoleh dari persamaan Blakely (1995):

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (15)$$

$$\lambda = n \cdot \Delta x \quad (16)$$

Maka didapatkan estimasi lebar jendelanya yaitu:

$$n = \frac{\lambda}{\Delta x} = \frac{2\pi}{k\Delta x} \quad (17)$$

F. *Moving Average*

Metode *moving Average* merupakan salah satu cara untuk memisahkan anomali regional-residual dengan *noise*. Metode *moving average* dilakukan dengan cara merata-ratakan nilai anomali, proses perata-rataan dilakukan untuk tiap titik pengamatan dan bergerak dari suatu titik ke titik lainnya.

Moving average window filter merupakan suatu metode atau teknik pemisahan yang jika dianalisis dari spektrumnya akan menyerupai *low pass filter* sehingga *output* dari proses ini adalah frekuensi rendah dari anomali *Bouguer* yang akan merepresentasikan kedalaman yang lebih dalam (regional). Karena frekuensi rendah ini mempunyai penetrasi yang lebih dalam. Selanjutnya anomali residual didapatkan dengan cara mengurangi anomali regional dari anomali *Bouguernya*. Secara matematis pada kasus satu dimensi anomali regional dari *moving average* adalah:

Persamaan *moving average* untuk lebar jendela $N \times N$ adalah:

$$\Delta g_{regional} \left(\frac{N+1}{2}, \frac{N+1}{2} \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\Delta g(i,j)}{N^2} \quad (18)$$

Untuk nilai residualnya adalah:

$$\Delta g_{residual(i,j)} = \Delta g_{(i,j)} - \Delta g_{regional(i,j)} \quad (19)$$

Dan untuk estimasi lebar jendelanya diperoleh dari:

$$n = \frac{2\pi}{\Delta S \cdot K_{cut-off}} \quad (20)$$

Dimana : S = Grid spasi

$K_{cut-off}$ = Frekuensi *cut-off* regional dan residual

(Hasria, 2002)

G. *Second Horizontal Derivative*

Penggunaan metode turunan ke dua secara horizontal bertujuan untuk menganalisa struktur patahan yang terdapat di arah-arrah tertentu secara horizontal. Proses ini menghasilkan nilai gradient dari anomali Bouguer yang selanjutnya akan dilakukan proses penurunan data secara horizontal.

H. *Second Vertical Derivatif*

Penggunaan metode turunan kedua vertical (SVD) dari data anomali Bouguer memungkinkan peneliti memisahkan efek struktur dangkal dan struktur dalam. Metode SVD sendiri dikembangkan oleh Elkins (1951) untuk menentukan nilai gravitasi di permukaan Bumi dengan asumsi bidang horizontal dari tanah adalah pada saat kedalaman $z = 0$. Menurut M.K.Paul (1961) dalam Puspitasari (2012), turunan dari data gravitasi sangat bermanfaat dalam interpretasi struktural. Persamaan gravitasi dapat diturunkan terhadap beberapa arah, tetapi turunan terhadap arah vertikal z lebih sering digunakan. Dalam kaitannya dengan

penentuan jenis sesar (*fault*), SVD dapat digunakan untuk menentukan jenis sesar naik, turun, atau geser.

Kriteria untuk menentukan jenis struktur sesar adalah sebagai berikut :

$$\left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right|_{min} < \left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial^2} \right|_{max} \longrightarrow \text{Untuk sesar turun}$$

$$\left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right|_{min} > \left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial^2} \right|_{max} \longrightarrow \text{Untuk sesar nai}$$

Dengan mengetahui nilai turunan kedua vertical dari data anomali Bouger pada suatu daerah tertentu yang diduga terdapat sesar, kita dapat menentukan jenis dari sesar tersebut (Puspitasari, 2012), Berikut adalah operator yang digunakan dalam *second vertikal derivatif* (**Gambar 11**):

| | | | | |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Henderson dan Zietz (1949) | | | | |
| 0.0000 | 0.0000 | -0.0838 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.0000 | +1.0000 | -2.6667 | +1.0000 | 0.0000 |
| -0.0838 | -2.6667 | 17.0000 | -2.6667 | -0.0838 |
| 0.0000 | +1.0000 | -2.6667 | +1.0000 | 0.0000 |
| 0.0000 | 0.0000 | -0.0838 | 0.0000 | 0.0000 |
| Elkins (1951) | | | | |
| 0.0000 | -0.0833 | 0.0000 | -0.0833 | 0.0000 |
| -0.0833 | -0.0667 | -0.0334 | -0.0667 | -0.0833 |
| 0.0000 | -0.0334 | +1.0668 | -0.0334 | 0.0000 |
| -0.0833 | -0.0667 | -0.0334 | -0.0667 | -0.0833 |
| 0.0000 | -0.0833 | -0.0000 | -0.0833 | 0.0000 |
| Rosenbach (1953) | | | | |
| 0.0000 | +0.0416 | 0.0000 | +0.0416 | 0.0000 |
| +0.0416 | -0.3332 | -0.7500 | -0.3332 | +0.0416 |
| 0.0000 | -0.7500 | +4.0000 | -0.7500 | 0.0000 |
| +0.0416 | -0.3332 | -0.7500 | -0.3332 | +0.0416 |
| 0.0000 | +0.0416 | 0.0000 | +0.0416 | 0.0000 |

Gambar 11. Macam-Macam Koefisien filter SVD (Sarkowi, 2010)

I. Pemodelan Inversi 3D

Untuk mendapatkan struktur bawah permukaan dari data gayaberat, maka anomali Bouguer hasil pengukuran dan perhitungan harus dilakukan pemodelan dengan metode *forward modelling* atau *inversion modelling*. Pemodelan inversi dikatakan sebagai kebalikan dari pemodelan ke depan karena dalam pemodelan inversi parameternya diperoleh langsung dari data. Pemodelan inversi sering pula disebut sebagai *data fitting* karena dalam prosesnya dicari parameter model yang menghasilkan respons yang cocok dengan data. Secara matematis untuk menghitung respon gayaberat digunakan metode perumusan sebagai berikut (Plouff, 1976):

$$g = G\Delta\rho \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \mu_{ijk} \left[z_k \arctan \frac{x_i y_i}{z_k R_{ijk}} - x_i \log(R_{ijk} + y_i) - y_i \log(R_{ijk} + x) \right] \quad (21)$$

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Desember 2015 sampai dengan bulan Juni 2016 di Laboratorium Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jalan Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung. Jadwal kegiatan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Jadwal penelitian

| Jadwal Penelitian | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------|---------|----------|-------|-------|-----|------|--|--|--|--|--|
| Kegiatan | Bulan | | | | | | | | | | | |
| | Desember | Januari | Februari | Maret | April | Mei | Juni | | | | | |
| Studi Literatur | | | | | | | | | | | | |
| Pengolahan Data Usul Penelitian | | | | | | | | | | | | |
| Penyusunan Laporan Usul | | | | | | | | | | | | |
| Usul Penelitian | | | | | | | | | | | | |
| Pemodelan Inversi 3D | | | | | | | | | | | | |
| Penyusunan Laporan Hasil | | | | | | | | | | | | |
| Hasil Penelitian | | | | | | | | | | | | |

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop beserta software Geofisika yaitu: *Surfer 12*, *Oasis Montaj 8.3.3*, *Global Mapper 12*, *Google Earth*, *Numeri*, dan *Microsoft Office 2007*.
2. Data pengukuran Daerah Lumpur Lapindo, Porong Sidoarjo yang terdapat pada lampiran.
3. Peta Topografi Porong Sidoarjo dari peta Srtm 90.
4. Peta Geologi Regional Porong Sidoarjo lembar Malang dan Surabaya.
5. Koordinat lokasi sumur Banjarpanji 01 Porong Sidoarjo.

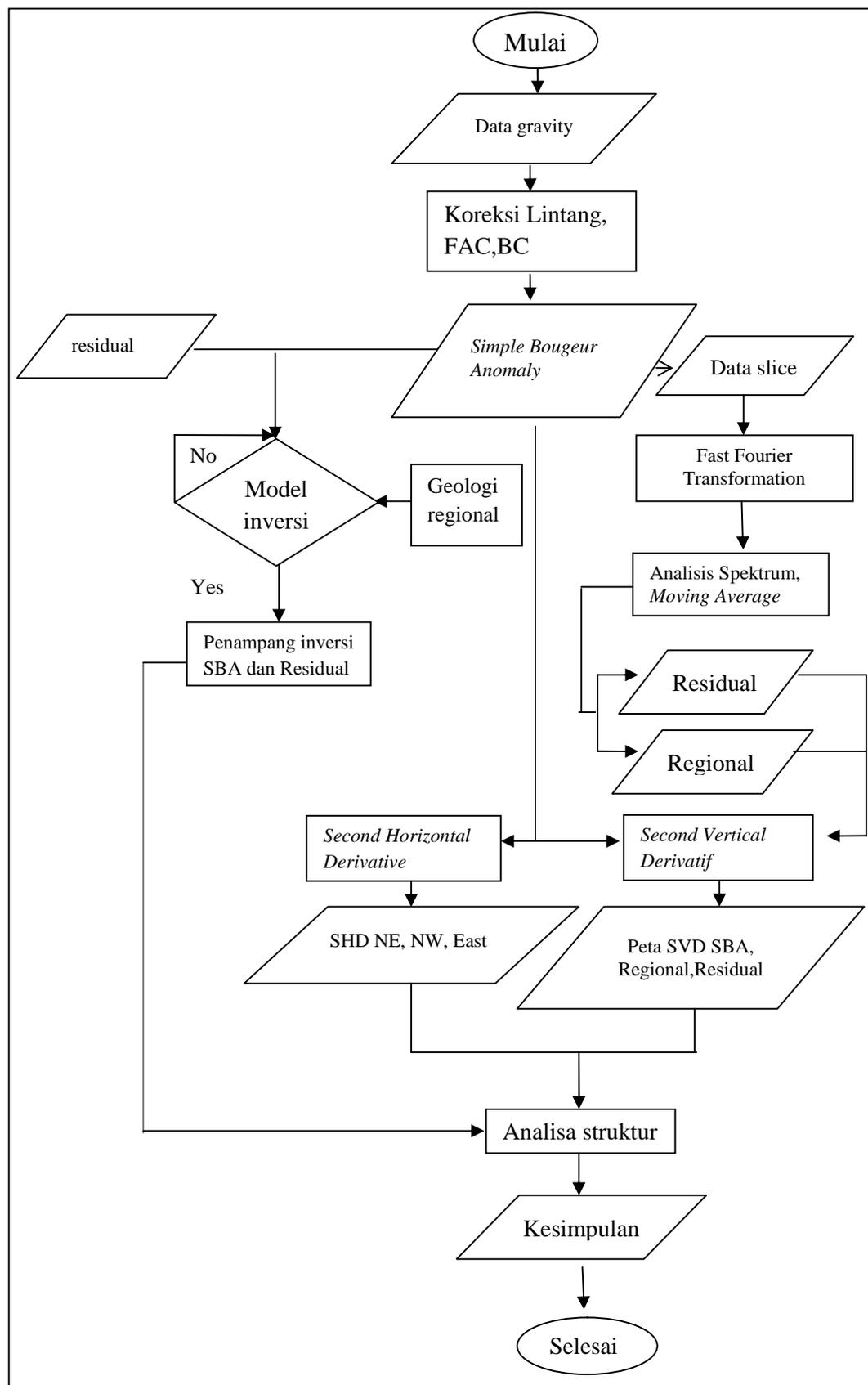
C. Pengolah data

Pengolahan data gaya berat bertujuan untuk memperoleh hasil dari penampang struktur bawah permukaan daerah Porong Sidoarjo yang diharapkan akan menggambarkan informasi yang ada pada lokasi tersebut. Untuk memperoleh penampang struktur dari data gaya berat perlu dilakukan pengumpulan data pendukung yaitu pengumpulan referensi dari berbagai sumber mengenai lumpur lapindo berupa data geologi, peta geologi, dan data stratigrafi. Pengolahan data yang dilakukan dari koreksi data untuk menghilangkan efek-efek yang mempengaruhi data pada saat pengukuran yaitu berupa koreksi lintang, koreksi udara bebas, dan koreksi *bouguer* hingga menghasilkan penampang *Simple Bouguer Anomali*. Peta *Simple Bouguer Anomali* yang telah di peroleh dilakukan analisa spektrum dengan melakukan slice pada peta SBA sehingga dihasilkan data

dari slice tersebut, yang akan diproses menggunakan *software numerik* untuk mengetahui lebar jendela dari data tersebut, sehingga hasil dari pengolahan numerik tersebut akan digunakan untuk filter *moving average* yang akan menghasilkan peta regional dan residual. Setelah diperoleh data regional dan residual maka dilakukan proses analisa menggunakan data SBA, regional dan residual, yang hasilnya akan digunakan untuk memberikan informasi pendukung serta parameter untuk melakukan proses 3D. Pada pemodelan 3D diperoleh dengan menggunakan *Oasis montaj 8.3.3* pada data SBA dan residual yang bertujuan untuk memperlihatkan secara jelas objek pengukuran dan sebaran densitasnya, yang akan dibandingkan dengan data slice pada peta residual, SHD, dan SVD kemudian diinterpretasikan dengan peta geologi dari daerah penelitian.

D. Diagram alir

Diagram alir pengolahan data pada penelitian ini diuraikan pada **Gambar 12**:



Gambar 12. Diagram alir penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

A. Kesimpulan

1. Daerah penelitian mempunyai topografi dari 0-14 meter, dengan topografi tinggi dengan rentang nilai 5-14 meter dan topografi rendah dengan rentang nilai 0 meter sampai 4 meter. Sedangkan anomali Bouguer daerah penelitian memiliki nilai dari -4 mGal sampai -38 mGal, dengan anomali Bouguer tinggi terletak disebelah Barat Daya dan Barat Laut, dan anomali rendah terletak di sebelah Timur.
2. Dari analisa *Second Horizontal Derivative* mengindikasikan bahwa daerah penelitian terdapat sesar besar Watukosek berarah *Northwest-Southeast*, sedangkan pada analisa *Second Vertical Derivative* menunjukkan adanya patahan mikro yang berarah relative kearah *Northeast-Southwest*.
3. Hasil pemodelan inversi residual menunjukkan bahwa didaerah porong terdapat nilai densitas rendah pada kedalaman 2000-4000 meter yang diindikasikan dengan keberadaan lumpur di daerah tersebut
4. Semburan lumpur berada pada zona patahan sesar besar Watukosek dan sesar mikro didaerah tersebut.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya diperlukan data pendukung berupa data log untuk mengetahui secara spesifik struktur lapisan pada daerah Porong Sidoarjo, dan diperlukan penelitian dengan jarak yang lebih luas, agar cakupan kedalaman daerah penelitian semakin spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R. J. 1995. *Potential Theory In Gravity and magnetic Applications*. Australia : Cambridge University Press.
- Brown, R. G. 2007. *Introductory Physics I, Elementary Mechanics*. Durham : Duke University Physics Department
- Budi, A. 2009. *Monitoring Reservoir Panas Bumi Menggunakan Metode Gravitasi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, FMIPA.
- Faizah, I. 2010. Interpretasi Kualitatif Medan Gravitasi Berdasarkan Hasil Perhitungan Anomali Residual Menggunakan Metode Polynomial Fitting Di Karangasabung-Jawa Tengah . (Skripsi). Jakarta: UIN, FMIPA.
- Gaol, L. K. 2007. *Sistim Geodetik Global 1984 (WGS 1984) dalam Menentukan Nilai Gravitasi Normal(gn)*. Bandung: Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.
- Hasria. 2002. Simulasi Pemisahan Anomali Lokal Dan Regional Pada Data Anomali Medan Gravitasi Dengan Metode Pendekatan Polinomial Dan Metode Kontinuasi Ke Atas (Tesis). Yogyakarta: UGM, FMIPA.
- Hermawati, N. 2007. *Analisis Risiko Lingkungan Aliran Air Lumpur Lapindo Ke Badan Air* (Tesis). Universitas Diponegoro Semarang: Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana
- Hutamadi, R., Kurnia, E., Danny, Z. H., dan Pohan, M. P. 2008. *Penelitian Tindak Lanjut Endapan Lumpur Di Daerah Porong Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur*. Bandung: PSDG.
- Ilham, A. 2009. Pemodelan Gerakan Penurunan Tanah (Land Subsidence) Area Lumpur Lapindo, Sidoarjo Menggunakan Data Mikrogravity. (Skripsi). Universitas Indonesia: FMIPA.
- Koesoemadinata, R, 2006, *Masalah Pembuangan Lumpur Lapindo Brantas ke Laut*, Dongeng Geologi, , www.rovicky.wordpress.com , akses tanggal 3 Januari 2007.
- Plouff, D., 1976. *Gravity and Magnetic Field of Polygonal prims and application to Magnetic Terrain Corrections*. California: Menlo Park.
- Puspita, S. E. 2012. *Aplikasi Metode Turunan Kedua Vertikal (Second Vertical Derivative) Data Gravitasi Untuk Interpretasi Sesar Baribis*. Jawa Barat: Tugas Akhir Akademi Meteorologi dan Geofisika.
- Sabtanto, J.S., Gunradi, R., dan Ramli, Y.R .2007. *Geokimia Sebaran Unsur Logam Pada Endapan Lumpur Sidoarjo*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Santos, S., dan Suwarti, T. 1992. *Peta Geologi Lembar Malang, Jawa*. 1:100.000. Bandung: P3G

- Sarkowi, M., Kadir, W. G. A., dan Ahmad, Z. 2008. *Gaya Berat-Mikro Antar Waktu Untuk Analisa Sumber Aliran Lumpur Panas di Porong Sidoarjo*. Lampung: Universitas Lampung.
- Sarkowi, M. 2010. *Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer*. Lampung: Universitas Lampung, MIPA.
- Sarkowi, M. 2013. *Buku Praktikum Eksplorasi Gaya Berat*. Lampung: Universitas Lampung, Fakultas Teknik.
- Sudarsono, U. dan Sudjarwo, I. B. 2007. *Aspek geologi teknik lumpur Sidoarjo, Jawa Timur* (dalam persiapan terbit di Buletin Geologi Tata Lingkungan).
- Sudarsono, U. dan Sudjarwo, I. B. 2008. *Amblesan di Daerah Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur*. Bandung: Pusat Lingkungan Geologi.
- Suhadiyatno. 2008. *Pemodelan Metode Gravitasi Tiga Dimensi Dengan Menggunakan MatLab*. Universitas Indonesia: FMIPA.