



TUGAS AKHIR - RF 184838

PEMODELAN 3D DATA *GRAVITY* UNTUK MENGIDENTIFIKASI KEMENERUSAN KALDERA NONGKOJAJAR

FARHAN AGOEL ALBAZIE
NRP 03411640000002

Dosen Pembimbing

M. Singgih Purwanto S.Si., M.T
NIP. 19800916 200912 1 002

M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M.Eng.
NIP. 19890208 201803 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RF 184838

PEMODELAN 3D DATA *GRAVITY* UNTUK MENGIDENTIFIKASI KEMENERUSAN KALDERA NONGKOJAJAR

FARHAN AGOEL ALBAZIE
NRP 03411640000002

Dosen Pembimbing

M. Singgih Purwanto S.Si., M.T
NIP. 19800916 200912 1 002

M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M.Eng.
NIP. 19890208 201803 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



UNDERGRADUATE THESIS - RF184838

**3D GRAVITY MODELLING TO IDENTIFY THE CONTINUATION
OF THE NONGKOJAJAR CALDERA**

**FARHAN AGOEL ALBAZIE
NRP. 0341164000002**

**Advisor 1 :
M. Singgih Purwanto S.Si., M.T
NIP. 19800916 200912 1 002**

**Advisor 2 :
M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M.Eng.
NIP. 19890208 201803 1 001**


**GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL, PLANNING, AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “Pemodelan 3D Data Gravity untuk Mengidentifikasi Kemenerusan Kaldera Nongkojajar” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 18 Juni 2020



Farhan Agoel Albazie
NRP. 0341164000002

Halaman Sengaja Dikosongkan

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Farhan Agoel Albazie
NRP : 0341 16 40000 002
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Pemodelan 3D Data Gravity untuk
Mengidentifikasi Kemenerusan Kaldera
Nongkojajar

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 Juli 2020

1. 
M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T. (Pembimbing I)
NIP. 19800916 200912 1 002

2. 
M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M.Eng. (Pembimbing II)
NIP. 19811002 201212 2 003

3. 
Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T. (Penguji I)
NIP. 19890612 2201504 1 003

4. 
Wien Lestari, S.T, M.T. (Penguji II)
NIP. 19811002 201212 2 003

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



Dr. Dwa Dega Warnana, S.Si., M.Si
NIP. 19760123 200003 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

Pemodelan 3D *Gravity* untuk Mengidentifikasi Kemenerusan Kaldera Nongkojajar

Nama : Farhan Agoel Albazie
NRP : 0341164000002
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing I : M. Singgih Purwanto S.Si., M.T.
Pembimbing II : M. Haris Miftakhul Fajar S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Kompleks gunungapi Bromo-Tengger memiliki sejarah dalam proses pembentukannya. Nongkojajar merupakan gunungapi aktif tertua di kompleks gunungapi Tengger yang kemudian mengalami fase destruktif dan tertutup oleh tubuh Gunung Bromo. Namun, hingga saat ini belum diketahui kemenerusan dari Kaldera Nongkojajar. Metode *gravity* merupakan metode geofisika yang dapat diterapkan untuk mendeliniasi Kaldera Nongkojajar. Data *gravity* yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *gravity* satelit TOPEX. Pemisahan Anomali dilakukan dengan menggunakan filter *Second Vertical Derivative* dan *Upward Continuation*. Anomali regional ini dimodelkan secara 3D menggunakan inversi *Singular Value Decomposition* dan *Occam*. Pemodelan 3D akan menunjukkan model sebaran densitas bawah permukaan daerah penelitian. Hasil pengolahan data *gravity* daerah kompleks gunungapi Bromo-Tengger menunjukkan nilai persebaran anomali sekitar -16 mGal sampai dengan 119 mGal. Pola kemenerusan Kaldera Nongkojajar mengarah kearah timur laut daerah penelitian sesuai dengan tren densitas yang ditunjukkan pada model hasil pengolahan 3D. Nongkojajar memiliki umur yang paling tua dan telah mengalami proses eksogenik atau pelapukan yang cukup lama. Lapuknya batuan ini menyebabkan mengecilnya rapat massa batuan. Sehingga nilai densitas batuan yang berumur lebih tua dalam studi kasus ini yaitu Kaldera Nongkojajar akan relatif lebih kecil dibanding batuan yang berumur lebih muda tersusun atas batuan yang memiliki umur paling tua yang nilai densitasnya relatif lebih rendah yaitu bernilai 2,2 - 2,5 gram/cm³. Batuan dengan umur yang lebih muda memiliki nilai densitas 3 – 3,3 gram/cm³ pada daerah lautan pasir

Kata kunci : Pemodelan 3D *gravity*, Inversi, Kaldera Nongkojajar

Halaman ini sengaja dikosongkan

3D Gravity Modelling to Identify the Continuation of the Nongkojajar Caldera

Name : Farhan Agoel Albazie
Student ID : 0341164000002
Department : Teknik Geofisika
Advisor 1 : M. Singgih Purwanto S.Si., M.T
Advisor 2 : M. Haris Miftakhul Fajar S.T., M.Eng.

ABSTRACT

The Bromo-Tengger volcano complex has a history in the process of its formation. Nongkojajar is the oldest active volcano in the Tengger volcano complex which then undergoes a destructive phase and covered by the body of Bromo Mountain. However, until now the continuity of the Nongkojajar caldera is unknown. The gravity method is a geophysical method that can be applied to delineate the Nongkojajar caldera. Gravity data used in this study is TOPEX satellite gravity data. Anomaly separation is done by using Second Vertical Derivative and Upward Continuation filters. This regional anomaly was modeled in 3D using the Singular Value Decomposition and Occam inversion. 3D modeling will show the subsurface density distribution model of the study area. The results of the gravity data processing of the Bromo-Tengger volcano complex area show anomalous distribution values of around -16 mGal to 119 mGal. The continuity pattern of the Nongkojajar caldera leads to the northeast of the study area according to the density trend shown in the 3D processing model. Nongkojajar has the oldest age and has experienced an exogenic or weathering process for a long time. This weathered rock causes smaller rock mass densities. So that the density value of older rocks in this case study is that the Nongkojajar Caldera will be relatively smaller than younger rocks composed of rocks that have the oldest age whose density values are relatively lower at 2.2-2.5 grams / cm³. Younger rocks have a density value of 3 - 3.3 grams / cm³ in the sea sand area

Keywords : 3D Gravity Modelling, Inversion, Nongkojajar Caldera

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat-Nya laporan tugas akhir yang berjudul “Pemodelan 3D Data *Gravity* untuk Mengidentifikasi Kemenerusan Kaldera Nongkojajar” ini dapat diselesaikan. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terlaksanakan baik dengan bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir terimakasih juga keluarga yang telah memberi dukungan moril maupun materi selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Singgih Purwanto S.Si., M.T dan Bapak Haris Miftakhul S.T., M.Eng. selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
3. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geofisika ITS yang senantiasa membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan.
4. Jajaran Civitas Akademika Departemen Teknik Geofisika ITS yang senantiasa memberikan bimbingan dan izin melakukan berbagai kegiatan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
5. Bagoes Idcha M, Rizki Rafiandi, Nur Isnaini Rahmaningtyas, Anilina, Adjeng Yalastri, yang telah membantu dan menemani saat penulis mengerjakan tugas akhir ini
6. Seluruh keluargaku Teknik Geofisika ITS angkatan 2016 atas semangat dan dukungannya selama menjalani kuliah.
7. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa pengembangan keilmuan tidak berhenti pada satu hasil. Kritik dan saran maupun diskusi diperlukan agar kebermanfaatan laporan tugas akhir ini semakin dirasakan bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 18 Juni 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Dasar Teori	3
2.1.1 Geologi Regional.....	3
2.1.1.1 <i>Fisiografi Regional</i>	3
2.1.1.2 <i>Stratigrafi Regional</i>	4
2.1.1.3 <i>Sejarah Geologi</i>	7
2.1.2 Metode Gravity.....	7
2.1.2.1 <i>Prinsip Dasar Metode Gravity</i>	7
2.1.2.2 <i>Pengukuran Gravity menggunakan Satelit</i>	9
2.1.2.3 <i>Anomali Bouguer</i>	10
2.1.2.4 <i>Densitas Batuan</i>	10
2.1.2.5 <i>Analisis Spektrum</i>	12
2.1.2.6 <i>Filter Second Vertical Derivative</i>	13
2.1.2.7 <i>Filter Upward Continuation</i>	13
2.1.2.8 <i>Pemodelan Inversi 3D</i>	14
2.2 Penelitian Terdahulu.....	15
BAB III METODOLOGI.....	21
3.1 Waktu dan Tempat.....	21
3.2 Diagram Penelitian	22
3.3 Langkah Kerja	23
3.3.1 <i>Kalkulasi Data</i>	23
3.3.2 <i>Filtering Second Vertical Derivative</i>	23
3.3.3 <i>Filtering Upward Continuation</i>	23
3.3.4 <i>Pemodelan 3 Dimensi</i>	23
3.3.5 <i>Inversi Singular Value Decomposition dan Inversi Occam</i>	24

3.3.6 Interpretasi	24
3.3.7 Data dan Peralatan	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Kalkulasi Data	27
4.2 Anomali Bouguer	27
4.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual	28
4.3.1 Filter <i>Second Vertical Derivative</i>	28
4.3.2 Filter <i>Upward Continuation</i>	29
4.4 Pemodelan Inversi 3D.....	30
4.4.1 Model Awal	30
4.4.2 Hasil Pemodelan Inversi	31
4.5 Interpretasi Penampang 2D.....	37
4.6 Interpretasi Model 3 Dimensi (3D).....	40
BAB V KESIMPULAN.....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
BIOGRAFI PENULIS.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3. 1 Batas pengambilan ata satelt <i>gravity topex</i>	21

DAFTAR GAMBAR

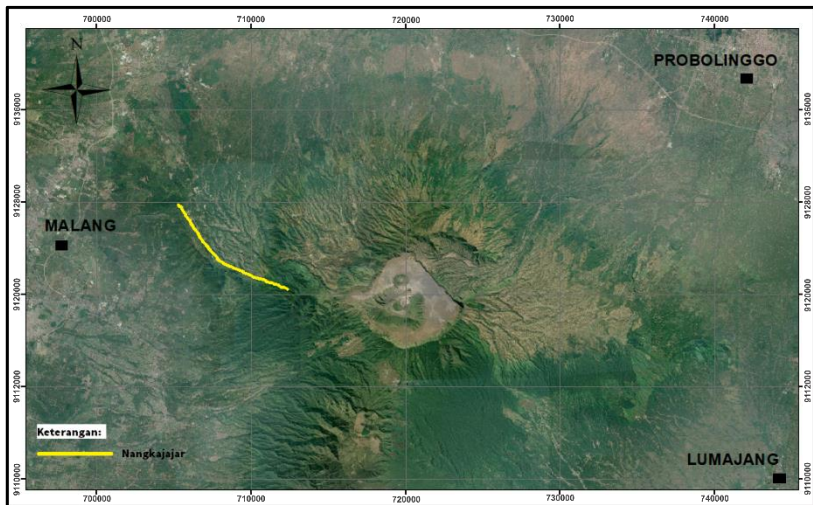
Gambar 1. 1 Daerah Penelitian	1
Gambar 2. 1 Fisiografi Regional Jawa Timur modifikasi dari (Van Bemmelen, 1949) dalam (ABRORY, 2019). Area Penelitian ditunjukkan dengan persegi berwarna merah	3
Gambar 2. 2 Peta Geologi Kompleks Bromo-Tengger (Toulier et al., 2019) ...	4
Gambar 2. 3 Stratigrafi Kompleks Bromo-Tengger dalam Peta Geologi Gunungapi Bromo-Tengger, Jawa Timur.....	4
Gambar 2. 4 Ilustrasi dua benda yang tertarik menuju satu sama lain dengan gaya gravitasi sesuai Hukum Newton Pertama(Hinze, Von Frese and Saad, 2010).....	8
Gambar 2. 5 Akurasi relatif dan resolusi panjang gelombang dari berbagai metodologi survei gravitasi(Hinze, Von Frese and Saad, 2010).....	Error!
Bookmark not defined.	
Gambar 2. 6 Nilai densitas beberapa batuan (Hinze, Von Frese and Saad, 2010).....	11
Gambar 2. 7 Ilustrasi ambiguitas penyebab anomali <i>gravity</i>	12
Gambar 2.8 Kurva $\ln A$ terhadap k (Sari, 2012)	12
Gambar 3. 1 Peta Akuisisi <i>Gravity</i>	21
Gambar 3. 2 Diagram Penelitian	22
Gambar 4. 1 Peta Anomali <i>Bouguer</i>	27
Gambar 4. 2 Peta Anomali SVD (<i>Second Vertical Derivative</i>).....	29
Gambar 4. 3 Peta Anomali Upward Continuation.....	29
Gambar 4. 4 Model Awal.....	30
Gambar 4. 5 Hasil Komputasi Dasar.....	32
Gambar 4. 6 Hasil Optimasi Densitas	33
Gambar 4. 7 Hasil Optimasi Occam Densitas	34
Gambar 4. 8 Hasil Optimasi <i>Height</i>	35
Gambar 4. 9 Hasil Optimasi Occam Height.....	36
Gambar 4. 10 Penampang model 2D lintasan A-A'	37
Gambar 4. 11 Peta Sayatan 2 Dimensi	37
Gambar 4. 12 Penampang model 2D lintasan B-B'	38
Gambar 4. 13 Penampang model 2D lintasan D-D'	39
Gambar 4. 14 Penampang model 2D lintasan C-C'	39
Gambar 4. 15 Penampang model 2D lintasan E-E'	40
Gambar 4. 16 Penampang model 2D lintasan E-E'	40
Gambar 4. 17 Model 3 Dimensi.....	41
Gambar 4. 18 Model 3 Dimensi <i>Overlay</i> dengan SRTM.....	42

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kompleks gunungapi Tengger yang sangat luas, terdiri atas gunungapi berumur Kuartar dan gunungapi Resen yang masih aktif sampai saat ini yaitu Gunung Bromo. Terdapat dua kompleks kaldera besar di wilayah ini, yakni Kaldera Kompleks Tengger yang berumur Kuartar dan Kaldera Nongkojajar yang berumur Tersier yang berada di sebelah baratnya. Nongkojajar merupakan gunungapi aktif tertua di kompleks gunungapi Tengger yang kemudian mengalami fase destruktif dan tertutup oleh tubuh Gunung Bromo (Mulyadi, 1992). Belum ada literatur yang dapat menjelaskan kemenerusan dari kaldera Nongkojajar ini. Akan tetapi disebutkan bahwa dinding Nongkojajar ini disusun oleh endapan vulkanik (terutama lava basaltic sampai andesitic-basaltik) yang telah melapuk (Mulyadi, 1992). Untuk mengidentifikasi kemenerusan Kaldera Nongkojajar ini dapat digunakan pengukuran metode geofisika.



Gambar 1. 1 Daerah Penelitian

Salah satu metode geofisika yang digunakan untuk penyelidikan kemenerusan kaldera Nongkojajar adalah metode pengukuran data *gravity*. Metode ini mampu memberikan gambaran bawah permukaan bumi berdasarkan variasi nilai densitas batuan penyusunnya (Setianingsih *et al.*, 2013). Data *gravity* yang digunakan merupakan data *gravity* satelit. Data *gravity* satelit ini dapat mencakup area yang sangat luas dan membutuhkan biaya yang murah serta

mudah didapatkan. Dalam pemodelan 3 dimensi, penerapan metode *Singular Value Decomposition* dilakukan karena dapat menstabilkan proses inversi (Grandis, 2009). Metode Occam juga diterapkan dalam pemodelan ini karena dapat memaksimalkan kecocokan antara data hasil pengukuran dan data hasil perhitungan sehingga memperkecil nilai kesalahan antara hasil pengukuran dan hasil perhitungan (Constable, 1987)

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian pada tugas akhir ini adalah

Bagaimana hasil identifikasi kemenerusan dan kondisi bawah permukaan kaldera Nongkojajar berdasarkan pemodelan 3D data *gravity* daerah penelitian

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan topik permasalahan dalam penelitian pada tugas akhir ini, penulis memberikan batasan masalah yang meliputi :

1. Data *gravity* yang digunakan sebanyak 665 titik pengukuran dengan jarak antar titik pengukuran 1800 meter yang didapatkan dari citra satelit TOPEX
2. Wilayah penelitian mencakup Kabupaten Probolinggo, Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Malang, Kabupaten Lumajang yang memiliki luas area 62,5 km x 33 km
3. Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan filter *Second Vertical Derivative* dan filter *Upward Continuation*

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memperoleh kemenerusan kaldera Nongkojajar
2. Memperoleh kondisi bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan distribusi nilai densitas hasil pemodelan 3D data *gravity*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Penelitian ini dapat dijadikan penelitian pendahuluan untuk melakukan pengukuran geofisika yang lebih detail di daerah penelitian
2. Sebagai referensi dalam penyusunan upaya mitigasi bencana
3. Mendelineasi arah kelerengan pada sisa kaldera nongkojajar untuk mengetahui sistem air tanah di lereng utara Bromo-Tenger

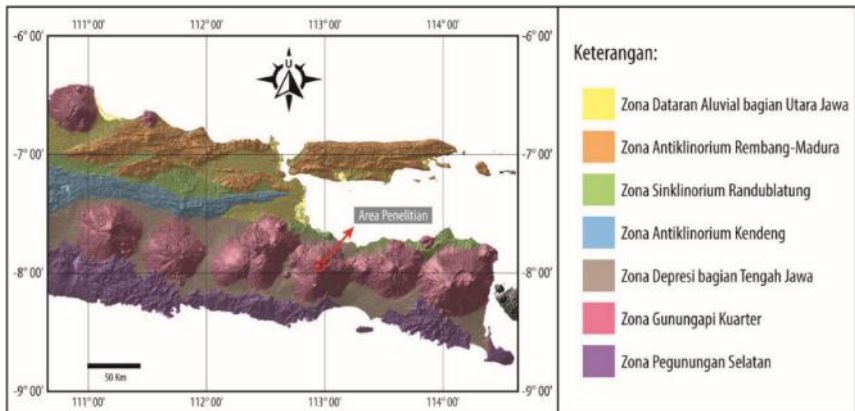
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Geologi Regional

2.1.1.1 Fisiografi Regional

Provinsi Jawa Timur berada pada Pulau Jawa yang membentang dengan arah barat-timur. Bentang alam Jawa Timur terdiri atas susunan pegunungan, perbukitan, dataran, pantai dan beberapa pulau dengan pulau terluas adalah Pulau Madura. Berdasarkan pola relief permukaannya Jawa Timur dibagi menjadi 7 zona fisiografi, yaitu Zona Dataran Aluvial bagian Utara Jawa, Zona Antiklinorium Rembang-Madura, Zona Sinklinorium Randublatung, Zona Antiklinorium Kendeng, Zona Depresi bagian Tengah Jawa, Zona Gunungapi Kuarter, dan Zona Pegunungan Selatan (Van Bemmelen, 1949)



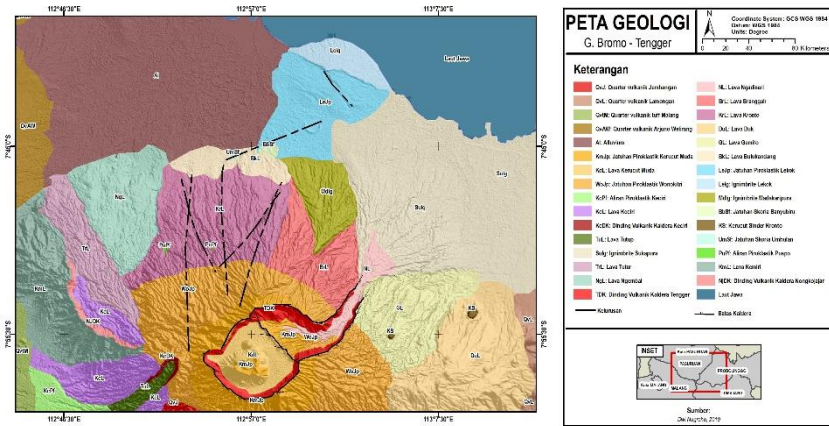
Gambar 2. 1 Fisiografi Regional Jawa Timur modifikasi dari (Van Bemmelen, 1949) dalam (ABRORY, 2019). Area Penelitian ditunjukkan dengan persegi berwarna merah

Area penelitian berada di zona Gunungapi Kuarter terdiri atas susunan gunungapi hasil aktivitas vulkanisme pada periode Kuarter yang sebagian besar masih aktif hingga saat ini. Susunan gunungapi ini membentang dengan arah barat-timur relatif sejajar dengan kelurusan penunjaman lempeng Samudra Hindia kebawah lempeng Benua Eurasia. Susunan Gunungapi ini berada di sebelah utara dari Zona Pegunungan Selatan yang merupakan hasil aktivitas vulkanisme terdahulu yang kini sudah tidak menunjukkan adanya aktivitas lagi.

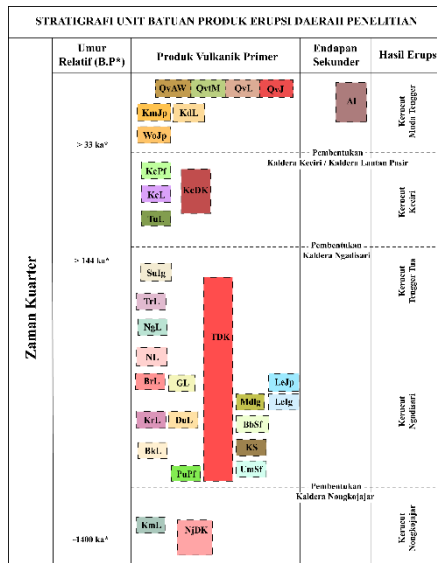
Tatanan bentang alam ini menunjukkan adanya pergeseran kegiatan vulkanisme akibat aktivitas dari lempeng lempeng tektonik yang ada.

2.1.1.2 Stratigrafi Regional

Peta Geologi Gunungapi Bromo-Tengger, Jawa Timur membagi stratigrafi regional daerah penelitian menjadi beberapa bagian yaitu:



Gambar 2. 2 Peta Geologi Kompleks Bromo-Tengger (Nugroho, 2019)



ka* = kilo tahun ; B.P* = Before the Present

Gambar 2. 3 Stratigrafi Kompleks Bromo-Tengger dalam Peta Geologi Gunungapi Bromo-Tengger (Nugroho, 2019)

A. Kaldera Lautan Pasir

- Jatuhan Piroklastik Komplek Kerucut Muda (CMjp): terdiri dari endapan jatuhan piroklastik dari beberapa kerucut vulkanik pasca kaldera Lautan Pasir yang terdapat di dalam kaldera.
- Endapan Jatuhan Piroklastik Bromo (Bojp): terdiri dari batuapung, lithic, scoria, bom vulkanik, pasir dan abu gunungapi serta endapan freatik dengan atau tanpa accretionary lapilli berdiameter 2 - 3 mm serta terdapat leleran lava.
- Aliran Lava Basalt Bromo (BOI) : terdiri dari lava basalt berwarna hitam, struktur vesikuler, porfiritik dengan fenokris plagioklas, olivin dalam massa-dasar mikrolit-mikrolit plagioklas, piroksen, olivin dan gelas, terdapat xenolith andesit dan basalt, serta xenocryst piroksen.
- Endapan Jatuhan Piroklastik Batok (Bajp) : sebagian besar endapan tersusun dari scoria berukuran 2-20 cm.
- Endapan Jatuhan Piroklastika Segarawedi (SWjp) : terdiri dari selang-seling lapisan berwarna abu-abu sampai kuning kecoklat-coklatan dan kehitam-hitaman dari endapan-endapan piroklastika jatuhan, freatik dan “surge”.
- Endapan Abu Hitam Widodaren (Wjph): didominasi oleh material halus sdari abu, hitam sampai ke abu-abuan beberapa litik gelas berukuran kerakal, agak terkonsolidasi sampai lepas, mengandung arang kayu.
- Endapan Piroklastika Kursi (KUjp) : terdiri dari selang-seling jatuhan piroklastika, surge dan freatik, berbutir kasar sampai halus, *graded bedding*, umumnya teralterasi hidrotermal.
- Endapan Jatuhan Piroklastika Widodaren (Wjp) : didominasi oleh jatuhan piroklastika yang berukuran dari lapilli sampai bongkah, terbentuk dari batuapung dan scoria yang kadang-kadang terdapat bom kerak roti.

B. Kaldera Ngadisari

- Endapan Jatuhan Piroklastika Ngadas (Njp) : batuapung, accretionary lapilli dan arang kayu.
- Endapan Jatuhan Piroklastika Wonokitri (WOjp) : terdiri dari perlapisan endapan jatuhan piroklastika dari batuapung berwarna abu-abu tua sampai abu-abu muda.

- Endapan Aliran Piroklastika Ngadas (Nap) : terdiri dari selang-seling antara endapan aliran, jatuhan piroklastika, surge dan freatik, berukuran bervariasi dari abu sampai bongkah, lepas sampai terkonsolidasi.
- Aliran Lava Basalt Ngadas (Nlb): berbutir halus, abu-abu tua sampai hitam, vesikuler, porfiritik dengan fenokris plagioklas, olivine dan piroksen pada masa dasar gelas dan mikrolit-mikrolit plagioklas.
- Aliran Lava Andesit Ngadas (Nla): berbutir sedang-kasar, vesikuler, berwarna abu-abu tua sampai tua dan abu-abu kecoklatan bila lapuk.
- Aliran Lava Berfeldspar Besar Ngadas (Nlf): Berbutir kasar, vesikuler, porfiritik dengan fenokris yang didominasi oleh plagioklas berukuran besar serta sugit.
- Sukapura (Suig) : terdiri dari batupung berwarna abu-abu berukuran 2-32 cm dengan litik andesit dan gelas.
- Kerucut Piroklastika Sombo (SOkp): terdiri dari beberapa kerucut scoria yang terdapat di lereng timur Peg. Tengger, umumnya terdiri dari scoria, bom vulkanik dan abu.
- Aliran Lava Andesit Sombo (SO.l): berbutir halus sampai sedang, berwarna abu-abu tua, porfiritik dengan fenokris plagioklas.

C. Tengger Tua

- Aliran Lava Andesit Kedawung (KDS): merupakan lava bongkah-bongkah, berwarna abu-abu kehitaman, berbutir halus sedang
- Aliran Lava Gemito (GI) : terdiri dari leleran lava andesit berwarna abu-abu dan abu-abu kemeraban bila lapuk.
- Aliran Lava Branggh (BRI) : lava pada satuan ini berwarna abu - abu tua dan coklat bila lapuk, porfiritik dengan fenokris utama plagioklas dan beberapa piroksen.
- Aliran Lava Kronto (Klf): Kekar berlembar, lapuk, porfiritik dengan fenokris plagioklas dan piroksen.
- Aliran Lava Tua (Olf) : Berwarna abu-abu tua, porfiritik dengan fenokris plagioklas dan piroksen dalam masadasar mikrolit – mikrolit plagioklas dan gelas, lapuk, dan hancur.
- Aliran Lava Nangkajajar (Nkj) : endapan vulkanik (terutama lava basaltik sampai andestitik – basaltik)
- Batuan Gunungapi Kuartar Bawah (Qp(g)) : Breksi gunungapi, breksi tuf, lava, tuf dan aglomerat

2.1.1.3 Sejarah Geologi

Terdapat dua hipotesa tentang struktur gunungapi Tua di kompleks ini, terdapat dua kerucut gunungapi kembar yang terhancurkan pada waktu yang sama oleh pembentukan dua kaldera. Kompleks ini dibagi menjadi beberapa fase berikut (Van Bemmelen, 1949):

1. Fase konstruksi 1, terdapat gunungapi strato Tengger Tua yang meliputi kerucut Ngadisari, dan Tengger sensu stricto dengan ketinggian 3500 dan 4000 m;
2. Fase destruksi 1, adalah fenomena lengseran ke arah utara sekitar 47 km panjangnya yang menyebabkan struktur besar mulai Sapikerep hingga Nongkojajar
3. Fase kontruksi 2, adalah aktifitas paroksimal sepanjang rekahan tersebut, dengan produknya membentuk delta di Sukapura dan Nongkojajar termasuk Gunung Keciri.
4. Fase destruktif 2, adalah amblasan kaldera Lautan Pasir,
5. Fase kontruksi 3, adalah aktifitas post-kaldera.

(Zaenuddin, 1990), menekankan pembahasannya masing-masing pada kerucut Cemorolawang dan ignimbrit Sukapura. Penelitian lapangan yang dilakukan, menunjukkan bahwa rift dari Van Bemmelen pada dasarnya dibentuk oleh urutan melingkar dinding kaldera: Ngadisari menerus ke lembah Sapikerep, Lautan Pasir dan Nongkojajar. Kaldera Lautan Pasir dibentuk oleh erupsi yang berlangsung sangat lama, menghasilkan dua seri endapan piroklastika (Tosari dan Ngadas), sesuai dengan erupsinya, amblesannyapun bertahap pula. Dua kaldera lainnya (Ngadisari dan Keciri), masing-masing runtuh bersamaan dengan erupsi besar yang menghasilkan ignimbrit Sukapura, ignimbrit Keciri. Periode pembentukan kaldera dan erupsinya tidak berlangsung lama.

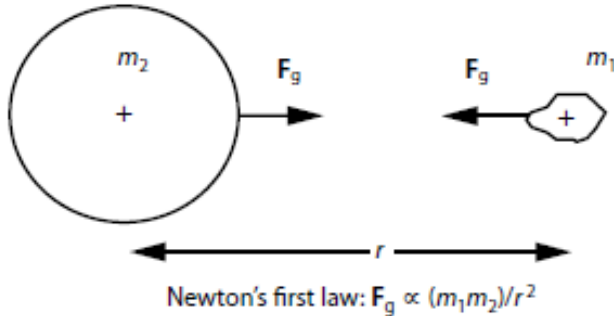
2.1.2 Metode Gravity

2.1.2.1 Prinsip Dasar Metode Gravity

Teori paling mendasar dalam metode *gravity* adalah Hukum Newton tentang gaya tarik-menarik antara benda dengan massa tertentu seperti pada Gambar 2.4. Sesuai dengan Hukum I Newton, bahwa kedua benda tersebut akan saling tarik-menarik karena adanya fenomena gravitasi yang disebut medan gaya gravitasi yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan(Hinze, Von Frese and Saad, 2010)

$$F_g = \frac{G \times m_1 \times m_2}{r^2} \quad (1)$$

dimana F_g adalah gaya tarik-menarik (N), G adalah konstanta Gravitasi Universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$), m_1 dan m_2 adalah massa benda (kg), serta r adalah jarak antar pusat kedua buah benda (m).



Gambar 2. 4 Ilustrasi dua benda yang tertarik menuju satu sama lain dengan gaya gravitasi sesuai Hukum Newton Pertama (Hinze, Von Frese and Saad, 2010)

Percepatan gravitasi dari sebuah massa yang jatuh sebagai respon medan gravitasi digunakan untuk menggambarkan gaya gravitasi. Oleh karena itu, Hukum II Newton dapat dikorelasikan dengan Hukum I Newton, sehingga dari persamaan (1) dapat dihasilkan persamaan (Hinze, Von Frese and Saad, 2010)

$$F_g = m_1 a \quad (1)$$

$$G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} = m_1 a \quad (2)$$

$$G \frac{m_2}{r^2} = a \quad (3)$$

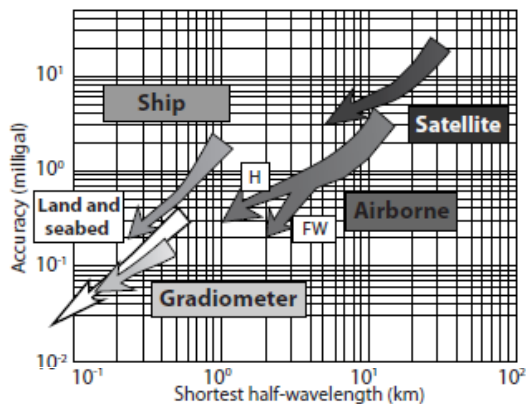
dimana a adalah percepatan (m/s^2) yang kemudian disebut sebagai percepatan gravitasi. Percepatan gravitasi a adalah besaran yang diukur dalam eksplorasi geofisika yang secara umum disimbolkan dengan g sehingga persamaan (4) dapat ditulis menjadi persamaan:

$$g = G \frac{m_2}{r^2} \quad (4)$$

2.1.2.2 Pengukuran Gravity menggunakan Satelit

Konsep dasar dari satelit gravimetri yaitu mendeteksi perubahan Gravity field bumi dengan cara memonitor perubahan jarak yang terjadi antara pasangan 2 satelit gravimetri pada orbitnya. Kedua satelit ini saling melaju pada track orbit dengan jarak satelit satu ke satelit kedua sekitar 220 kilometer. Kedua satelit ini terkoneksi oleh K-band microwave link untuk menghitung perbedaan jaraknya secara pasti, dan seberapa besar perubahannya dengan akurasi lebih baik dari 1um/s. Untuk melihat precise attitude dan pergerakan akibat gaya non gravitasi dari satelit, untuk itu kedua satelit dilengkapi dengan star camera dan akselerometer. Sementara itu posisi dan kecepatan satelit ditentukan dari system GPS yang ikut terpasang di kedua pasangan satelit gravimetri tersebut. Satelit gravimetri mempunyai akurasi 1 cm untuk tinggi geoid, dan 1 mGal untuk gravity anomali, pada spasial grid 100 kilometer dipermukaan bumi bahkan kurang

Adanya variasi hasil pengukuran metode aktif maupun pasif dapat dikorelasikan dengan adanya anomali gravitasi atau suatu fitur geologi tertentu yang ada di Bumi. Setiap tipe pengukuran memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri.



Pengukuran pasif memiliki jangkauan pengukuran yang luas (land surface maupun sea surface) namun memiliki resolusi data yang kurang dibandingkan pengukuran aktif sedangkan pengukuran aktif memiliki resolusi yang lebih baik dibanding pengukuran pasif namun hanya dapat mengukur nilai gravitasi di sea surface. (Hinze, Von Frese and Saad, 2010)

2.1.2.3 Anomali Bouguer

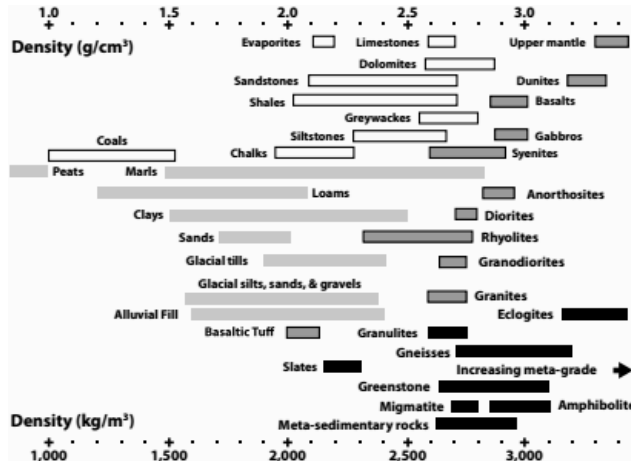
Konsep anomali *gravity* (anomali bouguer) adalah perbedaan nilai *gravity* terukur dengan nilai *gravity* acuan, yaitu nilai *gravity* teoritis untuk suatu model teoritis bumi (Blakely, 1996). Menurut (Hinze, Von Frese and Saad, 2010), anomali Bouguer adalah selisih antara harga gravitasi pengamatan dengan harga gravitasi teoritis yang didefinisikan pada titik pengamatan tertentu. Perbedaan tersebut merefleksikan variasi rapat massa yang terdapat pada suatu daerah dengan daerah sekelilingnya ke arah lateral maupun vertikal. Sebagai contoh karena keterdapatannya suatu material tertentu seperti batuan sumber panas di dalam kulit bumi. Tujuan akhir penerapan metoda *gravity* pada eksplorasi sumber daya alam maupun studi keilmuan adalah mendapatkan gambaran bawah permukaan berdasarkan variasi persebaran densitas (Hinze, Von Frese and Saad, 2010)

Anomali Bouguer bisa bernilai positif ataupun negatif Nilai anomali positif mengindikasikan adanya kontras densitas yang lebih besar dari densitas rata-rata batuan di sekitarnya, sedangkan anomali negatif menggambarkan perbedaan densitas yang lebih. Anomali ini ditimbulkan oleh keseluruhan massa yang ada di bawah permukaan atau dengan kata lain merupakan gabungan dari anomali regional dan anomali residual. Anomali regional yaitu anomali yang ditimbulkan oleh benda-benda yang letaknya jauh atau dalam, sedangkan anomali residual yaitu anomali yang disebabkan oleh benda-benda dangkal. Dalam proses pengolahan, kedua anomali ini perlu dipisahkan sehingga anomali yang kita harapkan bisa digunakan dalam pemodelan untuk mendapatkan gambaran kondisi bawah permukaan (Efendi *et al.*, 2013) sesuai dengan target penelitian yang dilakukan.

2.1.2.4 Densitas Batuan

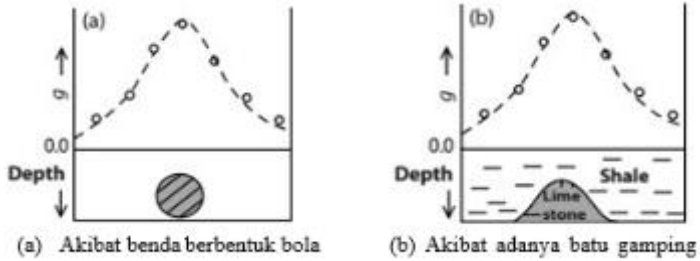
Dalam metoda *gravity*, distribusi parameter fisika yaitu densitas dari material di bawah permukaan bumi berasosiasi dengan kondisi dan struktur geologi di dalam bumi. Hal ini karena nilai percepatan gravitasi terukur di permukaan bumi yang bervariasi dipengaruhi oleh distribusi densitas material

(batuan) yang berada di bawah permukaan bumi. Nilai densitas setiap batuan dapat dibedakan sesuai dengan jenisnya yang dapat dilihat pada Gambar 2.6. Dengan membandingkan persebaran densitas hasil pengolahan data anomali (dalam penelitian ini anomali residual) dengan nilai densitas referensi (Gambar 2.6), maka kita bisa menginterpretasikan batuan penyusun bawah.(Hinze, Von Frese and Saad, 2010)



Gambar 2. 6 Nilai densitas beberapa batuan (Hinze, Von Frese and Saad, 2010)

Namun dari hasil pengolahan, data anomali Bouguer yang sama bisa menghasilkan kondisi bawah permukaan penyebab anomali yang berbeda (lihat Gambar 2.7) yang disebut dengan ambiguitas (Grandis, 2009). Hal ini disebabkan karena nilai densitas batuan memiliki nilai rentang yang saling tumpang-tindih antara satu jenis dengan yang lainnya (lihat Gambar 2.6). Kondisi ini akan mempengaruhi keakuratan interpretasi hasil yang akan dilakukan. Oleh karena itu dalam proses interpretasi, nilai densitas yang dihasilkan perlu dikorelasikan dengan informasi geologi yang ada untuk mendapatkan hasil intepretasi yang lebih akurat.

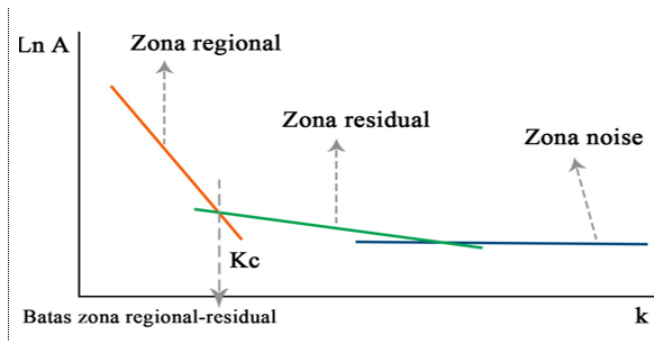


Gambar 2. 7 Ilustrasi ambiguitas penyebab anomali *gravity* (Hinze, Von Frese and Saad, 2010)

2.1.2.5 Analisis Spektrum

Data anomali Bouguer yang diperoleh merupakan hasil superposisi dari komponen anomali dari berbagai kedalaman. Kedalaman anomali menjadi suatu persoalan yang sangat penting pada tahap interpretasi lebih lanjut untuk mengetahui posisi dan jangkauan kedalaman data yang dimiliki. Analisis spektrum merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk membantu mengetahui estimasi kedalaman anomali pada sebaran frekuensi dari data anomali Bouguer.

. Proses Transformasi Fourier dilakukan dengan tujuan mengubah data dari domain waktu atau spasial menjadi domain frekuensi atau bilangan gelombang. Dengan menganalisis bilangan gelombang (k) dan amplitudo (A), kita dapat memperkirakan besar kedalaman estimasi anomali regional dan residual serta dapat menentukan lebar jendela filter dari perhitungan frekuensi cutoff dari analisis spektrum.



Gambar 2.8 Kurva $\ln A$ terhadap k (Sari, 2012)

2.1.2.6 Filter Second Vertical Derivative

Second Vertical Derivative (SVD) dilakukan untuk memunculkan efek dangkal dari pengaruh regionalnya dan untuk menentukan batas-batas struktur yang ada di daerah penelitian. Sebelum melakukan pemodelan, perlu adanya pemisahan anomali untuk memisahkan anomali residual dari anomali Bouguer. Dalam penelitian ini, pemisahan anomali dilakukan dengan memanfaatkan metode *Second Vertical Derivative* (SVD). Metode ini digunakan untuk memunculkan sumber-sumber anomali yang bersifat dangkal sehingga anomali yang dihasilkan dari proses ini adalah anomali residual. Secara teoritis, metode ini diturunkan dari persamaan Laplace's (Telford, 1990):

$$\nabla^2 U = 0 \quad (6)$$

Untuk metode *gravity*, persamaannya :

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = - \left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \right) \quad (9)$$

dimana g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), x dan y adalah komponen horizontal, dan z adalah komponen vertikal.

Persamaan *second vertical derivative* dari suatu anomali *gravity* permukaan adalah sama dengan negatif dari derivatif orde dua. Artinya bahwa anomali *second vertical derivative* dapat dihasilkan melalui penjumlahan derivatif horizontal (Elkins, 1951)

2.1.2.7 Filter Upward Continuation

Upward Continuation adalah langkah pengubahan data medan potensial yang diukur pada suatu level permukaan menjadi data yang seolah-olah di ukur pada level permukaan yang lebih atas. *Upward Continuation* juga merupakan salah satu metode yang digunakan sebagai filter yang berguna untuk menghilangkan noise yang ditimbulkan oleh benda-benda dekat permukaan.

$$U(x,y,z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x'',y'',Z_0)}{[(x - x')^2 + (y - y')^2 + \Delta z^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (10)$$

Dimana $U(x,y,z_0 - \Delta z)$ adalah harga medan potensial pada bidang hasil *Upward Continuation*, $U(x'',y'',Z_0)$ adalah harga medan potensial pada bidang observasi sebenarnya, Δz adalah jarak atau ketinggian pengangkatan (Blakely, 1996)

2.1.1.2.8 Pemodelan Inversi 3D

Teori inversi sebagai suatu kesatuan teknik antara metode matematika dan statistika untuk memperoleh informasi yang berguna mengenai suatu sistem fisika berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut (Menke, 2012). Pemodelan inversi adalah salah satu teknik pemodelan dimana parameter modelnya diperoleh langsung dari data pengamatan. Menurut (Grandis, 2009), pemodelan inversi sering pula disebut sebagai pencocokan data (data fitting) karena dalam prosesnya adalah mencari parameter model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan. Respon model dan data pengamatan diharapkan memiliki kesesuaian yang tinggi sehingga akan menghasilkan model yang optimum (Supriyanto, 2007). Pemodelan inversi merupakan fokus kebanyakan atau hampir semua bidang geofisika karena kita dituntut untuk dapat memperkirakan model atau parameter model berdasarkan hasil pengamatan atau pengukuran data lapangan. Salah satu contoh pemodelan inversi yang diaplikasikan dalam penelitian ini adalah memperkirakan model struktur bawah permukaan dalam bentuk persebaran nilai densitas dari data pengukuran metode *gravity*.

Pemodelan struktur bawah permukaan ini dilakukan dengan teknik inversi tiga dimensi (3D). Data *gravity* anomali residual diinversikan menggunakan perangkat lunak *Grablox 1.6* dari Pirttijarvi sehingga menghasilkan model penampang densitas berbentuk 3D. model 3D yang dihasilkan bisa ditampilkan sebagai penampang 2D maupun 3D. Perangkat lunak *Grablox 1.6* ini menggabungkan dua metode inversi yaitu inversi *Singular Value Decomposition* dan inversi Occam yang diproses secara berurutan.

Inversi *Singular Value Decomposition* adalah suatu teknik pemfaktoran matriks dengan menguraikan suatu matriks ke dalam dua matriks, sebagai contoh dari matriks A menjadi matriks U dan V (Indrarini and Setiawan, 2015). Secara matematis persamaannya dapat ditulis sebagai:

$$A = U S V^T \quad (11)$$

dimana U adalah matriks ortogonal sebelah kiri, S adalah suatu matriks diagonal, dan V adalah matriks ortogonal sebelah kanan. Perhitungan inversi matriks menggunakan teknik *Singular Value Decomposition* relatif lebih stabil. Penerapan teknik *Singular Value Decomposition* pada pemodelan inversi (khususnya pada perhitungan matriks) umumnya dapat menghasilkan solusi inversi yang cukup baik (Grandis, 2009)

Inversi Occam adalah suatu metode inversi yang memanfaatkan tingkat kekasaran (roughness) suatu model (Constable, 1987) yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$U = \|\delta m\|^2 + \mu^{-1} \{ \|Wd - WGm\|^2 - X^2 \} \quad (12)$$

dimana, $\|\delta m\|^2$ merupakan kekasaran (roughness), μ^{-1} adalah *Lagrange multiplier*, $\|Wd - WGm\|^2$ adalah *missfit*, dan X^2 adalah error.

2.2 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Tabel Penelitian Terdahulu

No	Nama, Tahun	Lokasi	Penerapan	Hasil signifikan dan kesimpulan
1	NA Ferani, E Hartantyo, and SW Niasari, 2018	California, Nevada, and Utah (US)	Filter <i>Second Vertical Derivative</i> untuk mendapatkan arah kelurusan patahan	Data <i>free air anomaly</i> TOPEX menggunakan Filter <i>Second Vertical Derivative</i> dapat mengidentifikasi arah kelurusan patahan di cekungan barat dengan tren NW-SE dan di cekungan timur dengan tren NE-SW.
2	R D Saragih and K S Brotospusito, 2018	Sumatra Barat	Filter <i>Second Vertical Derivative</i> untuk mendeliniasi patahan	Deliniasi Sesar Sumatra di bagian tengah Sumatera Barat dengan metode gravitasi menunjukkan bahwa dua anomali negatif terletak di sekitar Sianok dan Sumani.
3	Dagoberto Herrera Cabezas, 2009	<i>The Miravalles geothermal field</i>	<i>Ground Gravity</i> untuk identifikasi	Tiga kemungkinan penyebab anomali gravitasi negatif dari struktur kaldera yaitu;

			patahan sebagai jalur migrasi geothermal	pengisinya silicic caldera, sebagian ruang magma cair dan terkadang dipadatkan, dan aktivitas panas bumi menyebabkan penurunan kepadatan batuan. Selain itu, peta Bouguer dan anomali residual tidak sesuai dengan tepi kaldera yang dipetakan, menunjukkan bahwa kaldera asli mungkin lebih kecil.
4	KN Aziz et al, 2018	<i>Lamongan Volcanic Field</i>	Filter <i>Second Vertical Derivative</i> Untuk mengidentifikasi Pola Kelurusan Patahan	Menggunakan data <i>gravity</i> satelit GGMplus Teridentifikasi ada dua Fault. Jenis fault yang berhubungan dengan mata air panas adalah patahan normal dengan arah tren NW-SE. Selain itu, tren pola garis kesalahan patahan dapat ditunjukkan oleh kesalahan normal. Tren kelurusan ini dalam NW-SE.
5	B M M Simamora et al, 2017	Poso, <i>Central Sulawesi</i>	Filter <i>Second Vertical Derivative</i> Untuk mengidentifikasi kasi patahan penyebab gempa	Patahan ini dapat ditunjukkan dengan nilai absolut dari anomali SVD minimum yang relatif lebih kecil dari nilai anomali SVD maksimum di zona episentrum gempa bumi.
6	A Hanatan, E Hartantyo, dan S W Niasari, 2018	Cascadia (<i>North American plate</i>)	Filter <i>Second Vertical Derivative</i> untuk mendeliniasi patahan	Data <i>free air anomaly</i> TOPEX menggunakan Filter <i>Second Vertical Derivative</i> dapat mengidentifikasi zona subduksi. <i>Cascadia Subduction Zone</i> memiliki

				arah dari barat ke timur yang dapat dibuktikan dengan peningkatan anomali gravitasi dari -140 mGals menjadi 320 mGals.
7	Shiska Yulistina, 2018	Manokwari, Papua	Filter First Horizontal Derivative (FHD) dan Second Vertical Derivative (SVD) untuk mengetahui Sistem Sesar	Hasil pemodelan bawah permukaan 2,5D menunjukkan letak patahan pada pemodelan 2,5D sesuai dengan respon grafik SVD yang diperoleh dari peta anomali SVD residual. Batuan pengisi dari penampang struktur bawah permukaan yang dilewati oleh sesar Sorong yaitu Formasi Kemum (SDk) dengan densitas 2,65 gr/cc, Endapan Aluvium (Qa) dengan densitas 2,3 gr/cc. pada sesar Ransiki batuan yang tersesarkan yaitu Diorit Lembai (Tmlle) dengan densitas 2,75 gr/cc dan Bancuh (RFx) yang tersusun oleh Batugamping tergeruskan dengan densitas sebesar 2,67 gr/cc, dan batuan Gunungapi (Tema) dengan nilai densitas 2,55 gr/cc.
8	Imam Setiadi dan Achmad Wahyu Pratama, 2018	Jawa Barat bagian Utara	untuk mengetahui pola sebaran subcekungan sedimen, pola struktur, dan geologi bawah permukaan	Kedalaman batuan dasar (basement) rata-rata daerah penelitian adalah sekitar 3,3 Km. Jumlah subcekungan yang berhasil di delineasi dari anomali gayaberat adalah sebanyak 5 sub cekungan yaitu Subcekungan Bekasi, Subcekungan Cikampek, Subcekungan

				Rengasdengklok, Subcekungan Subang, dan Subcekungan Majalengka. Pola struktur subcekungan Jawa Barat utara secara umum memiliki orientasi utara-selatan, dengan pola bukaan mempunyai arah timur-barat. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa batuan dasar daerah penelitian berupa granitik dan metamorfik. Pola struktur hasil pemodelan menunjukkan adanya pola tinggian dan rendahan (horst-graben) yang secara struktur menarik sebagai salah satu sistem petroleum daerah penelitian.
9	(Parapat <i>et al.</i> , 2017)	Sumatera Utara	Penerapan inversi <i>Singular Value Decomposition</i> dan <i>Occam</i> untuk mengidentifikasi sumber panas daerah penelitian berdasarkan distribusi densitas batuan secara tiga dimensi (3D).	Hasil pemodelan inversi 3D data gravity memperlihatkan bahwa adanya blok batuan berdensitas tinggi dengan nilai antara 2,80 – 3,00 g/cm ³ yang tersebar di selatan dan timur pada kedalaman $Z > 2$ km. Batuan ini diinterpretasikan sebagai batuan beku intrusif dan diduga berperan sebagai sumber panas dari sistem panas bumi daerah penelitian.
10	Ahmed A. Khamies dan Mamdouh M. El-Tarras	Kalabsha, <i>Southern Egypt</i>	Filter SVD untuk mendeteksi subsurface struktur	Dua sistem patahan ini disimpulkan dari gravitasi dan data aeromagnetik ditemukan cocok dengan

				<p>yang diperoleh dari citra Landsat dan peta geologis. Interpretasi Peta bawah tanah yang ditafsirkan menunjukkan bahwa zona seismo-aktif (barat G. Marawa) terkait dengan area yang ditandai oleh perpotongan beberapa patahan berarah E – W dan N – S.</p>
--	--	--	--	---

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

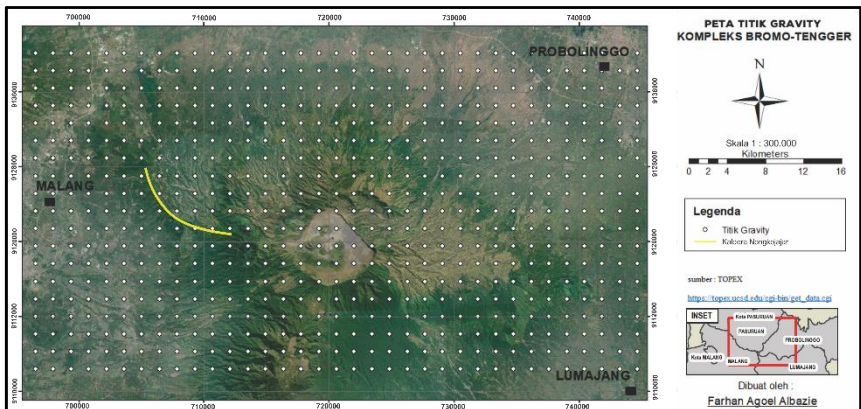
3.1 Waktu dan Tempat

Lokasi daerah penelitian Tugas Akhir terletak di Kompleks Gunungapi Bromo-Tengger. Secara geografis, batas lokasi pengambilan data penelitian yang diambil dari TOPEX adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Batas pengambilan ata satelst *gravity* topex

Batas	Easting	Northing
North	-7.7677	112.958
East	-7.8998	113.242
South	-8.0648	112.958
West	-7.8998	112.675

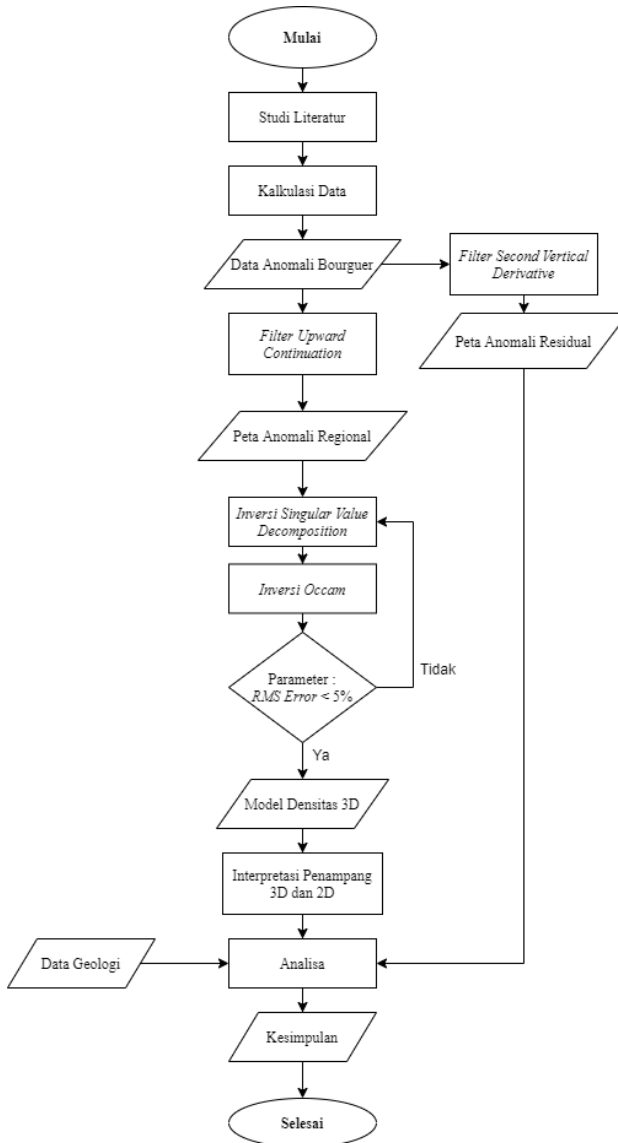
Disebelah barat terdapat gunung Arjuno dan gunung Butak, sebelah utara merupakan Laut Jawa, Sebelah timur terdapat gunung argopuro. Sedangkan sebelah selatan terdapat gunung Semeru. Pada penelitian ini, terdapat 665 titik pengukuran. Dengan jarak antar titik pengukuran 1800 meter. Luas daerah penelitian 62,5 km x 33 km. seperti gambar dibawah ini. Penelitian ini dengan mengambil data sejumlah 665 titik pengukuran.



Gambar 3. 1 Peta Akuisisi *Gravity*

3.2 Diagram Penelitian

Adapun diagram alir dalam pelaksanaan penelitian ini adalah;



Gambar 3. 2 Diagram Penelitian

3.3 Langkah Kerja

Studi pendahuluan meliputi pengkajian dan pencarian informasi mengenai lokasi penelitian mulai dari potensi apa yang akan dicari, target serta informasi geologi daerah tersebut sebelum masuk ke langkah pembuatan desain survei.

3.3.1 Kalkulasi Data

Data gayaberat yang diperoleh dari TOPEX https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi berupa data *Free Air Anomaly*, yang kemudian dilakukan koreksi Bouguer Correction sehingga diperoleh *Simple Anomali Bouguer (SAB)* kemudian dilakukan koreksi terrain sehingga mendapatkan Peta *Complete Anomali Bouguer (CAB)*, dengan *gridding* data menggunakan software Oasis Montaj 8.4.

3.3.2 Filtering Second Vertical Derivative

Pemisahan anomali dilakukan dengan memanfaatkan metode *Second Vertical Derivative*. Metode ini digunakan untuk memunculkan sumber-sumber anomali yang bersifat dangkal sehingga anomali yang dihasilkan dari proses ini adalah anomali residual. *Second Vertical Derivative* atau turunan kedua secara vertikal digunakan untuk menentukan pola kemenerusan Nongkojajar.

3.3.3 Filtering Upward Continuation

Pemisahan anomali dilakukan dengan juga memanfaatkan metode *Filter Upward Continuation*. Metode ini digunakan untuk memunculkan sumber-sumber anomali yang bersifat dalam sehingga anomali yang dihasilkan dari proses ini adalah anomali regional. Anomali regional hasil *filter Upward Continuation* digunakan untuk pemodelan 3 Dimensi.

3.3.4 Pemodelan 3 Dimensi

Pada penelitian ini, pemodelan inversi 3D dilakukan menggunakan perangkat lunak Grablox 1.6 dengan data masukan (input) berupa anomali residual (*.dat) dan model awal (*.inp) yang sudah dibuat lebih dahulu sehingga didapatkan keluaran berupa model sayatan penampang densitas secara 2 dimensi (2D) dan 3 dimensi (3D). Penampang 2D adalah sayatan model yang tegak lurus terhadap sumbu X dan Y. Model 3D yaitu sayatan model yang tegak lurus terhadap sumbu Z (berdasarkan kedalaman) dan tampilan model keseluruhan dalam blok mayor. Untuk menampilkan dan melakukan proses *editing* pada hasil pemodelan, dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Bloxer 1.6. Model yang akan ditampilkan pada Bloxer 1.6 ini memiliki format (*.inp) yang merupakan hasil akhir inversi pada perangkat lunak Grablox 1.6. Kemudian

kedua jenis penampang ini (2D dan 3D) diinterpretasi secara kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi secara kualitatif dilakukan terhadap beberapa model penampang 2D yang dianggap cukup mewakili daerah penelitian. Interpretasi ini berupa persebaran nilai densitas yang tinggi dan rendah yang berhubungan dengan target penelitian. Sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan terhadap model penampang 3D untuk mendapatkan informasi nilai densitas pada kedalaman dan letak tertentu. Hasil dari kedua jenis interpretasi ini kemudian dianalisis terhadap informasi geologinya baik jenis batuan maupun topografi. Analisis ini menghasilkan informasi tentang struktur bawah permukaan daerah penelitian yang lebih akurat.

3.3.5 Inversi Singular Value Decomposition dan Inversi Occam

Beberapa tahapan optimasi yang dilakukan pada pemodelan inversi ini yaitu optimasi *Base*, *Density*, *Height*, *Occam's d* dan *Occam's h*. Proses optimasi ini dilakukan menggunakan metode *Singular Value Decomposition* (dan optimasi Occam's (Hjelt, 1992) dengan cara berurutan. Jika pada optimasi dengan *Singular Value Decomposition* dihasilkan data densitas perhitungan (komputasi) dengan data pengukuran belum cocok, maka dilakukan optimasi Occam hingga kedua data cocok. Proses optimasi ini akan membuat nilai error (antara data observasi dengan data hasil perhitungan) menjadi semakin kecil baik dari sisi nilai densitas maupun dimensinya. Nilai error (rms) minimum antara keduanya menunjukkan kesesuaian data, sehingga model densitas dari hasil tersebut dianggap sebagai model yang paling optimum. Proses optimasi yang dilakukan memiliki peran masing-masing dengan optimasi dasar (*Base*), densitas (*Density*), Occam densitas (*Occam d*), ketinggian blok (*Heights*) dan Occam ketinggian blok (*Occam h*). Optimasi Base bertujuan untuk mengoptimalkan nilai-nilai parameter dasar anomali. Optimasi densitas bertujuan untuk mengoptimasi nilai densitas agar nilai densitas antara data pengukuran dan data perhitungan lebih mendekati atau cocok. Optimasi ketinggian blok bertujuan untuk mendapatkan posisi blok yang memiliki ketinggian yang sesuai. *Occam's d* dan *Occam's h* bertujuan untuk memperkecil perbedaan antara kedua data tersebut (densitas dan ketinggian blok), sehingga didapatkan kecocokan antara keduanya.

3.3.6 Interpretasi

Pada tahap ini, setelah dilakukan inversi, didapatkan model densitas 3D dan dilakukan tahap *slicing* untuk mendapatkan penampang 2D kemudian dilakukan interpretasi kualitatif dan kuantitatif terhadap nilai densitas yang

didapatkan dari hasil inversi. Interpretasi Kualitatif dilakukan menggunakan Peta Anomali hasil filter *Second Vertical Derivative*. Anomali hasil filter *Upward Continuation* Hasil dari pengolahan Inversi kemudian di analisis terhadap peta geologi untuk mendapatkan kesimpulan hasil dari penggunaan metode inversi *Singular Value Decompoition* dan Inversi *Occam* untuk m

3.3.7 Data dan Peralatan

Perangkat lunak untuk mengolah data yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah Oasis Montaj, Grablox, Bloxer, dan Microsoft Office. Penelitian akan dijalankan pada perangkat keras laptop dengan spesifikasi:

Operating Sistem	: Windows 10 Home (64-bit)
Processor	: 7 th Gen Intel Core i5-7267U @ 3.10 GHz
GPU	: Nvidia GeForce 930M
RAM	: 8 GB

Data-data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini antara lain :

1. Data Anomali Bouguer

Data anomali Bouguer ini adalah data hasil penyelidikan metode *gravity* terkoreksi. Data anomali Bouguer ini dihasilkan kalkulasi dari TOPEX https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi berupa data *Free Air Anomaly* Persebaran titik-titik akuisisi yang dilakukan untuk mendapatkan data ini ditunjukkan pada Gambar 3.1

2. Peta Geologi daerah Penelitian

Peta geologi yang digunakan adalah Peta Geologi yang dimodifikasi dari Dwi Nugroho, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

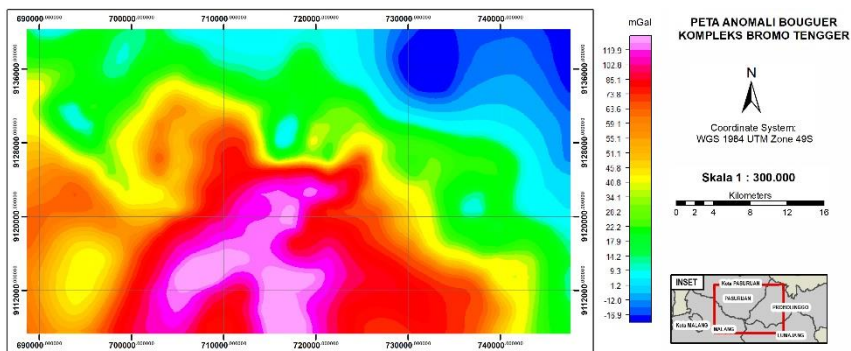
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalkulasi Data

Data gayaberat yang diperoleh dari TOPEX https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi. Luas daerah penelitian 62,5 km x 33 km. terdapat 665 titik pengukuran. Dengan jarak antar titik pengukuran 1800 meter. Data yang diperoleh merupakan data *Free Air Anomaly* dimana data ini sudah terkoreksi *Free Air* dari sumbernya. Selain itu, data ketinggian per titik pengukuran juga didapatkan dalam satuan meter. Kedua data tersebut akan dikalkulasikan hingga mendapatkan *Complete Bouguer Anomaly*. Diawali dengan perhitungan koreksi *Bouguer* sehingga mendapatkan *Simple Bouguer Anomaly*. Kemudian, menghitung koreksi terrain, hal ini sangat penting karena daerah penelitian berada pada daerah vulkanik yang berarti memiliki beragam variasi ketinggian sehingga mendapatkan *Complete Bouguer Anomaly*.

4.2 Anomali Bouguer

Data Anomali Bouguer merupakan hasil koreksi yang sudah dijelaskan pada subbab 4.1. Didapatkan data sebanyak 665 titik, data tersebut di *gridding* dengan metode *kriging*. Hasil *gridding* ditampilkan pada gambar 4.1



Gambar 4. 1 Peta Anomali *Bouguer*

Daerah anomali tinggi dominan berada pada bagian tengah hingga ke arah barat dengan nilai 40 mGal sampai 119 mGal. Diduga mencerminkan batuan dengan rapat massa atau densitas tinggi. Daerah anomali sedang berada pada

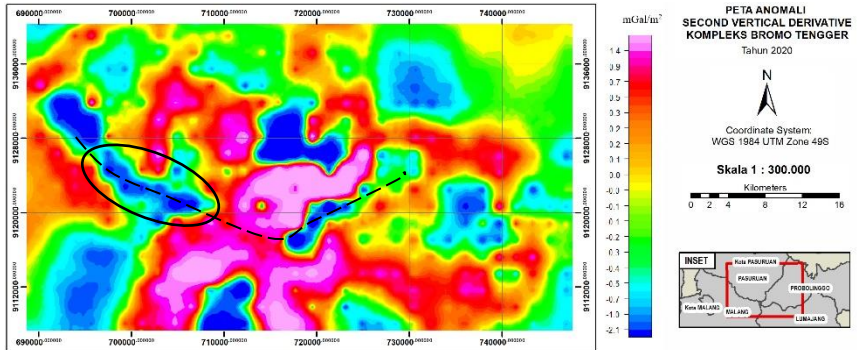
bagian barat laut memanjang hingga bagian tenggara dengan nilai 14 mGal sampai 40 mGal. Daerah anomali rendah berada pada bagian timur laut dengan nilai -16 mGal sampai 14 mGal. Peta anomali bouguer masih belum menunjukkan adanya kemenerusan dari kaldera Nongkojajar karena belum dipisahkan antara efek dangkal (Residual) dan efek dalam (Regional). Oleh sebab itu, perlu dilakukan proses *Filtering* untuk mendapatkan target dari penelitian.

4.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Data anomali bouguer di filter terlebih dahulu untuk mendapatkan efek dangkal (Residual) dan efek dalam (Regional). Pada penelitian ini, filter yang digunakan yaitu filter *Second Vertical Derivative* dan filter Upward Continuation. Pada filter *Second Vertical Derivative* didapatkan efek dangkal atau residual

4.3.1 Filter *Second Vertical Derivative*

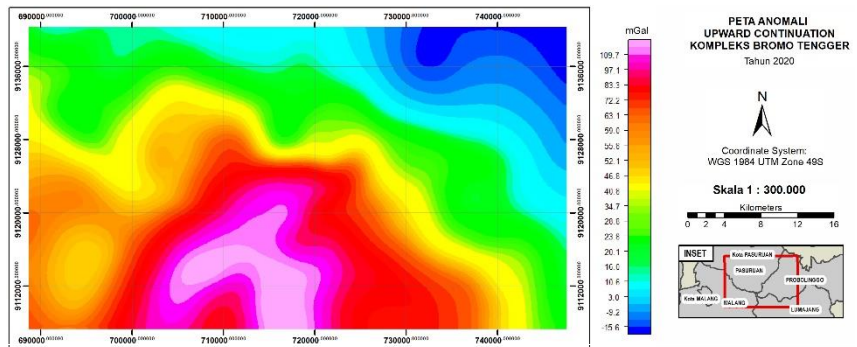
Filter SVD digunakan karena dapat memunculkan efek dangkal dari pengaruh regionalnya dan untuk menentukan batas-batas struktur yang ada di daerah penelitian. Sehingga filter ini dapat menyelesaikan anomali residual yang tidak mampu dipisahkan dengan metode pemisahan regional-residual yang ada. Namun demikian, penggunaan analisis *Second Vertical Derivative* harus dibatasi pada struktur untuk interpretasi kualitatif saja (Sumintadireja, Dahrin and Grandis, 2018). Hasil dari filter *Second Vertical Derivative* yang ditunjukkan pada gambar 4.2 merupakan anomali residual, yang dipengaruhi oleh sumber yang berada pada posisi dangkal. Nilai anomali *Second Vertical Derivative* berkisar -2.1 mGal/m^2 sampai 1.4 mGal/m^2 . Anomali *Second Vertical Derivative* mampu mendeliniasi kemenerusan yang diduga kemenerusan kaldera Nongkojajar (garis putus-putus). Kaldera Nongkojajar ini memiliki persebaran nilai anomali negatif dengan nilai -2.1 mGal/m^2 hingga -1 mGal/m^2 (dalam lingkaran hitam). Anomali negatif pada daerah vulkanik berkorelasi dengan batuan piroklastik densitas rendah atau *low density pyroclastics* (Herrera Cabezas, 2009). Anomali semacam itu dianggap terkait dengan perkembangan kaldera saat erupsi atau pada saat runtuh, sebagian mengisi depresi dengan bahan yang tidak terkonsolidasi dengan densitas rendah dibandingkan dengan yang lebih padat (Rymer and Brown, 1986).



Gambar 4. 2 Peta Anomali SVD (*Second Vertical Derivative*)

4.3.2 Filter Upward Continuation

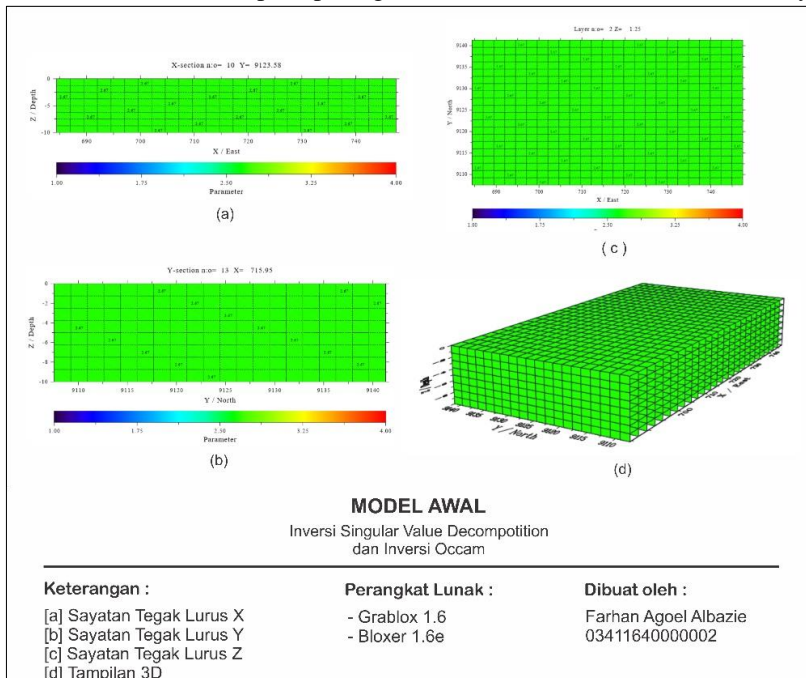
Filter Upward Continuation menampilkan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dalam (efek regional) dengan menghilangkan atau mengabaikan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dangkal (efek residual), dan hasil dari metode ini adalah anomali regionalnya. Hasil dari filter Upward Continuation yang ditunjukkan pada gambar 4.3. Nilai anomali Upward Continuation berkisar 15.6 mGal sampai 109.7 mGal. Kaldera Nongkojajar memiliki nilai anomali berkisar 40.8 mGal sampai 55.8 mGal yang ditunjukkan dalam lingkaran hitam putus-putus. Sedangkan untuk bromo dan lautan pasir memiliki anomali tinggi berkisar 83.3 mGal sampai 109.7 mGal yang ditunjukkan dalam lingkaran hitam. Hasil filter upward continuation pada ketinggian *Upward Continuation* optimum yaitu sebesar 1.000 meter. Hasil dari filter ini akan digunakan untuk pemodelan 3D dan dikorelasikan dengan peta SVD



4.4 Pemodelan Inversi 3D

4.4.1 Model Awal

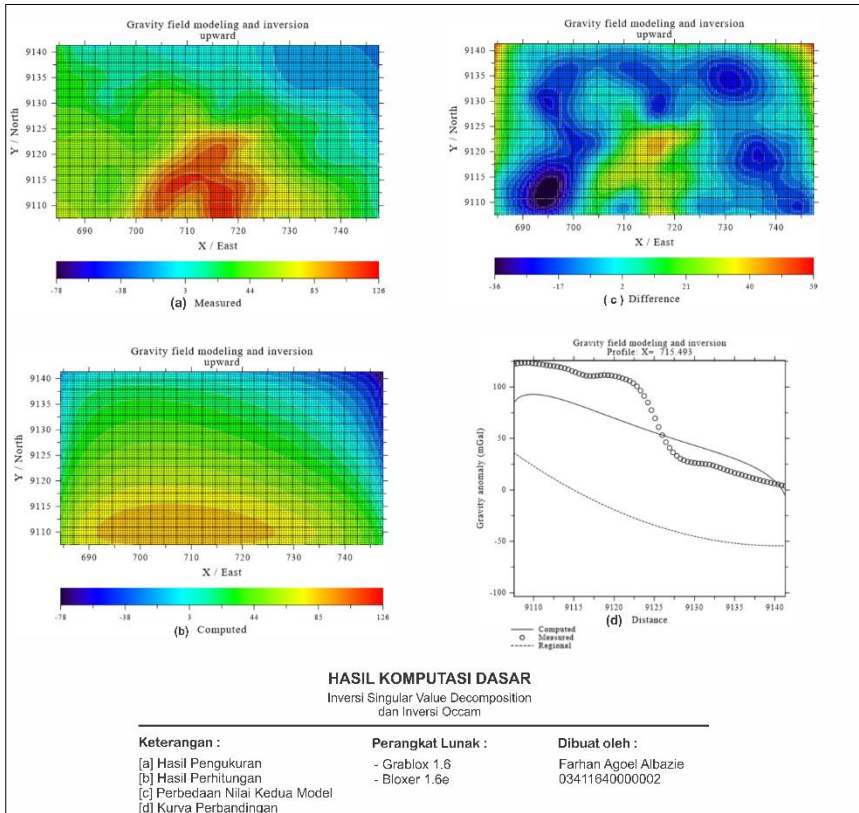
Ukuran daerah penelitian yang akan dimodelkan adalah sekitar 62,5 km ke arah timur (sumbu X) dan 33 km ke arah utara (sumbu Y), sedangkan kedalaman model adalah 10 km ke arah vertikal (sumbu Z) sesuai dengan analisa spektrum. Model awal yang dibuat menggunakan perangkat lunak Grablox 1.6 mewakili keseluruhan daerah penelitian. Untuk model awal, sumbu X dibagi menjadi 25 blok (nx), sumbu Y menjadi 20 blok (ny), dan sumbu Z menjadi 8 blok (nz) sehingga menghasilkan 4000 blok minor penyusun blok mayor seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.4. Gambar 4.4 (a) merupakan tampilan sayatan tegak lurus sumbu X yang mewakili 25 sayatan dan menunjukkan bahwa variasi densitas sebagai fungsi kedalaman. Gambar 4.4 (b) merupakan sayatan tegak lurus sumbu Y yang mewakili 20 sayatan dengan informasi densitas dan kedalaman model pada arah melintang. Gambar 4.4 (c) merupakan sayatan tegak lurus sumbu Z yang mewakili 8 sayatan dengan informasi densitas dan kedalaman model pada arah membujur. Gambar 4.4 (d) merupakan tampilan tiga dimensi (3D) model awal pada perangkat lunak Bloxer 1.6e, dimana blok mayor



tersebut terdiri dari 4000 blok minor, yang memberikan informasi bawah permukaan bumi secara keseluruhan dan terlihat lebih nyata dibanding dengan model sayatan. Proses pembuatan model awal ini dilakukan dengan cara mengkorelasikan dengan informasi geologi daerah penelitian sehingga didapatkan model yang lebih cocok yang dianggap dapat mewakili model bawah permukaan. Model awal ini kemudian akan dipakai pada proses pemodelan inversi

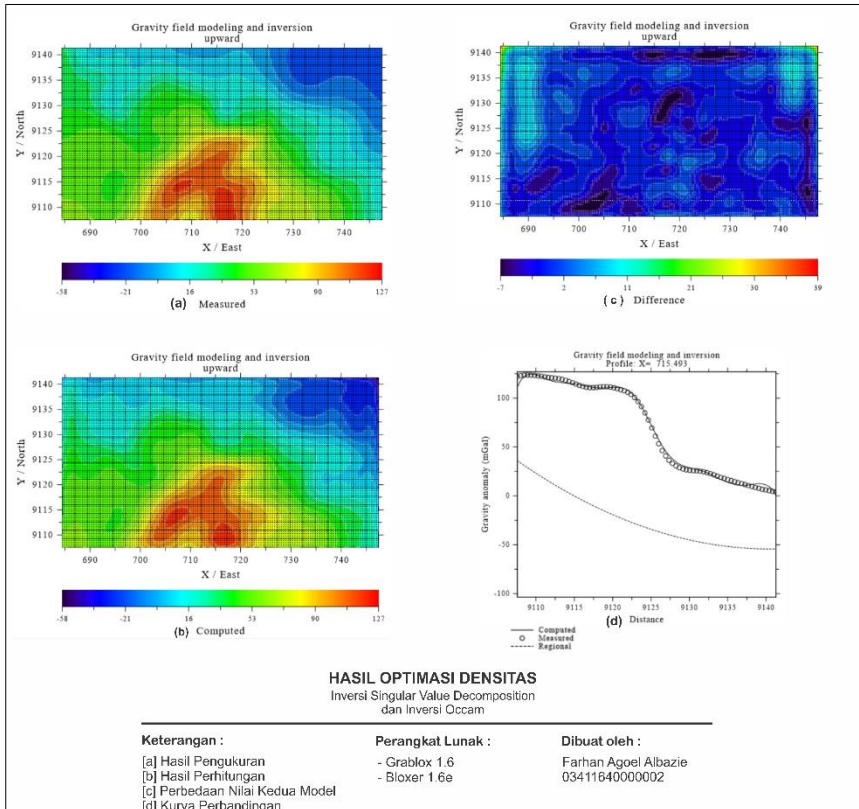
4.4.2 Hasil Pemodelan Inversi

Dari peta anomali residual yang sudah di-grid di Surfer, didapatkan data hasil interpolasi menggunakan metode Krigging sebanyak 9400 titik data. Data tersebut digunakan sebagai data masukan (input) pada proses pemodelan. Pemodelan inversi dilakukan menggunakan perangkat lunak Grablox 1.6 dengan data masukan (input) berupa model awal (*.inp) yang sudah dibuat diawal dan anomali residual (*.dat). Setelah proses komputasi selesai, maka akan dihasilkan respon model seperti pada Gambar 4.5. Optimasi Base bertujuan untuk mengoptimalkan nilai-nilai parameter dasar anomaly. Proses komputasi tersebut menghasilkan rentang nilai gravitasi dengan satuan mgal. Nilai data RMS sebesar 11% dan waktu yang diperlukan 13,11 detik. Nilai RMS tersebut nilainya masih besar sehingga perlu dioptimasi lebih lanjut agar nilai RMSnya kecil.



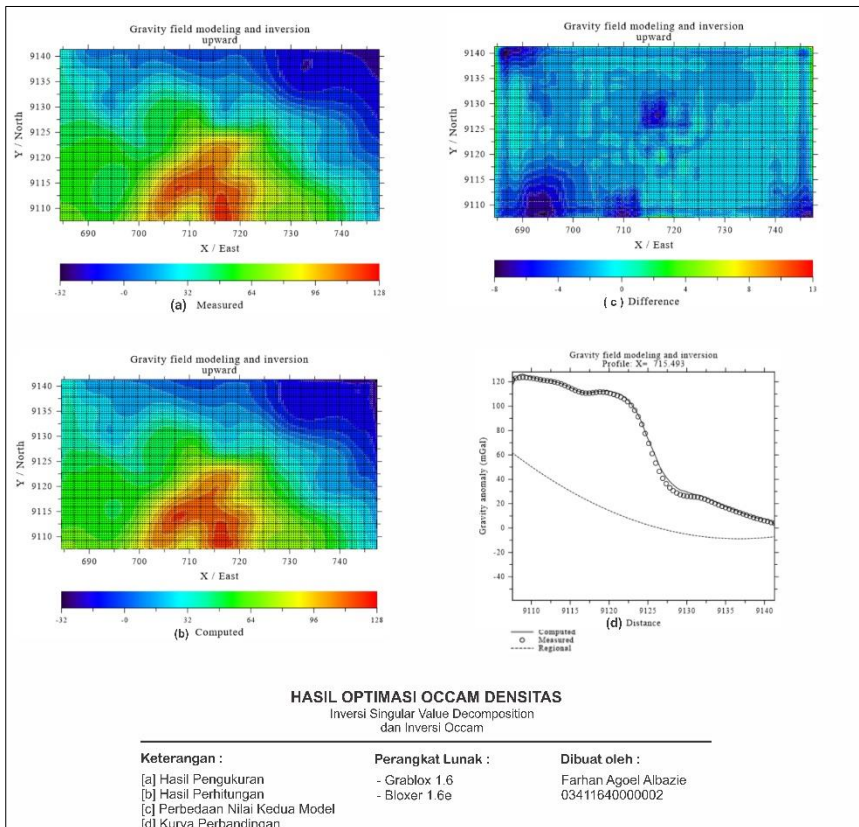
Gambar 4. 5 Hasil Komputasi Dasar

Proses selanjutnya yaitu optimasi densitas. Optimasi densitas bertujuan untuk mengoptimasi nilai densitas agar nilai densitas antara data pengukuran dan data perhitungan lebih mendekati atau cocok. Proses optimasi Densitas menghasilkan rentang nilai gravitasi dengan satuan mgal. Nilai data RMS sebesar 3% dan waktu yang diperlukan 40 menit. Hasil optimasi densitas dapat dilihat dalam gambar 4.6



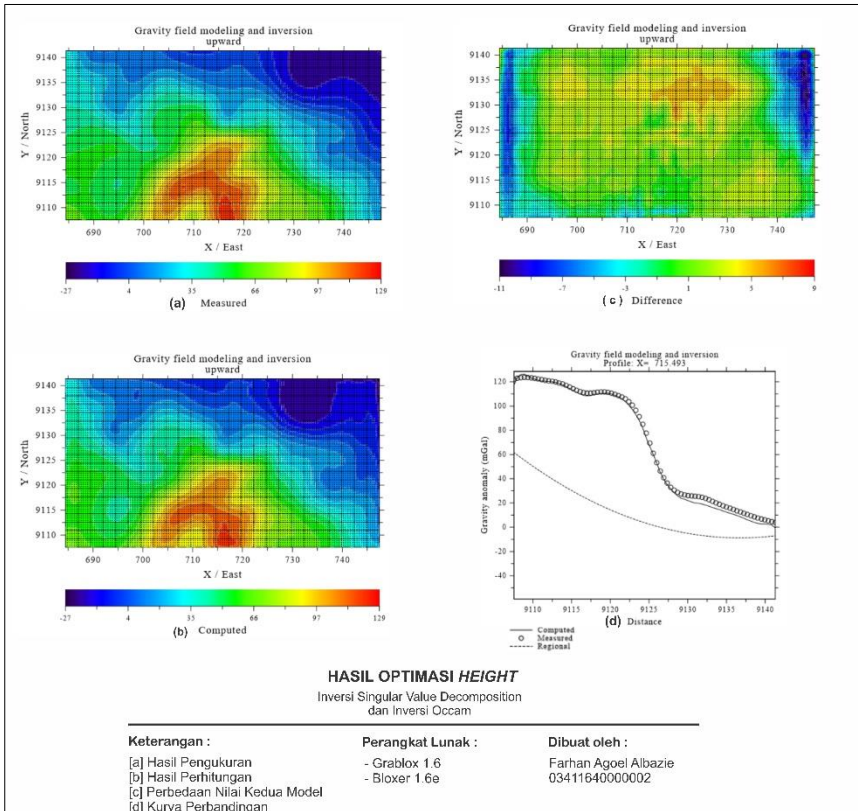
Gambar 4. 6 Hasil Optimasi Densitas

Proses selanjutnya yaitu optimasi occam densitas. Optimasi ini akan membuat nilai error (antara data observasi dengan data hasil perhitungan) menjadi semakin kecil baik dari sisi nilai densitas maupun dimensinya. Proses optimasi Occam Densitas menghasilkan rentang nilai gravitasi dengan satuan mgal. Nilai data RMS sebesar 1,3% dan model RMS sebesar 6,9 % serta waktu yang diperlukan 2 menit. Untuk data RMS sudah kecil akan tetapi untuk model RMS nilainya masih diatas 5% sehingga perlu dilakukan optimasi height untuk mendapatkan model RMS yang lebih kecil (<5%). Hasil optimasi occam densitas dapat dilihat dalam gambar 4.7



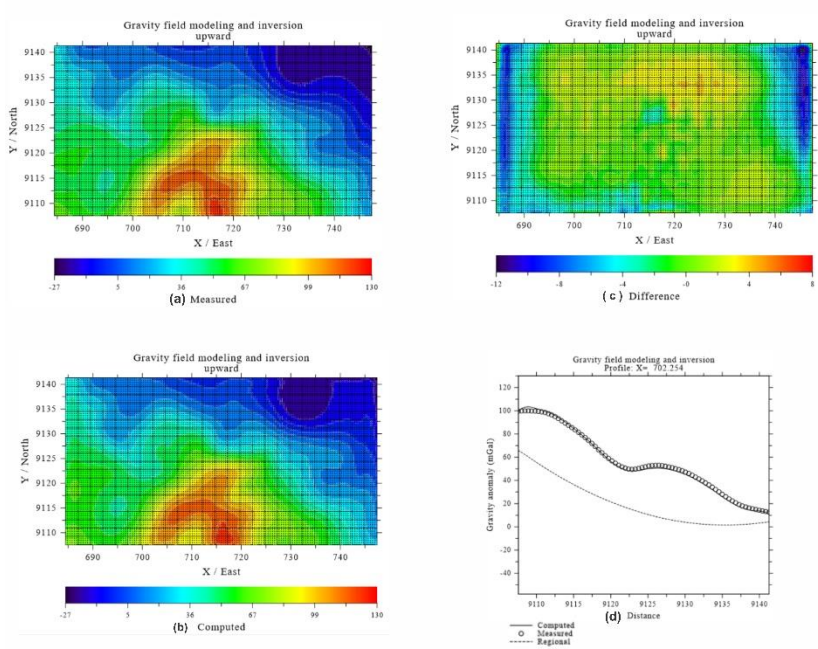
Gambar 4.7 Hasil Optimasi Occam Densitas

Proses selanjutnya yaitu optimasi Heights. Optimasi ketinggian blok bertujuan untuk mendapatkan posisi blok yang memiliki ketinggian yang sesuai. Nilai data RMS sebesar 2,3% dan waktu yang diperlukan 29,48 menit. Proses optimasi Height menghasilkan rentang nilai gravitasi dengan satuan mgal. Hasil optimasi height dapat dilihat dalam gambar 4.8



Gambar 4. 8 Hasil Optimasi Height

Proses selanjutnya yaitu optimasi occam height. Optimasi ini akan membuat nilai error (antara data observasi dengan data hasil perhitungan) menjadi semakin kecil baik dari sisi ketinggian blok. Proses optimasi Occam Height menghasilkan rentang nilai gravitasi dengan satuan mgal. Nilai data RMS sebesar 2% dan model RMS sebesar 1,6 % serta waktu yang diperlukan 2 menit 30 detik. Untuk data RMS sudah kecil dan model RMS nilainya sudah dibawah 5% sehingga model densitas dari hasil tersebut dianggap sebagai model yang paling optimum. Hasil optimasi occam height dapat dilihat dalam gambar 4.9



HASIL OPTIMASI OCCAM HEIGHT

Inversi Singular Value Decomposition dan Inversi Occam

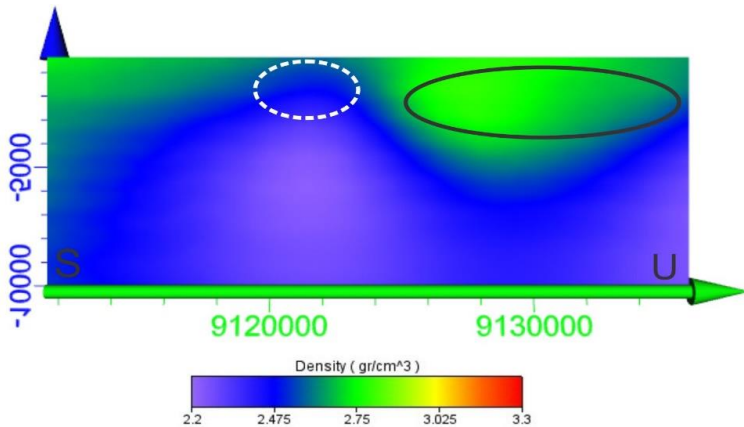
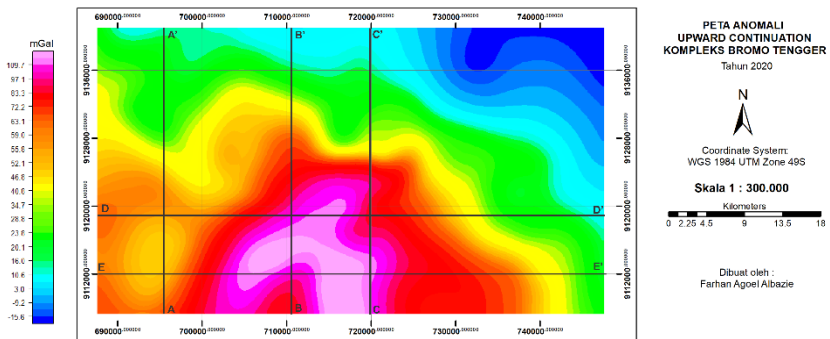
Keterangan :	Perangkat Lunak :	Dibuat oleh :
[a] Hasil Pengukuran	- Grablox 1.6	Farhan Agcel Albazie
[b] Hasil Perhitungan	- Bloxer 1.6e	0341164000002
[c] Perbedaan Nilai Kedua Model		
[d] Kurva Perbandingan		

Gambar 4.9 Hasil Optimasi Occam Height

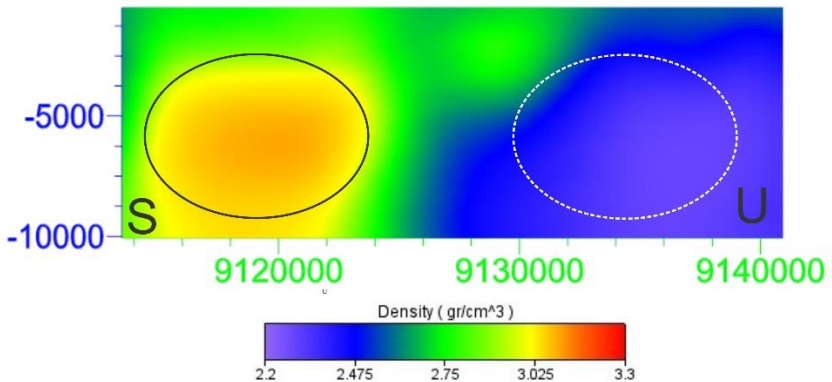
Dalam proses processing banyaknya jumlah blok minor dan jumlah iterasi yang ditentukan akan mempengaruhi ketelitian hasil model, data output dan lamanya waktu inversi. Semakin besar jumlah blok minornya, maka hasil pemodelan akan semakin bagus dan cukup detail, namun waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses pemodelan inversi atau Optimize akan lebih lama dibandingkan dengan jumlah blok yang lebih sedikit. Demikian juga halnya jika jumlah iterasinya semakin banyak. Dalam penelitian tugas akhir ini, jumlah blok yang dibuat sebanyak 4000 blok dan dibatasi sampai 10 iterasi. Hal ini dilakukan karena keterbatasan komputer penulis dalam proses pemodelan sehingga tidak mampu mengolah dalam waktu yang cukup lama.

4.5 Interpretasi Penampang 2D

Dalam tahap interpretasi ini, batuan yang memiliki densitas rendah diduga berumur tua dibanding densitas tinggi. Densitas rendah berkaitan dengan batuan yang telah mengalami pelapukan. Penampang model hasil sayatan lintasan A-A' hingga E-E' secara berturut-turut yang merupakan model 2D dengan densitas pada permukaan hingga kedalaman tertentu. Model tersebut ditampilkan dengan menggunakan perangkat lunak Voxler dengan setiap kontur warna memiliki nilai densitas masing-masing sehingga perbedaan setiap densitas dapat terlihat dengan lebih jelas. Ada beberapa hal pertimbangan yang dilakukan penulis sebelum menentukan arah orientasi sayatan penampang 2D. Beberapa hal tersebut antara lain sayatan harus mencakup target penelitian yakni kaldera Nongkojajar pada bagian barat sehingga didapatkan estimasi densitas batuan.

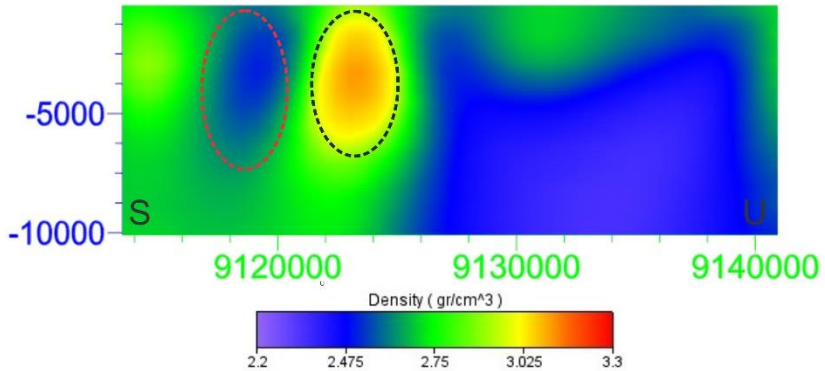


Penampang model 2D lintasan A-A' ditunjukkan oleh Gambar 4.11. Berdasarkan pada peta geologi sayatan penampang ini melintasi kaldera Nongkojajar yang terlihat pada citra satelit. Nilai densitas dari penampang tersebut berkisar $2,2 \text{ gram/cm}^3 - 2,8 \text{ gram/cm}^3$. Kaldera Nongkojajar (lingkaran putih) memiliki nilai densitas $2,2 \text{ gram/cm}^3 - 2,5 \text{ gram/cm}^3$. Diduga bahwa batuan pada kaldera nongkojajar memiliki umur paling tua. Sedangkan, untuk densitas yang memiliki nilai $2,8 \text{ gram/cm}^3$ pada lingkaran hitam diduga batuan yang memiliki umur yang lebih muda dari kaldera Nongkojajar. Pada daerah lingkaran hitam jika dioverlay dengan peta geologi mencakup daerah dengan litologi lava Ngembal, lava Tutur, lava Keciri.

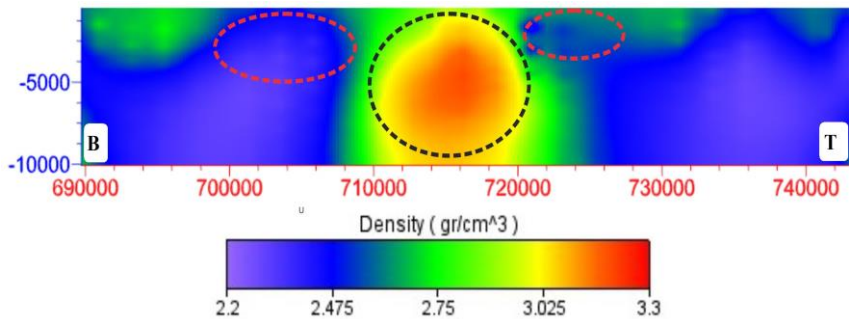


Gambar 4. 12 Penampang model 2D lintasan B-B'

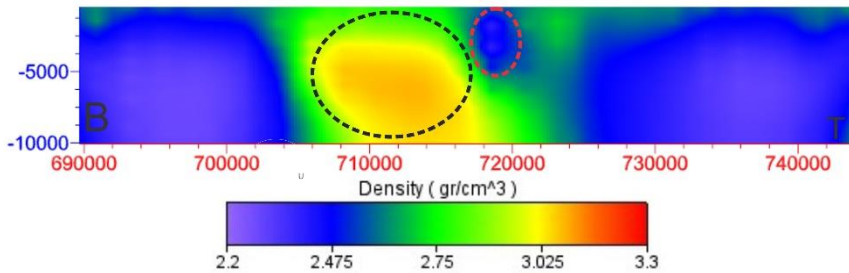
Penampang model 2D lintasan B-B' ditunjukkan pada Gambar 4.12. Berdasarkan pada peta geologi sayatan penampang ini melintasi kaldera lautan pasir, litologi jatuhan piroklastik wonokitri yang terlihat pada peta geologi. Nilai densitas dari penampang tersebut berkisar $2,2 \text{ gram/cm}^3 - 3,3 \text{ gram/cm}^3$. Lingkaran putih daerah yang mencakup daerah jatuhan piroklastik wonokitri dimana batuan ini memiliki umur yang lebih tua. Lingkaran hitam daerah yang mencakup kaldera lautan pasir pada peta geologi. Kondisi bawah permukaan kaldera lautan pasir memiliki densitas dengan nilai berkisar $3 \text{ gram/cm}^3 - 3,3 \text{ gram/cm}^3$ dan memiliki umur yang lebih muda. Kaldera lautan pasir ini dahulu merupakan bagian dari kaldera Nongkojajar tetapi pada saat ini kemenerusan Nongkojajar belum diketahui karena tertutup oleh kaldera lautan pasir ini



Penampang model 2D lintasan C-C' ditunjukkan pada Gambar 4.13. Berdasarkan pada peta geologi sayatan penampang ini melintasi daerah litologi jatuhnya piroklastik wonokitri, sapikerep, Lava Branggah, Ignimbrit Madakaripura. Nilai densitas dari penampang tersebut berkisar 2,4 gram/cm³ – 3,3 gram/cm³. Lingkaran merah berada pada selatan sapikerep. Daerah ini diduga merupakan kemenerusan dari kaldera Nongkojajar yang pada saat lampau tertutup kaldera lautan pasir. Batuan ini memiliki densitas yang sama dengan kaldera nongkojajar yakni 2,3 gram/cm³ – 2,5 gram/cm³. Batuan ini memiliki umur yang lebih tua dibanding dengan kaldera lautan pasir. Lingkaran hitam berada pada daerah sapikerep yang memiliki densitas 3 gram/cm³ – 3,3 gram/cm³ yang diduga merupakan batuan basalt yang memiliki umur yang paling muda.



Penampang model 2D lintasan D-D' ditunjukkan pada Gambar 4.14. Berdasarkan pada peta geologi sayatan penampang ini melintasi daerah litologi lava keci, Kaldera Nongkojajar, kaldera lautan pasir. Nilai densitas dari penampang tersebut berkisar $2,2 \text{ gram/cm}^3 - 3,2 \text{ gram/cm}^3$. Lingkaran merah kiri berada pada kaldera nongkojajar itu sendiri. Memiliki densitas berkisar $2,2 - 2,5 \text{ gram/cm}^3$. Lingkaran merah kanan merupakan daerah yang diduga kemenerusan dari kaldera Nongkojajar yang pada saat lampau tertutup oleh kaldera lautan pasir dan memiliki umur paling tua. Lingkaran hitam berada pada daerah Kaldera Lautan Pasir yang memiliki densitas $3 \text{ gram/cm}^3 - 3,3 \text{ gram/cm}^3$ yang diduga batuan yang memiliki umur yang paling muda.

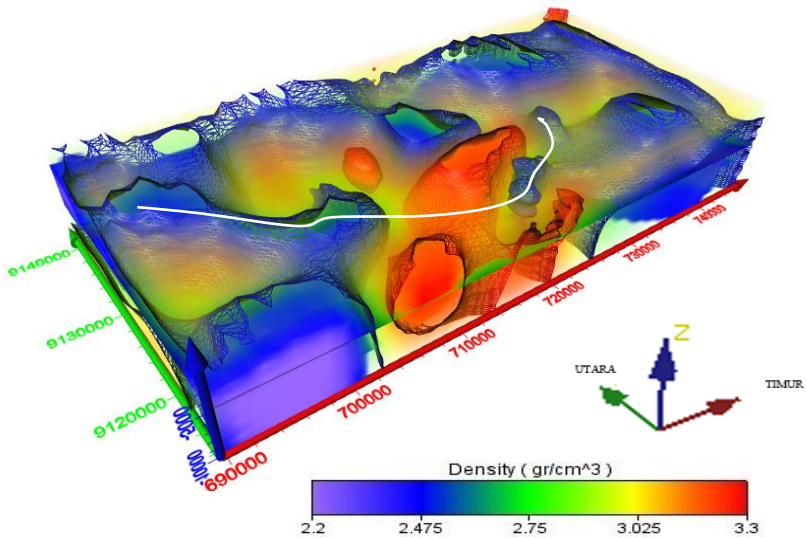


Penampang model 2D lintasan E-E' ditunjukkan pada Gambar 4.15. Berdasarkan pada peta geologi sayatan penampang ini melintasi litologi Quarter Vulkanik Jembangan. Nilai densitas dari penampang tersebut berkisar $2,2 \text{ gram/cm}^3 - 3 \text{ gram/cm}^3$. Lingkaran hitam daerah yang mencakup daerah Quarter Vulkanik Jembangan. Nilai densitas batuan 3 gram/cm^3 yang dimana batuan ini memiliki umur yang paling muda. Lingkaran merah merupakan daerah yang diduga kemenerusan kaldera Nongkojajar yang memiliki densitas batuan $2,2 - 2,4 \text{ gram/cm}^3$ dengan batuan andesit yang memiliki umur yang paling tua.

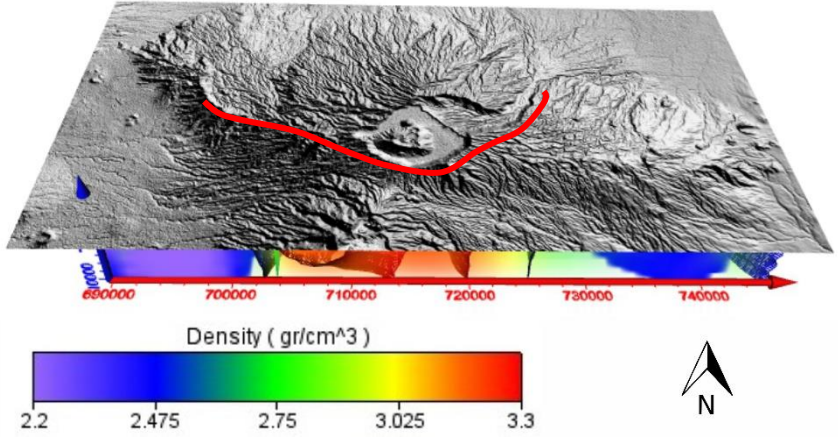
4.6 Interpretasi Model 3 Dimensi (3D)

Sejarah pembentukan kompleks Gunungapi Bromo-Tengger menyebutkan bahwa Kaldera Nongkojajar berumur paling tua pada daerah penelitian yang berarti kaldera ini telah melalui proses Eksogenik yang cukup lama. Proses eksogenik adalah proses terbentuknya permukaan bumi karena faktor dari luar seperti air, angin dan lainnya. Salah satu contoh dari proses eksogenik yaitu erosi dan pelapukan. Proses eksogenik menyebabkan batuan menjadi lapuk. Lapuknya batuan ini menyebabkan mengecilnya rapat massa batuan. Sehingga nilai densitas batuan yang berumur lebih tua dalam studi kasus ini yaitu Kaldera Nongkojajar akan relatif lebih kecil dibanding batuan yang berumur lebih muda.

Hasil pemodelan gaya berat juga ditampilkan secara 3D menggunakan perangkat lunak Voxler seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.16.



Gambar model tersebut menunjukkan bahwa Kaldera Nongkojajar berwarna biru yang berarti memiliki densitas berkisar 2,2 - 2,5 gram/cm^3 . Batuan ini memiliki umur yang paling tua Diduga memiliki kemenerusan sesuai dengan garis berwarna putih. Untuk daerah yang berwarna hijau memiliki nilai densitas berkisar 2,8 - 2,9 gram/cm^3 yang berumur lebih muda dari Nongkojajar. Sedangkan untuk daerah yang berwarna merah, memiliki nilai densitas berkisar 3 - 3,3 gram/cm^3 . Batuan dengan densitas berwarna merah memiliki umur paling muda pada daerah penelitian ini.



BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil pemodelan inversi 3D metode *Gravity* dapat menunjukkan adanya pola kemenerusan Nongkojajar sesuai dengan tren densitas yang mengarah ke arah timur laut
2. Kaldera Nongkojajar telah mengalami proses eksogenik yang cukup lama menyebabkan batuan pada kaldera mengalami pelapukan. Sehingga, nilai densitasnya relatif lebih kecil dibanding batuan yang masih berumur muda. Kaldera Nongkojajar memiliki nilai densitas berkisar 2,2 - 2,5 gram/cm³. Batuan kaldera Nongkojajar berumur paling tua. Kaldera lautan pasir yang diduga menutup kemenerusan Nongkojajar memiliki nilai densitas berkisar 3 – 3,3 gram/cm³ diinterpretasikan batuan ini memiliki umur yang paling muda pada daerah penelitian

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Menggunakan data *Gravity* satelit dan data topografi yang lebih detail resolusinya semisal data satelit GGM
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan metode geofisika yang lebih detail lainnya untuk mendukung metode *Gravity* ini

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R. J. (1996) *Potential Theory in Gravity and Magnetic*, Cambridge University Press.
- Constable, S. C. (1987) 'Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data', 52(3).
- Efendi, R. *et al.* (2013) 'The 3 rd International Conference on Sustainable Future for Human Security Gravity gradient technique to identify fracture zones in Palu Koro strike-slip fault', 17, pp. 248–255. doi: 10.1016/j.proenv.2013.02.035.
- Elkins, T. A. (1951) 'The second derivative method of gravity interpretation', *Geophysics*, 16(1), pp. 29–50. doi: 10.1190/1.1437648.
- Grandis, H. (2009) *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*.
- Herrera Cabezas, D. (2009) 'Miravalles Caldera and Shallow Structures Inferred From Gravity', *Short Course on Surface Exploration for Geothermal Resources*, pp. 1–7.
- Hinze, W. J., Von Frese, R. R. B. and Saad, A. H. (2010) *Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications*, *Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices, and Applications*. doi: 10.1017/CBO9780511843129.
- Hjelt (1992) *Pragmatic Inversion of Geophysical Data*.
- Indrarini, F. and Setiawan, A. (2015) 'Pemodelan Struktur Bawah Permukaan 3D Purwokerto dan Sekitarnya Berdasarkan Data Anomali Gravitasi Bouguer Lengkap', 19(57), pp. 6–12.
- Menke, W. (2012) *Describing Inverse Problems, Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*. doi: 10.1016/b978-0-12-397160-9.00001-1.
- Mulyadi (1992) *The Sand Sea and Other Calderas Formation in Bromo-Tengger Complex, East Java. Indonesia. IAGI*
- Parapat, J. *et al.* (2017) 'Pemodelan 3D Data Gaya Berat Untuk Mengidentifikasi Sumber Panas Daerah Panas Bumi Sipoholon, Sumatera Utara', *Jurnal Geosaintek*, 3(3), p. 167. doi: 10.12962/j25023659.v3i3.3215.
- Rymer, H. and Brown, G. C. (1986) 'Gravity fields and the interpretation of volcanic structures: Geological discrimination and temporal evolution', *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 27(3–4), pp. 229–254. doi: 10.1016/0377-0273(86)90015-6.

- Sari, I. P. (2012) *Studi Komparasi Metode Filtering UNTUK PEMISAHAN ANOMALI REGIONAL DAN RESIDUAL DARI DATA ANOMALI BOUGUER*.
- Setianingsih *et al.* (2013) ‘Gravity Gradient Technique to Identify Fracture Zones in Palu Koro Strike-slip Fault’, *Procedia Environmental Sciences*. Elsevier B.V., 17, pp. 248–255. doi: 10.1016/j.proenv.2013.02.035.
- Sumintadireja, P., Dahrin, D. and Grandis, H. (2018) ‘A note on the use of the second vertical derivative (SVD) of gravity data with reference to Indonesian cases’, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 50(1), pp. 127–139. doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.1.9.
- Supriyanto (2007) ‘Analisis Data Geofisika : Memahami Teori Inversi’.
- Telford (1990) *Applied geophysics (second edition)*, Cambridge University Press. doi: 10.1016/0031-9201(91)90163-C.
- Zaenuddin (1990) ‘The Stratigraphy an nature of the statocone of Mt. Cemoro lawang in the Bromo-Tengger caldera, East-Java, Indonesia’.

BIOGRAFI PENULIS



Farhan Agoel Albazie lahir di Banyuwangi, 18 Februari 1999. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai di SD Al-Ikhlas, SMP Negeri 1 Lumajang (2011-2013), SMA Negeri 3 Lumajang (2013-2016), dan pada tahun 2016 penulis resmi menjadi mahasiswa Teknik Geofisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS penulis mempunyai beberapa pengalaman yang telah didapatkan. Staff Media Informasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG) 2017-2018. Penulis juga turut menjadi bagian dari event yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG) yaitu Geoscience Atmosphere sebagai Koordinator Dokumentasi (2019-2020). Penulis juga mengambil peran sebagai Ketua Divisi Media dan Jaringan dalam kepengurusan AI – Ardh Teknik Geofisika ITS (2018-2019).

Pengalaman pelatihan yang penulis dapatkan yaitu LKMM tingkat Pra-Dasar yang diselenggarakan oleh BEM FTSP ITS pada tahun 2016, Basic Media Schooling yang diselenggarakan oleh HMTG ITS pada tahun 2018, Petrophysics Training yang diselenggarakan oleh HMTG ITS pada tahun 2019.

Apabila ingin berdiskusi lebih lanjut terkait Tugas Akhir dapat menghubungi penulis melalui alamat e-mail farhanagoel99@gmail.com Sekian dan terimakasih