

SKRIPSI

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA ZONA DAERAH PATAHAN CIMANDIRI BERDASARKAN METODE GRAVITASI MELALUI ANALISA DERIVATIF DAN *FORWARD MODELLING 2.5D* DI DAERAH JAWA BARAT

IDENTIFICATION OF SUBSURFACE STRUCTURE IN THE CIMANDIRI FAULT ZONE BASED ON GRAVITY METHOD THROUGH DERIVATIVE ANALYSIS AND FORWARD MODELLING 2.5D IN WEST JAVA REGION

Diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan sarjana Strata S-1, Jurusan
Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral,
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta



Oleh :

JOCHIE PHU ELKANA ASIA SIHITE

NIM. 115.200.001

**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2024**

HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA
ZONA DAERAH PATAHAN CIMANDIRI BERDASARKAN
METODE GRAVITASI MELALUI ANALISA DERIVATIF
DAN *FORWARD MODELLING* 2.5D DI DAERAH JAWA
BARAT**

Telah dipersiapkan dan disusun oleh :

JOCHIE PHU ELKANA ASIA SHITE
115.200.001

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji:
Pada tanggal, 18 Juli 2024

Ketua Sidang



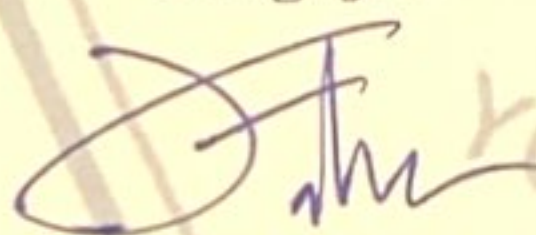
Dr. Ardian Novianto, S.T., M.T.
NIP. 19781018 202121 1 002

Pembimbing I



Rial Dwi Martasari, S.T, M.Si
NIP. 19900325 202203 2 006

Penguji I



Muhamad Firdaus Al Hakim, S.T., M.T
NIP. 19930211 202203 1 006

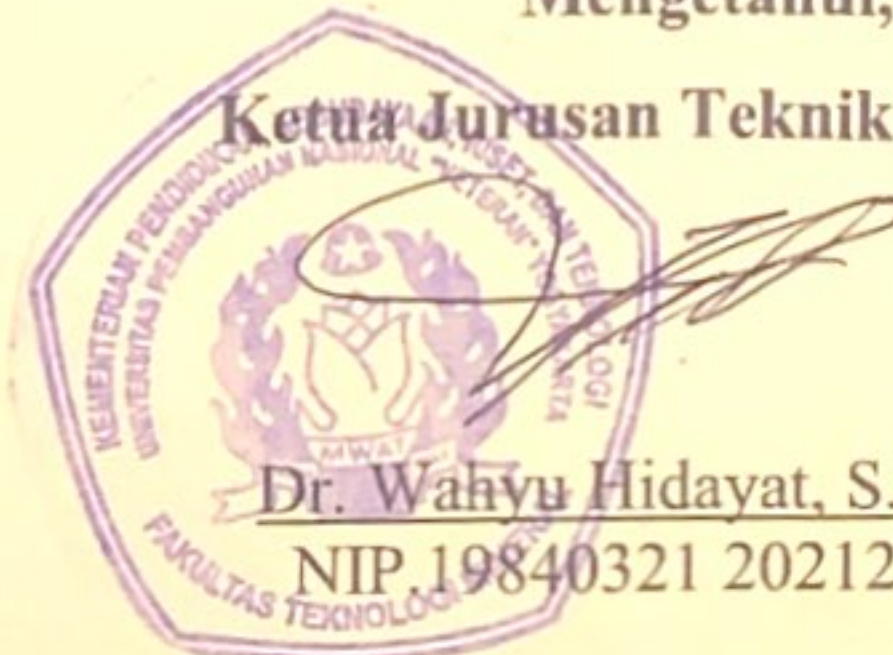
Penguji II



Wiji Raharjo, S.Si., M.Sc
NIP. 19870206 201903 1 012

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Geofisika



Dr. Wahyu Hidayat, S.Si.,M.Sc
NIP.19840321 202121 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya menyatakan bahwa judul dan keseluruhan isi dari skripsi ini adalah asli karya ilmiah saya, dengan ini saya menyatakan bahwa dalam rangka menyusun dengan dosen pembimbing hingga menyelesaikan skripsi ini, tidak ada hal yang melakukan penjiplakan (plagiarisme) terhadap karya dari orang lain baik karya lisan maupun tulisan baik secara sengaja ataupun tidak sengaja.

Saya menyatakan bahwa apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini mengandung unsur penjiplakan dari karya atau pihak lain, maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab dan menjadi resiko saya, diluar tanggung jawab Dosen Pembimbing. Oleh karena itu saya bertanggung jawab secara hukum dan dibatalkan/dicabut gelar kesarjanaan saya dari otoritas/Rektor Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta dan diumumkan kepada khalayak umum.

Yogyakarta, 18 Juli 2024

Yang menyatakan,



Jochie Phu Elkana Asia Sihite

Nama : Jochie Phu Elkana Asia Sihite
Nomor HP/Telepon : +6285836064681
Alamat Email : jochiephu23@gmail.com
Nama dan Alamat Orang Tua : Serep Sihite, Jalan Banurea, Kec. Salak, Kab. Pakpak Bharat, Sumatera Utara

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur sang penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “**Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Pada Zona Daerah Patahan Cimandiri Berdasarkan Metode Gravitasi Melalui Analisa Derivatif Dan *Forward Modelling* 2.5D Di Daerah Jawa Barat**” ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) di jurusan Teknik Geofisika. Tugas Akhir ini penulis susun dengan sebaik mungkin dan tepat pada waktunya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, karena didalamnya masih terdapat kekurangan kekurangan. Hal ini dikarenakan keterbatasan yang dimiliki oleh penulis baik dalam segi kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun agar dalam penyusunan karya tulis selanjutnya dapat menjadi lebih baik.

Dalam menjalankan proses penulisan Tugas Akhir ini banyak sekali kendala, namun berkat bantuan dan dukungan serta kerja sama dari berbagai pihak sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Dalam penulisan tugas akhir ini, tidak lupa penulis menyampaikan terimakasih kepada seluruh pihak yang membantu selama proses penyusunan tugas akhir ini hingga selesai, yaitu:

1. Tuhan Yesus dengan segala berkat dan karunia serta rahmat-Nya saya dapat tetap semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini
2. Bapak dan Mamak yang amat saya cintai dan sayangi dimana telah memberikan doa, nasihat, dan dukungan yang begitu luar biasa baik secara material dan non material hingga tugas akhir ini dapat selesai
3. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Geofisika yang telah memberikan saya ilmu dan pelajaran yang sangat bermanfaat selama perkuliahan
4. Dosen pembimbing saya, Ibu Rial Dwi Martasari, S.T, M.Si yang telah membimbing dan memberikan dukungan dalam pengerjaan tugas akhir saya
5. Kepada Pusat Survei Geologi yang telah memberikan saya kesempatan dan fasilitas data untuk melakukan penelitian tugas akhir saya

6. Bapak Noor Muhammad Indragiri, S.T., M.T, Ibu Hesty, dan Bapak Ervan yang telah memberikan saya bimbingan dan arahan serta ilmu yang bermanfaat selama proses pengerjaan penelitian tugas akhir di Pusat Survei Geologi
7. Teman teman CONTINENTAL yang telah menjadi keluarga kedua saya selama di Yogyakarta dan Jurusan Teknik Geofisika terutama kepada Saudara Boy Utama Bukit yang telah memberikan banyak ilmu dan diskusi selama masa perkuliahan hingga akhir tahapan persiapan tugas akhir saya
8. GRAVITY SQUAD yang selalu menjadi tempat berdiskusi terkait gravitasi dan saling membantu satu sama lain
9. Silih saya Andromeda Banurea yang telah menjadi teman, saudara sekaligus tempat curhat, teman bertengkar selama di Yogyakarta dan sudah memberikan saya semangat dan dukungan selama pengerjaan tugas akhir saya
10. Sahabat-sahabat saya yang saya cintai ; CeCo (Natasia, Lita, Daniel, Elai, Intan, Adisty), Rahmawati, Raras, Ferina, Andrian, Kak Marta, dan IMPY yang memberikan saya wadah untuk bisa bercerita dan mengekspresikan diri saya

Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan balasan dan rezeki yang melimpah kepada semuanya yang telah membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi para pembaca.

Yogyakarta, 3 Juli 2024

Jochie Phu Elkana Asia Sihite

ABSTRAK

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA ZONA DAERAH PATAHAN CIMANDIRI BERDASARKAN METODE GRAVITASI MELALUI ANALISA DERIVATIF DAN *FORWARD MODELLING* 2.5D DI DAERAH JAWA BARAT

Oleh :

Jochie Phu Elkana Asia Sihite

115.200.001

Wilayah Jawa Barat merupakan daerah yang memiliki tingkat seismisitas yang tinggi dimana terdapat enam struktur patahan regional salah satunya patahan Cimandiri. Penelitian ini menggunakan data gravitasi yang bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan dari segmen zona patahan Cimandiri. Daerah penelitian memiliki luas 115 km x 75 km dengan jumlah titik sebanyak 382 titik data gravitasi. Metode analisis yang digunakan yaitu analisa spektrum, Pemisahan anomali regional dan residual dengan *bandpass filter*. Serta penelitian diperkuat dengan analisa derivatif seperti *Tilt Derivative* dan *Total Horizontal Derivative* untuk mempertegas batas anomali yang diduga sebagai patahan. Kemudian dilakukan sayatan pada anomali residual dan dibuat model 2,5 Dimensi (*forward modelling*) untuk mengetahui kondisi bawah permukaan. Perolehan nilai anomali Bouguer lengkap dan anomali regional dapat ditunjukkan bahwa respon dari nilai percepatan gravitasi yang rendah karena merendahnya mantel atas, sehingga batuan sedimen di daerah tersebut semakin menebal dan anomali tinggi diduga karena keberadaan batuan ultrabasa serta meningginya suatu mantel atas yang diakibatkan oleh penipisan fragmen dari kerak benua yang terdapat pada sekitar Ciletuh. Pada peta anomali lokal, *Total Horizontal Derivative*, *Tilt Derivative* terdapat dugaan struktur patahan berjumlah 19 patahan yang 6 diantaranya diduga sebagai segmen dari zona patahan Cimandiri. Serta pemodelan 2,5 dimensi bawah permukaan sayatan A-A' dan B-B' memiliki komposisi bawah permukaan yang mengisi daerah penelitian seperti Batuan Dasar (*basement*), Formasi Rajamandala, Formasi Jampang, Formasi Citarum, Formasi Cimandiri, Formasi Bojonglopang, Formasi Nyalindung, Formasi Bentang, Formasi Cantayan, Formasi Besar dan endapan produk gunungapi serta alluvium dan didapatkan beberapa segmen patahan pada zona patahan cimandiri dan ditemui juga struktur berupa lipatan antiklin dan sinklin.

Kata Kunci : Analisa Derivatif, *Forward Modelling*, Metode Gravitasi, Struktur, Zona Patahan Cimandiri (CFZ)

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF SUBSURFACE STRUCTURE IN THE CIMANDIRI FAULT ZONE BASED ON GRAVITY METHOD THROUGH DERIVATIVE ANALYSIS AND FORWARD MODELLING 2.5D IN WEST JAVA REGION

By :
Jochie Phu Elkana Asia Sihite
115.200.001

The West Java has a high level of seismicity with six regional fault structures, one of which is the Cimandiri fault. This research uses gravity data to identify the subsurface structure of the Cimandiri fault zone segment. The research area is 115 km x 75 km with 382 gravity data points. The analysis method used is spectrum analysis, separation of regional and residual anomalies with bandpass filters. The research is strengthened by derivative analysis such as Tilt Derivative and Total Horizontal Derivative to emphasize the boundaries of the anomaly suspected of being a fault. Then an incision is made on the residual anomaly and a 2.5-dimensional model (forward modeling) is made to determine the subsurface conditions. The acquisition of the complete Bouguer anomaly value and regional anomaly can be shown that the response of the low gravity acceleration value is due to the low upper mantle, so the sedimentary rocks in the area are getting thicker and the high anomaly is thought to be due to the presence of ultrabasic rocks and the high upper mantle caused by the thinning of fragments of the continental crust around Ciletuh. On the map of local anomalies, Total Horizontal Derivative, and Tilt Derivative there are suspected fault structures totaling 19 faults, 6 of which are thought to be segments of the Cimandiri fault zone. As well as subsurface 2.5-dimensional modeling of incisions A-A' and B-B' has a subsurface composition that fills the research area such as basement rocks, Rajamandala Formation, Jampang Formation, Citarum Formation, Cimandiri Formation, Bojonglopang Formation, Nyalindung Formation, Bentang Formation, Cantayan Formation, Beser Formation and volcanic product deposits and alluvium and obtained several fault segments in the Cimandiri fault zone and also found structures in the form of anticline and syncline folds.

Keywords : Derivative Analysis , Forward Modelling, Gravity Method, Structure, Cimandiri Fault Zone (CFZ)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Lokasi Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Fisiografi Regional	5
2.2. Struktur Geologi Regional Daerah Penelitian	7
2.3. Stratigrafi Regional Daerah Penelitian.....	8
2.4. Penelitian Terdahulu	13
2.4.1. Interpretasi Kuantitatif Struktur Sesar Cimandiri Dengan Metode Gravitasi	13
2.4.2. <i>Imaging The Geometry of Cimandiri Fault Zone Based on 2D Audio-Magnetotelluric (AMT) Model in Nyalindung, Sukabumi–Indonesia</i>	16
BAB III. DASAR TEORI	20
3.1. Metode Gravitasi	20
3.2. Medan Gravitasi dan Potensial Gravitasi	21
3.3. Permukaan <i>Geoid</i>	24
3.4. Koreksi Metode Gravitasi	25
3.4.1. Koreksi Pasang Surut (<i>Tidal Correction</i>).....	25

3.4.2. Koreksi Apungan (<i>Drift Correction</i>).....	26
3.4.3. Koreksi Lintang (<i>Latitude Correction</i>).....	27
3.4.4. Koreksi Udara Bebas (<i>Free Air Correction</i>)	29
3.4.5. Koreksi <i>Bouguer</i>	30
3.4.6. Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>).....	31
3.5. Anomali <i>Bouguer</i>	32
3.6. Analisis Spektrum	33
3.7. Pemisahan Anomali.....	34
3.8. <i>Total Horizontal Derivative</i>	35
3.9. <i>Tilt Derivative</i> (TDR).....	37
3.10. Pemodelan Geofisika.....	38
3.10.1. <i>Forward Modelling</i>	39
3.10.2. <i>Inverse Modelling</i>	41
3.11. Struktur Patahan	41
3.12. Densitas Batuan.....	43
BAB IV. METODE PENELITIAN	46
4.1. Lokasi Daerah Penelitian.....	46
4.2. Sistematika Penelitian	46
4.3. Ketersediaan data	48
4.4. Sistematika Pengolahan Data	49
4.5. <i>Software</i>	52
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	54
5.1. Anomali <i>Bouguer</i> Lengkap	54
5.2. Analisa Kedalaman.....	56
5.3. Pemisahan Anomali.....	57
5.3.1. Anomali Gravitasi Regional	59
5.3.2. Anomali Gravitasi Residual.....	60
5.4. <i>Total Horizontal Derivative</i>	63
5.4.1. Grafik Analisa Anomali Lokal dan <i>Total Horizontal Derivative</i> Sayatan A-A' dan Sayatan B-B'	65
5.5. <i>Tilt Derivative</i>	67

5.5.1. Grafik Analisa Anomali Lokal dan <i>Tilt Derivative</i> Sayatan A-A' dan Sayatan B-B'	69
5.6. Perbandingan Analisa Grafik Lokal vs TDR vs THD.....	72
5.7. Pemodelan 2.5 Dimensi Bawah Permukaan.....	73
5.7.1. Pemodelan 2.5 Dimensi Bawah Permukaan Sayatan A-A'	73
5.7.2. Pemodelan 2.5 Dimensi Bawah Permukaan Sayatan B-B'	77
BAB VI. PENUTUP	81
6.1. Kesimpulan.....	81
6.2. Saran.....	81

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta Geologi Daerah Penelitian

Lampiran 2. Peta Lembar Geologi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Fisiografi Daerah Penelitian Jawa Barat (Van Bemmelen, 1949)...	5
Gambar 2. 2 Peta Pola Struktur Jawa Barat (dimodifikasi dari Martodjojo, 1984)	7
Gambar 2. 3. Penampang stratigrafi daerah Jawa Barat (Martodjojo, 2003) daerah penelitian berada pada sebelah barat (Kotak merah) pada penampang stratigrafi..	9
Gambar 2. 4. Geologi Regional daerah penelitian (dimodifikasi dari Sudjatmiko, 1972; Sukamto, 1975; Effendi and Kusnama, 1998; Koesmono and Kusnama, 1996)	10
Gambar 2. 5. Titik Pengukuran gravitasi daerah penelitian (Setyonegoro dkk., 2012)	13
Gambar 2. 6. Peta Anomali Bouguer (Setyonegoro dkk., 2012).....	14
Gambar 2. 7. Anomali <i>gradient vertical</i> sesar Cimandiri (Setyonegoro dkk., 2012)	15
Gambar 2. 8. Peta <i>Second vertical Derivative</i> 3D (Setyonegoro dkk., 2012).....	15
Gambar 2. 9. Inversi 3D anomali residual dari nilai densitas pada topografi untuk model 3D (Setyonegoro dkk., 2012).....	15
Gambar 2. 10. Desain survei penelitian berdasarkan peta geologi regional dengan umur geologi. segitiga merah merupakan titik stasiun pengukuran AMT yang memotong Sungai Cimandiri dan Segmen Nyalindung (Arisbaya dkk., 2019)....	16
Gambar 2. 11. Zona patahan Cimandiri sebagai sesar aktif ditandai dengan garis hitam tebal dan terbagi menjadi enam segmen. Dan kotak ungu putus-putus menunjukkan daerah penelitian untuk pengukuran metode <i>Audio-Magnetotelluric</i> (AMT) (Arisbaya dkk., 2019)	17
Gambar 2. 12. Penampang Model <i>2D inversion</i> AMT yang menginterpretasikan bawah permukaan dari segmen Nyalindung (Arisbaya dkk., 2019)	18
Gambar 3. 1. Gaya Gravitasi antara dua partikel (Blakely, 1995)	20
Gambar 3. 2. Tarikan gravitasi di titik P akibat distribusi massa jenis ρ (Blakely, 1995)	23
Gambar 3. 3. Perbedaan spheroid referensi dan geoid (di modifikasi dari Telford dkk., 1990)	25

Gambar 3. 4. Contoh data pembacaan gravitasi yang Dipengaruhi oleh pasang surut air laut Montreal, April 1969 (Telford dkk., 1990).....	26
Gambar 3. 5. Koreksi Apungan (Reynolds, 1997)	27
Gambar 3. 6. Parameter yang menggambarkan perkiraan bentuk bumi (Blakely, 1995)	28
Gambar 3. 7. Koreksi <i>Free Air Correction</i> (Reynolds, 1997).....	29
Gambar 3. 8. Koreksi <i>Bouguer</i> (dimodifikasi dari Telford dkk, 1990).....	31
Gambar 3. 9. (a) Stasiun yang berada dekat dengan gunung, (b) stasiun yang berada dekat dengan lembah (Reynolds, 1997)	32
Gambar 3. 10. Pola hasil dari transformasi dalam domain spasial yang digunakan dalam mengestimasi kedalaman (Sarkowi, 2011).....	33
Gambar 3. 11. Prinsip Kerja <i>Bandpass Filter</i> (Oasis Montaj, 2020)	34
Gambar 3. 12. Respon filter <i>Total Horizontal Derivative</i> pada anomali bawah permukaan a) model bawah permukaan; b) respon anomali Bouger; c) respon nilai THD (Narayan dkk., 2017)	36
Gambar 3. 13. Respon filter <i>Tilt Derivative</i> pada anomali bawah permukaan (Arisoy & Dikmen, 2013)	37
Gambar 3. 14. THD dan TDR dalam bidang 3 dimensi (Arisoy & Dikmen, 2013)	38
Gambar 3. 15. Ilustrasi hubungan antara model, parameter model, dan respon model dalam pemodelan anomali gravitasi (Grandis, 2009)	39
Gambar 3. 16. Efek gaya berat (gravitasi) poligon menurut Talwani (Talwani dkk., 1959)	40
Gambar 3. 17. <i>Strike-Slip fault</i> yang relatif bergerak berarah horizontal mengikuti arah patahan (Noor, 2009).....	42
Gambar 3. 18. <i>Thrust fault</i> yang bidang patahannya mempunyai kemiringan kurang dari 15° (Noor, 2009)	43
Gambar 3. 19. Blok Patahan Normal (<i>Normal Fault block</i>) (Noor, 2009)	43
Gambar 4.1. Lokasi Daerah Penelitian di Jawa Barat	46
Gambar 4. 2. Sistematika Penelitian.....	47
Gambar 4. 3. Diagram alir pengolahan data.....	49

Gambar 4. 4. Hasil <i>Radially Average Power Spectrum</i> melalui <i>Software Oasis Montaj</i>	50
Gambar 4. 5. Tampilan <i>Bandpass Filtering</i> menggunakan <i>Oasis montaj</i>	51
Gambar 5. 1. Sebaran percepatan gravitasi pada anomali Bouguer lengkap	54
Gambar 5. 2. Analisa Kedalaman menggunakan <i>Radially Averaged Power Spectrum</i>	56
Gambar 5. 3. Proses pemisahan anomali regional menggunakan bandpass filter di <i>software oasis montaj</i>	58
Gambar 5. 4. Proses pemisahan anomali residual menggunakan bandpass filter di <i>software oasis montaj</i>	58
Gambar 5. 5. Sebaran nilai percepatan gravitasi pada anomali regional daerah penelitian.....	59
Gambar 5. 6. Persebaran percepatan gravitasi pada anomali residual.....	61
Gambar 5. 7. Interpretasi Sesar pada peta anomali residual.....	62
Gambar 5. 8. Sebaran anomali pada peta <i>Total Horizontal Derivative</i>	64
Gambar 5. 9. Interpretasi Sesar pada peta <i>Total Horizontal Derivative</i>	65
Gambar 5. 10. Perbandingan grafik anomali lokal Vs THD pada sayatan A-A'.	66
Gambar 5. 11. Perbandingan grafik Anomali lokal Vs THD pada sayatan B-B'	66
Gambar 5. 12. Sebaran anomali <i>Tilt Derivative</i> daerah penelitian.....	68
Gambar 5. 13. Interpretasi Patahan pada peta <i>Tilt Derivative</i>	69
Gambar 5. 14. Perbandingan grafik anomali lokal Vs TDR pada sayatan A-A'.	70
Gambar 5. 15. Perbandingan grafik Anomali residual Vs TDR pada sayatan B-B'	70
Gambar 5. 16. Kompilasi pendugaan sesar pada daerah penelitian	71
Gambar 5. 17. Grafik Perbandingan nilai ABL vs THD vs TDR pada sayatan A-A' dan B-B'.....	72
Gambar 5. 18. Pemodelan 2.5 Dimensi Sayatan A-A' yang menunjukkan keadaan bawah permukaan daerah penelitian, a) grafik TDR dan THD; b) pemodelan bawah permukaan; c) sayatan pada peta geologi dan anomali lokal.....	74
Gambar 5. 19. Pemodelan 2.5 dimensi sayatan B-B' yang menunjukkan keadaan bawah permukaan daerah penelitian a) grafik TDR dan THD; b) pemodelan bawah permukaan; c) sayatan pada peta geologi dan anomali lokal.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian terdahulu dan penelitian yang dilakukan (<i>highlight</i> biru) .	19
Tabel 3. 1. Nilai rapat massa beberapa batuan (Telford dkk., 1990)	44
Tabel 4. 1. Ketersediaan data dalam penelitian	48
Tabel 5. 1. Hasil analisis estimasi kedalaman daerah penelitian.....	57
Tabel 5. 2. Nilai densitas formasi batuan daerah penelitian Sayatan A-A'	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Wilayah Jawa Barat memiliki tingkat kerawanan seismisitas yang sangat tinggi, akibat wilayah tersebut salah satu zona tumbukan antar lempeng sehingga mengakibatkan struktur geologi yang relatif sangat kompleks dimana yang berkembang seperti struktur lipatan dan sesar (Haryanto dkk., 2017). Dalam penelitian sebelumnya pada wilayah Jawa barat dijumpai enam struktur sesar utama (regional) yakni, Sesar Cipeles, sesar Baribis, Sesar Lembang, Sesar Pelabuhanratu dan sesar Citanduy serta Sesar Cimandiri yang menjadi fokus penelitian ini (Van Bemmelen, 1949; Martodjojo, 2003; Haryanto, 2015). Sesar Cimandiri salah satu Sesar regional di Jawa barat yang berarah orientasi relatif Timur Laut-Barat Daya. Sesar ini terbentang dari Pelabuhan Ratu, Cianjur, sampai Padalarang, Bandung Barat dengan panjang mencapai 100 km (Abidin dkk., 2009; Dardji dkk., 1994; Susilohadi dkk., 2009) yang terbentuk akibat aktivitas subduksi lempeng Indo-Australia di bawah lempeng sunda. Sesar Cimandiri tersebut tersegmentasi menjadi 6 segmen utama yaitu yaitu Segmen Loji, Cidadap, Nyalindung, Cibeber, Saguling, dan Padalarang (Marliyani dkk., 2016). Sehingga penelitian mengenai identifikasi struktur bawah permukaan pada daerah tersebut sangat dipentingkan untuk mengetahui keberadaan dari segmen zona patahan Cimandiri.

Patahan salah satu zona hancuran atau struktur rekahan yang telah mengalami suatu pergeseran yang signifikan yang artinya ketika suatu batuan mengalami keretakan batuan akibat tekanan dan kekuatan batuan memperoleh suatu gaya sehingga timbul suatu retakan (*fracture*) (Noor, 2009). Dalam hal ini Zona Sesar Cimandiri belum banyak diketahui informasi lebih rinci, sehingga pada penelitian ini diperlukan metode yang sesuai untuk menganalisis struktur bawah permukaan pada zona patahan Cimandiri dengan menggunakan metode geofisika pasif yang berdasarkan parameter fisis tertentu dalam mencitrakan atau menggambarkan geometri struktur bawah permukaan (*subsurface*).

Maka dari itu dilakukan suatu studi penelitian dengan menggunakan analisis geofisika pasif dalam pemanfaatan suatu keberadaan patahan sehingga patahan

tersebut dapat diidentifikasi lebih lanjut secara optimal dengan analisis data yang lebih mendalam. Analisis metode geofisika pasif yang digunakan adalah metode gravitasi yang dapat diolah untuk memodelkan struktur bawah permukaan dengan baik. Metode gravitasi ini salah satu metode geofisika pasif yang sering digunakan dalam penelitian keberadaan sesar atau patahan dimana metode ini baik digunakan dalam penentuan posisi dan geometri bawah permukaan dari suatu keberadaan Patahan (Telford dkk., 1990). Kelebihan yang dimiliki oleh metode gravitasi ini yaitu mampu mendeteksi keberadaan struktur geologi di bawah permukaan meskipun tidak terindikasi adanya suatu struktur geologi di permukaan. Keberadaan suatu patahan tidak akan lepas dari pengaruh variasi nilai densitas batuan terlepas dari ada atau tidaknya suatu kenampakan patahan di permukaan. Patahan ini dapat diindikasikan dengan adanya kemenerusan suatu nilai anomali percepatan gravitasi (mGal). Sehingga dapat dimaksudkan dalam penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan pada zona patahan Cimandiri dari patahan tersebut.

Pada penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan beberapa peta berupa peta Anomali Bouger Lengkap (ABL), anomali regional dan anomali residual untuk mengetahui sebaran nilai percepatan gravitasi akibat kontras densitas yang ada dibawah permukaan dan peta penajaman anomali berupa peta *total horizontal derivative* dan peta *tilt derivative* untuk memperkuat dugaan suatu keberadaan patahan di daerah penelitian, serta pemodelan 2.5 Dimensi untuk memodelkan kondisi geometri bawah permukaan dari zona target penelitian.

1.2. Rumusan Masalah

Dari hasil pengolahan data gravitasi di daerah Jawa Barat, penelitian ini memiliki tujuan dalam analisis struktur segmen patahan Cimandiri pada daerah penelitian, sehingga pada penelitian ini dirangkum beberapa rumusan masalah yang akan dibahas yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana sebaran nilai anomali percepatan gravitasi pada daerah penelitian ?
2. Bagaimana respon dari segmen-segmen pada zona patahan Cimandiri dengan menggunakan analisa *derivative* ?

3. Bagaimana kondisi geometri bawah permukaan pada zona patahan Cimandiri yang dimodelkan dalam bentuk 2.5D ?

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Dalam pelaksanaan Tugas akhir ini memiliki maksud agar peneliti dapat memahami metode eksplorasi gravitasi dalam identifikasi struktur patahan melalui *forward modelling* pada daerah penelitian.

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan analisis sebaran nilai percepatan gravitasi dalam analisis struktur segmen patahan Cimandiri pada daerah penelitian
2. Mengidentifikasi struktur bawah permukaan pada zona patahan Cimandiri melalui analisa *derivative (Tilt Derivative, Total Horizontal Derivative)*
3. Menggambarkan model bawah permukaan daerah target penelitian berdasarkan *forward modelling 2.5D* data gravitasi.

1.4. Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan merupakan data gravitasi yang bersifat sekunder yang diperoleh dari Pusat Survei Geologi berupa data *longitude, latitude*, dan nilai Anomali Bouger Lengkap yang wilayah penelitian berada pada daerah Jawa Barat
2. Analisis yang digunakan dalam penelitian adalah pemisahan anomali regional-residual dengan menggunakan *filter bandpass*, analisa *derivative (Total Horizontal Derivative & Tilt Derivative)* dan *forward modelling 2.5D*
3. Serta target penelitian yang dihasilkan dari penelitian ini adalah pemodelan 2.5D pada daerah penelitian di Jawa Barat.

1.5. Lokasi Penelitian

Secara geografis, lokasi penelitian terletak di daerah Jawa Barat dan sekitarnya yang dimana terdapat 4 kabupaten yang menjadi daerah penelitian diantaranya Sukabumi, Cianjur, Bogor, dan Padalarang. Daerah penelitian memiliki luas 115

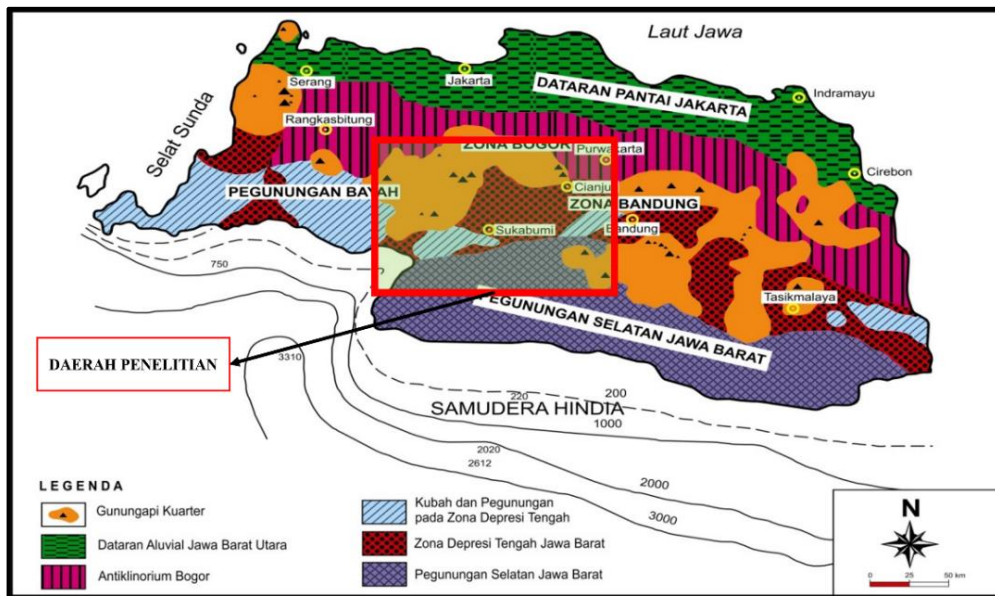
km x 75 km. waktu penelitian berlangsung selama 2 bulan yang dimulai dari bulan Januari 2024 sampai Maret 2024 di Pusat Survei Geologi Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (KESDM).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fisiografi Regional

Gambar 2.1 merupakan pembagian fisiografi daerah penelitian di Jawa Barat yang menurut Van Bemmelen (1949), bahwa secara fisiografis dan struktural daerah Jawa Barat dapat dibagi menjadi 4 zona, yaitu sebagai berikut.



Gambar 2. 1. Fisiografi Daerah Penelitian Jawa Barat (Van Bemmelen, 1949)

- Zona Dataran Pantai Utara Jakarta (*Alluvial Plains of Northern Java*), Zona ini memiliki suatu morfologi yang datar, dan ditutupi oleh endapan sungai, dan sebagian lagi oleh lahar endapan gunung api muda dan zona dataran pantai ini memanjang dari ujung barat Pulau Jawa Hingga kota Cirebon dengan lebar zona sekitar 40 Km.
- Zona Bogor (*Bogor Antiklinorium*), zona Bogor memiliki kenampakan berupa perbukitan rendah dengan struktur utama antiklin yang terlipat kuat berarah sumbu barat-Timur. Dimana zona Bogor membentang dari Rangkasbitung, Bogor, Purwakarta, Subang, dan Sumedang, hingga ke Bumiayu di bagian Timur Zona Bogor, dengan lebar zona diperkirakan maksimal 40 km. Di bagian Timur zona Bogor terlihat sedikit melengkung dan lebih cembung di suatu batas zona bagian Utara. Bagian inti dari zona Bogor ini adalah terdapat lapisan-lapisan batuan sedimen yang berumur

miosen, sedangkan kedua sayap dari antiklin terbentuk oleh lapisan batuan yang berumur Pliosen hingga Pleistosen Bawah. Setempat terdapat tubuh intrusi yang membentuk morfologi relief terjal seperti Gunung Kromong di Cirebon dan Gunung Sanggabuana di Purwakarta.

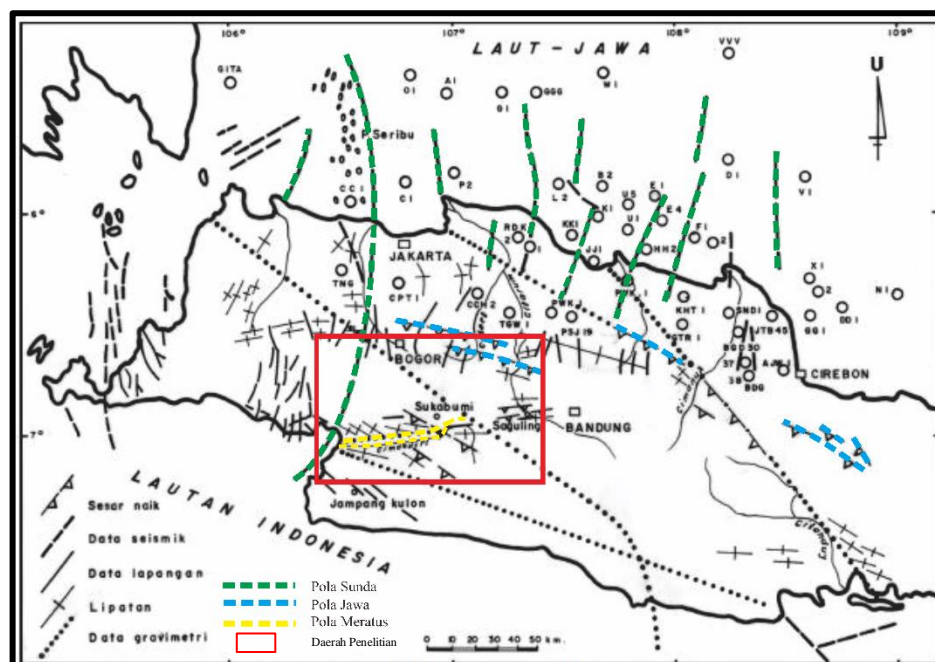
- c. Zona Bandung (*Central Depression Zone of Java*), zona ini memiliki kenampakan suatu depresi diantara gunung-gunung muda yang membentang membentuk lengkungan dari Pelabuhan Ratu hingga mengikuti lembah Cimandiri yang melewati kota Bandung, hingga ke Segara Anakan di muara Sungai Citanduy dengan lebar zona antara 20-40 km. Bahwa menurut Van Bemmelen (1949), bahwa zona Bandung awalnya merupakan puncak lipatan (Geantiklin) Jawa Barat yang akhirnya runtuh setelah terjadi *uplift* dan diisi oleh endapan gunungapi muda. Di beberapa tempat ditemui tinggian yang terbentuk dari endapan sedimen tua seperti Gunung Walat di Sukabumi dan Perbukitan Rajamandala di kabupaten Bandung.
- d. Zona Pegunungan Selatan Jawa Barat (*Southern Mountains*), zona ini terbagi atas 19 morfologi dan terjadinya dua generasi morfologi yaitu morfologi Pra-Miosen akhir dan morfologi Resen yang dibatasi oleh ketidakselarasan. Batas zona Pegunungan Selatan Jawa Barat dengan zona Bandung sangat terlihat perbedaan antaranya morfologi perbukitan bergelombang pada zona Bandung yang berbatasan dengan dataran tinggi zona Pegunungan Selatan (Pannekoek, 1946). Zona ini terdiri dari morfologi dataran tinggi seperti Jampang, Pangalengan dan Karangnunggal.

Berdasarkan pembagian fisiografi tersebut daerah penelitian berada pada tiga zona yakni Zona Bogor, Bandung dan Zona pegunungan Selatan Jawa Barat. Dapat dilihat bahwa Batas antara zona Bandung dan Zona Pegunungan Selatan yang berarah Timur Laut-Barat Daya yang dimulai dari teluk Pelabuhan Ratu menuju Bandung yang dinamakan sebagai Patahan Cimandiri (Dardji dkk., 1994; Van Bemmelen, 1949). Patahan Cimandiri ini terletak di Lembah Cimandiri yang memanjang dari Pelabuhan Ratu, Sukabumi, Cianjur, menuju Padalarang.

2.2. Struktur Geologi Regional Daerah Penelitian

Salah satu tatanan tektonik dan struktur geologi pada daerah Jawa bagian Barat tidak terlepas dari tektonik lempeng yang dimana kepulauan Indonesia salah satu titik pertemuan antara ketiga lempeng yaitu lempeng Eurasia yang relatif lebih diam, lempeng Samudra Pasifik yang bergerak relatif ke arah Barat Laut dan lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah Utara (Hamilton, 1979). Berdasarkan Pulunggono & Martodjojo (1994) menyebutkan bahwa terdapat 3 pola struktur dominan yang berkembang di Pulau Jawa, diantaranya adalah (Gambar 2.2) :

- a. Pola Meratus salah satu pola struktur yang berarah Timur Laut - Barat Daya yang terbentuk pada tahun 80 sampai 53 juta tahun yang lalu (Kapur Akhir - Eosen Awal)
- b. Pola Sunda yang berarah Utara-Selatan yang terbentuk 53 hingga 32 juta tahun yang lalu (berumur Eosen Awal – Oligosen Awal)
- c. Pola Jawa berarah Barat-Timur yang terbentuk dari 32 juta tahun yang lalu dimana pola struktur yang paling muda sehingga memotong dan merelokasi pola struktur Meratus dan Pola Struktur Sunda



Gambar 2. 2 Peta Pola Struktur Jawa Barat (dimodifikasi dari Martodjojo, 1984)

Perbedaan dari pola struktur tersebut disebabkan oleh perubahan tatanan tektonik yang dipengaruhi dari evolusi jalur subduksi yang diantaranya adalah

perubahan kemiringan lempeng yang menunjam, perubahan kedalaman zona Benioff dan perubahan arah subduksi (Martodjojo, 1984). Aktivitas Tersier Pulau Jawa terjadi dalam satu periode menerus sejak Eosen akhir hingga Pliosen akhir, mulai dari 42 juta tahun yang lalu di daerah Pacitan sampai 32 juta tahun lalu di Karangobar. Dari perubahan pergerakan magmatik telah bergeser dari selatan Pulau Jawa ke arah lebih Utara dan kemudian Kembali ke arah Selatan yang ditandai dengan jalur gunung api Resen. Struktur geologi yang berkembang pada Jawa bagian barat dibagi menjadi beberapa pola struktur diantaranya seperti , Sesar Cimandiri yang berarah Barat Daya – Timur Laut, sesar naik Rajamandala serta sesar-sesar lainnya di Purwakarta. Arah ini sering dikenal dengan arah meratus yaitu arah yang mengikuti pola busur Kapur (Hamilton, 1979). Sesar Baribis yang berarah Barat Laut – Tenggara dan sesar – sesar di arah Utara-Selatan yang berupa kelurusan Ciletuh dan pulau seribu, dilepas pantai Utara Jawa Barat yang merupakan pola sesar utama. Sesar-sesar utama berarah Utara – Selatan di Laut Jawa dan di cekungan Sunda yang telah terbukti sebagai komponen struktur yang mengontrol perkembangan cekungan berumur Paleogen di daerah tersebut.

2.3. Stratigrafi Regional Daerah Penelitian

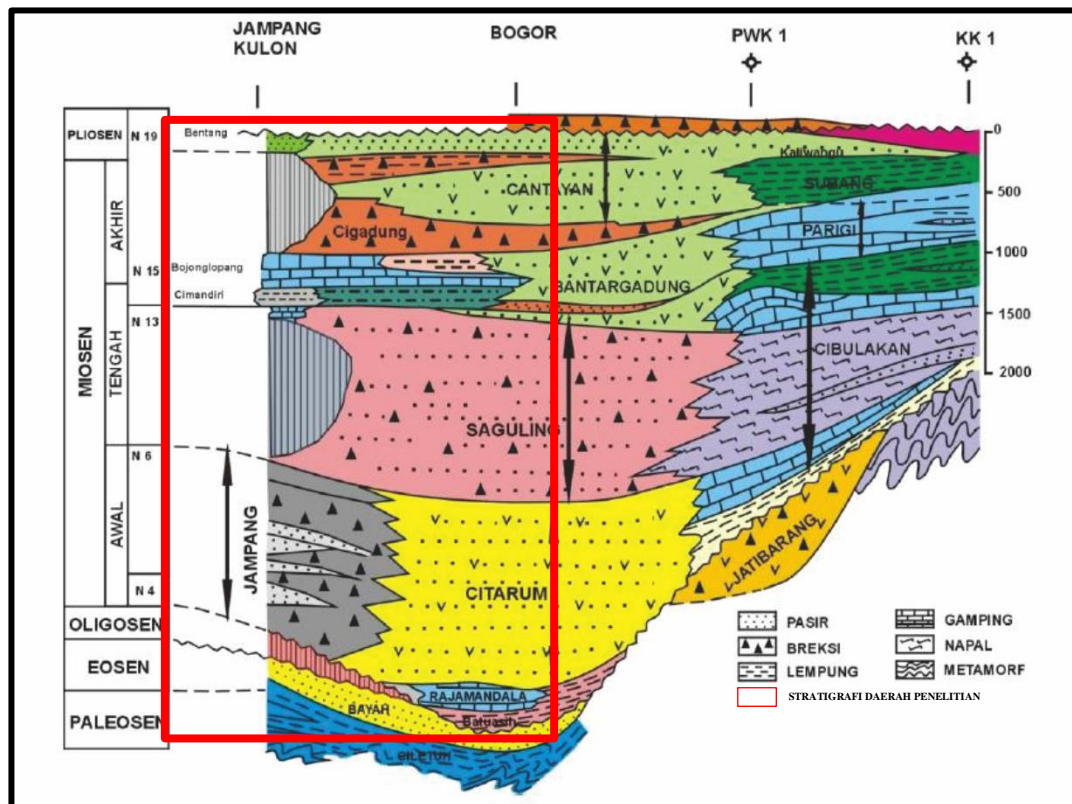
Menurut (Martodjojo, 2003) bahwa secara regional membagi daerah Jawa Barat menjadi tiga mandala sedimentasi yaitu :

- a. Mandala Paparan Kontinen Utara, Kontinen ini merupakan salah satu paparan yang berada di Utara dan posisinya hampir sama dengan zona fisiografi dataran Pantai Jakarta. Mandala ini dicirikan oleh endapan paparan yang umumnya terdiri dari batugamping, batulempung dan batupasir kuarsa dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Batas selatan mandala paparan kontinen ini diperkirakan sama dengan penyebaran singkapan Formasi Parigi dan Cibinong. Purwakarta, sejajar dengan pantai Utara.
- b. Mandala cekungan Bogor, mandala ini terletak di selatan dan Timur yang meliputi beberapa zona fisiografi yakni zona Bogor, Bandung dan Zona Pegunungan Selatan Jawa Barat (Van Bemmelen, 1949). Jenis mandala ini

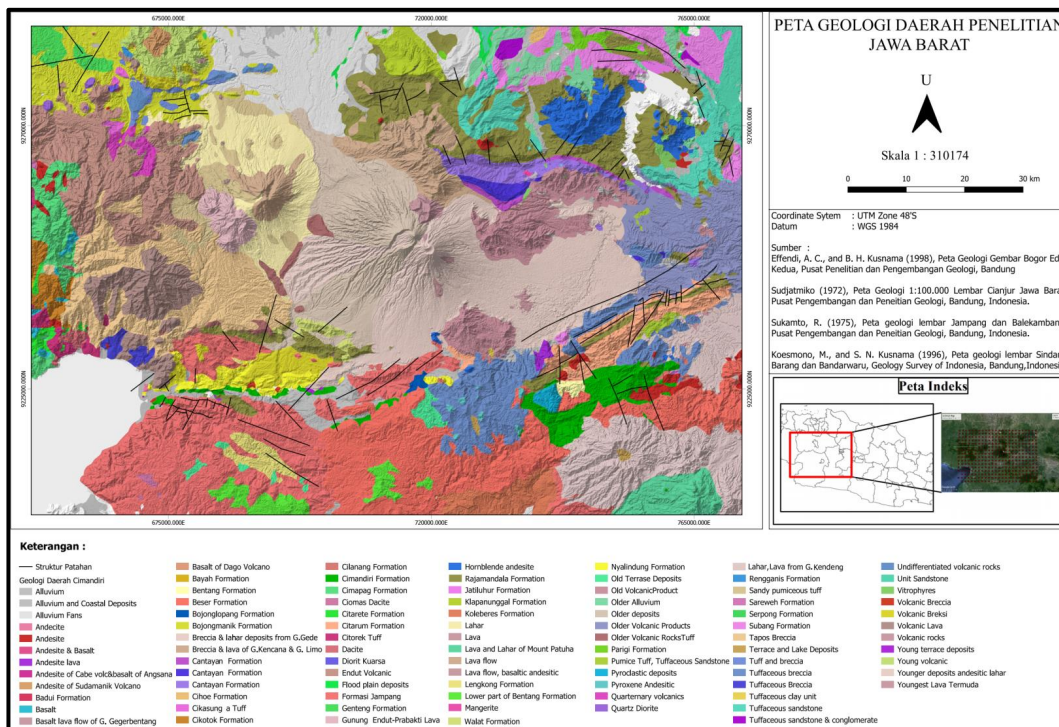
dicirikan oleh endapan aliran gravitasi yang kebanyakan berupa fragmen batuan beku dan sedimen seperti andesit, basal, tufa dan batugamping.

- c. Mandala Banten, jenis mandala ini memiliki batas-batas yang kurang jelas karena sedikitnya data yang diketahui. Mandala ini diperkirakan pada umur Tersier awal memiliki ciri-ciri yang mirip dengan cekungan Bogor, tetapi pada tersier akhir lebih mirip dengan paparan kontinen

Dari klasifikasi mandala diatas, daerah penelitian termasuk ke dalam Mandala Cekungan Bogor. Mandala cekungan Bogor ini mengalami perubahan dari waktu sepanjang zaman Tersier hingga kuartar. Mandala ini memiliki tiga siklus pengendapan. Pertama, diendapkan sedimen laut dalam, kemudian sedimen darat yang berangsur berubah menjadi sedimen laut dangkal, dan yang terakhir diendapkan sedimen dengan mekanisme aliran gravitasi. Siklus pertama dan kedua sedimen berasal dari Utara, sedangkan siklus ketiga berasal dari selatan. Lebih lanjut, Martodjojo (2003) telah membuat penampang stratigrafi terpulihkan Utara-selatan di Jawa Barat (dilihat pada **gambar 2.3**).



Gambar 2. 3. Penampang stratigrafi daerah Jawa Barat (Martodjojo, 2003) daerah penelitian berada pada sebelah barat (Kotak merah) pada penampang stratigrafi



Gambar 2. 4. Geologi Regional daerah penelitian (dimodifikasi dari Sudjatmiko, 1972; Sukanto, 1975; Effendi and Kusnana, 1998; Koesmono and Kusnana, 1996)

Gambar 2.4 merupakan geologi Regional daerah penelitian yang tersebar dari beberapa formasi batuan dan struktur patahan (**Lampiran 1**). Pada penelitian ini masing-masing dari formasi batuan yang terdapat di daerah penelitian zona patahan Cimandiri dari tua ke muda adalah sebagai berikut (Martodjojo, 2003) :

1. Formasi Bayah, formasi ini berumur Eosen tengah hingga Oligosen awal. formasi Bayah meliputi batupasir silisiklastik non-marin yang tersingkap di daerah Gunung Walat (Formasi Walat menurut Effendi (1974), serta batupasir kuarsa yang tersingkap di selatan Sungai Cimandiri, Pelabuhan Ratu. Ciri litologi Formasi Bayah pada bagian bawah ditandai oleh batupasir yang ditafsirkan sebagai endapan *sand bar*, dan diendapkan dalam lingkungan transisi, kemudian endapan transisional itu berubah secara litologi ke arah atas menjadi batupasir konglomeratan sisipan batulempung dengan struktur sedimen silang-silur, mencirikan sungai teranyam, serta berselingan dengan batulempung dan batubara yang mencirikan sungai *meander*

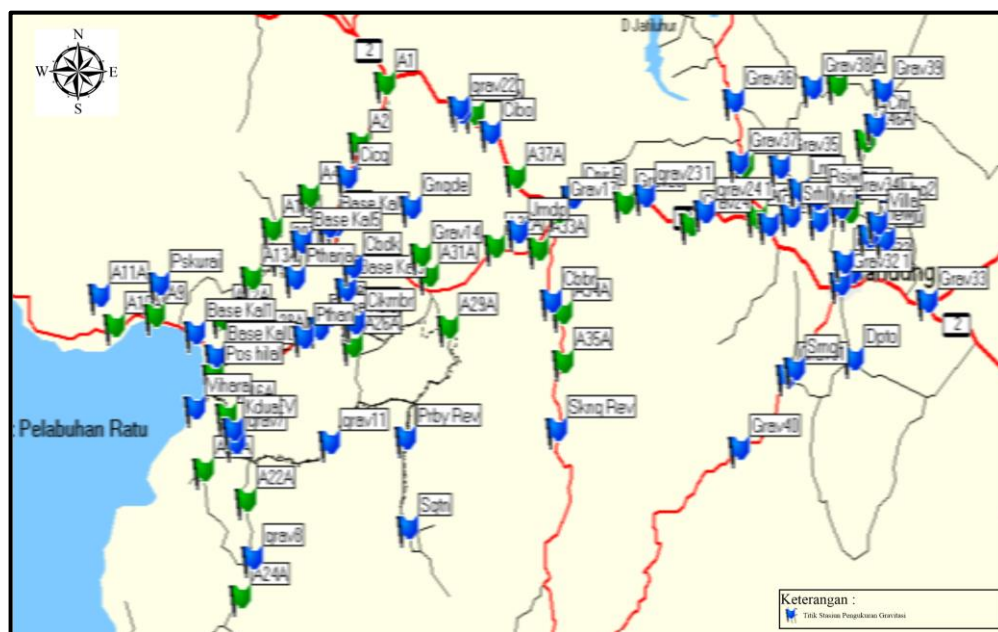
2. Formasi Batuasih, formasi ini berumur Oligosen akhir dan berada pada bagian barat daya patahan Cimandiri yang dimana tersusun dari lapisan batulempung napalan dengan tebal dan sisipan batupasir kuarsa
3. Formasi Rajamandala, formasi ini berumur berumur Oligosen atas hingga Miosen Bawah formasi ini terdiri dari 2 Anggota yaitu Anggota Batugamping (Oml) dan Anggota Lempung, Napal dan Batupasir Kuarsa yang tersingkap di Cianjur bagian Tengah membentuk perbukitan/punggungan Rajamandala dengan ketinggian antara 700-900 meter di atas permukaan laut yang memanjang dengan arah Timur laut– barat daya dari daerah Tagogapu, Utara Padalarang sampai daerah Saguling, selatan Rajamandala (Sudjatmiko, 2003). Batas formasi ini selaras dan berangsur ke arah bawah menjadi batupasir kuarsa bersemen karbonat dan batulempung tergerus kuat yang merupakan satuan formasi Batuasih
4. Formasi Jampang, formasi ini tersusun oleh breksi andesit yang tersementasi dengan baik tersingkap di sepanjang lembah-lembah sungai yang mengalami erosi sangat dalam. Bagian dasar dari formasi ini tidak tersingkap. Formasi Jampang ini sering disebut sebagai Formasi Andesit Tua (*Old Andesite Formation*) karena terbentuk oleh material batuan andesit tua dan padat berwarna abu-abu hingga coklat dengan tekstur kasar yang merupakan hasil aktivitas vulkanik. Formasi ini berumur Miosen awal-akhir.
5. Formasi Saguling, formasi ini berumur miosen tengah yang dimana litologi formasi dicirikan oleh satuan batuan breksi yang tersebar di bagian Timur sesar Cimandiri
6. Formasi Cimandiri, formasi ini berumur Miosen Tengah yang terdiri dari tersusun oleh perselingan batulempung dan batulanau abu-abu muda sampai menengah dan batupasir coklat kekuning-kuningan, setempat gampingan, meliputi endapan lahar yang tersusun dari tuf, breksi andesit dan breksi tuf
7. Formasi Bojonglopang, formasi Bojonglopang, berumur Miosen Tengah terdiri dari batu gamping terumbu padat dan batu gamping pasiran berlapis. Ketebalan berkisar antara 250 m hingga 300 m. Formasi ini berada pada bagian barat patahan Cimandiri

8. Formasi Bantargadung, formasi ini tersusun dari perselingan antara batuan lempung dengan batupasir *greywacke* yang kaya akan kandungan kuarsa. Formasi ini memiliki tebal lapisan 500 meter dan umur formasi ini yaitu Miosen Tengah yang dimana pengendapan batuan pada formasi ini dikontrol oleh patahan Cimandiri
9. Formasi Citarum, formasi ini terdiri atas *greywacke* yang berselang-seling dengan batulanau atau batulempung tufaan serta konglomerat dan breksi vulkanik pada bagian bawahnya. Formasi ini berumur Miosen Awal-Tengah.
10. Formasi Cantayan, Formasi ini berumur Miosen akhir yang dimana batuan ini tersusun dari batupasir, batulempung, batugamping serta anggota breksi yang bersifat basal dan andesit. Formasi ini memiliki ketebalan lebih dari 2500 meter.
11. Formasi Nyalindung, formasi ini berumur Miosen akhir dan secara selaras menindih formasi lengkung yang dimana formasi ini terdiri dari batupasir glokonit berwarna hijau, batulempung, napal pasiran, konglomerat, breksi dan batugamping, serta napal tufan yang dimana dijumpai di sepanjang sungai Cijarian yang kaya akan moluska
12. Formasi Bentang, Formasi ini berumur Miosen Akhir dengan tebal lebih dari 500 meter dimana formasi ini tersusun atas batupasir tufan dengan batuapung dan lignit, napal tufan, serpih tufan dan breksi konglomerat gampingan yang dimana perlapisan ini baik dijumpai pada singkapan sepanjang sungai Cigadung, satuan formasi ini juga secara tak selaras menindih formasi Nyalindung
13. Formasi Besar, Formasi ini berumur Miosen akhir dengan tebal kira-kira 750 meter. Formasi ini tersusun dari breksi andesit, juga breksi tuf, tuf kristal dan batulempung dan formasi ini diduga menjemari dengan formasi Koleberes dan bagian atas Formasi Bentang.

2.4. Penelitian Terdahulu

2.4.1. Interpretasi Kuantitatif Struktur Sesar Cimandiri Dengan Metode Gravitasi

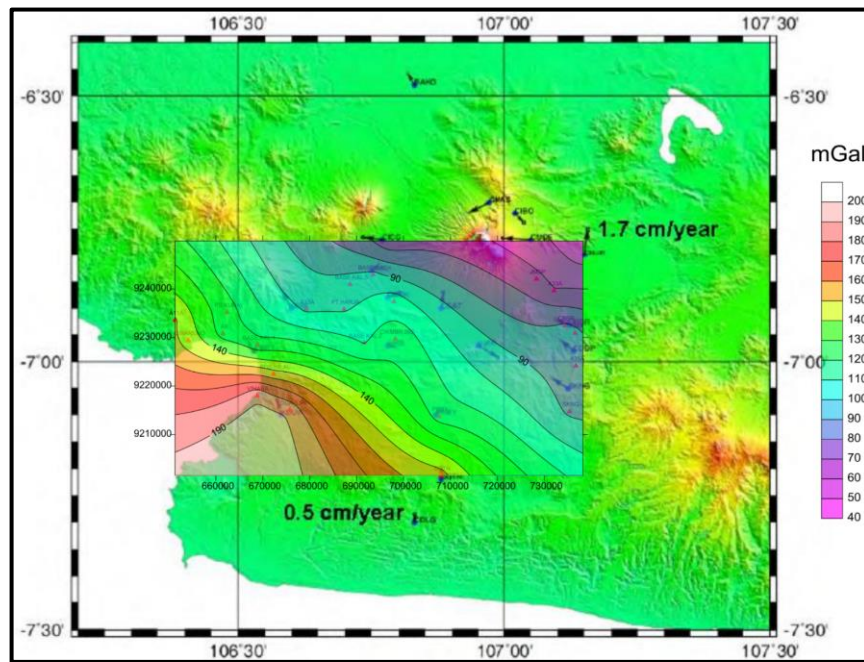
Pada penelitian ini Tim Pusat penelitian dan Pengembangan BMKG pada tahun 2012 melakukan penelitian terkait patahan Cimandiri dengan menggunakan metode gravitasi dengan menggunakan alat ukur CG-5 sebanyak 25 titik yang tersebar di sekitar Sukabumi dan Bandung dari *output* yang akan diperoleh berupa interpretasi peta *second vertical derivative* untuk melihat pola sesar dengan jelas dan juga pemodelan inversi 3D dengan *basemap* anomali residual. Berdasarkan penelitian gempa bumi di daerah Jawa barat, sesar Cimandiri salah satu daerah sesar aktif yang menimbulkan beberapa kejadian gempa bumi. Pengukuran dengan menggunakan salah satu metode gravitasi yang dilakukan dengan 25 titik yang tersebar di sekitaran patahan Cimandiri yang membentang dari Pelabuhan Ratu hingga Tangkuban Perahu dapat dilihat pada **gambar 2.5**



Gambar 2. 5. Titik Pengukuran gravitasi daerah penelitian (Setyonegoro dkk., 2012)

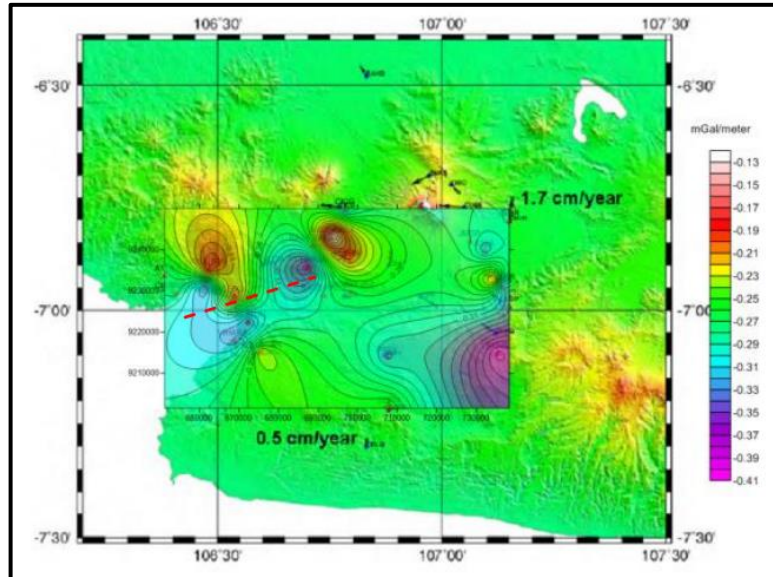
Pada penelitian ini diperoleh hasil dan pembahasan terkait data gravitasi tersebut diperoleh bahwa Anomali *Bouguer* daerah penelitian berkisar antara -40 sampai dengan 300 mGal. Anomali *Bouguer* relatif lebih tinggi (180-300 mGal) berasosiasi dengan batuan berdensitas lebih tinggi, tepatnya berada di Barat Daya daerah penelitian. Anomali *Bouguer* relatif lebih rendah ((-40) - 80 mGal) berasosiasi dengan batuan berdensitas lebih rendah, tepatnya berada di Timur Laut

daerah penelitian. Anomali *Bouguer* (80 -180 mGal) berada di antara anomali tinggi dan rendah dapat dilihat pada **gambar 2.6**

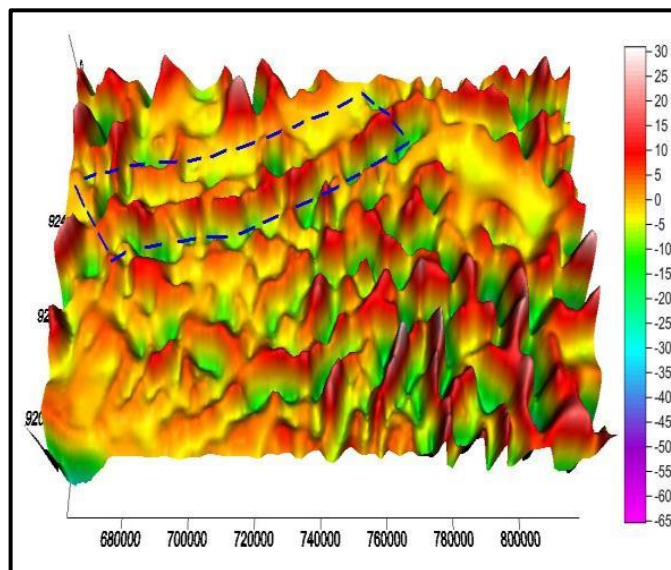


Gambar 2. 6. Peta Anomali Bouguer (Setyonegoro dkk., 2012)

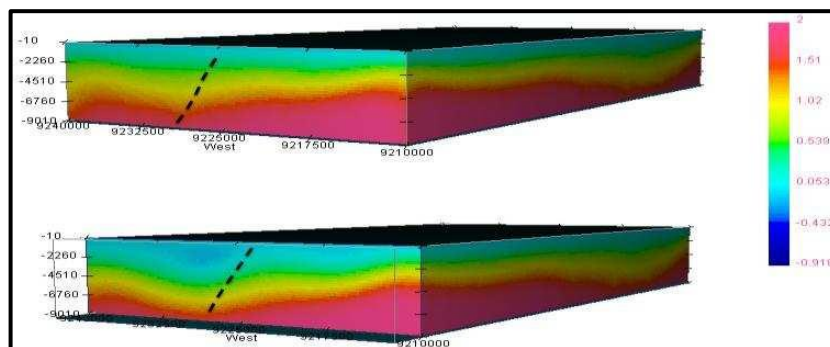
Dapat dilihat juga pada penelitian ini dalam analisa *gradient vertical* atau *first Horizontal Derivative* pada daerah sesar Cimandiri yang ditunjukkan pada garis putus-putus berwarna merah (**gambar 2.7**). Dalam pemetaan sesar Cimandiri yang lebih detail digunakan analisa *second vertical derivative* 3D (pada **gambar 2.8**) yang dimana Sesar Cimandiri dapat dicirikan dengan anomali tinggi (+) yang berhimpit dengan anomali rendah (-). Pada peta residual SVD juga diperoleh informasi bahwa gempa terjadi pada daerah dengan nilai svd positif (0 s/d 35), SVD pada daerah penelitian dapat dijadikan sebagai acuan untuk pemetaan daerah sesar yang rawan bencana gempabumi. Dan juga diperoleh inversi 3D anomali residual, dimana Hasil inversi 3D berupa model distribusi densitas bawah permukaan. Harga distribusi densitas model 3D bawah permukaan yang menunjukkan identifikasi sesar pada kedalaman sekitar ~7000 m mengalami pola cekungan dengan distribusi densitas (ρ) \approx 0.0533 - 1.51 gr/cm³ . Harga densitas antara rendah-tinggi ditunjukkan dengan spektrum warna ungu - merah. Harga densitas dapat diketahui dengan melakukan penjumlahan antara angka kontras densitas dengan nilai densitas *Bouguer* (2.6 gr/cm³) yang dapat dilihat pada **gambar 2.9**.



Gambar 2. 7. Anomali *gradient vertical* sesar Cimandiri (Setyonegoro dkk., 2012)



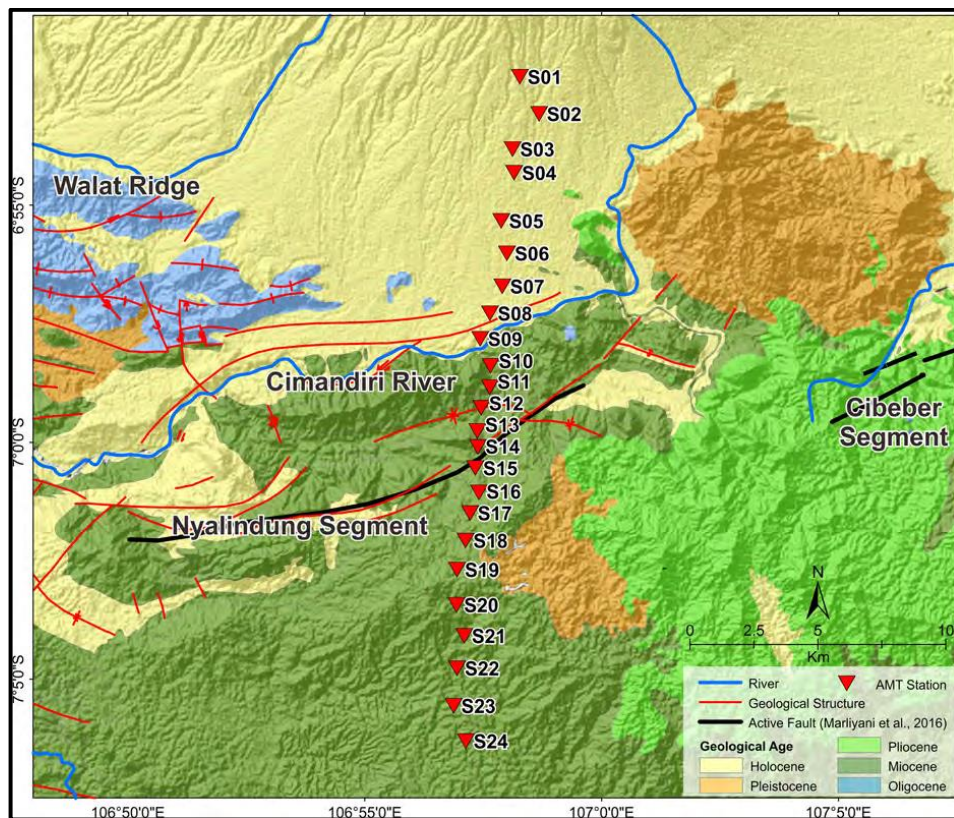
Gambar 2. 8. Peta *Second vertical Derivative* 3D (Setyonegoro dkk., 2012)



Gambar 2. 9. Inversi 3D anomali residual dari nilai densitas pada topografi untuk model 3D (Setyonegoro dkk., 2012)

2.4.2. Imaging The Geometry of Cimandiri Fault Zone Based on 2D Audio-Magnetotelluric (AMT) Model in Nyalindung, Sukabumi–Indonesia

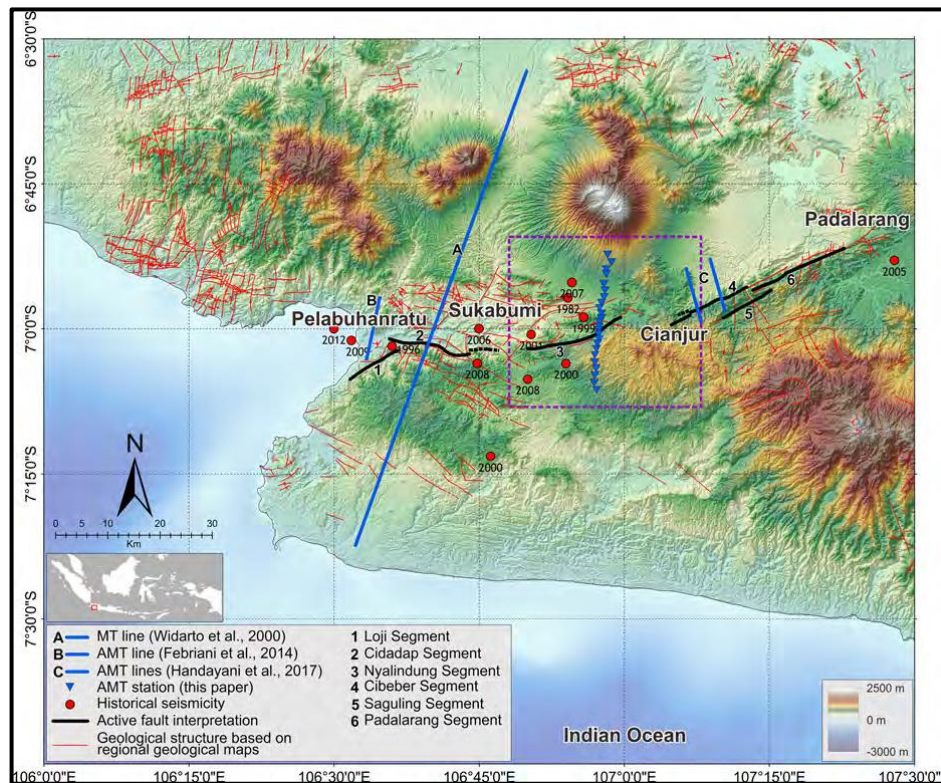
Penelitian terdahulu ini mengenai metode *Audio-Magnetotelluric* (AMT) oleh (Arisbaya dkk., 2019) dengan tujuan penelitian menggambarkan dari zona patahan Cimandiri dengan menggunakan pemodelan *Audio-Magnetotelluric* (AMT) dengan panjang lintasan 25 Km dengan arah Utara-Selatan yang memotong zona patahan Cimandiri dengan jumlah 24 titik stasiun dengan spasi interval 750-1200 meter. Dapat dilihat pada **gambar 2.10** yang merupakan lintasan dari penelitian *Audio-Magnetotelluric* (AMT) yang di *overlay* dengan peta geologi regional daerah penelitian berdasarkan umur geologi.



Gambar 2. 10. Desain survei penelitian berdasarkan peta geologi regional dengan umur geologi. segitiga merah merupakan titik stasiun pengukuran AMT yang memotong Sungai Cimandiri dan Segmen Nyalindung (Arisbaya dkk., 2019)

Pada **gambar 2.11** merupakan daerah zona patahan Cimandiri yang menjelaskan bahwa blok selatan terlihat terangkat relatif terhadap blok Utara dan blok Selatan diinterpretasikan awalnya terbentuk lebih jauh ke Selatan dari posisinya saat ini dan berkembang ke arah Utara akibat penyebaran patahan naik. Batas formasi dari patahan naik ini diperkirakan sejajar dengan batas Utara Formasi

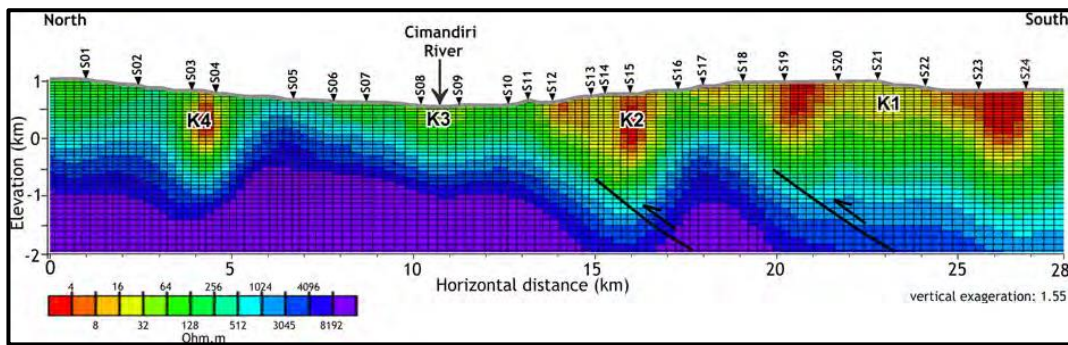
Jampang di sepanjang dari lembah Cimandiri. Deformasi ini diperkirakan terjadi pada masa awal atau pertengahan Miosen dan patahan ini dianggap tidak lagi aktif saat ini. Model *Magnetotelluric* (MT) regional menunjukkan suatu karakter batuan dasar yang berbeda antara bagian Utara dan Selatan sungai Cimandiri sehingga bagian Barat dari zona patahan Cimandiri ini diinterpretasikan sebagai zona sesar mendatar dan model *Audio-Magnetotelluric* (AMT) terbaru di sekitar Teluk Pelabuhanratu menunjukkan adanya zona diskontinuitas dengan suatu kemiringan lereng yang menurun ke arah Selatan (Febriani dkk., 2013).



Gambar 2. 11. Zona patahan Cimandiri sebagai sesar aktif ditandai dengan garis hitam tebal dan terbagi menjadi enam segmen. Dan kotak ungu putus-putus menunjukkan daerah penelitian untuk pengukuran metode *Audio-Magnetotelluric* (AMT) (Arisbaya dkk., 2019)

Data *Audio-Magnetotelluric* (AMT) yang diperoleh baru-baru ini yang melintasi bagian Timur dari zona patahan Cimandiri menggambarkan beberapa struktur lipatan yang melibatkan sedimen Miosen Tengah, dan patahan naik yang ditutupi oleh sungai endapan alluvial di segmen Cibeber (Handayani dkk., 2017). Dari model dua dimensi *Audio-Magnetotelluric* (AMT) di sekitar Teluk Pelabuhanratu (Febriani dkk., 2013) menunjukkan hasil yang sama dengan model

Audio-Magnetotelluric (AMT) di Cibeber yang masing-masing berasosiasi dengan bagian Barat dan Timur zona patahan Cimandiri.



Gambar 2. 12. Penampang Model 2D *inversion* AMT yang menginterpretasikan bawah permukaan dari segmen Nyalindung (Arisbaya dkk., 2019)

Dari penelitian ini dihasilkan bentuk inversi 2D *Audio-Magnetotelluric* (AMT) yang ditunjukkan pada **gambar 2.12**. Model inversi dibagi menjadi 3 kelompok warna yang berdasarkan nilai resistivitas. Resistivitas rendah dengan nilai $60 \Omega\text{m}$ yang ditandai dengan warna ungu hingga biru terang, resistivitas sedang dengan nilai $60 \Omega\text{m} - 1000 \Omega\text{m}$ yang ditandai dengan warna hijau muda hingga hijau tua, serta nilai resistivitas tinggi dengan nilai yang lebih dari $1000 \Omega\text{m}$ yang ditandai dengan warna kuning -merah. Model resistivitas 2D ini sesuai dengan informasi geologi yang dimana lembah Cimandiri Sebagian tertutup oleh batuan vulkanik dan endapan fluvial, hingga sedimen laut dangkal (*shallow marine sediments*). Pada lapisan yang dekat dengan permukaan terdapat perbedaan yang signifikan antara Utara dan bagian selatan profil. Bagian selatan didominasi oleh batuan dengan resistivitas yang sangat rendah ($< 60 \Omega\text{m}$) yang diamati hingga kedalaman 1 km yang ditunjukkan pada K1 dan K2. nilai resistivitas rendah umumnya berasosiasi dengan porositas tinggi dan kandungan fluida yang tinggi. Sehingga nilai resistivitas yang rendah diinterpretasikan sebagai sedimen yang tidak terkonsolidasi atau *highly-fractured rocks*. Dibagian Utara profil, dekat permukaan model resistivitas yang menunjukkan nilai resistivitas yang sedang dengan nilai ($60 - 1000 \Omega\text{m}$). Nilai ini memungkinkan bahwa berkaitan dengan batuan vulkanik muda yang berumur diatas Eosen – Sedimen fluvial Oligosen. Sehingga resistivitas sedang ini lapisannya semakin dalam disebelah selatan profil yang diamati pada bagian tengah garis sekitar sungai Cimandiri (K3) yang dapat berasosiasi dengan endapan alluvial pada morfologi lembah. Dan zona resistivitas

tinggi (1000 Ω m) diinterpretasikan sebagai batuan dasar atau *basement* pada kedalaman lebih dari 1 km dari permukaan. Dari model bawah permukaan menunjukkan kondisi yang relatif berundulasi dan semakin dalam ke arah selatan. Sehingga pada penelitian dapat disimpulkan bahwa segmen nyalindung merupakan salah satu bagian patahan yang berada pada bagian tengah dari zona patahan Cimandiri, dimana pada penggambaran Model resistivitas 2D menunjukkan suatu perubahan arah dari tren patahan atau sesar yang dimana dua fitur gaya dorong (*thrust features*) miring ke arah selatan. Ada indikasi patahan naik, yang dimana patahan naik ini berkaitan dengan suatu deformasi yang mengangkat sedimen laut dangkal hingga pada ketinggian saat ini. Kedua fitur gaya pendorong tersebut terletak pada kedalaman lebih dari 500 meter yang tidak mendekati permukaan.

Tabel 2. 1. Penelitian terdahulu dan penelitian yang dilakukan (*highlight biru*)

Peneliti	Judul	Struktur	Analisis Metode Gravitasi			Lokasi
			THD	TDR	2.5D Modelling	Patahan Cimandiri
Setyonegoro dkk., 2013	Interpretasi Kuantitatif Struktur Sesar Cimandiri Dengan Metode Gravitasi	✓				✓
Arisbaya dkk., 2019	<i>Imaging The Geometry of Cimandiri Fault Zone Based on 2D Audio-Magnetotelluric (AMT) Model in Nyalindung, Sukabumi-Indonesia</i>	✓				✓
Jochiephu, 2024	Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Pada Zona Daerah Patahan Cimandiri Berdasarkan Metode Gravitasi Melalui Analisa Derivatif dan <i>Forward Modelling</i> 2.5D di Daerah Jawa Barat	✓	✓	✓	✓	✓

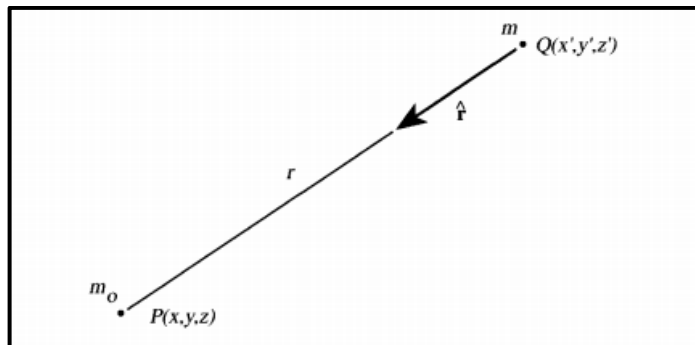
BAB III

DASAR TEORI

3.1. Metode Gravitasi

Metode Gravitasi merupakan metode penyelidikan dalam geofisika yang didasarkan pada variasi medan gravitasi di permukaan bumi. Dalam metode ini yang Dipelajari adalah variasi medan gravitasi akibat dari variasi rapat massa bawah batuan atau kontras densitas batuan yang ada di bawah permukaan, sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki adalah perbedaan gravitasi dari satu titik pengamatan terhadap pengamatan lainnya (Telford dkk., 1990). Menurut Sunaryo (1997) dalam metode gravitasi, pengukuran dilakukan terhadap nilai komponen vertikal dari percepatan gravitasi di suatu tempat. Namun pada kenyataannya, bentuk bumi tidak bulat sehingga terdapat variasi nilai percepatan gravitasi untuk masing-masing tempat. Hal-hal yang dapat mempengaruhi nilai percepatan gravitasi adalah perbedaan derajat garis lintang, perbedaan ketinggian (topografi), kedudukan bumi dalam tata surya, variasi rapat massa batuan di bawah permukaan bumi, perbedaan elevasi tempat pengukuran hal lain yang dapat memberikan kontribusi nilai gravitasi, misalnya bangunan dan lain-lain.

Hukum Newton tentang gravitasi adalah sebuah teori yang menjadi dasar metode gravitasi. Dalam Hukum Gravitasi Newton dinyatakan bahwa besar gaya gravitasi antara dua massa sebanding dengan perkalian massa keduanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua pusat massa yang dijelaskan pada **gambar 3.1** berikut.



Gambar 3. 1. Gaya Gravitasi antara dua partikel (Blakely, 1995)

$$\vec{F} = -G \frac{m_0 m}{r^2} \hat{r} \quad (3.1)$$

Pada massa m_1 dan m_2 mengalami gaya gravitasi bersama yang sebanding dengan m_1 , m_2 , dan r^2 , dimana

- \vec{F} : Gaya Tarik menarik antara kedua benda (N)
- m_0 : Massa bumi (kg)
- m : Massa benda (kg)
- r : Jarak antara m_1 dan m_2 (m)
- \hat{r} : Unit vektor dengan arah dari m menuju m_0
- G : Konstanta gravitasi Newton ($6,672 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{kgs}^2$)

Percepatan tersebut menyatakan ukuran dari medan gaya berat bumi yang bekerja pada suatu titik, untuk keperluan geofisika lebih dikenal satuan mgal. Dalam pengukuran gayaberat yang diukur bukanlah gaya gravitasinya F , melainkan percepatan gravitasinya, g . Hubungan antara gaya gravitasi dengan percepatan gravitasi dijelaskan oleh hukum II newton,

$$\vec{F} = m g \quad (3.2)$$

Interaksi antara bumi (dengan massa M) dengan benda di permukaan bumi (dengan massa m) sejauh jarak R dari pusat kedua benda juga memenuhi hukum tersebut, maka persamaan di atas menjadi:

$$\begin{aligned} \vec{F} &= -G \frac{M}{R^2} m = m g \\ \vec{g} &= G \frac{M}{R^2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Keterangan :

- \vec{g} : Percepatan Gravitasi (m/s^2) atau Gal (cm/s^2)
- M : Massa Bumi (kg)
- R : Jarak Benda dengan Pusat Bumi (Jari-Jari Bumi)
- G : Konstanta Universal Gravitasi ($6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$)

3.2. Medan Gravitasi dan Potensial Gravitasi

Pada titik massa yang diletakkan pada suatu bidang akan berada di dalam medan gravitasi dari bidang tersebut, dan akan mengalami percepatan jika massa tersebut bebas untuk bergerak. Total gaya pada massa tersebut terhadap bidang dimana massa tersebut berada pada arah manapun yang diinginkan dapat dihitung

dengan menerapkan hukum Newton. Medan Potensial Gravitasi dapat dinyatakan sebagai gradien atau potensial skalar, melalui persamaan berikut.

$$g = -\nabla U(r) \quad (3.5)$$

dengan fungsi U pada persamaan di atas disebut sebagai potensial gravitasi, sedangkan percepatan gravitasi g merupakan medan potensial. Tanda minus (-) menandakan bahwa arah gravitasi menuju ke titik yang dituju. Dengan mengasumsikan bumi dengan massa M bersifat homogen yang berbentuk bola dengan jari-jari R, maka potensial gravitasi di permukaan bumi dapat didefinisikan dengan persamaan berikut.

$$\nabla U(\vec{r}) = -\frac{F(\vec{r})}{m_2} = -g(\vec{r}) \quad (3.5)$$

$$U(\vec{r}) = \int_{\infty}^r (\nabla U) \cdot d = \int_{\infty}^r g \cdot d \quad (3.6)$$

$$U(\vec{r}) = -G \int_{\infty}^r \frac{d}{r^2} = G \frac{m}{r} \quad (3.7)$$

dengan,

U : Potensial Gravitasi (J/kg)

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

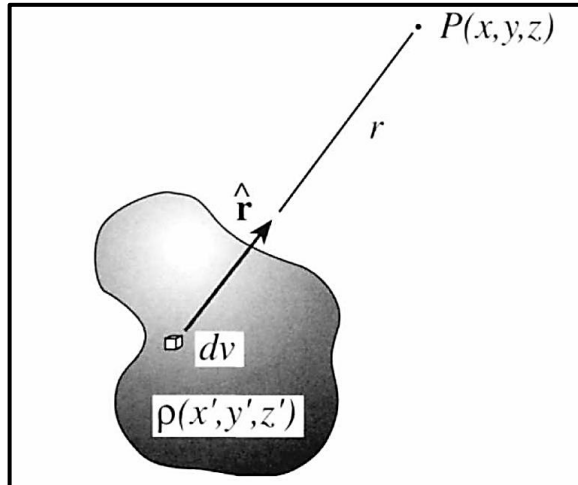
r : Jarak antara m dan bumi

m : Massa benda (kg)

F : Gaya Tarik menarik antara kedua benda (N)

G : Konstanta gravitasi Newton (6,672 x 10¹¹ m³/kgs²)

Secara umum dari definisi di atas bahwa derivatif dari U pada arah manapun memberikan suatu percepatan pada titik massa di arah tersebut. Merepresentasikan gaya yang bekerja pada suatu medan per kilogram dari titik massa m₀ ketika m₀ bergerak dari titik manapun dengan suatu jarak sejauh r dan m (**Gambar 3.2**) (Telford dkk., 1990).



Gambar 3. 2. Tarikan gravitasi di titik P akibat distribusi massa jenis ρ (Blakely, 1995)

Dari persamaan ini, terlihat bahwa besarnya gravitasi berbanding langsung dengan massa penyebabnya, sedangkan massa berbanding langsung dengan rapat massa (ρ) dan volume benda (dimana berhubungan dengan geometri benda). Dengan demikian, bahwa besarnya gravitasi yang diukur akan mencerminkan kedua besaran tersebut.

Teori divergensi Gauss menyatakan bahwa bentuk integral dari divergensi medan gravitasi pada suatu daerah dalam volume bernilai sama dengan integral komponen yang keluar menembus bidang medan gravitasi pada permukaan.

$$\int_v \nabla \cdot g_{in} dv = \int_v \nabla \cdot g_{out} dv \quad (3.8)$$

$$\int_v \nabla \cdot g dv = \int_v \nabla \cdot g ds \quad (3.9)$$

Jika tidak ada massa yang menarik di dalam volume, integral menjadi 0 dan $\nabla \cdot g = 0$. Namun dengan M merupakan massa bumi dan R merupakan jari-jari bumi yang homogen tidak berotasi, maka medan gravitasi dapat dinyatakan sebagai gradien fungsi potensi skalar U, sehingga diperoleh persamaan :

$$-\nabla \cdot g = \nabla \cdot \nabla U = \nabla^2 U \quad (3.10)$$

Yang merupakan persamaan dari potensial dalam suatu ruang hampa memenuhi perhitungan *Laplace*. Dalam bidang kartesian, persamaan *Laplace* dapat ditulis sebagai berikut.

$$\nabla^2 U = \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 0 \quad (3.11)$$

Jika suatu partikel massa pada pusat bola dengan jari-jari sebesar r maka dapat ditulis :

$$\begin{aligned}\int_s g ds &= -\left(\frac{GM}{r^2}\right)(4\pi r^2) \\ &= -4\pi Gm\end{aligned}\quad (3.12)$$

Tanda minus berarti gaya gravitasi g berbanding terbalik dengan arah gaya keluar normalnya. Jika permukaan membungkus beberapa massa dari total massa m , dapat dituliskan sebagai :

$$\int_v \nabla \cdot g dv = \int_s g ds = -4\pi Gm \quad (3.13)$$

Jika volume V sangat kecil, membungkus hanya satu titik, bentuk integral dapat dihilangkan sehingga :

$$\int_v \nabla \cdot g dv = \int_s g ds \quad (3.14)$$

$$\int_v \nabla \cdot g dv = -4\pi Gm \quad (3.15)$$

$$\nabla \cdot g \int_v dv = -4\pi G\rho \int_v dv \quad (3.16)$$

$$\nabla \cdot g = -4\pi G\rho \quad (3.17)$$

ρ merupakan rapat massa pada titik. Kemudian dari persamaan tersebut dapat ditulis :

$$\nabla \cdot g = -4\pi G\rho \quad (3.18)$$

$$\nabla \cdot (-\nabla U) = -4\pi G\rho \quad (3.19)$$

$$-\nabla^2 \cdot U = -4\pi G\rho \quad (3.20)$$

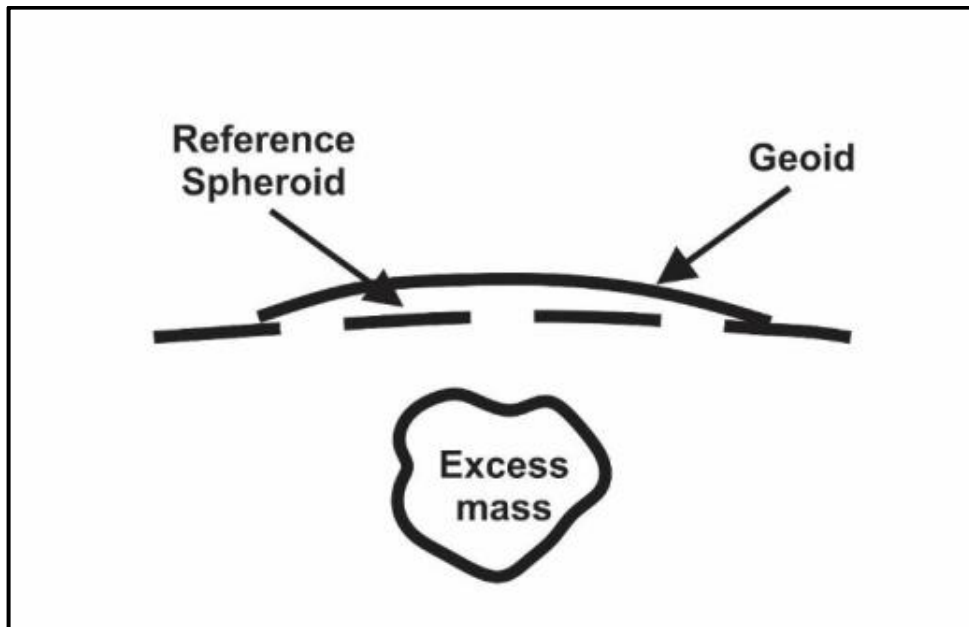
$$\nabla^2 \cdot U = 4\pi G\rho \quad (3.21)$$

Persamaan tersebut merupakan *Poisson ratio*. Potensial gravitasi sebanding dengan rapat massa ρ dan $4\pi G$ yang merupakan konstanta kesebandingan ∇^2 yaitu operator *Laplace*.

3.3. Permukaan *Geoid*

Pada **Gambar 3.3**, menjelaskan bahwa Bentuk muka bumi yang sebenarnya jauh dari keteraturan dan sulit dijelaskan dalam bentuk yang geometris. Dapat dikatakan bahwa penentuan dari pengukuran *geodetic* dan *satellite tracking* yang berbentuk hampir *spheroid* yaitu menonjol di bagian *equator* dan memipih dibagian kutub. *Spheroid* referensi merupakan regangan pada *ellipsoid* yang Diperkirakan pada permukaan laut (*geoid*) bila dataran di atasnya dihilangkan. Sedangkan ketinggian pada daratan sekitar 500 m dan ketinggian maksimum daratan dengan depresi samudera sekitar 9000 m berdasarkan permukaan laut. Dimana akibatnya

bahwa permukaan laut dipengaruhi variasi topografi dan rapat massa yang di bawah permukaan. Oleh karena itu, digunakanlah rata-rata permukaan laut sebagai *geoid*. Yang lebih sederhananya pada bumi semakin bertambah kedalaman maka densitas bawah permukaan semakin tinggi tetapi tidak untuk perbedaan variasi densitas secara lateral yang mana menjadi objek eksplorasi (Telford dkk., 1990).



Gambar 3. 3. Perbedaan spheroid referensi dan geoid (di modifikasi dari Telford dkk., 1990)

Karena adanya variasi densitas secara lateral, maka *geoid* dan *spheroid* referensi tidak pernah berhimpitan dalam satu garis. Adanya anomali lokal membuat adanya suatu pembengkokan *upward* bentuk *geoid* di benua karena efek dari material di atasnya dan pembengkokan *downward* pada samudera karena densitas air yang kecil. Tetapi dari suatu penyimpangan dari *spheroid* tersebut tidak pernah berkorelasi dengan benua maupun litosfer, kemungkinan akibat adanya perbedaan densitas bawah permukaan yang berada di bawah litosfer.

3.4. Koreksi Metode Gravitasi

3.4.1. Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

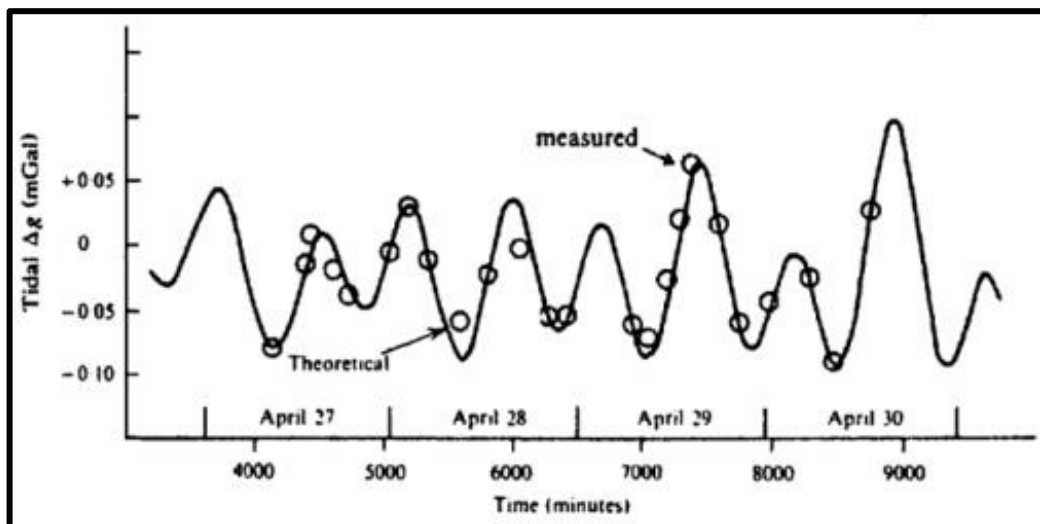
Efek pasang surut menyebabkan perubahan hasil pengamatan nilai percepatan gravitasi karena pengaruh gravitasi bulan dan matahari terhadap gravitasi bumi dan pada alat gravimeter yang dimana berubah nilai tiap waktu

dengan *range* perubahan sekitar 0,3 mGal (Telford dkk., 1990). Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan efek atau pengaruh gaya tarik yang dialami bumi akibat gaya tarik bulan dan matahari. Kedudukan bulan dan matahari sangat mempengaruhi nilai percepatan gravitasi yang ada di permukaan bumi. Hal ini akan menyebabkan perubahan nilai medan gravitasi di permukaan bumi secara periodik.

Dalam praktiknya, koreksi pasang surut dilakukan dengan cara mengukur nilai gaya berat di stasiun yang sama (*base*) pada interval waktu tertentu. Kemudian pembacaan gravimeter tersebut di-plot terhadap waktu agar menghasilkan suatu persamaan yang digunakan untuk menghitung koreksi pasang surut (**Gambar 3.4**). Nilai koreksi pasang surut ini selalu ditambahkan pada pembacaan gayaberat.

$$g_{st} = g_{obs} \pm t \quad (3.22)$$

Dengan, g_{st} merupakan gravitasi terkoreksi pasang surut (mGal), g_{obs} adalah gravitasi pada pembacaan alat (mGal), dan t adalah nilai koreksi pasang surut.

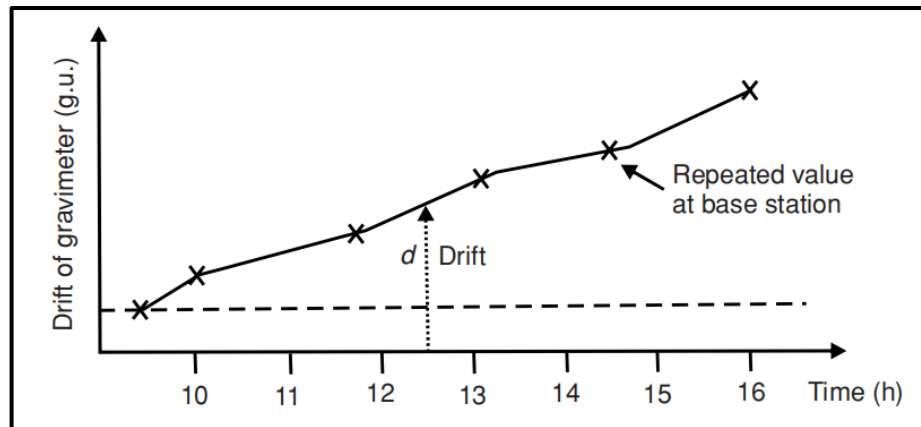


Gambar 3. 4. Contoh data pembacaan gravitasi yang Dipengaruhi oleh pasang surut air laut Montreal, April 1969 (Telford dkk., 1990)

3.4.2. Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Pengukuran perubahan pembacaan gravimeter dengan waktu akibat perubahan pegas, akan menghasilkan suatu perubahan yang nyata pada bacaan gaya berat di titik stasiun pengukuran. Perubahan nilai tersebut disebabkan karena terjadi guncangan pegas dan perubahan temperatur pada alat gravimeter

selama proses perjalanan dari titik stasiun ke stasiun berikutnya. Karena disini pegas yang tidak elastis sempurna, maka sistem pegas mengembang dan menyusut perlahan sebagai fungsi waktu (**Gambar 3.5**). Nilai gravitasi yang diamati dari titik stasiun pengukuran dapat dikoreksi dengan mengurangi jumlah koreksi kelelahan alat (*drift*) dengan nilai gravitasi yang diamati (Reynolds, 1997)



Gambar 3.5. Koreksi Apungan (Reynolds, 1997)

Untuk menghilangkan efek dari kelelahan pegas tersebut. Maka proses akuisisi dilakukan dengan suatu *loop* tertutup sehingga besar penyimpangan pembacaan alat dapat diketahui. Pengukuran *loop* dilakukan dengan mengukur *base* terlebih dahulu kemudian mengukur pada setiap titik pengukuran dan terakhir ditutup dengan pengukuran akhir di *base*. Persamaan koreksi *drift* adalah sebagai berikut.

$$\text{Drift Correction} = \left(\frac{T_{\text{pengukuran}} - T_{\text{awal}}}{T_{\text{akhir}} - T_{\text{awal}}} \right) \times (g_{\text{akhir}} - g_{\text{awal}}) \quad (3.23)$$

dengan,

g_{akhir} : Pembacaan gravimeter pada titik akhir *looping* (mGal)

g_{awal} : Pembacaan gravimeter pada titik *base* awal (mGal)

T_{awal} : Waktu Pembacaan gravimeter pada titik *base* awal (s)

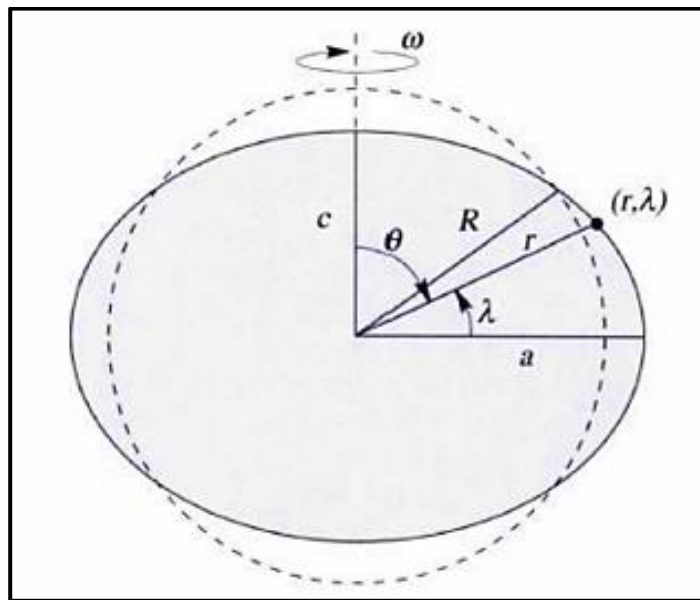
$T_{\text{pengukuran}}$: Waktu Pembacaan gravimeter pada titik pengukuran n (s)

T_{akhir} : Waktu Pembacaan gravimeter pada titik akhir *looping* (s)

3.4.3. Koreksi Lintang (*Latitude Correction*)

Bentuk bumi berdasarkan pengukuran geodesi dan satelit mendekati *spheroid* yang menggelembung di equator dan memipih di kutub disebut

Spheroid referensi (**Gambar 3.6**). *Spheroid* referensi adalah suatu ellipsoid yang digunakan sebagai pendekatan untuk muka air laut rata-rata (*geoid*) dengan mengabaikan efek benda di atasnya. Disamping model *ellipsoid* referensi, dikenal pula model lainnya yang sulit didefinisikan secara matematis karena memerlukan lebih banyak parameter yang dimana model ini dikenal sebagai *geoid*. Secara ilmiah *geoid* didefinisikan sebagai bidang ekipotensial gravitasi bumi, sehingga potensial di setiap tempat pada permukaan *geoid* tersebut adalah sama. Secara praktis, *geoid* didefinisikan sebagai bidang permukaan laut rata-rata yang tidak terganggu gaya apapun (Blakely, 1995).



Gambar 3. 6. Parameter yang menggambarkan perkiraan bentuk bumi (Blakely, 1995)

Berbeda dengan *ellipsoid* yang merupakan bidang lengkung teratur, *geoid* merupakan bidang lengkung yang bentuknya tak beraturan. Karena merupakan bidang ekipotensial gravitasi, permukaan *geoid* selalu tegak lurus terhadap arah gravitasi. Dalam survei topografi, arah gravitasi ini dijadikan pedoman guna mengatur alat ukur, yaitu sumbu pertama alat ukur (yang merupakan poros tempat berputarnya alat ke arah horizontal) harus dibuat sejajar dengan arah gravitasi tersebut, sehingga arah ini menjadi acuan bagi hasil pengukuran di lapangan. Hubungannya dengan survei gravitasi, ketiga macam bidang tersebut di atas (bidang permukaan bumi, *ellipsoid* referensi dan *geoid*) sangat erat kaitannya dalam pengolahan data hasil ukuran, khususnya dalam melakukan

reduksi data gravitasi dari permukaan bumi ke *geoid* dan perhitungan gravitasi normal di atas bidang *ellipsoid*.

Pada tahun 1930 *International Union of Geodesy and Geophysics* mengadopsi rumus (Nettleton, 1976) untuk nilai gaya berat teoritis (g_t) tetapi telah diganti oleh *Geodetic Reference System 1967* (GRS67) (Telford dkk, 1990) :

$$g_t = 978031.846(1 + 0.005278895 \sin^2 \theta + 0.000023462 \sin^4 \theta) \quad (3.24)$$

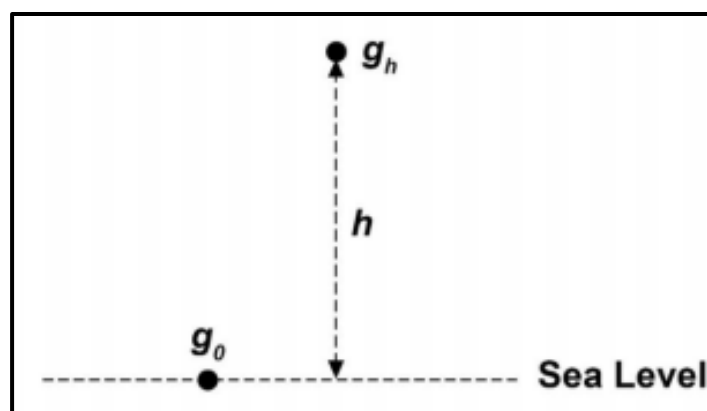
dengan,

g_t : Gaya berat normal pada lintang θ (mGal)

θ : Sudut lintang ($^\circ$)

3.4.4. Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Perubahan nilai gravitasi yang berbanding terbalik dengan kuadrat jarak yang membuat adanya koreksi mengenai perubahan elevasi antara masing-masing titik pengukuran untuk mereduksi pembacaan nilai gravitasi ke permukaan datum. Koreksi *free air correction* (FAC) tidak memperhitungkan massa antara titik pengukuran dan bidang datum (Telford dkk., 1990). Jadi pengukuran yang dilakukan di atas permukaan laut akan menyebabkan nilai g akan semakin kecil sehingga harus dilakukan koreksi terhadap pembacaan alat. Koreksi ini dilakukan untuk mendapatkan nilai pembacaan gravitasi absolut di titik observasi (**Gambar 3.7**)



Gambar 3. 7. Koreksi *Free Air Correction*(Reynolds, 1997)

Bentuk koreksi udara bebas dapat Diperoleh dengan menurunkan fungsi percepatan gravitasi terhadap jarak, sehingga didapatkan perbedaan nilai percepatan gravitasi per meter. Persamaan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{dg}{dr} = -Gmr^{-2} \quad (3.25)$$

$$\frac{dg}{dr} = -2Gmr^{-3} \quad (3.26)$$

$$\frac{dg}{dr} = \frac{2}{r} \frac{Gm}{r^2} \quad (3.27)$$

$$\frac{dg}{dr} = -\frac{2g}{r} \quad (3.28)$$

$$\text{free air correction} = \pm 0.3086 \times h \quad (3.29)$$

dengan,

G : Konstanta Gravitasi universal = $6.673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

M : Massa benda m (Kg)

h : Ketinggian titik amat pengukuran gravitasi dengan suatu datum

r : Jarak antar pusat massa benda (m)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

3.4.5. Koreksi *Bouguer*

Koreksi *Bouguer* memperhitungkan massa material yang ada diantara titik pengukuran dan bidang datum yang dibaikkan pada perhitungan koreksi FAC. Koreksi ini dilakukan dengan menghitung tarikan gravitasi yang disebabkan oleh batuan berupa *slab* dengan ketebalan H dan densitas rata-rata ρ (**Gambar 3.8**). Koreksi ini dapat dihitung dengan persamaan (Telford dkk., 1990) :

$$g_B = 2\pi G\rho h = 0.04192 \rho h \quad (3.30)$$

dengan,

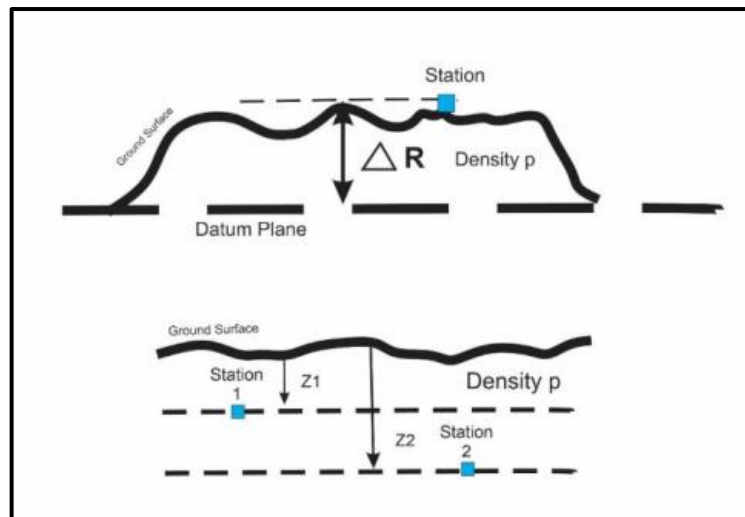
G : Konstanta gravitasi $6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ det}^{-3}$

ρ : Densitas batuan (gr/cm^3)

h : Ketinggian antara titik amat gravitasi dengan datum (m)

Penggunaan koreksi *Bouguer* ini tergantung pada letak titik pengukuran, jika titik pengukuran berada di atas bidang *geoid* maka koreksi akan dikurang. Hal ini disebabkan akibat kandungan massa di atas bidang *geoid* membuat nilai gravitasi titik pengukuran lebih besar dari nilai gravitasi di bidang *geoid*, sehingga untuk menarik titik pengukuran ke bidang *geoid* koreksi harus

dikurang dan juga sebaliknya jika titik pengukuran di bawah bidang *geoid* maka koreksi harus ditambah (Telford dkk., 1990).



Gambar 3. 8. Koreksi *Bouguer* (dimodifikasi dari Telford dkk, 1990)

3.4.6. Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Pada **Gambar 3.9** merupakan Koreksi medan yang dilakukan untuk mengoreksi adanya pengaruh dari penyebaran massa yang tidak teratur disekitar titik pengukuran. Bukit yang terletak di atas elevasi dari titik pengukuran gravitasi dapat menyebabkan gaya tarikan ke atas pada gravimeter sehingga bisa mengurangi nilai pembacaan gravitasi. sama halnya dengan adanya lembah yang terletak di sekitar titik pengukuran yang memiliki elevasi lebih rendah dari titik pengukuran gravitasi yang menyebabkan adanya gaya ke bawah yang hilang sehingga pegas pada gravimeter tertarik ke atas. Dalam koreksi *Bouguer* diasumsikan bahwa titik pengukuran di lapangan berada pada suatu bidang datar yang luar. Sedangkan seringkali kenyataan di lapangan memiliki topografi yang berundulasi seperti adanya bukit dan lembah. Maka dilakukan koreksi medan pada masing-masing titik pengukuran gravitasi (Telford dkk, 1990).

Besar koreksi medan dihitung oleh *Hammer chart* yang dirumuskan seperti pada persamaan berikut :

$$\text{koreksi medan} = G\rho\theta \left\{ (r_2 - r_1) + \sqrt{r_1^2 + L^2} - \sqrt{r_2^2 + L^2} \right\} \quad (3.31)$$

dengan,

G : Konstanta gravitasi $6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ det}^{-3}$

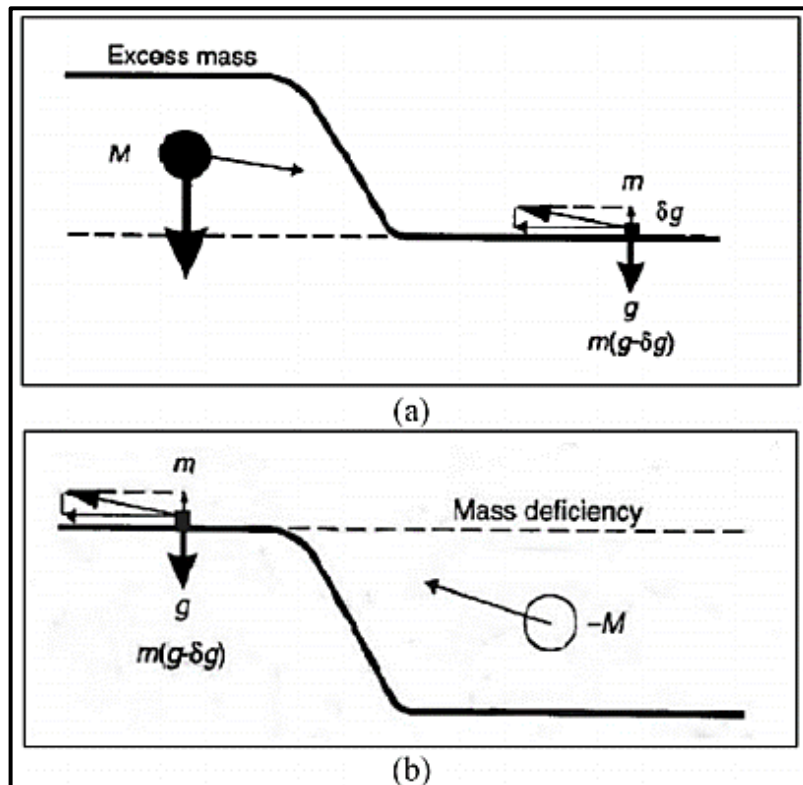
θ : Sudut Sektor (rad)

r_1 : Radius dalam (m)

r_2 : Radius luar (m)

ρ : Densitas batuan (gr/cm^3)

L : Perbedaan ketinggian rata-rata kompartemen dan titik pengukuran



Gambar 3. 9. (a) Stasiun yang berada dekat dengan gunung, (b) stasiun yang berada dekat dengan lembah (Reynolds, 1997)

3.5. Anomali Bouguer

Anomali *Bouguer* pada metode gaya berat disebabkan oleh benda anomali baik yang berada dekat dengan permukaan maupun yang jauh dari permukaan bumi. Karena tujuan eksplorasi pada umumnya mempelajari struktur yang dekat dengan permukaan, maka berbagai usaha telah dilakukan untuk memisahkan efek residual dari efek regional. Anomali *Bouguer* dapat bernilai positif atau negatif. Nilai anomali positif mengindikasikan adanya kontras densitas yang besar pada lapisan bawah permukaan, sedangkan anomali negatif menggambarkan perbedaan densitas

yang kecil. Setelah dilakukan koreksi terhadap data percepatan gaya berat hasil pengukuran maka akan Diperoleh persamaan anomali percepatan gaya berat (Blakely, 1995) yaitu :

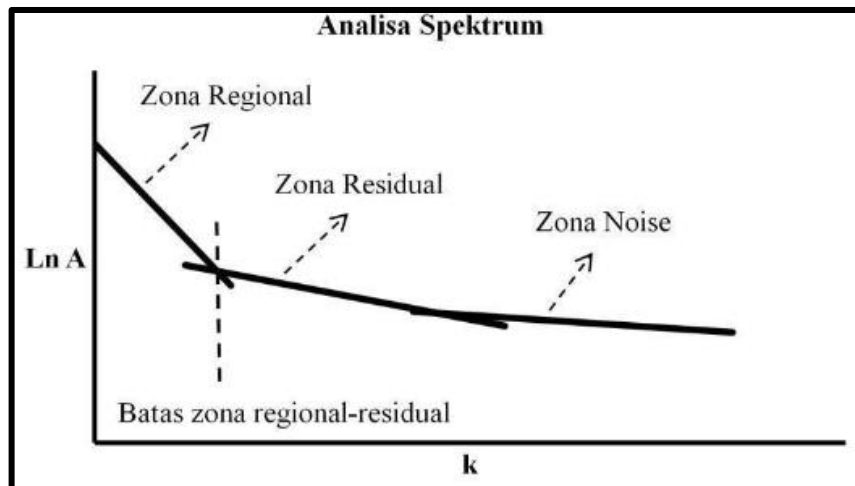
$$ABS = ((g_{obs} - g_{lintang}) + FAC) - \text{Koreksi Bouguer} \quad (3.32)$$

Anomali *Bouguer* lengkap dirumuskan sebagai berikut :

$$ABL = ABS - \text{Koreksi Medan} \quad (3.33)$$

3.6. Analisis Spektrum

Gambar 3.10 merupakan Analisis spektrum yang dimana 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 transformasi ini akan berupa spektrum amplitudo dan spektrum fasa sehingga dapat memperkirakan kedalaman dengan mengestimasi nilai bilangan gelombang (k) dan amplitudo (A) yang dapat digunakan untuk menghitung lebar jendela *filter* yang selanjutnya dijadikan sebagai input data dalam proses *filtering*, pemisahan anomali regional, dan anomali residual (Blakely, 1995).



Gambar 3. 10. Pola hasil dari transformasi dalam domain spasial yang digunakan dalam mengestimasi kedalaman (Sarkowi, 2011)

Melakukan estimasi suatu kedalaman sumber anomali dapat dihitung dengan mempertimbangkan suatu *Power Spectrum* (PS) suatu profil dari data gravitasi yang dimana sesuai dengan persamaan sebagai berikut (Hinze dkk., 2010) :

$$PS(k) = Ce^{-4\pi zk} \quad (3.34)$$

Dimana k merupakan *wavenumber* ($1/\lambda$, dimana λ merupakan panjang gelombang) dalam satuan *cycle/unit distance*. C merupakan salah satu konstanta yang meliputi dari parameter lapangan serta parameter gravitasi dan z merupakan rata-rata kedalaman. Persamaan tersebut mengasumsikan bahwa suatu besaran dan ketebalan dari sumber anomali diabaikan atau *power spectrum* yang diperoleh telah dikoreksi dari faktor-faktor tersebut. Dalam hal ini bahwa faktor yang sangat berpengaruh adalah jarak eksponensial dari sumber anomali. Pengaplikasian *natural logarithmic* pada kedua persamaan, maka diperoleh.

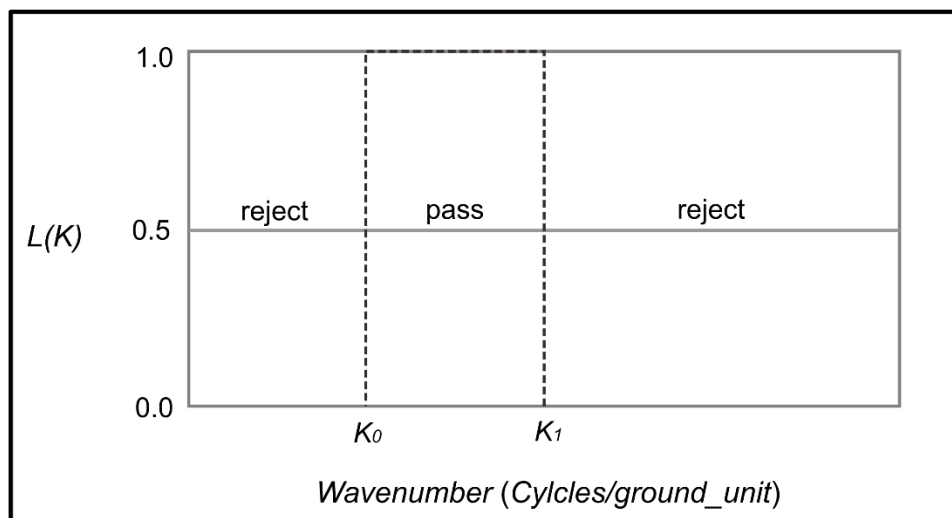
$$\ln [PS (k)] = \ln (C) - 4\pi z \quad (3.35)$$

dimana $\ln (C)$ merupakan garis singgung dengan sumbu Y dan $4\pi z$ merupakan kemiringan dari grafik lurus $\ln(PS)$ dengan k . Sehingga kedalaman rata-rata dari sumber anomali dapat dihitung dari *slope* menggunakan persamaan :

$$x(k) = \frac{|Slope|}{4\pi} \quad (3.36)$$

3.7. Pemisahan Anomali

Anomali Bouguer lengkap adalah distribusi anomali yang terdiri dari anomali regional dan residual. Pemisahan anomali yang akan dilakukan untuk membantu dalam interpretasi yang dilakukan dengan *Bandpass filter* yang dimana prinsip kerja dari *bandpass* dapat dilihat pada **gambar 3.11** berikut.



Gambar 3. 11. Prinsip Kerja *Bandpass Filter* (Oasis Montaj, 2020)

Bandpass filter merupakan salah satu pemisahan anomali yang fungsinya untuk membuang frekuensi-frekuensi atau bilangan gelombang (k) pada *range* yang tertentu dimana sesuai dengan kebutuhan saat pengolahan data. Proses *filter* ini

dilakukan untuk mentransformasikan data spasial ke data frekuensi dengan menggunakan Transformasi *Fourier* (Telford dkk., 1990). *Bandpass filter* ini meloloskan bilangan gelombang tertentu dan melakukan *inverse transformation* untuk menyusun kembali ke dalam domain spasial ke dalam panjang gelombang yang diloloskan. Saat bilangan gelombang (k) lebih panjang dari *cutoff* panjang gelombang panjang (k_1) dan lebih pendek dari *cutoff* panjang gelombang pendek (k_0) maka akan dihapuskan atau dihilangkan, dan ketika bilangan gelombang (k) lebih pendek dari *cutoff* panjang gelombang panjang (k_1) dan lebih panjang dari *cutoff* panjang gelombang pendek (k_0) maka akan diloloskan.

$$L(k) = 0, \text{ jika } k < k_0 \quad (3.37)$$

$$L(k) = 1, \text{ jika } k_0 < k < k_1 \quad (3.38)$$

$$L(k) = 1, \text{ jika } k > k_1 \quad (3.39)$$

dengan,

k : Bilangan gelombang dalam satuan (*cycles/ground_unit*)

k_0 : *Cut-off* bilangan gelombang pendek dalam satuan (*cycles/ground_unit*)

k_1 : *Cut-off* bilangan gelombang panjang dalam satuan (*cycles/ground_unit*)

3.8. Total Horizontal Derivative

Total Horizontal Derivative (THD) atau *Horizontal Gradient Magnitude* merupakan salah satu *Filter* yang digunakan untuk meningkatkan batas-batas dari sumber anomali (Cordell and Grouch, 1985). Diasumsikan sebagai struktur geologi berupa patahan atau perbedaan unit geologi (**Gambar 3.12**), memiliki satuan berupa mGal/m.

$$THD = \left[\left(\frac{dg}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dg}{dy} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.40)$$

dengan,

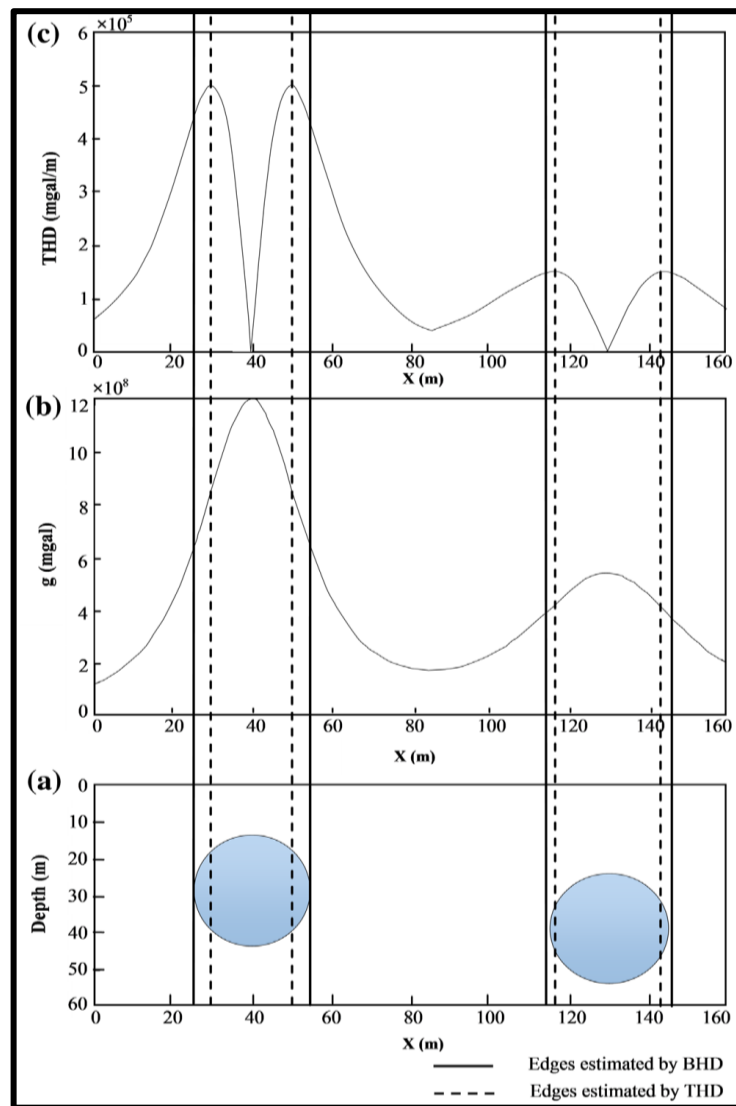
THD : *Total Horizontal Derivative* (mGal/m)

dx : Selisih jarak pada sumbu x di titik obyek (m)

dy : Selisih jarak pada sumbu y di titik obyek (m)

Dengan $\left(\frac{dg}{dx} \right)$ dan $\left(\frac{dg}{dy} \right)$ merupakan *horizontal derivative* dalam arah x dan y secara berurutan. THD menggunakan total dari *horizontal* dan *derivative* gravitasi

untuk melihat pengaruh perubahan nilai anomali pada batas suatu benda anomali secara *horizontal*.



Gambar 3. 12. Respon filter *Total Horizontal Derivative* pada anomali bawah permukaan a) model bawah permukaan; b) respon anomali Bouguer; c) respon nilai THD (Narayan dkk., 2017)

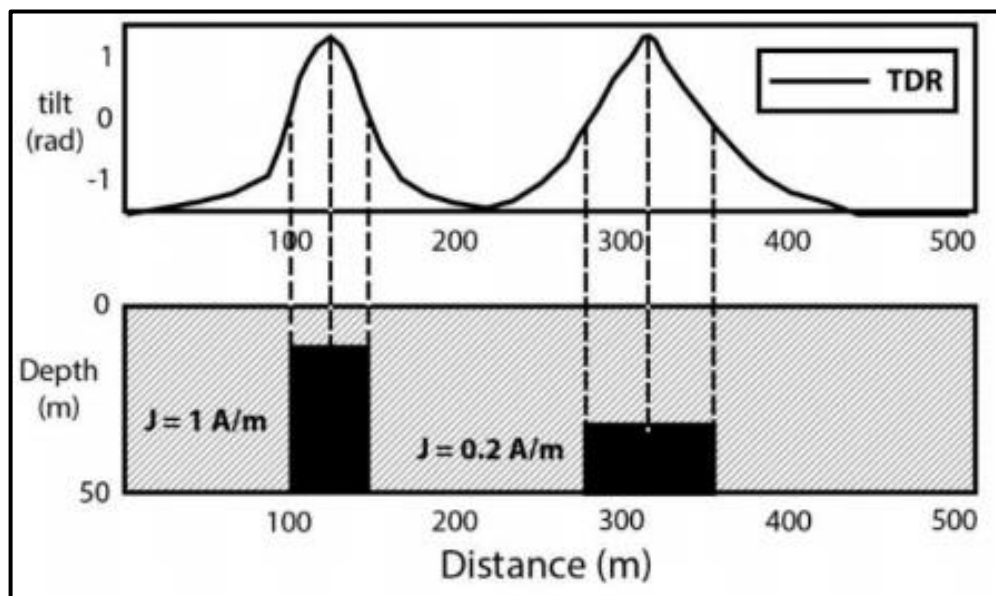
Gradien horizontal anomali gravitasi adalah perubahan nilai dari anomali gravitasi dari satu titik ke titik lainnya secara horizontal dengan jarak tertentu. Metode ini cenderung memperjelas pembacaan nilai anomali pada batas-batas tepian anomali bawah permukaan, seperti pada struktur patahan. Namun, karena metode ini hanya mempertimbangkan letak anomali pada bidang horizontal, pembacaan anomali secara vertikal dalam posisi yang lebih dalam akan sulit dibaca oleh *Filter* ini.

3.9. Tilt Derivative (TDR)

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk memperoleh batas anomali yang lebih dalam daripada *total horizontal derivative*. Salah satunya merupakan metode *tilt derivative* yang dikemukakan oleh (Miller & Singh, 1994; Stewart & Miller, 2018). *Tilt derivative* dapat dirumuskan sebagai berikut :

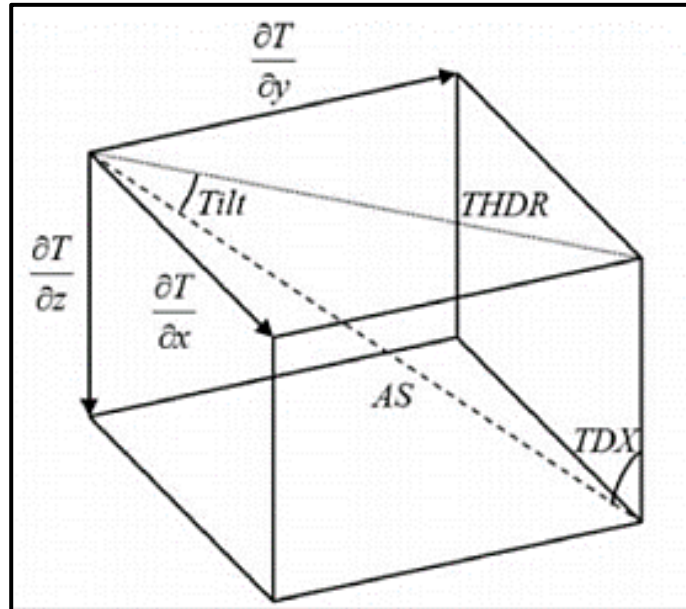
$$TDR = \tan^{-1} \frac{\frac{dg}{dz}}{\left[\left(\frac{dg}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dg}{dy} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (3.41)$$

Dengan $\frac{dg}{dz}$ merupakan *vertical derivative* (VDR) dan THD merupakan total dari *horizontal derivative*. TDR merupakan *ratio* perbandingan antara VDR terhadap THD.



Gambar 3.13. Respon filter *Tilt Derivative* pada anomali bawah permukaan (Arisoy & Dikmen, 2013)

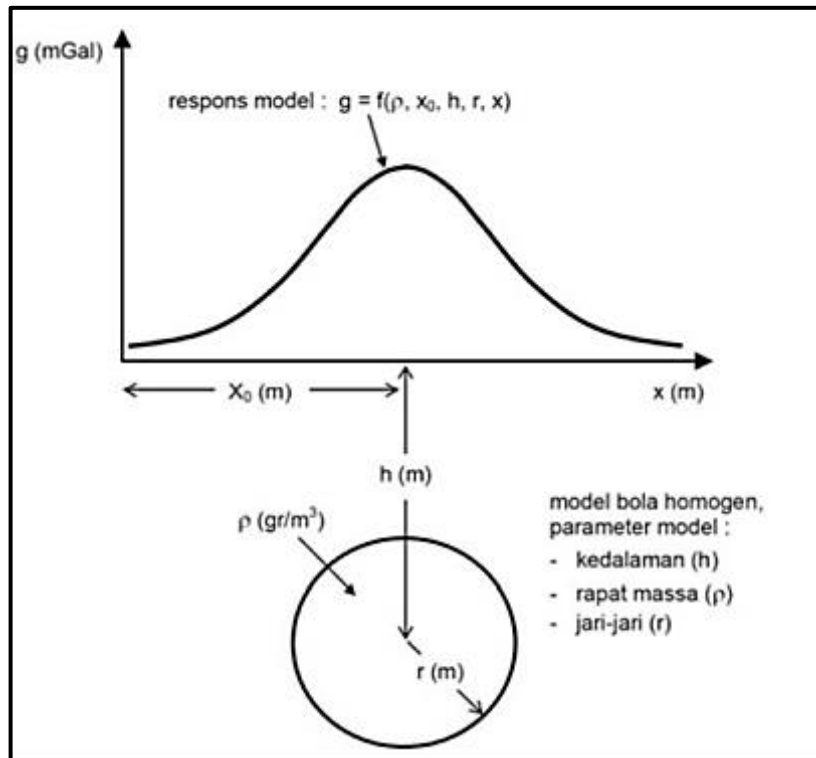
Tilt ini unggul dalam memperjelas data THD ke dalam sumbu Z sehingga anomali yang lebih dalam lebih bisa terwakilkan oleh metode ini. TDR ini bekerja layaknya *automatic gain control*. Yang Diperjelas bukan hanya batas-batas anomali saja, tapi juga badan dari anomali tersebut (**Gambar 3.13**). Nilai *tilt* terbatas dari $-\frac{\pi}{2}$ hingga $\frac{\pi}{2}$, hal ini karena pada persamaan TDR menggunakan \tan^{-1} . Contoh penggambaran *Filter* THD dan TDR dalam bidang 3 dimensi dapat dilihat pada **Gambar 3.14**.



Gambar 3. 14. THD dan TDR dalam bidang 3 dimensi (Arisoy & Dikmen, 2013)

3.10. Pemodelan Geofisika

Data hasil pengukuran geofisika di permukaan mewakili besaran fisis tertentu dari suatu objek yang ada di bawah permukaan. Sedangkan model dan parameter model digunakan untuk mengkarakterisasi suatu kondisi geologi bawah permukaan. Menurut Grandis (2009), pemodelan merupakan proses estimasi model dan parameter model berdasarkan data yang diamati di permukaan bumi. Hasil model digunakan untuk menyederhanakan suatu kondisi geologi bawah permukaan menjadi suatu bentuk yang sederhana suatu kondisi geologi bawah permukaan menjadi suatu bentuk yang sederhana sehingga memudahkan untuk menghitung respon model dengan pendekatan-pendekatan fisika. Pada metode gravitasi, respon model berupa percepatan gravitasi di permukaan bumi yang diakibatkan oleh suatu benda yang ada di bawah permukaan . Dan parameter model adalah parameter fisis yang berupa densitas yang diilustrasikan pada **Gambar 3.15**. Metode pemodelan gravitasi secara umum dibagi menjadi dua cara, yaitu pemodelan kedepan (*forward modelling*) dan pemodelan *inverse* (*inverse modelling*). Prinsip dari kedua pemodelan ini adalah meminimumkan selisih anomali perhitungan dengan anomali pengamatan, melalui metode kuadrat terkecil atau *least square*, teknik dari matematika tertentu baik secara *linear* maupun *non-linear* dan menerapkan suatu batasan-batasan untuk mengurangi ketidakpastian.



Gambar 3. 15. Ilustrasi hubungan antara model, parameter model, dan respon model dalam pemodelan anomali gravitasi (Grandis, 2009)

3.10.1. *Forward Modelling*

Forward modelling merupakan pemodelan yang dilakukan untuk memperoleh data teoritis di lapangan dari nilai parameter model bawah permukaan tertentu. Konsep tersebut digunakan untuk menginterpretasi atau menafsirkan data geofisika. Jika suatu model cocok dengan data, maka model yang digunakan untuk memperoleh respon tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan tempat data diukur. Untuk dilakukan proses *trial and error* nilai parameter model hingga Diperoleh data teoritis yang cocok dengan data pengamatan. Menurut Talwani (1959), bahwa *forward modelling* dalam menghitung efek gravitasi model benda dari bawah permukaan dengan penampang yang berbentuk sembarang yang dapat diwakili oleh suatu poligon yang berisi n yang dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi poligon. Secara teoritis, *forward modelling* ini diturunkan dari persamaan Talwani (1959) :

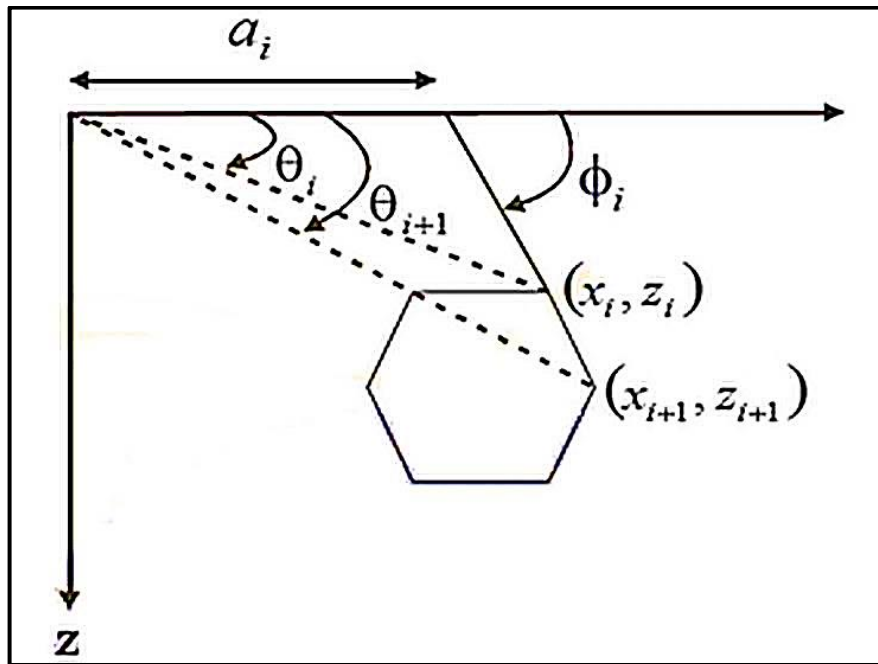
$$g_z = 2 G \rho \oint z d\theta \quad (3.42)$$

Integral pada garis tersebut tertutup dapat pula dinyatakan sebagai jumlah garis dari tiap sisinya, sehingga persamaan *Bouguer correction* = $0.04191\rho h$ dapat dituliskan sebagai berikut.

$$g_z = 2G\rho \sum_{i=1}^n g_i \quad (3.43)$$

Model benda anomali sembarang oleh Talwani didekati dengan poligon-poligon dimana sistem koordinat kartesian yang digambarkan seperti di bawah. Untuk benda poligon sederhana seperti pada **gambar 3.16**. Dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut

$$g_i = \int_b^c \frac{a_i \tan \theta_i}{\tan \theta_i - \tan \theta} d\theta \quad (3.44)$$



Gambar 3. 16. Efek gaya berat (gravitasi) poligon menurut Talwani (Talwani dkk., 1959)

Sehingga dapat diperoleh nilai g_i ,

$$g_i = a_i \sin \phi_i \cos \phi_i \left\{ (\theta_i + \theta_{i+1}) \ln \left(\frac{\cos \theta_i (\tan \theta_i - \tan \phi_i)}{\cos \theta_{i+1} (\tan \theta_i - \tan \phi_i)} \right) \right\} \quad (3.45)$$

dengan,

$$a_i = x_{i+1} - z_{i+1} \cot \phi_i = x_{i+1} - z_{i+1} \left(\frac{x_{i+1} + x_i}{z_{i+1} - z_i} \right) \quad (3.44)$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{z_i}{x_i} \right) \quad (3.46)$$

$$\theta_{i+1} = \tan^{-1} \left(\frac{z_{i+1} + z_i}{x_{i+1} - x_i} \right) \quad (3.47)$$

Untuk keperluan proses komputasi, persamaan 3.44 dapat ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana, dengan mensubstitusikan harga-harga sin, cos, dan tan dengan koordinat titik poligon dalam x dan z sebagai berikut.

$$z_i = \frac{a_i c}{c^2 + 1} \left\{ \theta_i - \theta_i + \frac{1}{2} c \left(\frac{x_{i+1}^2 - z_{i+1}^2}{x_i^2 - z_i^2} \right) \right\} \quad (3.48)$$

Persamaan 3.48 dijadikan sebagai dasar perhitungan model dari bawah permukaan yang berbentuk perangkat lunak (*Software*). Dalam pemodelan dilakukan menggunakan *Software GM-SYS Oasis Montaj*.

3.10.2. Inverse Modelling

Pemodelan inversi merupakan kebalikan atau berlawanan dengan *forward modelling*. Pada tahapan pemodelan inversi ini, pertama dilakukan dengan analisa terhadap data hasil suatu pengukuran di lapangan dengan cara melakukan *curve fitting* antara model teoritis dan data lapangan (Grandis, 2009). Proses dari inversi ini bertujuan untuk mengestimasi suatu parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya. Suatu pemodelan inversi adalah salah satu proporsi yang sederhana bagi seorang ahli interpretasi, dalam beberapa kasus bahwa proses interpretasi mengalami kesulitan dalam menganalisa. Namun, dari keterbatasan matematis dari algoritma inversi dan fenomena dari geofisika yang tidak unik bergabung untuk menghasilkan banyak model yang mungkin memiliki kesesuaian data. Hasil dari *inverse modelling* adalah salah satu dari jumlah kemungkinan yang terbatas. *Forward modelling* mungkin lebih lambat dan membutuhkan suatu kemampuan dalam menggambarkan model bawah permukaan, namun proses tersebut yang memberikan pemahaman yang lebih baik bagi *interpreter* mengenai suatu data dan bawah permukaan (*subsurface*) (Dentith & Mudge, 2014).

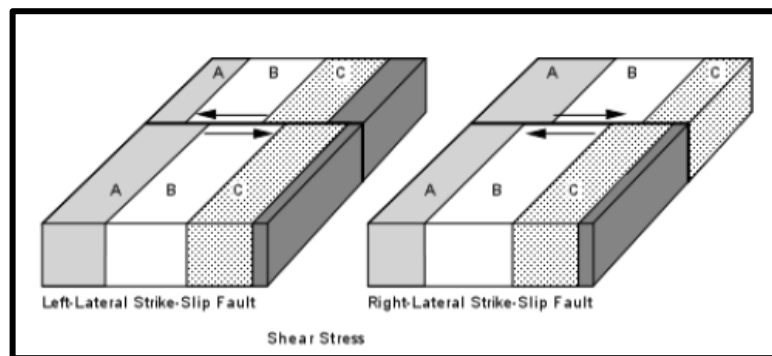
3.11. Struktur Patahan

Patahan merupakan salah satu struktur yang sudah mengalami pergeseran atau perubahan yang signifikan akibat pengaruh tektonik (Noor, 2009). Patahan disebabkan oleh batuan yang mengalami retakan terlebih dahulu yang kejadian ini berkaitan erat dengan tekanan dan kekuatan batuan yang mendapatkan gaya sehingga timbul adanya retakan (*fracture*), umumnya patahan disertai oleh struktur lain seperti lipatan dan rekahan.

Patahan juga salah satu bentuk rekahan pada suatu lapisan bumi yang menyebabkan satu blok batuan bergerak relatif terhadap blok lain. Pergerakan ini bisa dikatakan relatif turun, naik atau bergerak relatif mendatar terhadap blok lain. Berdasarkan dari pergerakan atau pergeseran suatu patahan, maka struktur patahan dalam geologi dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu:

a. Patahan mendatar (*Strike-Slip Fault*)

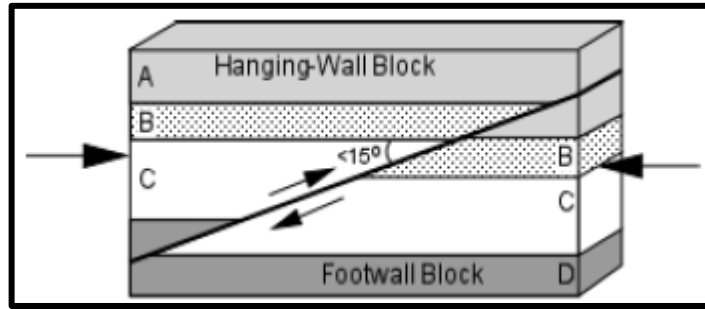
Strike-slip fault merupakan sesar yang arah pergerakannya sejajar yang dimana blok bagian kiri relatif bergeser ke arah yang berlawanan dengan blok bagian kanannya. Berdasarkan arah pergerakannya, patahan mendatar dapat dibagi menjadi 2 jenis patahan yaitu Patahan mendatar mengangan (*right-lateral strike-slip fault*) dan patahan mendatar mengiri (*left-lateral strike-slip fault*) yang dapat dilihat pada **gambar 3.17**.



Gambar 3.17. *Strike-Slip fault* yang relatif bergerak berarah horizontal mengikuti arah patahan (Noor, 2009)

b. Patahan Naik (*Thrust Fault*)

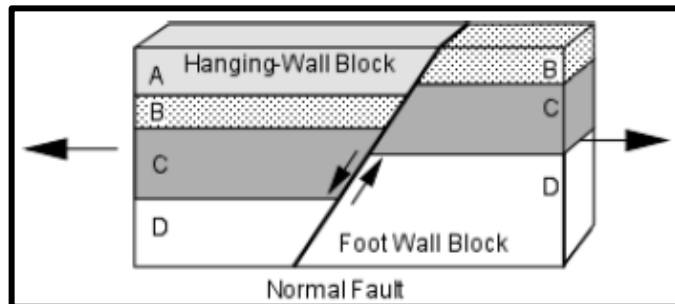
Patahan naik merupakan patahan *reverse fault* yang satu blok bergeser ke arah atas dan blok bagian lainnya bergeser ke arah bawah disepanjang bidang patahannya. Pada umumnya bidang patahan naik mempunyai kemiringan lebih kecil dari 15°. Pada **gambar 3.18** dapat dilihat bahwa *hanging wall block* berpindah relatif ke arah atas terhadap *footwall block* yang dimana Patahan ini disebabkan oleh gaya kompresi horizontal pada batuan yang bersifat retas



Gambar 3. 18. *Thrust fault* yang bidang patahannya mempunyai kemiringan kurang dari 15° (Noor, 2009)

c. Patahan Turun (*Normal Fault*)

Normal fault merupakan patahan yang terjadi akibat dari gaya *tension* atau *release* pada batuan yang bersifat retas dan dimana patahan ini secara umum terjadi akibat dari hilangnya pengaruh gaya sehingga batuan menuju ke posisi yang seimbang. Pada **gambar 3.19** dapat dilihat bahwa *hanging wall block* telah mengalami perubahan pergeseran yang relatif ke arah bagian bawah terhadap *footwall block*



Gambar 3. 19. Blok Patahan Normal (*Normal Fault block*) (Noor, 2009)

3.12. Densitas Batuan

Parameter penting yang diperlukan dalam eksplorasi metode gravitasi adalah suatu densitas batuan (ρ). Dalam koreksi medan dan *Bouguer*, parameter ini harus ditentukan dengan terlebih dahulu agar nilai koreksi yang dimaksud dapat diperoleh. Penentuan rapat massa, dapat ditentukan melalui data bor, gelombang seismik, dan analisis laboratorium (Telford dkk., 1990). Cara yang paling umum digunakan adalah dengan analisis laboratorium. Namun sampel yang digunakan harus benar-benar bagus (tidak lapuk) agar berkorelasi baik dengan keadaan lapangan yang sebenarnya. Secara fisika, nilai densitas dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti massa butir pembentuk, porositas, kandungan fluida, serta proses kompaksi akibat tekanan yang dialami batuan. Dalam penelitian kali ini, nilai

densitas yang digunakan berdasarkan pendekatan yang mengacu kepada tabel densitas yang dikeluarkan oleh (Telford dkk., 1990) yaitu pada **Tabel 3.1.** penentuan nilai densitas bawah permukaan menurut Telford dkk., (1990) ada beberapa cara yaitu :

1. Pengukuran batuan bawah permukaan
2. Pengukuran *borehole gravimeter*
3. Metode *Nettleton*
4. Metode *Parasnis*

Tabel 3. 1. Nilai rapat massa beberapa batuan (Telford dkk., 1990)

Jenis Batuan	Rentang Densitas (g/cc)	Densitas Rata-Rata (g/cc)
<i>Sediments (wet)</i>		
<i>Overburden</i>		1.92
<i>Soil</i>	1.20 - 2.40	1.92
<i>Clay</i>	1.63 – 2.60	2.21
<i>Gravel</i>	1.7 – 2.40	2.00
<i>Sand</i>	1.7 - 2.30	2.00
<i>Sandstone</i>	1.61 – 2.76	2.35
<i>Shale</i>	1.77 – 3.20	2.40
<i>Limestone</i>	1.93 – 2.90	2.55
<i>Dolomite</i>	1.93 – 2.90	2.70
<i>Sedimentary rocks</i>		2.50
<i>Igneous Rocks</i>		
<i>Rhyolite</i>	2.35 – 2.70	2.52
<i>Andesite</i>	2.40 – 2.80	2.61
<i>Granite</i>	2.50 – 2.81	2.64
<i>Granodiorite</i>	2.67 – 2.79	2.73
<i>Porphyry</i>	2.60 – 2.89	2.74
<i>Quartz Diorite</i>	2.62 – 2.96	2.79
<i>Diorite</i>	2.72 – 2.99	2.85
<i>Lavas</i>	2.80 – 3.00	2.85
<i>Diabase</i>	2.50 – 3.20	2.91

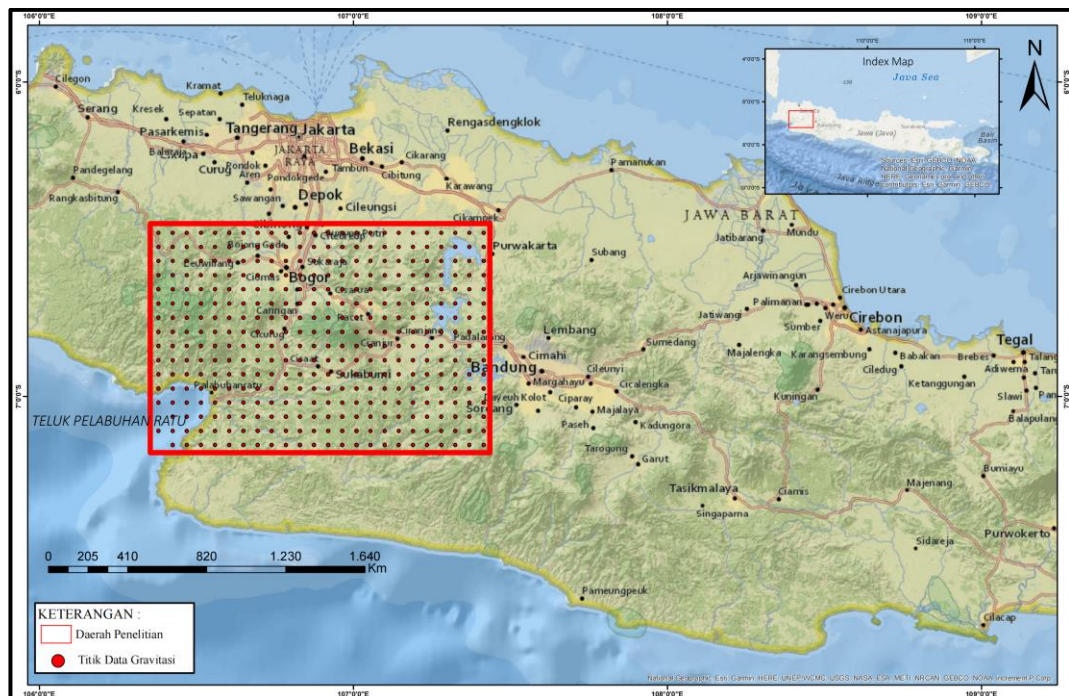
<i>Basalt</i>	2.70 – 3.30	2.99
<i>Gabbro</i>	2.70 – 3.50	3.03
<i>Peridotite</i>	2.78 – 3.37	3.15
<i>Acid Igneous</i>	2.30 – 3.11	2.61
<i>Basic Igneous</i>	2.09 – 3.17	2.79
<i>Methamorphic Rocks</i>		
<i>Quartzite</i>	2.50 – 2.70	2.60
<i>Schists</i>	2.39 – 2.90	2.64
<i>Graywacke</i>	2.60 – 2.70	2.65
<i>Marble</i>	2.60 – 2.90	2.75
<i>Serpentine</i>	2.40 – 3.10	2.78
<i>Slate</i>	2.70 – 2.90	2.79
<i>Gneiss</i>	2.59 – 3.00	2.80
<i>Amphibolite</i>	2.90 – 3.04	2.96
<i>Eclogite</i>	3.20 – 3.54	3.37
<i>Metamorphic</i>	2.40 – 3.10	2.74

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Lokasi Daerah Penelitian

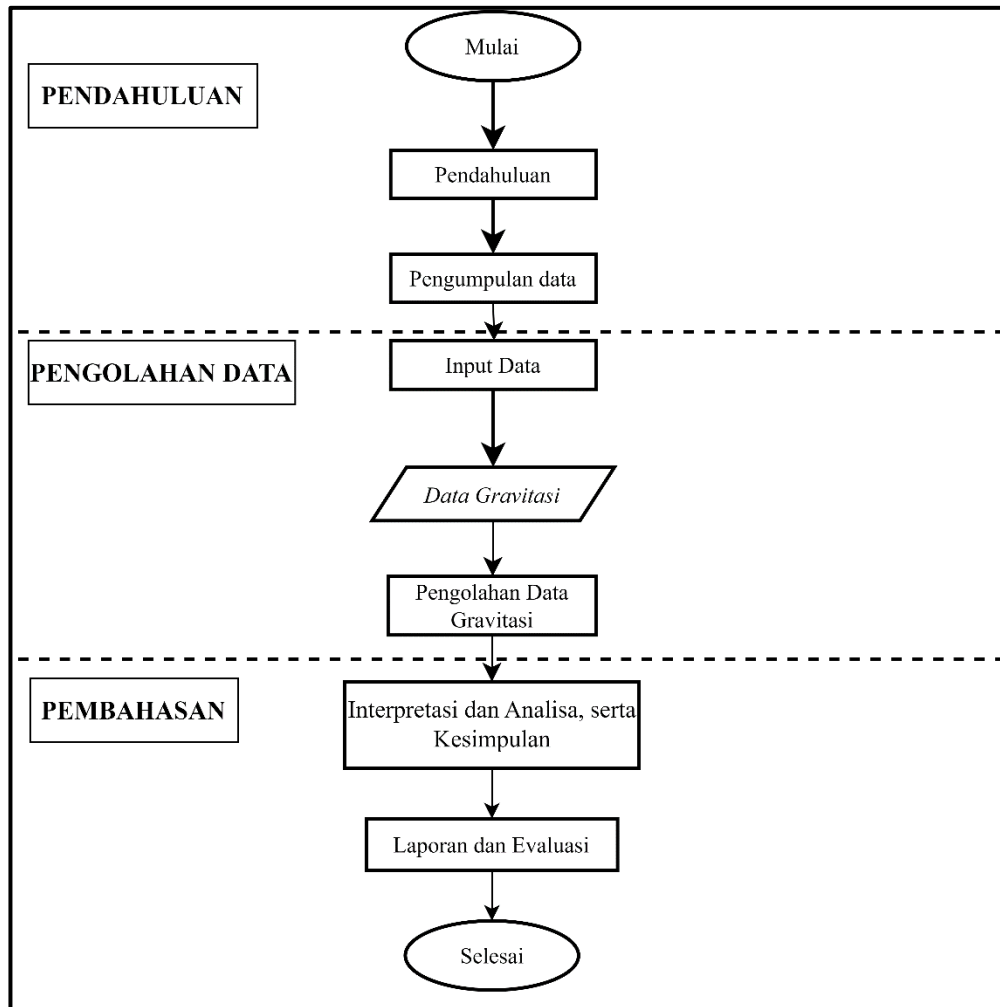
Pada **Gambar 4.1**, merupakan Lokasi Penelitian yang terletak di daerah Jawa Barat dan sekitarnya yang dimana terdapat 4 kabupaten yang menjadi daerah penelitian diantaranya kabupaten Sukabumi, Cianjur, dan Bogor, dan Bandung Barat. Kavling daerah penelitian membentang dari 767101,1973X; 6524.00.8255X dan 9283527.284Y; 9208415.905Y dalam koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) pada zona UTM 48'S. Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data gravitasi. Titik data gravitasi pada penelitian sebanyak 382 titik yang tersebar dengan luas kavling 115 km x 75 km.



Gambar 4.1. Lokasi Daerah Penelitian di Jawa Barat

4.2. Sistematika Penelitian

Dalam sistematika pada penelitian yang akan dilakukan maka penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu pendahuluan, pengolahan, dan pembahasan yang dimana akan dijabarkan melalui diagram alir sistematika penelitian berikut.



Gambar 4. 2. Sistematika Penelitian

Dari **gambar 4.2**, maka dapat dijelaskan sistematika penelitian yang menunjukkan tahapan yang dilakukan adalah studi pendahuluan, tahapan pengolahan data serta analisa pembahasan.

Tahapan pendahuluan, pada penelitian ini akan melakukan peninjauan pustaka mengenai kondisi geologi regional daerah penelitian serta analisa melalui data metode gravitasi. Pada tahapan pendahuluan ini akan dilakukan beberapa kajian dari beberapa publikasi, riset yang sudah dipublikasikan atau belum dipublikasikan pada daerah penelitian serta buku yang menjadi dasar referensi penelitian. Dalam hal ini bertujuan untuk memperoleh gambaran mengenai daerah penelitian serta memudahkan dalam analisis suatu hasil yang diperoleh menggunakan metode gravitasi.

Tahapan Pengolahan, pada penelitian yang akan dilakukan melalui pengolahan data gravitasi yang sudah tersedia. Pengolahan data tersebut akan mengikuti skema

penelitian yang berupa peta yang sudah dilakukan melalui analisa kedalaman dan pemisahan anomali serta melakukan analisa derivatif dengan menggunakan *filter* dan melakukan pemodelan 2.5D untuk membantu analisis pada daerah penelitian

Tahapan pembahasan, pada penelitian ini adalah hasil dari pengolahan data yang nantinya akan dilanjutkan dengan melakukan interpretasi terhadap hasil yang sudah dilakukan. Data tersebut akan dianalisis dan diinterpretasi yang kemudian akan menghasilkan beberapa kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah pada daerah penelitian dan selanjutnya setelah tahapan selesai maka akan menyusun pembuatan laporan hasil akhir dari penelitian.

4.3. Ketersediaan data

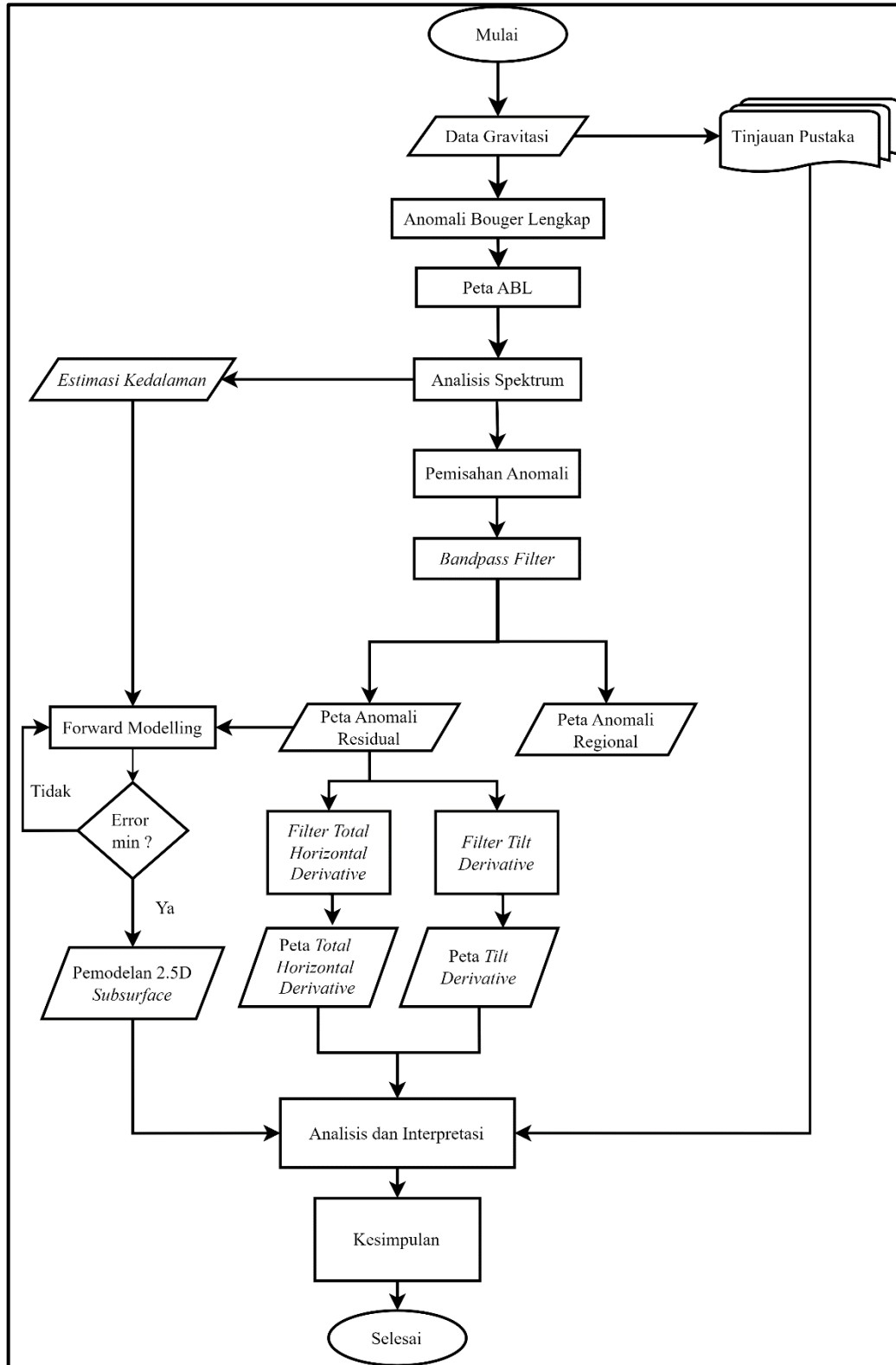
Pada **Tabel 4.1**, dapat dilihat bahwa pada penelitian ini, menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Pusat Survei Geologi yang tersedia data gravitasi dalam bentuk *excel* dengan data *longitude, latitude* (dikonversikan kedalam UTM'48S), dan nilai Anomali Bouguer Lengkap yang dimana data gravitasi ini berjumlah 382 titik gravitasi dan juga terdapat peta geologi dengan jumlah empat lembar peta geologi daerah Jampang & Balekambang, Sindangbarang dan Bandarwaru, Cianjur, Sukabumi dan Juga Bogor karena daerah penelitian termasuk kedalam peta lembar geologi tersebut. Data Gravitasi dilakukan dengan menggrid data dan digabungkan dengan data gravitasi pengukuran langsung tahun 2023 di daerah Sukabumi dan sekitarnya.

Tabel 4. 1. Ketersediaan data dalam penelitian

Data Sekunder	
Data Gravitasi	Data Geologi
Longitude, Latitude, ABL	Tinjauan Geologi Daerah Penelitian dan Penelitian terdahulu

4.4. Sistematika Pengolahan Data

Pada penelitian yang akan dilakukan terdapat tahapan pengolahan data, dimana tahapan pengolahan data tersebut dapat dijelaskan secara detail sebagai berikut:



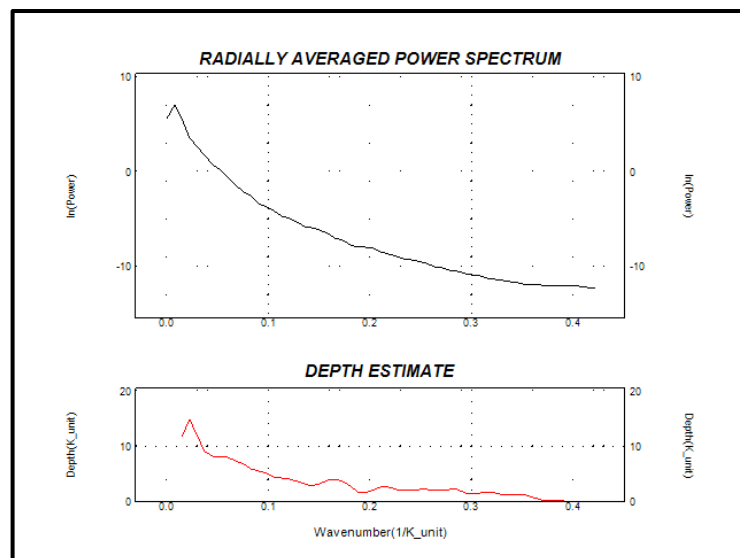
Gambar 4. 3. Diagram alir pengolahan data

1. Data Gravitasi

Data gravitasi merupakan data sekunder yang diperoleh dari Pusat Survei Geologi yang tersedia data gravitasi dalam bentuk *excel* dengan data *longitude*, *latitude* (dikonversikan ke dalam UTM'48S), dan nilai Anomali Bouguer Lengkap yang dimana data gravitasi ini berjumlah 382 titik gravitasi. Data anomali Bouguer lengkap ini akan dijadikan peta Anomali Bouguer Lengkap menggunakan *software Geosoft oasis montaj* dan akan dilanjutkan dengan pengolahan berikutnya.

2. Analisis Spektrum

Pada penelitian ini dilakukan analisis spektrum untuk mengestimasi kedalaman zona target penelitian. Proses analisa spektrum menggunakan teknik FFT 2D atau *Radially Average Power Spectrum* yang nantinya akan diolah melalui *oasis montaj* yang akan memperoleh grafik *Power Spectrum* dan *Wavenumber (k)* seperti yang ditunjukkan pada **gambar 4.4**, setelah itu akan diimport ke *excel* untuk menentukan batas-batas zona regional dan residual dan juga estimasi kedalaman.

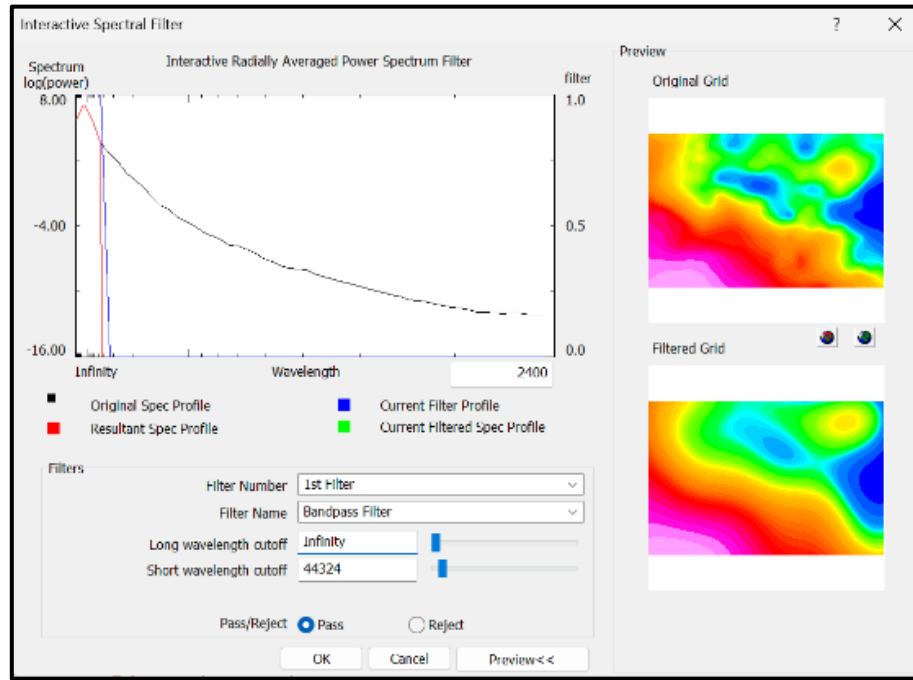


Gambar 4. 4. Hasil *Radially Average Power Spectrum* melalui *Software Oasis Montaj*

3. Pemisahan Anomali

Pada penelitian ini digunakan pemisahan anomali, dimana setelah memperoleh nilai anomali Bouguer lengkap maka akan dilakukan pemisahan anomali regional dan residual dengan menggunakan *filter bandpass*. *Filter bandpass* menampilkan proses pemotongan panjang

gelombang yang diloloskan dalam *range* tertentu. Pengolahan *bandpass filter* ini akan diolah melalui *software Geosoft oasis montaj* dengan *long wavelength cutoff* dan *short wavelength cutoff* tertentu yang menghasilkan anomali regional dan residual seperti pada **gambar 4.5** berikut.



Gambar 4. 5. Tampilan *Bandpass Filtering* menggunakan *Oasis montaj*

4. Analisa *Derivative*

Pada penelitian ini setelah memperoleh nilai anomali residual yang akan dijadikan *basemap* maka dilanjutkan dengan analisa derivatif atau penajaman anomali dengan menggunakan *filter Tilt Derivative* dan *Total Horizontal Derivative*. Analisa derivatif ini akan dianalisis dengan menggunakan grafik perbandingan antara anomali lokal dan juga *Tilt derivative* serta *Total Horizontal Derivative* melalui sayatan yang sudah ditentukan untuk menentukan batas-batas struktur patahan yang akan menjadi target dalam penelitian serta juga mempermudah interpretasi nantinya untuk pemodelan 2.5D

5. Pemodelan 2.5D

Pada penelitian ini juga akan menghasilkan model bawah permukaan dalam bentuk model 2.5D yang dimana pemodelan bersifat *forward modelling* yang diolah melalui *Geosoft oasis montaj* dengan fitur *Modeling*

GM-SYS. Pemodelan ini dilakukan dengan menginput data jarak dan data *Bouguer anomaly* berdasarkan sayatan yang sudah ditentukan untuk memperoleh gambaran bawah permukaan yang akan dianalisis juga berdasarkan tinjauan geologi daerah penelitian.

6. Analisis dan Interpretasi

Dalam analisis dan interpretasi yang dilakukan pada penelitian ini ada dua yaitu Interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi secara kuantitatif digunakan beberapa teknis seperti membuat analisa spektrum dengan teknik *Radially Average Power Spectrum* (RAPS) untuk menentukan kedalaman sumber anomali regional dan residual. Melakukan analisa grafik anomali lokal vs *Total Horizontal Derivative* (THD) dan *Tilt Derivative* (TDR) yang menunjukkan nilai kontras densitas batuan serta melakukan plot pada grafik untuk melakukan analisis posisi struktur patahan di daerah penelitian. Interpretasi secara kualitatif dilakukan dengan mengamati data gravitasi melalui anomali regional dan residual dari sebaran percepatan gravitasi yang ada pada daerah penelitian serta juga anomali yang sudah dilakukan beberapa filter dengan hasil berupa peta. kemudian variasi anomali gravitasi yang diperoleh dikaitkan dengan kondisi bawah permukaan daerah penelitian melalui kondisi geologi daerah penelitian. Interpretasi kualitatif juga dilakukan melalui pemodelan 2,5 Dimensi terkait formasi geologi dan struktur patahan yang berkembang di area penelitian.

4.5. Software

1. Excel 2016

Dari penelitian ini *software* berguna untuk melakukan pengolahan untuk membuat grafik analisa spektrum serta analisa grafik *Derivative*

2. Geosoft Oasis Montaj Versi 9.10

Dalam penelitian fungsi dari *software* ini digunakan untuk proses pengolahan data gravitasi yang dilakukan berupa *input data*, *gridding data*, pembuatan peta berdasarkan data, dan *filtering* dan pembuatan model 2.5D yang sudah dengan sayatan serta analisa kedalaman dengan teknik FFT 2D atau *Radially Average Power Spectrum* (RAPS). Hasil yang akan diperoleh

dari *software* ini adalah untuk menunjukkan hasil akhir yang nantinya akan membantu dalam analisis pada penelitian yang dimana akan memperlihatkan struktur bawah permukaan yang ada pada daerah penelitian

3. *Global Mapper* Versi 18.1

Pada penelitian ini Fungsi dari *software* berguna untuk melakukan digitasi peta dan juga informasi lainnya yang berguna untuk melakukan proses analisis penelitian

4. *ArcGis* Versi 10.8 atau *QGIS* Versi 3.10

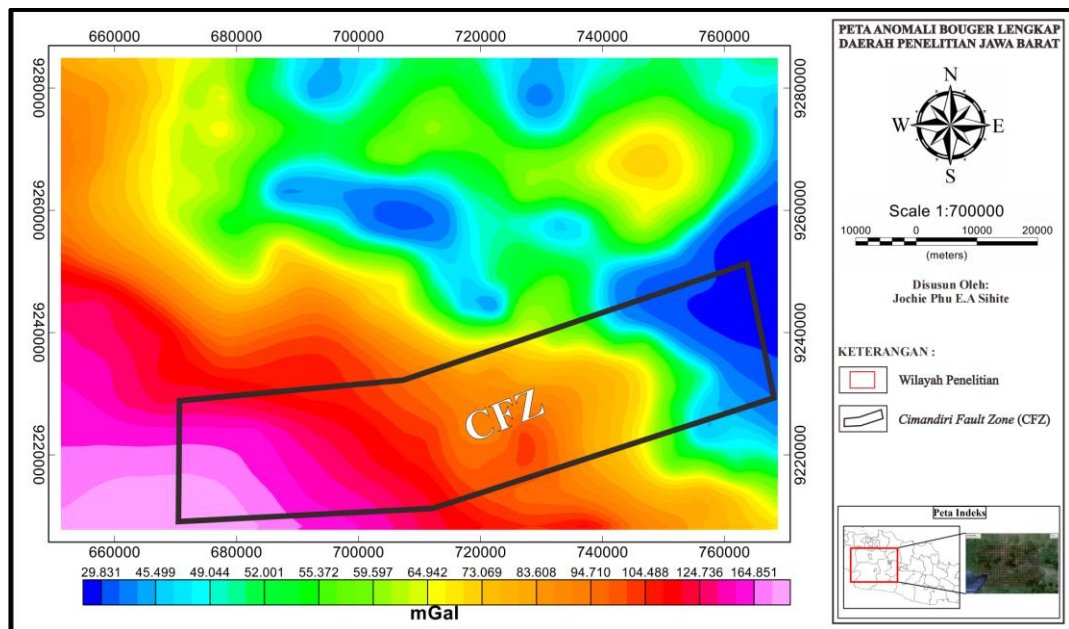
Software Arcgis dan *Qgis* pada penelitian ini berfungsi untuk pembuatan peta dan digitasi dan *overlay* dan juga informasi lainnya berguna untuk melakukan proses analisis penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Anomali Bouguer Lengkap

Anomali Bouguer Lengkap adalah nilai percepatan gravitasi yang diakibatkan oleh benda atau anomali yang berada di bawah permukaan, nilai Anomali Bouguer Lengkap ini secara teoritis diperoleh dari pengurangan nilai gravitasi observasi dengan gravitasi teoritis serta penambahan dari nilai pengaruh medan yang ada pada daerah penelitian. Anomali Bouguer lengkap masih terdiri dari anomali yang bersifat regional dan lokal, Pada **gambar 5.1** merupakan peta Anomali Bouguer lengkap yang dihasilkan menggunakan *software Geosoft Oasis Montaj* dibuat dengan skala 1:700000.



Gambar 5. 1. Sebaran percepatan gravitasi pada anomali Bouguer lengkap

Pada daerah penelitian menunjukkan nilai anomali gravitasi antara 26.831 hingga 164.851 mGal. Nilai anomali 26.831 mGal mendominasi ke daerah Timur dan nilai 164.851 mGal mendominasi di daerah Barat Daya dan Selatan. Nilai tersebut merupakan respon dari variasi rapat massa batuan yang ada di bawah permukaan pada daerah penelitian. Pada peta ini dapat dibagi menjadi 3 kelompok anomali yang menunjukkan suatu nilai anomali gravitasi yang berbeda-beda yang dimulai dari nilai anomali yang rendah, sedang, dan nilai anomali tinggi. Nilai

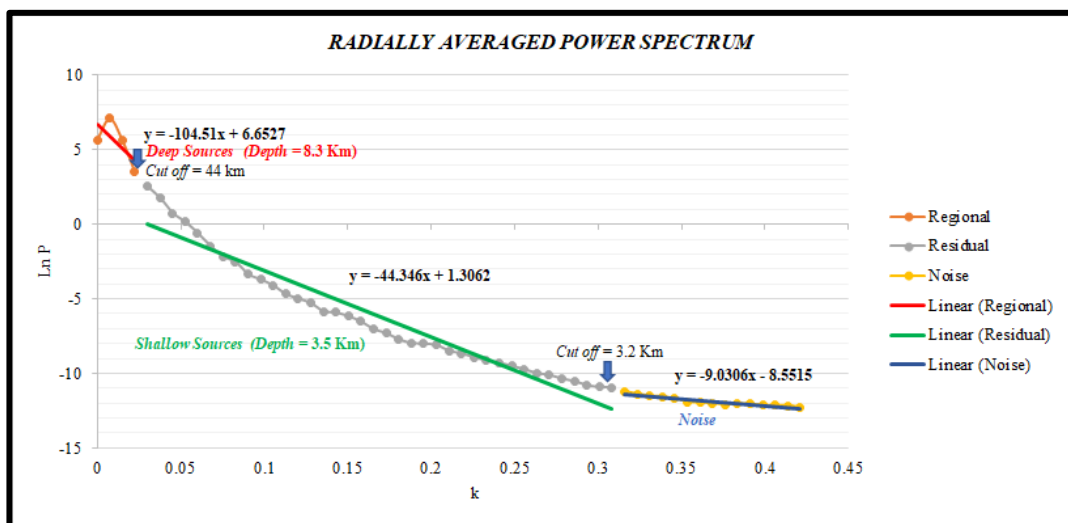
anomali yang tinggi ditunjukkan warna jingga hingga merah muda dengan rentang nilai 73.069 mGal hingga 164.851 mGal yang dominan berada pada bagian Selatan hingga Barat Daya. Nilai anomali sedang berada pada rentang nilai 64.992 mGal hingga 52.001 mGal ditunjukkan dengan warna hijau sampai dengan warna kuning muda yang dimana anomali ini tersebar pada daerah bagian Tenggara menuju Barat Laut. Nilai anomali rendah berada pada rentang nilai 49.044 mGal hingga 29.831 mGal dengan warna biru tua sampai dengan biru muda yang berada pada Timur peta hingga ke daerah Utara peta.

Anomali-anomali gravitasi yang bernilai tinggi pada daerah Barat Daya hingga Selatan peta merupakan batuan-batuan yang memiliki nilai densitas yang relatif lebih tinggi daripada batuan di sekitarnya yang diduga akibat keberadaan batuan ultrabasa di sekitar daerah Ciletuh, serta meningginya suatu Moho ke arah daerah tersebut. Meningginya suatu Moho (mantel atas) pada daerah Selatan dan Barat Daya diakibatkan oleh penipisan fragmen dari kerak benua dan juga terjadi akibat gaya kompresi *oblique* pada sekitar lajur penunjaman dari kerak Samudera Hindia yang terdapat pada sekitar Ciletuh. Kelompok anomali sedang pada daerah penelitian merupakan batuan yang memiliki nilai densitas yang relatif sedang daripada batuan yang ada di sekitarnya yang diduga sebagai pengaruh dari patahan yang dilalui sehingga mengakibatkan bagian Utara relatif turun yang berdasarkan literasi yang mengacu bahwa blok Utara membentuk cekungan yang tetapi seluruh cekungan kurang tersingkap ke permukaan karena tertutup oleh batuan gunungapi. Merendahnya suatu anomali ke bagian Timur diduga karena merendahnya Moho (mantel atas), sehingga batuan sedimen di daerah tersebut semakin menebal. Tinggian anomali pada bagian Timur peta, diduga akibat adanya batuan andesit yang memiliki rapat massa yang tinggi yang mengacu pada penelitian sebelumnya bahwa tinggian anomali tersebut berada pada sebelah Barat Waduk Jatiluhur dan Waduk Cirata (Subagio, 2013).

Variasi nilai anomali gravitasi pada daerah penelitian menunjukkan adanya berbagai variasi densitas batuan yang ada di bawah permukaan. Pada peta Anomali Bouguer lengkap masih tercampur akan anomali regional dan lokal sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut dengan metode pemisahan anomali untuk memisahkan anomali-anomali tersebut.

5.2. Analisa Kedalaman

Analisa kedalaman adalah salah satu analisis yang dilakukan untuk memperoleh nilai estimasi kedalaman dari suatu anomali yang ada di bawah permukaan. Analisis yang digunakan pada penelitian ini yaitu analisis spektrum. Analisa ini dilakukan dengan mentransformasikan data dari domain spasial ke domain frekuensi menggunakan proses *Fast Fourier Transform* (FFT) yang dimana pada penelitian ini dilakukan proses *Fast Fourier Transform* 2D (FFT-2D). Dalam melakukan analisa kedalaman dilakukan analisa spektrum dengan menggunakan *software Geosoft Oasis Montaj*. Pada penelitian ini dilakukan analisa kedalaman menggunakan *Radially Averaged Power Spectrum* (RAPS) yang dimana teknik ini dilakukan dengan memperhitungkan rata-rata secara radial dan estimasi kedalaman (*depth estimation*). Spektrum energi rata-rata secara radial merupakan fungsi dari suatu bilangan gelombang. Bilangan gelombang (k) merupakan suatu fungsi spasial suatu gelombang yang diukur dalam siklus per satuan jarak. Dan suatu kemiringan kurva spektrum daya rata-rata 2D secara radial berkaitan dengan suatu kedalaman anomali-anomali yang ada di bawah permukaan. Untuk mengetahui batas dari zona kedalaman anomali regional (*deep sources*) dan residual (*shallow sources*) dihitung melalui persamaan *trend anomali* yang ditarik berdasarkan grafik spektrum yang dihasilkan yang kita ketahui bahwa nilai kemiringan pada *log power spectrum* ($\ln P$) terhadap k (*wavenumber*) yang merupakan batas bidang sumber kedalaman.



Gambar 5. 2. Analisa Kedalaman menggunakan *Radially Averaged Power Spectrum*

Gambar 5.2 menunjukkan grafik dari analisa spektrum berdasarkan *Radially Averaged Power Spectrum* (RAPS), dan diperoleh zona regional dan

residual beserta *noise*. Dalam analisa RAPS tersebut memiliki nilai gradien garis pada anomali regional sebesar -104.51 dan gradien garis pada anomali residual sebesar -44.346 yang dimana data gradien (*slope*) ini yang akan dijadikan sebagai acuan untuk estimasi kedalaman sumber anomali yang diperoleh dengan **persamaan 3.36**, serta pada garis regresi *linear* yang berwarna merah merupakan zona *deep sources* (regional) dengan nilai *cut off* 44 km dan zona *shallow sources* memiliki nilai *cut off* 3.2 km.

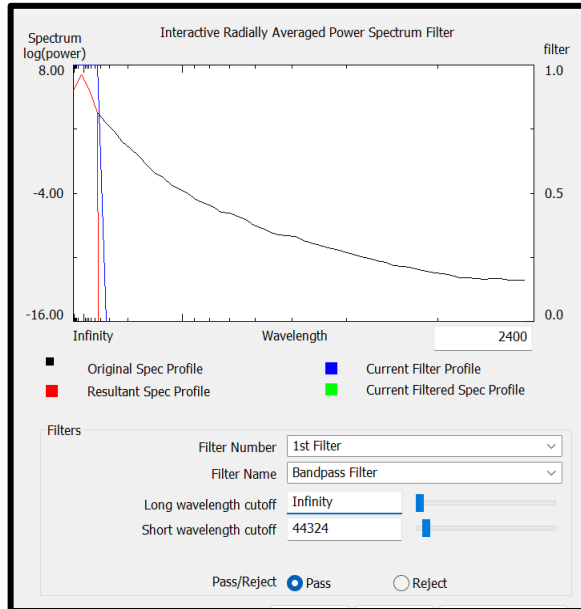
Tabel 5. 1. Hasil analisis estimasi kedalaman daerah penelitian

Estimasi Kedalaman (m)					
Regional		Residual		Noise	
<i>Slope</i>	<i>Depth</i>	<i>Slope</i>	<i>Depth</i>	<i>Slope</i>	<i>Depth</i>
-104.51	8316.6	-44.336	3528.9	-9.0306	718.6

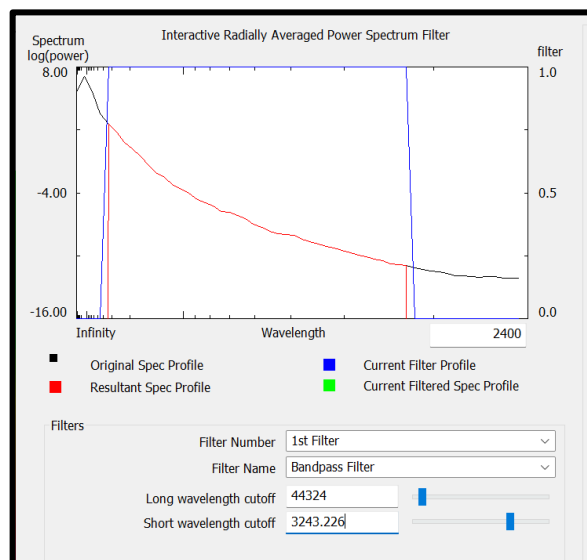
Pada **Tabel 5.1** merupakan nilai hasil estimasi kedalaman dalam satuan meter dalam penelitian yang dimana estimasi kedalaman regional daerah penelitian memperoleh nilai sebesar 8316.6 meter atau 8.3166 km dan estimasi kedalaman residual diperoleh nilai sebesar 3528.9 m atau 3.5289 km serta *noise* sebesar 718.6 meter atau 0.7186 km

5.3. Pemisahan Anomali

Peta Anomali Bouguer Lengkap yang diperoleh pada **gambar 5.1** merupakan anomali yang masih campuran antara anomali regional dan anomali residual sehingga perlu dilakukan pemisahan anomali. Anomali residual sendiri merupakan sumber anomali yang lebih dangkal (*shallow sources*) yang memiliki nilai panjang gelombang yang pendek dan berasosiasi dengan frekuensi yang tinggi sedangkan anomali regional merupakan sumber anomali yang dalam (*deep sources*) yang memiliki nilai panjang gelombang yang panjang dan berasosiasi dengan frekuensi yang rendah. Dalam penelitian ini, dilakukan pemisahan anomali menggunakan *Bandpass filter* melalui *software Geosoft Oasis Montaj* dimana pada prinsipnya bahwa filter ini meloloskan frekuensi dalam *range* tertentu.



Gambar 5. 3. Proses pemisahan anomali regional menggunakan bandpass filter di *software oasis montaj*



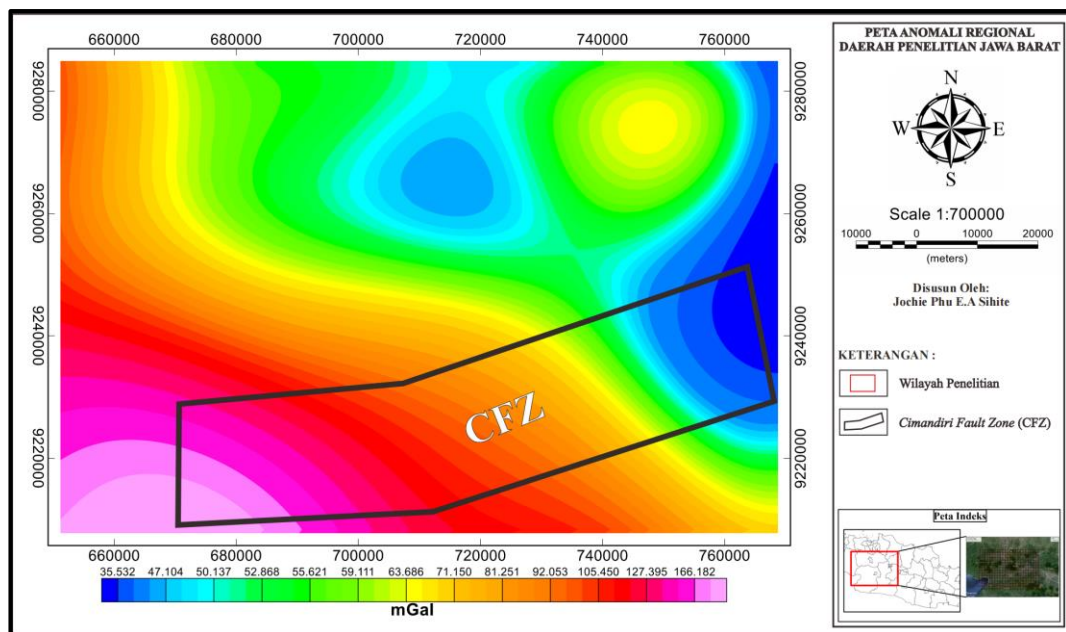
Gambar 5. 4. Proses pemisahan anomali residual menggunakan bandpass filter di *software oasis montaj*

Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan filter *bandpass* dapat dilihat pada **Gambar 5.3** dan **gambar 5.4** yang dimana filter *bandpass* menampilkan suatu proses pemotongan panjang gelombang yang diloloskan pada *bandpass filter* di *Geosoft oasis montaj* dengan *long wavelength cutoff infinity* sampai dengan dan *short wavelength cutoff* di kisaran 44324 dimana nilai ini yang dianggap sebagai batas antara nilai anomali regional dan residual. Untuk pemisahan anomali regional serta untuk pemisahan anomali residual dengan nilai *long*

wavelength cutoff 44324 dan short wavelength cutoff 3243.226 yang dimana nilai sudah ditentukan sebagai batas antara anomali residual dan *noise*. Penentuan dari nilai *cutoff wavelength* juga dilakukan secara *trial* sampai diperoleh nilai atau respon anomali yang lebih interpretatif. Sehingga diperoleh peta anomali regional dan lokal pada **gambar 5.5** dan **gambar 5.6**.

5.3.1. Anomali Gravitasi Regional

Gambar 5.5 merupakan peta anomali regional yang dimana respon sumber anomali tersebut diproses dari filter *bandpass* dengan pemotongan panjang gelombang sebesar 44 Km. Anomali regional ini menunjukkan sensitivitas data yang bersumber dari anomali dalam pada kedalaman 8.3166 km di daerah penelitian. Anomali regional ini berhubungan dengan frekuensi yang rendah namun memiliki amplitudo gelombang yang tinggi sehingga diasumsikan bahwa respon dari anomali regional berasal dari batuan yang nilai rapat massa batumannya tinggi dengan posisi kedalaman yang sangat dalam. Dapat terlihat bahwa pola anomali regional ini tidak jauh berbeda dengan pola Anomali Bouguer Lengkap (ABL) (**Gambar 5.1**).



Gambar 5. 5. Sebaran nilai percepatan gravitasi pada anomali regional daerah penelitian

Nilai maksimum anomali regional yang terdapat di daerah penelitian sebesar 166.182 mGal dan nilai minimum anomali regional sebesar 35.532 mGal. Nilai maksimum pada daerah penelitian berada pada daerah Barat Daya peta dan nilai

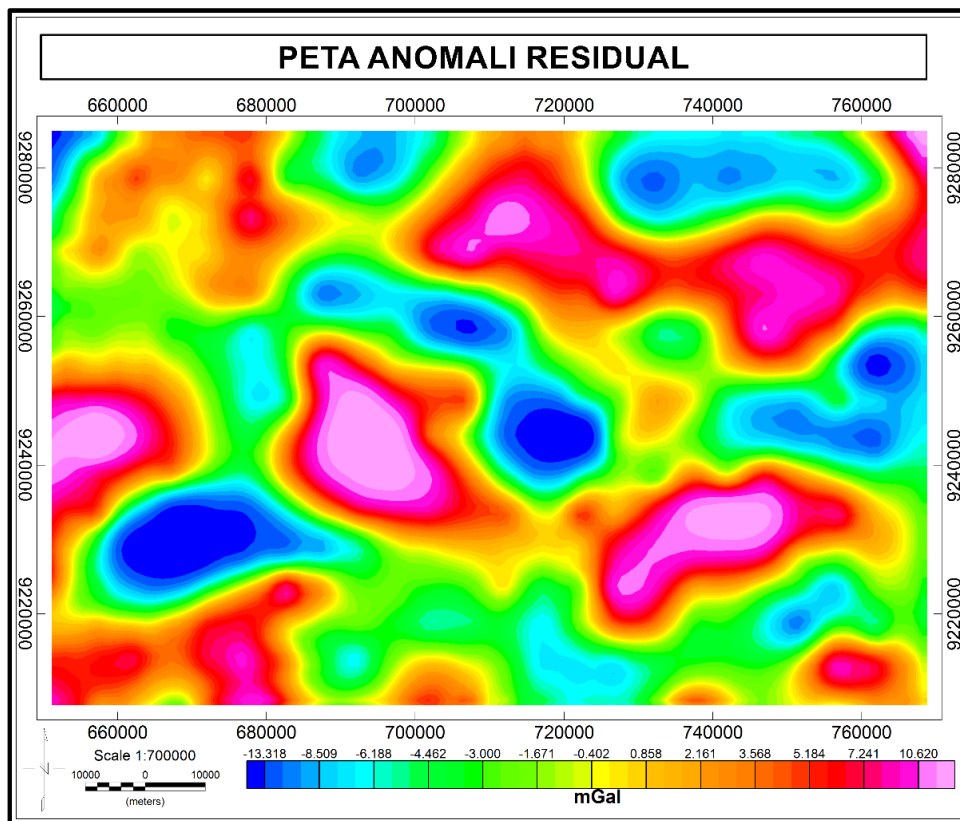
minimum berada pada daerah Timur peta. Dari *range* nilai tersebut, dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian anomali yaitu anomali regional rendah, sedang dan tinggi. Anomali regional rendah berada pada rentang nilai 35.532 mGal – 50.137 mGal yang ditunjukkan pada anomali yang berwarna biru tua hingga biru muda yang didominasi di daerah Timur. Anomali regional sedang berada pada rentang nilai 52.868 mGal – 71.150 mGal yang ditunjukkan pada anomali yang berwarna hijau hingga kuning muda yang didominasi di daerah Tenggara dan Barat Laut. Sedangkan anomali regional tinggi berada pada rentang nilai 81.251 mGal – 166.182 mGal yang ditunjukkan pada anomali yang berwarna jingga hingga merah muda yang didominasi di daerah Barat Daya dan Selatan. Pada peta anomali regional ini memiliki persebaran klosur warna anomali yang cukup teratur karena kondisi batuan yang semakin dalam kedalamannya maka tingkat heterogennya semakin rendah.

Kelompok anomali sedang pada daerah penelitian merupakan batuan yang memiliki nilai densitas yang relatif sedang daripada batuan yang ada di sekitarnya yang diduga sebagai pengaruh dari patahan yang dilalui sehingga mengakibatkan bagian Utara relatif turun yang berdasarkan literasi yang mengacu bahwa blok Utara membentuk cekungan, tetapi seluruh cekungan kurang tersingkap ke permukaan karena tertutup oleh produk batuan gunungapi. Anomali yang bernilai tinggi pada daerah Barat Daya hingga Selatan peta merupakan batuan-batuan yang memiliki nilai densitas yang relatif lebih tinggi daripada batuan di sekitarnya yang diduga akibat keberadaan batuan ultrabasa di sekitar daerah Ciletuh, serta meningginya suatu Moho (mantel atas) ke arah daerah tersebut. Meningginya suatu Moho (mantel atas) pada daerah Selatan dan Barat Daya diakibatkan oleh penipisan fragmen dari kerak benua dan juga terjadi akibat gaya kompresi *oblique* pada sekitar lajur penunjaman dari kerak Samudera Hindia (Subagio, 2018) yang terdapat pada sekitar Ciletuh. Serta merendahnya suatu anomali ke bagian Timur diduga karena merendahnya Moho, sehingga batuan sedimen di daerah tersebut semakin menebal.

5.3.2. Anomali Gravitasi Residual

Pada **gambar 5.6** merupakan anomali residual yang sudah diperoleh melalui pemisahan anomali dengan *bandpass* filter yang dimana meloloskan frekuensi yang

tinggi atau menghilangkan efek regionalnya untuk memperoleh peta residual dengan pemotongan panjang gelombang sebesar 3.2 km. Anomali residual ini dibuat melalui *software Geosoft oasis montaj* dengan skala 1:700000. Pada umumnya bahwa anomali residual menjelaskan terkait sensitifitas akan sumber anomali pada kedalaman yang dangkal di bawah permukaan. Pada daerah penelitian tersebar percepatan gravitasi dalam satuan mGal dengan nilai maksimum sebesar 10.620 mGal dan nilai minimum sebesar -13.318 mGal.

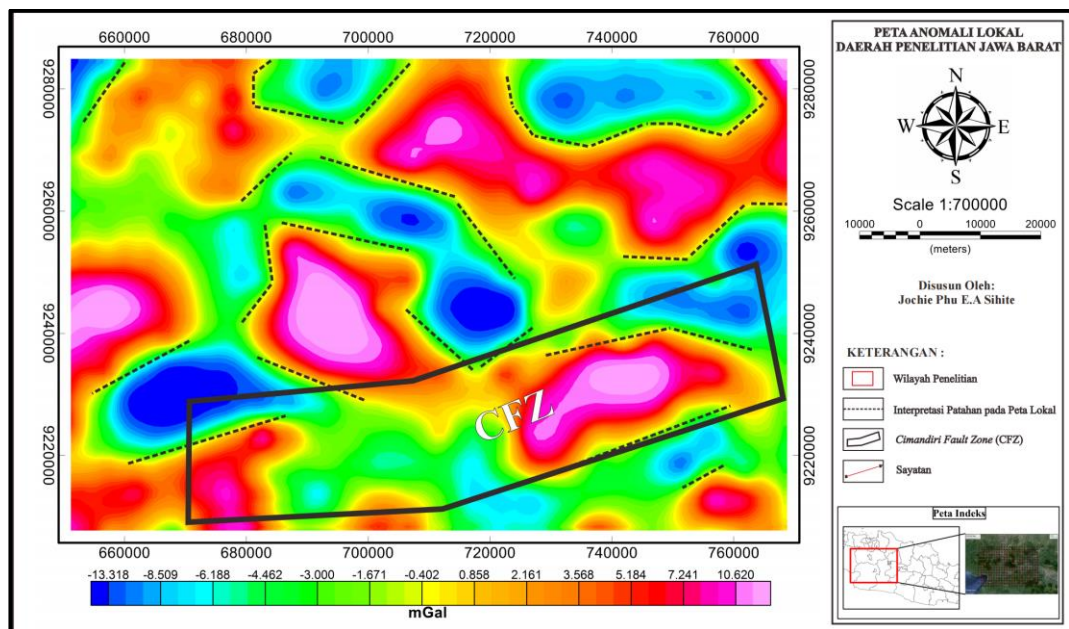


Gambar 5. 6. Persebaran percepatan gravitasi pada anomali residual

Nilai anomali residual pada daerah penelitian dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu anomali rendah, anomali sedang dan anomali tinggi. Anomali rendah dengan rentang nilai antara -13.318 mGal sampai dengan -6.188 mGal ditandai dengan warna biru tua sampai dengan biru muda yang terletak pada bagian tepi Utara dan tersebar di beberapa lokasi seperti yang ada pada gambar peta anomali residual. Anomali sedang ditandai dengan warna hijau sampai dengan kuning dengan rentang nilai -4.462 mGal sampai dengan -0.858 mGal terletak pada bagian tepi Selatan dan bagian Barat serta tersebar juga pada beberapa lokasi penelitian. Sedangkan anomali tinggi dengan rentang nilai 2.161 mGal hingga 10.620 mGal

ditandai dengan warna *orange* hingga merah muda yang mendominasi terletak pada bagian tengah dan Utara peta serta tersebar juga pada lokasi di bagian Selatan.

Anomali yang tinggi mengindikasikan struktur batuan dengan densitas yang lebih tinggi dibandingkan daerah sekitarnya dan sebaliknya anomali yang rendah memiliki struktur batuan dengan densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Anomali residual memiliki persebaran warna yang menyebar dengan berciri banyak pola klosur-klosur, dimana kondisi tersebut dikarenakan suatu kondisi batuan yang semakin dangkal kedalamannya maka tingkat suatu heterogennya semakin tinggi.



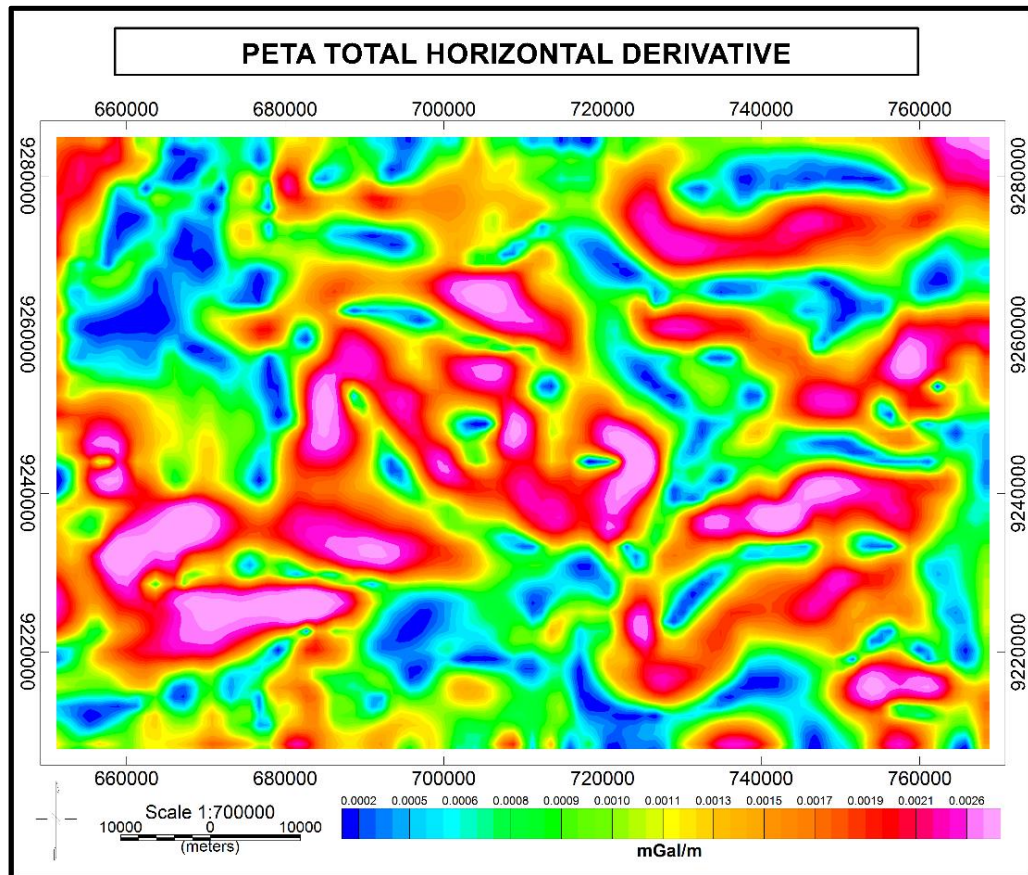
Gambar 5.7. Interpretasi Sesar pada peta anomali residual

Dalam analisa peta anomali residual pada **gambar 5.7**, dilakukan analisa struktur patahan yang bersifat dangkal yang dimana peta residual ini difokuskan terhadap pendugaan struktur yang berupa sesar-sesar lokal yang memiliki kedalaman yang dangkal pada daerah penelitian. Kotak hitam yang memanjang merupakan zona dari patahan Cimandiri (CFZ) yang memanjang dari teluk Pelabuhan Ratu (sukabumi), Cianjur hingga Padalarang dengan panjang mencapai 100 Km (Dardji dkk., 1994; Marliyani dkk., 2016). Menurut Marliyani dkk., (2016), bahwa patahan Cimandiri regional ini telah tersegmentasikan menjadi enam bagian segmen patahan. Garis putus-putus berwarna hitam pada peta residual merupakan garis interpretasi struktur patahan lokal pada area penelitian yang diduga terdapat 32 dugaan patahan/sesar yang arah sesar mengarah Timur Laut-Barat Daya, Barat

Laut-Tenggara serta relatif Barat-Timur. Pada *Cimandiri Fault Zone* (CFZ) terdapat 7 patahan yang terduga sebagai segmen dari patahan Cimandiri. 4 patahan berarah Barat Daya-Timur Laut dan 2 berarah Barat Laut-Tenggara serta 1 berarah relatif Barat-Timur. Indikasi patahan tersebut juga berdasarkan pada respon nilai gravitasi bernilai sedang atau lebih tepatnya nilai transisi antara dari nilai tinggi ke rendah maupun sebaliknya serta juga ditinjau dari peta geologi daerah penelitian. Respon dari suatu patahan terhadap nilai gravitasi yang menyatakan bahwa suatu posisi patahan secara umum berada diantara nilai gravitasi maksimum dan minimum pada pertengahan nilai tersebut (Irham Nurwidyanto & Ari Setiawan, 2011).

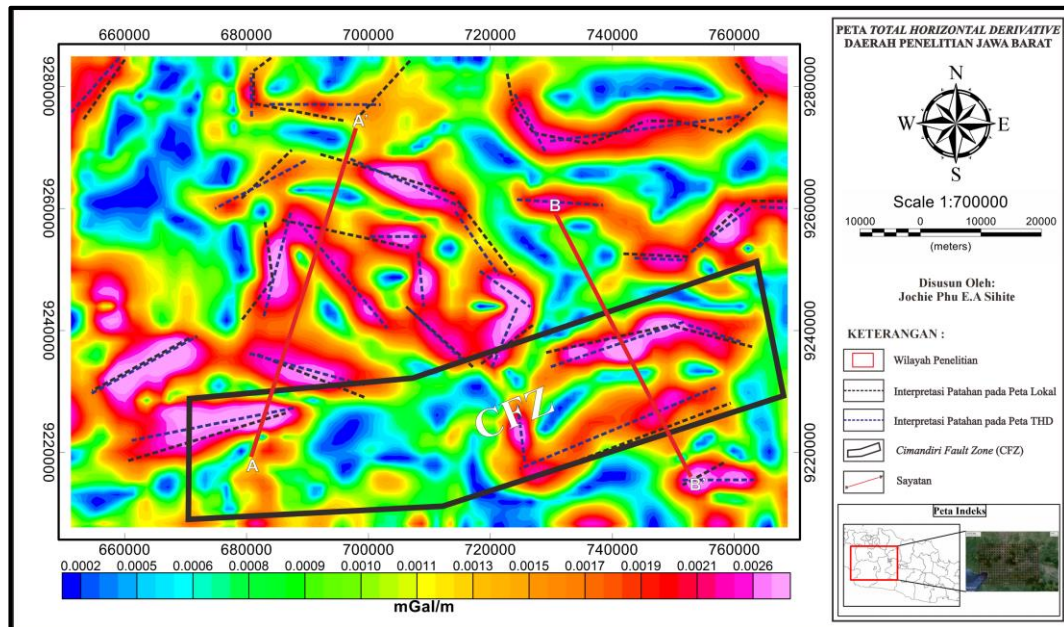
5.4. Total Horizontal Derivative

Peta *Total Horizontal Derivative* merupakan suatu peta yang memuat nilai *total horizontal derivative* yang dihasilkan dari pemrosesan melalui *software Geosoft oasis montaj*. Nilai *Total Horizontal Derivative* diperoleh dari hasil *filtering* yang menggunakan peta anomali residual sebagai *base* peta. *Filter* ini memiliki fungsi dalam mengubah suatu nilai percepatan gravitasi dari satu titik ke titik lainnya secara horizontal dengan suatu jarak tertentu untuk melihat sebaran anomali gravitasi. Peta *Total Horizontal Derivative* dibuat dengan skala 1 : 700000. *Total Horizontal Derivative* dari anomali gravitasi yang disebabkan oleh suatu *body* cenderung untuk memperlihatkan tepian dari *body*-nya tersebut. Sehingga, dapat digunakan dalam merepresentasikan batas-batas dari tubuh anomali secara horizontal menggunakan komponen x dan y yang dimana batas tersebut diasumsikan sebagai struktur geologi berupa patahan atau sesar.



Gambar 5. 8. Sebaran anomali pada peta *Total Horizontal Derivative*

Gambar 5.8 merupakan nilai sebaran warna sebagai perwakilan nilai *total horizontal derivative* yang dimiliki daerah tersebut. Daerah penelitian dapat dibagi menjadi 3 kelompok anomali dalam satuan (mGal/m) yaitu nilai rendah, sedang dan tinggi. Nilai rendah dengan rentang nilai antara 0.0002 mGal/m sampai dengan 0.0006 mGal/m ditandai dengan warna biru tua sampai dengan biru muda yang tersebar di beberapa lokasi seperti yang ada pada gambar peta *total horizontal derivative*. Nilai sedang ditandai dengan warna hijau sampai dengan kuning dengan rentang nilai 0.0008 mGal/m sampai dengan 0.00013 mGal/m tersebar juga pada beberapa lokasi penelitian. Sedangkan nilai tinggi dengan rentang nilai 0.0015 mGal/m hingga 0.0026 mGal/m ditandai dengan warna *orange* hingga merah muda yang tersebar pada peta yang dimana nilai tinggi ini akan diikuti dengan adanya suatu kontras nilai *gradient horizontal*, dengan nilai tinggi yang diindikasikan sebagai struktur bawah permukaan.



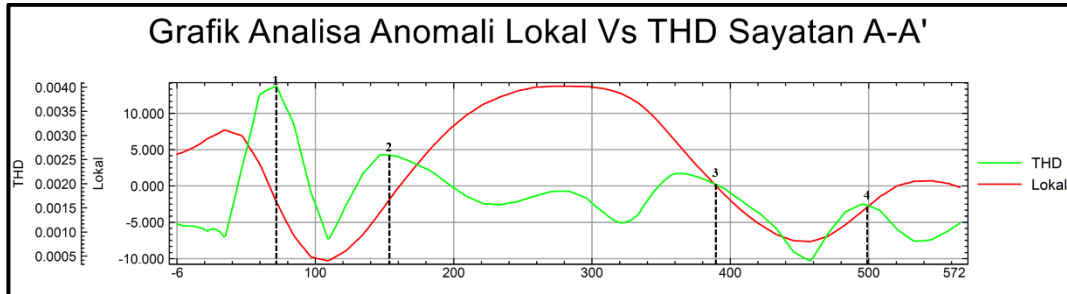
Gambar 5. 9. Interpretasi Sesar pada peta *Total Horizontal Derivative*

Gambar 5.9 merupakan interpretasi dugaan struktur patahan di daerah penelitian yang dimana *total horizontal derivative* difungsikan dalam menguatkan keberadaan suatu patahan/sesar yang tergambar pada peta anomali residual yang artinya *filter* ini menajamkan atau meninggikan tepi badan anomali yang ada di bawah permukaan. Pendugaan adanya struktur patahan/sesar pada daerah penelitian digambarkan dengan nilai respon percepatan gravitasi yang tinggi. Dari gambar tersebut dianalisis sesar yang ditandai oleh Garis putus-putus berwarna biru tua pada peta *total horizontal derivative* merupakan garis interpretasi struktur patahan pada area penelitian yang diduga terdapat 26 dugaan patahan/sesar. Dalam hal ini dapat dilakukan analisa nilai perubahannya dengan menggunakan grafik untuk menguatkan dan menganalisis dalam mengidentifikasi suatu patahan pada daerah penelitian. Grafik tersebut diperoleh dengan mengambil data pada lintasan sayatan A-A' serta B-B' yang dominasi sebagai zona hancuran dari zona patahan Cimandiri (CFZ).

5.4.1. Grafik Analisa Anomali Lokal dan *Total Horizontal Derivative* Sayatan A-A' dan Sayatan B-B'

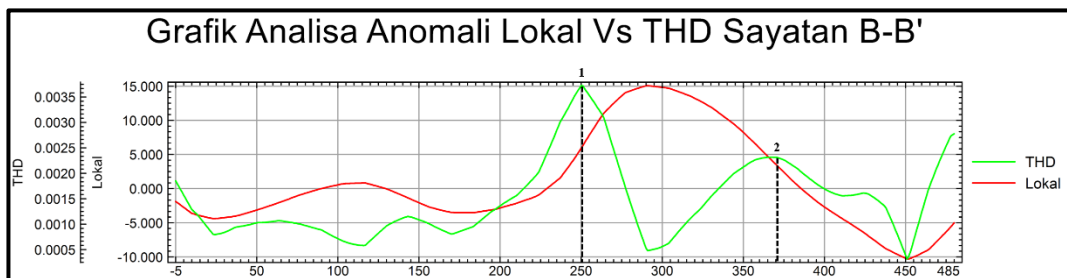
Grafik Analisa Anomali Lokal Vs *Total Horizontal Derivative* merupakan salah satu grafik yang menunjukkan perbandingan nilai percepatan gravitasi anomali lokal dan *total horizontal derivative*. Grafik merah merupakan anomali

lokal dan grafik hijau merupakan grafik *total horizontal derivative*. Grafik ini menunjukkan perbedaan nilai anomali lokal yang mengalami perubahan nilai yang sangat signifikan dan akan diikuti dengan grafik *total horizontal derivative* sehingga menunjukkan nilai maksimum pada titik yang sama. Dalam hal ini grafik ini akan membantu dalam interpretasi suatu struktur patahan/sesar.



Gambar 5. 10. Perbandingan grafik anomali lokal Vs THD pada sayatan A-A'

Grafik pada **gambar 5.10** merupakan grafik perbandingan antara anomali residual dengan *total horizontal derivative* yang diinterpretasikan bahwa terdapat tiga struktur patahan atau sesar yang berada pada lintasan sayatan A-A' dengan lintasan yang digunakan berorientasi Barat Daya-Timur Laut. Dalam pendugaan patahan ditandai dengan garis putus-putus berwarna hitam dalam beberapa 4 *event* perubahan nilai *total horizontal derivative* yang bernilai tinggi. Dimana *event 1* berada pada nilai maksimum berada pada nilai 0.0040 mGal/m, *event 2* berada pada nilai maksimum 0.0026 mGal/m, serta *event 3* berada pada nilai maksimum 0.0020 mGal/m, serta *event 4* berada pada nilai maksimum 0.0015 mGal/m. *event-event* perubahan tersebut dapat diinterpretasi sebagai pendugaan struktur patahan pada sayatan A-A'.



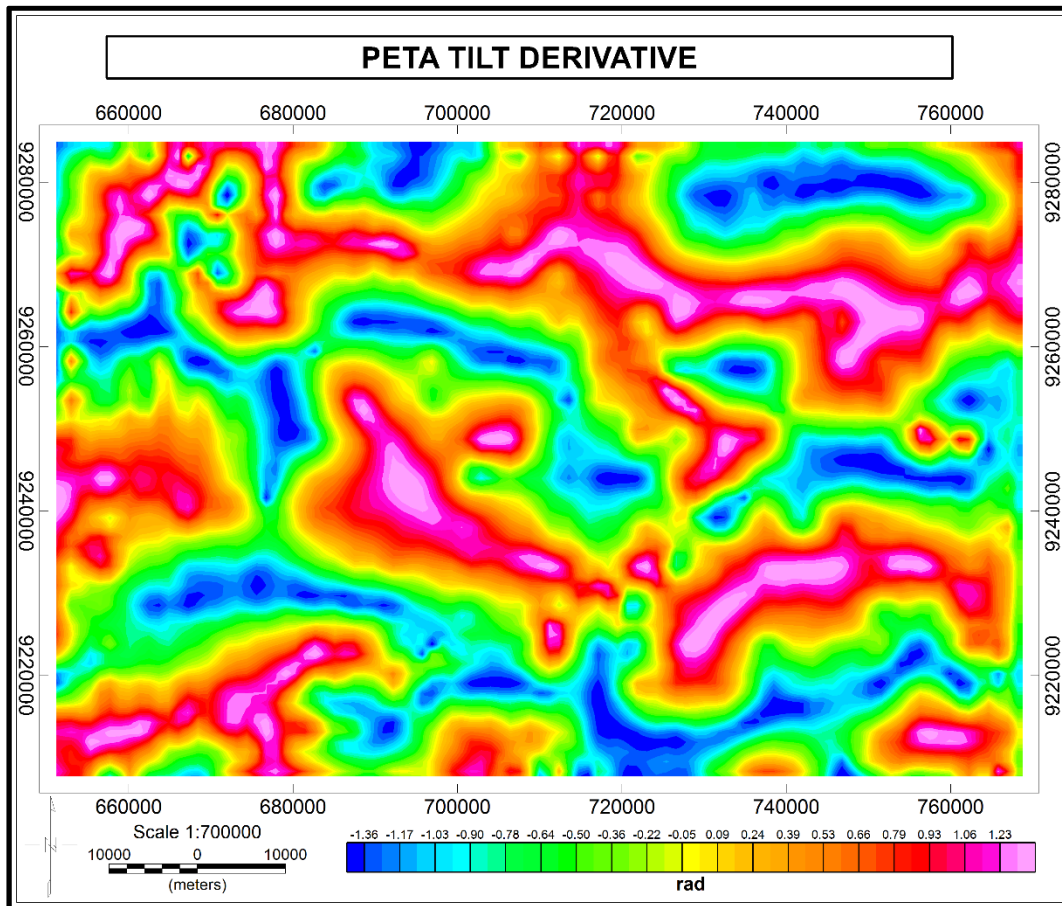
Gambar 5. 11. Perbandingan grafik Anomali lokal Vs THD pada sayatan B-B'

Grafik pada **gambar 5.11** merupakan grafik perbandingan antara anomali lokal dengan *total horizontal derivative* yang diinterpretasikan bahwa terdapat tiga struktur patahan atau sesar yang berada pada lintasan sayatan B-B' dengan lintasan yang digunakan berorientasi Tenggara-Barat Laut. Dalam pendugaan patahan

ditandai dengan garis putus-putus berwarna hitam dalam beberapa 2 *event* perubahan nilai *total horizontal derivative* yang bernilai tinggi. Dimana *event 1* berada pada nilai maksimum 0.0037 mGal/m, serta *event 2* berada pada nilai maksimum 0.0022 mGal/m dan dapat diinterpretasi bahwa *event-event* tersebut merupakan pendugaan struktur patahan pada sayatan B-B'.

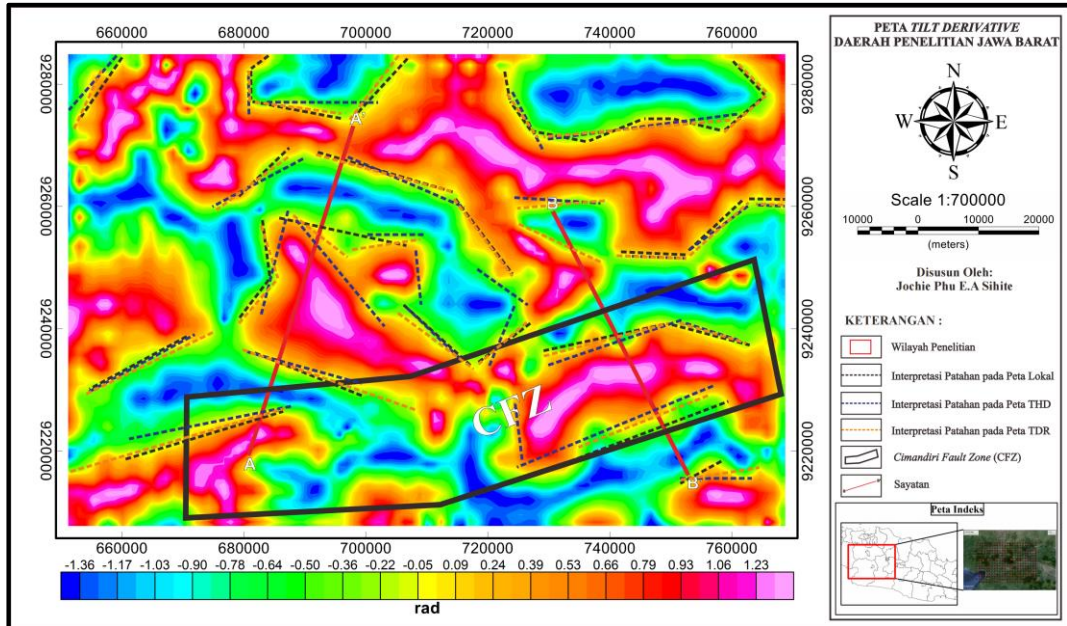
5.5. Tilt Derivative

Peta *Tilt Derivative* merupakan suatu peta yang memuat nilai *Tilt Derivative* yang dihasilkan dari pemrosesan melalui *software Geosoft oasis montaj* dengan skala 1:700000. Nilai *Tilt Derivative* ini diperoleh dari hasil *filtering* yang menggunakan peta anomali lokal sebagai peta dasarnya (*basemap*). *Filter tilt derivative* yakni salah satu bagian dari pengolahan lanjutan yang memiliki fungsi dalam mempertegas atau memperjelas batas tepian tubuh anomali ataupun adanya kontak dari suatu struktur geologi berupa patahan atau sesar. *Filter total horizontal derivative* dihitung dengan membagi suatu komponen *Vertical Derivative* (VDR) dengan *Total Horizontal Derivative* (THDR). *Tilt derivative* dapat dikatakan memiliki keunggulan *derivative* karena fungsinya dalam komponen z (kedalaman), sehingga *tilt derivative* dapat memperkuat *total horizontal derivative* untuk interpretasi adanya struktur berupa patahan atau sesar yang ada di bawah permukaan.



Gambar 5. 12. Sebaran anomali *Tilt Derivative* daerah penelitian

Gambar 5.12 merupakan peta *Tilt Derivative* daerah penelitian yang memiliki *range* nilai -1.36 radian hingga 1.23 radian. Dalam *range* tersebut dapat dibagi menjadi 3 kelompok berdasarkan nilai *tilt derivative* yang pertama, nilai yang berwarna merah memiliki rentan nilai tinggi antara 0.24 radian hingga 1.23 radian, nilai warna kuning dan hijau memiliki rentan nilai yang sedang dengan nilai -0.78 radian hingga 0.09 radian, serta nilai warna biru memiliki rentan nilai rendah antara -1.36 radian hingga -0.90 radian. Nilai persebaran sudut fasa sebesar 0 radian yang ditunjukkan pada warna transisi hijau ke kuning yang terdapat pada bagian peta yang mengisi dari daerah sudut fasa rendah menuju tinggi. Konsep dari peta *tilt derivative* untuk mengidentifikasi suatu keberadaan struktur patahan adalah dengan mengambil nilai pada fasa 0. Hal tersebut disebabkan karena ketika pada bidang batas struktur vertikal *derivative* 0, sehingga nilai dari *tilt derivative* sama dengan 0.

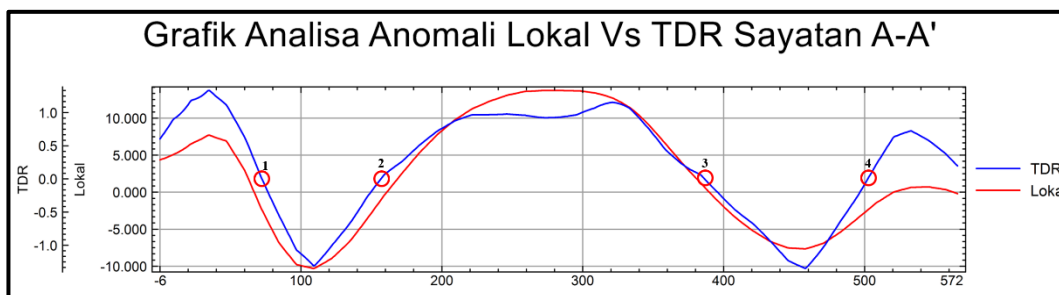


Gambar 5. 13. Interpretasi Patahan pada peta *Tilt Derivative*

Gambar 5.13 merupakan interpretasi suatu patahan atau sesar pada daerah penelitian berdasarkan nilai sudut fasanya, tarikan garis sesar ditandakan dengan garis putus-putus berwarna *orange*. Dari gambar tersebut dianalisis sesar yang ditandakan oleh Garis putus-putus berwarna orange pada peta *tilt derivative* yang merupakan garis interpretasi struktur patahan pada area penelitian yang diduga terdapat 28 dugaan patahan/sesar. Pada peta *tilt derivative* nilai anomali tinggi akan berada tepat diatas badan anomali dan akan menjadi rendah ketika mendekati batas anomali. Oleh sebab itu, respon yang ditunjukkan pada peta *tilt derivative* akan bersifat terbalik jika dibandingkan dengan peta *total horizontal derivative* dimana akan menunjukkan nilai tinggi akan menunjukkan suatu tepian badan anomali.

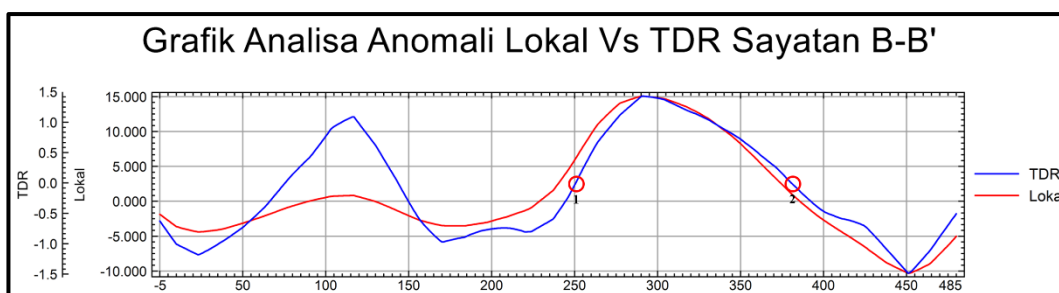
5.5.1. Grafik Analisa Anomali Lokal dan *Tilt Derivative* Sayatan A-A' dan Sayatan B-B'

Nilai dari *tilt horizontal* dihasilkan oleh gabungan nilai *total horizontal derivative* yang dimana ditambahkan dengan suatu komponen z. oleh karena itu akan dilakukan suatu analisis nilai perubahan dengan menggunakan grafik. Grafik analisa ini dilakukan dengan cara memperoleh data pada lintasan sayatan A-A' dan B-B'. Pada grafik ini akan menunjukkan suatu perbedaan nilai dari anomali lokal yang mengalami perubahan nilai yang signifikan dan akan diikuti dengan grafik *tilt derivative* yang menunjukkan nilai fasa 0 pada titik yang sama.



Gambar 5. 14. Perbandingan grafik anomali lokal Vs TDR pada sayatan A-A'

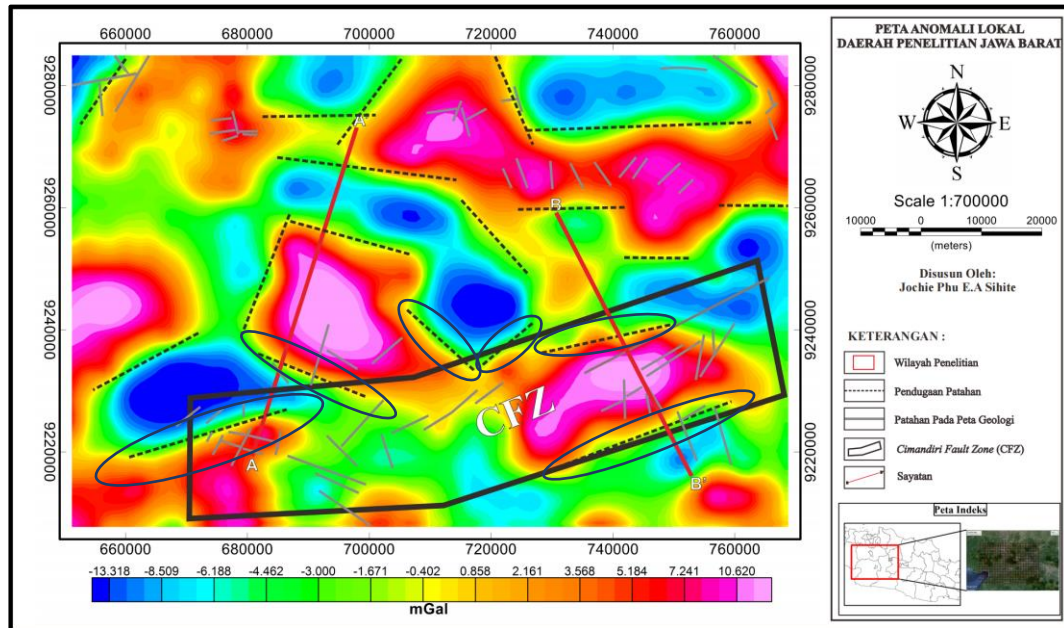
Pada **gambar 5.14** merupakan grafik analisa antara anomali lokal dan *tilt derivative* dengan data lintasan sayatan A-A' dimana grafik sayatan anomali lokal ditunjukkan dengan grafik berwarna merah dan *tilt derivative* ditunjukkan dengan grafik berwarna biru. Arah lintasan sayatan yang digunakan berorientasi Barat Daya-Timur Laut. Yang berdasarkan grafik dapat diinterpretasikan bahwa terdapat beberapa struktur pada sayatan. Pendugaan struktur yang diinterpretasi tersebut ditandai dengan menggunakan lingkaran berwarna merah sehingga diperoleh struktur-struktur yang sifatnya memotong orientasi arah sayatan tersebut. Berdasarkan interpretasi pada nilai grafik didapatkan bahwa terdapat 4 *event* struktur patahan yakni *event 1*, *event 2*, *event 3* serta *event 4* yang nilai *tilt derivative* berada pada fasa 0 radian yang masing masing *event* struktur tersebut berada pada lokasi yang berbeda.



Gambar 5. 15. Perbandingan grafik Anomali residual Vs TDR pada sayatan B-B'

Pada **gambar 5.15** merupakan grafik analisa antara anomali lokal dan *tilt derivative* dengan data lintasan sayatan B-B'. Grafik sayatan anomali lokal ditunjukkan dengan grafik berwarna merah dan *tilt derivative* ditunjukkan dengan grafik berwarna biru. Arah lintasan sayatan berorientasi Barat Laut-Tenggara. Berdasarkan grafik dapat diinterpretasikan terdapat beberapa struktur patahan pada sayatan B-B'. Pendugaan struktur yang diinterpretasi tersebut ditandai dengan menggunakan lingkaran berwarna merah sehingga diperoleh struktur-struktur yang

sifatnya memotong orientasi arah sayatan tersebut. Berdasarkan interpretasi pada nilai grafik didapatkan bahwa terdapat 2 *event* struktur patahan yakni *event 1* dan *event 2* yang nilai *tilt derivative* berada pada fasa 0 radian yang masing masing *event* struktur tersebut berada pada lokasi yang berbeda.

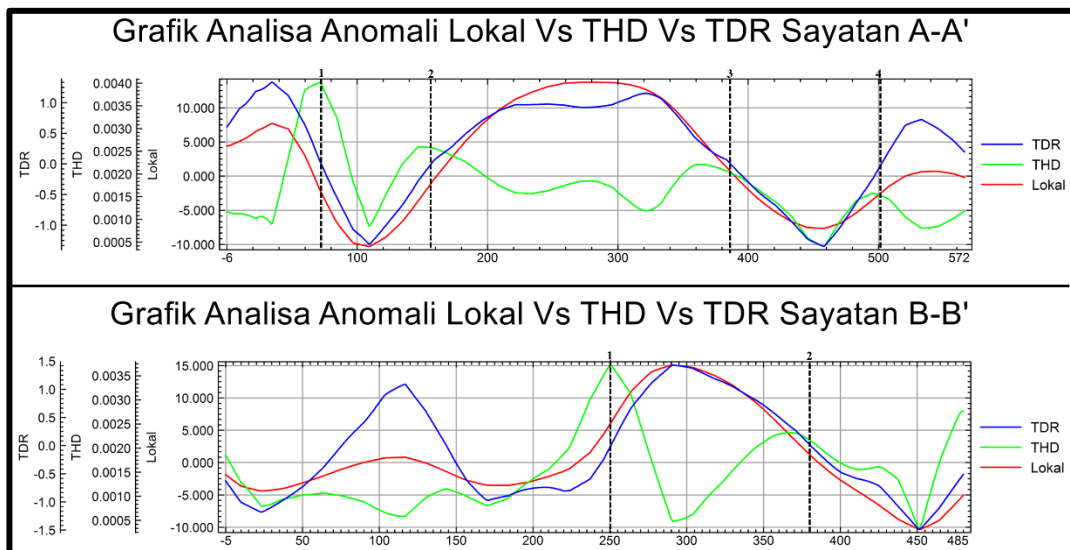


Gambar 5. 16. Kompilasi pendugaan sesar pada daerah penelitian

Analisis keberadaan suatu patahan sebelumnya telah dilakukan pada peta anomali lokal, penajaman anomali *total horizontal derivative* dan *tilt derivative*. Garis-garis pendugaan patahan kemudian dilakukan penarikan suatu garis besar patahan pada daerah penelitian. Pada **Gambar 5.16**, terdapat penarikan garis patahan pada analisis yang telah dilakukan sebelumnya. Pada gambar tersebut terdapat garis struktur berupa sesar yang ditandakan oleh garis-garis putus berwarna hitam. Penarikan garis tersebut didasarkan pada data anomali gravitasi dan analisa derivatif yang telah dilakukan. Pada gambar tersebut juga terdapat patahan berdasarkan data geologi permukaan yang ditandai dengan garis *solid* berwarna abu-abu. Pada gambar analisis patahan pada daerah penelitian terdapat sejumlah 19 patahan yang diduga pada daerah penelitian. Pada *Cimandiri Fault Zone* (CFZ) terdapat 6 patahan yang terduga sebagai segmen dari patahan Cimandiri yang ditandai dengan bentuk *ellips* berwarna biru tua yang dimana 4 patahan berarah Barat Daya-Timur Laut dan 2 berarah Barat Laut-Tenggara.

5.6. Perbandingan Analisa Grafik Lokal vs TDR vs THD

Pada penelitian ini dalam memperkuat analisa untuk identifikasi suatu struktur patahan. Oleh karena itu, dibutuhkan beberapa filter pengolahan yang berfungsi sebagai perolehan berupa struktur yang ditemukan pada daerah penelitian. Filter ini digunakan antara lain *Total Horizontal Derivative* (THD) dan *Tilt Derivative* (TDR). Kedua *filter derivative* ini mampu dalam mendeteksi adanya suatu struktur yang terdapat pada daerah penelitian. Filter *total horizontal derivative* menurut (Cordell and Grouch, 1985) adalah salah satu filter yang menderivatiskan komponen x dan y pada suatu data. Oleh karena itu, nantinya akan menghasilkan suatu nilai maksimum apabila terdapat suatu perubahan nilai densitas yang drastis. Namun ditambahkan bahwa suatu data memiliki variasi anomali yang sangat kompleks maka hasil filter *total horizontal derivative* akan didominasi oleh anomali yang memiliki nilai besar sehingga akan menghilangkan anomali halus (Arisoy & Dikmen, 2013). Karena filter *total horizontal derivative* hanya memuat dua komponen (x dan y) maka pembacaan anomali yang dalam akan susah untuk dibaca oleh filter ini sehingga perlu tambahan filter yakni *tilt derivative*. *Tilt derivative* menggunakan tiga komponen x, y, dan z sehingga cukup mampu dalam mendeteksi struktur yang sifatnya lebih dalam. Filter ini akan menghasilkan suatu nilai bersifat positif di atas sumber, menghasilkan nilai nol pada ujung sumber serta nilai bersifat negatif apabila diluar sumber (Arisoy & Dikmen, 2013).



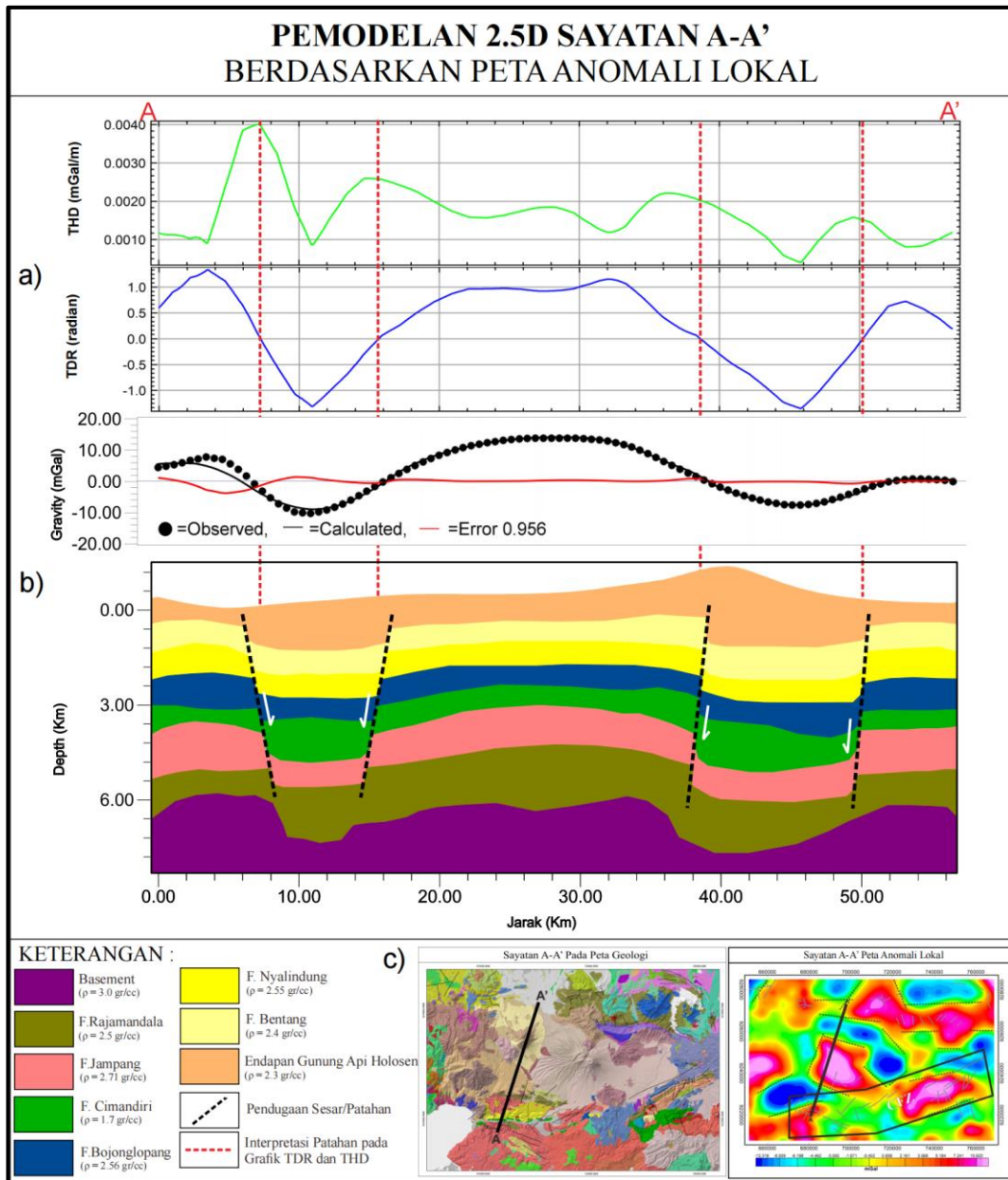
Gambar 5. 17. Grafik Perbandingan nilai ABL vs THD vs TDR pada sayatan A-A' dan B-B'

Gambar 5.17 merupakan grafik perbandingan antara nilai anomali lokal, *tilt derivative* dan *total horizontal derivative*, dalam hal ini akan memperlihatkan nilai yang sudah diinterpretasi pada grafik analisa *total horizontal derivative* dan TDR sebelumnya serta untuk memperjelas letak posisi dari keberadaan struktur patahan. Struktur yang sudah terbaca pada peta ditandai dengan nilai nol yang dimana posisi nilai 0 tersebut juga sama dengan posisi nilai *total horizontal derivative* sebelumnya. Grafik anomali lokal ditunjukkan dengan warna merah, grafik *total horizontal derivative* dengan warna hijau serta grafik *tilt derivative* ditunjukkan dengan warna biru. Dalam pembuatan grafik tersebut dibuat dengan mengambil data lintasan sayatan A-A' dan sayatan B-B' dengan arah orientasi sayatan Timur Laut-Barat Daya dan Barat Laut-Tenggara. Pada analisa grafik sayatan A-A' telah diinterpretasi terdapat 4 dugaan struktur patahan dan analisa sayatan B-B' diduga terdapat 2 struktur patahan pada daerah penelitian yang ditandai dengan garis putus-putus berwarna hitam.

5.7. Pemodelan 2.5 Dimensi Bawah Permukaan

5.7.1. Pemodelan 2.5 Dimensi Bawah Permukaan Sayatan A-A'

Gambar 5.18 merupakan hasil pemodelan 2.5 dimensi yang diperoleh dari sayatan A-A' berdasarkan nilai peta anomali residual. Pemodelan ini dibuat menggunakan *software Geosoft oasis montaj* dengan fitur GM-SYS. Pemodelan 2.5 dimensi ini memiliki panjang sayatan A-A' sepanjang 56.339 km dengan interval sebanyak 100 data dengan pola arah sayatan Barat Daya-Timur Laut serta kedalaman pemodelan 8.3166 km. Pada gambar 5.18, terdapat grafik nilai *filter total horizontal derivative* dan *tilt derivative* sayatan A-A', penambahan suatu grafik tersebut disesuaikan dalam tujuan untuk mempermudah memposisikan suatu pendugaan struktur berupa sesar atau patahan yang sebelumnya sudah dianalisis melalui anomali lokal, *tilt derivative* dan *total horizontal derivative*.



Gambar 5. 18. Pemodelan 2.5 Dimensi Sayatan A-A' yang menunjukkan keadaan bawah permukaan daerah penelitian, a) grafik TDR dan THD; b) pemodelan bawah permukaan; c) sayatan pada peta geologi dan anomali lokal

Hasil dari pemodelan 2.5 dimensi menampilkan grafik pemodelan dengan garis grafik *calculated gravity* yang ditandai dengan garis grafik berwarna hitam, pola garis ini hampir menyerupai dengan garis grafik *gravity observed* yang ditandai dengan garis titik titik berwarna hitam, sehingga garis grafik *gravity error* yang ditandai dengan garis grafik berwarna merah hampir membentuk garis lurus, *error* yang diperoleh dalam pembuatan model ini sebesar 0.956. Pemodelan Sayatan A-A' ini terletak di bagian selatan daerah penelitian yang terdiri Batuan

Dasar, Formasi Rajamandala, Formasi Jampang, Formasi Cimandiri, Formasi Bojonglopang, Formasi Nyalindung, Formasi Bentang serta endapan gunung api Holosen. Dalam pemodelan ini menggambarkan suatu perlapisan di bawah permukaan berdasarkan umur pengendapannya serta waktu geologi yang berbeda dimana dari bawah ke atas merupakan susunan formasi yang paling tua ke muda secara berturut-turut.

Pada daerah penelitian sayatan A-A' termasuk kedalam bagian peta geologi lembar Jampang dan Balekambang sebelah Utara serta peta geologi lembar Bogor di sebelah selatan. Batuan tertua adalah batuan yang terbentuk pada masa *Mesozoic* kemudian diendapkan oleh satuan napal tufaan, lempung napalan, batupasir dan lensa-lensa batugamping yang merupakan Formasi Rajamandala dan secara selaras di atasnya diendapkan breksi aliran bersusunan andesit yang tersemen baik dari Formasi Jampang. Dan di atasnya kemudian diendapkan Formasi Cimandiri dan Formasi Bojonglopang. Dan juga secara tak selaras di atasnya diendapkan formasi Nyalindung yang terdiri dari batupasir gampingan, batulempung, napal pasiran, konglomerat, breksi, batugamping yang diikuti oleh pengendapan formasi bentang yang terdiri dari batupasir tufaan dan batuapung, napal tufaan, serpih tufaan dan juga suatu breksi konglomeratan (Effendi, A.C, dkk 1998 dan Sudjtmiko, 1972). Dan di atas batuan sedimen tersebut diatas, diendapkan oleh batuan breksi gunung api holosen yang bersusunan fragmen andesit, basal, setempat aglomerat lapuk dan batuan lava yang berumur Kuartar yang dimana hasil endapan gunung api ini berasal dari gunung aktif yang tersebar mulai dari barat sampai ke Timur lembar peta geologi regional Jawa Barat menerus ke Jawa Tengah dan gunungnya ditandai dengan bentuk yang kerucut. Dalam pemodelan telah ditentukan perkiraan densitas masing-masing Formasi berdasarkan acuan tabel densitas batuan (Telford, 1990) yang dapat dilihat **Pada tabel 5.2** di bawah sebagai berikut.

Tabel 5. 2. Nilai densitas formasi batuan daerah penelitian Sayatan A-A'

Formasi	Densitas (gr/cc)	Litologi
Batuan Dasar (<i>Basement</i>)	3	Batuan sekis dan batuan ultrabasa yang bermetamorfosis

Formasi Rajamandala	2.5	Napal tufan, lempung napalan, batupasir dan lensa-lensa batugamping
Formasi Jampang	2.71	Breksi aliran bersusunan andesit
Formasi Cimandiri	1.7	Perselingan batulempung, batulanau kelabu muda sampai menengah, dan batupasir coklat kekuning-kuningan
Formasi Bojonglopang	2.56	Batugamping terumbu padat, batugamping pasiran berlapis
Formasi Nyalindung	2.55	Batupasir gampingan, batulempung, napal pasiran, konglomerat, breksi, batugamping, napal tufan
Formasi Bentang	2.4	Batupasir tufan dengan batuapung lignit, napal tufan, serpih tufan dan breksi konglomeratan gampingan
Endapan Gunung Api Holosen	2.3	Breksi, tuf, lava, endapan lahar yang umumnya bersusun andesit sampai basalt

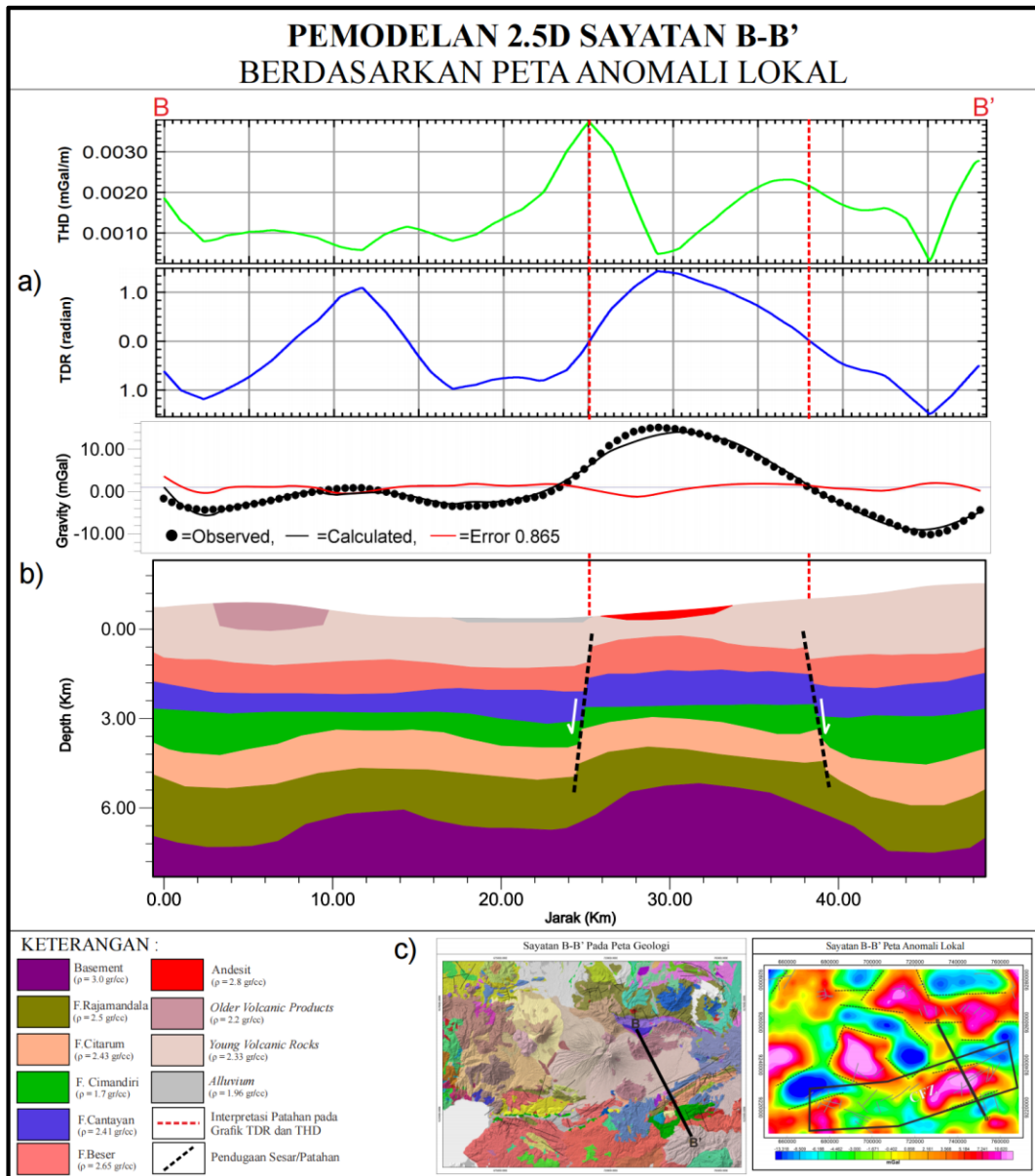
Ada beberapa komposisi atau komponen dari model 2.5 dimensi berdasarkan pada data geologi yang termuat pada geologi daerah penelitian dan juga terdapat beberapa dugaan patahan atau sesar yang disesuaikan dengan peta grafik nilai anomali lokal, *total horizontal derivative* dan *tilt derivative*. Berdasarkan korelasi grafik yang sudah ditentukan bahwa diperoleh 4 *event* patahan. Posisi dari pendugaan struktur sesar pada model tersebut didasarkan pada posisi nilai grafik anomali lokal yang berada pada zona perpindahan dari nilai tinggi ke rendah dan sebaliknya, pada pendugaan sesar tersebut diperkuat lagi oleh grafik *filter total horizontal derivative* berada pada nilai tinggi yang memperkuat adanya batas anomali pada posisi tersebut, serta juga pada grafik *filter tilt derivative* mendukung pendugaan patahan tersebut dengan posisi pada nilai 0 radian dengan menginterpretasikan bahwa struktur geologi pada tepi *body* anomali sebagai ciri adanya patahan atau sesar.

Pada sepanjang sayatan ini, menghasilkan suatu pemodelan struktur geologi bawah permukaan berupa lipatan dan pensesaran suatu batuan yang diduga akibat

pada akhir Miosen Akhir (Effendi dkk, 2011). Proses tektonik tersebut menyebabkan terjadinya patahan normal di kilometer 8 dan kilometer 14 serta tersesarkan membentuk suatu cekungan (graben). Patahan tersebut diduga sebagai zona patahan Cimandiri segmen Barat. Pendugaan tersebut dikuatkan oleh penelitian menurut (Haryanto dkk., 2017), bahwa kelurusan patahan diapit oleh perbukitan Jampang di bagian Selatan dan juga perbukitan Walat-Warungkiara yang berada disebelah Utara, berdasarkan dari aspek morfologinya bahwa kelurusan perbukitan Walat-Warungkiara dikontrol oleh patahan normal. Patahan normal tersebut saling sejajar dan berlawanan arah yang dimana kedua sesar normal tersebut membentuk suatu graben yang sebagian besar perbukitan landai yang dimana batuan penyusun yang didominasi oleh batuan sedimen yaitu Formasi Bentang, Nyalindung, Bojonglopang dan Cimandiri. Interval kilometer 36 diduga terdapat patahan naik yang mengakibatkan batuan sedimen naik dan lapisan batuan sedimen tersebut sudah terlipatkan yang membentuk antiklin dan sinklin. Serta diduga pada kilometer 48 sebagai patahan turun sehingga pada kilometer 36 hingga 50 terbentuk cekungan yang diisi oleh endapan lahar (Subagio, 2013). Dan diduga pada bagian barat daya merupakan zona patahan Cimandiri segmen Barat yang merupakan patahan normal membentuk suatu graben.

5.7.2. Pemodelan 2.5 Dimensi Bawah Permukaan Sayatan B-B'

Gambar 5.19 merupakan hasil pemodelan 2.5 dimensi yang diperoleh dari sayatan B-B' berdasarkan nilai peta anomali lokal. Pemodelan ini diolah menggunakan *software Geosoft oasis montaj* dengan fitur GM-SYS. Pada gambar tersebut terlihat grafik nilai *filter total horizontal derivative* dan *tilt derivative* sayatan B-B', penambahan suatu grafik tersebut disesuaikan dalam tujuan untuk mempermudah memposisikan suatu pendugaan struktur berupa sesar atau patahan yang sebelumnya sudah dianalisis melalui anomali lokal, *tilt derivative* dan *total horizontal derivative*. Pemodelan 2.5 dimensi ini memiliki panjang sayatan B-B' sepanjang 48.466 km dengan kedalaman pemodelan 8.3166 km, serta interval sebanyak 100 data dengan pola arah sayatan Barat Laut-Tenggara.



Gambar 5. 19. Pemodelan 2.5 dimensi sayatan B-B' yang menunjukkan keadaan bawah permukaan daerah penelitian a) grafik TDR dan THD; b) pemodelan bawah permukaan; c) sayatan pada peta geologi dan anomali lokal

Hasil dari pemodelan 2.5 dimensi menampilkan grafik pemodelan dengan garis grafik *calculated gravity* yang ditandai dengan garis grafik berwarna hitam, pola garis ini hampir menyerupai dengan garis grafik *gravity observed* yang ditandai dengan garis titik titik berwarna hitam, sehingga garis grafik *gravity error* yang ditandai dengan garis grafik berwarna merah hampir membentuk garis lurus, *error* yang diperoleh dalam pembuatan model ini sebesar 0.865. Pemodelan sayatan B-B' ini terletak di bagian Timur daerah penelitian yang terdiri batuan dasar, Formasi Citarum, Formasi Cimandiri, Formasi Cantayan, Formasi Besar, serta

produk gunung api serta endapan alluvium. Dalam pemodelan ini menggambarkan suatu perlapisan di bawah permukaan berdasarkan umur pengendapannya serta waktu geologi yang berbeda dimana dari bawah ke atas merupakan susunan formasi yang paling tua ke muda secara berturut-turut.

Daerah penelitian sayatan B-B', termasuk kedalam lembar peta geologi Sindangbarang dan Bandarwaru sebelah Utara dan lembar peta geologi daerah Cianjur. Batuan tertua merupakan batuan yang berumur *Mesozoic*, *basement rock* pada pemodelan dengan perkiraan densitas 3.0 gr/cc. Kemudian di atasnya diendapkan satuan napal tufaan, dan lempung napalan, batupasir dan lensa-lensa batugamping yang merupakan Formasi Rajamandala dengan perkiraan densitas 2.5 gr/cc, setelah itu diendapkan oleh Formasi Citarum yang terdiri dari batupasir dan breksi (perkiraan densitas 2.43 gr/cc). Pada Umur Miosen Tengah diendapkan Formasi Cimandiri yang terdiri dari perselingan batulempung dan lanau (perkiraan densitas 1.7 gr/cc). Pada Miosen Akhir diendapkan Formasi Cantayan yang tersusun dari batupasir, batulempung, batugamping serta anggota breksi yang bersifat basalt dan andesit (perkiraan densitas 2.41 gr/cc). Pengendapan berikutnya pada kala Miosen akhir oleh Formasi Besar yang terdiri dari breksi andesit, breksi tuf, tuf kristal dan batulempung dengan perkiraan densitas 2.65 gr/cc) dan di atas diendapkan batuan breksi gunung api tua Pliosen yang terdiri dari breksi bersusunan fragmen andesit, lava dan lahar dengan perkiraan densitas 2.22 gr/cc sekaligus dengan endapan batuan gunung api muda yang terdiri dari breksi tufan, lava, lahar, batupasir, dan konglomerat dengan perkiraan densitas 2.33 gr/cc dan selanjutnya diendapkan alluvial yang terdiri dari fragmen berukuran lempung, lanau, kerikil, dan kerakal dengan perkiraan densitas 1.96 gr/cc. Ada beberapa komposisi atau komponen dari model 2.5 dimensi berdasarkan pada data geologi termuat pada peta geologi daerah penelitian berupa sebaran formasi batuan dan juga terdapat beberapa dugaan patahan atau sesar yang disesuaikan dengan peta grafik nilai anomali lokal, *total horizontal derivative* dan *tilt derivative*. Berdasarkan korelasi grafik yang sudah ditentukan bahwa diperoleh 2 *event* dugaan patahan. Posisi dari pendugaan struktur sesar pada model tersebut didasarkan pada posisi nilai grafik anomali lokal yang berada pada zona perpindahan dari nilai tinggi ke rendah dan sebaliknya. Pada pendugaan sesar tersebut diperkuat lagi oleh grafik *filter total horizontal derivative*

berada pada nilai tinggi yang memperkuat adanya batas anomali pada posisi tersebut, serta juga pada grafik *filter tilt derivative* mendukung pendugaan patahan tersebut dengan posisi pada nilai 0 radian dengan menginterpretasikan bahwa struktur geologi pada tepi *body* anomali sebagai ciri adanya patahan atau sesar.

Daerah sayatan B-B' termasuk kedalam zona patahan Cimandiri , 2 dugaan patahan diindikasikan sebagai segmen patahan Cimandiri. Segmen patahan ini berada pada bagian Timur jalur patahan Cimandiri. Pada lintasan sayatan pemodelan berada pada interval kilometer 24 dan kilometer 40 yang diduga sebagai patahan turun. Menurut (Haryanto dkk., 2017), jalur patahan Cimandiri bagian Timur ini berada pada bagian Utara dari rangkaian perbukitan Rajamandala. Keberadaan dari jalur sesar patahan Cimandiri ini membentuk jalur kelurusan berarah Timur Laut-Barat Daya dengan kemiringan yang hampir tegak. Lereng perbukitan Rajamandala dibagian Utara yang berbatasan dengan kelurusan dari arah Barat Daya-Timur Laut. Kelurusan ini membatasi sebaran dari batugamping Formasi Rajamandala dengan batuan sedimen Klastik Formasi Citarum dan membatasi breksi vulkanik Formasi Besar dengan endapan breksi lahar kuartar yang tersebar luas pada daerah depresi Ciranjang. Sehingga demikian ada dua jalur sesar normal yang mengontrol kelurusan lereng dari perbukitan Rajamandala. Pada kilometer 26 hingga kilometer 34 diduga sebagai batuan andesit (perkiraan densitas 2.8 gr/cc). Batuan andesit ini merupakan batuan terobosan (Sudjatmiko, 1972) namun berdasarkan model gravitasi yang diperoleh bahwa batuan ini tidak menerobos batuan yang lebih tua sehingga diduga sebagai lava produk gunungapi.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan dan interpretasi yang dilakukan melalui data gravitasi pada daerah penelitian maka dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa :

1. Pada peta Anomali Bouguer Lengkap dan Peta Anomali Regional dapat ditunjukkan bahwa respon dari nilai percepatan gravitasi yang rendah pada bagian Timur diduga karena merendahnya mantel atas (Moho), sehingga batuan sedimen di daerah tersebut semakin menebal dan anomali tinggi pada bagian Barat Daya hingga Selatan diduga sebagai keberadaan batuan ultrabasa serta meningginya suatu Moho (Mantel atas).
2. Pada peta analisis derivatif yaitu *Total Horizontal Derivative* pada nilai puncak atau tinggi (0.0015 mGal/m - 0.0037 mGal/m) dan *Tilt Derivative* pada nilai sudut fasa 0 rad yang menerus dapat diinterpretasikan bahwa pada posisi nilai tersebut terdapat dugaan struktur patahan berdasarkan analisa derivatif sehingga pada penelitian ini diinterpretasi keterdapatannya struktur berjumlah 19 patahan yang 6 diantaranya diduga sebagai segmen dari zona patahan Cimandiri (CFZ)
3. Pada pemodelan 2.5 dimensi bawah permukaan sayatan A-A' dan B-B' yang sudah diperoleh formasi bawah permukaan yang mengisi daerah penelitian seperti Batuan Dasar (*basement*), Formasi Rajamandala, Formasi Jampang, Formasi Citarum, Formasi Cimandiri, Formasi Bojonglopang, Formasi Nyalindung, Formasi Bentang, Formasi Cantayan, Formasi besar dan endapan produk gunungapi serta alluvium. Dan diperoleh struktur bawah permukaan yaitu patahan patahan normal yang membentuk suatu graben pada zona patahan cimandiri dan patahan naik serta struktur berupa lipatan antiklin dan sinklin.

6.2. Saran

Berdasarkan beberapa kesimpulan yang didapatkan dari studi penelitian ini, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk mendukung penelitian

berikutnya jika menggunakan penelitian yang serupa seperti menggunakan data tambahan seperti metode mekanisme fokal untuk memperoleh *beachball* sebagai penentuan arah dan orientasi patahan gempa bumi tektonik pada zona patahan Cimandiri. Dan juga perlu menambah penggunaan analisa derivatif lainnya untuk mengetahui informasi *dip* dan juga karakteristik patahan yang nantinya bisa diintegrasikan dengan mekanisme fokal. Kemudian juga memperbanyak informasi geologi yang tepat agar dapat memperoleh hasil yang akurat dan jika perlu dapat mengambil data lapangan berupa *strike dip* patahan di lapangan daerah penelitian serta data geologi lainnya untuk mendukung keakuratan data saat pembuatan model 2.5 dimensi bawah permukaan pada daerah zona patahan Cimandiri.

DAFTAR PUSTAKA

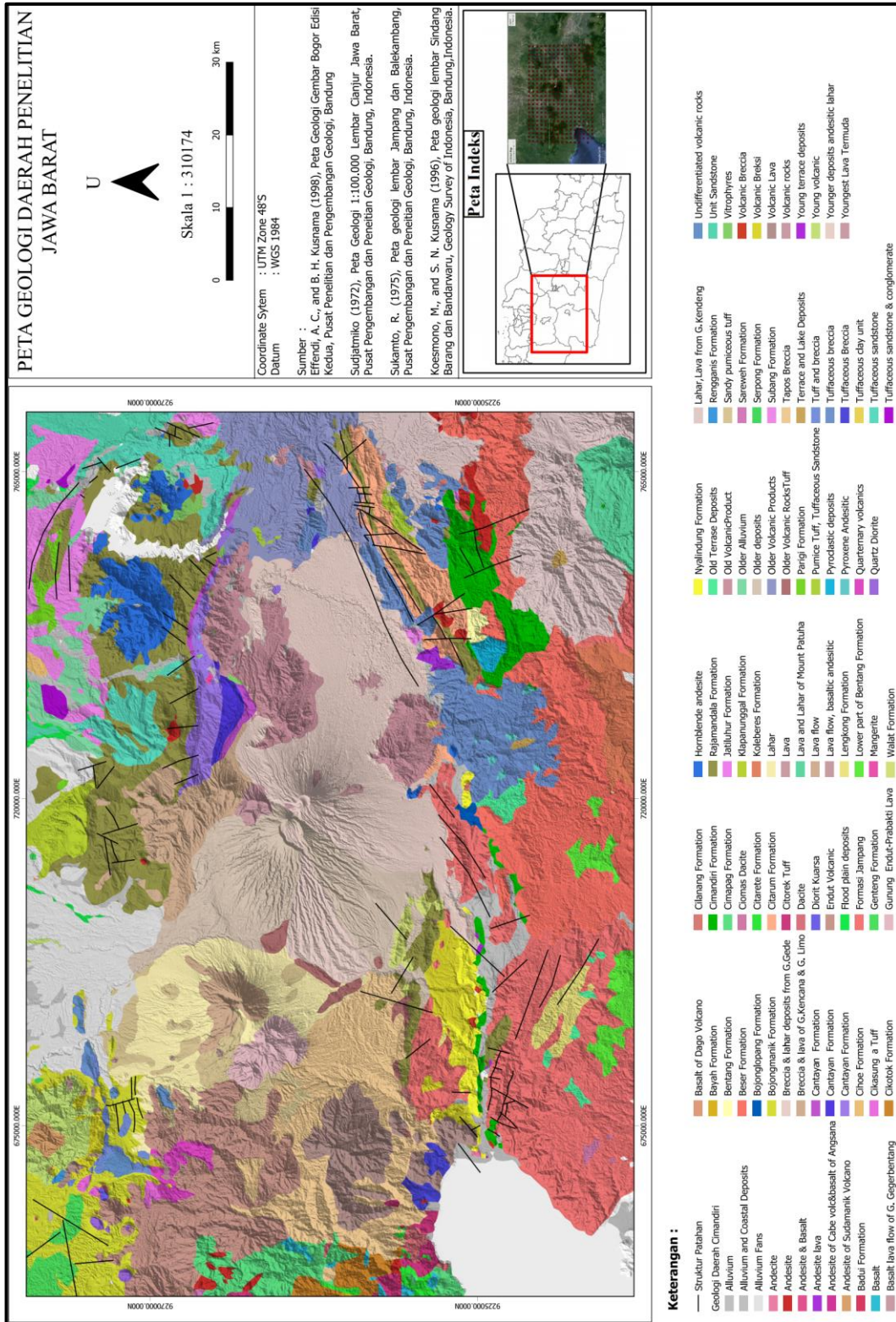
- Abidin, H. Z., Andreas, H., Kao, T., Ito, T., Meilano, I., Kimata, F., Natawidjaya, D. H., & Harjono, H. (2009). Crustal deformation studies in java (Indonesia) using GPS. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 3(2). <https://doi.org/10.1142/S1793431109000445>.
- Arisbaya, I., Handayani, L., Mukti, M. M., Sudrajat, Y., Grandis, H., & Sumintadireja, P. (2019). Imaging the Geometry of Cimandiri Fault Zone Based on 2D Audio-Magnetotelluric (AMT) Model in Nyalindung, Sukabumi–Indonesia. *Pure and Applied Geophysics*, 176(11). <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02241-0>.
- Arisoy, M. Ö., & Dikmen, Ü. (2013). Edge detection of magnetic sources using enhanced total horizontal derivative of the tilt angle. *Yerbilimleri/ Earth Sciences*, 34(1).
- Blakely, R. J. (1995). Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Dalam *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511549816>.
- Dardji, N., Villemin, T., & Rampoux, J. P. (1994). Paleostresses and strike-slip movement: the Cimandiri Fault Zone, West Java, Indonesia. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 9(1–2). [https://doi.org/10.1016/0743-9547\(94\)90061-2](https://doi.org/10.1016/0743-9547(94)90061-2).
- Dentith, M., & Mudge, S. T. (2014). Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist. (Ed.) Cambridge University Press. Dalam *Mineralium Deposita* (Vol. 50, Nomor 1).
- Effendi, A. C. (1974). Geological Map of Bogor Quadrangle scale 1:100000. *GRDC Bandung*.
- Effendi, A. C., and B. H. Kusnama. (1998). *Peta Geologi Gembar Bogor Edisi Kedua*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Febriani, F., Hattori, K., Widarto, D. S., Han, P., Yoshino, C., Nurdiyanto, B., Effendi, N., Maulana, I., & Gaffar, E. (2013). Audio Frequency Magnetotelluric Imaging of the Cimandiri Fault , West Java , Indonesia. *Jurnal Geofisika*, 14(1).
- Gaffar, E. Z. (2006). *Deformasi Kerak Bumi Segmen-Segmen Sesar Cimandiri*. Bandung: Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.
- Grandis, Dr. H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika (HAGI), Bandung.
- Hamilton, W. (1979). Tectonics of the Indonesian Region. *Geological Society of Malaysia, Bulletin*, 6.
- Handayani, L., Maryati, Kamtono, Ma'ruf Mukti, M., & Sudrajat, Y. (2017). Audio-magnetotelluric modeling of Cimandiri Fault Zone at Cibeber, Cianjur. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(1). <https://doi.org/10.17014/ijog.4.1.39-47>.
- Haryanto, I., Hutabarat, J., Sudradjat, A., Ilmi, N. N., & Sunardi, D. E. (2017). TEKTONIK SESAR CIMANDIRI, PROVINSI JAWA BARAT. Dalam *Bulletin of Scientific Contribution* (Vol. 15).
- Hinze, W. J., Von Frese, R. R. B., & Saad, A. H. (2010). Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications. Dalam *Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices, and Applications*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511843129>.
- Irham Nurwidyanto, M., & Ari Setiawan, dan. (2011). *PEMODELAN ANOMALI GRAVITASI SESAR DENGAN PENDEKATAN MODEL SHEET (MODELLING*

- GRAVITY ANOMALIES OF FAULT BY SHEET MODEL APPROACH*) (Vol. 14, Nomor 3).
- Koesmono, M., and S. N. Kusnama. (1996). *Peta geologi lembar Sindang Barang dan Bandarwaru*, Geology Survey of Indonesia, Bandung, Indonesia.
- Marliyani, G. I., Arrowsmith, J. R., & Whipple, K. X. (2016). Characterization of slow slip rate faults in humid areas: Cimandiri fault zone, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 121(12). <https://doi.org/10.1002/2016JF003846>.
- Martodjojo, S. (2003). *Evolusi Cekungan Bogor Jawa Barat*. Penerbit ITB Bandung.
- Miller, H. G., & Singh, V. (1994). Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32(2-3). [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1).
- Narayan, S., Sahoo, S. D., Pal, S. K., Kumar, U., Pathak, V. K., Majumdar, T. J., & Chouhan, A. (2017). Delineation of structural features over a part of the Bay of Bengal using total and balanced horizontal derivative techniques. *Geocarto International*, 32(4). <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1140823>.
- Noor, D. (2009). Pengantar Geologi Edisi Pertama. Dalam *Program Studi Teknik Geologi, fakultas Teknik - Universitas Pakuan*.
- Oasis Montaj. (2020). *Applying Filters and Inverse FFT in BANDP GX Geosoft Oasis Manual Book*.
- Pannekoek, A. J. (1946). *Geomorfologische waarnemingen op het Djampang Plateau in West Java*. Tijdschrift Kon. Nederlands Aardrijkskundig Gen. 63(3), 340-367.
- Pulunggono, A., & Martodjojo, S. (1994). Perubahan Tektonik Paleogen-Neogen Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa. *Proceedings of Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa Sejak Mesozoik Akhir Hingga Kwartar*.
- Reynolds, J. M. (1997). An introduction to applied and environmental geophysics. Dalam *An introduction to applied and environmental geophysics*. <https://doi.org/10.1071/pvv2011n155other>.
- Setyonegoro, W., Nugraha, J., Sulastri, Martha, A.A., Pakpahan, S., Yusuf, M. (2012). Interpretasi Kuantitatif Struktur Sesar Cimandiri Dengan Metode Gravitasi. *Prosiding Seminar Tahunan Hasil-Hasil Penelitian dan Pengembangan Puslitbang BMKG*. ISBN : 978-979-15549-8- 5, hal : 141-148.
- Stewart, I. C. F., & Miller, D. T. (2018). Directional tilt derivatives to enhance structural trends in aeromagnetic grids. *Journal of Applied Geophysics*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.10.004>.
- Subagio. (2018). Struktur Geologi Bawah Permukaan Pegunungan Selatan Jawa Barat Ditafsir dari Anomali Bouguer. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 19(4).
- Sudjatmiko. (1972). *Peta Geologi 1:100.000 Lembar Cianjur Jawa Barat*, Pusat Pengembangan dan Peneitian Geologi, Bandung, Indonesia.
- Sukanto, R. (1975). *Peta geologi lembar Jampang dan Balekambang*, Pusat Pengembangan dan Peneitian Geologi, Bandung, Indonesia.
- Supriyanto. (2007). *Analisis Data Geofisika : Memahami Teori Inversi*. Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Susilohadi, S., Gaedicke, C., & Djajadihardja, Y. (2009). Structures and sedimentary deposition in the Sunda Strait, Indonesia. *Tectonophysics*, 467(1-4). <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.12.015>.

- Talwani, M., Worzel, J. L., & Landisman, M. (1959). Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone. *Journal of Geophysical Research*, 64(1). <https://doi.org/10.1029/jz064i001p00049>.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied Geophysics. Dalam *Applied Geophysics*. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139167932>
- Van Bemmelen, R. W. (1949). The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. Dalam *Government Printing Office, The Hague*.

LAMPIRAN

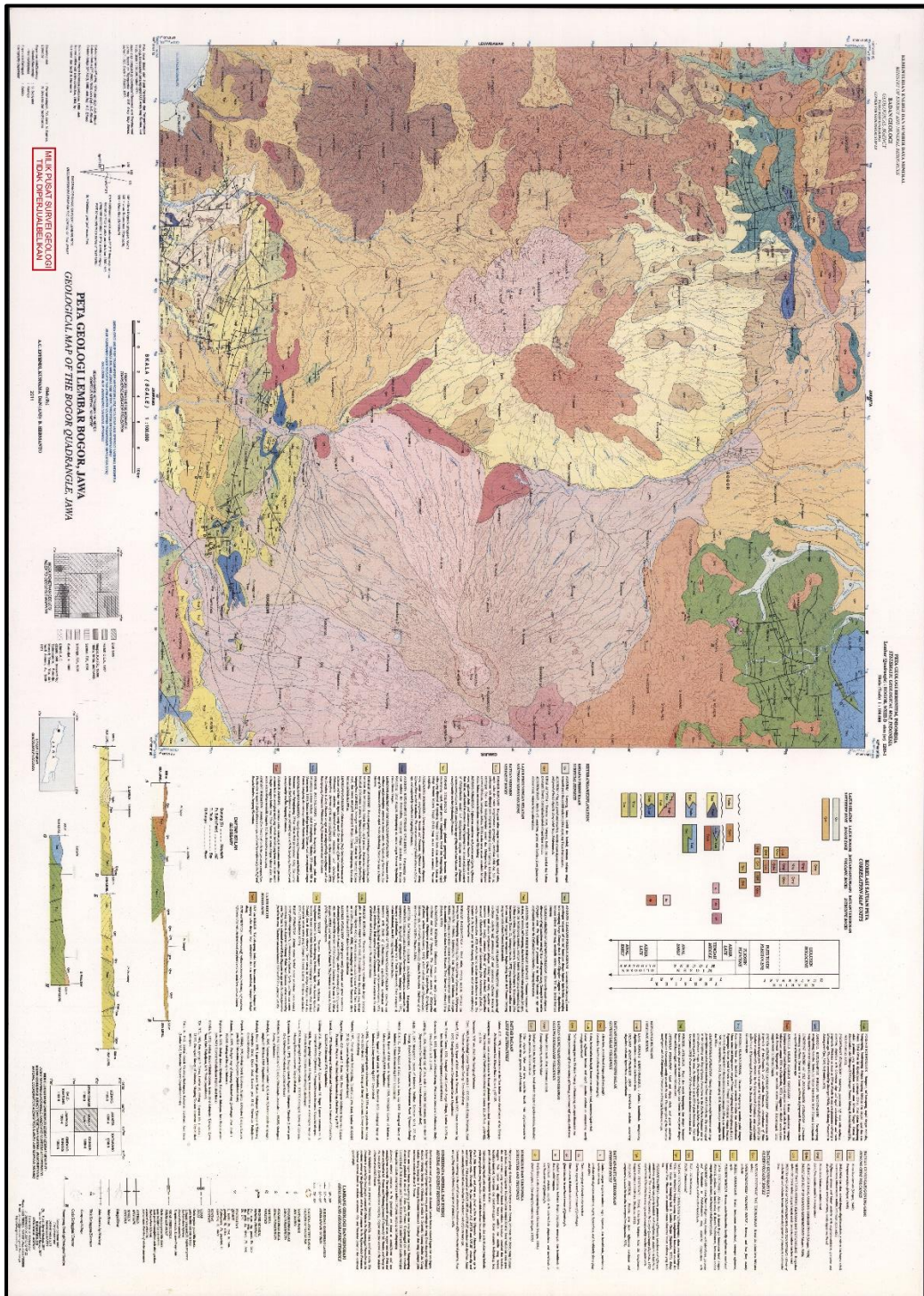
Lampiran 1. Peta Geologi Daerah Penelitian

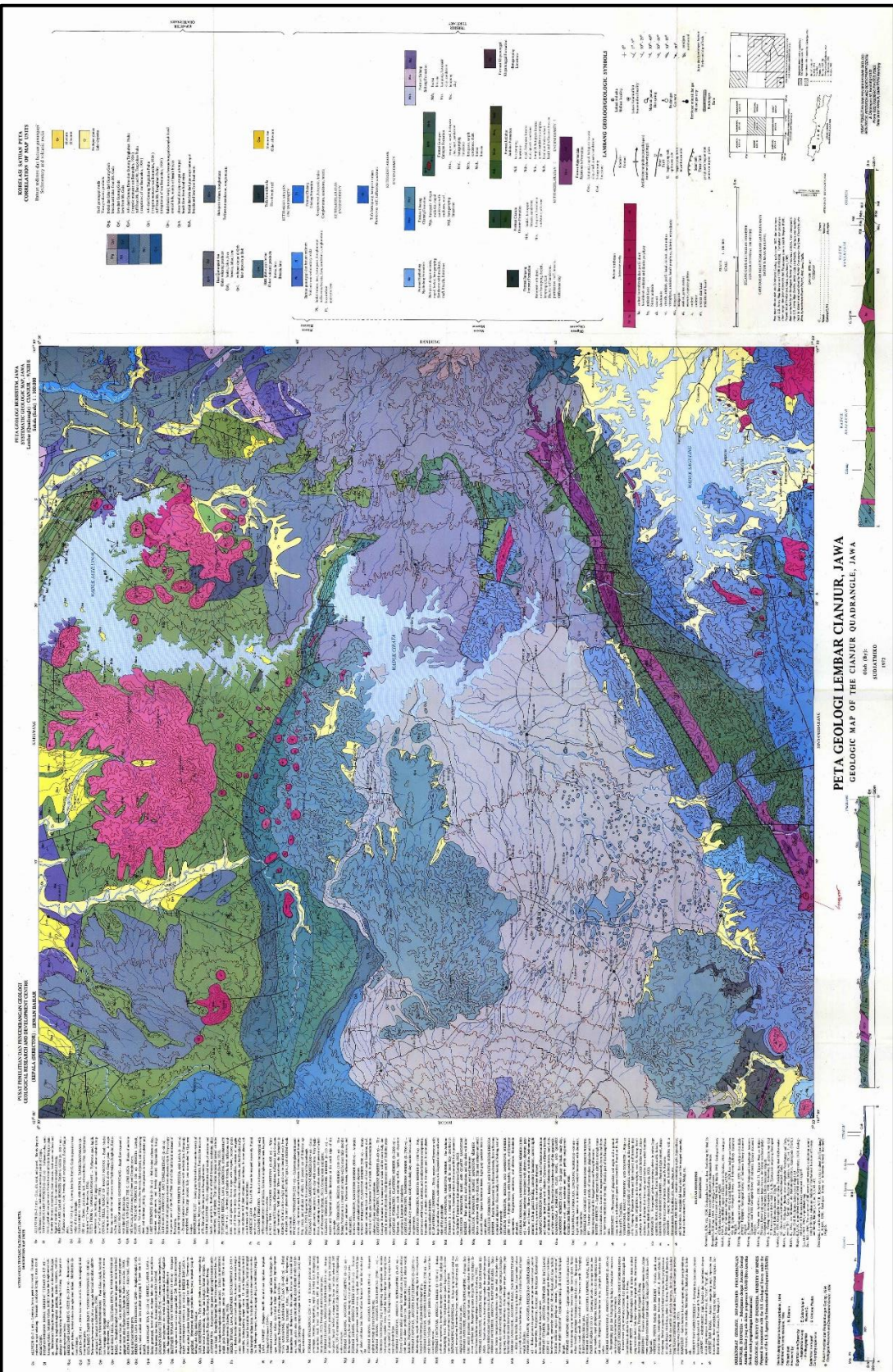


Keterangan :

- Struktur Patahan
- Geologi Daerah Cimandiri
- Alluvium
- Alluvium and Coastal Deposits
- Alluvium Fans
- Andesite
- Andesite
- Andesite & Basalt
- Andesite lava
- Andesite of Cabe vol&basalt of Angsana
- Andesite of Sudamanik Volcano
- Badii Formation
- Basalt
- Basalt lava flow of G. Gegerbentang

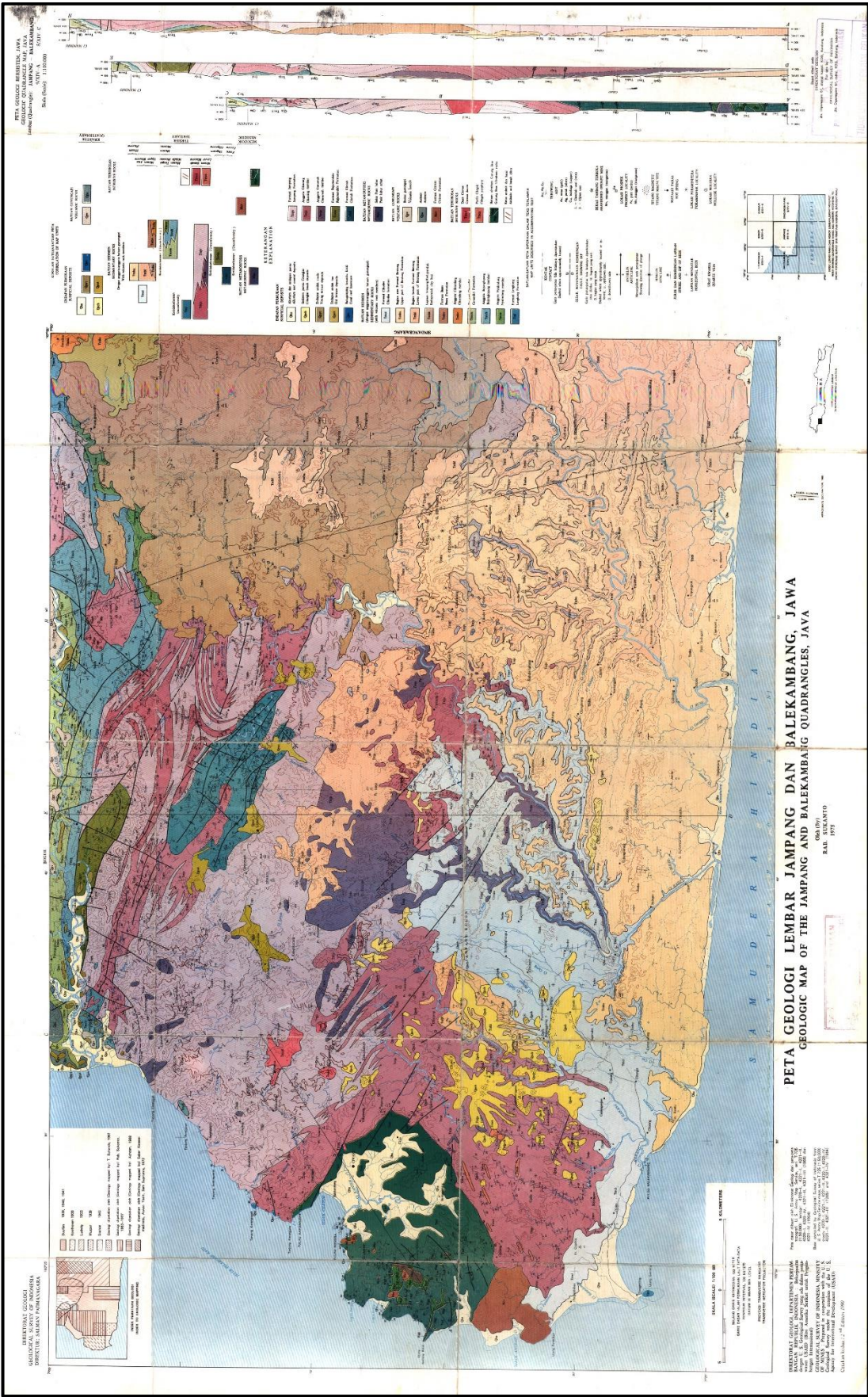
Lampiran 2. Peta Lembar Geologi





INSTITUT TEKNIK SURABAYA
 DEPARTEMEN TEKNIK SURVEI DAN PERTAMBANGAN
 SURABAYA, 1988

PETA GEOLOGI LEMBAR CIANJUR, JAWA
GEOLOGIC MAP OF THE CIANJUR QUADRANGLE, JAVA
 OMB 100
 SURABAYA, 1988



INSTITUT GEOLOGI SURABAYA
 GEOLOGICAL SURVEY OF INDONESIA
 SURABAYA, INDONESIA

PETA GEOLOGI LEMBAR JAMPANG DAN BALEKAMBANG, JAWA
GEOLOGIC MAP OF THE JAMPANG AND BALEKAMBANG QUADRANGLES, JAVA

BAR. SUKANTO
 1973

INSTITUT GEOLOGI SURABAYA
 GEOLOGICAL SURVEY OF INDONESIA
 SURABAYA, INDONESIA

Peta ini dibuat dan diterbitkan dengan dukungan dan bantuan dari Departemen Geologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

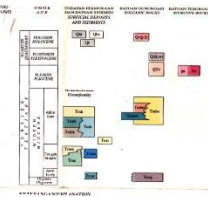
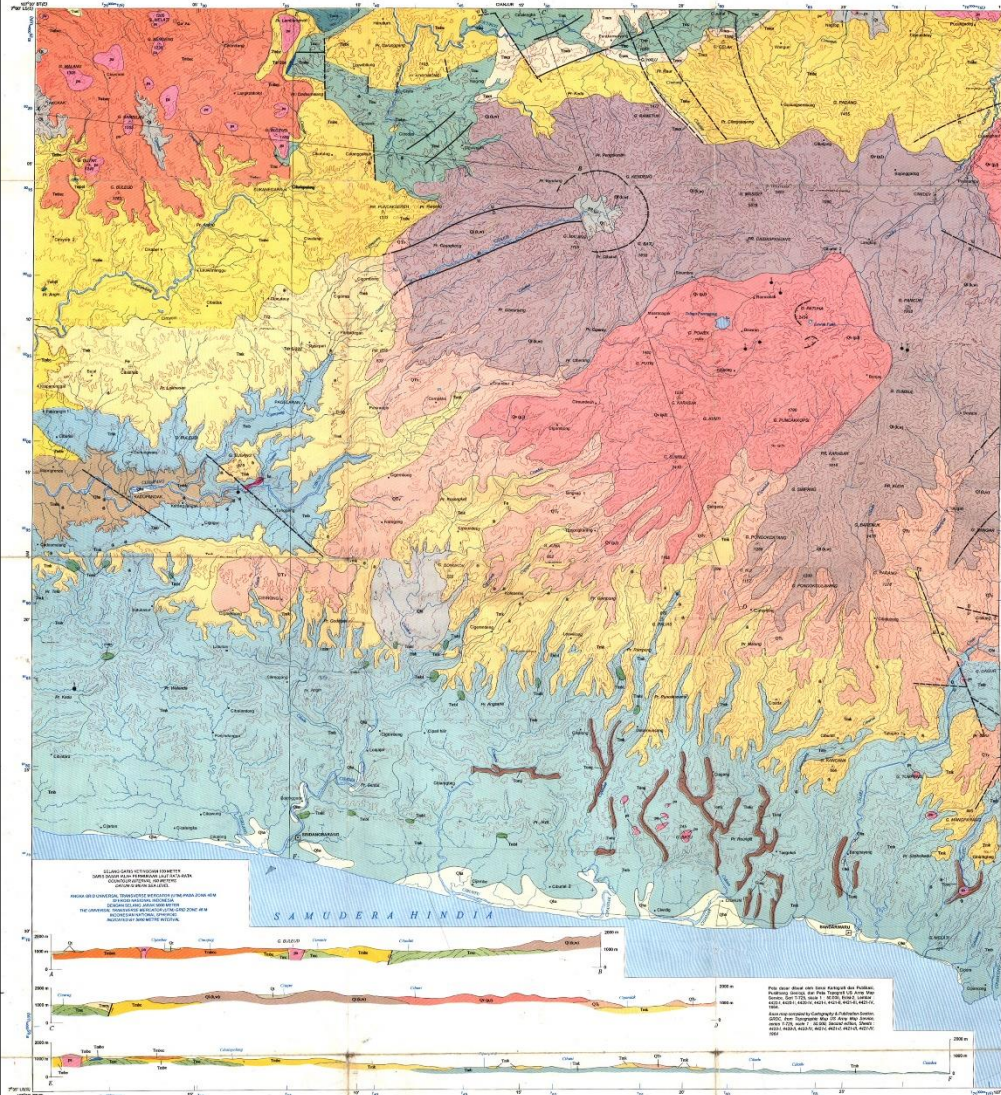
This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.

This map was prepared and published with the support and assistance of the Department of Geology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, Indonesia.



SYEMBOLOLOGI
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

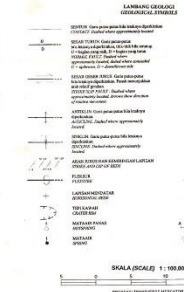
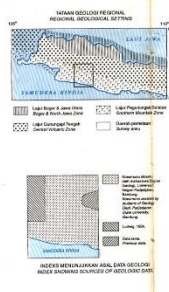
LEGENDA
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

SYEMBOLOLOGI
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

LEGENDA
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

SYEMBOLOLOGI
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

LEGENDA
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS



SYEMBOLOLOGI
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

LEGENDA
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

SYEMBOLOLOGI
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

LEGENDA
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

SYEMBOLOLOGI
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

LEGENDA
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

SYEMBOLOLOGI
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

LEGENDA
LAMBANG PERUBAHAN
DOKUMEN KERTAS

PETA GEOLOGI LEMBAR SINDANGBARANG DAN BANDARWARU, JAWA
GEOLOGICAL MAP OF THE SINDANGBARANG AND BANDARWARU QUADRANGLES, JAVA

1:100,000
M. KOSMOSMO, SISWAMA & N. SUWARNA
1994
EDI KAJI-SECOND EDITION

