

**IDENTIFIKASI STRUKTUR CEKUNGAN KENDENG MENGGUNAKAN
DATA GAYA BERAT *FORWARD MODELLING* DAN *INVERSE
MODELLING***

(Skripsi)

Oleh

**MUHAMMAD RIZQI HALIM
1915051010**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR CEKUNGAN KENDENG MENGGUNAKAN
DATA GAYA BERAT *FORWARD MODELLING* DAN *INVERSE
MODELLING***

Oleh
MUHAMMAD RIZQI HALIM

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023

ABSTRAK

IDENTIFIKASI STRUKTUR CEKUNGAN KENDENG MENGGUNAKAN DATA GAYA BERAT *FORWARD MODELLING* DAN *INVERSE MODELLING*

OLEH

MUHAMMAD RIZQI HALIM

Penelitian ini berlokasi di Cekungan Kendeng Tepatnya pada Lembar Geologi Ponorogo, Jawa Timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur Cekungan Kendeng serta melakukan pemodelan dengan *Forward Modelling* 2D dan juga *Inverse Modelling* 3D. Anomali bouguer lengkap pada penelitian ini dengan rentang dari -47,4 mGall sampai 97 mGall. Pemisahan yang dilakukan dengan menggunakan *filter moving average*. Rata rata kedalaman anomali regional pada daerah penelitian ini yaitu -5879,7 m dan rata rata kedalaman anomali residual pada daerah penelitian yaitu -542,735 m. Identifikasi struktur yang dilakukan dengan analisis derivatif yaitu dengan anomali FHD dan SVD sebanyak 4 lintasan. Dari keempat lintasan didapatkan beberapa struktur geologi berupa pelipatan dan juga patahan naik maupun patahan normal. Struktur yang diidentifikasi berdasarkan analisis derivatif berkorelasi dengan struktur peta geologi daerah penelitian. Beberapa struktur tersebut meliputi Sesar Lawu, Sesar Sidoramping-Lawu, Sesar Cemorosewu dan juga Sesar Dayakan. Pemodelan dilakukan untuk memodelkan struktur yang telah teridentifikasi oleh analisis derivatif dan juga peta geologi daerah penelitian. Sehingga didapatkan beberapa perlapisan sedimen pada setiap lintasan yang meliputi Batu Gamping dengan rapat massa batuan 2,3 gr/cc, Batu pasir dengan rapat massa batuan 2,55 gr/cc dan Batu Lempung dengan rapat masa batuan 2,4 gr/cc. Batuan *basement* pada daerah penelitian diidentifikasi dengan rapat massa batuan 2,95 gr/cc. Pemodelan 3D *Inverse Modelling* didapatkan rentang persebaran rapat massa batuan dari 2 gr/cc hingga 3,04 gr/cc. Kedua pemodelan ini saling berkorelasi sehingga dapat digunakan untuk memodelkan struktur yang telah teridentifikasi.

Kata kunci: Cekungan Kendeng; FHD; *Forward Modelling*; *Inverse Modelling*;
Struktur Geologi; SVD

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF KENDENG BASIN STRUCTURE USING FORWARD MODELLING AND INVERSE GRAVITY DATA MODELLING

By

Muhammad Rizqi Halim

This research is located in the Kendeng Basin, precisely on the Geology Sheet Ponorogo, East Java. This study aims to identify the structure Kendeng Basin as well as doing modeling with Forward Modelling 2D and also Inverse Modelling 3D. Complete bouguer anomaly in this study with a range from -47.4 mGall to 97 mGall. Carried out separation by using the Moving Average filter. Average depth of regional anomalies In this study area is -5879.7 m and the average depth of residual anomalies In the study area, it is -542.735 m. Identification of the structure carried out with derivative analysis, namely with FHD and SVD anomalies as many as 4 passes. From the four tracks, several geological structures were obtained in the form of folding and also ascending faults as well as normal faults. Structures identified based on Derivative analysis correlates with the structure of the geological map of the study area. Some of these structures include Lawu Fault, Sidoramping-Lawu Fault, Fault Cemorsewu and also the Dayakan Fault. Modeling is done to model structures that have been identified by derivative analysis as well as geological maps research area. So that several layers of sediment are obtained on each track which includes Limestone with a rock mass density of 2.3 gr/cc, Batu sand with a rock mass density of 2.55 gr/cc and claystone with a mass density rocks 2.4 gr/cc. Basement rocks in the study area were identified with Rock mass density 2.95 gr/cc. Inverse Modelling 3D modeling obtained The density distribution range of rock masses is from 2 gr/cc to 3.04 gr/cc. Second These models are correlated so they can be used to model structures that have been identified.

Keywords: Kendeng Basin; FHD; Forward Modelling; Inverse Modelling;
Geological Structure; SVD

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI STRUKTUR CEKUNGAN KENDENG
MENGUNAKAN DATA GAYA BERAT FORWARD
MODELLING DAN INVERSE MODELLING**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Rizqi Halim**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1915051010**

Program Studi : **Teknik Geofisika**

Fakultas : **Teknik**



Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.
NIP 19720626 200012 1 001

Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.
NIP 19700120 200003 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.**

Sekretaris : **Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.**

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



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. y
NIP^s197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 06 Oktober 2023

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis dengan judul “**Identifikasi Struktur Cekungan Kendeng Menggunakan Data Gaya Berat *Forward Modelling* Dan *Inverse Modelling***” ini bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tersebut dalam skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan.

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

Bandar Lampung, 19 Oktober 2023



Amad Rizqi Halim
1915051010

RIWAYAT HIDUP



Muhammad Rizqi Halim, dilahirkan di Pajaresuk pada tanggal 11 Januari 2002. Anak ketiga dari empat bersaudara dari Bapak Ruslan Efendi dan Ibu Marhanna. Pendidikan dimulai pada Taman Kanak Kanak Baitul Umi yang diselesaikan pada tahun 2006, Pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Pringsewu Selatan yang diselesaikan pada tahun 2014, Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 3 Pringsewu yang diselesaikan pada tahun 2017, Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 2 Pringsewu yang diselesaikan pada tahun 2019 dan pada tahun 2019 melanjutkan Pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Selama masa studi Penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Perpetaan pada tahun 2022, Asisten Praktikum Metode Gaya Berat pada tahun 2023, dan juga Asisten Praktikum Elektronika Geofisika pada tahun 2023. Penulis juga aktif dalam berorganisasi kemahasiswaan seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (HIMA TG BHUWANA) sebagai Ketua Biro Kesekretariatan dan Rumah Tangga pada periode 2022, *American Association of Petroleum Geologist* Universitas Lampung SC (AAPG Unila SC) sebagai anggota divisi *Education and Creative* pada tahun 2022, Acara Nasional *Geophysics Whiz Event and Seminar* (GWES) Unila sebagai Asisten Koordinator Perlengkapan dan Logistik pada tahun 2021, dan pada Forum Silaturahmi dan Studi Islam (Fossi) Fakultas Teknik Universitas Lampung sebagai anggota Biro Usaha Mandiri pada tahun 2020 dan anggota departemen Hubungan Masyarakat pada tahun 2021. Pada bulan Juli 2022 penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di Pusat Survey Geologi (PSG) dengan Judul **“DELINEASI STRUKTUR GEOLOGI DAERAH PANAS BUMI BERDASARKAN ANALISIS DERIVATIF METODE GAYA BERAT**

LEMBAR GEOLOGI PANGKAJENE DAN WATAMPONE BARAT, SULAWESI” dan Penulis melanjutkan Penelitian Tugas Akhir di Pusat Survey Geologi (PSG) pada bulan Maret Tahun 2023 dengan judul penelitian **“IDENTIFIKASI STRUKTUR CEKUNGAN KENDENG MENGGUNAKAN DATA GAYA BERAT *FORWARD MODELLING* DAN *INVERSE MODELLING*”** dan pada bulan Oktober Tahun 2023 Penulis berhasil menyelesaikan penelitian tugas akhir untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik.

PERSEMBAHAN

Puji dan Syukur saya panjatkan kepada Allah SWT. atas karunianya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar. Skripsi ini saya persembahkan kepada

EMAK DAN AYAH TERCINTA

MARHANNA, S.Pd.Ing.

&

RUSLAN EFENDI

Yang tiada hentinya berusaha dengan keras memberikan segalanya yang tidak dapat penulis jabarkan satu persatu. Mungkin dengan terselesaikannya skripsi ini dan Pendidikan Sarjana penulis dapat menjadi gerbang penulis untuk dapat membahagiakan kedua orang tua yang sangat penulis cintai. Harapan penulis adalah penulis dapat sesegera mungkin untuk membanggakan kedua orang tua penulis agar penulis dapat mengangkat derajat keluarga kecil penulis.

KAKAK-KAKAK DAN ADIK TERSAYANG

MARINI NOVIA EKA SARI, Amd.Keb.

NURUL ISTIQOMAH

ALIFAH HALIMATUS SA'DIYAH

Yang tiada hentinya memberikan dukungan dan motivasi untuk penulis untuk dapat membuktikan betapa hebatnya keluarga kecil penulis. Terimakasih untuk secara tidak sadar selalu mengingatkan penulis tentang darimana kita berasal. Semoga kita semua dapat sesegera mungkin membanggakan kedua orang tua dan menaikkan derajat keluarga kecil kita.

MOTTO

“Mungkin kamu tidak menyukai sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan mungkin kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu”
(QS. Al-Baqarah : 216)

“Masa depan tergantung pada apa yang kamu lakukan hari ini”
(Mahtma Gandhi)

“Tak perlu khawatir akan bagaimana alur cerita pada jalan ini, perankan saja, Tuhan ialah sebaik-baiknya sturadara”
(Unknown)

“Diam tak akan menyelesaikan masalah, tapi diam juga tak akan menimbulkan masalah”
(Patrick Star)

“Tanpa tujuan dalam hidup, jalan yang akan dilalui akan tidak menentu arahnya”
(Muhammad Rizqi Halim)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur diucapkan atas kehadiran Allah Swt. atas segala rahmat-Nya, ridha-Nya dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Skripsi yang berjudul “**Identifikasi Struktur Cekungan Kendeng Menggunakan Data Gaya Berat *Forward Modelling* Dan *Inverse Modelling***” dengan sebaik-baiknya. Tidak lupa penulis ucapkan terima kasih terhadap bantuan dari berbagai pihak yang telah berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis sangat berharap semoga dengan ditulisnya Skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan menjadi tulisan yang informatif bagi pembaca. Bagi saya sebagai penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan laporan ini karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman. Untuk itu kami sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga Skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis khususnya dan juga bagi pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 19 Oktober 2023

Penulis,



Muhammad Rizqi Halim

NPM. 1915051010

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan atas rahmat dan karunia Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada suri tauladan Rasulullah Muhammad SAW beserta para sahabatnya dan kita selaku umatnya akhir zaman.

Adapun dalam penyelesaian Skripsi ini, terdapat banyak pihak yang terlibat, yang mana pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Diri Penulis Pribadi yang telah mampu melakukan segala hal yang telah dilalui sampai dengan detik ini.
2. Kedua orang tua penulis yang menjadi kebanggaan seumur hidup penulis Bapak Ruslan Efendi dan Emak Marhanna, S.Pd.Ing yang telah mendukung semua yang penulis lakukan, menyayangi dan mencintai penulis dengan setulus hati.
3. Kedua kakak dan seorang adik yang selalu mendukung yang dilakukan penulis hingga saat ini Marini Novia Eka Sari, Amd.Keb., Nurul Istiqomah, dan seorang adik Alifah Halimatus Sa'Diyah.
4. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan kepada mahasiswa dan mahasiswinya.
5. Bapak Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing 1 penulis yang telah meluangkan banyak waktu, membimbing, memberi arahan dan masukan, serta selalu memotivasi penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir.
6. Bapak Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing 2 penulis yang telah meluangkan waktunya, membimbing, memberi arahan dan masukan penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir.
7. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si., selaku penguji yang telah memberikan masukan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir.

8. Bapak Rustadi, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing akademik penulis yang telah membimbing penulis dari mahasiswa baru hingga penulis menyelesaikan Pendidikan Sarjana.
9. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak ilmu dan berbagi wawasannya kepada penulis selama menempuh Pendidikan Sarjana.
10. Bapak Noor Muhammad Indragiri, S.T., M.T. selaku pembimbing penulis dalam melaksanakan Kerja Praktik maupun Penelitian Tugas Akhir di Pusat Survey Geologi (PSG).
11. Teman-Teman seperjuangan selama melakukan penelitian Kerja Praktik dan Tugas Akhir di Pusat Survey Geologi Wanda, Jefri, Rasyid dan Abi.
12. Anak-Anak Kontrakan Wanda, Haidar, Dany, Jefri, Fariz, dan Rasyid yang sudah memberikan tempat singgah selama belum mempunyai tempat singgah di Bandar Lampung.
13. Tutor pengolahan dan penyusunan laporan penelitian tugas akhir Tuning, Hayu, Aulia, Alda dan Adel yang sudah mau direpotkan dalam segala hal mengenai tugas akhir penulis.
14. Kartesian tercinta terimakasih telah kebersamai selama kepengurusan di Hima TG Bhuwana.
15. Keluarga Besar Teknik Geofisika Angkatan 2019 (TG19 Makkou Tanding) yang telah kebersamai dari awal menjadi mahasiswa baru hingga penulis dapat menyelesaikan studinya di Teknik Geofisika Universitas Lampung.
16. Serta berbagai pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.

Bandar Lampung, 19 Oktober 2023

Penulis,



Muhammad Rizqi Halim

NPM. 1915051010

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERSETUJUAN.....	v
PENGESAHAN.....	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
PERSEMBAHAN.....	x
MOTTO	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
SANWACANA.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Lokasi Daerah Penelitian.....	3
2.2. Fisiografi Regional	3
2.3. Geologi dan Tektonik Regional.....	5
2.4. Stratigrafi.....	6
2.5. Penelitian Terdahulu	10
III. TEORI DASAR.....	13
3.1. Metode Gaya Berat.....	13
3.2. Konsep Dasar Gaya Berat	13
3.2.1. Gaya Gravitasi Newton	13

3.2.2. Percepatan Gravitasi.....	14
3.2.3. Potensial Gravitasi	15
3.2.4. Rapat Massa Batuan.....	16
3.3. Anomali Bouguer	17
3.4. Analisis Spektrum	18
3.5. <i>Filter Moving Average</i>	20
3.6. <i>First Vertical Derivative</i>	21
3.7. <i>Second Vertical Derivative</i>	21
3.8. <i>Forward Modelling dan Inverse Modelling</i>	23
IV. METODE PENELITIAN.....	24
4.1. Tempat dan Waktu Penelitian	24
4.2. Alat dan Bahan	24
4.3. Prosedur Penelitian.....	25
4.3.1. Anomali Bouguer Lengkap.....	25
4.3.2. Analisis Spektral	25
4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual	26
4.3.4. Analisis Derivatif.....	26
4.3.5. Pemodelan Bawah Permukaan.....	27
4.4. Jadwal Kegiatan	28
4.5. Diagram Alir.....	29
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
5.1. Data Pengamatan.....	30
5.2. Anomali Bouguer Lengkap	30
5.3. Analisis Spektrum	31
5.3.1. Lintasan 1	33
5.3.2. Lintasan 2	33
5.3.3. Lintasan 3	34
5.3.4. Lintasan 4	35
5.3.5. Lintasan 5	36
5.3.6. Lintasan 6	36
5.4. <i>Moving Average</i>	38
5.5. Anomali Regional.....	38
5.6. Anomali Residual.....	39
5.7. Analisis Derivatif	40

5.7.1. <i>First Horizontal Derivative</i>	40
5.7.2. <i>Second Vertical Derivative</i>	41
5.7.3. Analisis Derivatif Sayatan 1.....	45
5.7.4. Analisis Derivatif Sayatan 2.....	46
5.7.5. Analisis Derivatif Sayatan 3.....	47
5.7.6. Analisis Derivatif Sayatan 4.....	48
5.8. <i>Forward Modelling</i>	49
5.8.1. Lintasan 1 <i>Forward Modelling</i>	49
5.8.2. Lintasan 2 <i>Forward Modelling</i>	51
5.8.3. Lintasan 3 <i>Forward Modelling</i>	53
5.8.4. Lintasan 4 <i>Forward Modelling</i>	55
5.9. <i>Inverse Modelling</i>	56
5.9.1. Korelasi Model Bawah Permukaan Lintasan 1	57
5.9.2. Korelasi Model Bawah Permukaan Lintasan 2	58
5.9.3. Korelasi Model Bawah Permukaan Lintasan 3	59
5.9.4. Korelasi Model Bawah Permukaan Lintasan 4.....	60
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	62
6.1. Kesimpulan.....	62
6.2. Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta daerah penelitian	3
2. Fisiografi Jawa Timur (Bammelen, 1949)	4
3. Peta Geologi Lembar Ponorogo, Jawa (Modifikasi dari Sampurno dan.....	6
4. Stratigrafi regional daerah penelitian	10
5. Gaya tarik menarik antara dua buah benda (Grandis, 2009).....	14
6. Potensial dan kuat medan massa 3 dimensi (Modifikasi dari Maulana, 2012)	15
7. Kurva $\ln A$ terhadap K (Blakely, 1996).....	20
8. Diagram alir penelitian.....	29
9. Peta anomali bouguer lengkap daerah penelitian.....	31
10. Lintasan analisis spektrum	32
11. Grafik $\ln A$ terhadap k lintasan 1	33
12. Grafik $\ln A$ terhadap k lintasan 2	34
13. Grafik $\ln A$ terhadap k lintasan 3	35
14. Grafik $\ln A$ terhadap k lintasan 4	35
15. Grafik $\ln A$ terhadap k lintasan 5	36
16. Grafik $\ln A$ terhadap k lintasan 6	37
17. Peta anomali regional daerah penelitian	39
18. Peta anomali residual daerah penelitian.....	40
19. Peta first horizontal derivative daerah penelitian.....	41
20. Peta second vertical derivative daerah penelitian	42
21. Sayatan analisis derivatif peta anomali residual	43
22. Sayatan analisis derivatif peta FHD	44
23. Sayatan analisis derivatif peta SVD.....	44
24. Analisis derivatif sayatan 1	45
25. Analisis derivatif sayatan 2	46
26. Analisis derivatif sayatan 3	47

27. Analisis derivatif sayatan 4	48
28. Hasil FWD lintasan 1	50
29. Forward modelling lintasan 1	50
30. Hasil FWD lintasan 2	52
31. Forward modelling lintasan 2	52
32. Hasil FWD lintasan 3	54
33. Forward modelling lintasan 3	54
34. Hasil FWD lintasan 4	55
35. Forward modelling lintasan 4	56
36. Inverse Modelling 3D	57
37. Korelasi model bawah permukaan lintasan 1	58
38. Korelasi model bawah permukaan lintasan 2	59
39. Korelasi model bawah permukaan lintasan 3	60
40. Korelasi model bawah permukaan lintasan 4	61

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai densitas batuan (Telford dkk., 1990).....	16
2. Tabel operator filter SVD.....	22
3. Alat dan bahan.....	24
4. Pelaksanaan kegiatan tugas akhir.....	28
5. Cuplikan data penelitian.....	30
6. Rata-rata kedalaman anomali bouguer regional dan residual	37
7. Rata-rata bilangan gelombang (k) dan lebar jendela (N).....	38

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Cekungan sedimen merupakan tempat terkumpulnya endapan sedimen yang berfungsi sebagai pengendapan reservoir dalam waktu lama. Cadangan minyak dan gas dapat ditemukan terakumulasi di cekungan sedimen. Eksplorasi saat ini didorong oleh tingginya permintaan minyak dan gas. Cekungan Kendeng yang telah terbukti memiliki beberapa rembesan migas merupakan salah satu cekungan dengan potensi cadangan migas. Kehadiran pintu keluar minyak dan gas menunjukkan bahwa daerah ini memiliki sistem hidrokarbon fungsional. Ada tiga titik keluar migas yang ditemukan, di wilayah Kedungjati, Wonosegoro, dan Dunglantang.

Dengan memeriksa variasi parameter fisik rapat massa, metode gravitasi adalah salah satu teknik geofisika yang dapat digunakan untuk memahami struktur cekungan. Densitas batuan di permukaan bumi, jarak dari permukaan bumi ke pusatnya, jenis batuan yang ada di bawah permukaan bumi, dan variasi topografi di permukaan bumi semuanya mempengaruhi gravitasi dengan cara yang berbeda. Penelitian-penelitian yang menggunakan metode gaya berat untuk melakukan analisis struktur telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain Novianto (2022), Miranda dkk., (2023), Bria dkk., (2022), Hiden dkk., (2019) dan juga oleh Hidayat dkk., (2020).

Interpretasi data gravitasi menunjukkan bahwa anomali tinggi mencerminkan lapisan sedimen yang tipis sedangkan anomali rendah mencerminkan lapisan sedimen yang tebal. Sebuah studi oleh Prabowo (2018) menggunakan metode gravitasi telah menjelaskan anomali Bouguer di provinsi Jawa Timur, yang meliputi tujuh kabupaten/kota seperti Kediri, Bojonegoro, Jombang, Madiun, Ngawi, Blora, Lamongan, Tuban, Blitar, Tulungagung, Ponorogo, Trenggalek, dan Magetan. Menemukan struktur geologi dari sebagian besar apa yang ada di bawah permukaan adalah tujuan dari penelitian ini. Patahan adalah jenis pergeseran batuan tertentu

yang berkembang ketika asal usul pergeseran batuan berubah. Keberadaan patahan ini berpotensi sangat berharga secara ekonomi karena perangkap hidrokarbon sering dikaitkan dengannya. Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan struktur geologi bawah permukaan menggunakan *forward modelling* 2D dan *inverse modelling* 3D.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengestimasi rata-rata kedalaman anomali regional dan rata-rata kedalaman anomali residual pada daerah penelitian.
2. Menentukan struktur geologi menggunakan anomali residual dengan analisis derivatif.
3. Menentukan model perlapisan bawah permukaan berdasarkan *forward modelling* 2D dan juga *inverse modelling* 3D data gaya berat.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Data gayaberat yang digunakan merupakan data sekunder Pusat Survey Geologi (PSG) berupa data Anomali Bouguer Lengkap (ABL).
2. Pemisahan anomali regional dan anomali residual menggunakan *filter moving average*.
3. Analisis derivatif yang digunakan meliputi anomali residual, anomali *first horizontal derivative* dan anomali *second vertical derivative*.
4. Pemodelan yang dilakukan meliputi *forward modelling* 2D dan *inverse modelling* 3D data gaya berat.

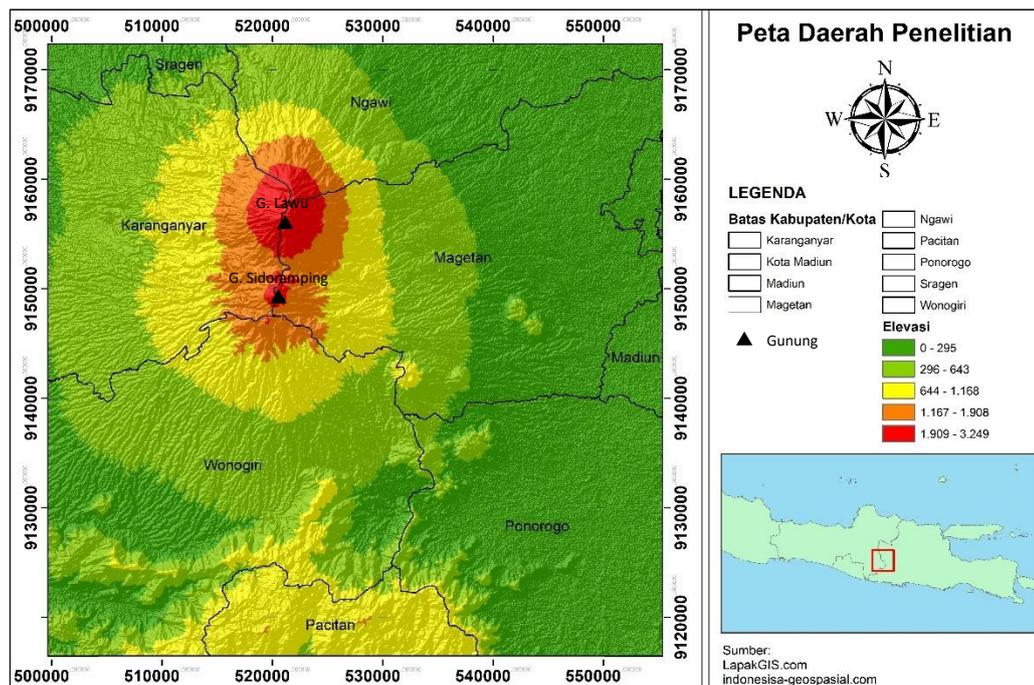
1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini ialah untuk memberikan gambaran tentang struktur geologi yang tersembunyi di bawah permukaan dan menyediakan data pemodelan mengenai Cekungan Kendeng yang dapat digunakan sebagai panduan atau referensi dalam penelitian berikutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Daerah Penelitian

Daerah penelitian ini berlokasi di Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur, secara spesifik mencakup Kabupaten Karanganyar, Kota Madiun, Kabupaten Madiun, Kabupaten Magetan, Kabupaten Ngawi, Kabupaten Pacitan, Kabupaten Ponorogo, Kabupaten Sragen, dan Kabupaten Wonogiri. Lokasi ini terletak pada koordinat 111°00' sampai 111°30' BT dan 7°30' sampai 8°00' LS **Gambar 1**.



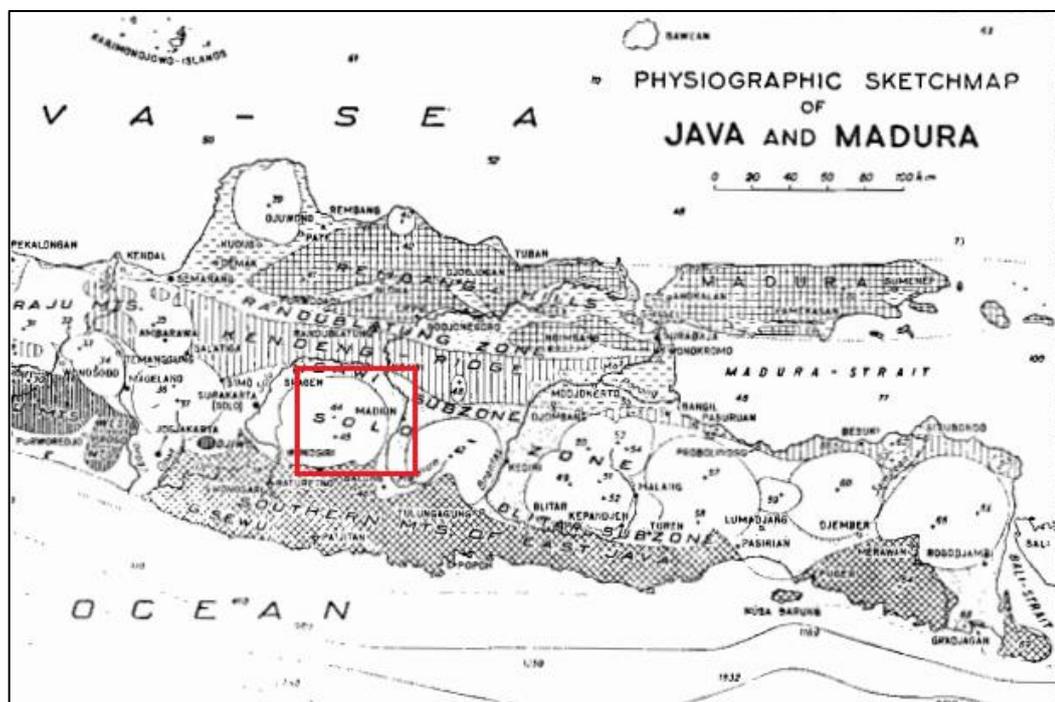
Gambar 1. Peta daerah penelitian

2.2. Fisiografi Regional

Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Selat Madura adalah empat divisi geografis utama Jawa, menurut Van Bemmelen (1949). **Gambar 2** menunjukkan pembagian lebih lanjut dari fisiografi Jawa Timur menjadi tujuh zona yang diurutkan dari utara ke selatan dan meliputi:

1. Komplek muria
2. Zona depresi Rembang-Semarang
3. Zona Rembang
4. Zona depresi Randublatung
5. Zona Punggungan Kendeng
6. Zona Solo (subzona Ngawi, Solo *sensu stricto* dan subzona Blitar)
7. Zona Punggungan Selatan

Pegunungan Selatan Jawa Timur berada di selatan, zona Kendeng di utara, dan diantaranya adalah gunung berapi kuarter. Menurut Bemmelen, wilayah studi terletak di dalam *Fire Mountain Quarter Trail* dan secara resmi dikenal sebagai Zona Depresi Solo mirip dengan Bandung Depression Zone atau Zona Bandung di Jawa Barat. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**, serangkaian letusan gunung berapi membentang dari dataran Banyuwangi di Jawa Timur ke Gunung Sindoro dan Sumbing di Jawa Tengah.



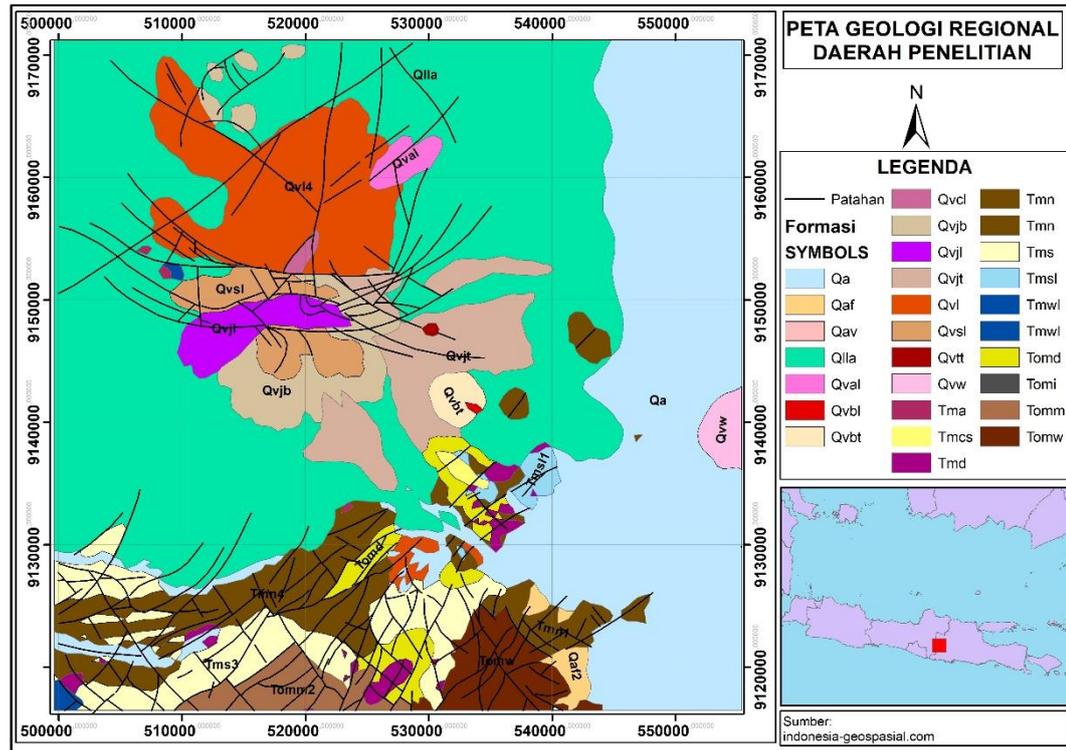
Gambar 2. Fisiografi Jawa Timur (Bammelen, 1949)

2.3. Geologi dan Tektonik Regional

Rantai gunung di selatan mengalami pelipatan dan ekspansi pada akhir periode Tersier, yang biasanya bergerak dari timur laut ke selatan dan dari barat laut ke tenggara. Pegunungan Selatan dan Pegunungan Utara kemudian secara bertahap dipisahkan oleh pembentukan gawir. Proses sedimentasi laut dalam dan aktivitas gelombang di lereng cekungan laut dalam sama-sama dipengaruhi oleh proses longsor bawah laut. Lapisan turbidit mulai terbentuk di sekitar daerah reservoir yang relatif dangkal di pegunungan dari Oligosen hingga akhir Miosen awal.

Runtuhnya terumbu karang dan penurunan kembali ke kedalaman yang lebih dalam, bersama dengan endapan batu kapur yang lebih halus, disebabkan oleh ketidakstabilan dalam kerangka tektonik. Magma yang keluar dan menyebar selama aktivitas tektonik selama fase pra-orogenesis pertengahan Miosen menghasilkan batuan seperti andesit, dasit, dan basal. Setelah pergerakan laut di tengah Miosen, lapisan batu kapur mulai terbentuk di wilayah selatan Lembar.

Lempeng Samudra Hindia di bawah Pulau Jawa menajam, yang mempengaruhi struktur geologi ini. Sejak awal zaman Tersier, lempeng telah bergerak ke selatan sambil terus terkikis hingga akhir era Aquitanian. Gunung berapi tua seperti Lawu diproduksi saat Quarter terus terbentuk. Sekitar pertengahan periode Pleistosen, keruntuhan di sepanjang Patahan Cemorsewu menyebabkan lereng utara gunung berapi runtuh. Lereng timur laut mulai membentuk arah barat daya sebagai akibat dari gaya kompresi, sedangkan lereng barat laut cenderung bergerak ke arah tenggara atau timur laut ke barat daya. Akhirnya, aktivitas magmatisme menyebabkan Kerucut Lawu Muda terbentuk di tepi utara patahan ini (Sampurno dan Samodra, 1997).



Gambar 3. Peta Geologi Lembar Ponorogo, Jawa (Modifikasi dari Sampurno dan Samodra, 1997)

2.4. Stratigrafi

Dalam penelitian ini, kami merujuk pada peta geologi Lembar Ponorogo dengan skala 1:100.000 yang disusun oleh Sampurno dan H. Samudro dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Peta ini digunakan sebagai panduan dan referensi untuk analisis regional dalam kolom stratigrafi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Stratigrafi daerah telitian secara umum menyusun wilayah Pegunungan Selatan Jawa Timur, sehingga dapat dibandingkan. Adapun stratigrafi regional daerah penelitian dari umur *Tertiary Oligocene* sampai *Quarternary Holocene* adalah sebagai berikut:

1. Formasi Panggang

Terdiri dari campuran batuan breksi, lava andesit, dan basal, dengan penyisipan lapisan batu pasir. Komponen dasar dari breksi ini adalah tufa yang telah mengalami proses kloritisasi, dan lava-lavanya memiliki tekstur yang padat. Batupasir berwarna hijau kelabu dengan ukuran kasar – sangat kasar. Lava berstruktur bantal berada di atas formasi ini. Formasi ini berselingan dengan Formasi Watupatok yang

diduga terjadi di lingkungan laut dan berumur Oligosen – Miosen dengan membentuk menjari. Ketebalan satuan tidak kurang dari 200 m. Lokasi tipe berada di Sungai Panggang dan persebaran lava dapat diruntut hingga lembar Pacitan dan di daerah ini merupakan bagian dari Formasi Mandalika (Samudro & Gafoer, 1990).

2. Formasi Dayakan

Formasi ini terbentuk dari lapisan batu pasir dan batu lempung dengan ketebalan beberapa puluh sentimeter. Proses pembentukannya adalah hasil dari lapisan turbidit yang bertumpuk, dan tebalnya mencapai 600 meter. Beberapa bagian dari batu pasir ini memiliki karakteristik tufa dan memiliki warna merah muda. Batulempung pada formasi ini mengandung fosil *Ga. ciperensis*, *Globigerinoides immaturus*, *Gs. altipeturus*, *Gs. trilobus*, *Globoquadrina predehiscens* & *Spairodinella dehiscens*. Formasi ini berumur Oligosen Akhir – Miosen Awal. Banyak organisme dasar laut, termasuk *Bathysiphon*, *Nodosaria sp.*, dan *Uvigerina sp.*, menunjukkan bahwa formasi ini berasal dari laut dalam. Bagian atas formasi ini juga berinteraksi dengan Formasi Semilir dan Formasi Nglanggeran. Formasi ini terjadi secara sporadis dengan Formasi Watupatok. Batuan dasit yang mengandung mineralisasi sulfida juga telah menembus formasi ini. Formasi ini, juga dikenal sebagai Formasi Mandalika di Pacitan, dapat ditemukan di Desa Dayakan, yang merupakan lokasi dari jenis formasi ini (Samudro & Gafoer, 1990).

3. Formasi Watupatok

Formasi ini terdiri dari berbagai batuan, termasuk rijang, batu pasir, batu lempung, dan lava basal. Ketebalan batu pasir berkisar antara 1,5 hingga 3 meter dan memiliki struktur abu-abu yang kasar. Foraminifera kecil yang menghuni dasar laut dapat ditemukan di dalam batuan lempung, yang memiliki ketebalan rata-rata sekitar 15 cm dan kadang-kadang dilapisi dengan tuf kasar dari lava. Bagian atas formasi ini terhubung ke Formasi Semilir, dan kadang-kadang berinteraksi dengan Formasi Dayakan. Formasi, yang memiliki ketebalan lebih dari 500 meter, diyakini telah terbentuk di lingkungan laut antara Oligosen dan Miosen.

4. Formasi Semilir

Formasi ini hasil mekanisme turbidit berisi breksi batupung yang mendominasi dan perselingan batupasir kerikilan, batupasir dan batulempung. Breksi batupung tersusun atas batupung, andesit, basal dan batupasir. Tebal lapisan geologis ini bervariasi antara 1 hingga 5 meter. Batu pasir dan batu pasir berkerikil terdiri dari campuran andesit, basalt, batu pasir, dan sedikit batu apung. Batulempung berwarna coklat hingga kelabu dengan struktur konvolut. Ketebalan hingga 75 cm. Diduga berumur N5 – N9 mengacu ciri litologi sejenis di Surakarta. Terbentuk pada kipas laut dalam bagian tengah kipas bersaluran (Samudro, 1983). Bagian bawah formasi ini menjari dengan Watupatok, Dayakan dan Panggan dan berangsur menjadi Formasi Nglanggeran pada bagian atas. Ketebalan formasi hingga 750 m. Formasi ini dapat dikorelasikan dengan Formasi Arjosari pada bagian selatan (Samudro & Gafoer, 1990).

5. Formasi Nglanggran

Formasi ini terdiri dari kombinasi breksi gunung berapi dan batu pasir. Breksi tersebut memiliki fragmen batu andesit dan basalt dengan ukuran antara 5 hingga 40 cm, memiliki sudut tumpul dan memiliki tebal sekitar 2 meter. Bagian atas berangsur menjadi batupasir dengan struktur gerusan. Batupasir berwarna kelabu kecoklatan dengan tekstur sedang hingga kasar. Tersingkap berselingan dengan breksi. Tebal satuan 500 m, dan menjemari dengan Formasi Semilir. Di Pacitan merupakan bagian atas Formasi Mandalika (Samudro & Gafoer, 1990). Lokasi tipe berada di Gunung. Nglanggeran, Surakarta (Bothe, 1929).

6. Anggota Cendono Formasi Sampung

Tiga jenis batuan yang berbeda batu gamping, breksi, dan batu pasir membentuk formasi ini. Batupasir gampingan biasanya ditemukan di dasar formasi dan dibedakan dengan warna coklat muda, ukuran sedang hingga kasar, dan ketebalan hingga 5 meter. Berbagai jenis batuan yang membentuk breccia termasuk andesit, basal, batu pasir, batu gamping, batu lempung, dan batu pasir kasar dengan karakteristik seperti batu gamping membentuk matriks. Tebal hingga 3 hingga 10 cm. Batupasir bersifat tufan mengandung bongkahan breksi dan batugamping. Tersingkap setebal 3 m dengan struktur berlapis sejajar dan bergelombang.

Menempati bagian atas satuan. Diduga berumur Miosen Tengah. Tebal seluruh satuan 200 m. Diduga runtuh bawah laut. Lokasi tipe terdapat di G. Cendono, tenggara kaki G. Lawu.

7. Formasi Sampung

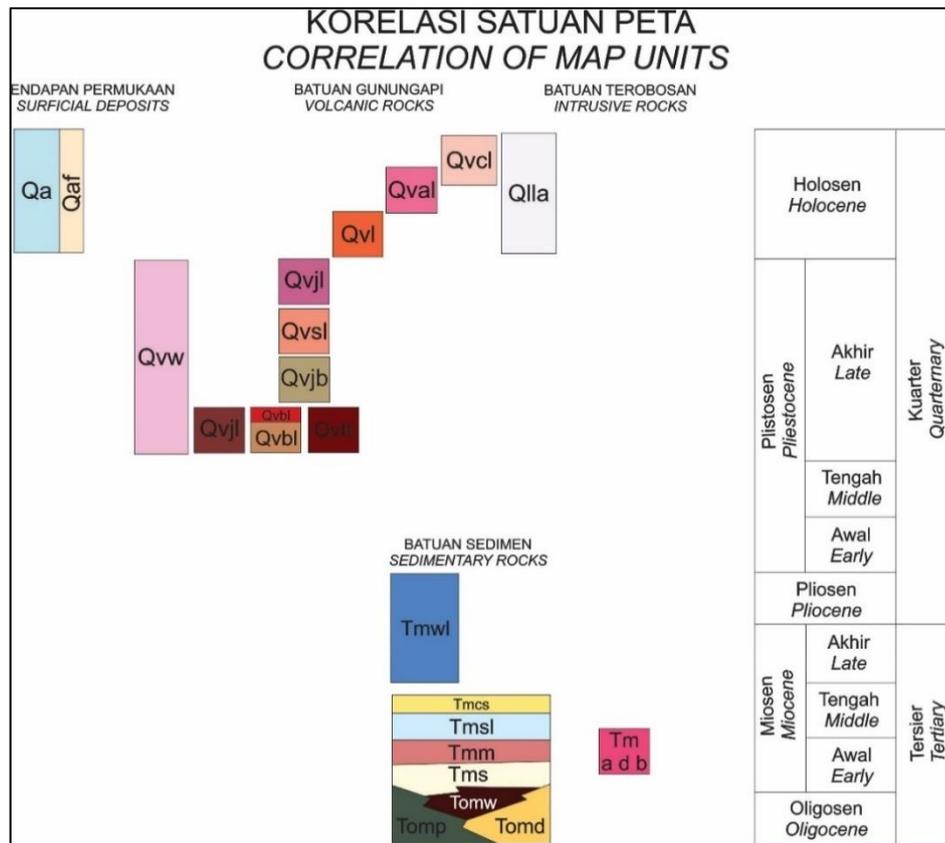
Lapisan berulang chalkarenite dan napal, batu gamping karang, batu lempung gampingan, tufa napal, dan sisipan konglomerat membentuk formasi. Formasi ini diperkirakan telah terbentuk di lingkungan laut dangkal selama Miosen awal, menurut fosil yang ditemukan. Tersingkap setebal 150 m. Berada selaras di atas Formasi Semilir dan Formasi Nglanggeran. Sebarannya hanya di Sampung dan Badegan, tenggara kaki Gunung Lawu. Formasi ini dapat dikorelasikan dengan Formasi Arjosari (Samodra & Gafoer, 1990, Samodra, 1992).

8. Formasi Wonosari

Formasi berlitologi batugamping terumbu dan kalkarenit, bersisip batugamping konglomeratan dan napal. Pada formasi ini terdapat fosil foraminifera berupa *Globorotalia menardii*, *Orbulina universa*, *Orbulina billobata*, *Globoquadrina altispira* dan *Sphaerodinellopsis subdehiscens* yang menandakan formasi ini terbentuk pada Miosen Tengah - Pliosen. Adanya organisme bentos seperti *Robulus sp.*, *Bolivina sp.*, *Rotalia sp.*, *Pyrgo sp.*, *Bathysiphon sp.*, dan *Ugiverina sp.* mengindikasikan bahwa lingkungan laut ini memiliki kedalaman antara 100 hingga 200 meter. Tebal satuan yaitu 75 m dan diusulkan oleh Bothe, 1929 untuk lokasi tipe di Wonosari di Surakarta.

9. Endapan Gunung Api Kwarter

Tersusun atas batuan – batuan gunung api kwarter berupa breksi, breksi tufan, dan lava andesit



Gambar 4. Stratigrafi regional daerah penelitian

2.5. Penelitian Terdahulu

Novianto (2022) melakukan penelitian di Cekungan Kendeng, yang membentang dari Gunung Merapi dan Dataran Tinggi Dieng di barat ke Selat Madura di timur dan utara Bali. Cekungan Kendeng memainkan peran penting sebagai daerah pengendapan di wilayah timur laut Selat Jawa. Rembesan minyak telah terdeteksi di wilayah barat dan tengah cekungan, membuktikan bahwa ada sumber daya minyak aktif di sini. Struktur geologi di daerah ini dikendalikan oleh patahan tektonik dari barat ke timur, menurut analisis data geomagnetik dan gravitasi. Topografi daerah ini, yang membentang dari Sangiran ke timur melalui Ngawi dan Nganjuk, terdiri dari pegunungan dan lembah (Horst dan Graben) yang lebarnya sekitar 20 km dan panjang 150 km. Dalam Sangiran Utara dan Dalam Sangiran Selatan adalah nama dua cekungan syn-rift di puncak Sangiran. Kedua cekungan diperkirakan memiliki kedalaman 4 hingga 5 km dan mengandung sedimen berumur Eosen di daerah syn-rift mereka. Kemudian, selama era Neogen, cekungan ditutupi dengan lapisan sedimen vulkanik.

Miranda dkk., (2023) melakukan penelitian di Palembang dan sekitarnya. Dalam upaya ini, mereka menggunakan model 2D dan 3D. Untuk menemukan sub-cekungan dengan potensi sumber daya hidrokarbon, Dengan beberapa sub-cekungan yang teridentifikasi, termasuk Sub-cekungan Jambi Selatan, Sub-cekungan Palembang Utara, dan Sub-cekungan Palembang Barat, daerah ini diakui sebagai salah satu daerah dengan potensi sumber daya hidrokarbon. Berdasarkan 2D (model depan), batu dengan nilai densitas sekitar $2,5 \text{ gr/cm}^3$ diidentifikasi sebagai Formasi Talang akar (zona hidrokarbon) pada kedalaman mulai dari 2000 meter hingga 5000 meter. Sebagai ancaman potensial hidrokarbon, lapisan batu dengan densitas antara $2,35$ dan $2,4 \text{ gr/cm}^3$ seharusnya menjadi penutup yang baik. Berdasarkan pemodelan 3D terbalik batuan, pola subspasi Sumatra Selatan menunjukkan bahwa densitas batuan adalah antara $2,31$ dan $2,53 \text{ gr/cm}^3$. Pada kedalaman 2000-5000 meter, potensi pembuangan hidrokarbon ditemukan.

Bria dkk., (2022) melakukan penyelidikan pemodelan tiga dimensi di bawah pulau Timor Barat. Untuk menentukan jenis batuan dasar yang ada di bawah permukaan pulau, mereka menggunakan data gravitasi. Variasi densitas batuan dari lapisan permukaan ke lapisan kesepuluh berhasil diperkirakan melalui proses inversi. Batuan ini memiliki rapat massa berkisar dari $2,33 \text{ gr/cm}^3$ hingga $3,10 \text{ gr/cm}^3$. Berbagai jenis batuan dasar, termasuk pasir, batu kapur, dolomit, hex, kuarsa, granulit, genis, marmer, pedang, dan batuan amfibolit, diyakini ada di bawah permukaan Timor Barat. Ini semua adalah batuan metamorf yang membentuk fondasi geologi pulau Timor Barat.

Hiden dkk., (2019) menggunakan analisis anomali gravitasi dalam sebuah penelitian di Pulau Lombok. Tujuan penelitian ini adalah untuk memodelkan struktur geologi di bawah Pulau Lombok dan menganalisis anomali gravitasi. Temuan penelitian ini mengidentifikasi struktur baru yang sebelumnya tidak terlihat pada peta geologi. Struktur ini termasuk Zona Solo, lapisan kerak magmatik yang cukup tebal yang memisahkan Pulau Lombok dari Pulau Sumbawa, di sebelah barat Pulau Lombok, serta daerah dataran tinggi di wilayah selatan Pulau Lombok (SU).

Hidayat dkk., (2020) melakukan penelitian dengan tujuan memperbarui data gravitasi di Cekungan Banyumas Jawa Tengah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis data gravitasi yang telah diperbarui oleh Pusat Survei Geologi dan lebih akurat dan padat daripada data sebelumnya. Batuan dasar di sekitar area penelitian mencapai kedalaman 7.800 meter, menurut hasil analisis spektral. Analisis struktur bawah permukaan mengungkapkan bahwa beberapa struktur sub-permukaan di jalur A-A' dan B-B' memiliki amplitudo yang cukup besar. Ini menegaskan temuan sebelumnya oleh peneliti lain yang mengklaim bahwa antiklin, yang didukung oleh model A-A' dan B-B', adalah salah satu sumber daya minyak dan gas potensial di bidang penelitian ini. Keberadaan batuan sedimen kasar seperti pasir di bawah Formasi Gabon juga didukung oleh interpretasi ini. Telah dihipotesiskan bahwa batuan ini mungkin terbentuk dari endapan sedimen mentah yang awalnya diangkut ke daratan, mungkin melalui sistem sungai delta, menggunakan analisis biomarker untuk menentukan korelasi antara sumber minyak dan batuan.

III. TEORI DASAR

3.1. Metode Gaya Berat

Salah satu metode geofisika yang memanfaatkan pengukuran variasi medan gravitasi di Bumi adalah metode gravitasi. Jenis batuan di bawah permukaan, pemisahan antara permukaan dan pusat Bumi, dan variasi topografi semuanya berdampak pada variasi medan gravitasi di permukaan bumi (Sarkowi, 2014). Banyak variabel, termasuk topografi, garis lintang, variasi densitas batuan di bawah permukaan, posisi Bumi di tata surya, ketinggian di mana pengukuran dilakukan, dan lain-lain, dapat mempengaruhi nilai percepatan gravitasi di lokasi tertentu. Komponen vertikal dari kecepatan gravitasi di lokasi itu biasanya diperhitungkan ketika percepatan gravitasi diukur (Grandis, 2009).

3.2. Konsep Dasar Gaya Berat

3.2.1. Gaya Gravitasi Newton

Prinsip-prinsip yang mendasari teori gravitasi Isaac Newton menyatakan bahwa ada gaya tarik menarik antara dua massa m_1 dan m_2 yang dipisahkan oleh jarak r . Rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan gaya tarik ini (Serway & Jewett, 2009):

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

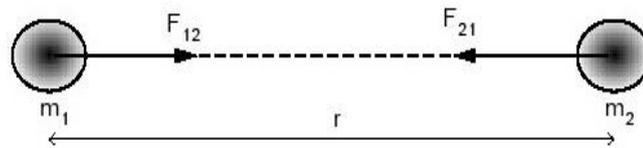
Dimana:

$\vec{F}(r)$: Gaya tarik menarik (N)

m_1, m_2 : Massa benda 1 dan massa benda 2 (kg)

r : Jarak antara dua buah benda (m)

G : Konstanta Gravitasi Universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg s}^{-2}$)



Gambar 5. Gaya tarik menarik antara dua buah benda (Grandis, 2009)

3.2.2. Percepatan Gravitasi

Menurut hukum kedua Newton, gerakan suatu benda dapat dijelaskan oleh gaya yang bekerja padanya, yang dihitung dengan mengalikan massa benda dengan percepatan gravitasi bumi.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \hat{r} \quad (2)$$

Pada percepatan gravitasi digunakannya persamaan yang menjelaskan keterkaitan antara percepatan gaya tarik bumi sehingga persamaan tersebut menjadi:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} \hat{r} \quad (3)$$

Ketika objek dengan massa M ditarik pada jarak r , akselerasi objek dengan massa m_2 dapat dinyatakan dengan:

$$\begin{aligned} \vec{g} &= \frac{\vec{F}}{m} \hat{r} \\ \vec{g} &= \frac{G \frac{Mm_2}{r^2}}{m} \hat{r} \\ \vec{g} &= G \frac{M}{r^2} \hat{r} \end{aligned} \quad (4)$$

Dimana:

\vec{g} : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

M : Massa bumi (kg)

m : Massa benda (kg)

\vec{F} : Gaya berat (N)

r : Jari-jari bumi (km)

Galileo adalah pelopor dalam mengukur kecepatan objek, dan sebagai hasil dari karyanya, kecepatan objek kemudian didefinisikan sebagai:

$$1 \text{ Gall} : 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2 \quad (5)$$

Unit yang digunakan untuk mengukur anomali gravitasi dalam konteks eksplorasi berada pada urutan miligal (mGal):

$$1 \text{ mGall} = 10^{-3} \text{ Gall}$$

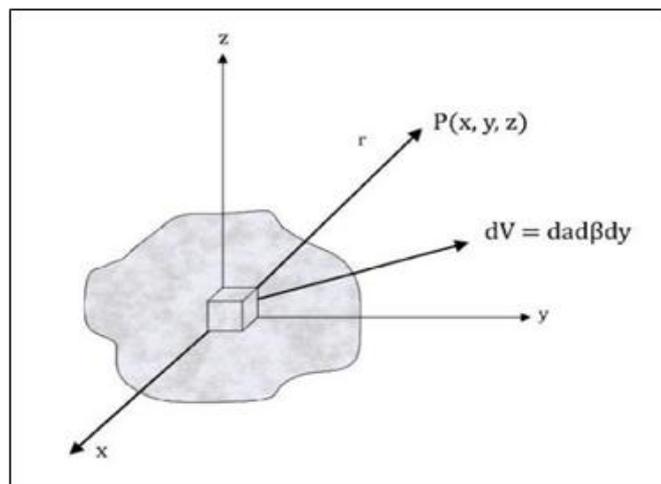
$$1 \mu\text{Gall} = 10^{-3} \text{ mGall} = 10^{-6} \text{ Gall} = 10^{-8} \text{ m/s}^2 \quad (6)$$

$$1 \text{ mGall} = 10 \text{ g.u.} = 10^{-5} \text{ m/s}^2 \quad (7)$$

Dalam sistem pengukuran meter-kilogram-detik (m.k.s), gravitasi diukur dalam g.u (*gravity unit*) atau meter per detik kuadrat (m/s^2) (Octonovrilna & Pudja, 2009).

3.2.3. Potensial Gravitasi

Fenomena yang dikenal sebagai potensial gravitasi menggambarkan bagaimana objek berbasis massa di ruang angkasa akan menghasilkan medan potensial di sekitarnya.



Gambar 6. Potensial dan kuat medan massa 3 dimensi (Modifikasi dari Maulana, 2012)

Jika kita memiliki massa yang tersebar dalam tiga dimensi dengan rapat massa $\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)$, maka potensial gaya gravitasi di titik $P(x, y, z)$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$U(x, y, z) = G \iiint \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]} d\alpha. d\beta. d\gamma \quad (8)$$

Medan gravitasi akibat distribusi rapat massa di atas diperoleh dengan mendiferensialkan persamaan (8) terhadap x , y dan z yang hasilnya adalah,

$$\Delta g_x(x, y, z) = \frac{\partial U(x, y, z)}{\partial x}$$

$$= -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta(\alpha, \beta, \gamma)(x-\alpha)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha. d\beta. d\gamma \quad (9)$$

$$\Delta g_y(x, y, z) = \frac{\partial U(x, y, z)}{\partial y}$$

$$= -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta(\alpha,\beta,\gamma)(x-\beta)}{[(x-\alpha)^2+(y-\beta)^2+(z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha. d\beta. d\gamma \quad (10)$$

$$\Delta g_z(x, y, z) = \frac{\partial U(x,y,z)}{\partial z}$$

$$= -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta(\alpha,\beta,\gamma)(x-\gamma)}{[(x-\alpha)^2+(y-\beta)^2+(z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha. d\beta. d\gamma \quad (11)$$

Persamaan (11) dapat digunakan untuk menentukan bagaimana medan gravitasi Δg Bumi bervariasi pada berbagai permukaan. Menurut Sarkowi (2007), fungsi densitas massa (ρ) menjelaskan bagaimana distribusi massa di bawah permukaan bumi mempengaruhi medan gravitasi.

3.2.4. Rapat Massa Batuan

Kerapatan atau densitas massa batuan adalah parameter fisik penting dalam metode gravitasi. Sangat penting untuk memahami nilai densitas rata-rata di wilayah survei untuk menghitung anomali gravitasi. Densitas batuan sedimen dapat berubah sebagai akibat dari tekanan tektonik. Kedekatan formasi batuan, jumlah cairan yang mengisi pori-pori, tingkat porositas, dan kompresi yang disebabkan oleh tekanan dan kelelahan adalah beberapa faktor yang mempengaruhi konsentrasi massa batuan ini (Brotopuspito, 2001). Di bawah ini adalah nilai-nilai untuk variasi densitas batuan (Telford dkk., 1990)

Tabel 1. Nilai densitas batuan (Telford dkk., 1990)

<i>Rock Type</i>	<i>Range (g/cm³)</i>	<i>Average (g/cm³)</i>
<i>Sediment (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>	1,70-2,40	2,00
<i>Sand</i>	1,70-2,30	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>	2,28-2,90	2,70
<i>Sedimentary rock (av.)</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

Tabel 1. Nilai densitas batuan (Telford dkk, 1990)

<i>Igneous rocks</i>		
<i>Diorite</i>	2,72-2,99	2,85
<i>Lavas</i>	2,80-3,00	2,90
<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>Morphic 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>Serpentite</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

3.3. Anomali Bouguer

Anomali Bouguer adalah perbedaan antara pengamatan gravitasi (g_{obs}) dan jumlah koreksi *drift*, pasang surut, garis lintang, dan koreksi efek udara bebas. Perubahan anomali Bouguer mencerminkan perubahan densitas horizontal. Nilai anomali Bouguer akan positif, misalnya, jika ada benda dengan densitas rendah yang ada di medium. Nilai anomali Bouguer akan negatif jika objek memiliki densitas rendah dalam media yang lebih padat, di sisi lain (Reynolds, 1997).

Distribusi gravitasi di atas permukaan bumi mencerminkan densitas batuan yang kontras di bawahnya, dan fenomena ini dikenal sebagai anomali Bouguer. Rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan nilai anomali Bouguer (Brotopuspito, 2001):

$$BA = g_{obs} - g_{\phi} + FAC + BC + TC \quad (18)$$

dimana:

g_{obs} : Nilai gravitasi pengukuran di titik tersebut

FAC : *Free Air Correction*/ koreksi udara bebas

BC : *Bouguer Correction*/ koreksi bouguer

TC : *Terrain Correction*/ koreksi medan

3.4. Analisis Spektrum

Dimungkinkan untuk memperkirakan kedalaman anomali gravitasi di bawah permukaan menggunakan analisis spektral. Dengan metode ini, data spasial yang berkaitan dengan fungsi waktu dan jarak diubah menjadi domain frekuensi atau berbagai gelombang yang dapat mengungkapkan informasi tentang struktur bawah permukaan (Blakely, 1996). Analisis spektrum digunakan untuk menentukan kedalaman anomali gravitasi di bawah permukaan. Pendekatan ini memanfaatkan *Transformasi Fourier* untuk mengubah data spasial yang berkaitan dengan fungsi waktu dan jarak menjadi domain frekuensi atau sejumlah gelombang yang bisa memberikan informasi tentang struktur bawah permukaan (Blakely, 1996):

$$F(U) = \gamma \mu F\left(\frac{1}{r}\right) \text{ dan } F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{k|z_0-z_1|}}{|K|} \quad (19)$$

dimana,

U : potensial gaya berat

μ : anomali rapat massa

γ : konstanta gaya berat

r : jarak

Gerakan vertikal yang disebabkan oleh suatu titik massa dapat dihitung dengan mengambil turunan dari potensial gaya gravitasinya.

$$g_z = Gm \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (20)$$

$$F(g_z) = GmF \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (21)$$

$$F(g_z) = Gm \frac{\partial}{\partial z} F \frac{1}{r} \quad (22)$$

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan adalah

$$F(g_z) = 2\pi Gme^{k|z_0-z_1|}, \quad z_1 > z_0 \quad (23)$$

Ketika $m = 1$, *transformasi Fourier* anomali gravitasi menghasilkan hasil berikut jika distribusi massa acak dan tidak ada korelasi antara berbagai nilai gravitasi:

$$A = Ce^{k|z_0-z_1|} \quad (24)$$

dimana,

A : amplitudo
 C : konstanta

Kita dapat menggunakan persamaan yang diagaritasi menjadi $A = Ce^{|k|(z_0-z_1)}$, untuk mendapatkan hubungan antara amplitudo (A), bilangan gelombang (k), dan kedalaman (z_0, z_1), dan dari sini kita dapat menyimpulkan bahwa bilangan gelombang (k) berbanding lurus dengan amplitudo spektral.

$$\ln A = \ln 2\pi G m e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (25)$$

$$\ln A = (z_0-z_1) |k| + \ln C \quad (26)$$

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus:

$$y = mx + c \quad (27)$$

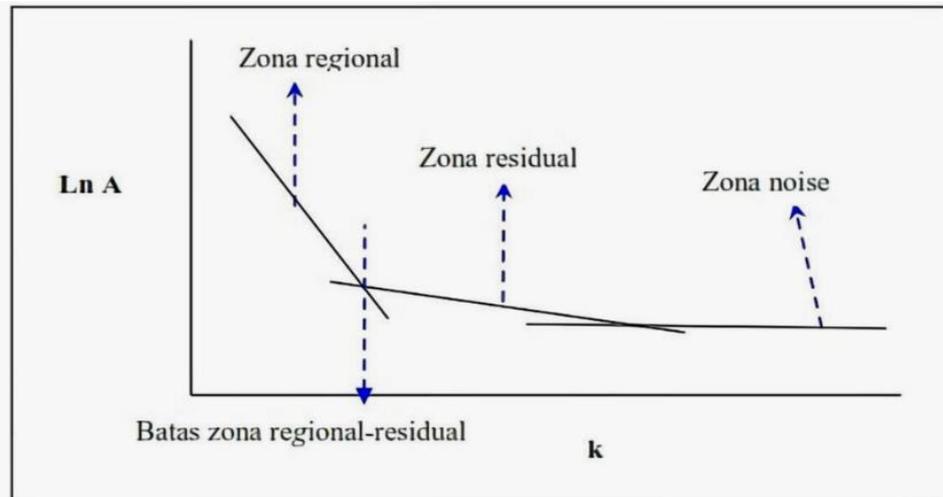
Kecenderungan garis menunjukkan kedalaman bidang yang lebih dalam atau dangkal ketika $\ln A$ ditunjukkan pada sumbu y , $|k|$ digambar pada sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ adalah gradien garis. Ini karena bilangan gelombang $\frac{2\pi}{\lambda}$, yang merupakan jumlah siklus per meter, dengan λ untuk panjang gelombang, mendefinisikan sumbu x . Persamaan berikut dapat digunakan untuk menentukan hubungan antara λ dan Δx :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (28)$$

Jika nilai dari λ sama dengan Δx dan ada komponen lebih lanjut yang dikenal sebagai konstanta pengali, maka $\lambda = N \cdot \Delta x$, di mana N adalah singkatan dari lebar jendela. Akibatnya rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan lebar jendela:

$$N = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (29)$$

Semakin cepat frekuensi ketika k_c adalah nilai gelombang *cut-off* dan Δx adalah domain ruang yang akan digunakan dalam Fast Fourier Transform (FFT). Bilangan gelombang k dan frekuensi f dihubungkan oleh rumus $k = 2\pi f$, di mana frekuensi yang sangat rendah dihasilkan dari anomali residual dan frekuensi yang lebih tinggi dari anomali regional.



Gambar 7. Kurva $\ln A$ terhadap K (Blakely, 1996)

3.5. Filter Moving Average

Salah satu teknik untuk menghilangkan frekuensi tinggi dengan *low pass filter* adalah *filter Moving Average*. Dengan teknik ini, setiap *track* yang telah menjalani analisis spektral dirata-ratakan untuk menentukan lebar jendela, yang kemudian digunakan untuk menyaring data ABL. Akibatnya ada anomali regional. Anomali Bouguer dikurangi dari anomali regional untuk menghasilkan anomali residual. Secara umum, lebar jendela yang lebih besar akan menghasilkan anomali residual yang lebih dekat dengan nilai anomali Bouguer (Setiadi dkk., 2010).

Anomali Bouguer dibagi menjadi dua bagian, disebut sebagai anomali regional dan anomali residual, untuk membuat proses interpretasi kualitatif lebih mudah. *Filter moving average* merupakan salah satu teknik *filter* yang digunakan untuk melakukan pembagian ini. Ini beroperasi dengan menentukan nilai anomali gravitasi rata-rata. Filter ini menghasilkan anomali regional, dan anomali residual dapat ditentukan dengan mengurangi data pengukuran gravitasi.

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (30)$$

Keterangan:

i = nomor stasiun

N = lebar jendela

$$n = \frac{N-1}{2} \quad (31)$$

Δg_{reg} = besarnya anomali regional

Dengan menjumlahkan semua nilai dalam kotak persegi dan menggunakan titik tengah sebagai nilai perhitungan, metode rata-rata bergerak dapat digunakan untuk menentukan nilai pada satu titik pada peta dua dimensi.

Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai anomali residual (Δg_{res}) adalah sebagai berikut:

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{reg} \quad (33)$$

Dimana Δg adalah anomali bouguer total (Diyanti, 2014).

Moving average filters biasanya sangat mudah digunakan dan dipahami untuk *filter* DSP (*Digital Signal Processing*). (Nugraha, 2016).

3.6. First Vertical Derivative

Teknik yang disebut turunan *horizontal* dapat digunakan untuk menemukan batas atau kontak antara berbagai zona densitas dalam data anomali. Ini sangat membantu karena anomali yang disebabkan oleh tubuh dengan densitas yang berubah sering menunjukkan tepi atau perubahan tubuh yang tajam (Cordell & Grauch, 1985).

Teknik ini berguna untuk mengilustrasikan struktur di bawah permukaan. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung nilai FHD (Blakely, 1996):

$$FHD = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (34)$$

Dengan $\frac{\partial g}{\partial x}$ dan $\frac{\partial g}{\partial y}$ merupakan turunan pertama perubahan nilai gravitasi pada arah x dan y dengan satuan mGal/m.

Dengan mengamati respon maksimum atau minimum dalam anomali, kita dapat menentukan struktur di bawah permukaan menggunakan metode *first horizontal derivative*. Kemampuan untuk mengenali struktur bawah permukaan dengan respons dalam penggunaan turunan horizontal ini

3.7. Second Vertical Derivative

Untuk mengidentifikasi anomali yang terhubung ke struktur bawah permukaan, metode *Second Vertical Derivative* (SVD), yang berasal dari persamaan Laplace,

digunakan untuk mengekstrak dampak regional dangkal. Teknik ini secara teoritis menggunakan persamaan Laplace, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\nabla^2 \cdot \Delta g = 0 \quad (35)$$

atau:

$$-\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \quad (36)$$

Sehingga *Second Vertical Derivative*-nya diberikan oleh:

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \quad (37)$$

Kemudian untuk data 1-D (data penampang) persamaannya yaitu sebagai berikut:

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \quad (38)$$

Turunan vertikal kedua, anomali gravitasi permukaan dalam persamaan SVD 1-D yang disebutkan di atas sama dengan negatif dari turunan orde kedua. Anomali Bouguer dapat dipahami sebagai batas atau kontak antara dua lapisan batuan dengan densitas yang berbeda ketika nilai turunan kedua sama dengan nol. Batas ini dapat dikonseptualisasikan sebagai patahan atau intrusi yang memisahkan dua lapisan batuan dengan berbagai densitas (Sarkowi, 2010).

Tabel 2. Tabel operator *filter* SVD

Operator <i>Filter</i> SVD menurut Henderson & Zietz (1949)				
0,0000	0,0000	-0,0838	0,0000	0,0000
0,0000	1,0000	-2,6667	1,0000	0,0000
-0,0838	-2,6667	17,0000	-2,6667	-0,0838
0,0000	1,0000	-2,6667	1,0000	0,0000
0,0000	0,0000	-0,0838	0,0000	0,0000

Perbedaan densitas antara dua lapisan batuan dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Second Vertical Derivative* (SVD), dan perbedaan densitas ini dapat digunakan untuk mengetahui adanya struktur sesar atau intrusi di bawah permukaan (Sarkowi, 2010). Nilai anomali SVD terkait dapat digunakan untuk membedakan antara patahan naik dan normal.

Patahan naik:

$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \max \right| < \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \min \right| \quad (39)$$

Patahan normal:

$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \max \right| > \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \min \right| \quad (40)$$

3.8. Forward Modelling dan Inverse Modelling

Dengan mensimulasikan objek geologi yang terkandung di dalamnya, *forward modelling*, metode interpretasi, dapat digunakan untuk memprediksi atau memperkirakan nilai densitas di bawah permukaan. Menggunakan data geofisika dan asumsi geologi yang tersedia, model awal dibuat dan dihitung sebagai bagian dari proses pemodelan ke depan. Model ini kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran anomali untuk membangun korelasi antara keduanya (Blakely, 1996).

Untuk meningkatkan kesesuaian antara data komputasi dan data pengamatan, *inverse modelling* menggunakan model yang dibangun langsung pada data. Karena melibatkan mencari parameter model yang dapat menghasilkan respons yang cocok dengan data yang diamati, proses ini sering disebut sebagai pencocokan data. Tujuan *inverse modelling* adalah untuk mengembangkan kapasitas untuk menghitung parameter batuan yang mendasari geologi atau fenomena yang diamati (Manrulu & Wahyudi, 2014).

IV. METODE PENELITIAN

4.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun penelitian tugas akhir yang telah dilakukan yaitu di:

- Tempat : Pusat Survey Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dan Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Data Geofisika.
- Alamat : Jalan Diponegoro No. 57, Kota Bandung, Jawa Barat, 40122 dan Jalan Prof. Dr. Ir.Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedong Meneng, Kota Bandar Lampung, Lampung, 35141
- Tanggal : 1 Mei 2023 s.d. 6 Oktober 2023

4.2. Alat dan Bahan

Berikut adalah peralatan dan materi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini:

Tabel 3. Alat dan bahan

No	Alat & Bahan	Fungsi
1.	Laptop	Digunakan untuk melakukan semua proses pengolahan maupun pemodelan.
2.	Data gaya berat Pusat Survey Geologi	Digunakan untuk melakukan proses pengolahan data penelitian
3.	<i>Softfile</i> peta geologi lembar Ponorogo, Jawa.	Digunakan untuk mendapatkan referensi geologi daerah penelitian.
4.	<i>Software Arcgis V. 10.8</i>	Digunakan untuk pembuatan peta.
5.	<i>Software Surfer 15</i>	Digunakan untuk melakukan proses SVD dan digunakan untuk <i>moving average</i> .
6.	<i>Software Numeri</i>	Digunakan untuk melakukan pen-transformasi data dari domain jarak ke frekuensi.

No	Alat & Bahan	Fungsi
7.	<i>Software Geosoft Oasis Montaj V 8.3.4</i>	Digunakan untuk melakukan proses pengolahan data baik proses FHD dan juga digunakan untuk proses <i>forward modelling</i> 2D.
8.	<i>Software Grabblox</i>	Digunakan untuk <i>inverse modelling</i> 3D.
9.	<i>Software Rockworks 15</i>	Digunakan untuk menampilkan hasil dari <i>inverse modelling</i> 3D
10.	<i>Software Microsoft Excel 2016</i>	Digunakan untuk melakukan perhitungan perhitungan.

4.3. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, langkah-langkah yang harus diikuti dalam melakukan penelitian dibagi menjadi 5 bagian:

4.3.1. Anomali Bouguer Lengkap

Analisis ini menggunakan data gravitasi dalam format CBA (Complete Bouguer Anomaly). Perangkat lunak Geosoft Oasis Montaj, versi 8.3.4, digunakan untuk menghitung seluruh anomali Bouguer. Data yang didapatkan sudah dalam bentuk CBA atau *Compleat Bouguer Anomaly* sehingga pada penelitian kali ini tidak dilakukannya koreksi koreksi pengukuran gaya berat.

4.3.2. Analisis Spektral

Pada fase analisis spektral, data ABL digunakan untuk melakukan *transformasi Fourier*, yang mengubah data spasial menjadi domain frekuensi. Untuk setiap jalur, proses FFT menghasilkan nilai riil dan imajiner, yang kemudian diproses dalam Microsoft Excel untuk menghasilkan nilai amplitudo (A), $\ln A$, frekuensi, dan bilangan gelombang (k). Akar kuadrat dari nilai aktual dan fiktif yang dihasilkan FFT digunakan untuk menghitung amplitudo (A). Dengan mengambil logaritma natural dari nilai amplitudo (A), $\ln A$ dihasilkan. Nilai bilangan gelombang k digunakan untuk menghitung nilai frekuensi dalam domain spasial yang telah ditentukan. Microsoft Excel digunakan untuk mengkompilasi nilai untuk k dan $\ln A$. Jadi, dimungkinkan untuk menentukan nilai *cut-off* yang akan digunakan untuk

menetapkan lebar jendela. Numeri adalah program yang digunakan dalam prosedur ini.

4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Metode gravitasi memungkinkan pengamatan anomali Bouguer terkait dengan variasi ini karena variasi rapat massa batuan dekat dan jauh dari permukaan bumi. Anomali regional adalah variasi batuan yang terjadi berdekatan satu sama lain, sedangkan anomali residual adalah variasi batuan yang terjadi pada kedalaman dangkal. Metode *moving average* digunakan dalam penelitian ini untuk membedakan antara anomali residual dan anomali regional. Anomali residual dataset anomali gravitasi terletak menggunakan perbedaan antara anomali Bouguer dan anomali regional. Sebuah program yang disebut Surfer digunakan untuk mencapai hal ini. Nilai lebar jendela optimal yang ditemukan selama analisis spektral digunakan sebagai parameter pemisahan dalam proses ini, dan data Anomali Bouguer pertama dimasukkan ke dalam Surfer.

4.3.4. Analisis Derivatif

Analisis derivatif digunakan dalam penelitian ini untuk mengkategorikan berbagai jenis struktur geologi dan batas anomali. Memproses anomali dari Peta Anomali Residual, Turunan Horisontal Pertama (FHD), dan Turunan Vertikal Kedua (SVD) adalah bagian dari analisis. Anomali yang tersisa terkait dengan struktur dangkal dijelaskan oleh SVD, yang berfungsi sebagai *filter High Pass*. Ini membantu dalam mencari tahu patahan itu naik, normal, atau keduanya. Filter SVD yang dibuat oleh Henderson & Zietz (1949) digunakan dalam analisis SVD, dan perangkat lunak Surfer digunakan untuk mengimplementasikannya. Selain itu, untuk mencocokkan struktur yang ditemukan melalui analisis turunan, pemetaan struktur geologi dari peta geologi digunakan sebagai referensi. Karena anomali yang disebabkan oleh perubahan mendadak dalam densitas massa batuan, Turunan Horisontal juga digunakan untuk menentukan lokasi batas kontak densitas yang menonjol.

4.3.5. Pemodelan Bawah Permukaan

Untuk *forward modelling* 2D dan *inverse modelling* 3D, *Software Geosoft Oasis Montaj* dan *Grabblox* digunakan. Pada *Software Oasis Montaj* menggunakan menu GMSYS untuk membangun model bawah permukaan menggunakan parameter khusus studi. Tahap awal melibatkan memasukkan dan memotong data anomali residual berdasarkan analisis derivatif yang telah diperiksa sebelumnya. Atas dasar pengetahuan geologi lokal dan literatur terkait penelitian, hitung densitas massa dan nilai litologi. Data anomali yang tersisa diproses selama pemodelan terbalik menggunakan perangkat lunak *Grabblox*. Sebelum Anda mulai memasukkan data, buat mesh atau tempatkan data. Area penelitian akan dianalisis dan dikorelasikan menggunakan pemodelan terbalik 3D dan pemodelan maju 2D untuk menentukan struktur di bawah permukaan.

4.4. Jadwal Kegiatan

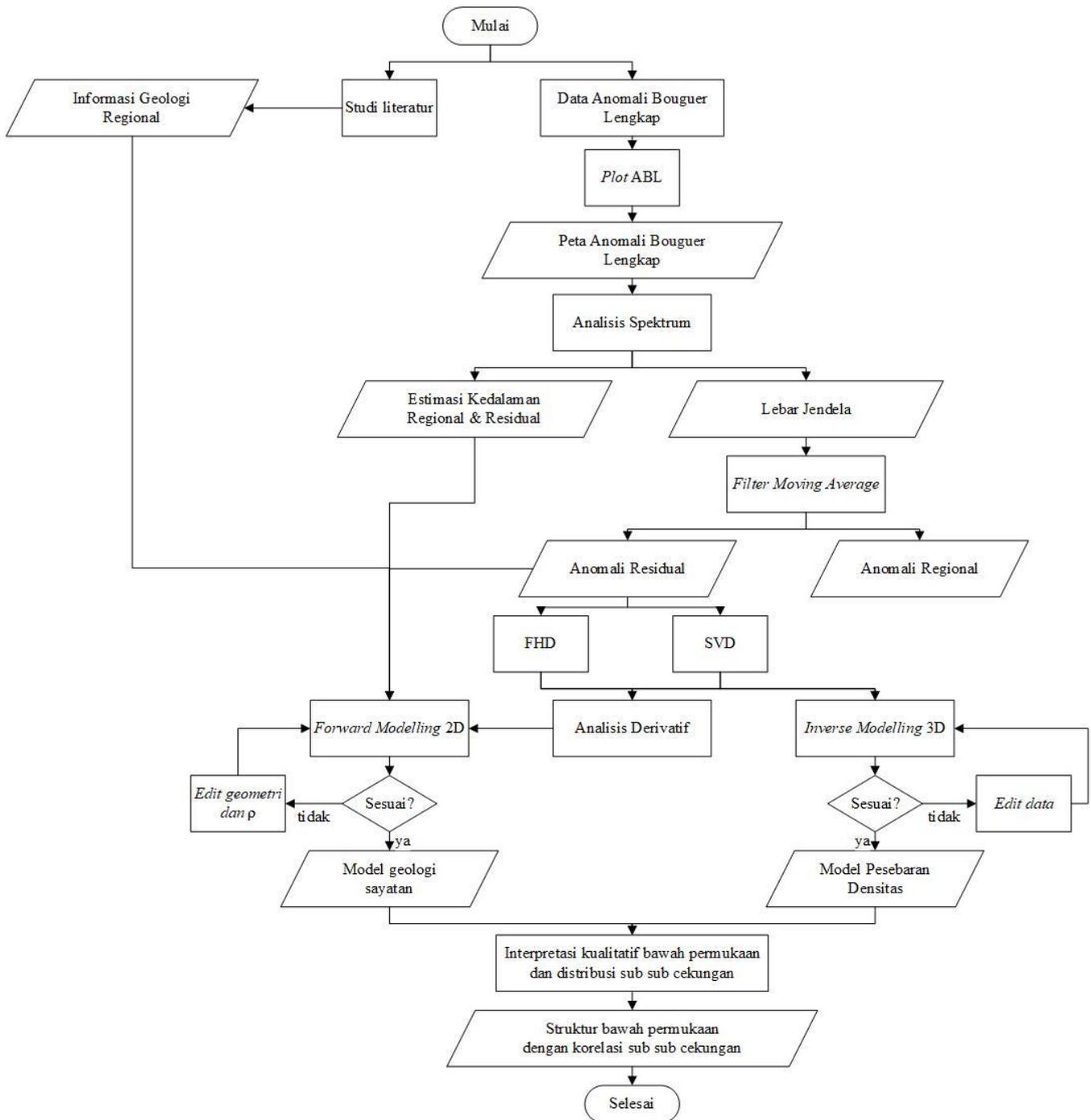
Berikut adalah jadwal kegiatan yang akan diikuti dalam pelaksanaan tugas akhir:

Tabel 4. Pelaksanaan kegiatan tugas akhir

Kegiatan	Mei				Juni				Juli				Agustus				September			
	Minggu ke-																			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																				
Pengumpulan Data																				
Pengolahan Data																				
Penyusunan Proposal Penelitian																				
Seminar Proposal Penelitian																				
Penyusunan Hasil																				
Seminar Hasil																				
Revisi dan Persiapan Sidang Komprehensif																				
Sidang Komprehensif																				

4.5. Diagram Alir

Diagram alir pada tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Diagram alir penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diberikan pada penelitian di daerah cekungan kendeng ini yaitu:

1. Rata rata kedalaman anomali regional yaitu -5879,7 m, dan anomali residual yaitu -542,735 m. Anomali regional menggambarkan *basement* pada daerah penelitian, sedangkan anomali residual menggambarkan perlapisan sedimen pada daerah penelitian.
2. Berdasarkan analisis terhadap 4 kali lintasan, dihasilkan struktur geologi berupa patahan naik pada lintasan 1, 2, dan 4, dan patahan normal ditemukan pada sayatan 1, 2, dan 3.
3. Model perlapisan 2D bawah permukaan berupa batuan yang didominasi oleh Batugamping (densitas 2,3 gr/cc) dan Batupasir (densitas 2,55 gr/cc) pada lintasan pertama. Lintasan kedua dan ketiga memiliki lapisan dominan berupa Tufa (densitas 2,12 gr/cc) dan Breksi Gunungapi (densitas 2,84 gr/cc). Lintasan keempat menunjukkan dominasi Batupasir (densitas 2,25 gr/cc). Melalui pemodelan 3D, teridentifikasi tiga kelas densitas di bawah permukaan area penelitian. Kelas pertama (berwarna biru) memiliki densitas rendah antara 2 hingga 2,45 gr/cc. Kelas kedua (berwarna hijau) memiliki densitas sedang antara 2,47 hingga 2,60 gr/cc. Kelas ketiga, mewakili batuan dasar, memiliki densitas berkisar antara 2,63 hingga 3,04 gr/cc.

6.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan metode geofisika lainnya seperti metode seismik dan lain lain untuk mendukung hasil dari penelitian kali ini sehingga mendapatkan hasil yang lebih akurat dan maksimal mengenai gambaran bawah permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R. J. (1996). *Potential Theory In Gravity And Magnetic Applications*. Cambridge University Press.
- Bria, M. M. L., Tanesib, J. L., & Tarigan, J. (2022). Magnetic: Research Journal Of Physics and It's Application Pemodelan 3D Bawah Permukaan Pulau Timor Barat Berdasarkan Data Anomali Gravitasi. *Magnetic: Research Journal Of Physics and It's Application*, 2, 130–137. www.bandarcgeophysics.co.uk.
- Cordell, L., & Grauch, V. J. S. (1985). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico. *The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomaly Maps*, 181–197. <http://library.seg.org/>
- Diyanti, A. (2014). *Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data Gayaberat* [Skripsi]. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).
- Henderson, R. G., & Zietz, I. (1949). *The Computation Of Second Vertical Derivatives Of Geomagnetic Fields*. <http://library.seg.org/>
- Hidayat, Subagio, & Praromadani, Z. S. (2020). Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Berdasarkan Updating Data Gaya Berat Cekungan Banyumas, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 21, 111–118. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.21.3.111-118p>
- Hidden, H., Brotopuspito, K. S., Wiwit, S., & Danang, S. H. (2019). Analisis dan Pemodelan Inversi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Anomali Gravitasi Pulau Lombok. *Indonesian Physical Review*, 2(1), 1–8. <https://doi.org/10.29303/i>
- Manrulu, R. H., & Wahyudi. (2014). Pembentukan Karakter Melalui Aplikasi Sains (Pemodelan 3D Anomali Gravitasi Magma Gunungapi Merapi Dengan Software GRABLOX, BLOXER DAN ROCKWORK). *Prosiding Seminar Nasional*, 01(1), 107–115.

- Maulana, I. (2012). *Analisis 4D Microgravity dan Gradien Vertikal 4D Microgravity Studi Kasus Amblesan Semarang* [Tesis]. Universitas Indonesia.
- Mirnanda, E., Saputra, A. A., & Arifin, L. (2023). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Analisis Data Gayaberat Di Daerah Palembang Dan Sekitarnya Sebagai Cekungan Potensi Hidrokarbon. *Indonesian Journal of Applied Physics (IJAP)*, 13(1), 60. <https://doi.org/10.13057/ijap.v13i1.65447>
- Novianto, A. (2022). Model Struktur Geologi Cekungan Kendeng Dengan Pendekatan Metoda Geofisika: Implikasinya Terhadap Potensi Migas [Doctoral Thesis]. UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Nugraha, P. (2016). *Penentuan Kedalaman Optimum Anomali Gaya Berat Dengan Metode Korelasi Antara Analisis Spektrum Dan Continuation Studi Kasus Semarang Jawa Tengah* [Skripsi]. Universitas Negeri Semarang.
- Octonovrilna, L., & Pudja, I. P. (2009). Analisa Perbandingan Anomaly Gravitasi Dengan Persebaran Intrusi Air Asin Studi Kasus Jakarta 2006-2007. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 10(1), 39–57.
- Reynolds, J. M. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd.
- Sampurno dan Samodra, H. (1997). Peta Geologi Lembar Ponorogo, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sampurno, H., Gafoer, S., dan Tjokrosapoetro, S. (1992). Geologi Lembar Pacitan, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sarkowi, M. (2007). Gaya berat mikro antar waktu untuk analisa perubahan kedalaman muka air tanah (Studi Kasus Dataran Aluvial Semarang) [Disertasi]. ITB Bandung.
- Sarkowi, M. (2008). Karakteristik Gradien Gayaberat Untuk Interpretasi Anomali Gayaberat Mikro Antar Waktu. Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat. Unila
- Sarkowi, M. (2014). *Eksplorasi Gaya Berat* (Vol. 1). Graha Ilmu.
- Serway, R. A., & Jewett, J. J. (2009). *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Salemba Teknik.
- Setiadi, I., Setyanta, B., & Widijono, B. S. (2010). Delineasi Cekungan Sedimen Sumatra Selatan Berdasarkan Analisis Data Gaya Berat Geo-Sciences. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 20(2), 93–106.

Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Van Bemmelen, R. W. (1949). *The Geology of Indonesia Vol. IA : General Geology Of Indonesia and Adjacent Archipelagoes: Vol. IA*. Sole Agent: Martinus Nijhoff.