

**IDENTIFIKASI CEKUNGAN HIDROKARBON JAWA TIMUR
BAGIAN SELATAN BERDASARKAN ANALISIS DATA
GAYABERAT**

(Skripsi)

Oleh

**Vina Aviani Rosadi
2015051040**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**IDENTIFIKASI CEKUNGAN HIDROKARBON JAWA TIMUR
BAGIAN SELATAN BERDASARKAN ANALISIS DATA
GAYABERAT**

Oleh

VINA AVIANI ROSADI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

IDENTIFIKASI CEKUNGAN HIDROKARBON JAWA TIMUR BAGIAN SELATAN BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT

Oleh

Vina Aviani Rosadi

Daerah Jawa Timur bagian selatan adalah salah satu daerah yang berpotensi memiliki hidrokarbon dan belum tereksplorasi. Dimana menurut Hasan dan Nurdwiyanto (2008) daerah cekungan Jawa Timur memiliki ketebalan sedimen tersier mencapai 5000 m. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mendapatkan pola sub-cekungan berdasarkan analisis derivatif, pola migrasi dan pemodelan 3D densitas bawah permukaan. Data yang digunakan merupakan data Anomali Bouguer Lengkap hasil digitasi dari Pusat Survei Geologi (PSG). Analisis data dilakukan menggunakan analisis spektrum untuk pemisahan anomali regional dan residual serta mengestimasi kedalaman anomali untuk mendapatkan lebar jendela yang digunakan dalam proses *filtering filter moving average*. Pola sub-cekungan diidentifikasi berdasarkan hasil pola migrasi pada peta anomali residual. Pemodelan 3D densitas bawah permukaan dilakukan menggunakan software Grav3D yang dikorelasikan dengan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) untuk mendapatkan pola sub-cekungan hidrokarbon. Berdasarkan hasil analisis data gayaberat Terdapat 3 sub cekungan besar yaitu sub-cekungan A, sub-cekungan B, dan sub-cekungan C. Sub-cekungan terbesar terdapat pada sub-cekungan A dan sub-cekungan B yang mencakup wilayah Madiun, Nganjuk, Kediri, dan Ponorogo.

Kata Kunci : Gayaberat, Anomali Bouguer, Sub-Cekungan

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF THE SOUTHERN EAST JAVA HYDROCARBON BASIN BASED ON ANALYSIS OF GRAVITY DATA

by

Vina Aviani Rosadi

The southern part of East Java is one of the areas that has the potential to have hydrocarbons and has not been explored. Where according to Hasan and Nurdwiyanto (2008) the East Java basin area has a thickness of tertiary sediment reaching 5000 m. The aim of this research is to obtain sub-basin patterns based on derivative analysis, migration patterns and 3D modeling of subsurface density. The data used is complete Bouguer Anomaly data digitized from the Geological Survey Center (PSG). Data analysis was carried out using spectrum analysis to separate regional and residual anomalies and estimating the depth of the anomaly to obtain the window width used in the moving average filtering process. Sub-basin patterns are identified based on the results of migration patterns on residual anomaly maps. 3D subsurface density modeling was carried out using Grav3D software which was correlated with Second Vertical Derivative (SVD) analysis to obtain hydrocarbon sub-basin patterns. Based on the results of gravity data analysis, there are 3 large sub-basins, namely sub-basin A, sub-basin B, and sub-basin C. The largest sub-basins are in sub-basin A and sub-basin B which cover the Madiun, Nganjuk, Kediri areas , and Ponorogo.

Keywords: Gravity, Bouguer Anomaly, Sub-Basin

Judul Skripsi

: **IDENTIFIKASI CEKUNGAN
HIDROKARBON JAWA TIMUR BAGIAN
SELATAN BERDASARKAN ANALISIS DATA
GAYABERAT**

Nama

: *Vina Aviani Rosadi*

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015051040

Program Studi

: Teknik Geofisika

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

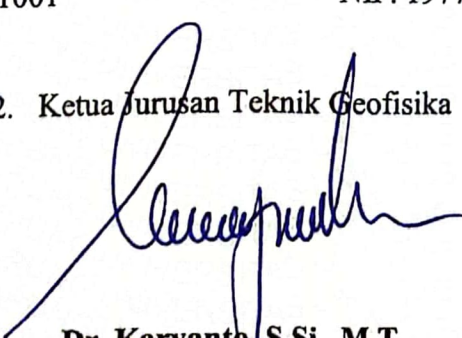
Pembimbing I

Pembimbing II


Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU.
NIP. 197112101997021001


Mochamad Ervan, S. T., M. T.
NIP. 197711192005021004

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika


Dr. Karyanto, S.Si., M.T.
NIP. 196912301998021001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU.

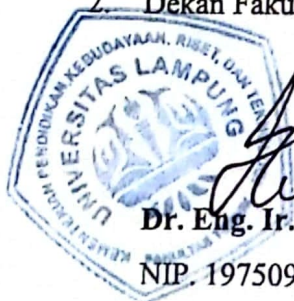


Sekretaris : Moc hamad Ervan, S. T., M. T.



Anggota : Dr. Karyanto, S.Si., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 197509282001121002

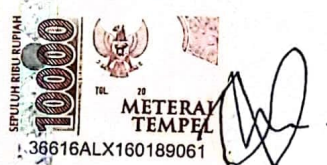
Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Juni 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa apa yang telah tertulis di dalam skripsi dengan judul **“IDENTIFIKASI CEKUNGAN HIDROKARBON JAWA TIMUR BAGIAN SELATAN BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT”** tersebut merupakan hasil karya ilmiah mandiri berdasarkan pengetahuan dan data yang telah di dapatkan oleh penulis dan tidak terdapat karya pihak lain.

Apabila terdapat ketidakbenaran dalam pernyataan penulis, maka penulis bersedia diberikan sanksi sesuai aturan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 26 Juni 2024



Vina Aviani Rosadi

NPM. 2015051040

RIWAYAT HIDUP



Penulis yaitu Vina Aviani Rosadi dilahirkan di Lampung Barat, Kec. Sekincau, Kab. Lampung Barat, Lampung pada tanggal 4 Juli 2002. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan ayah bernama Imam Rosadi Vadilan Nodin dan Ibu bernama Sri Rejeki. Penulis menempuh jenjang pendidikan di SDN 1 Giham Sukamaju pada tahun 2008, kemudian melanjutkan jenjang pendidikan ke sekolah menengah pertama di SMPN 1 Sekincau pada tahun 2014, dan kemudian melanjutkan ke jenjang pendidikan sekolah menengah atas di SMA N 1 Sekincau pada tahun 2017. Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa aktif Program S1 Reguler Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur UTBK. Selama menjadi mahasiswa penulis cukup aktif dalam mengikuti kegiatan organisasi di lingkungan kampus, yaitu organisasi kemahasiswaan seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika unila. Penulis tergabung dalam divisi Bidang Sosial Budaya Masyarakat (SBM) pada periode (2022-2023).

Dalam kegiatan akademik penulis pernah menjadi asisten praktikum matakuliah metode gayabarat. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Padang Manis, Kecamatan Kota Agung, Kabupaten Tanggamus, Lampung pada bulan Januari-Februari 2023. Pada bulan Agustus 2023 penulis melakukan kegiatan Kerja Praktik (KP) di Pusat Survei Geologi, yang merupakan instansi dibawah naungan kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) Bandung dengan judul **“Kerja Praktik Lapangan Bidang Geofisika Untuk Mengidentifikasi Struktur**

Patahan Derah Jawa Timur Selatan Berdasarkan Analisis *Derivative* Anomali Gayaberat". Selanjutnya penulis melaksanakan kegiatan Tugas Akhir pada bulan Desember 2023-Juni 2024 yang dilakukan di Laboratorium Geothermal, Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung dengan judul "**Identifikasi Cekungan Hidrokarbon Jawa Timur Bagian Selatan Berdasarkan Analisis Data Gayaberat**".

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT, atas berkat, rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya.

Kupersembahkan karyaku ini kepada :

Ayah dan Ibunda ku Tersayang

Terimakasih karena selalu menjadi tempat pulang ternyaman penulis selama proses penyelesaian skripsi ini. Ayah dan ibundaku adalah motivasi utama penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Rasa cinta dan kasih sayang yang diberikan kepada penulis tidak pernah terhenti. Agama, ilmu dan pendidikan merupakan hal penting yang selalu diajarkan oleh Ayah dan ibundaku. Ayah dan Ibundaku menjadi anugrah terbesar yang penulis miliki, sehingga kata-kata saja tidak cukup untuk menyampaikan rasa terimakasih penulis. Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan kepada ayah dan ibundaku serta selalu di iringi oleh rasa kebahagiaan, terimakasih atas do'a dan dukungannya ayah dan ibundaku tersayang.

Kakak Kandungku

Terimakasih kepada kakak kandungku Vivin Villiani Rosadi yang selalu menjadi teman curhat dan teman bertengkar penulis. Terimakasih karena sudah hadir dan menjadi saudara kandung penulis, semoga Allah SWT selalu memberikan kebahagiaan di setiap langkah hidupnya.

Keluarga Besar

kepada om, tante, bulek, sepupu dan keluarga besar lainnya yang tidak dapat penulis tuliskan namanya satu persatu, terimakasih sudah menjadi keluarga yang baik dan terus memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis. Keponakan tercinta penulis Kyara Fazila Widodo, terimakasih karena sudah hadir dan memberikan selalu keceriaan dan menjadi teman kecil penulis dan Kepada Alm. Nenekku tersayang semoga kau bangga melihat penulis telah menyelesaikan skripsi ini.

MOTTO

“You Deserve To Shine”

“Education's purpose is to replace an empty mind with an open one “

~Malcolm Forbes~

Dan janganlah kamu (merasa) lemah, dan jangan (pula) bersedih hati, sebab kamu paling tinggi (derajatnya), jika kamu orang beriman.

(QS. Ali Imran: 139)

“Tidak penting tentang siapa yang melukai dirimu atau siapa yang pernah mematahkanmu, yang terpenting adalah siapa yang dapat membuatmu tersenyum”

~Ustadz Hanan Attaki~

“Kau masih punya harapan. Bukankah Tuhanmu adalah yang menegakkan langit tanpa tiang? Mengadakan yang awalnya tiada, semisal kamu yang mulanya tak ada. Lantas kenapa menundukkan kepala ? Mengapa bermuka masam seolah tak ada lagi tempat berharap? Sedang di atas sana, Tuhan menunggu do’a-do’a yang kau ucapkan. Pergilah, tundukkan dirimu dalam rukuk yang lama. Dihadapanmu itu, adalah pemilik segala kuasa. Bahkan sesuatu yang orang kata bakal mustahil, bagi-Nya adalah hal biasa. Tenanglah sayang. Dekati Tuhanmu dan jangan ragu perihal kedepannya. Jika Allah sudah memihakmu, dunia bisa apa”

~Aliflammim~

KATA PENGANTAR

Puji syukur kedarit Allah SWT, Karena berkat rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapan menyusun dan menyelesaikan skripsi dengan judul **“IDENTIFIKASI CEKUNGAN HIDROKARBON JAWA TIMUR BAGIAN SELATAN BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT”**. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada seluruh pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam kegiatan penyusunan skripsi ini. Penulis juga menyadari masih banyak terdapat kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga saran dan kritik diharapkan untuk membangun kesempurnaan. Semoga semua yang tertulis di dalam skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun, baik kalangan umum maupun akademisi untuk kemajuan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 26 Juni 2024



Vina Aviani Rosadi
NPM.2015051040

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena berkat rahmat, hidayah serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "**Identifikasi Cekungan Hidrokarbon Jawa Timur Bagian Selatan Berdasarkan Analisis Data Gayaberat**" dengan sebaik mungkin. Tidak lupa solawat serat salam semoga tetap terlimpah curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam yang kita nanti nantikan syafaatnya di yaumul qiyamah kelak. Tentunya dalam penulisan skripsi ini penulis tidak dapat terlaksana dengan maksimal tanpa adanya dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan anugerah serta Inayah-Nya kepada penulis.
2. Kedua orangtuaku, Ayah dan Ibundaku tercinta, terimakasih atas segala do'a, kasih sayang dan dukungannya kepada penulis. Terimakasih atas jeri payah yang telah di upayakan agar penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, semoga ayah dan ibundaku selalu diberikan kesehatan dan perlindungan Allah SWT.
3. Kakak ku Vivin Villiani Rosadi yang sangat galak dan jutek, terimakasih telah menjadi teman diskusi dan teman bertengkar penulis, meski begitu penulis sangat menyayanginya.
4. Ponakan ku tersayang Kyara Fazila yang lucu, terimakasih karena telah hadir dan selalu memberikan keceriaan kepada penulis.
5. Keluarga besarku yang selalu memberikan dukungan dan mendengarkan curhatan penulis selama mengerjakan skripsi ini. Terimakasih karena telah mendengarkan keluh kesah penulis setiap harinya.
6. Bapak Dr. Karyato S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

7. Bapak Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU. selaku pembimbing utama penulis atas ilmu, arahan serta masukkan dalam penulisan skripsi ini. Terimakasih atas waktu yang telah diluangkan dan telah sabar membimbing penulis hingga akhir penulisan skripsi ini.
8. Bapak Mochamad Ervan S.T., M.T. selaku pembimbing kedua penulis atas arahan dan masukkan dalam penulisan skripsi ini. Terimakasih atas ilmu dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis hingga akhir penulisan skripsi ini.
9. Bapak Rahmat Catur Wibowo, S.T., M.Eng., IPM selaku pembimbing akademik penulis atas bimbingannya selama penulis menjadi mahasiswa.
10. Seluruh Dosen Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu serta dukungan kepada penulis.
11. Pusat Survei Geologi (PSG) karena telah memberikan wadah bimbingan kepada penulis.
12. Teman-teman SMA ku Revi, Hani, Titin dan lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas waktu yang telah diluangkan untuk mendengarkan keluh kesah penulis dan menemani penulis selama pengerjaan skripsi ini berlangsung.
13. Melisa dan Devi teman perjuangan dari masa Kerja Praktik hingga penyusunan skripsi ini. Terimakasih karena selalu memeberikan semangat, menemani dan menghibur penulis saat merasa sedih selama penulisan skripsi ini.
14. Teman-teman A6 sudawaras Astri, Herma, Risma, Ayu dan Aisyah yang telah menemani penulis dari menjadi mahasiswa baru hingga saat ini. Terimakasih atas semangat dan waktu yang telah di habiskan bersama selama masa perkuliahan ini.
15. Faridz yang selalu menemani dan membersamai penulis selama bimbingan serta membantu penulis dalam penyelesaian skripsi.
16. Keluarga Teknik Geofisika 2020 yang telah memberikan dukungan dan memebersamai selama penulisan skripsi ini.
17. Ust. Adi Hidayat dan Ust. Hanan Attaki atas semua kajian nya yang selalu penulis dengarkan saat merasa lelah dan sedih.
18. Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah ikut serta dalam penyelesaian skripsi ini.

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERMOHONAN SEMINAR PROPOSAL.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Lokasi Daerah Penelitian.....	4
2.2. Geologi Regional.....	7
2.3. Tektonik Cekungan Jawa Timur	9
2.4. Stratigrafi.....	12
2.5. Petroleum Sistem Jawa Timur Selatan.....	13
III. TEORI DASAR.....	17
3.1. Metode Gayaberat	17
3.2. Konsep Metode Gayaberat	17
3.2.1. Gayaberat Newton	17
3.2.2. Percepatan Gravitasi	18
3.2.3. Potensial Gayaberat	19
3.2.4. Rapat Massa Batuan (Densitas)	20
3.3. Koreksi-Koreksi dalam Metode Gayaberat	22

3.3.1. Koreksi Apung (<i>Drift Correction</i>)	22
3.3.2. Koreksi Pasang Surut (<i>Tidal Correction</i>)	23
3.3.3. Koreksi Udara Bebas (<i>Free-Air Correction</i>)	23
3.3.4. Koreksi Lintang (<i>Latitude Correction</i>).....	24
3.3.5. Koreksi Bouguer (<i>Bouguer Correction</i>)	24
3.3.6. Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>)	25
3.3.7. Anomali Bouguer	25
3.4. Analisis Spektrum	26
3.5. <i>Filter Moving Average</i>	29
3.6. <i>First Horizontal Derivative</i> (FHD)	30
3.6. Second Vertical Derivative (SVD).....	31
3.7. Pemodelan Inversi	33
3.7. Pola Arah Migrasi	34
IV. METODE PENELITIAN.....	35
4.1. Tempat dan Waktu Penelitian	35
4.2. Alat dan Bahan	35
4.3. Prosedur Penelitian.....	36
4.3.1. Anomali Bouguer Lengkap.....	36
4.3.2. Analisis Spektrum.....	36
4.3.3. Pemisahan Anomali Residual dan Regional	37
4.3.4. Pola Arah Migrasi dan Identifikasi Pola Sub-Cekungan	37
4.3.5. Analisis Derivatif	38
4.3.6. Pemodelan Bawah Permukaan.....	38
4.4. Jadwal Kegiatan	38
4.5. Diagram Alir.....	40
V. Hasil Dan Pembahasan.....	41
5.1. Data Anomali Gayabarat	41
5.2. Anomali Bouguer Lengkap	41
5.3. Analisis Spektrum	42
5.4. <i>Moving Average</i>	47
5.5. Anomali Regionl.....	47
5.6. Anomali Residual	48
5.7. Pola Arah Migrasi	49
5.8. Peta Sub-Cekungan	51

5.9. Analisis Derivatif	53
5.10. Pemodelan Inversi 3D	60
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	68
6.1 Kesimpulan.....	68
6.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai densitas batuan	21
2. Operator <i>filter</i> SVD menurut Henderson Dan Zietz	32
3. Operator <i>filter</i> SVD menurut Elkins	33
4. Operator <i>filter</i> SVD menurut Rosenbach.....	33
5. Data penelitian	35
6. <i>Software</i> yang digunakan dalam penelitian	36
7. Jadwal kegiatan penelitian	39
8. Analisis Spektrum	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Daerah Penelitian	4
2. Peta Cekungan Lokasi Penelitian (Cekungan Jawa Timur Bagian Selatan)....	5
3. Peta Geologi Regional daerah penelitian	6
4. Tiga Struktur Utama Cekungan Jawa Timur	11
5. Kolom tektonik-stratigrafi Jawa Timur	13
6. Model geologi regional utara-selatan Cekungan Jawa Timur bagian utara...	16
7. Gaya tarik menarik antara dua buah benda	18
8. Potensial dan Kuat Medan Massa 3 Dimensi.....	19
9. Kurva $\ln A$ Terhadap k	29
10. Diagram Alir Penelitian	40
11. Peta Anomali Bouguer Lengkap	41
12. Lintasan analisis spektrum	43
13. Kurva $\ln A$ vs K lintasan 1	44
14. Kurva $\ln A$ vs K lintasan 2	45
15. Kurva $\ln A$ vs K lintasan 3	46
16. Peta Anomali Regional	47
17. Peta Anomali Residual	49
18. Pola Arah Migrasi	50
19. Peta Sub-Cekungan Jawa Timur Bagian Selatan.....	51
20. Overlay peta sub-cekungan Jawa Timur Bagian elatan dengan pola arah migrasi.....	52
21. Peta <i>First Horizontal Derivative</i> (FHD)	53
22. Peta <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD).....	55
23. Grafik Residual, FHD dan SVD lintasan $A - A'$	56

24. Grafik Residual, FHD dan SVD lintasan B – B'	57
25. Grafik Residual, FHD dan SVD lintasan C – C'	58
26. Grafik Residual, FHD dan SVD lintasan D – D'	59
27. Overlay peta cekungan dengan kontur 0	60
28. Model inversi 3D anomali residual	61
29. Model inversi 3D anomali residual kedalaman -5000 m	62
30. Gambar 30. Model inversi 3D anomali residual kedalaman -6500 m	62
31. Korelasi analisis SVD dengan model <i>slice</i> A-A' inversi 3D	65
32. Korelasi analisis SVD dengan model <i>slice</i> A-A' inversi 3D	66
33. Korelasi analisis SVD dengan model <i>slice</i> A-A' inversi 3D	67
34. Korelasi analisis SVD dengan model <i>slice</i> A-A' inversi 3D	68

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebelum terbentuk minyak mentah baru, cadangan minyak dan gas bumi yang ditemukan terus diproduksi hingga lama kelamaan terbatas dan akan habis, hal itulah mengapa minyak dan gas bumi tergolong sebagai sumber daya energi yang terus dilakukan pencarian (eksplorasi). Kegiatan eksplorasi dilakukan dengan menganalisis daerah cekungan yang diduga memiliki potensi terakumulasinya hidrokarbon. Petroleum sistem adalah bagian yang sangat penting dalam tahapan eksplorasi hidrokarbon karena mencakup elemen proses pembentukan geologi daerah minyak bumi (Sumotarto, 2016).

Gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang sering diaplikasikan dalam penggambaran struktur geologi bawah permukaan. Metode ini digunakan untuk mengetahui keberadaan batuan dasar, suatu struktur, intrusi batuan serta cekungan sedimen yang didasarkan pada variasi medan gravitasi bumi sebagai akibat perbedaan densitas secara lateral, atau dikenal sebagai anomali gayaberat (Sarkowi, 2014). Metode gayaberat diterapkan survei pendahuluan dalam eksplorasi hidrokarbon, dimana metode ini digunakan untuk memperkirakan konfigurasi atau kedalaman *basement* dan keberadaan suatu cekungan (Erviantari, 2014). Pemetaan struktur bawah permukaan yang dilakukan di daerah Jawa Timur Bagian Selatan, menggunakan data Anomali Bouguer Lengkap dapat menunjukkan adanya kelurusan dari anomali tersebut, sebagai acuan dalam melakukan interpretasi struktur geologi patahan atau sesar. Dalam lapangan minyak dan

gas bumi patahan berperan sebagai pengontrol dan pembatas dari sub-cekungan sistem minyak dan gas bumi (Widjaja dkk., 2016).

Cekungan sedimen merupakan target eksplorasi di bidang energi sebagai pembentuk minyak dan gas bumi. Cekungan sedimen Indonesia umumnya terbagi dalam 3 cekungan, yaitu cekungan pra-Tersier, cekungan menerus pra-Tersier – Tersier dan cekungan Tersier. Diketahui cekungan Jawa Timur menghasilkan banyak cekungan struktur yang menghasilkan hidrokarbon (Astjario, 2007). Di Jawa Timur terdapat sistem sesar yang berperan sebagai pengontrol perkembangan area cekungan. Menurut Hasan dan Nurwidyanto (2008) Cekungan Jawa Timur terdiri dari sedimen tersier yang memiliki ketebalan mencapai 5000 m, di mana pusat cekungan tersebut terletak di bagian tengah Jawa Timur yaitu di sekitar Seragen, Ngawi, Karanganyar, Madiun, Nganjuk, Kediri, Jombang, Mojokerto dan Bojonegoro.

Untuk mendapatkan model distribusi densitas bawah permukaan dilakukan pemodelan inversi 3D anomali residual sebagai acuan dalam melakukan analisis dan interpretasi cekungan sedimen di daerah Penelitian. Analisis cekungan penting dilakukan karena cekungan tersebut merupakan tempat terkumpulnya hidrokarbon, meskipun tidak semua cekungan sedimen berpotensi hidrokarbon (Setiadi dkk., 2010).

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan pola migrasi hidrokarbon di daerah penelitian berdasarkan data anomali residual dan analisa vektor anomali gayabarat
2. Mendapatkan peta sub-cekungan berpotensi hidrokarbon
3. Mendapatkan struktur sesar berdasarkan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD)
4. Mendapatkan struktur bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan hasil pemodelan anomali gayabarat

5. Mendapatkan sub-cekungan yang berpotensi hidrokarbon berdasarkan analisis *Secon Vertical Derivative (SVD)* dan model distribusi densitas bawah permukaan hasil inversi anomali gayabarat

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Identifikasi pola migrasi berdasarkan analisa verktor anomali residual
2. Mengidentifikasi struktur patahan berdasarkan analisis *Second Vertical Drivative (SVD)*
3. Analisis sub-cekungan hidrokarbon berdasarkan analisis *Second Vertical Drivative (SVD)* dan model distribusi densitas hasil inversi anomali gayabarat

1.4 Manfaat Penelitian

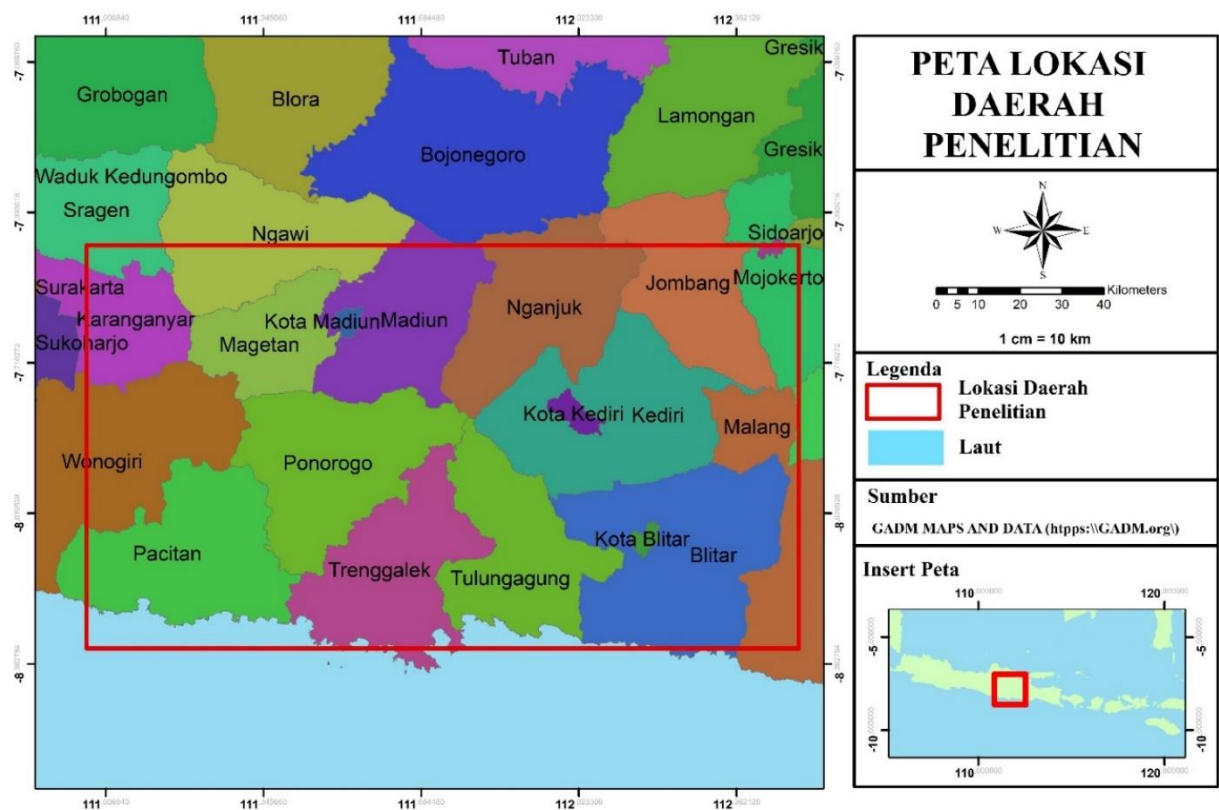
Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan model struktur bawah permukaan daerah penelitian
2. Mendapatkan sub-cekungan berpotensi hidrokarbon pada daerah penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

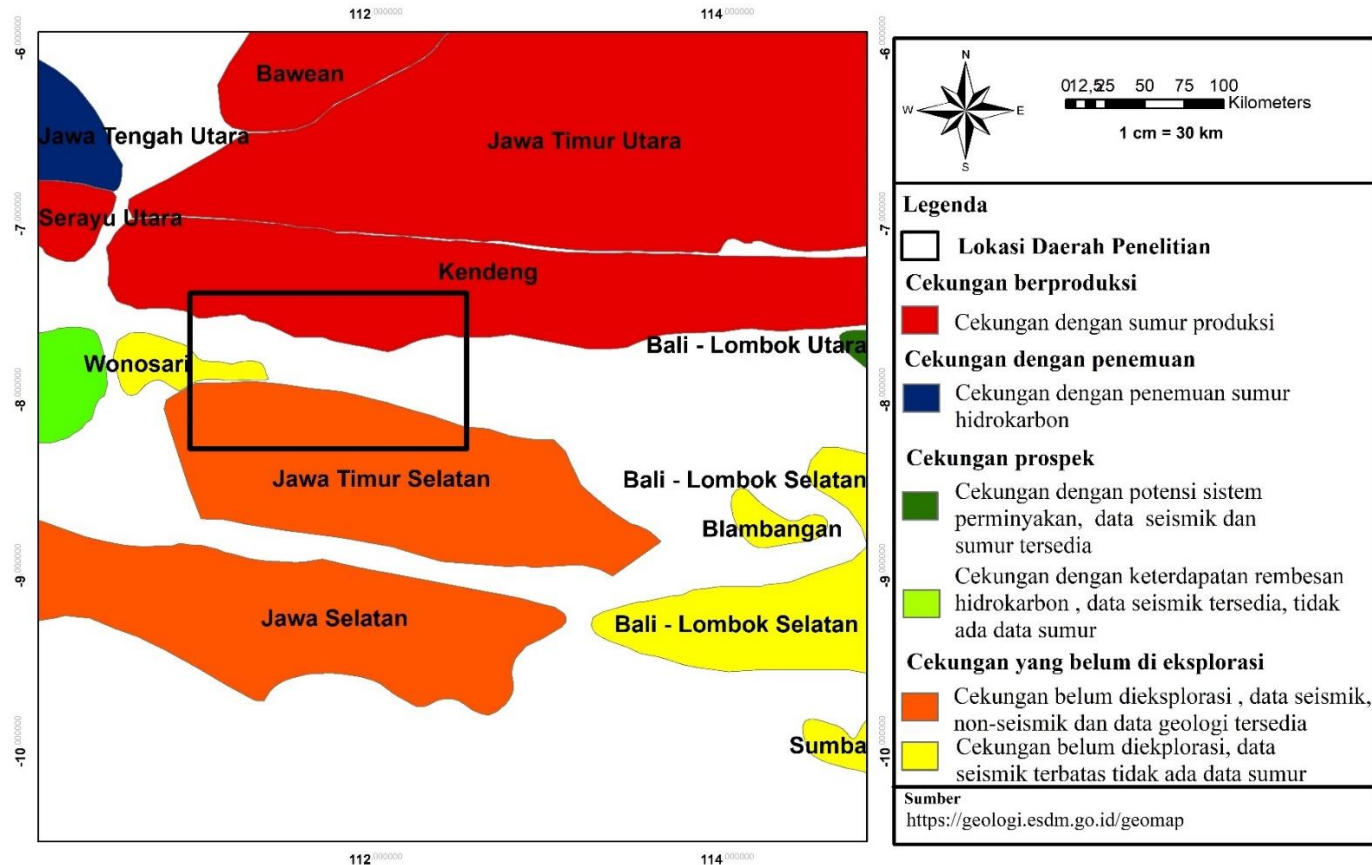
2.1 Lokasi Daerah penelitian

Lokasi daerah penelitian berada di Provinsi Jawa Timur Bagian Selatan yang berada pada koordinat -8.3° LS sampai -7.4° LS dan 110.9° BT sampai 112.5° BT.

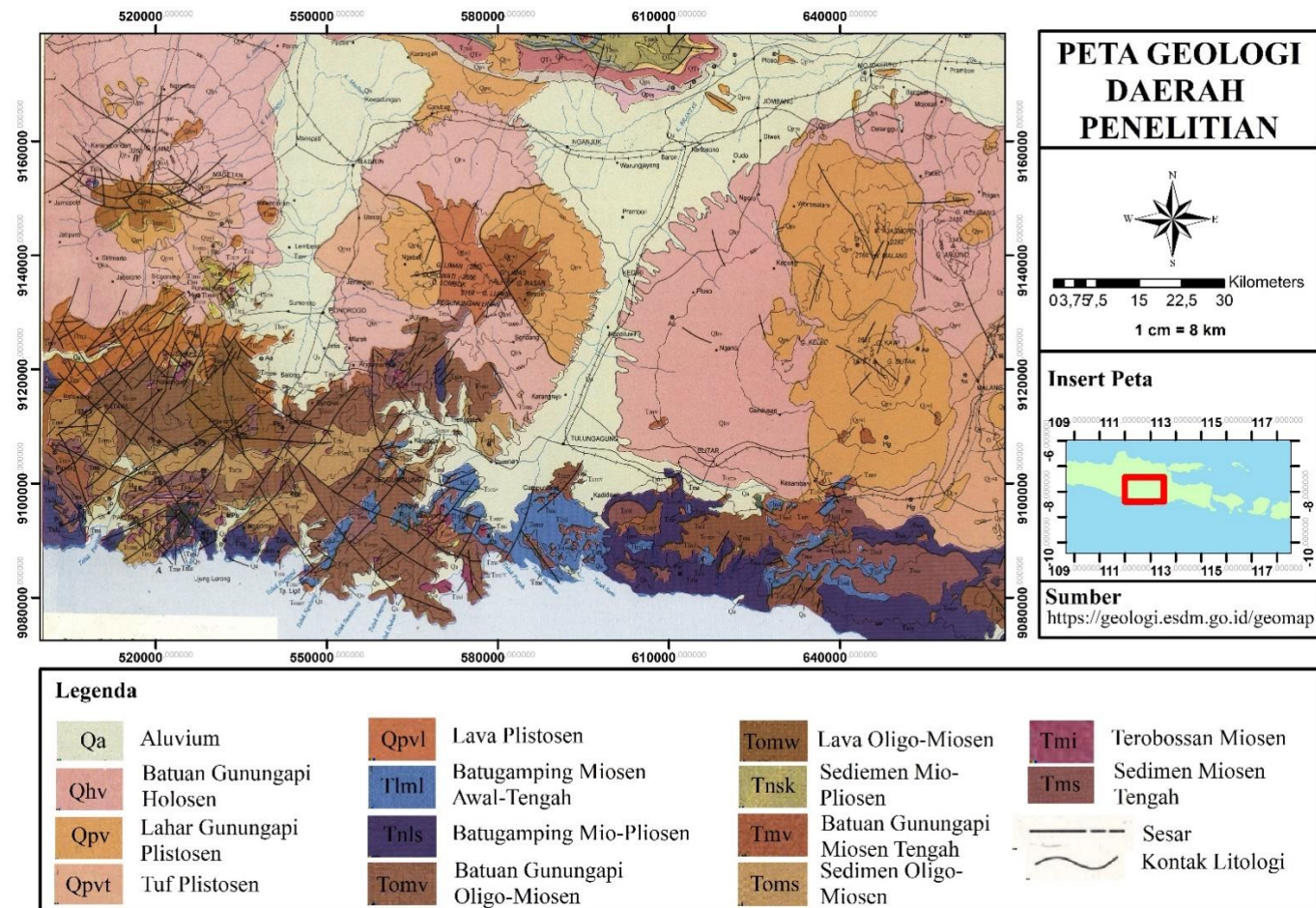


Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

PETA CEKUNGAN JAWA TIMUR BAGIAN SELATAN



Gambar 2. Peta cekungan lokasi penelitian (Cekungan Jawa Timur Bagian Selatan)



Gambar 3. Peta geologi regional daerah penelitian

2.2 Geologi Regional

Di bagian Barat daerah penelitian lipatan umumnya berarah barat-timur, di bagian Timur berubah menjadi Timurlaut-Baratdaya sebagai akibat dari pengaruh sesar. Genangan laut yang terjadi pada Miosen Tengah menyebabkan terbentuknya batugamping paparan Formasi Wonosari, yang di daerah Lembar kurang berkembang. Unsur tuf dan batugamping menunjukkan masih adanya kegiatan gunungapi di sekitarnya. Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur merupakan rangkaian pegunungan yang berada di sisi timur wilayah selatan Pulau Jawa. Membentang, meski tidak selalu merata, ke arah timur-tenggara - barat-barat laut, dari Parangtritis hingga Ujung Purwo. Igir Baturagung adalah sebutan untuk wilayah paling utara dari Pegunungan Selatan yang tersusun dari batuan vulkanik dengan kemiringan terjal hingga sedang. Wilayah Igir Baturagung bagian utara berbatasan dengan Zona Solo. Pegunungan Selatan Jawa Timur bagian barat merupakan suatu cekungan sedimenter gunungapi berumur Eosen - Miosen Tengah yang ditutupi oleh berbagai fasies batugamping berumur Miosen Tengah - Pliosen, yang kemudian mengalami pengangkatan dan penyesaran bongkah hingga kedudukannya relatif termiringkan ke arah selatan (Husein & Srijono, 2007). Sesar yang berarah timurlaut-baratdaya berjenis sesar mendatar mengiri sedangkan untuk sesar yang berarah baratlaut-tenggara mempunyai geseran menganan. Sesar yang berarah hampir barat-timur adalah sesar normal. Sesar-sesar ini dapat digolongkan sebagai sesar mendatar karena pergerakan horizontalnya lebih besar dibandingkan pergerakan ke bawah. Sesar geser kiri (sinistral) adalah sesar yang arahnya dari timur laut ke barat daya sedangkan yang mendatar menganan (dekstral) memiliki arah baratlaut-tenggara.

2.4.1 Qa (Aluvium)

Bahan gunungapi berupa lumpur, pasir, kerikil, kerakal dan sedikit bongkah. Kerikil, kerakal dan bongkah menguasai daerah sepanjang sungai, berbentuk membundar tanggung sampai membundar tebal, berkisar dari 0,5 m hingga lebih dari 10 m.

- 2.4.2 Qhv (Batuan Gunungapi Holosen)
Breksi gunungapi, aglomerat lava, lahar, tuf, lapili dan bom.
- 2.4.3 Qpv (Lahar Gunungapi Plistosen)
Breksi Andesit. Tersusun ole kepingan andesit berukuran kerikil-bongkah dengan masadasar batupasir tufan.
- 2.4.4 Qpvt (Tuf Plistosen)
Tuf batuapung tuf lapili breksi tuf dan tuf pasiran. Bersusun andesit sampai dasit mengandung kuarsa.
- 2.4.5 Qpvl (Lava Plistosen)
Lava andesit setempat bersisipan dengan breksi gunungapi.
- 2.4.6 Tlml (Batu Gamping Miosen Awal-Tengah)
Batugamping hablur kalkarenit di bagian bawah, sisipan batulempung berkarbon atau tufan dan sedikit gampingan.
- 2.4.7 Tnls (Batu Gamping Mio-Pliosen)
Batugamping terumbu, batugamping berlapis atau berkeping, batugamping pasiran dan napal.
- 2.4.8 Tomv (Batuan Gunungapi Oligo-Miosen)
Perselingan breksi gunungapi lava dan tuf bersisipan batupasir, batulanau dan batulempung tufan.
- 2.4.9 Tomw (Lava Oligo-miosen)
Lava basal berstruktur bantal, sisipan betupasir, batulempung dan rijang.
- 2.4.10 Tnsk (Sedimen Mio-Pliosen)
Napal bersisipan batulempung batupasir, tuf batugamping dan setempat breksi andesit serta konglomerat.
- 2.4.11 Tmv (Batuan Gunungapi Miosen-Tengah)
Breksi gunungapi breksi tuf, breksi lahar lava dan tuf di beebrapa tempat bersisipan batupasir dan batulanau tufan batugamping.
- 2.4.12 Toms (Sedimen Oligo-Miosen)
Perselingan batupasir, batulanau, batu lempung dan konglomerat/bresi aneka bahan, setempat batugamping dan napal, sisian breksi gunungapi, lava dan tuf.

2.4.13 Tmi (Terobossan Miosen)

Andesit, dasit, basal, diorit, granodiorit, menerobos batuan Oligo-Miosen Awal.

2.4.14 Tms (Sedimen Miosen Tengah)

Perulangan batupasir, batulanau batulempung, sisipan konglomerat atau breksi.

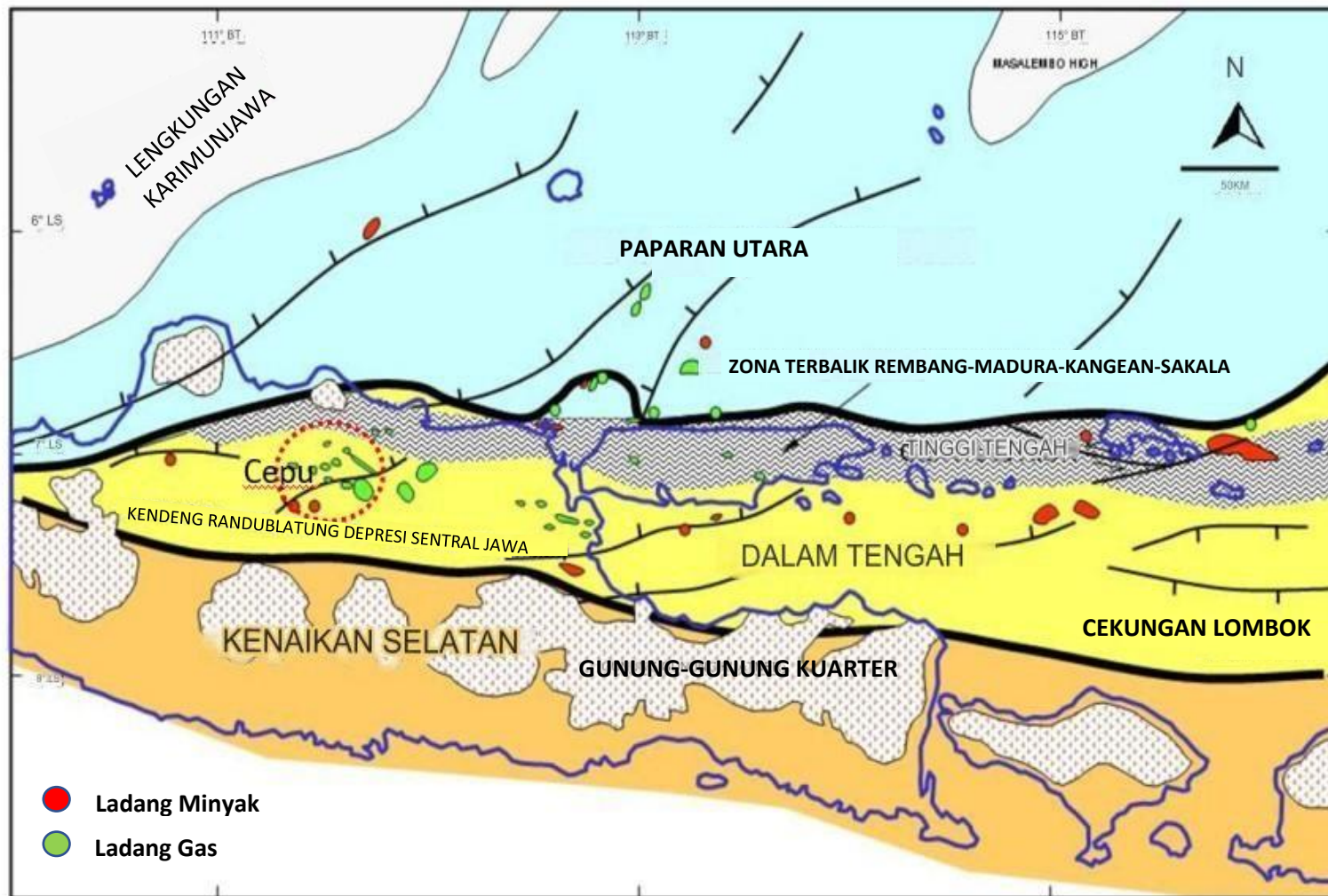
2.3 Tektonik Cekungan Jawa Timur

Aktivitas tektonik pada zaman Plio Pleistosen menyebabkan terangkatnya kawasan regional Cekungan Jawa Timur sehingga menghasilkan bentuk morfologi kawasan seperti sekarang. Karena pengaruh tekanan kompresi yang berasal dari utara dan selatan, maka struktur geologi wilayah Cekungan Jawa Timur sebagian besar terdiri dari sesar naik, sesar mendatar, sesar turun dan lipatan yang berarah barat-timur (Satyana, 2005).

Dari utara ke selatan, Cekungan Jawa Timur terbagi menjadi tiga mandala struktural, yaitu sebagai berikut (Satyana, 2005).:

1. Paparan Utara, yang meliputi Busur Bawean, Paparan Madura Utara, dan Paparan Kangean Utara.
2. Bagian tengah yang disebut dataran Tinggi sentral adalah suatu daerah yang disebabkan oleh pembalikan struktur berumur Miosen-resent dan daerah terangkat dari sesar ekstensional berumur Eosen ke oligosen. Terdiri dari Madura, Kangean, Tinggian Lombok, dan Jawa Timur Utara Lut (Kujung). Tinggian Kujung dan Dataran Tinggi Madura-Kangean di sebelah timur mengalami kemenerusan sehingga terbentuk tinggian sentral. Daerah tersebut mengalami penurunan regional pada akhir Eosen dan tinggian berfungsi sebagai tempat fasies gampingan berkembang.
3. Cekungan selatan atau bagian selatan meliputi zona Rembang – Zona Madura – Sub-Cekungan Lombok sebagai sesar mendatar yang berkorelasi dengan pengangkatan kujung. dan Kangean ke arah utara, sedangkan bagian selatan tetap pada lingkungan batial dalam.

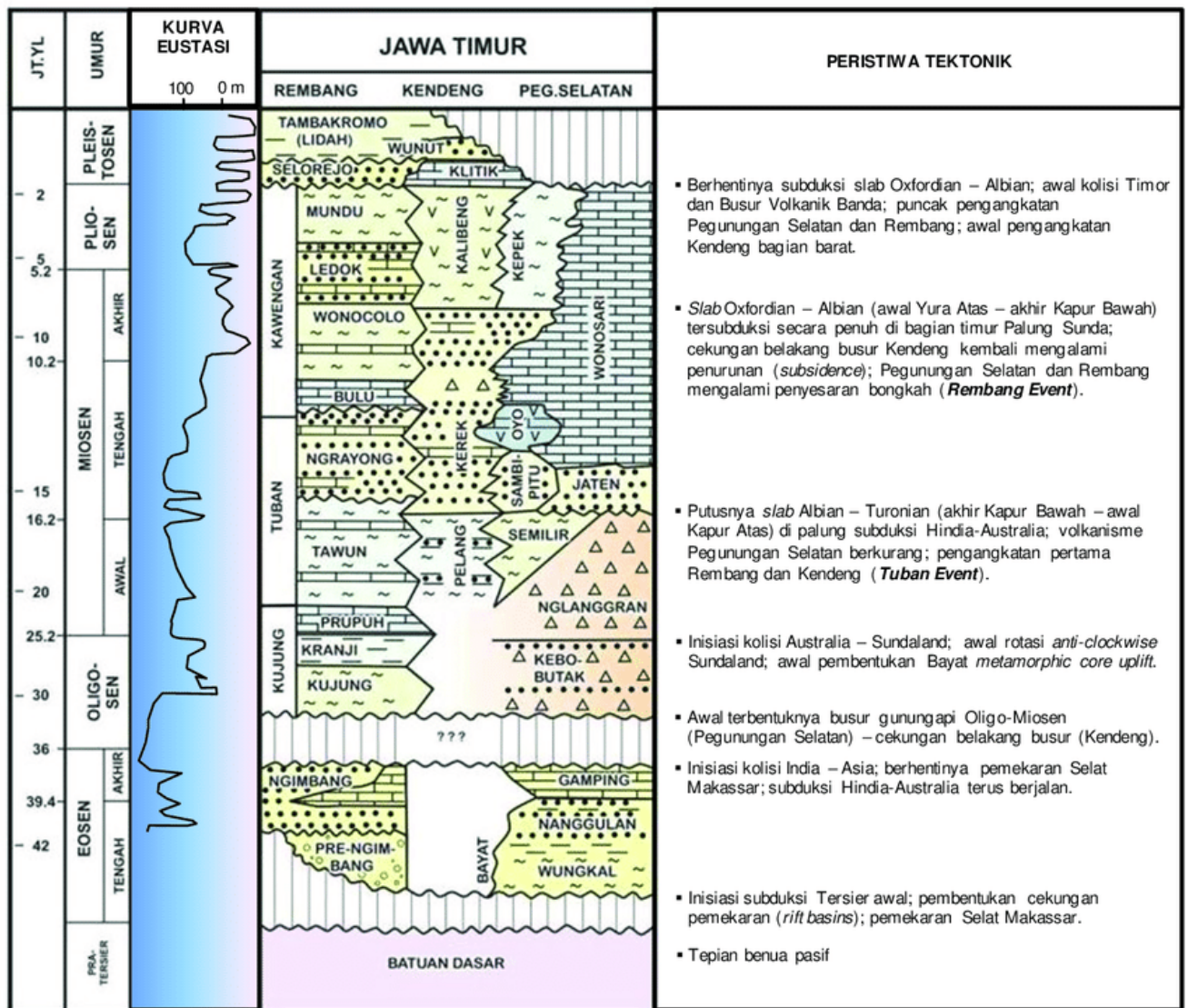
Terbentuk oleh sesar ekstensional Eosen-Oligosen akhir yang dilanjutkan oleh periode struktur terbalik produk kompresi Miosen awal-Pliosen. Zona Rambang yang menerus sampai lepas pantai.



Gambar 4. Tiga struktur utama Cekungan Jawa Timur (Satyana dan Purwaningsih, 2003)

2.4 Stratigrafi

Lajur Pegunungan Selatan ditempati oleh batuan gunungapi terpropilitkan dan batuan sedimen klastika gunungapi, yang diterobos oleh andesit, dasit, mikrodiorit dan batugamping. Satuan Tertua yang dijumpai di jalur ini ialah Formasi (Tomm), yang berumur Oligosen-Miosen, terdiri dari lava andesit dan dasit, breksi gunungapi, dan autobreksi, yang umumnya sudah terpropilitkan, terargilitkan dan terkarsikan. Di Lajur Kendeng hanya terdapat dua batuan yang tersingkap yaitu formasi (Qpk) yang berumur plistosen Tengah, tersusun oleh konglomerat dan batupasir, dan formasi (Qpnv) yang berumur akhir Plistosen Tengah Sampai awal Plistosen Akhir, tersusun oleh breksi gunungapi, tuf dan aglomerat. Endapan termuda adalah aluvium yang terdiri dari rombakan bahan gunungapi. Pada daerah penelitian juga tersingkap batuan sedimen, batuan gunungapi dan aluvium, yang diperkirakan berumur Plistosen awal hingga Resen. Pada Jalur Kendeng, satuan tertua yang tersingkap adalah Formasi (Qpp) berumur Plistosen Awal. Satuan tersebut ditindih selaras oleh formasi (Qpk) yang berumur Plistosen Awal-Tengah, dan selanjutnya ditindih oleh runtunan sedimen klastika. Formasi (Qpnv) yang berumur Plistosen Tengah-Plistosen Akhir. Semua satuan batuan tersebut sebagian tertutup aluvium.



Gambar 5. Kolom tektonik-stratigrafi Jawa Timur (Novian dkk., 2014)

2.5 Petroleum Sistem Jawa Timur Bagian Selatan

Produksi hidrokarbon melibatkan serangkaian komponen dan proses geologi yang dikenal sebagai Sistem Minyak Bumi, yang mencakup tahap awal pengembangan hingga akumulasi hidrokarbon. Cekungan busur belakang (*Back-arc*) Tersier Jawa Timur Utara berkaitan dengan subduksi lempeng samudera dengan lempeng benua. Subduksi ini mengakibatkan aktivitas vulkanik selama Tersier menghasilkan sedimen untuk pengisian hampir setengah Cekungan Jawa Timur bagian Selatan (Mudjiono dan Pireno, 2002). Secara struktur dan stratigrafi, Cekungan Jawa Timur bagian utara merupakan cekungan *back-arc* paling kompleks di Indonesia dan juga

paling banyak menghasilkan minyak di Indonesia, dengan kandungan minyak paling banyak ditemukan berumur Miosen akhir (Satyana dkk., 2008). Elemen-elemen dalam petroleum sistem sebagai berikut :

2.5.1 Batuan Induk (*Source Rock*)

Terdapat dua interval batuan induk di Cekungan Jawa Timur yaitu, *synrift section* di interval dalam serta *shallow kitchen* di interval yang lebih muda. Fasies serpih yang kaya akan organik Formasi Ngimbang (umur Eosen-Oligosen) sebagai termogenik utama potensi batuan induk merupakan sumber interval *synrift* , sedangkan transisi *shally marine facies* dangkal (Miosen Akhir-Pleistosen) merupakan interval yang lebih muda sebagai bogenik dari batuan induk. Hal tersebut digambarkan oleh pencampuran gas biogenik dan termogenik pada beberapa bidang di Cekungan Jawa Timur (Kepodang, Wunut, Maleo, Oyong, dll). Endapan danau, laut marginal, klastik batugamping delta, dan serpih transgresif laut dari Unit Kujung I, II, dan III hingga Tuban, Formasi OK (Orbitoid Kalk) bagian bawah semuanya termasuk dalam gas termogenik dan minyak yang diekstraksi dari Formasi Ngimbang. Minyak terbaik diproduksi di sepanjang perbatasan cekungan, ketika sedimen dari ganggang danau menumpuk, Ganggang sedimen berkumpul di bagian tengah, yang merupakan tempat ditemukannya minyak terbaik.

2.5.2 Reservoir

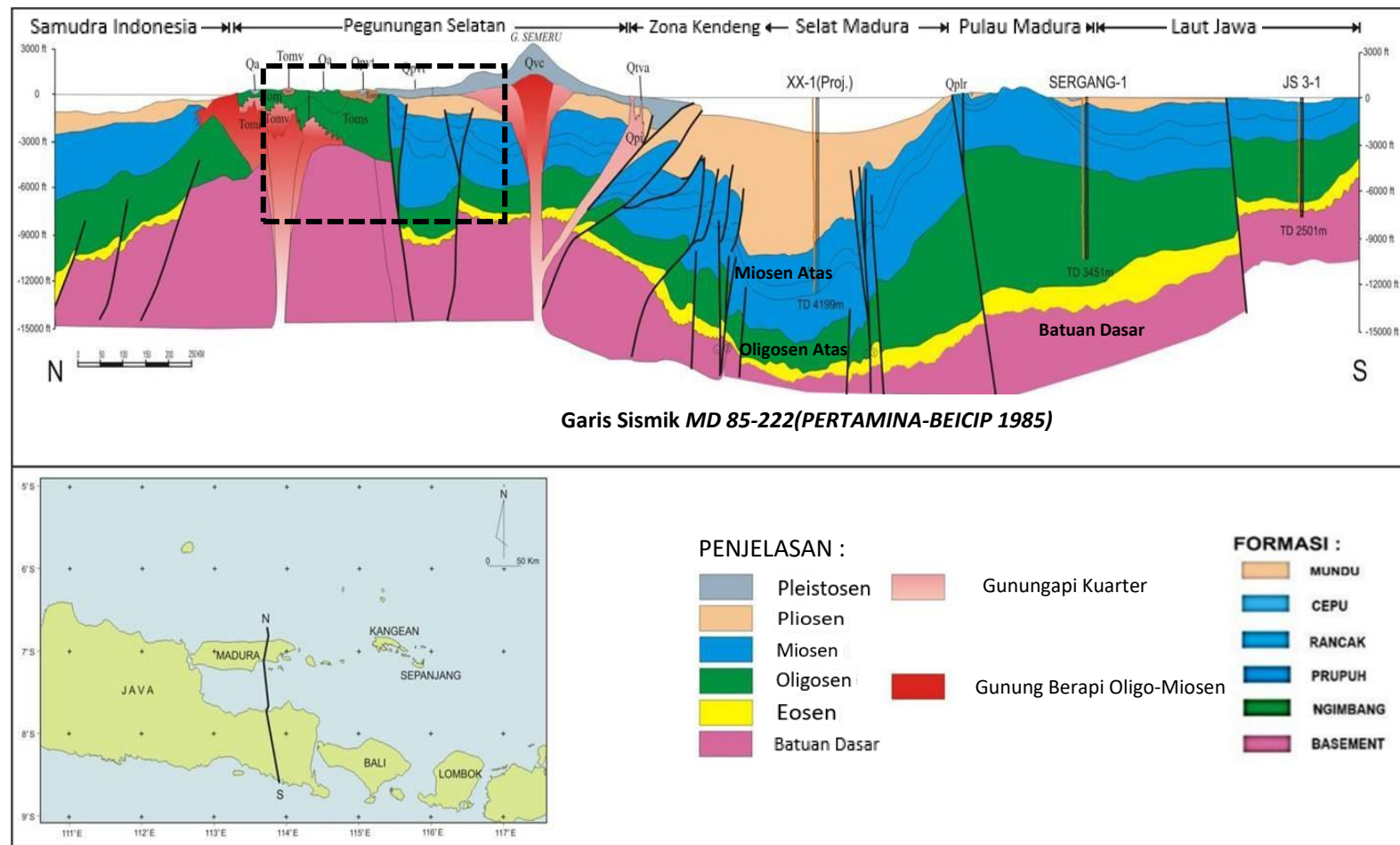
Di cekungan Jawa Timur ada dua jenis reservoir yaitu reservoir sedimen klastik butiran kasar batuan karbonat. Periode Paleogen dan Neogen mencakup kedua reservoir tersebut. Formasi Karbonat Ngimbang (Formasi CD) dan penumpukan karbonat dari Formasi Kujung menyediakan reservoir karbonat. Sebaran batugamping pada formasi ini kemungkinan besar menunjukkan tren NE-SW. Sedangkan formasi Ngrayong dan BD *sand* meliputi kuarsa laut pasir transisi-dangkal dan reservoir sedimen klastik berbutir kasar (kipas fluvial-aluvial atau konglomerat basal).

2.5.3 Batuan Penyekat

Berdasarkan stratigrafi regional, potensi kapasitas *seal* yang dilihat oleh satuan atas Formasi Kujung dan Formasi Wonocolo umumnya ditandai dengan batulumpur monoton dan deretan *limestone*. Intra pembentukan *seal* Kapasitas batuan penutup kedua yang didapatkan dalam interval Paleogen dan Neogen.

2.5.4 Perangkap

Di cekungan Jawa Timur, jebakan struktural dan stratigrafi berkembang dengan baik. Contoh paling jelas dari perangkap stratigrafi terlihat pada penumpukan karbonat Oligosen-Miosen, khususnya pada Formasi Kujung. Blok sesar miring Eosen dan struktur kompresi Miosen Akhir yang berasosiasi dengan struktur perangkap sebenarnya. *Fault* merupakan perangkap paling umum yang berhubungan dengan *rifting* dan graben pada formasi pembentuk cekungan. Pembentukan struktur hidrokarbon terjadi pada *fase* awal patahan aktif di Eosen Tengah hingga Oligosen Awal .



Gambar 6. Model geologi regional utara-selatan Cekungan Jawa Timur (Modifikasi dari Ningsih, 2023).

III. TEORI DASAR

3.1 Metode Gayaberat

Gaya berat merupakan metode yang digunakan pada ilmu geofisika untuk melihat atau menggambarkan struktur yang ada di bawah permukaan tanah. Karena perubahan kepadatan secara lateral, variasi medan gravitasi bumi dapat digunakan untuk pengukuran gayaberat (Sugita dkk., 2020). Perbedaan massa jenis dari satu lokasi ke lokasi lain menyebabkan medan gayaberat tidak merata, perbedaan tersebut adalah yang terukur dipermukaan bumi (Panjaitan dan Subagio 2016).

Metode gayaberat mengacu pada variasi medan gayaberat di bumi yang disebabkan oleh adanya variasi densitas batuan di bawah permukaan, jenis batuan, perbedaan jarak permukaan bumi ke pusat bumi serta terdapat perbedaan topografi di permukaan bumi (Sarkowi, 2014). Metode tersebut dapat digunakan dalam pemetaan wilayah, dimana pada wilayah tersebut terjadi deformasi struktural berupa patahan (Maimuna dkk., 2021). Metode gayaberat terus mengalami perkembangan yang cukup berarti untuk menunjang penelitian mengenai ketebalan sedimen dan batas batuan dasar (*basement*) (Firdaus dkk., 2016). Metode gayaberat juga diaplikasikan untuk mencari keberadaan sub-cekungan hidrokarbon (Dewi dkk., 2020).

3.2 Konsep Metode Gayaberat

3.2.1 Gayaberat Newton

Gayaberat Newton didasarkan pada prinsip Hukum Newton dimana menjabarkan mengenai adanya gaya tarik antara m_1 dan m_2 yang terpisah sejauh r , yang dirumuskan melalui persamaan berikut (Serway dkk., 2009):

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

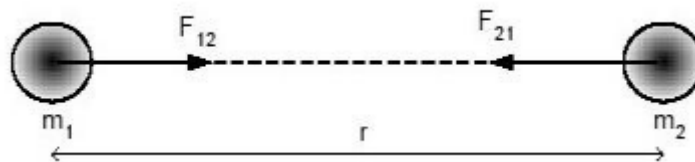
Dengan:

F : 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 7. Gaya tarik menarik antara dua buah benda (Grandis, 2009)

3.2.2 Percepatan Gravitasi

Newton juga mendefinisikan hubungan antara gaya dan percepatan. Hubungan gaya dan percepatan dijabarkan pada hukum Newton II. Hukum tersebut gaya merupakan hasil dari perkalian massa dengan percepatan gravitasi (Bosy, 2016).

$$\vec{F} = \vec{m} \cdot \vec{g} \quad (2)$$

Percepatan benda dengan massa m_2 yang disebabkan oleh tarikan benda dengan massa m_1 pada jarak r secara sederhana dirumuskan melalui persamaan :

$$\vec{g} = \frac{\vec{f}}{m} \quad (3)$$

Apabila ditetapkan pada percepatan gaya tarik bumi, maka persamaan di atas menjadi:

$$\vec{g} = \frac{\vec{f}}{m} = G \frac{M \cdot m}{m r^2} = G \frac{M}{r^2} \quad (4)$$

Dengan :

- $\vec{g}$: Percepatan gaya tarik bumi (m/s^2)
 M : Massa bumi (kg)
 m : Massa benda (kg)
 $\vec{f}$: Gayaberat (N)
 $\vec{r}$: Jari-Jari bumi (km)

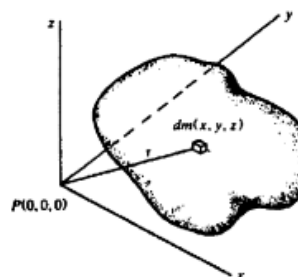
Nilai satuan percepatan gravitasi dalam sistem MKS yaitu m/s^2 sedangkan cm/s^2 adalah satuan dalam sistem CGS. Galileo merupakan orang pertama yang melakukan pengukuran percepatan gravitasi. Galileo dalam eksperimennya di Pisa Italia, untuk itu satuan percepatan gravitasi di definisikan sebagai berikut.

$$1 \text{ mGall} = 10^{-3} \text{ Gal} = 10^{-3} \text{ cm/s}^2 = 10^{-5} \text{ m/s}^2$$

Satuan anomali gaya gravitasi dalam kegiatan eksplorasi diberikan dalam orde mGal dikarenakan perubahan antar titik yang sangat kecil (Reza dkk., 2013).

3.2.3 Potensial Gayaberat

Jika usaha yang dibutuhkan untuk menggerakkan sebuah partikel dalam medan gravitasi hanya bergantung pada titik awal dan titik akhir, bukan pada lintasan yang dilaluinya, maka medan gravitasi bersifat konservatif. Vektor yang arahnya sejajar dengan garis yang menghubungkan pusat dua massa disebut gravitasi (Sota, 2011).



Gambar 8. Potensial dan kuat medan massa 3 dimensi (Telford dkk., 1990).

Sebuah massa pada 3 dimensi yang memiliki bentuk sembarang akan dilakukan distribusi secara kontinu dengan rapat massa $\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)$, maka potensial gayaberat di titik $P(x, y, z)$ diberikan oleh :

$$U(x, y, z) = G \iiint \frac{\Delta(\alpha, \beta, \gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{\frac{3}{2}}} d\alpha. d\beta. d\gamma \quad (8)$$

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

$$\begin{aligned} \Delta g_x(x, y, z) &= \frac{\partial U(x, y, z)}{\partial x} \\ &= -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta(\alpha, \beta, \gamma)(x-\alpha)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{\frac{3}{2}}} d\alpha. d\beta. d\gamma \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Delta g_y(x, y, z) &= \frac{\partial U(x, y, z)}{\partial y} \\ &= -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta(\alpha, \beta, \gamma)(y-\beta)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{\frac{3}{2}}} d\alpha. d\beta. d\gamma \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Delta g_z(x, y, z) &= \frac{\partial U(x, y, z)}{\partial z} \\ &= -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta(\alpha, \beta, \gamma)(z-\gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{\frac{3}{2}}} d\alpha. d\beta. d\gamma \end{aligned} \quad (11)$$

Dari persamaan diatas didapatkan nilai medan gayaberat Δg di permukaan bumi yang bervariasi. Medan gayaberat bumi terpengaruh oleh distribusi massa di bawah permukaan yang ditunjukkan oleh fungsi densitas (ρ) serta bentuk bumi yang sebenarnya, yang ditunjukkan oleh batas integral (Sarkowi, 2007). Karena medan potensial bersifat konservatif, usaha yang dilakukan di hanya bergantung pada posisi awal dan akhir, bukan bergantung pada jalur yang dilaluinya (Sihombing, 2018).

3.2.4 Rapat Massa Batuan (Densitas)

Untuk menghitung percepatan gravitasi, besaran utama yang digunakan adalah rapat massa batuan, atau densitas. Densitas merupakan parameter yang dapat menunjukkan informasi keadaan fisika (Sucipto, 2014). Faktor-faktor seperti porositas, kandungan fluida yang mengisi ruang pori batuan, rapat massa butir pembentuk, dan pemadatan yang disebabkan oleh tekanan dan pelapukan memengaruhi densitas batuan yang ada pada permukaan

bumi. Seperti yang ditunjukkan pada (**Tabel 1**) nilai densitas setiap batuan memiliki nilai yang berbeda. Variasi nilai rapat massa yang ada di batuan sedimen disebabkan oleh gaya tektonik (Kirbani, 2001).

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

Jenis Batuan	Batas (gr/cc)	Rata-rata (gr/cc)
Batuan Sedimen		
<i>Alluvium</i>	1.96 – 2.00	1.98
<i>Clay</i>	1.63 – 2.60	2.21
<i>Gravel</i>	1.70 – 2.40	2.00
<i>Loess</i>	1.40 – 1.93	1.64
<i>Silt</i>	1.80 – 2.20	1.93
<i>Soil</i>	1.20 – 2.40	1.92
<i>Sand</i>	1.70 – 2.30	2.00
<i>Sandstone</i>	1.61 – 2.76	2.35
Jenis Batuan	Batas (gr/cc)	Rata-rata (gr/cc)
<i>Shale</i>	1.77 – 3.20	2.40
<i>Limestone</i>	1.93 – 2.90	2.55
<i>Dolomit</i>	2.28 – 2.90	2.70
<i>Chalk</i>	1.53 – 2.60	2.01
<i>Halite</i>	2.10 – 2.60	2.22
<i>Glacier Ice</i>	0.88 – 0.92	0.90
Batuan Beku		
<i>Rhyolit</i>	2.35 – 2.70	2.52
<i>Andesit</i>	2.50 – 2.81	2.64
<i>Granit</i>	2.40 – 2.80	2.61
<i>Syenite</i>	2.60 – 2.95	2.77
<i>Basalt</i>	2.70 – 3.30	2.99
<i>Gabro</i>	2.70 – 3.50	3.03
Batuan Metamorf		
<i>Gneiss</i>	2.59 – 3.00	2.80
<i>Schist</i>	2.39 – 2.90	2.64

<i>Phyllite</i>	2.68 – 2.80	2.74
<i>Slate</i>	2.70 – 2.90	2.79
<i>Granulite</i>	2.52 – 2.73	2.65
<i>Amphibolite</i>	2.90 – 3.04	2.96
<i>Eclogite</i>	3.20 – 3.54	3.37

3.3 Koreksi Metode Gayaberat

Dalam pemrosesan data gayaberat embacaan skala alat diubah menjadi nilai satuan gravitasi (mGal) dengan melakukan koreksi-koreksi (Padmawidjaja, 2019). Koreksi yang digunakan dalam Metode Gayaberat antara lain yaitu Koreksi *Drift* (apungan), *Terrain* (topografi), *Tidal* (pasang surut bumi), *Latitude* (garis lintang), *Bouguer*, dan *Udara Bebas*.

3.3.1 Koreksi Apung (*Drift Corection*)

Koreksi *drift* merupakan koreksi yang disebabkan oleh sifat alat gravitimeter yang selalu mengalami perubahan harga yang terukur disetiap waktu. Selain itu koreksi *drift* dapat disebabkan oleh gangguan alat selama pengukuran di lapangan. Pengukuran dalam interval waktu tertentu di *base station* menghasilkan nilai yang berbeda. Koreksi ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran dengan metode *looping*, yaitu pengukuran yang menetapkan satu titik sebagai titik *base* untuk diukur sebelum dan sesudah melakukan pengukuran di stasiun pengukuran (Muchtar, 2020).

$$D_c = \frac{g' a - g a}{t' a - t a} (t b - t a) \quad (12)$$

Dengan :

D_c : Koreksi *drift* dititik b

$g' a$: Harga gaya gravitasi pada saat $t a$

$g a$: Harga gaya gravitasi pada saat $t' a$

$t a$: Waktu pengamatan awal dititik a

$t' a$: Waktu pengamatan akhir dititik a

$t b$: Waktu pengamatan di titik terakhir

3.3.2 Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

pengaruh pasang surut menyebabkan perlu dilakukannya koreksi pasang surut. Tujuan dari koreksi ini adalah untuk menghilangkan tarikan gravitasi benda langit seperti matahari dan bulan (Jamaluddin dkk., 2019). koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan tarikan gravitasi matahari, bulan, dan bumi sehingga menyebabkan gaya traksi ke atas dan ke bawah bekerja pada permukaan planet. Akibatnya, kekuatan medan gravitasi di permukaan bumi akan berubah secara berulang. Posisi bulan dan matahari terhadap bumi juga mempengaruhi koreksi pasang surut (Ikhsan, 2018).

3.3.3 Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Massa yang terletak di antara titik amat dan sfereoid referensi diabaikan dalam koreksi udara bebas, sehingga menyebabkan perbedaan ketinggian h . Tujuan dari koreksi ini adalah untuk menghasilkan anomali medan gravitasi topografi. Karena adanya permukaan bumi yang berundulasi maka perlu dilakukan perhitungan koreksi udara bebas (Indriana, 2017). Koreksi ini diperlukan karena baik medan gravitasi teoritis maupun observasional harus berada dalam topografi untuk mendapatkan anomali medan gravitasi dalam topografi. Untuk mendapatkan nilai pembacaan gravitasi absolut pada tempat pengamatan maka dilakukan koreksi ini (Ikhsan, 2018). Secara matematis Koreksi udara bebas dinyatakan dengan Persamaan (13).

$$FAC = 0,3086 h \quad (13)$$

Dengan :

FAC : *Free Air Correction*

h : Ketinggian dari titik pengukuran ke permukaan laut.

Setelah dilakukan koreksi tersebut maka akan didapatkan anomali udara bebas di topografi yang dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$FAA = g_{obs} - g_{\phi} + 0,3085h \quad (14)$$

Dengan :

FAA : *Free Air Anomaly*

g_{obs} : Gayaberat Observasi

3.3.4 Koreksi Lintang (*Latitude Correction*)

Karena gaya gayaberat berbeda-beda tergantung pada garis lintang geografis akibat adanya gaya sentrifugal dan bentuk ellipsoid, maka koreksi lintang digunakan untuk melakukan koreksi gayaberat pada setiap garis lintang. Anomali medan gravitasi akan diperoleh dengan penyesuaian ini. Selisih antara medan gravitasi teoretis (gravitasi normal) dan medan gravitasi sebenarnya disebut medan anomali (Ikhsan, 2018).

Asosiasi Geodesi Internasional menciptakan rumus GRS67 pada tahun 1967 untuk memperhitungkan komponen bumi spheroid dan geoid dengan Persamaan (15)

$$G_{\theta} = 978,3185 (1 + 0,005278895 - 0,0000234622\varphi)gal \quad (15)$$

Dengan :

G_{θ} : Nilai percepatan gravitasi pada posisi titik amat

θ : Koordinat lintang

3.3.5 Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer merupakan penyesuaian ketinggian yang mempertimbangkan dampak massa batuan yang terletak antara titik ekstrim dan bidang datum geoid (Pratiwi dkk., 2022). Karena gaya tarik dari massa batuan di stasiun dan bidang datum, yang diasumsikan memiliki jari-jari tak terhingga dengan ketebalan h (meter) dan densitas ρ (gr/cc), maka koreksi Bouguer dihitung. Nilai koreksi Bouguer dapat dicari dengan persamaan. Koreksi Bouguer (BC) diperoleh melalui Persamaan (16).

$$BC = 2 \pi G \rho h \quad (16)$$

Dikarenakan $2 \pi G = 0,0419$ maka (Brotopuspito, 2001)

$$BC = 0,0419 \rho h \quad (17)$$

Dengan :

BC : Koreksi Bouguer (mGal)

ρ : Massa jenis (2,67 gr/cc)

h : Ketinggian stasiun pengamatan (m)

3.3.6 Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Ketika Metode gayaberat digunakan untuk mempelajari permukaan tanah, seringkali terdapat kendala karena topografi dan geografis karena bidang penelitian memiliki bentuk yang tidak beraturan seperti lembah, gunung, dan perbukitan. Hal ini berdampak pada hasil pengukuran nilai gravitasi. Terrain Correction merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai yang hampir dekat dengan susunan batuan (Sugita dkk., 2020).

Koreksi Bouguer tidak memperhitungkan lembah yang terbentuk oleh adanya massa di atas bidang Bouguer dan tidak adanya massa di bawah bidang Bouguer. Efek massa ini disebut sebagai efek medan. Koreksi medan digunakan untuk penyelesaian hal tersebut. Koreksi medan dapat ditulis yaitu sebagai berikut.

$$TC = G\rho\theta (r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + z^2} - \sqrt{r_2^2 + z^2}) \quad (18)$$

Dengan :

TC : Koreksi medan (mGal)

G : Konstanta gravity umum

ρ : Densitas batuan

θ : Sudut sektor (radian)

r_1 : Radius inner zone (m)

r_2 : Radius outer zone (m)

z : Modulus dari perbedaan elevasi antara stasiun dengan elevasi rata-rata segmen

3.3.7 Anomali Bouguer (*Bouguer Anomaly*)

Anomali Bouguer adalah anomali yang disebabkan oleh adanya variasi densitas secara lateral pada batuan kerak bumi yang telah berada pada bidang geoid (Sari dan Yullatifah, 2022). Perbedaan nilai gayaberat menunjukkan variasi kepadatan massa secara horizontal atau vertikal di suatu lokasi dan sekitarnya. Model gravitasi yang diamati direkonstruksi, dihitung, dan diinterpretasikan untuk menentukan arah dan kedalaman

anomali rapat massa. Seluruh gaya yang dialami suatu titik dari beberapa sumber adalah nilai gayaberat yang diukur. Sumber yang mampu mempengaruhi pengukuran antara lain Posisi bumi dalam pergerakan tata surya (*tide effect*), perbedaan lintang di permukaan bumi, perbedaan ketinggian permukaan, bumi (elevasi), efek topografi, perubahan rapat massa di suatu tempat (Sugita dkk., 2020).

Anomali Bouguer merupakan selisih nilai gay berat pengukuran yang telah direduksi kebidang referensi ukuran dengan nilai gaya berat teoritis pada bidang referensi hitungan tertentu pada sebuah titik. Anomali Bouguer dihitung dengan menggunakan Persamaan (19) (Telford dkk., 1990).

$$BA = g_{obs} + FAC - BC + TC - g_{\varphi} \quad (19)$$

Dengan :

BA : *Bouguer Anomaly*

g_{obs} : Nilai gravitasi observasi (mGal)

g_{φ} : Nilai gravitasi koreksi lintang (mGal)

FAC : *Free Air Correction* (Koreksi Udara Bebas)

BC : *Bouguer Correction* (Koreksi Bouguer)

TC : *Terrain Correction* (Koreksi Medan)

Anomali Bouguer yang diperoleh akan dijadikan sebagai dasar dalam pemodelan untuk interpretasi kuantitatif (Liana dkk., 2020).

3.4 Analisis Spektrum

Tujuan analisis spektrum adalah untuk menentukan seberapa dalam benda Anomali gayaberat berada di bawah permukaan. Metode analisis spektrum memanfaatkan Transformasi Fourier untuk mengubah suatu fungsi dalam jarak atau waktu menjadi suatu fungsi dalam bilangan gelombang atau frekuensi. Berdasarkan analisis spektrum, sisa anomali gravitasi diperoleh dengan menerapkan band pass filter ke seluruh anomali Bouguer (Hidayat dkk., 2020). Batas anomali regional dan residual di wilayah penelitian dipastikan dengan menggunakan analisis spektral. Penentuan lebar jendela perlu dilakukan Untuk proses pemfilteran, penentuan tersebut dilakukan melalui analisis spektral

(Setiadi dan Pratama, 2018). Menurut Blakely (1996) Spektrum diturunkan dari potensial yang teramati pada bidang QZV horizontal dengan Transformasi Fouriernya sebagai berikut (Blakely, 1996):

$$F(U) = \gamma \mu F\left(\frac{1}{r}\right) \text{ dan } F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|K|} \quad (20)$$

Dimana

$$z_1 > z_0, |k| \neq 0$$

U : Potensial gayabarat

μ : Anomali rapat massa

γ : Konstanta gayabarat

r : Jarak

Gerak vertikal gravitasi akibat dari titik massa merupakan turunan *derivative* potensial gayabaratnya :

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

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

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

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan adalah

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

Transformasi Fourier dari Anomali Gravitasi menghasilkan persamaan (24) jika distribusi kepadatan massa acak dan tidak ada hubungan antara nilai gravitasi dimana $m=1$:

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

Dengan:

A : Amplitudo

C : Konstanta

Untuk mendapatkan hubungan antara amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan kedalaman ($z_0 - z_1$) dilakukan dengan melogaritmakan persamaan $A = C e^{|k|(z_0-z_1)}$, sehingga bilangan gelombang k berbanding lurus dengan *spectral amplitude*.

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

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

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus:

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

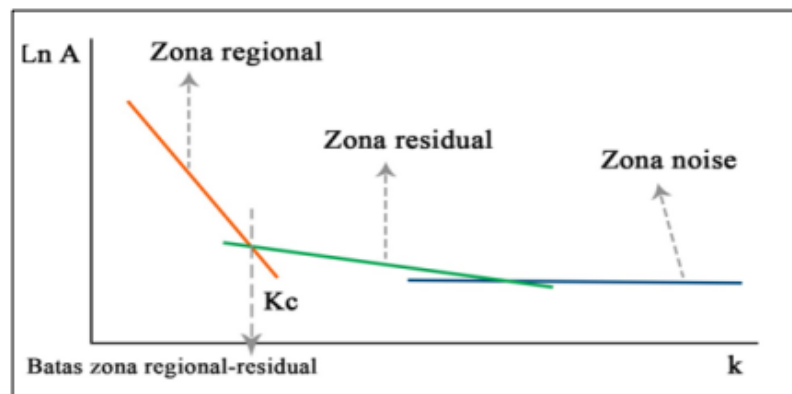
Dimana $\ln A$ sebagai sumbu y , $|k|$ sebagai sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ sebagai kemiringan garis (*gradien*). Oleh karena itu, kemiringan garis adalah kedalaman bidang dalam dan bidang dangkal $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan dengan bilangan gelombang yang bernilai $\frac{2\pi}{\lambda}$ dan satuannya *cycle/meter*, dengan λ adalah panjang gelombang. Hubungan λ dengan Δx diperoleh dari persamaan:

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

Nilai λ sama dengan Δx , ada faktor lain pada Δx yang disebut konstanta pengali, sehingga $\lambda = N \cdot \Delta k$, N merupakan lebar jendela, dengan rumus sebagai berikut:

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

Dimana Δx adalah domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan k_c adalah bilangan gelombang *cutoff*. Semakin besar nilai k , maka nilai frekuensi akan tinggi. Hubungan bilangan gelombang k dengan frekuensi f adalah $k = 2\pi f$, Sumber anomali regional menghasilkan frekuensi yang sangat rendah, sedangkan sumber anomali sisa menghasilkan frekuensi yang tinggi.



Gambar 9. Kurva $\ln A$ Terhadap k (Blakely, 1996)

Penelitian dengan menggunakan metode gaya berat dan estimasi kedalaman dengan menggunakan analisis spektrum ini terbukti dapat menentukan ketebalan sedimen dengan cukup baik (Hidayat dkk., 2020).

3.5 Filter Moving Average

Filter moving average sangat umum digunakan untuk *filter* pada DSP (*Digital Signal Processing*), secara umum *filter moving average* sangat mudah digunakan untuk dan mudah untuk dimengerti. Pada pengolahan anomali Bouguer *output* dari *filter* ini adalah anomali regionalnya. Secara tidak langsung *filter moving average* dioperasikan dengan membagi dengan sebuah batas angka yang berasal dari sebuah input sinyal untuk menghasilkan masing-masing batas pada setiap sinyal keluaran yang menghasilkan peta anomali regional dan residual.

Filter moving average adalah metode penapisan *low pass filter*, dimana metode ini menghilangkan frekuensi tinggi dan meloloskan frekuensi rendah. *Output* yang didapatkan disebut dengan anomali regional. Sedangkan anomali residual diperoleh dengan cara melakukan proses pengurangan pada anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Pada prinsipnya nilai lebar jendela yang digunakan semakin besar maka nilai anomali residual yang diperoleh akan semakin mendekati nilai anomali Bouguer (Setiadi dkk., 2010).

Pemisahan anomali residual dan regional bertujuan untuk mempermudah dalam melakukan interpretasi dengan melakukan *filter moving average*, yaitu dengan merata-ratakan anomalnya. Hasil dari pertanaan nilai tersebut adalah anaomali regional sedangkan untuk anomali residualnya didapatkan dengancara mengurangkan data hasil pengukuran dengan anomali regional yang telah didapatkan sebelumnya.

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

Dengan :

i : Nomer stasiun

N : Lebar jendela

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

Δg_{reg} : Besarnya anomali regional

Penerapan *filter moving average* pada peta dua dimensi, harga pada suatu titik dapat dihitung dengan merata-ratakan semua nilai di dalam sebuah kotak persegi dengan titik pusat adalah titik yang akan dihitung harganya. Nilai anomali residual Δg_{res} dihitung dengan menggunakan persamaan :

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

Dengan :

Δg_{res} : Besar anomali residual

Δg : Besar anomali bouguer

Δg_{reg} : Besar anomali regional

Nilai anomali regional pada sebuah titik penelitian, sangat tergantung pada nilai anomali yang terdapat di sekitar titik penelitian. Sehingga nilai anomali regional pada sebuah titik merupakan hasil rata-rata dari nilai anomali-anomali di sekitar daerah penelitian (Purnomo dkk, 2013).

3.6 First Horizontal Derivative (FHD)

Istilah "gradien horizontal", atau First Horizontal Derivative (FHD), mengacu pada perubahan nilai gravitasi benda-benda anomali dalam arah tertentu. Dengan demikian, batas horizontal kontras densitas batuan dapat ditentukan dengan menggunakan pendekatan gradien horizontal (Rosid, 2020). Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan yang dianggap dangkal atau dalam. Dari persamaan berikut dapat diperoleh 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.

FHD dilakukan dengan menggunakan komponen vertikal medan gravitasi pada masing-masing sumbu x dan y kuadrat total dari turunan komponen tersebut diakarkan untuk menghasilkan turunan horizontal pertama (Telford dkk., 1990).

$$\frac{\delta g}{\delta x} = (x_n, y_n) = \sqrt{\left(\frac{\delta g}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta g}{\delta y}\right)^2} \quad (35)$$

Untuk melihat batasan kontras densitas horizontal, dapat menggunakan analisis FHD. Dimana keberadaan sesar ditentukan oleh kontras FHD pada nilai maksimum (Pramadhana dkk., 2024).

3.7 Second Vertical Derivative (SVD)

Dari data anomali gayaberat kemudian dilakukan proses lanjutan dengan SVD (turunan kedua vertikal) dimana nilainya dapat merepresentasikan bentuk sesar naik, sesar turun atau sesar normal, serta bentuk antiklin dan sinklin dalam mempertegas bentuk punggung atau cekungannya, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis yang berkorelasi dengan migrasi fluida (Supriyana dkk., 2021). Metode SVD ini sangat baik dalam mendelineasi patahan (Handyarso dan Padmawidjaja, 2017).

Secara teoritis metode ini diturunkan dari persamaan Laplace untuk anomali gayaberat di permukaan yang persamaannya dapat dituliskan melalui persamaan berikut.

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \quad (36)$$

Dalam domain x, y dan z menjadi :

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta z^2} = 0 \quad (37)$$

sehingga *second vertical derivative*-nya diberikan oleh :

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

Karena nilai y bersifat konstan maka untuk data 1-D (data penampang) persamaannya sebagai berikut:

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta y z^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta x^2} \quad (39)$$

Nilai absolut dari SVD_{min} and SVD_{max} dapat digunakan untuk menentukan tipe patahan sebuah sesar, yaitu sesar normal atau sesar naik. Pendekatan ini tidak

cocok untuk mengidentifikasi sesar geser (sesar transformasi) karena tidak terjadi kontras gravitasi pada arah lateral. Pendekatan ini berguna untuk mengidentifikasi dengan baik keberadaan struktur sesar di suatu wilayah tertentu (Banu, 2013). Berikut merupakan penentuan jenis patahan menurut Sarkowi (2010).

- Nilai $SVD = 0$ menunjukkan bahwa di daerah tersebut merupakan daerah patahan
- Nilai $|SVD_1| > |SVD_2|$ mengindikasikan bahwa jenis sesar di daerah tersebut adalah sesar turun
- Nilai $|SVD_1| < |SVD_2|$ mengindikasikan bahwa jenis sesar di daerah tersebut adalah sesar naik
- Nilai $|SVD_1| \cong |SVD_2|$ mengindikasikan bahwa jenis sesar di daerah tersebut adalah sesar tegak (Sarkowi, 2010).

Terdapat beberapa operator *filter* SVD yang dihitung oleh Henderson dan Zeits (1949), Elkins (1951), dan Rosenbach (1952). Dalam penelitian ini digunakan filter SVD Elkins.

Tabel 2. Operator *filter* 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

Tabel 3. Operator filter SVD menurut Elkins (1951)

0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0334	+1.0668	-0.0334	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000

Tabel 4. Operator *filter* SVD menurut Rosenbach (1953)

0.0000	+0.0416	0.0000	+0.0416	0.0000
+0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	+0.0416
0.0000	-0.7500	+4.0000	-0.7500	0.0000
+0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	+0.0416
0.0000	+0.0416	0.0000	+0.0416	0.0000

3.8 Pemodelan Inversi

Pemodelan Inversi adalah suatu metode interpretasi dimana mekanisme model untuk memperoleh kecocokan data perhitungan dan data pengamatan dilakukan secara otomatis. Pada pemodelan inversi, satu atau lebih parameter model dapat dihitung secara otomatis dari data pengamatan sehingga menghasilkan respon yang sesuai. Pemodelan inversi sering disebut data *fitting* atau pencocokan data karena tahapannya melakukan pencarian parameter model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan (Grandis, 2009).

Kesesuaian antara respons model dengan data pengamatan umumnya dinyatakan oleh suatu fungsi obyektif yang harus diminimumkan. Proses pencarian minimum fungsi obyektif tersebut berasosiasi dengan proses pencarian model optimum. Karakteristik minimum suatu fungsi tersebut digunakan untuk pencarian parameter model. Secara lebih umum model dimodifikasi sedemikian hingga respons model menjadi *fit* dengan data (Sarkowi, 2014).

3.9 Pola Arah Migrasi

Akumulasi hidrokarbon pada petroleum sistem bergantung pada unsur unsur utama yaitu reservoir, perangkap, *seal*, batuan induk, kematangan dan pengisian (Suyono dkk., 2005). Mekanisme migrasi terjadi karena sifat alamiah fluida yang berpindah dari tekanan tinggi menuju tempat yang bertekanan lebih rendah. Selain itu, migrasi juga dapat diakibatkan oleh adanya kapilaritas lapisan batuan *permeable*. Akumulasi dari hidrokarbon bermigrasi dari batuan reservoir yang satu ke batuan reservoir yang lain dan akan terperangkap karena adanya batuan *impermeable* yang terletak di atas lapisan batuan reservoir atau

disebut sebagai *cap rock* dan permukaan air pada lapisan bawahnya (Shanny, 2016). Sifat aliran hidrokarbon dari anomali rendah yang bergerak pada anomali tinggi diakibatkan oleh adanya tekanan yang tinggi pada anomali.

IV. METODE PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun kegiatan Penelitian dilakukan di:

Tempat : Laboratorium Geofisika Geothermal, Teknik Geofisika,
Universitas Lampung

Alamat : Gedung Teknik Geofisika – Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro
No. 1, Gedong meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar
Lampung, Lampung35142

Tanggal : 1 Desember 2023 – 31 Mei 2024

4.2 Alat Dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 sebagai berikut

Tabel 5. Data Penelitian

No	Data	Keterangan
1	Data Gaya Berat	Data tersebut berupa data Anomali Bouguer Lengkap (ABL) hasil digitasi Pusat Survei Geologi (PSG) daerah Jawa Timur Bagian Selatan.
2	Peta Lembar Geologi	Lembar geologi Jawa Timur

Tabel 6. *Software Yang Digunakan Dalam Penelitian*

No	Software	Fungsi
1.	ArcGIS	Digunakan dalam pembuatan peta
2.	Numeri	Digunakan untuk melakukan analisis spektrum
3.	Surfer 13	Digunakan dalam pengolahan data gayabarat, yaitu untuk membuat peta kontur, <i>filtering</i> , dan peta SVD
4.	Grav3D	Digunakan untuk membuat model 3D distribusi densitas bawah permukaan
5.	Microsoft Excel	Digunakan untuk menghitung nilai Ln A dan K dari hasil analisis spektrum pada numerik

4.3 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan pengolahan data, prosedur pengolahan terbagi menjadi 4 bagian yaitu:

4.3.1 Anomali Bouguer Lengkap

Anomali Bouguer Lengkap biasa dikenal *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) adalah anomali percepatan gravitasi yang dipengaruhi oleh rapat massa di bawah permukaan bumi yang telah terkoreksi. Langkah pertama dalam pengolahan data yaitu membuat peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) dengan menggunakan Software Surfer 13.

4.3.2 Analisis Spektrum

Setelah mendapatkan peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) selanjutnya yaitu melakukan analisis spektrum untuk mengestimasi nilai kedalaman suatu anomali dan untuk mengetahui lebar jendela optimal yang akan digunakan untuk pemisahan anomali regional dan residual. Analisis spektral telah dilakukan dengan Transformasi Fourier dari lintasan yang telah ditentukan. Dalam melakukan analisis spektrum dibuat 5 sayatan lintasan pada peta anomali Bouguer lengkap yang di proses menggunakan *software* Surfer 13, sehingga di dapatkan data jarak dan anomali pada masing-masing lintasan.

Data yang diperoleh kemudian dilakukan proses FFT (*Fast Fourier Transform*) menggunakan Software *Numeri*. Hasil yang didapatkan dari proses FFT adalah nilai *real* dan *imaginer* dari masing-masing lintasan yang kemudian di olah menggunakan Microsoft Excel untuk memperoleh nilai A, Ln A frekuensi dan nilai bilangan gelombang K. Nilai Ln A dihasilkan dengan cara melogaritmakan nilai *amplitude* (A). Setelah semua data di dapatkan *plot* grafik Ln A (sumbu y) dan K (sumbu x). Dari grafik tersebut diperoleh dua gradien yaitu kemiringan garis grafik Ln A terhadap K dan kedalaman bidang batas residual dan regional. Gradien yang memiliki nilai yang besar menggambarkan bidang diskontinuitas anomali regional sedangkan untuk gradien yang memiliki nilai yang kecil menggambarkan bidang diskontinuitas dari anomali residual. Perpotongan dari kedua bidang tersebut merupakan bilangan gelombang *cut off* sebagai dasar dalam menentukan lebar jendela. Nilai rata-rata kedalaman regional dan residual digunakan dalam melakukan pemodelan struktur bawah permukaan.

4.3.3 Pemisahan Anomali Residual dan Regional

Anomali Bouguer dalam metode gayaberat disebabkan oleh adanya perbedaan densitas batuan. Efek dari batuan daerah yang dangkal adalah anomali residual sedangkan yang berasal dari batuan yang dalam adalah anomali regional. Dalam proses pemisahan anomali residual dan regional digunakan Software Surfer 13 dengan menggunakan *filter moving average*. *Filter moving average* merupakan peretaraan data anomali gaya berat yang menghasilkan anomali regional. Sedangkan untuk anomali residual dihasilkan dengan cara mengurangi anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional yang telah di hasilkan.

4.3.4 Pola Arah Migrasi dan Identifikasi Pola Sub-Cekungan

Penentuan pola arah migrasi dilakukan menggunakan analisis vektor pada peta anomali residual. Analisis tersebut dilakukan untuk mendapatkan pola arah migrasi dari fluida, yang dilakukan menggunakan software Surfer 13. Pola sub-cekungan didapat di

identifikasi melalui peta residual dengan melihat adanya anomali rendah. Hasil dari keduanya kemudian dilakukan pencocokan atau *overlay*.

4.3.5 Analisis Derivatif

Setelah di peroleh anomali regional dan residual dari proses *moving average* dilakukan proses analisis *derivative* untuk melakukan proses analisis sebaran patahan daerah penelitian. Analisis *derivative* yang digunakan adalah turunan kedua anomali Residual atau *Second Vertical Derivative* (SVD). Dimana hasil dari analisis ini menghasilkan deliniasi cekungan.

4.3.6 Pemodelan bawah permukaan

Pada penelitian ini digunakan metode *invers modeling* (Pemodelan kebelakang) 3D dengan menggunakan *software* Grav 3D. Input pada tahapan *invers modeling* yaitu meng *input mesh* dan data anomali gaya berat daerah penelitian. Hasil dari pemodelan tersebut nantinya akan digunakan dalam analisis sub cekungan hidrokarbon

4.4 Prosedur Penelitian

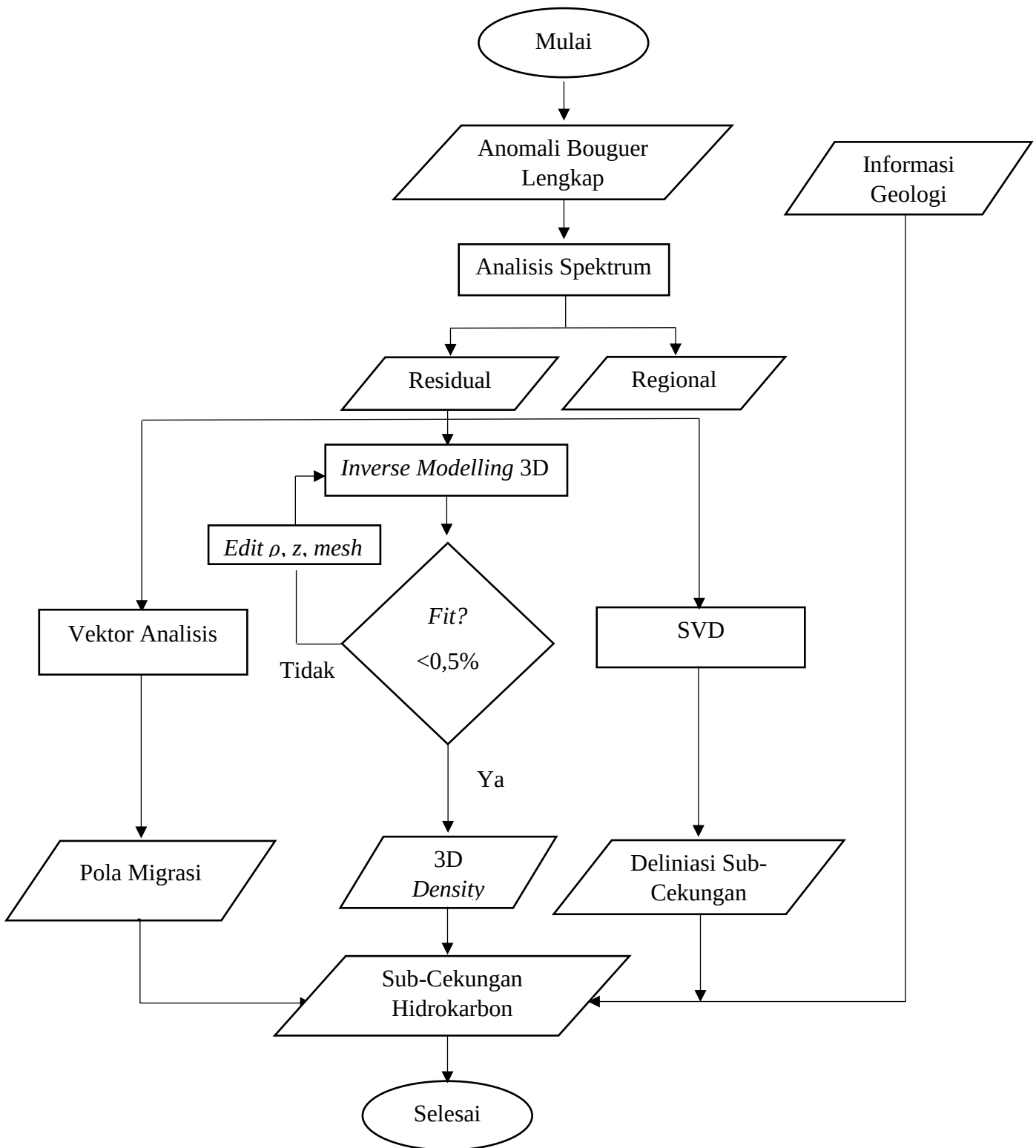
Adapun jadwal kegiatan pada penelitian Tugas Akhir ini terdapat pada **Tabel 7** sebagai berikut.

Tabel 7. Jadwal Kegiatan Penelitian

Kegiatan	Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Studi Literatur																										
Pengolahan Data																										
Penyusunan Proposal Usul dan Bimbingan Usul																										
Seminar Usul																										
Bimbingan Hasil																										
Seminar Hasil																										
Revisi dan Persiapan Sidang Komprehensif																										
Sidang Komprehensif																										

4.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir yang digunakan dalam penelitian terdapat pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan interpretasi kualitatif analisis vektor di dapatkan pola tinggian sebagai jalur migrasi hidrokarbon tersebar di bagian tengah dan selatan daerah penelitian.
2. Terdapat 3 sub cekungan besar yaitu sub-cekungan A, sub-cekungan B, dan sub-cekungan C. Sub-cekungan terbesar terdapat pada sub-cekungan A dan sub-cekungan B yang mencakup wilayah Madiun, Nganjuk, Kediri, dan Ponorogo.
3. Berdasarkan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) terdapat 20 struktur patahan yang terindikasi yaitu 9 sesar naik, 7 sesar turun, dan 3 sesar mendatar.
4. Berdasarkan pemodelan inversi 3D menunjukkan bahwa cekungan berada pada kedalaman -17400 m dengan nilai densitas 2.2 gr/cc hingga 2.4 gr/cc.
5. Hasil korelasi analisis SVD dengan hasil inversi 3D menunjukkan bahwa terdapat 13 pola sub-cekungan yang berkorelasi dengan struktur sesar hasil analisis SVD.

6.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini yaitu perlu adanya penelitian tambahan pada daerah tersebut dengan data tambahan seperti data seismik atau data sumur yang dapat dibandingkan dengan hasil analisis data gayabarat untuk manambah keakuratan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Azhar, D. B. (2022). Analisis Cekungan Dan Struktur Geologi Waropen Menggunakan Analisis Derivatif Dan Pemodelan 3d Gayaberat Sebagai Pre-Eliminaries Hydrocarbon Exploration Pada Area Lepas Pantai Waropen, PapuA. *Skripsi*. Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
- Astjario, P. (2007). Indikasi Struktur Sesar Dan Lipatan Bawah Permukaan Dasar Laut Perairan Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 17(2), 105-115.
- Bachri, S. (2013). Peran Sistem Tunjaman, Sesar Mendatar Transform dan Pemekaran terhadap sebaran cekungan sedimen di Indonesia. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 14(4), 19-27.
- Banu, B. (2013). Pemodelan 3d Gayaberat dan Analisis Struktur Detail untuk Pengembangan Lapangan Panasbumi Kamojang. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 1(01), 34-42.
- Blakely, R.J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Brotopuspito, K. S. (2001). *Teori dan Aplikasi Metode Gravitasi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Bosy, R. S. (2016). Analisis Gravitasi untuk Menentukan Struktur Geologi dan Analisis *Petroleum System* Cekungan Barito, Daerah Tanjung Area, Kalimantan Selatan. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Kebumian Dan Energi Universitas Trisakti Jakarta.
- Dewi, I. K., Puspitasari, F., Nasri, M. Z., dan Martha, A. (2020). 3D data gravity modeling for identification of the formation structure of the hydrocarbon basin in the Bajubang region, Jambi province. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 6(3), 216-227.
- Elkins, T. A. (1951). The second derivative method of gravity interpretation. *Geophysics*, 16(1), 29-50.

- Erviantari, D. (2014). Studi identifikasi struktur bawah permukaan dan keberadaan hidrokarbon berdasarkan data anomali gaya berat pada daerah cekungan Kalimantan Tengah. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 2(01), 13-20.
- Firdaus, M. W., Setyawan, A., dan Yusuf, M. (2016). Identifikasi Letak dan Jenis Sesar Berdasarkan Metode Gayabarat Second Vertical Gradient Studi Kasus Sesar Lembang, Kota Bandung, Jawa Barat. *Youngster Physics Journal*, 5(1), 21-26.
- Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia. Jakarta .
- Handyarso, A., dan Padmawidjaja, T. (2017). Struktur Geologi Bawah Permukaan Cekungan Bintuni Berdasarkan Data Gaya Berat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 18(2), 53-65.
- Hasan, M. A., dan Nurwidyanto, M. I. (2008). Estimasi Penyebaran Sedimen Cekungan Jawa Timur Dengan Metode Gravity. *Berkala Fisika*, 11(4), 137-145.
- Henderson, R. G., dan Zietz, I. (1949). The computation of second vertical derivatives of geomagnetic fields. *Geophysics*, 14(4), 508-516.
- Hidayat, H., Subagio, S., dan Praromadani, Z. S. A. (2020). Interpretasi struktur geologi bawah permukaan berdasarkan updating data gaya berat cekungan Banyumas, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 21(3), 111-118.
- Hidayat, S., Lubis, L. H., dan Parera, A. F. (2023). Analisis Potensi Geothermal Gunung Sibualbuali Menggunakan Metode Gravity. *GRAVITASI: Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 6(02), 14-19.
- Husein, S. dan Srijono (2007). Tinjauan Geomorfologi Pegunungan Selatan DIY/Jawa Tengah: telaah peran faktor endogenik dan eksogenik dalam proses pembentukan pegunungan. *Prosiding Seminar Potensi Geologi Pegunungan Selatan dalam Pengembangan Wilayah*, Pusat Survei Geologi, Yogyakarta.
- Ikhsan, M. (2018). Pemantauan Perubahan Kedalaman Muka Air Tanah Dengan Metode Micro Gravity Vertical Gradient Antar Waktu Di Kawasan Simpang Lima Semarang. *Skripsi*. Prodi Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Indriana, R. D. (2017). Identifikasi sesar daerah rawan longsor Jabungan Semarang menggunakan data anomali udara bebas (Riset Pendahuluan). *Youngster Physics Journal*, 6(3), 285-289.
- Jamaluddin, J., Maria, M., Ryka, H., dan Afifah, R. S. (2019). Pemodelan Bawah Permukaan Bantar Karet, Jawa Barat Menggunakan Metode Gravitasi. *Jurnal Geoelebes*, 3(2), 59-65.

- Maimuna, A. K., Pramesthi, E. A., Segoro, Y. A., Margiono, R., Azzahra, K. S., Akhadi, M., dan Siregar, D. V. (2021). Analisis Anomali Gaya Berat Menggunakan Metode SVD dan Pemodelan 3D (Studi Kasus Gempa di Kepulauan Togean, Kabupaten Tojo Una-Una, Sulawesi Tengah). *Jurnal Geofisika*, 19(1), 17-23.
- Muchtar, F.S. (2020). Pemetaan Struktur Basement Daerah West Timor Menggunakan Metode Energy Spectral Analysis Multi Window Test Data Gravitasi. *Skripsi*. Prodi Fisika Universitas Islam Negeri Hidayatullah Jakarta.
- Ningsih, R. (2023). Deliniasi Sub-Cekungan Dan Interpretasi Pola Struktur Bawah Permukaan Cekungan Jawa Timur Bagian Utara (*Offshore* Utara Madura) Berdasarkan Analisis *Spectral Decomposition*, Serta Pemodelan 2d Dan 3d Data Gaya Berat. *Skripsi*. Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
- Novian, M.I., P.P. Utama, dan S. Husein (2013). Penentuan Batuan Sumber Gununglumpur di Sekitar Purwodadi Berdasarkan Kandungan Fosil Foraminifera. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-6*, Jurusan Teknik Geologi FT UGM, Yogyakarta.
- Novian, M. I., Husain, S., dan Saputra, N.R. (2014). *Buku Panduan Ekskusi Geologi Regional*. Yogyakarta. Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Padmawidjaja, T. (2019). Konfigurasi Cekungan Tomori Berdasarkan Data Gayaberat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 20(1), 27-36.
- Panjaitan, S., dan Subagio, S. (2016). Pola Anomali Gayaberat Daerah Taliabumangole Dan Laut Sekitarnya Terkait Dengan Prospek Minyak Bumi Dan Gas. *Jurnal Geologi Kelautan*, 12(2), 65-78.
- Pramadhana, D. A., Putra, B. H., dan Syirojudin, M. (2024). Studi Pemetaan Sesar Rembang-Madura-Kangean-Sakala (Rmks) Dengan Data Gaya Berat Menggunakan Analisis Turunan. *Jurnal Geosaintek*, 10(1), 51-62.
- Pratiwi, W., Martha, A. A., dan Setyonegoro, W. (2022). Identifikasi Letak Sesar Palu Koro Menggunakan Metode Gravitasi Mikro. *Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, 2(6), 20-24.
- Purnomo, J., Koesuma, S., dan Yuniarto, M. (2013). Pemisahan anomali regional-residual pada metode gravitasi menggunakan metode moving average, polynomial dan inversion. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 3(1), 10.
- Reza, M. K., Kahar, S., dan Sabri, L. M. (2013). Pembuatan Peta Model Undulasi Lokal (Study Kasus: Kecamatan Rao, Kabupaten Pasaman-Sumatera Barat). *Jurnal Geodesi UNDIP*, 2(3).

- Rosenbach, O. (1953). A Contribution to the Computation of the " Second Derivative" from Gravity Data. *Geophysics*, 18(4), 894-907.
- Rosid, M. S. (2020). Identifikasi Potensi Jebakan Hidrokarbon di Daerah "X" Sedimen Pra-Tersier Cekungan Sumatra Utara Menggunakan Data Gravitasi dan Seismik. *Jurnal Fisika*, 10(1), 8-21.
- Sari, A. P., dan Yullatifah, A. (2022). Estimasi Ketebalan Sedimen Di Pulau Jawa Bagian Barat Menggunakan Analisis Power Spectrum Data Anomali Gravitasi. *Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, 2(4), 1-8.
- Sarkowi, M. (2014). *Eksplorasi Gaya Berat*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- 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. (2010). Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data Svd Anomali Bouguer. *J. Sains MIPA*, 16(2), 111-118.
- Satyana, A. H. dan Purwaningsih, M. E. M. (2003). Geochemistry Of The East Java Basin: New Observations On Oil Grouping, Genetic Gas Types And Trends Of Hydrocarbon Habitats, *Indonesian Petroleum Association, 29th Annual Convention Proceedings, 2003*.
- Satyana, A. H. (2005). Structural Indentation of Central Java : a Regional Wrench Segmentation. *Proceedings Joint Convention Surabaya 2005- the 30th HAGI, the 34th IAGI, and the 14th PERHAPI Annual Conference and Exhibition*. p. 204.
- Serway, R. A., dan Jewett, J. J. (2009). *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Salemba Teknik.
- Setiadi, I., Setyanta, B., dan Widijono, B. S. (2010). Delineasi cekungan sedimen sumatra selatan berdasarkan analisis data gaya berat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 20(2), 93-106.
- Setiadi, I., & Pratama, A. W. (2018). Pola Struktur dan Konfigurasi Geologi Bawah Permukaan Cekungan Jawa Barat Utara berdasarkan Analisis Gayaberat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 19(2), 59-72.
- Sihombing, J. (2018). Analisis Bawah Permukaan Sistem Panas Bumi Lapangan "X" Berdasarkan Pemodelan Inversi 3D Data Gaya Berat. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Sota, I. (2011). Pendugaan Struktur Patahan Dengan Metode Gaya Berat. *Positron*, 1(1).

- Sucipto, D. A. (2014). Pengukuran Densitas Batuan Organik Berskala Mili-Liter (ML) dengan Metode Levitasi Megneto-Archimedes Menggunakan Sumber Magnet Tunggal. *Skripsi*. Universitas Brawijaya.
- Sumotarto, U. (2016). *Geologi Minyak Dan Gas Bumi*. Yogyakarta. Penerbit Ombak.
- Sugita, M. I., Janah, A. F., dan Rahmawati, D. (2020). Analisis Data Gaya Berat Di daerah Bendan Duwur Semarang. *Journal of Research and Technology*, 6(1), 81-90.
- Supriyana, E., Padmawidjaja, T., dan Akbar, R. (2021). Deformasi dan Kedalaman Batuan Sedimen Daerah Banjarnegara Berdasarkan Analisis Gayaberat. *Lembaran publikasi minyak dan gas bumi*, 55(3), 129-140.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*. Cambridge university press.
- Widjaja, P. H., Noeradi, D., Permadi, A. K., Usman, E., dan Widjaja, A. (2016). Potensi Migas Berdasarkan Integrasi Data Sumur dan Penampang Seismik di Wilayah Offshore Cekungan Tarakan Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*, 10(3), 117-131.
- Zakariya, H., Margiono, R., Novitri, A., dan Pevriadi, A. (2022). Identifikasi Anomali Gravitasi Di Wilayah Sulawesi Tenggara Berdasarkan Data Gravitasi GGMplus. *PROGRESS: Jurnal Geofisika*, 1(1), 63-68.