

**ANALISIS CEKUNGAN DAN STRUKTUR GEOLOGI WAROPEN
MENGUNAKAN ANALISIS DERIVATIF DAN PEMODELAN 3D
GAYABERAT SEBAGAI *PRE-ELIMINARIES HYDROCARBON*
EXPLORATION PADA AREA LEPAS PANTAI WAROPEN, PAPUA**

**Oleh
DZULFIQAR BACO AZHAR**

Skripsi

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

**Pada
Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

**ANALISIS CEKUNGAN DAN STRUKTUR GEOLOGI WAROPEN
MENGUNAKAN ANALISIS DERIVATIF DAN PEMODELAN 3D
GAYABERAT SEBAGAI *PRE-ELIMINARIES HYDROCARBON*
EXPLORATION PADA AREA LEPAS PANTAI WAROPEN, PAPUA
(Skripsi)**

Oleh

DZULFIQAR BACO AZHAR

NPM 1715051046



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2022

ABSTRAK

ANALISIS CEKUNGAN DAN STRUKTUR GEOLOGI WAROPEN MENGUNAKAN ANALISIS DERIVATIF DAN PEMODELAN 3D GAYABERAT SEBAGAI *PRE-ELIMINARIES HYDROCARBON* EXPLORATION PADA AREA LEPAS PANTAI WAROPEN, PAPUA

Oleh

DZULFIQAR BACO AZHAR

Papua merupakan salah satu pulau terbesar di Indonesia yang memiliki kondisi geologis yang sangat kompleks, karena daerah ini terbentuk dari interaksi dua lempeng yaitu Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik yang menghasilkan formasi yang khas. Cekungan Waropen, merupakan cekungan yang terbentuk akibat proses penciptaan intra-oceanic island arc yang berakhir pada Lempeng Indo-Australia Utara pada zaman Paleosen. Cekungan digambarkan sebagai cekungan besar tunggal dengan banyak depocenter atau sub-cekungan yang saling berhubungan dan terpisah dengan isi yang serupa dan korelatif. Metode gayaberat adalah metode geofisika non-destruktif yang telah digunakan secara luas untuk mengukur percepatan gravitasi bumi yang dipengaruhi oleh perbedaan densitas batuan di bawah permukaan. Metode ini sangat berguna dalam eksplorasi hidrokarbon. Analisis Derivatif merupakan salah satu metode pengolahan data untuk memudahkan dalam penentuan struktur dan batas kontak lapisan. Pemodelan 3D merupakan pemodelan yang dapat memberikan gambaran bawah permukaan lebih detail. Struktur geologi yang terbentuk menunjukkan adanya kemungkinan bahwa mayoritas patahan daerah penelitian merupakan patahan minor dari Waipoga Fault dan Komplemen Yapen Fault Zone. Selain itu pemodelan dan analisis menunjukkan adanya jebakan berupa *fault trap*, selain itu dapat diprediksi bahwa *seal rock* cekungan sedimen yang ada berupa *marine shale* dimana merupakan bagian formasi Membramo periode Pliosen hingga Pleistosen, sedangkan batuan reservoir berupa *sand* yang merupakan bagian Formasi Membramo atau Makats periode Miosen Tengah hingga Miosen Akhir pada kedalaman 1500 m.

Kata kunci: Cekungan, Marine, Gayaberat, Hidrokarbon, Exploration, Waropen

ABSTRACT

ANALYSIS OF WAROPEN BASIN AND GEOLOGICAL STRUCTURE USING DERIVATIVE ANALYSIS AND 3D GRAVITY MODELING AS PRE- ELIMINARIES HYDROCARBON EXPLORATION IN OFFSHORE AREA OF WAROPEN, PAPUA

By

DZULFIQAR BACO AZHAR

Papua is one of the largest islands in Indonesia which has very complex geological conditions. Because this area was formed from the interaction of two plates, the Australian Plate and the Pacific Plate which produces a distinctive formation. The Waropen Basin is a basin that was formed as a result of the process of creating an intra-oceanic island arc which ended on the North Indo-Australian Plate during the Paleocene. Basins are described as a single large basin with many interconnected and discrete depocenters or sub-basins with similar and correlative contents. The Gravity Method is a non-destructive geophysical method that has been widely used to measure the acceleration due to gravity which is affected by differences in the density of the rock below the surface. This method is very useful in exploration of hydrocarbons. Derivative analysis is a data processing method to facilitate the determination of structure and contact boundaries between formation layers. 3D modeling is a process that can provide a more detailed picture of the subsurface. The geological structure formed indicates the possibility that the majority of the faults in the study area are minor faults from the Waipoga Fault and the Complementary Yapen Fault Zone. In addition, modeling and analysis processes show that there is a trap in the form of a fault trap. It can be pre-determined that the seal rock of the sedimentary basin is in the form of marine shale which is part of the Membramo formation from the Pliocene to Pleistocene periods, while the reservoir rock is in the form of sand which is part of the Membramo or Makats Formation from the Miocene period at 1500 m depth.

Keywords: Basin, Marine, Gravity, Hydrocarbon, Exploration, Waropen

**Judul Skripsi : ANALISIS CEKUNGAN DAN STRUKTUR
GEOLOGI WAROPEN MENGGUNAKAN
ANALISIS DERIVATIF DAN PEMODELAN 3D
GAYABERAT SEBAGAI PRE-ELIMINARIES
HYDROCARBON EXPLORATION PADA AREA
LEPAS PANTAI WAROPEN, PAPUA**

Nama Mahasiswa : Dzulfiqar Baco Azhar

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715051046

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.

NIP 19730716 200012 1 002

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

NIP 19720928 199903 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Karyanto, S.Si., M.T.

NIP 19691230 199802 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Ir. Syamsurijal Rasineng, S.Si., M.Si.

Sekretaris : Dr. Ir. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.

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

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. H. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 November 2022

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 22 November 2022



10000
GALURERBU RUPAH
METERAN
TEMPEL
ER43CAKX471288733

Dzulfihar Baco Azhar

1715051046

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandung pada tanggal 21 Maret 1999, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, putra dari Bapak Hermansjah Idris dan Ibu Nurjanah. Jenjang awal pendidikan dimulai dari Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) Ade Irma Suryani Nasution di Kota Bandung diselesaikan tahun 2005, Pendidikan Sekolah Dasar di SDN Pancasila di Bandung Barat diselesaikan tahun 2011, Pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Lembang diselesaikan tahun 2014, dan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Lembang diselesaikan pada tahun 2017, hingga akhirnya penulis melanjutkan pendidikan kejenjang yang lebih tinggi yaitu dengan menempuh Perguruan Tinggi Negeri di Universitas Lampung di Jurusan Teknik Geofisika pada tahun 2017 melalui jalur SBMPTN.

Selama masa kuliah, penulis dapat dikatakan cukup aktif dalam kegiatan organisasi kampus. Pada tahun 2018-2020, penulis menjadi Anggota *American Association of Petroleum Geologist* SC UNILA dalam Departemen Educations and Creatives. Pada tahun 2018-2019 menjadi anggota di bidang Kaderisasi HIMA TG BHUWANA, lalu pada tahun 2019-2021 menjadi Ketua Bidang Kaderisasi HIMA TG BHUWANA. Pada semester tujuh, penulis melakukan Kerja Praktik di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung dengan judul laporan **“PENGARUH *FULL LEVEL LEVELLING* PADA ANOMALI MAGNETIK LAUT”** Pada akhir masa studi, penulis melakukan penelitian untuk memperoleh gelar sarjana teknik dengan judul **“ANALISIS CEKUNGAN DAN STRUKTUR GEOLOGI WAROPEN MENGGUNAKAN *ANALISIS DERIVATIF* DAN PEMODELAN 3D GAYABERAT SEBAGAI *PRE-ELIMINARIES HYDROCARBON EXPLORATION* PADA AREA**

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur Allah SWT, skripsi ini dipersembahkan kepada:

Ayahanda Hermansjah Idris
(Baco' Finra Daeng Manessa)
Ibunda Nurjanah

Terimakasih atas segala doa, kasih sayang, jerih payah yang selalu kalian berikan tanpa henti sehingga segala kebutuhan dan keinginanku dapat terpenuhi.

Mohon Maaf apabila selama kuliah ini menjadi beban bagi kalian berdua.
Semuanya takkan bisa terbalas, namun akan selalu berusaha menjadi anak terbaik sampai kapanpun.

Keluarga Teknik Geofisika Unila 2017

Terimakasih atas semua bantuan, kebaikan, pengalaman, dan menjadi rumah kedua bagiku selama perkuliahan di Lampung hingga seterusnya.

Semua orang yang selalu menanyakan kapan saya lulus

Skripsi ini saya persembahkan untuk anda semua

MOTTO HIDUP

رَبِّ أَشْرَحْ لِي صَدْرِي وَيَسِّرْ لِي أَمْرِي وَأَحْلِلْ عُقْدَةً مِّن
لِّسَانِي يَفْقَهُوا قَوْلِي

"I'm jealous of my parents, I'll never have a kid as cool as theirs"

*"You must have **Chaos** within you to give birth to a*

Dancing Star" - Friedrich Nietzsche

"Don't be sad if people talk behind your back,
they're in the right place, behind"

Dzulfiqar Baco Azhar

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, atas segala rahmat, hidayah, dan inayah-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Sholawat serta salam senantiasa selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah mengantarkan kita melewati masa jahiliyah sampai ke masa sekarang ini.

Skripsi ini mengangkat judul “Analisis Cekungan dan Struktur Geologi Waropen menggunakan Analisis Derivatif dan Pemodelan 3D Gayabarat sebagai *Pre-Eliminaries Hydrocarbon Exploration* pada Area Lepas Pantai Waropen, Papua”. Skripsi ini merupakan hasil dari Tugas Akhir yang penulis laksanakan di Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini tidak lepas dari kesalahan. Karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca untuk kemajuan kita bersama. Semoga skripsi ini dapat berguna dan dapat menunjang perkembangan ilmu pengetahuan serta dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan juga bagi pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 22 November 2022

Penulis,

Dzulfiqar Baco Azhar

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa dan Rasullullah Muhammad SAW atas segala rahmat dan hidayah-Nya, segala pertolongan dan kebaikan-Mu yang telah menuntun penulis untuk menjalani Tugas Akhir ini dengan yakin dan selalu berhusnudzon akan adanya rencana terbaik yang sudah Allah siapkan. Skripsi ini berjudul “Analisis Cekungan dan Struktur Geologi Waropen menggunakan Analisis Derivatif dan Pemodelan 3D Gayabarat sebagai *Pre-Eliminaries Hydrocarbon Exploration* pada Area Lepas Pantai Waropen, Papua”. Penulis berharap karya ini dapat bermanfaat di kemudian hari. Banyak pihak yang terlibat langsung dalam memberikan kontribusi ilmiah, spiritual, dan informasi baik secara langsung maupun tidak langsung hingga terbentuk skripsi ini. Pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. Saya Sendiri, karena telah berjuang dan bertahan hingga skripsi ini selesai.
2. Kedua orang tua tercinta penulis Bapak Hermansjah Idris (Baco' Finra Daeng Manessa) dan Ibu Nurjanah, tak lupa Almarhum Kakak Malik Maulana Harsyah dan Adik Dzulkifli Daeng Syauqi yang telah senantiasa mendoakan, memberi dukungan mental dan material, serta mencintai dan menyayangi dengan sepenuh hati, hingga akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan susah payah dan keringat dingin.
3. Bapak Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si. selaku pembimbing utama yang telah memberikan membimbing, membina, mengarahkan serta memberikan pengaruh besar dalam perkuliahan dan skripsi penulis.

4. Bapak Dr. Ir. Ahmad Zaenudin, S.Si. M.T. selaku Pembimbing Akademik serta Pembimbing Kedua yang telah memberikan banyak bimbingan, saran, serta kritik dalam penulisan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si. selaku penguji dalam Tugas Akhir ini yang telah memberikan masukan, saran, kritik dan koreksi sehingga penelitian ini dapat menjadi lebih baik.
6. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati, dan Staff Tata Usaha penuh ucap terima kasih untuk segala bantuan yang diberikan.
7. Keluarga Saudara M. Fajri Suhada yang telah memberikan naungan, rumah, kendaraan, teman mengobrol yang penulis anggap keluarga sendiri dan memberikan banyak peran dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
8. “KONTRAKAN ROYAL” Baong, Nico, Bima, Icu yang telah memberikan lawakan, candaan, diskon, gratisan, serta kenangan yang tidak terlalu indah bagi penulis
9. Terimakasih kepada TG 17 Bryan, Fajri, Faiz, Memet, Nico, Yoyok, Gede, Ryas, Adip, Rizky, Icu, Baong, Bima, Fatur, Acep, Faiq, Ito, Guruh, Paulus, Tajar, Dea, Varen, Fifah, Devita, Irhaz, Messa, Mustika, Sukma, Uti, Rere, Intan, Fe, Danti, Mia, Jeje, Tiwi, Tasya, Deden, Lisa, Aryka, Oca, Risa, Alfina, Heni, Jijah, Uli, Vivi, dan Alma.
10. StainoutSC and Crew, Septian, Rama, Agil, Adit, Egi, Angga, dan Jale yang memberikan tempat kembali saat sulit, menemani kesendirian dan kesuraman yang dialami penulis selama perkuliahan ataupun penelitian serta memberikan pandangan baru dan arah bagi penulis.
11. Tarix Jabrix/Jobless Division/Syarikat Pengendara Santun yang menemani penulis dalam pelarian dari kuliah dan menjelajahi jalanan.
12. Teman-teman aneh dan tidak jelas yaitu Febby Darmawan, Faisal Kisut, Dr. Yuriza, Kumil, Icu, Eca, Faizah, Mega, Rifaldi, Luqman, yang merupakan teman yang ada serta siap mendengarkan kisah-kisah dan keluh kesah penulis.

13. Bang Rafi 2013 dan Bang Adli 2016 yang selalu memberikan motivasi dan juga support secara verbal maupun material kepada penulis sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
14. The Panturas dan Feast dengan lagu-lagunya telah menemani penulis dalam menyelesaikan penelitian ini serta memberikan gagasan terhadap judul penulis dari lagu yang berjudul "Area Lepas Pantai"
15. Agalma seorang Senjata Pemusnah Massal, Senjata Nuklir, Cici, dan Lily Kurniasih yang memberikan dukungan mental dan moril, euphrosyne kebingungan, kehadiran dalam kehampaan, sebagai superposisi puncak dan lembah, pro tanto gelap dan terang, hingga menjadi mahligai kembali sempurna bernama Rumah. Amalgam mutlak masa lalu dan masa depan.
16. Terimakasih kepada orang-orang yang pernah membuat penulis merasakan cinta di kehidupan perkuliahan.
17. Serta semua pihak yang terlibat, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan bahwa Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 22 November 2022

Penulis,

Dzulfiqar Baco Azhar

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PERSETUJUAN.....	iv
PENGESAHAN	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
MOTTO HIDUP.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Manfaat Peneltian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Letak Daerah Penelitian.....	4
2.2. Struktur Geologi dan Morfologi	5
2.3. Cekungan Irian Utara.....	10
2.4. Stratigrafi	11

III. TEORI DASAR.....	14
3.1. Metode Gayabarat.....	14
3.2. <i>Marine Gravity</i>	14
3.3. Anomali Bouguer.....	17
3.4. <i>Fast Fourier Transform</i>	17
3.5. Analisa Spektrum.....	18
3.6. <i>Moving average</i>	20
3.7. Densitas gayabarat.....	22
3.8. <i>First Horizontal Derivative</i>	23
3.9. <i>Second Vertical Derivative</i>	23
3.10. <i>Forward Modelling</i>	26
3.11. <i>Inverse Modelling</i>	28
3.12. <i>Tie-line Levelling</i>	29
IV. METODOLOGI PENELITIAN	31
4.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
4.2. Alat dan Bahan	31
4.3. Jadwal Penelitian	32
4.4. Prosedur Penelitian	32
4.5. Diagram Alir.....	34
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
5.1. Data Anomali Gayabarat	36
5.2. Anomali Bouguer.....	36
5.3. Analisis Spektrum.....	37
5.3.1 Lintasan 1 Analisis Spektrum	39
5.3.2 Lintasan 5 Analisis Spektrum	39
5.3.3 Lintasan 9 Analisis Spektrum	39
5.4. Pemisahan Anomali Regional dan Residual	44
5.4.1 Anomali Regional	44
5.4.2 Anomali Residual.....	45
5.5. Analisis Derivatif.....	46
5.4.1 <i>First Horizontal Derivative</i>	46
5.4.2 <i>Second Vertical Derivative</i>	47
5.6. Pemodelan 3D.....	50

5.5.1	<i>Slice</i> Horizontal kedalaman 1000 m	52
5.5.2	<i>Slice</i> Horizontal kedalaman 1500 m	54
5.5.3	<i>Slice</i> Horizontal kedalaman 3500 m	55
5.5.4	<i>Slice</i> 2.5D Cekungan.....	57
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN	62
6.1.	Kesimpulan.....	62
6.2.	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Densitas Batuan	23
2. Operator filter SVD.....	26
3. Jadwal Penelitian	33
4. Kedalaman Anomali Bouguer Regional dan Residual	45
5. Nilai K_c dan Lebar Jendela	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi penelitian	4
2. Peta tektonik Wilayah Nugini	6
3. Segmentasi sesar Papua	7
4. Penampang 2D tiga tektonomorfik utama Papua	8
5. Peta Cekungan Waipoga.	9
6. Peta geologi dan morfologi daerah penelitian.....	10
7. Stratigrafi Cekungan Irian Utara.....	13
8. Perbedaan data pengukuran <i>marine gravity</i>	16
9. Kurva Ln A terhadap k.....	20
10. Moving average 5x5	21
11. Efek benda bentuk poligon anomali gravitasi.....	26
12. Diagram alir	35
13. Peta <i>Levelled</i> SBA	37
14. Peta Lintasan analisis spektrum	38
15. Grafik LnA vs K lintasan 1	40
16. Grafik LnA vs K lintasan 5.....	41
17. Grafik LnA vs K lintasan 9.....	42
18. Peta anomali regional.....	45
19. Peta anomali residual	46
20. Peta FHD gayabarat	47
21. Peta SVD gayabarat	48
22. Peta <i>overlay</i> FHD dan SVD	49

23. Model 3D Grablox	50
24. Model 3D Oasis	51
25. Peta 3D kedalaman 1000 m	52
26. Peta <i>overlay</i> struktur geologi dan 3D 1000 m	53
27. Peta 3D kedalaman 1500 m	54
28. Peta 3D kedalaman 3500 m	55
29. Peta <i>overlay</i> struktur geologi dan 3D 3500 m	56
30. Peta Slicing pada 3D 3500	57
31. Slicing 2.5D pada Cekungan 1.....	58
32. Slicing 2.5D pada Cekungan 2.....	59
33. Slicing 2D dan profil derivatif line 2	60

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Menurut Irsyam dalam Setyowidodo (2011), Papua merupakan salah satu pulau terbesar di Indonesia yang memiliki kondisi geologis yang sangat kompleks, karena daerah ini terbentuk dari interaksi dua lempeng yaitu Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik yang menghasilkan formasi yang khas. Pada umumnya elemen-elemen tersebut disebabkan oleh gaya tekan yang berjalan dari Barat Daya ke Timur Laut pada arah tumbukan. Dengan mengetahui struktur, kita dapat memprediksi kemungkinan adanya cekungan sedimen prospek hidrokarbon yang terbentuk akibat struktur. Cekungan Waropen, merupakan cekungan yang terbentuk akibat proses penciptaan *intra-oceanic island arc* yang berakhir pada Lempeng Indo-Australia Utara pada zaman Paleosen. Haebig dan McAdoo (1999) menyebutkan bahwa nama lain dari cekungan tersebut adalah Cekungan Irian Utara. Cekungan digambarkan sebagai cekungan besar tunggal dengan banyak *depocenter* atau sub-cekungan yang saling berhubungan dan terpisah dengan isi yang serupa dan korelatif. Cekungan Irian Utara terletak di dalam Terran Nugini Utara. Cekungan memanjang dengan sumbu panjangnya umumnya berarah Timur-Barat, dan memiliki lebar dari 200 hingga 250 Km, panjang 600 sampai 700 Km dan kedalaman mulai dari 3 hingga 8 km.

Metode gayaberat adalah metode geofisika non-destruktif yang telah digunakan secara luas untuk mengukur percepatan gravitasi bumi yang dipengaruhi oleh perbedaan densitas batuan di bawah permukaan. Metode ini sangat berguna dalam eksplorasi hidrokarbon, dan mineral dalam hal kemampuannya menentukan

ketebalan material *overburden* yang membebani *bedrock* atau volume cadangan sedimen. Metode ini juga digunakan secara populer untuk mengeksplorasi sesar, cekungan sedimen, lembah sungai purba dan cadangan geotermal (Zaenudin dkk., 2020). Pada penelitian ini dilakukan sebagai eksplorasi hidrokarbon awal atau *pre-eliminaries hydrocarbon exploration* dalam bentuk analisis cekungan sedimen.

Analisis Derivatif merupakan salah satu metode pengolahan data untuk memudahkan dalam penentuan struktur dan batas kontak lapisan. Menurut Zaenudin dkk. (2013) dan Saibi dkk. (2006), Analisis Derivatif Gayaberat mengobservasi perubahan nilai anomali gayaberat dari satu titik ke titik lain yang memiliki karakteristik tajam berupa nilai maksimum atau minimum pada kontak benda anomali serta metode yang sangat baik untuk mengetahui diskontinuitas dari suatu struktur bawah permukaan, khususnya terdapat patahan pada suatu daerah survei.

Berdasarkan penjelasan diatas penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi dan analisis cekungan dan struktur geologi menggunakan metode *marine gravity* sebagai *pre-eliminaries hydrocarbon exploration* pada Area Lepas Pantai Waropen, Papua.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Pengolahan data lanjut untuk mengidentifikasi anomali gayaberat yang berkaitan dengan cekungan.
2. Pemodelan data gayaberat untuk identifikasi struktur dan cekungan
3. Analisis Struktur dan Cekungan Waropen berdasarkan model gayaberat

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Data gayaberat yang digunakan adalah data sekunder P3GL dalam *Waipoga Project* pada tahun 2018.
2. Penelitian dilakukan hingga analisis struktur geologi dan cekungan berdasarkan analisis derivatif dan pemodelan 3D Data Gayaberat.

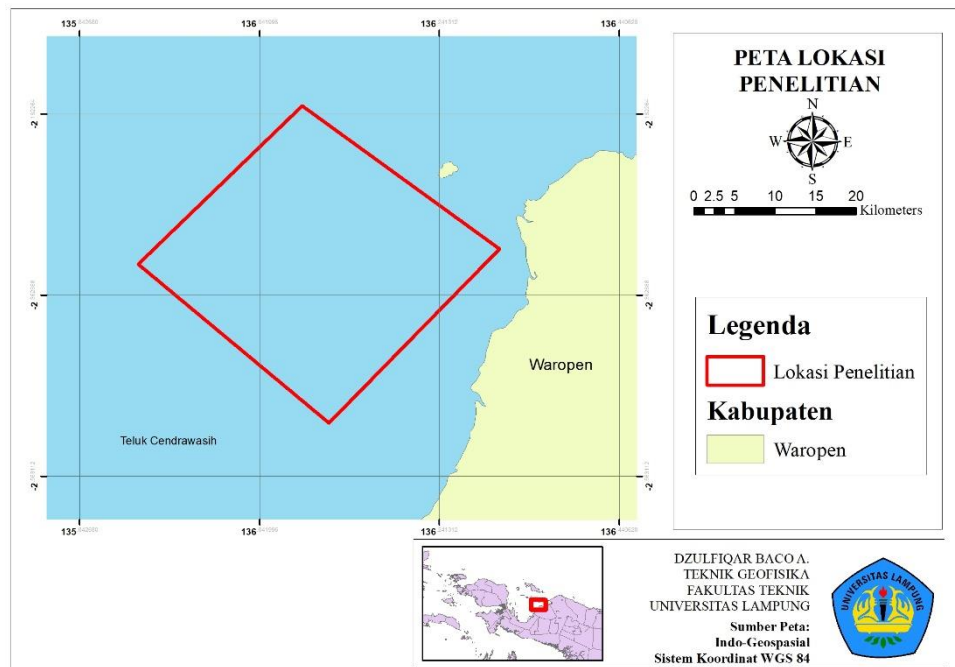
1.4. Manfaat Peneltian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui adanya struktur geologi dan Cekungan Waropen berpotensi hidrokarbon yang dapat dijadikan acuan dan referensi penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Letak Daerah Penelitian

Secara geografis daerah penelitian ini terletak pada koordinat $135^{\circ}56'06''$ – $136^{\circ}17'55.32''$ BT dan $2^{\circ}09'38.16''$ – $2^{\circ}30'51.48''$ LS . Daerah penelitian secara administratif termasuk kedalam lepas pantai Kabupaten Waropen.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian (Diadaptasi dari Badan Informasi Geospasial, 2022).

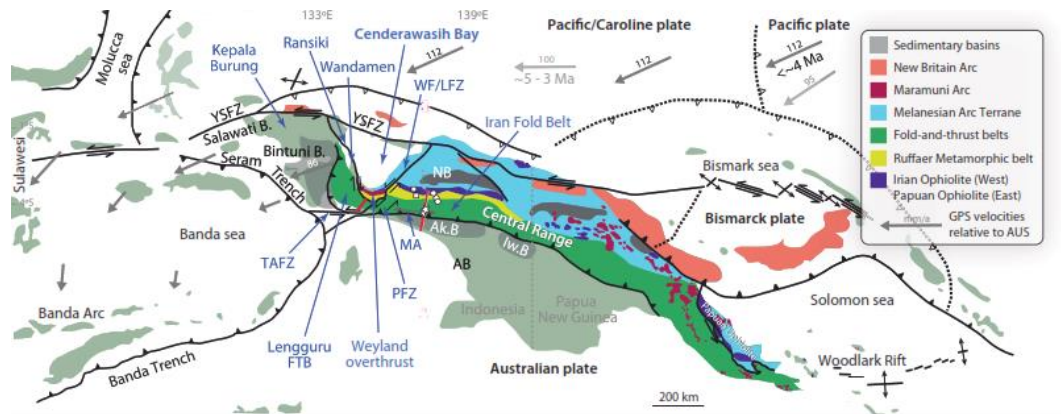
2.2. Struktur Geologi dan Morfologi

Papua adalah salah satu pulau terbesar di Indonesia yang memiliki kondisi geologi yang sangat kompleks karena kawasan ini terbentuk dari dua interaksi lempeng yaitu Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik sehingga menghasilkan bentukan yang khas. Secara keseluruhan unsur ini diakibatkan oleh gaya pemampatan berarah Barat Daya Timur Laut, searah dengan tumbukan. Selain itu juga diakibatkan benturan dengan sudut miring antara lempeng Samudera Pasifik–Lempeng Caroline yang bergerak ke selatan dengan kecepatan antara 110 mm – 125 mm/tahun terhadap tepian lempeng Benua Australia. Benturan miring lempeng-lempeng tersebut menghasilkan gerak patahan. Kombinasi *thrusting* dan geser di seluruh pulau Papua meliputi jalur sesar naik Membramo di utara Papua, jalur patahan perdataran tinggi (*the highland thrust belt*) Papua Tengah, Sesar Sorong, Ransiki, Yapen, dan Zone Sesar Tarera–Aiduna yang terkonsentrasi di sekitar Papua Barat, kepala dan leher burung Papua. Dengan kata lain, Papua Nugini merupakan fitur tektonik utama yang dapat menggambarkan batas antara Lempeng Pasifik dan Lempeng Australia (Irsyam dalam Setyowidodo, 2011).

Ada dua bagian lempeng utama yang terlibat di Papua yaitu Lempeng Australia dan Lempeng Pasifik. Kerak Australia adalah dasar bagian selatan, sedangkan Lempeng Pasifik merupakan alas pantai utara termasuk Teluk Cenderawasih. Daerah badan burung dari pulau papua merupakan jalur memanjang dari Timur ke Barat yang telah mengalami pelipatan. Pada masa itu, proses tektonik di daerah ini mulai terpacu sehingga menghasilkan kedudukan tumbukan kearah Barat Daya yang lebih intensif. Pertumbukan di kedua kerak tersebut mengakibatkan lipatan membengkok dan berhenti di daerah leher burung (jalur lipatan lengguru). Bagian yang sangat menonjol dari tektonik ini adalah sistem sesar mendatar (*transform fault*) Mengiri yaitu sesar Sorong-Yapen (Wahyuni dalam Setyowidodo, 2011).

Teluk Cenderawasih dibatasi di selatan oleh *Weyland Overthrust* di mana, dari Utara ke Selatan, irisan ofiolit, diorit magmatik Miosen Tengah tipe busur dan

batuan metamorf tingkat tinggi telah terdorong di atas sabuk lipatan dataran tinggi. *Overthrust Weyland* telah dianggap setara dengan Sabuk Metamorfik Ruffaer.

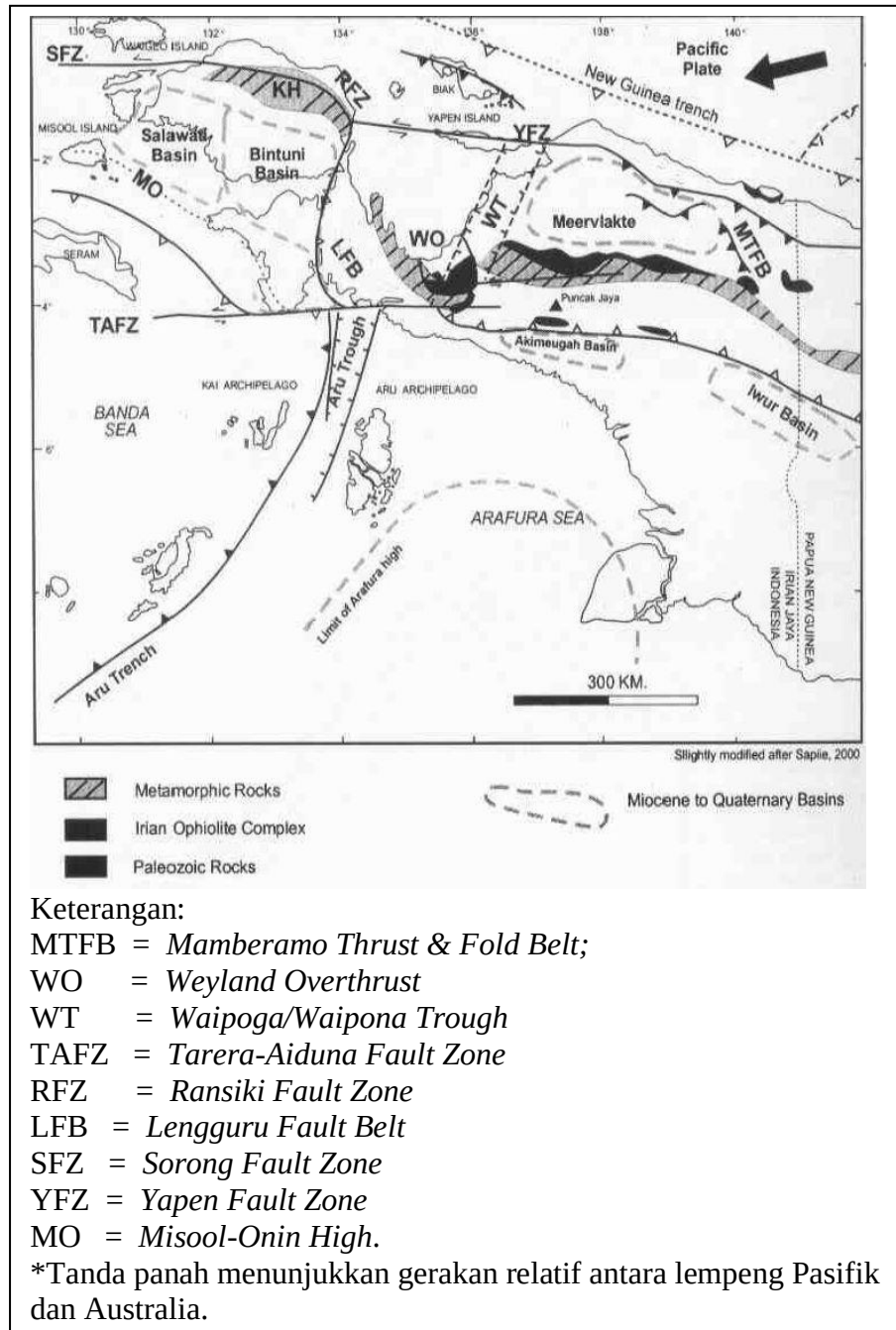


Gambar 2. Peta tektonik Wilayah Nugini (Babault, et. al., 2018).

AB merupakan Cekungan Arafura, Ak.B Cekungan Akimeugah, Iw.B, Cekungan Iwur, MA antiklin Mapenduma, NB Cekungan Papua/Irian Utara, PFZ zona patahan Paniai, YSFZ zona patahan Sorong-Yapen, TAFZ zona patahan Tarera-Aiduna dan WF/LFZ zona patahan Waipoga/zona rekahan Dataran Rendah.

Teluk Cenderawasih dibatasi di sebelah Utara oleh zona sesar Yapen-Sorong berarah Barat Daya, berarah kiri-lateral dan di Selatan oleh zona sesar Aiduna-Tarera berarah Barat Laut-kiri. Zona sesar Yapen-Sorong telah menjadi batas utama antara lempeng Pasifik dan Australia selama Oligosen hingga pertengahan Pliosen. Wilayah antara *Weyland Overthrust* dan Dataran Tinggi Barat dipengaruhi oleh tektonik transtensional baru-baru ini yang melibatkan sesar normal dan sesar mendatar lateral-kiri di wilayah Paniai (PFZ) dan Dataran Rendah (LFZ).

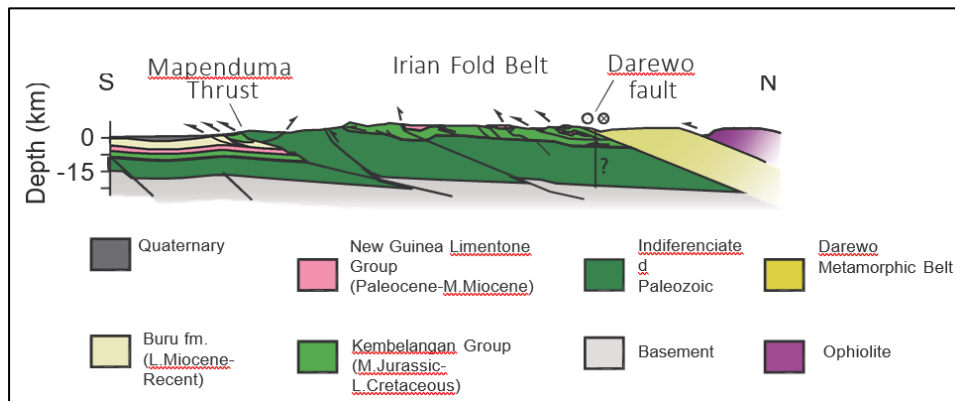
Di sebelah Barat, sabuk *strike-slip* Lengguru, terletak di pantai Barat Teluk Cenderawasih (Leher Burung), terbuat dari lipatan linier berarah Barat Daya dan patahan dorong yang menunjukkan jarak 10 hingga 20 km. Sabuk Lipatan dan patahan dorong ini yang mempengaruhi kelompok Kambelangan dan Kelompok Batugamping New Guinea (Babault, et. al., 2018)



Gambar 3. Segmentasi Sesar Papua (ESDM dalam Setyowidodo, 2011).

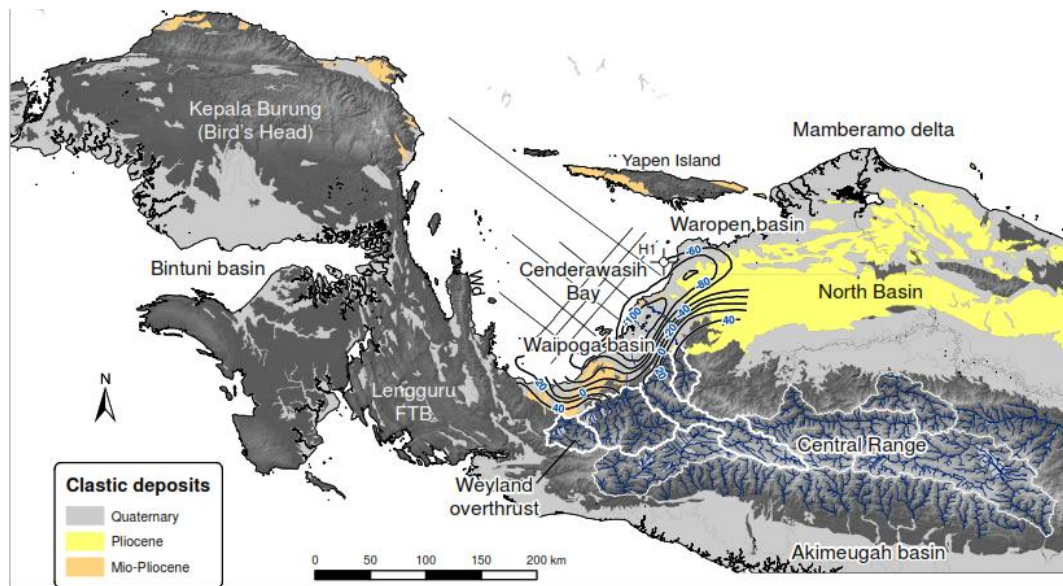
Apabila dilihat pada Gambar 3, terdapat tiga unit tektonometamorfik utama yang membentuk Pegunungan Tengah bagian Barat Papua, sabuk *fold-thrust* (Irian Fold Belt) yang melibatkan sedimen Proterozoikum hingga Kenozoikum yang diendapkan di atas batas pasif Australia, sabuk metamorf, dan batuan samudra termasuk ofiolit dan kumpulan busur vulkanik. Cekungan sedimen *Foreland* Neogen Akhir dan Kuarter menutupi kerak benua Australia di Selatan (Cekungan

Arafura) dan kumpulan kerak samudera dan busur vulkanik di sisi Utara Pegunungan Tengah (Cekungan Mamberamo atau Cekungan Utara yang meliputi sub-cekungan Meervlakte). Di bagian Barat cekungan tanjung Arafura selatan, Cekungan Akimeugah, sedimen klastik (Buru Fm.) mencapai ketebalan hingga 6000 m, di mana lapisan tersebut secara selaras melapisi Kelompok Batugamping Nugini (Babault, et. al., 2018).



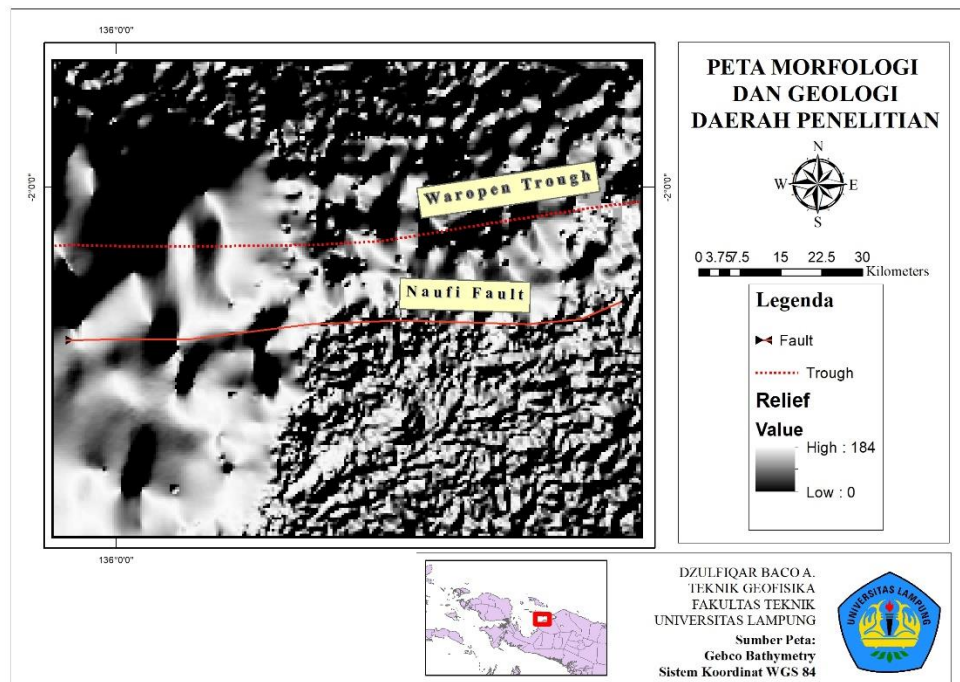
Gambar 4. Penampang 2D tiga tektonomorfik utama Papua (Babault, et. al., 2018)

Pada Gambar 5 menunjukkan Teluk Cenderawasih dibatasi di Tenggara oleh daerah rawa Waipoga, di mana Anomali Bouguer sangat rendah dan memanjang ke Timur Laut dan Barat Daya rawa, sejajar dengan pantai. Ini sesuai dengan cekungan sedimen yang memanjang dan sangat dalam yang disebut sebagai *Waipoga Trough*. Ketebalan minimum sedimen di palung adalah 8000 m. Di tengah Palung Waipoga, fitur melingkar di rawa dan area vertikal terdapat patahan utama berarah NE-SW, yang tidak memiliki bentuk di permukaan pada daerah rawa Waipoga. Di Selatan, *Weyland Overthrust* dibatasi di Timur oleh sesar mendatar kiri-lateral NS Siriwo yang mengimbangi Ophiolit Irian dan Sabuk Metamorfik Ruffaer. Sesar Waipoga dan Sesar Siriwo mendefinisikan zona sesar mendatar kiri-lateral utama yang mengakomodasi perpindahan 25-km-selatan dari Weyland Overthrust, interpretasi yang didukung oleh aktivitas seismik di wilayah tersebut (Babault, et. al., 2018). Gambar 5 menunjukkan Nilai gravimetri dalam mGal, Distribusi spasial endapan klastik Neogen akhir, serta Jaringan drainase utama di Pegunungan Tengah bagian Barat juga ditampilkan dalam warna biru tua dengan garis besar masing-masing cekungan drainase berwarna putih.



Gambar 5. Peta Cekungan Waipoga (Babault, et. al., 2018).

Adapun data tampilan morfologi bawah permukaan (Gambar 6) didapat dari *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO), yaitu data grid batimetri GEBCO, grid GEBCO_2021, adalah model medan global untuk lautan dan daratan dengan interval 15 detik-arc. Selain itu, disertai pula dengan *Grid Type Identifier (TID)* yang memberikan informasi tentang jenis data sumber yang menjadi dasar Grid GEBCO_2021. Lokasi yang digunakan adalah Selat Kabupaten Waropen dan Yapen. Pada Gambar 6 dapat terlihat motif dan relief dari bawah permukaan laut. Awalnya data ini merupakan data raster 2D, yang dilakukan *hillshade* sehingga membentuk relief dan morfologinya. Berdasarkan adaptasi dari Firdaus dkk. (2021), garis merah dengan panah merupakan *fault* yaitu *Naufi Fault*, sedangkan garis putus putus merupakan garis *trough* yaitu *waropen trough* dasar laut.



Gambar 6. Peta geologi dan morfologi daerah penelitian (dimodifikasi dari GEBCO (2021), Firdaus dkk., (2021)).

2.3. Cekungan Irian Utara

Cekungan Waropen, merupakan cekungan yang terbentuk akibat proses penciptaan *intra-oceanic island arc* yang berakhir pada Lempeng Indo-Australia Utara pada zaman Paleosen. Haebig dan McAdoo menyebutkan bahwa nama lain dari cekungan tersebut adalah Cekungan Irian Utara. Cekungan digambarkan sebagai cekungan besar tunggal dengan banyak *depocenter* atau sub-cekungan yang saling berhubungan dan terpisah dengan isi yang serupa dan korelatif.

Cekungan Irian Utara terletak di dalam Terran Nugini Utara. Cekungan memanjang dengan sumbu panjangnya umumnya berarah Timur-Barat, dan memiliki lebar dari 200 hingga 250 km, panjang 600 sampai 700 km dan kedalaman mulai dari 3 hingga 8 km.

Sedimen tertua di Cekungan Irian Utara dikenal dengan Formasi Auwewa yang diperkirakan berumur Paleosen hingga Oligosen Awal. Batuan penyusun Formasi Auwewa terdiri dari Konglomerat Andesit dan Basal, Batugamping Pelagis, Serpih Hemipelagic dan Turbidit yang didominasi Greywacke. Formasi Auwewa terpantau pada singkapan yang melapisi sekuen vulkanik oseanik mafik

dan ofiolit secara tidak selaras. Deposit tersebut berada di atas dasar kerak samudera.

McAdoo dan Haebig (1999) mengkarakterisasi Cekungan Irian Utara sebagai cekungan hibrida yang dimulai sebagai cekungan busur depan dan berlantaikan kerak samudera, tetapi begitu subduksi berhenti, arsitektur cekungan menjadi didominasi oleh banyaknya tegangan kompresional yang kompleks, dominan menghasilkan *thrusting* dan sesar utama.

2.4. Stratigrafi

Cekungan Irian Utara merupakan suatu depresi struktural yang dalam dan terisi oleh sekuen pengendapan Neogen dan Kuartar yang tebal dan secara tektonik merupakan cekungan depan busur hasil pergerakan konvergen Lempeng Benua Australia dan Lempeng Samudera Pasifik atau Lempeng Mikro Carolina. Sepanjang Pliosen - sekarang di bagian tengah cekungan dilalui patahan besar (*major left-lateral strike slip fault*) yang dikenal sebagai Zona Patahan Yapen (Mamengko dkk., 2014).

Stratigrafi Cekungan Irian Utara terdiri dari beberapa formasi. Berikut ini adalah urutan formasi dari tua ke muda (McAdoo dan Haebig, dalam Mamengko 2014) (Gambar 7), yaitu:

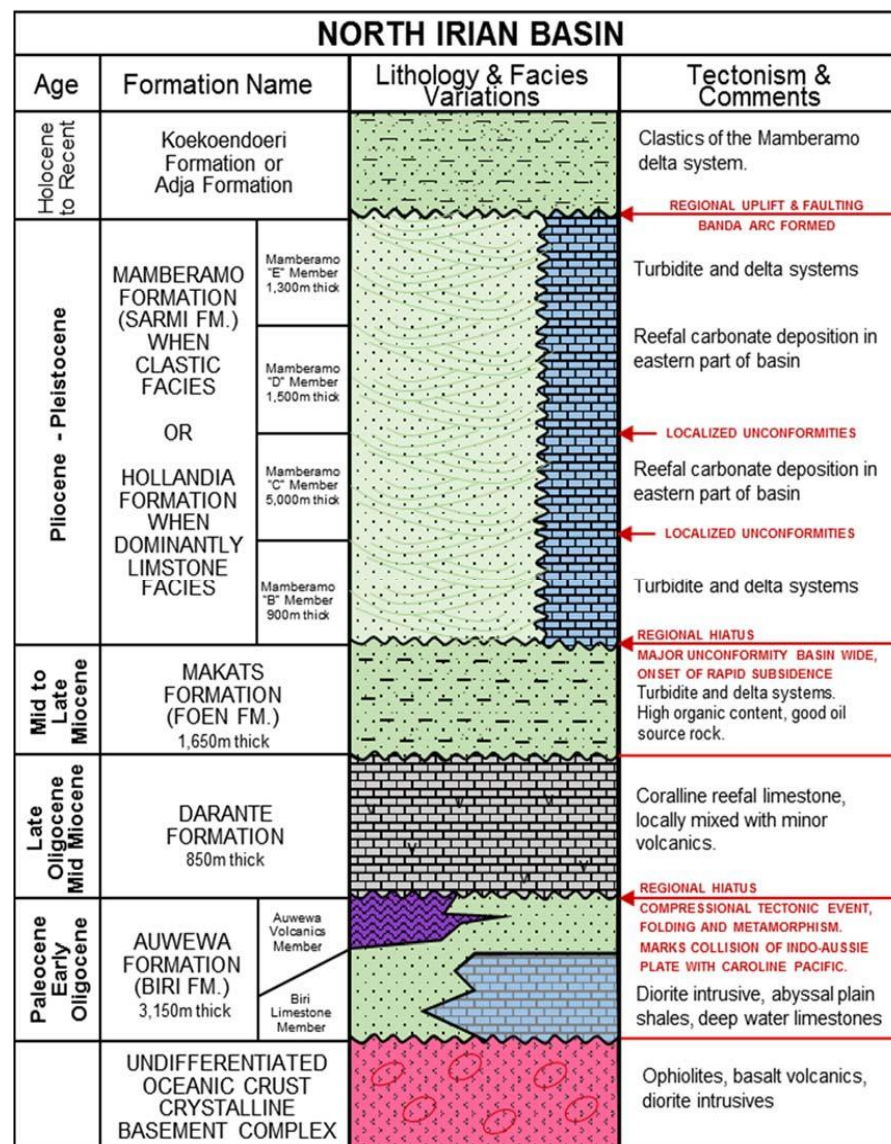
- 1) Batuan dasar, terdiri dari batuan beku ultra mafik dan batuan metamorf serpentinit yang merupakan batuan ofiolitik.
- 2) Formasi Auwewa merupakan sedimen tertua pada cekungan ini yang terdiri batugamping berselingan dengan batuan vulkanik dan batuan dasar yang telah terdeformasi dan diendapkan pada Oligosen Bawah – Miosen Tengah.
- 3) Formasi Darante diendapkan pada fase setelah tumbukan Awal Oligosen Akhir sampai Miosen Tengah dan tersusun oleh batuan karbonat lingkungan laut.
- 4) Formasi Makats diendapkan di atas Formasi Darante secara selaras pada Miosen Tengah - Miosen Akhir. Pada Awal Miosen terjadi pengangkatan

dan erosi pada bagian selatan tepian cekungan yang menghasilkan *influx* klastika masif sebagai penyusun Formasi Makats. Batuan penyusun formasi ini terdiri dari lapisan konglomerat yang tebal, batupasir (*greywacke* - *sub-greywacke*), batu lanau dan serpih.

- 5) Formasi Mamberamo; Formasi ini secara tidak selaras diendapkan di atas Formasi Makats sekitar Plio-Pleistosen. Formasi Mamberamo terdiri dari beberapa anggota yang diendapkan pada lingkungan fluvial, deltaik hingga batial. Ke-empat Anggota Formasi Mamberamo tersebut terdiri dari Anggota Formasi Mamberamo B, C, D dan E, sebagai berikut ini: a) Anggota B terdiri dari sekuen distal dan tersusun oleh batu lanau, napal dan serpih yang diendapkan pada lingkungan sub-litoral bagian tengah hingga batial. b) Anggota C terdiri dari suatu sekuen yang tebal konglomerat, batupasir (*sub-greywacke sands*), batulanau dan serpih. c) Anggota D merupakan perselang–selingan antara Anggota C ke Anggota E ditandai transgresi yang berganti dan pengendapan serpih dan *fine grained distal turbidites* pada lingkungan batial berubah menjadi lingkungan laut dangkal dan d) Anggota E terdiri dari konglomerat, batupasir, batulanau, serpih dan lignit. Anggota formasi ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal hingga deltaik yang terakumulasi ke arah utara sebagai sistem delta progradasi. Mamengko dkk., pada tahun 2014 menyebutkan bahwa Formasi Mamberamo “B” terdiri dari beberapa fasies yang kaya akan material organik dan berpotensi sebagai batuan sumber, diantaranya adalah: (1). Fasies Serpih lanauan *wavy* pada lingkungan *Mixed flat – Intertidal* (2). Serpih lenticular pada lingkungan *Mudflat – Intertidal* (3). Serpih karbonan pada lingkungan *Marsh – Supratidal*.
- 6) Formasi Koekoendoeri, formasi ini secara lokal merupakan endapan aluvial yang diendapkan di atas Formasi Mamberamo yang dominan terakumulasi di Cekungan Irian Utara dan merupakan formasi paling muda.

Perubahan Fasies literal menghasilkan penumpukan sedimen karbonat signifikan yang secara lokal. Sedimen ini berada pada Formasi Auwewa, Darante

dan Makats. Setelah jeda pengendapan, pengendapan Formasi Mamberamo berlanjut tanpa gangguan sampai sekarang. Formasi Mamberamo terdiri dari empat anggota formasi dengan total 23.000 kaki dalam ketebalan yang diukur dalam singkapan. Ketebalan ini berdasarkan asumsi bagian maksimum masing-masing formasi berada di tempat yang sama akan menyiratkan total Cekungan Irian Utara mengisi hampir 42.000 kaki. Bukti seismik yang tersedia menunjukkan bahwa Cekungan Irian Utara setidaknya memiliki kedalaman 25.000 hingga 30.000 kaki sepanjang porosnya. Apabila dilihat secara lokal, area melengkung ke bawah mungkin ada yang lebih dalam (McAdoo dan Haebig dalam Mamengko, 2014).



Gambar 7. Stratigrafi Cekungan Irian Utara (McAdoo dan Haebig dalam Noble, et. al., 2016).

III. TEORI DASAR

3.1. Metode Gayaberat

Metode gayaberat didasari oleh prinsip fisika menurut hukum Newton mengenai interaksi antara dua partikel dengan massa yang terpisah sejauh jarak tertentu. Hukum gravitasi Newton menyatakan apabila $\vec{F}$ adalah nilai gaya gayaberat; G merupakan konstanta gayaberat universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$); m_1 dan m_2 adalah massa; r adalah jarak, $\hat{r}$ adalah unit vektor pada arah koordinat r yang berasal dari pusat massa, maka nilai gaya gayaberat dapat dinyatakan menurut persamaan berikut (Blakely, 1995):

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

Menurut Lowrie (2006) dan Blakely (1995), setidaknya ada lima faktor yang mempengaruhi nilai percepatan gayaberat pada setiap titik pengukuran gayaberat, antara lain posisi pengukuran pada garis lintang, ketinggian titik ukur, posisi bulan dan matahari, medan topografi di sekitar titik pengukuran, dan anomali batuan di bawah permukaan.

3.2. *Marine Gravity*

Marine Gravity atau Gayaberat Laut merupakan sumber data penting untuk membangun model gravitasi bumi dan menyelidiki tektonik global dan struktur margin benua, yang dapat diturunkan dari pengukuran altimeter radar ketinggian permukaan laut atau kemiringan. Pengembangan model medan gravitasi laut terutama bergantung pada akurasi dan resolusi akumulasi data altimeter multi-

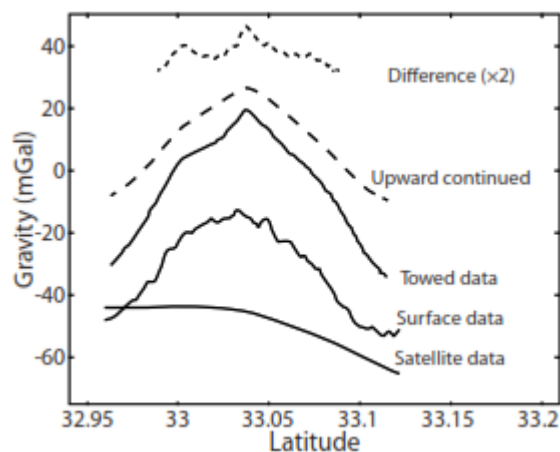
satelit. Pada penelitian Zhang dkk. Pada tahun 2016, yang terletak di Laut Cina, terutama Laut Cina Selatan, memiliki topografi dasar laut yang relatif kompleks.

Kualitas model medan gravitasi laut yang berasal dari altimeter satelit dimanifestasikan pada dua aspek sebagai akurasi dan resolusi, yang terutama tergantung pada faktor-faktor berikut: (1). Presisi rentang altimeter (2). Kepadatan lintasan spasial dan laju pengambilan sampel sepanjang lintasan (3). Orientasi lintasan yang beragam (4) Akurasi koreksi pasang surut air laut yang dimodelkan, terutama di atas wilayah pesisir, dan (5). *Low pass filter* yang diterapkan pada data profil. Keakuratan pengamatan altimeter dapat ditingkatkan melalui pelacakan ulang bentuk gelombang dan penyaringan *low-pass* yang cermat. Selain itu, persyaratan kepadatan dan keragaman dapat dipenuhi melalui pengambilan sampel ulang sepanjang jalur dan suplemen data baru dengan misi geodetik atau parameter orbital yang berbeda. Dalam beberapa tahun terakhir, algoritma untuk melacak kembali bentuk gelombang altimeter telah mengalami perkembangan yang cukup besar, yang memberikan peluang besar untuk meningkatkan ketepatan data altimeter yang ada (Zhang. et. al., 2016).

Pengamatan gravitasi yang dilakukan pada *moving platform*, baik kapal atau pesawat terbang, memiliki peran penting dalam studi eksplorasi meskipun umumnya akurasi dan resolusi spasial yang lebih rendah dibandingkan dengan pengukuran darat. Keuntungan pengukuran pada *moving platform* adalah survei dapat dilakukan dengan cepat dan efisien di wilayah laut dan di wilayah daratan yang tidak mudah diakses untuk survei darat. Pengukuran di atas kapal umumnya dilakukan sebagai pengamatan tambahan pada kapal yang melakukan survei untuk tujuan lain, sedangkan pengukuran di udara dilakukan baik dari helikopter atau pesawat terbang yang diterbangkan khusus untuk survei gravitasi. Tantangan utama adalah lingkungan yang dinamis, dengan masalah terkait menjaga gravimeter vertikal dan memilah percepatan inersia *moving platform* dari efek gravitasi sumber bawah permukaan.

Untuk meningkatkan resolusi pengukuran laut yang secara kasar terbatas pada urutan kedalaman air, gravimeter laut ditempatkan di kapal ditarik di belakang kapal laut di sepanjang lintasan hanya beberapa puluh meter di atas dasar laut.

Sistem ini, yang memiliki kemampuan pengulangan kurang dari 0,4 mGal, digunakan untuk meningkatkan resolusi pengukuran gravitasi laut sambil tetap melakukan pengamatan dengan cepat dan terus menerus. Kedalaman dan lokasi *hydrophone*, dipantau dan digunakan untuk mengurangi pengamatan ke bentuk anomali dan menghilangkan efek Eotvos dari pengukuran. Peningkatan resolusi pengukuran gravitasi *deep-tow* atas pengamatan permukaan laut diilustrasikan pada Gambar 8 dari survei di lepas pantai Emery Knoll California. *Pengukuran deep-tow* menunjukkan adanya anomali 5 mGal lokal di atas pusat Knoll yang tidak diamati dalam pengukuran permukaan.



Gambar 8. Perbedaan data pengukuran *marine gravity* (Hinze, et. al., 2012)

Pengukuran gravitasi yang dibuat dari platform yang bergerak, seperti kapal atau pesawat terbang, diubah oleh komponen vertikal percepatan sentrifugal dan coriolis yang bekerja pada instrumen gravitasi karena gerakannya di atas permukaan bumi. Koreksi untuk alterasi ini adalah koreksi Eotvos, Baron Roland von Eotvos yang pertama kali mengenali efek dalam pengukuran gravitasi pada awal abad kedua puluh. Efek ini penting karena bisa jauh lebih besar daripada kebanyakan anomali yang menarik. Pengamatan di kapal adalah subjek efek Eotvos yang diukur dalam puluhan miligal. Yang dibuat di platform udara biasanya dalam ratusan miligal karena kecepatannya yang meningkat dengan cepat (Hinze, et. al., 2012)

3.3. Anomali Bouguer

Peta Anomali Bouguer pada dasarnya mirip dengan peta topografi dimana ada kontur tinggian dan rendahan, kesamaan kenampakan area dengan kontur (isogals) yang rapat dan renggang. Kontur yang merefleksikan panjang gelombang yang panjang pada peta Anomali Bouguer merupakan respon dari benda-benda dalam dan disebut anomali regional. Sedangkan anomali residual memiliki panjang gelombang yang lebih pendek dan merupakan respon dari benda-benda yang lebih dangkal yang biasanya terisolasi untuk analisis yang lebih dalam. Pemisahan anomali regional dari Anomali Bouguer akan menyisakan anomali residual (Reynolds, 1998).

3.4. *Fast Fourier Transform*

Fast Fourier Transform, adalah suatu algoritma untuk menghitung transformasi fourier diskrit dengan cepat dan efisien, *Fast Fourier Transform* mengubah data dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. *Fast Fourier Transform* (FFT) adalah metode yang sangat efisien untuk menghitung koefisien dari Fourier diskrit ke suatu finite sekuen dari data yang kompleks. Karena substansi waktu yang tersimpan lebih dari pada metoda konvensional, *Fast Fourier Transform* merupakan aplikasi temuan yang penting didalam sejumlah bidang yang berbeda seperti analisis spektrum, *speech and optical signal processing*, serta desain filter digital. Algoritma FFT berdasarkan atas prinsip pokok dekomposisi perhitungan *Discrete Fourier Transform* dari suatu sekuen sepanjang N kedalam transformasi diskrit Fourier secara berturut-turut lebih kecil. Cara prinsip ini diterapkan memimpin ke arah suatu variasi dari algoritma yang berbeda, di mana semuanya memperbandingkan peningkatan kecepatan perhitungan (Sipasulta, 2014).

Karena banyak sinyal-sinyal dalam sistem komunikasi yang bersifat kontinyu, sehingga untuk kasus sinyal kontinyu kita gunakan transformasi fourier. Transformasi Fourier didefinisikan oleh rumus:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

Dimana $s(f)$ adalah sinyal dalam domain frekuensi (*frequency domain*), $s(t)$ adalah sinyal dalam domain waktu (*time domain*), dan $e^{-j2\pi ft}$ adalah konstanta dari sebuah sinyal, f adalah frekuensi dan t adalah waktu.

3.5. Analisa Spektrum

Analisis spektrum merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui kedalaman anomali. Analisis spektrum menggunakan prinsip transformasi fourier yaitu dengan mengubah data dari domain ruang menjadi domain bilangan gelombang. Gradien dari grafik analisis spektrum besarnya sebanding dengan kedalaman bidang anomali, dimana gradien yang bernilai besar mencerminkan anomali regional sedangkan gradien yang bernilai lebih kecil mencerminkan anomali residual (Zulfawati, 2019).

Untuk melakukan analisis spektrum terlebih dahulu dilakukan *gridding* data anomali. Selanjutnya, dibuat profil penampang lintasan yang mewakili daerah penelitian, yang selanjutnya dilakukan FFT (*Fast Fourier Transform*), dari hasil FFT akan dihasilkan grafik, dalam grafik tersebut terdapat 3 gradien yaitu; Gradien Regional, Residual dan Noise (Setiadi dkk., 2010).

Untuk analisis lebih lanjut, amplitudo gelombang-gelombang sinus tersebut ditunjukkan sebagai fungsi dari frekuensinya. Secara matematis hubungan antara gelombang $s(t)$ yang akan diidentifikasi gelombang sinusnya (input) dan $S(f)$ sebagai hasil transformasi Fourier diberikan oleh persamaan (2)

Pada metoda gayaberat, spektrum diturunkan dari potensial gayaberat yang teramati pada suatu bidang horizontal dimana transformasi Fouriernya sebagai berikut sebagaimana menurut Blakely pada tahun 1995 :

$$F(U) = \gamma\mu F\left(\frac{1}{r}\right) \text{ dan } F\left(\frac{1}{R}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0 - z_1)}}{|k|} \quad (3)$$

Dimana $z_1 > z_0$, $|k| \neq 0$, U merupakan Potensial Gayaberat, γ adalah Konstanta Gayaberat, μ merupakan Anomali Rapat Massa, r merupakan Jarak, Percepatan gravitasi dihubungkan pada potensial gravitasi oleh persamaan $g = \nabla U$. Gerak vertikal gravitasi yang disebabkan oleh suatu titik massa adalah turunan dari potensial gayaberatnya :

$$g_z = G \frac{\partial 1}{\partial r} \quad (4)$$

$$F(g_z) = G \frac{\partial 1}{\partial r} \quad (5)$$

$$F(g_z) = G \frac{\partial}{\partial} F \frac{1}{r} \quad (6)$$

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan adalah :

$$F(g_z) = 2\pi C e^{|k|(z_0 - z_1)}, z_0 > z_1 \quad (7)$$

Jika distribusi rapat massa bersifat random dan tidak ada korelasi antara masing-masing nilai gayaberat, maka $m = 1$ sehingga hasil transformasi fourier anomali gayaberat menjadi :

$$A = C e^{|k|(z_0 - z_1)} \quad (8)$$

Dimana A = Amplitudo; C = Konstanta. Untuk memperoleh 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 amplitudo spektrum.

$$\ln A = \ln 2\pi C e^{|k|(z_0 - z_1)} \quad (9)$$

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C \quad (10)$$

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus:

$$y = mx + c \quad (11)$$

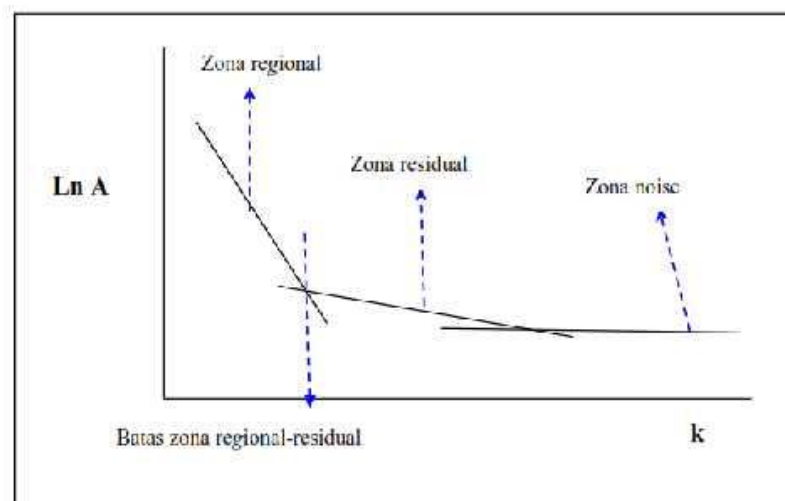
Dimana $\ln A$ sebagai sumbu y , $|k|$ sebagai sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ sebagai kemiringan garis (gradien). Oleh karena itu, kemiringan garisnya merupakan kedalaman bidang dalam dan dangkal. $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan sebagai bilangan gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$ dan satuannya $1/meter$ dengan λ adalah panjang gelombang (Rasimeng, 2013). Hubungan λ dengan Δx adalah sebagai berikut

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (12)$$

Nilai λ sama dengan Δx , ada faktor lain pada Δx yang disebut konstanta pengali, sehingga $\lambda = N \cdot \Delta x$, Konstanta N didefinisikan sebagai lebar jendela. Lebar jendela merupakan spasi panjang gelombang tiap perubahan meter, lebar jendela sendiri berasal dari *windowing function* (Harris, 1976). Lebar jendela dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$N = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (13)$$

Dimana Δx adalah domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan k_c adalah bilangan gelombang *cut-off*. Semakin besar nilai k maka nilai frekuensi akan tinggi.



Gambar 9. Kurva Ln A terhadap k (Sarkowi, 2014)

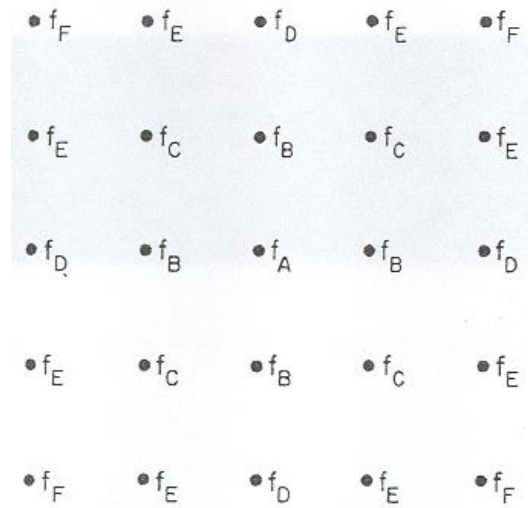
3.6. *Moving average*

Data anomali gaya berat yang terukur di lapangan sebenarnya merupakan gabungan antara efek anomali dangkal dan efek anomali dalam. Untuk memisahkan kedua efek anomali diperlukan metode *filtering*. Yang akan digunakan pada penelitian ini adalah proses *moving average*. Penurunan dengan metode ini adalah secara tidak langsung karena keluaran dari *moving average* adalah regionalnya. Sehingga residual didapat dengan mengurangkan regionalnya terhadap anomali hasil pengukurannya. Jika dianalisa dari spektrumnya, karakter dari teknik *moving average* sama dengan '*low pass filter*', sehingga output dari proses ini adalah frekuensi rendah dari Anomali Bouguer yang memperlihatkan

anomali regionalnya. Selanjutnya anomali residual dihasilkan dengan mengurangkan anomali regional terhadap Anomali Bouguernya. Secara matematis persamaan *moving average* untuk 1 dimensi ditulis dalam persamaan :

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (14)$$

dimana i adalah nomor stasiun, N adalah lebar jendela dan Δg_{reg} adalah besarnya anomali regional.



Gambar 10. Moving average 5x5 (Robinson dan Coruh, 1988)

Hal yang penting dalam proses ini adalah penentuan lebar jendela yang tepat untuk *moving average*, yang dapat diperoleh dari proses perhitungan analisis spektrum. Berdasarkan analisis spektrum diperoleh bilangan gelombang *cut-off* (K_c) yang merupakan perpotongan antara gradien anomali regional dan residual. Bilangan gelombang *cut-off* ini digunakan sebagai masukan dalam perhitungan untuk menentukan lebar jendela yang akan digunakan pada proses *moving average*. Setelah didapatkan Δg_{reg} , maka harga Δg residual dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{reg} \quad (15)$$

dimana Δg_{reg} adalah besarnya anomali regional dan Δg adalah besarnya Anomali Bouguer. Persamaan tersebut merupakan dasar dari metode ini, dari persamaan tersebut akan dapat dihitung nilai anomali residual pada sebuah titik

penelitian. Dimana 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).

Berdasarkan karakter spektrum dari filter ini, lebar jendela NxN berbanding langsung dengan *low cut* dari panjang gelombang atau *high cut* frekuensi spasial dari *low-pass filter*, sehingga dengan bertambahnya lebar jendela akan menyebabkan bertambahnya panjang gelombang regional output. Dengan kata lain, lebar jendela terkecil menyebabkan harga regionalnya mendekati anomali Bouguernya. Semakin lebar jendela yang digunakan untuk proses *moving average*, maka daerah yang dapat diteliti akan semakin kecil. Hal ini disebabkan data yang berada ditepi akan hilang, sehingga penentuan lebar jendela harus optimal (Setiadi, dkk., 2010).

3.7. Densitas gayaberat

Rapat massa (*density*) batuan merupakan besaran utama dalam menentukan nilai percepatan gravitasi. Variasi rapat massa pada batuan sedimen disebabkan oleh tekanan gaya tektonik. Densitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu rapat massa butir pembentuknya, porositas, kandungan fluida yang mengisi pori-porinya, serta pemadatan akibat tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut (Kirbani dalam Sawitri, 2021). Berikut adalah tabel densitas (Tabel 1) modifikasi dari Telford (1990).

Tabel. 1 Nilai Densitas Batuan (Dimodifikasi dari Telford, et. al., 1990)

Jenis Batuan	Batas (gr/cc)	Rata-rata (gr/cc)	Jenis Batuan	Batas (gr/cc)	Rata-rata (gr/cc)
Batuan Sedimen			Batuan Metamorf		
Clay	1,63 - 2,60	2,21	Gneiss	2,59 - 3,00	2,80
Gravel	1,70 - 2,40	2,00	Phyllite	2,68 - 2,80	2,74
Loess	1,40 - 1,93	1,64	Slate	2,70 - 2,90	2,79
Silt	1,80 - 2,20	1,93	Granulit	2,52 - 2,70	2,65

Soil	1,20 - 2,40	1,92	Amphibolit	2,90 - 3,04	2,96
Sand	1,70 - 2,30	2,00	Eclogit	3,20 - 3,54	3,37
Sandstone	1,61 - 2,76	2,35			
Shale	1,77 - 3,20	2,40			
Limestone	1,93 - 3,20	2,55			
Dolomit	2,28 - 2,90	2,70			
Chalk	1,53 - 2,60	2,01			
Halite	2,10 - 2,60	2,22			
Glacier Ice	0,88 - 0,92	0,90			
Batuan Beku					
Granit	2,50 - 2,81	2,64			
Andesit	2,40 - 2,80	2,61			
Syenite	2,60 - 2,95	2,77			
Basalt	2,70 - 3,30	2,99			
Gabro	2,70 - 3,50	3,03			

3.8. *First Horizontal Derivative*

First Horizontal Derivative atau FHD anomali gayaberat merupakan perubahan nilai anomali gayaberat dari satu titik ke titik lain yang memiliki karakteristik tajam berupa nilai maksimum atau minimum pada kontak benda anomali, sehingga dapat digunakan untuk menunjukkan batas suatu struktur geologi berdasarkan anomali gayaberat.

$$HG = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (17)$$

dimana $\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)$ dan $\left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)$ ialah turunan horizontal gayaberat pada arah x dan y satuan dari HG adalah mGal/m (Zaenudin dkk., 2013)

3.9. *Second Vertical Derivative*

Second Vertical Derivative atau SVD adalah metode yang digunakan untuk memunculkan sumber-sumber anomali yang bersifat dangkal/lokal karena bersifat

sebagai *high pass filter*. Metode ini sangat baik untuk mengetahui diskontinuitas dari suatu struktur bawah permukaan, khususnya terdapat patahan pada suatu daerah survei (Saibi, et al., 2006). Secara teoritis metode ini diturunkan dari persamaan Laplace untuk anomali gayabarat di permukaan yang persamaannya dapat ditulis :

$$\nabla^2 \cdot \Delta g = 0 \quad (18)$$

Dalam domain x,y dan z menjadi

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta z^2} \quad (19)$$

sehingga *second vertical derivative*-nya diberikan oleh:

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta z^2} = - \left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta x^2} \right) \quad (20)$$

Karena nilai y bersifat konstan maka untuk data 1-D (data penampang) persamaan nya diberikan oleh:

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta z^2} = - \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial \Delta x^2} \quad (21)$$

Persamaan SVD dan 1-D diatas menunjukkan bahwa *second vertical derivative* dari suatu anomali gayabarat permukaan adalah sama dengan negatif dari derivatif orde dua horizon. Artinya bahwa nilai *anomali second vertical derivative* dapat diperoleh dari perhitungan matematis berdasarkan turunan dari persamaan Laplace. Untuk data anomali gayabarat dalam grid teratur, anomali *second vertical derivative* dapat diturunkan melalui proses filtering di mana persamaan konvolusinya diberikan oleh:

$$\Delta G_{svd}(\Delta x, \Delta y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta g(x, y) F(x - \Delta x, y - \Delta y) dx dy \quad (22)$$

Dimana F adalah filter *second vertical derivative* sesuai persamaan di atas dan Δg adalah anomali gayabarat sebagai data input. Lalu filter SVD dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel. 2 Operator Filter SVD

1. SVD tipe Henderson dan Zietz (1949)

0,00	0,00	-0,08	0,00	0,00
0,00	1,00	-2,67	1,00	0,00
-0,08	-2,67	17,00	-2,67	-0,08
0,00	1,00	-2,67	1,00	0,00
0,00	0,00	-0,08	0,00	0,00

2. SVD tipe Elkins (1951)

0,00	-0,08	0,00	-0,08	0,00
-0,08	-0,67	-0,03	-0,67	-0,08
0,00	-0,03	-1,07	-0,03	0,00
-0,08	-0,67	-0,03	-0,67	-0,08
0,00	-0,08	0,00	-0,08	0,00

3. SVD tipe Rosenbach (1953)

0,00	-0,04	0,00	-0,04	0,00
-0,04	-0,33	-0,75	-0,33	-0,04
0,00	-0,75	4,00	-0,75	0,00
-0,04	-0,33	-0,75	-0,33	-0,04
0,00	-0,04	0,00	-0,04	0,00

Ide dari metode ini adalah mengambil nilai turunan kedua dari Anomali Bouguer sama dengan nol sebagai kontak dari kontras densitas antar dua lapisan batuan, dalam hal ini kontak tersebut dapat dikatakan sebagai struktur patahan ataupun intrusi (Sarkowi, 2010). Struktur patahan atau sesar naik maupun turun dapat ditentukan dari nilai anomali SVD dengan karakteristik sebagai berikut:

Untuk sesar naik/intrusi:

$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \max \right| < \left| \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \min \right| \quad (23)$$

Sedangkan untuk sesar turun:

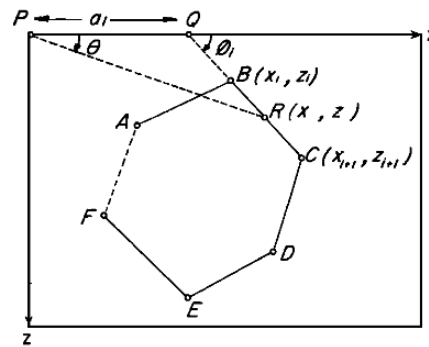
$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \max \right| > \left| \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \min \right| \quad (24)$$

3.10. Forward Modelling

Menurut Talwani (1959) dan Grandis (2009), Pemodelan ke depan (*Forward Modelling*) merupakan proses kalkulasi anomali dan metode interpretasi data dari hasil teori yang teramati di permukaan bumi, jika parameter model diketahui untuk memperkirakan densitas bawah permukaan. Pemodelan ke depan untuk menghitung efek gayaberat model benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang yang dapat diwakili oleh suatu poligon berisi n dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi poligon. Pada saat melakukan interpretasi, dicari model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan atau data lapangan. Sehingga diharapkan kondisi model itu bisa mewakili atau mendekati keadaan sebenarnya. Seringkali istilah *forward modelling* digunakan untuk proses *trial and error*.

Menurut Talwani, *forward modelling* untuk efek gravitasi benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang atau gaya tarik menarik dua benda terhadap 2D dapat diwakili oleh suatu poligon berisi n yang dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi polygon sebagai berikut:

$$2G_p \oint z d\theta \quad (25)$$



Gambar 11. Efek benda bentuk poligon anomali gravitasi (Talwani dkk., 1959)

Apabila diasumsikan bahwa $PQ = a_i$, maka

$$z = x \tan \theta \quad (26)$$

Pada titik sepanjang garis BC (R) sehingga

$$z = (x - a_i) \tan \phi_i \quad (27)$$

Dari dua persamaan diatas dapat dibuat persamaan

$$Z = \frac{a_i \tan \theta \tan \phi_i}{\tan \phi_i - \tan \theta} \quad (28)$$

Atau

$$\int_{BC} z d\theta = \int_B^C \frac{a_i \tan \theta \tan \phi_i}{\tan \phi_i - \tan \theta} d\theta \equiv Z_i \quad (29)$$

Untuk Z, dapat dibentuk serupa pada

$$\int_{BC} x d\theta = \int_B^C \frac{a_i \tan \phi_i}{\tan \phi_i - \tan \theta} d\theta \equiv X_i \quad (30)$$

Sehingga persamaan gaya tarik vertikal V dan horizontal H pada seluruh poligon ditunjukkan sebagai berikut

$$V = 2G_\rho \sum_{n=1}^n Z_i \quad (31)$$

$$Z = 2G_\rho \sum_{n=1}^n X_i \quad (32)$$

Dengan sumasi sisi n pada poligon, maka persamaan Z_i dan X_i adalah

$$Z_i = a_i \sin \phi_i \cos \phi_i [\theta_i - \theta_{i+1} + \tan \phi_i \log_e \frac{\cos \theta_i (\tan \theta_i - \tan \phi_i)}{\cos \theta_{i+1} (\tan \theta_{i+1} - \tan \phi_i)}] \quad (33)$$

$$X_i = a_i \sin \phi_i \cos \phi_i [\tan \phi_i (\theta_{i+1} - \theta_i) + \log_e \frac{\cos \theta_i (\tan \theta_i - \tan \phi_i)}{\cos \theta_{i+1} (\tan \theta_{i+1} - \tan \phi_i)}] \quad (34)$$

Dimana

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{Z_i}{x_i} \quad (35)$$

$$\phi_i = \tan^{-1} \frac{Z_{i+1} - Z_i}{x_{i+1} - x_i} \quad (36)$$

$$\theta_{i+1} = \tan^{-1} \frac{Z_{i+1}}{x_{i+1}} \quad (37)$$

$$a_i = x_{i+1} + Z_{i+1} \frac{x_{i+1} - x_i}{Z_i - Z_{i+1}} \quad (38)$$

Untuk pemodelan 2D pada suatu poligon (Talwani, 1959).

3.11. Inverse Modelling

Inverse Modelling atau Pemodelan Inversi menurut Rahma dan Wahyudi pada tahun 2004, dijelaskan bahwa Pemodelan Inversi merupakan kebalikan dari Pemodelan Ke Depan dimana parameter model didapatkan langsung dari data. Dasarnya, pemodelan inversi merupakan proses mekanisme modifikasi model agar diperoleh kecocokan data perhitungan dengan data pengamatan yang dilakukan secara otomatis. Kesesuaian antara respon model dengan data pengamatan umumnya dinyatakan oleh suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Dalam kalkulus suatu fungsi mencapai minimum jika turunannya terhadap parameter atau variable yang tidak diketahui bernilai nol. Hal tersebut digunakan untuk memperkirakan parameter model.

Dalam pemodelan inversi gaya berat, blakely memodifikasi persamaan 2D milik talwani untuk pemodelan 3D yang mana ditunjukkan oleh Wulandari (2014) sebagai berikut:

$$\Delta g(x, y, z) = G \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\rho z dx dy dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \quad (39)$$

Dengan $\Delta g(x, y, z)$ adalah tarikan vertikal gravitasi di titik pada benda homogen, G adalah konstanta gravitasi, dan ρ adalah densitas batuan (Wulandari, 2014). Persamaan diatas merupakan persamaan pemodelan 3D secara *forward modelling*.

Menurut Yudistira dan Grandis dalam Rasimeng dkk. (2020) untuk mengubah persamaan 39 menjadi pemodelan inversi, digunakan perhitungan Matriks Kernel dimana grid pengukuran bersesuaian dengan titik tengah prisma yang terletak di permukaan. Jika data hanya terdapat di permukaan ($z = 0$) maka jumlah data adalah $N = n_x \times n_y \times 1$ dan jumlah parameter model adalah $M = n_x \times n_y \times n_z$, di mana n_x , n_y dan n_z masing-masing adalah jumlah grid dalam arah x , y dan z . Dengan menggunakan data di permukaan maka inversi linier purely *under-determined* ($N < M$) yang meminimumkan "norm" model menghasilkan model prisma m_e yang dapat berfungsi sebagai sumber ekuivalen 3D. Data pada level ketinggian tertentu ($z < 0$) diperoleh sebagai hasil kali sumber ekuivalen 3-D tersebut dengan matriks kernel untuk kontinuasi ke atas $\underline{G}^U$ sebagai berikut :

$$d^U = \underline{G}^U + m_e \quad (40)$$

Alternatif lain untuk proses kontinuitas adalah melalui filtering menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT), meskipun untuk itu diperlukan cakupan data yang cukup luas.

Kontinuitas ke atas dilakukan pada sejumlah level ketinggian yang lebih besar dari pada jumlah prisma dalam arah vertikal. Dengan demikian, gabungan data di permukaan dan hasil kontinuitas ke atas menghasilkan data dengan jumlah yang lebih besar dari pada jumlah parameter model ($N > M$). Permasalahan inversinya bersifat *over-determined* sehingga solusi inversi dinyatakan oleh :

$$\hat{m} = [\underline{G}^U + \underline{G}^T]^{-1} \underline{G}^T d \quad (41)$$

di mana matriks kernel $\underline{G}$ pada persamaan di atas sudah melibatkan keseluruhan data atau data dalam ruang 3-D (Yudistira dan Grandis dalam Rasimeng, 2020). Maka dari itu, akan didapatkan nilai ρ , z dan koordinat xyz dari model.

3.12. Tie-line Levelling

Tie-line levelling adalah sebuah teknik yang digunakan untuk menyesuaikan data setiap lintasan dimana lintasan-lintasan utama dengan lintasan pengikat (*cross line*) dititik yang sama akan memiliki nilai yang sama ketika berpotongan. Metode tersebut diterapkan terhadap data magnet, akan tetapi prosedur yang sama dapat diterapkan terhadap data lain yang memiliki tipe data sama yaitu memiliki perbedaan karena pengaruh perbedaan waktu pengukuran. Jika pengamatan data dilakukan saat survey lapangan, data lapangan sudah seharusnya dikoreksi terhadap perubahan waktu pengukuran. Idealnya, setelah koreksi base station dilakukan, data survey tidak membutuhkan koreksi leveling lainnya. Akan tetapi data tidak selalu seragam terutama untuk area yang luas, sehingga *Tie-line leveling* masih dibutuhkan.

Tie-line leveling pada dasarnya memiliki dua tahapan. Pertama, lintasan-lintasan pengikat (*tielines*) di level berdasarkan asumsi bahwa rata-rata perbedaan antara tie line dengan seluruh lintasan utama yang berpotongan dengannya

memberikan sebuah nilai koreksi level awal. Hal ini mengasumsikan bahwa ada nilai yang tepat dari *crossing lines* yang merepresentasikan perataan statistik terhadap variasi waktu sepanjang lintasan. Lebih jauh asumsi ini menunjukkan bahwa *tie line* hanya memiliki sebuah *base level*. Kedua, seluruh lintasan survey dikoreksi sehingga diharapkan memiliki nilai anomali yang cocok saat disetiap perpotongan lintasan (Sahudin dan Subarsyah, 2012).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada:

Tempat : Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Data Geofisika
Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Alamat : Jl.Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Gedong Meneng
Kec.Rajabasa, Rajabasa, Kota Bandar Lampung,
Lampung 35142.

Tanggal : 1 Juli – 10 November 2022

4.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data .DAT SBA *marine gravity*
2. Laptop
3. *Microsoft Word*
4. *Microsoft Excel*
5. *Notepad*

4.3. Jadwal Penelitian

Tabel jadwal pelaksanaan Tugas Akhir yang dilaksanakan di Lab Teknik Geofisika Universitas Lampung dapat dilihat pada Tabel 3. di bawah ini.

Tabel 3. Tabel Jadwal Penelitian

No.	Kegiatan	Jul	Agu				Sep	Okt				Nov	
			1	2	3	4		1	2	3	4	1	2
1	Studi Literatur												
2	Pengolahan Data												
3	Penyusunan Proposal Usul												
4	Bimbingan Usul												
5	Seminar Usul												
6	Penyusunan Laporan Hasil												
7	Seminar Hasil												
8	Revisi												
9	Sidang Komprehensif												

4.4. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan data-data pada tahap awal yang berhubungan dengan teori dasar dan tinjauan anomali. Hal ini dilakukan untuk mempermudah penelitian. Pada tahap ini dipelajari tentang stratigrafi serta struktur geologi regional pada daerah penelitian, pengolahan data gaya berat menggunakan software Microsoft Excel, Grablox, dan Oasis Montaj.

2. Pengolahan Data

Data yang diolah pada penelitian ini adalah data sekunder yang didapatkan dari P3GL. Data yang didapat berupa *Simple Bouguer Anomaly* (SBA). Karena di pengukuran di laut tidak dibutuhkan koreksi

terrain, maka data anomali yang dipakai untuk pengolahan selanjutnya adalah SBA. Sebelum dilakukan analisis anomali, dilakukan filter *Levelling* pada data anomali untuk menghilangkan efek nilai yang sama pada *tie-lines* pengukuran *marine gravity*. Tahap selanjutnya adalah analisis anomali. Analisis anomali bertujuan untuk mengestimasi nilai kedalaman suatu anomali dan untuk mengetahui lebar jendela optimal yang akan digunakan untuk pemisahan anomali regional dan residual. Analisis anomali dilakukan dengan transformasi Fourier dari lintasan yang telah ditentukan. Lebar jendela yang digunakan adalah 21.

Setelah didapat anomali residual dan regional dari proses *filtering moving average*, maka dilakukan analisis derivatif untuk menentukan struktur patahan. Pada metode *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) dilakukan identifikasi keberadaan patahan. Peta kontur SVD dibuat berdasarkan prinsip dasar dan anomali perhitungan oleh Henderson & Zietz (1949), Elkins (1951), dan Rosenbach (1953). Dalam penelitian kali ini, digunakan filter Elkins yang dianggap filter terbaik dibanding filter lainnya. Tabel 2 menunjukkan filter Elkins (1951) yang dipakai.

3. Pemodelan 3D dan 2D

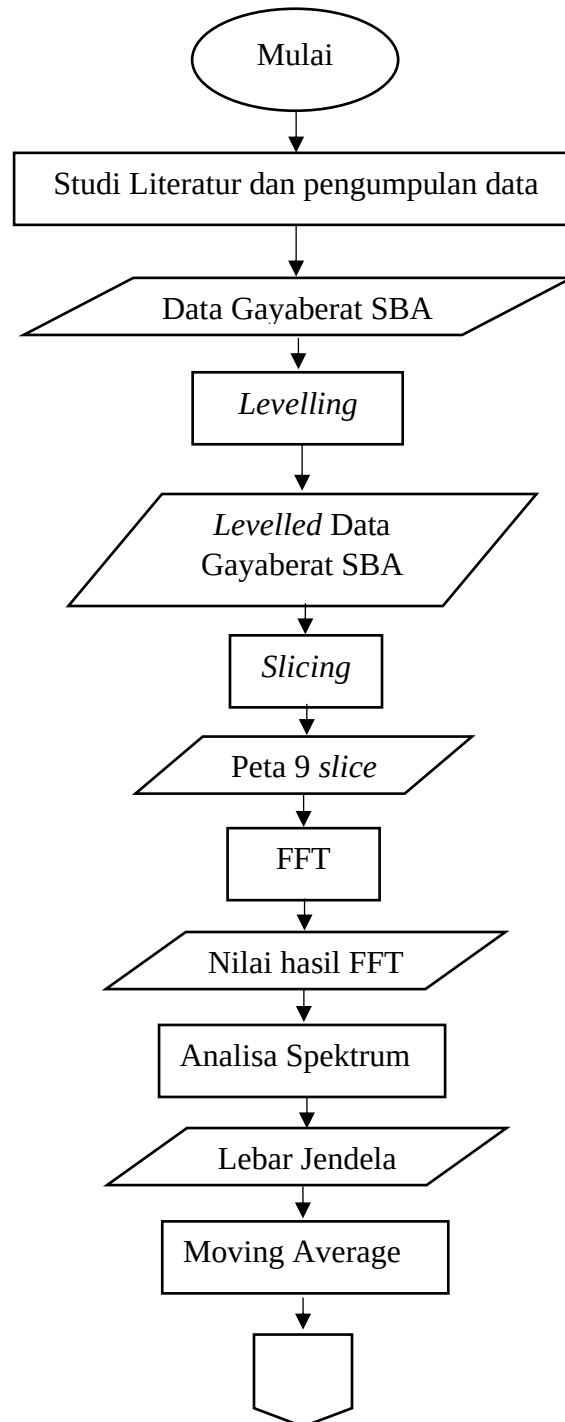
Pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan *software* Grablox. Langkah awal adalah memasukan nilai batas data dan spasi pada grablox untuk membuat *mesh* model. Selanjutnya adalah memasukan data kedalam grablox yang sudah diubah jaraknya dari meter menjadi kilometer. Lalu dilakukan inversi 3D sehingga dihasilkan model 3D densitas xyz, yang selanjutnya dapat di *import* ke Oasis Montaj untuk *slicing* 3D. Untuk pemodelan 2D, dilakukan dengan melakukan *slicing* pada Model 3D.

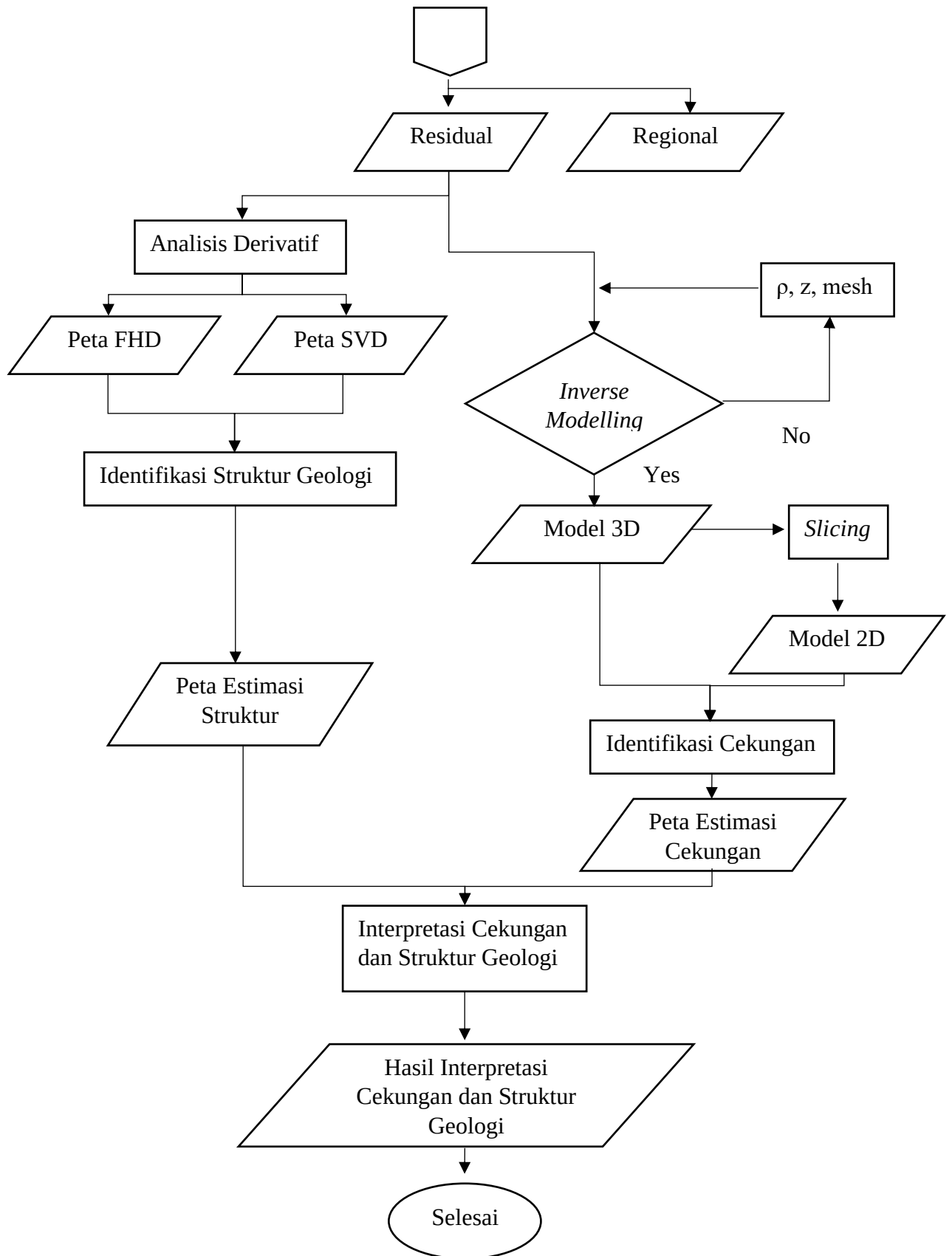
4. Interpretasi

Interpretasi dilakukan pada *overlay* kurva SVD, FHD, penampang 2D dan *slicing* 3D untuk melihat struktur dengan menganalisa kurva SVD dan FHD terhadap *slicing* 3D densitas dan penampang 2D yang dibuat.

4.5. Diagram Alir

Berdasarkan prosedur penelitian di atas, maka tahapan dapat di buat menjadi diagram alir pada Gambar 12 berikut ini.





Gambar 12. Diagram alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Anomali Bouguer yang didapat memiliki rentang antara -4,1 hingga 59,1 mGal. Anomali rendah ditandai dengan warna biru - biru tua antara 7,16 hingga -1,017 mGal, anomali antara rendah dan tinggi ditandai dengan warna hijau muda-kuning dengan rentang nilai 13,1 hingga 22,7 mGal, serta anomali tinggi yang ditandai dengan warna merah-ungu dengan rentang nilai 34,5 hingga 42,2 mGal. Dimana nilai anomali tinggi berhubungan dengan batas kontak lapisan dan juga struktur.
2. Struktur geologi yang terbentuk menunjukkan adanya kemungkinan bahwa mayoritas patahan daerah penelitian merupakan patahan minor dari *Waipoga Fault* dan Komplemen *Yapen Fault Zone*.
3. Cekungan yang teridentifikasi merupakan perpanjangan dari Cekungan Irian Utara pada bagian barat dan merupakan bagian dari *depocenter* Cekungan Waropen atau Cekungan Irian Utara. Pemodelan 3D anomali residual menghasilkan model densitas yang di komparasi dengan analisis derivatif menunjukkan adanya jebakan berupa *fault trap*, selain itu dapat di prediksi bahwa *seal rock* cekungan sedimen yang ada berupa *marine shale* dimana merupakan bagian formasi Membramo periode Pliosen hingga Pleistosen, sedangkan batuan reservoir berupa *sand* yang merupakan bagian Formasi

Membramo atau Makats periode Miosen Tengah hingga Miosen Akhir pada kedalaman 1500 m.

6.2. Saran

Adapun saran dalam penelitian adalah dilakukannya metode geofisika eksplorasi lain yang lebih detail pada area penelitian agar diketahui struktur geologi yang terbentuk dan meningkatkan akurasi serta konfirmasi zona prospek hidrokarbon sehingga kedepannya dapat dilakukan eksplorasi lanjutan berupa pengeboran pada area penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Babault, J., Viaplana-Muzas, M., Legrand, X., Driessche, J. V. D., Gonzalez-Quijano, M., dan Mudd, S. M. 2018. Source-to-Sink constraints on tectonic and sedimentary evolution of the Western Central Range and Cendrawasih Bay (Indonesia). *Journal of Asian Earth Sciences*
- Badan Informasi Geospasial. 2022. Peta Kabupaten Papua. di akses pada www.papua.go.id Pada Tanggal 20 Juli 2022
- Blakely, R. J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Firdaus, Y., Albab, A., Subarsyah, Kusnida, D., Rahardiawan, R., Setiadi, I., Zulivandama, S. R., Nainggolan, T. B., dan Nurdin. N. 2021. Acoustic and Geochemical evidence of shallow gas ditribution offshore Waropen Basin, Papua, Indonesia. *Bulletin of Geological Society of Malaysia*, Vol. 71, 113-123
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia. Jakarta.
- GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*). 2020. *Gridded Bathymetric Data*. IHO GEBCO.
- Harris, F. J. 1976. *Windows, Harmonic Analysis, and the Discrete Fourier Transform*. Naval Undersea Center, San Diego.

- Hinze, J. W., Frese, V. R. R. B., Saad, A. H. 2012. Gravity and Magnetic Exploration. Cambridge University. New York.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamental of Geophysics Second Editon*. Cambridge University Press. USA.
- McAdoo, R. L. dan Haebig, J.C. 1999. Tectonic Elements of the North Irian Basin. *Proceeding Indonesian Petroleum Association 27th Annual Convention & Exhibition*.
- Mamengko, D. V., Susanto, H., Musu, J. T., Yusriani, A. 2014. Potensi Hidrokarbon Cekungan Papua Utara berdasarkan Karakteristik Rembesan Minyak Sungai Teer. *Prosiding PIT IAGI JAKARTA 2014*
- Noble, R., Teas, P., Decker, J., McCullagh, T., Sebayang, D., dan Orange, D. 2016. Kofiau and Cendrawasih Bay Frontier Basin Exploration: From Joint Studies to Post-Drill Assessment. *Indonesia Petroleum Association 2016 Technical Symposium*.
- Purnomo, J., Koesuma, S., dan Yunianto, M. 2013. Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode *Moving average*, Polynomial, dan Inversion. *Indonesian Journal of Applied Physics*, Vol. 3, No. 10, 10 – 20.
- Rahma, M. dan Wahyudi. 2014. Pembentukan Karakter Melalui Aplikasi Sains (Pemodelan 3D Anomali Gravitasi Magma Gunungapi Merapi dengan Software Grablox, Bloxer dan Rockwork. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Karakter*, Vol. 1, No. 1.
- Rasimeng, S., Kadir, W.G.A., Grandis, H., Abdullah, I. C. 2013. Interpretation of Curie Point Depth and Thermal Gradient based on Magnetic Anomaly Data at Southern Sumatra Geothermal Area. *Prosiding Seminar Nasional Kebumian*, Vol. 3.
- Rasimeng, S. Tarigan, J. L., Ferucha, I. dan Robbani, M. A. 2020. Identification of geothermal reservoir based on 3d modeling of data anomaly magnetic residual reduction to pole in the region of geothermal prospect Villamasin East Oku.

Prosiding SEG International Exposition and 90th Annual Meeting 2020, 3407-3411.

Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Environment Geophysics*. John Wiley and Sons. Chichester

Robinson, E. S. dan Coruh, C. 1988. *Basic Exploration Geophysics*. John Wiley & Sons. Canada.

Sahudin dan Subarsyah. 2012. Penerapan Metoda Tie-Line Levelling pada Data Magnet Lapangan sebagai Alternatif Pengganti Koreksi Harian. *Jurnal Geologi Kelautan*, Vol. 10 No.3, 157-166.

Saibi, H. Nishijima, J. Ehara, S. dan Aboud, E. 2006. Integrated Gradient Interpretation Techniques for 2D and 3D Gravity Data Interpretation. *Earth Planet Spaces*, Vol. 58, 815-821.

Sarkowi, M. 2014. *Eksplorasi Gaya Berat*. Graha Ilmu, Yogyakarta.

Sarkowi, M. 2010. Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer. *Jurnal Sains MIPA*, Vol. 16, No.2, 111-118.

Sawitri, R. F. 2021. Identifikasi Daerah Prospek Reservoir Panasbumi Wai Selabung berdasarkan Analisis Data Gravity dan Korelasi Data Geologi-Magnetotellurik serta Data Geokimia. Universitas Lampung. Bandar Lampung. Skripsi

Setiadi, I., Setyanta. B., Widjono, B. S. 2010. Delineasi Cekungan Sedimen Sumatra Selatan berdasarkan Analisis Data Gayaberat. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, Vol. 20, No. 2, 93-106

Setyowidodo, I. dan Santosa, B. J. 2011. Analisis Seismogram Tiga Komponen Terhadap Moment Tensor Gempa Bumi di Manokwari Papua 03 Januari 2009. *Jurnal Neutrino*, Vol. 3 No. 2, 113-128.

Sipasulta, Y. R., Lumenta, S. M. A., Sompie, R. U. A. S. 2014. Simulasi Sistem Pengacak Sinyal dengan Metode FFT (Fast Fourier Transform). *E-Journal*

Teknik Elektro dan Komputer, 1-9.

Talwani, M., Worzel, J. L., dan Landisman, M. 1959. Rapid Gravity Computations for Two-Dimensional Bodies with Application to the Mendocino Submarine Fracture Zone. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 64, No. 1, 49-59.

Telford, W., Geldart, L.P. dan Sherrif, R.E. 1990. *Applied Geophysics, 2nd edition.*, Cambridge University Press. Cambridge.

Wulandari, I. F. Setiawan, A. 2015. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan 3D Purwokerto dan Sekitarnya berdasarkan Data Anomali Gravitasi Bouguer Lengkap. *Jurnal Fisika Indonesia*, Vol. 19, No. 57, 6-12.

Zaenudin, A., Sarkowi, M., dan Suharno. 2013. Pemodelan Sintetik Gradien Gayaberat untuk Identifikasi Sesar. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi V Lembaga Penelitian Universitas Lampung*.

Zaenudin, A., Dani, I., dan Amalia, N. 2020. Delineasi Sub-Cekungan Sorong berdasarkan Anomali Gayaberat. *Jurnal Geoelebes*, Vol. 4, No. 1, 14-22.

Zhang, S., Sandwell, D. T., Jin, T., dan Li, D. 2016. Inversion of Marine Gravity Anomalies over Southeastern China from Multi-Satellite Altimeter Vertical Deflections. *Internasional Journal of Applied Geophysics*, Vol. 12, No.14. 1-23

Zulfawati, L., Minardi, S., dan Angraini, L. M. 2019. Analisis Spektrum pada Data Gayaberat daerah Lombok Tengah dan Lombok Timur untuk menentukan Estimasi Ketebalan Sedimen. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika (JIPF)*, Vol. 6 No. 1, 34-44