

**DELINEASI SUB-CEKUNGAN SEDIMEN DAN
IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA WILAYAH PULAU
MADURA MENGGUNAKAN ANALISIS GAYABERAT**

(Skripsi)

Oleh

**Mila Wahdini
1815051016**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**DELINEASI SUB-CEKUNGAN SEDIMEN DAN
IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA WILAYAH PULAU
MADURA MENGGUNAKAN ANALISIS GAYABERAT**

Oleh
MILA WAHDINI

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

DELINEASI SUB-CEKUNGAN SEDIMEN DAN IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA WILAYAH PULAU MADURA MENGGUNAKAN ANALISIS GAYABERAT

Oleh

MILA WAHDINI

Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menggambarkan struktur geologi bawah permukaan dan sub-cekungan berdasarkan variasi medan gravitasi bumi akibat perbedaan rapat massa. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengidentifikasi sub-cekungan sedimen dan struktur bawah permukaan di Cekungan Jawa Timur Utara wilayah Pulau Madura dengan analisis gayaberat yaitu dengan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD), *First Horizontal Derivative* (FHD), *2D Forward Modelling*, dan *3D Inverse Modelling*. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa adanya patahan berupa patahan naik dan turun yang diperkirakan menjadi batas sub cekungan yang diisi oleh beberapa formasi yaitu Aluvium, Pamekasan, Pasean, Madura, Ngrayong, dan Tawun. Selain itu, diidentifikasi terdapat 4 sub cekungan pada daerah penelitian diantaranya adalah Sub Cekungan Baratsungai, Sub Cekungan Kopang, Sub Cekungan Panglemah, dan Sub Cekungan Mundung. Dimana zona sub-cekungan dapat digunakan sebagai zona pembentukan minyak dan gas yang membuat minyak dan gas ini mengalami pematangan.

Kata kunci: Gayaberat, Patahan, Sub Cekungan, Madura

ABSTRACT

SEDIMENT SUB-BASIN DELINEATION AND IDENTIFICATION OF SURFACE STRUCTURES OF THE NORTH EAST JAVA BASIN IN THE MADURA ISLAND AREA USING GRAVITY ANALYSIS

By

MILA WAHDINI

The gravity method is one of the geophysical methods used to describe subsurface and sub-basin geological structures based on variations in the Earth's gravitational field due to differences in mass density. This study was conducted with the aim of identifying sub-surface sedimentary sub-basins and subsurface structures in the North East Java Basin in the Madura Island region by means of gravity analysis, namely Second Vertical Derivative (SVD), First Horizontal Derivative (FHD), 2D Forward Modeling, and 3D Inverse Modeling analysis. From the results of the study it was found that there were faults in the form of up and down faults which were thought to be the boundaries of the sub-basin filled by several formations namely Alluvium, Pamekasan, Pasean, Madura, Ngrayong, and Tawun. In addition, it was identified that there were 4 sub-basins in the study area including the Barat-Sungai Sub-Basin, Kopang Sub-Basin, Panggulung Sub-Basin, and Mundung Sub-Basin. Where the sub-basin zone can be used as an oil and gas formation zone which makes this oil and gas mature.

Keywords: Gravity, Fault, Sub Basin, Madura

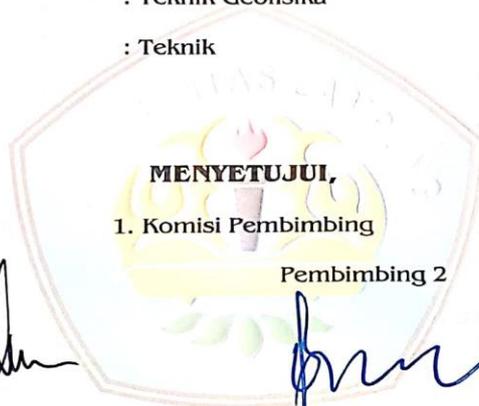
Judul Skripsi : **DELINEASI SUB-CEKUNGAN SEDIMEN
DAN IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH
PERMUKAAN CEKUNGAN JAWA TIMUR
UTARA WILAYAH PULAU MADURA
MENGUNAKAN ANALISIS GAYABERAT**

Nama Mahasiswa : **Mila Wahdini**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815051016

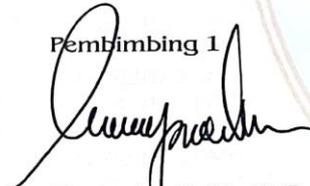
Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



MENYETUJUI,
1. Komisi Pembimbing

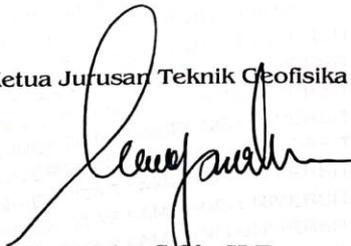
Pembimbing 1


Karyanto, S.Si., M.T.
NIP. 19691230 199802 1001

Pembimbing 2


Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si.
NIP. 19720626 200012 1001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika


Karyanto, S.Si., M.T.
NIP. 19691230 199802 1001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Karyanto, S.Si., M.T.

Sekretaris : Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si.

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

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. J
NIP. 19750928 200112 1002

.....

.....

.....

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 24 Januari 2023

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, 06 Februari 2023



Mila Wahdini

1815051016

RIWAYAT HIDUP



MILA WAHDINI, dilahirkan di Tangerang, Banten pada tanggal 23 Desember 1999. Anak pertama dari pasangan Ayahanda Yakub Medi dan Ibunda Widarningsih. Penulis juga merupakan kakak dari adik yang bernama Erwin Ismail. Penulis menempuh pendidikan dimulai sejak Taman Kanak-kanak (TK) Puspa Widya di Kabupaten Tangerang yang diselesaikan pada tahun 2006. Pendidikan Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri Kutajaya I, Kabupaten Tangerang pada tahun 2012. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMP Negeri 1 Sepatan, Kabupaten Tangerang pada tahun 2015. Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMAN 11 Kabupaten Tangerang pada tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Lampung, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Geofisika. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa organisasi pada tahun 2020 hingga 2021 seperti menjadi anggota Bidang Sosial Budaya Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (Hima TG Bhuwana), Bendahara Umum SM-IAGI SC Unila, Badan Pengawas Komisi Legislasi Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) Wilayah I, Kepala Departement Education and Creative AAPG SC Unila. Pada tahun 2021 penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. Lampung Geosains Survey dengan Judul “Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) Konfigurasi *Schlumberger* Untuk Identifikasi Akuifer Air Tanah Di Kabupaten Pesawaran”. Hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya dengan skripsi yang berjudul **“DELINEASI SUB-CEKUNGAN DAN IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA WILAYAH PULAU MADURA MENGGUNAKAN ANALISIS GAYABERAT”**.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT, atas berkat, rahmat serta karunia-Nya atas telah selesainya skripsi ini dengan lancar dan baik, Skripsi ini saya persembahkan untuk:

BAPAK DAN IBU TERCINTA

YAKUB MEDI

&

WIDARNINGSIH

Orang tua yang sangat saya sayangi, yang selalu memberikan dukungan, semangat, kasih sayang, motivasi, doa, pengorbanan dan segala yang diberikan tiada hentinya untuk penulis. Mungkin penulis tidak akan bisa membalas semua kasih sayang dan pengorbanan yang telah diberikan ibu dan bapak namun penulis selalu berdoa semoga ibu dan bapak sehat dan bahagia selalu, dilimpahi karunia tiada henti, tetap menjadi sahabat terbaik penulis dan tetap disisi hingga akhir hayat. Penulis akan selalu berusaha menjadi anak yang dapat membanggakan keluarga. Terima kasih bu, pak. Kalian berhasil menjadi orang tua yang terbaik untukku.

ADIK TERCINTA

ERWIN ISMAIL

Adik tercinta yang sangat saya sayangi, terima kasih atas dukungan, doa, dan segalanya yang telah adik berikan kepada penulis, maaf hanya bisa penulis sampaikan karena belum bisa menjadi kakak yang baik untuk adik. Semoga dedek bisa menjadi anak yang sholeh, sukses dan sama-sama membahagiakan ibu dan bapak. Terima kasih telah lahir dan menjadi adik untuk mbak ya dek.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul **“DELINEASI SUB-CEKUNGAN SEDIMEN DAN IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA WILAYAH PULAU MADURA MENGGUNAKAN ANALISIS GAYABERAT”** penulisan skripsi ini bertujuan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam proses penyusunan skripsi ini. Serta penulis menyadari banyaknya kekurangan dalam penyusunan skripsi ini dikarenakan terbatasnya pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki oleh penulis. Untuk itu penulis mengharapkan kesediaannya untuk memberikan saran dan kritik yang dapat membangun sebagai bahan evaluasi kedepannya.

Akhir kata penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan pembaca baik dari kalangan akademisi maupun umum dalam pengembangan keilmuan dikemudian hari.

Bandar Lampung, 06 Februari 2023
Penulis



Mila Wahdini
NPM. 1815051016

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah serta karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi dengan judul **“Delineasi Sub-Cekungan Dan Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Cekungan Jawa Timur Utara Wilayah Pulau Madura Menggunakan Analisis Gayaberat”** merupakan salah satu syarat bagi penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan

Penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tersayang yang selalu menjadi kebanggaan dan kekuatan hidup penulis Bapak Yakub Medi dan Ibu Widarningsih serta adik tercinta saya Erwin Ismail yang telah banyak memberikan dukungan, kekuatan, mencintai dan menyayangi dengan sepenuh hati.
2. Bapak Ahmad Setiawan, S.T., M.T., selaku Pembimbing Tugas Akhir di Pusat Survei Geologi Bnadung yang telah banyak berdiskuasi serta membantu memberikan arahan, masukan dan bimbingan selama pelaksanaan Tugas Akhir kepada penulis.
3. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika dan dosen Pembimbing I skripsi yang telah memberikan arahan, bimbingan, koreksi selama proses pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si. selaku dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, bimbingan, koreksi, dan saran selama proses pengerjaan skripsi in.

5. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya serta senantiasa memberikan saran dan masukan pada skripsi ini.
6. Segenap dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati dan terima kasih untuk semua ilmu yang diberikan.
7. Keluarga Teknik Geofisika 2018 “TGasak” terimakasih sudah berbagi cerita, kebersamaan, pengalaman, suka, dan duka selama perkuliahan ini. Sukses untuk semuanya.
8. Teman seperjuangan selama melaksanakan Tugas Akhir, Pitry dan Okta yang telah menjadi teman diskusi penulis selama pengerjaan skripsi ini.
9. Sahabat-sahabat kontrakan tersayang Fira, Pitboy, Berlian, Rima, Rafika, Prita, Eno yang telah menjadi tempat berdiskusi dan memberi banyak dukungan.
10. Sahabat terbaikku *wannalast* Namira, Windi, Nadiya, Vika, Amy, Nengnovi, dan Nurul yang sudah menjadi teman berbagi cerita selama kuliah ini.
11. Sahabat-sahabat terbaikku Indah, Lesta, Syah, dan Pipia yang selalu memerhatikan dan membantu saya meskipun jarak jauh.
12. Segenap para idolaku, EXO dan Lee Haechan, yang karya-karyanya selalu memotivasi, menginspirasi, menyemangati, dan menghibur penulis agar terus bersemangat menyelesaikan skripsi ini.
13. Serta semua pihak yang terlibat, penulis mengucapkan banyak terima kasih.
14. Untuk diriku terima kasih sudah berjuang selama perkuliahan yang penuh suka duka ini, terima kasih sudah kuat dan sabar, terima kasih sudah menjadi orang yang berani dan mandiri. Kamu keren dan hebat Mila.
15. “*Being Grateful Or Giving Thanks Is One The Keys To Happiness*”
–Mark Lee

Bandar Lampung, 06 Februari 2023
Penulis



Mila Wahdini
NPM. 1815051016

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERSETUJUAN	v
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Peta Lokasi Daerah Penelitian	4
2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian	5
2.3 Stratigrafi Daerah Penelitian	6
2.4 Fisiografi Daerah Penelitian	8
2.5 Petroleum System Cekungan Jawa Timur Utara	10
2.6 Penelitian Sebelumnya	11

III. TEORI DASAR	15
3.1 Metode Gayaberat	15
3.2 Prinsip Dasar Gayaberat (<i>Gravity</i>)	16
3.2.1 Hukum Gravitasi Newton	16
3.2.2 Percepatan Gravitasi (Hukum Newton II)	16
3.2.3 Potensial Gayaberat (Gravitasi)	17
3.2.4 Rapat Massa Batuan	18
3.3 Anomali Bouger	19
3.4 Analisis Spektrum	20
3.5 Pemisahan Anomali Regional dan Residual	22
3.5.1 <i>Butterworth Filter</i>	23
3.5.2 <i>Bandpass Filter</i>	24
3.6 Metode <i>First Horizontal Derivative</i> (FHD)	24
3.7 Metode <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD)	25
3.8 <i>Forward Modelling</i> dan <i>Inverse Modelling</i>	27
3.8.1 <i>Forward Modelling</i>	27
3.8.2 <i>Inverse Modelling</i>	27
3.9 Minyak dan Gas Bumi.....	28
3.9.1 Cekungan Sedimen	29
3.9.2 <i>Petroleum System</i>	29
IV. METODOLOGI PENELITIAN	30
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	30
4.2 Alat dan Bahan	33
4.3 Prosedur Penelitian	33
4.4 Diagram Alir.....	37
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
5.1 Anomali Bouguer Lengkap	38
5.2 Analisis Spektrum	41
5.3 Anomali Regional	45
5.4 Anomali Residual	47
5.5 <i>First Horizontal Derivative</i> (FHD)	49
5.6 <i>Second Horizontal Derivative</i> (SVD).....	51

5.7 Analisis <i>Derivative</i>	53
5.8 <i>Forward Modelling</i> 2D	66
5.8.1 Model Struktur Bawah Permukaan Hasil <i>Forward Modelling</i> Lintasan 1	66
5.8.2 Model Struktur Bawah Permukaan Hasil <i>Forward Modelling</i> Lintasan 2	68
5.8.3 Model Struktur Bawah Permukaan Hasil <i>Forward Modelling</i> Lintasan 3	70
5.8.4 Model Struktur Bawah Permukaan Hasil <i>Forward Modelling</i> Lintasan 4	72
5.8.5 Model Struktur Bawah Permukaan Hasil <i>Forward Modelling</i> Lintasan 5	74
5.9 <i>Inverse Modelling</i> 3D	76
5.9.1 Analisis Model Struktur Bawah Permukaan Hasil Pemodelan Forward dan Model Slicing 3D Penampang <i>Inverse Modelling</i> Lintasan 1 ...	78
5.9.2 Analisis Model Struktur Bawah Permukaan Hasil Pemodelan Forward dan Model Slicing 3D Penampang <i>Inverse Modelling</i> Lintasan 2 ...	80
5.9.3 Analisis Model Struktur Bawah Permukaan Hasil Pemodelan Forward dan Model Slicing 3D Penampang <i>Inverse Modelling</i> Lintasan 3 ...	82
5.9.4 Analisis Model Struktur Bawah Permukaan Hasil Pemodelan Forward dan Model Slicing 3D Penampang <i>Inverse Modelling</i> Lintasan 4 ...	84
5.9.5 Analisis Model Struktur Bawah Permukaan Hasil Pemodelan Forward dan Model Slicing 3D Penampang <i>Inverse Modelling</i> Lintasan 5 ...	86
5.10 Identifikasi Sub Cekungan.....	88
VI. KESIMPULAN	90
6.1 Kesimpulan	91
6.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi daerah penelitian	4
2. Peta geologi daerah penelitian	5
3. Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara	8
4. Fisiografi Jawa Timur Utara	9
5. Gaya tarik menarik antara dua benda	16
6. Kurva $\ln A$ Terhadap K	22
7. <i>Butterworth Filter</i>	23
8. <i>Bandpass Filter</i>	24
9. Peta Cekungan Sedimen Indonesia	28
10. <i>Butterworth Filter</i> untuk memperoleh anomali regional	35
11. <i>Bandpass Filter</i> untuk memperoleh anomali residual	35
12. Diagram alir	37
13. Peta anomali bouguer lengkap daerah penelitian	40
14. Grafik $\ln P$ terhadap K data penelitian.....	44
15. Estimasi kedalaman dari <i>software Oasis Montaj</i>	44
16. Peta anomali regional daerah penelitian	46
17. Peta anomali residual daerah penelitian	48
18. Peta <i>first horizontal derivative</i> daerah penelitian	50
19. Peta <i>second vertical derivative</i> daerah penelitian	52
20. Peta lintasan analisis <i>derivative</i> daerah penelitian	54
21. Peta lintasan analisis <i>derivative</i> berdasarkan peta geologi daerah penelitian .	55
22. Grafik analisis derivative lintasan 1	57
23. Grafik analisis derivative lintasan 2	59
24. Grafik analisis derivative lintasan 3	61

25. Grafik analisis derivative lintasan 4	63
26. Grafik analisis derivative lintasan 5	65
27. <i>Forward modelling</i> lintasan 1	67
28. <i>Forward modelling</i> lintasan 2	69
29. <i>Forward modelling</i> lintasan 3	71
30. <i>Forward modelling</i> lintasan 4	73
31. <i>Forward modelling</i> lintasan 5	75
32. Hasil <i>inverse modelling</i> 3D	77
33. (a) Profil anomali residual pada lintasan 1; (b) Model bawah permukaan pada lintasan 1 hasil <i>forward modelling</i> ; (c) Model bawah permukaan pada lintasan 1 hasil <i>inverse modelling</i>	79
34. (a) Profil anomali residual pada lintasan 2; (b) Model bawah permukaan pada lintasan 2 hasil <i>forward modelling</i> ; (c) Model bawah permukaan pada lintasan 2 hasil <i>inverse modelling</i>	81
35. (a) Profil anomali residual pada lintasan 3; (b) Model bawah permukaan pada lintasan 3 hasil <i>forward modelling</i> ; (c) Model bawah permukaan pada lintasan 3 hasil <i>inverse modelling</i>	83
36. (a) Profil anomali residual pada lintasan 4; (b) Model bawah permukaan pada lintasan 4 hasil <i>forward modelling</i> ; (c) Model bawah permukaan pada lintasan 4 hasil <i>inverse modelling</i>	85
37. (a) Profil anomali residual pada lintasan 5; (b) Model bawah permukaan pada lintasan 5 hasil <i>forward modelling</i> ; (c) Model bawah permukaan pada lintasan 5 hasil <i>inverse modelling</i>	87
38. Peta dugaan sub cekungan dari anomali residual penelitian	89

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai Densitas Batuan	18
2. Koefisien Filter SVD	26
3. Pelaksanaan Kegiatan Penelitian	32
4. Hasil <i>Radial Average Spectrum</i>	41

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki aktivitas vulkanik dan tektonik yang cukup tinggi. Aktivitas ini disebabkan oleh daerah Indonesia yang terletak pada tiga zona lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan lempeng Samudera Pasifik (Katili, 1973). Interaksi ketiga lempeng tersebut mengakibatkan munculnya gunung berapi, patahan dan cekungan sedimen di wilayah Indonesia. Cekungan sedimen merupakan suatu depresi yang menjadi tempat berkumpulnya endapan sedimen dan tempat terakumulasinya cadangan gas dan minyak bumi. Salah satu cekungan sedimen yang mempunyai potensi cadangan gas dan minyak bumi adalah Cekungan Jawa Timur Utara, hal ini terlihat dari peta cekungan sedimen yang berhasil memetakan jumlah cekungan sedimen berdasarkan data-data geologi dan geofisika, yakni kurang lebih ada 128 cekungan sedimen yang mempunyai potensi cadangan minyak dan gas bumi (Badan Geologi, 2009).

Daerah Cekungan Jawa Timur Utara telah dilakukan penelitian sebelumnya oleh Azhary dkk (2019) dengan metode gayaberat yang bertujuan untuk mengetahui pola sub-cekungan yang berpotensi minyak dan gas bumi di Cekungan Jawa Timur Utara yang mencakup wilayah Tuban, Rembang, Blora, Bojonegoro, Lamongan, Gresik, Sidoarjo, Mojokerto, Jombang, Madiun dan Ngawi. Selain itu, terdapat penelitian Firdaus dan Setianto (2018) yang melakukan analisis struktur geologi permukaan berdasarkan data Citra Landsat 8 dan SRTM di Cekungan Jawa Timur Utara, Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan maka

penulis bermaksud melakukan penelitian lebih lanjut menggunakan metode gayaberat dengan berfokus di wilayah Pulau Madura.

Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk tahapan awal dalam eksplorasi minyak dan gas yaitu dengan menggambarkan struktur geologi bawah permukaan dan sub-cekungan berdasarkan variasi medan gravitasi bumi akibat perbedaan rapat massa batuan (Ningrum dkk, 2011).

Pada penelitian ini yaitu dilakukan analisis *derivative* berdasarkan data gayaberat serta pemodelan struktur geologi bawah permukaan 2D dan 3D untuk mengidentifikasi struktur patahan dan gambaran sebaran sub-cekungan sedimen di cekungan Jawa Timur Utara wilayah Pulau Madura.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi patahan menggunakan metode *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD).
2. Mendapatkan model bawah permukaan daerah Pulau Madura berdasarkan 3D *inverse modelling* dan 2D *forward modelling*.
3. Mengidentifikasi sub cekungan Jawa Timur Utara wilayah Pulau Madura berdasarkan analisis struktur patahan dan pemodelan gayaberat.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder gayaberat yakni peta anomali bouguer di daerah Pulau Madura dan sekitarnya yang telah diukur oleh Pusat Survei Geologi Bandung.
2. Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan *butterworth filter* dan *bandpass filter*.
3. Penerapan metode FHD dan SVD berdasarkan peta anomali residual untuk melihat struktur bawah permukaan pada daerah Pulau Madura.

1.4. Manfaat Penelitian

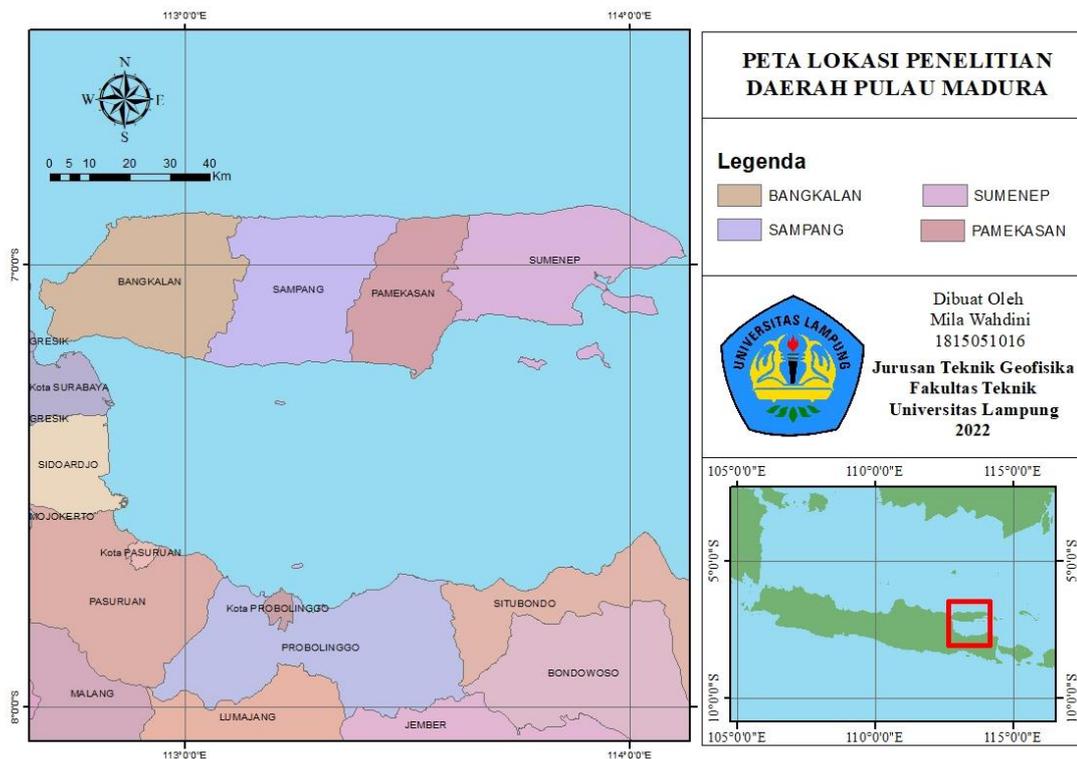
Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai gambaran litologi serta model bawah permukaan pada daerah Pulau Madura berdasarkan data gayaberat.
2. Mengetahui sebaran sub-cekungan dan sistem patahan cekungan Jawa Timur wilayah Pulau Madura berdasarkan analisis gayaberat untuk digunakan sebagai tahap awal menemukan potensi minyak dan gas yang baru.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Daerah Penelitian

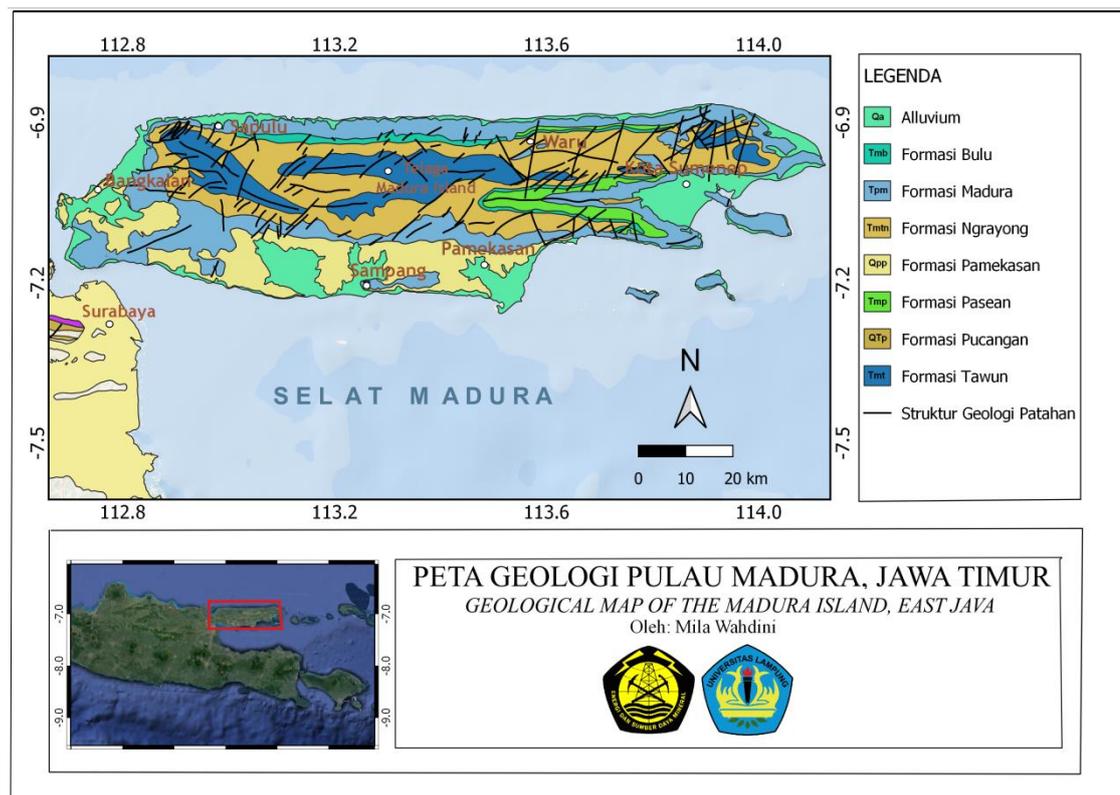
Lokasi daerah penelitian berada di Pulau Madura yang dibatasi oleh koordinat $7^{\circ}03' - 6^{\circ}05'$ LS dan $112^{\circ}40' - 114^{\circ}07'$ BT. Daerah penelitian ini termasuk ke dalam zona 49S. Daerah penelitian pada wilayah tersebut termasuk daerah Bangkalan, Sampang, Pamekasan, Sumenep, dan wilayah lainnya di Pulau Madura.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

2.2. Geologi Regional Daerah Penelitian

Adapun **Gambar 2** merupakan peta geologi daerah penelitian yang terletak di Pulau Madura. Adapun daerah penelitian tersusun dari formasi-formasi yang dapat dilihat dengan menggunakan Peta Geologi Lembar Surabaya-Sapulu, Lembar Tanjungbumi-Pamekasan, dan Lembar Waru-Sumenep. Tataan stratigrafinya dari tua ke muda adalah Formasi Tawun (Tmt) yang berumur miosen awal. Lalu di atasnya terdapat Formasi yang berumur miosen tengah yaitu Formasi Ngrayong (Tmtn) dan Formasi Bulu (Tmb). Selanjutnya adalah Formasi Pasean (Tmp) yang berumur miosen akhir. Lalu di atasnya diendapkan Formasi Madura (Tpm) dan Formasi Pucangan (QTp) yang berumur pliosen. Selanjutnya terdapat Formasi Pamekasan (Qpp) yang berumur pleistosen. Selanjutnya adalah formasi paling atas atau paling muda yaitu Formasi Aluvium (Qa) yang berumur holosen.



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian (Modifikasi dari Sukardi, 1992., Azis dkk, 1992., Situmorang dkk, 1992)

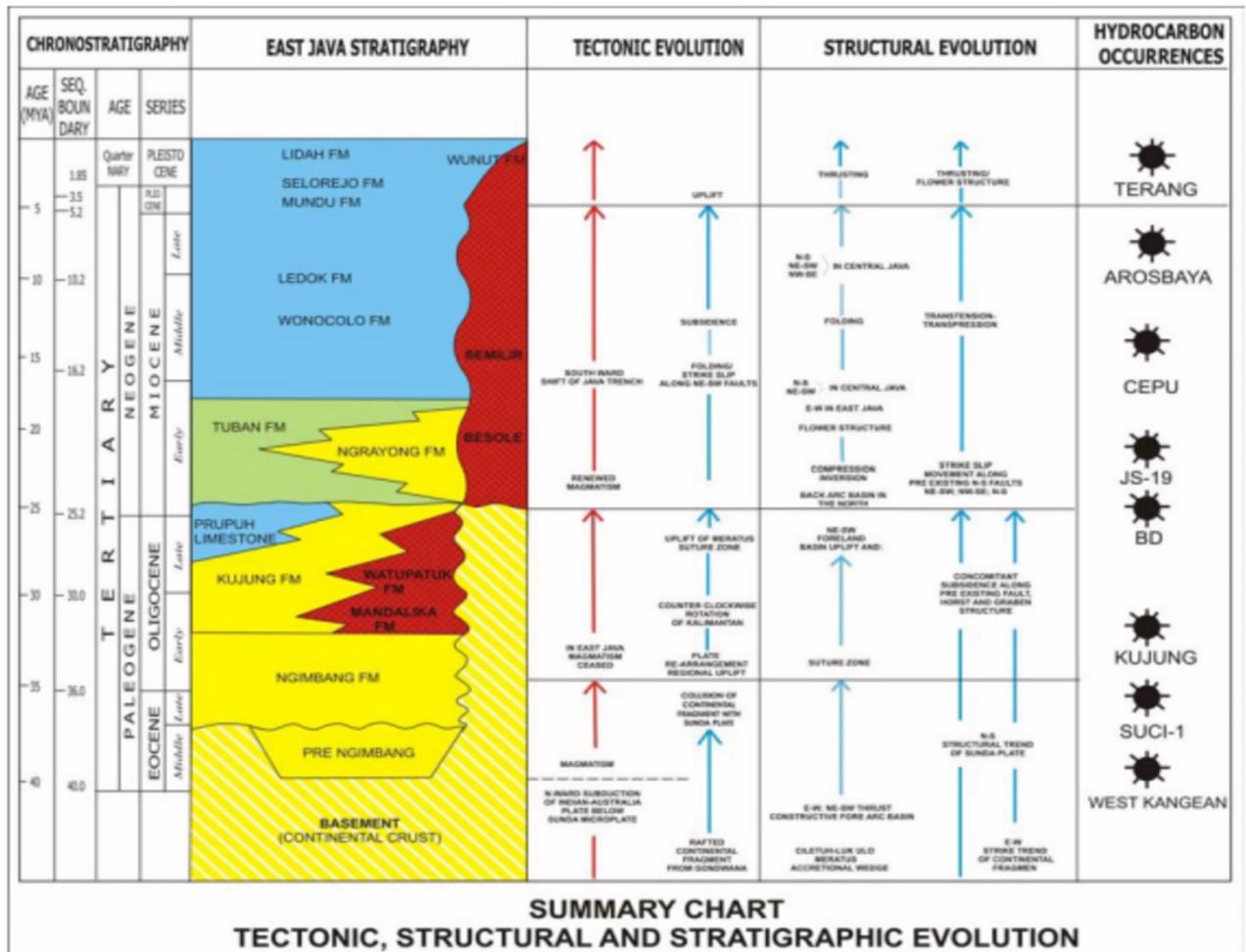
Berdasarkan Peta Geologi Lembar Surabaya-Sapulu (Sukardi, 1992), Lembar Tanjungbumi-Pamekasan (Aziz dkk, 1992), dan Lembar Waru-Sumenep (Situmorang dkk, 1992) terdapat formasi-formasi pada daerah penelitian sebagai berikut:

1. Formasi Tawun (Tmt)
Formasi ini terdiri dari batulempung sisipan batupasir, batugamping dan konglomerat.
2. Formasi Ngrayong (Tmtn)
Formasi ini terdiri dari batupasir sisipan batulempung, napal dan batugamping.
3. Formasi Bulu (Tmb)
Formasi ini terdiri dari perselingan batugamping dan napal.
4. Formasi Madura (Tpm)
Formasi ini terdiri dari batugamping pasiran dengan sisipan napal dan batugamping terumbu pejal.
5. Formasi Pasean (Tmp)
Formasi ini terdiri dari perselingan serpih pasiran dengan batugamping lempungan dan batugamping pasiran.
6. Formasi Pucangan (QTp)
Formasi ini terdiri dari batupasir tufan, bersisipan konglomerat dan batulempung.
7. Formasi Pamekasan (Qpp)
Formasi ini terdiri dari batulempung, batupasir, batugamping, dan konglomerat.
8. Formasi Aluvium (Qa)
Formasi ini terdiri dari batuan kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan lumpur.

2.3 Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara

Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara disusun oleh beberapa formasi yang mana pada **Gambar 3** menunjukkan batuan sedimen tertua berumur eosen awal. Adapun formasi yang diendapkan di atas basementnya adalah Formasi Pra Ngimbang. Formasi ini terdiri dari batupasir, serpih, batulanau dan batubara dan ditemukan di daerah Kangean di bagian timur Cekungan Jawa Timur. Selanjutnya di atas Formasi Pra Ngimbang adalah Formasi Ngimbang yang berumur

pertengahan eosen dicirikan oleh sedimen klastik dan terdiri dari menyelingi batupasir, serpih, batugamping dan batubara. Di atas Formasi Ngimbang diendapkan Formasi Kujung terdiri dari serpih dengan batugamping dan sisipan batupasir, bagian atas serpih penyisipan dan batugamping klastik juga dikenal sebagai Prupuh batu kapur. Formasi Kujung ini berumur oligosen. Di atas Formasi Kujung diendapkan Formasi Tuban yang tersusun atas lapisan lempung, penyisipan batugamping dan serpih terbentuk di awal miosen. Selain itu, Formasi Tuban juga bersisipan dengan Formasi Ngrayong terdiri dari batupasir, sisipan serpih, lempung, batulanau dan batugamping. Kedua formasi ini berumur miosen awal sampai miosen tengah. Di atas Formasi Tuban diendapkan Formasi Wonocolo yang berumur miosen tengah hingga miosen akhir. Formasi Wonocolo ini terdiri dari napal dan tanah liat, di bagian bawah terdiri dari batugamping berpasir. Di atas Formasi Wonocolo adalah Formasi Ledok yang terdiri dari perselingan antara sisipan batupasir dan napal. Di atas Formasi Ledok yaitu Formasi Mundu terdiri dari napal dan batugamping berpasir. Di atas Formasi Mundu, diendapkan Formasi Selorejo yang tersusun dari perselingan antara batugamping berpasir. Formasi paling atas di umur Plistosen diendapkan oleh Formasi Lidah yang terdiri dari lempung hitam dan napal.

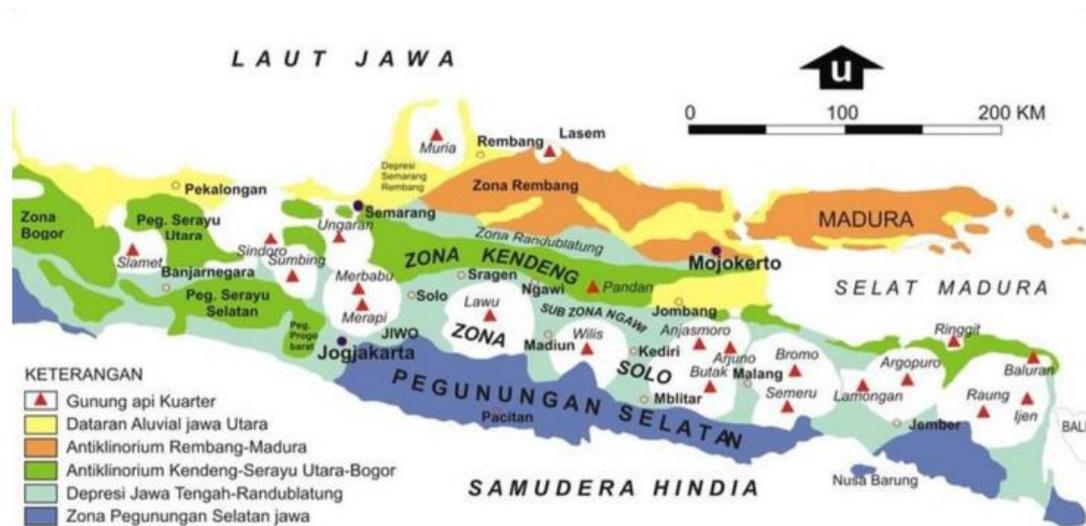


Gambar 3. Stratigrafi cekungan Jawa Timur Utara (Sribudiyani dkk, 2003)

2.4 Fisiografi Daerah Penelitian

Menurut Van Bemmelen (1949) fisiografi Cekungan Jawa Timur Utara dinyatakan sebagai hasil dari kegiatan tektonik selama tersier dan kuartar. Di Jawa Timur terdapat dua zona antiklin utama, Zona Rembang dan Zona Kendeng. Zona Rembang yang dikenal sebagai zona kaya minyak, tersusun oleh beberapa antiklin berorientasi barat-timur yang saling dipisahkan oleh paparan aluvial. Zona Rembang mempunyai lebar sekitar 50 km dan membentuk perbukitan dengan ketinggian hingga 500 meter. Zona tersebut menerus ke timur dengan membentuk Pulau Madura dan jajaran Kepulauan Kangean. Di banyak tempat, perlipatan tersebut tererosi hingga menyingkap batuan-batuan miosen, atau bahkan di atas batuan tersebut kemudian secara tidak selaras diendapkan batuan plio-plistosen yang umumnya bersifat gampingan.

Menurut Van Bemmelen (1949), cekungan Jawa Timur Utara dibagi menjadi tiga bagian besar. Adapun ketiga pembagian tersebut berturut-turut dari selatan ke utara adalah Zona Kendeng, Zona Randublatung, dan Zona Rembang.



Gambar 4. Fisiografi Jawa Timur Utara (Van Bemmelen, 1949)

1. Zona Kendeng

Zona Kendeng terletak di Utara gunung api yang terdiri dari endapan berumur Kenozoikum Muda yang pada umumnya terlipat kuat disertai dengan sesar-sesar dengan kemiringan ke arah Selatan. Panjang jalur Kendeng adalah 250 km dan lebar maksimum 40 km. Pegunungan Kendeng yang merupakan bagian zona ini terdiri dari daerah-daerah yang berbukit dan terjal. Penggambaran topografi daerah ini banyak dipengaruhi oleh struktur-struktur geologi.

2. Depresi Randublatung

Depresi Randublatung berada diantara Zona Kendeng dan Zona Rembang. Depresi Randublatung pada umumnya merupakan satuan dataran rendah yang berarah Barat-Timur dengan permukaan dasarnya merupakan akibat erosi diantara daerah Cepu dan Bojonegoro. Dalam depresi tersebut terdapat beberapa antiklin pendek dan kubah-kubah.

3. Zona Rembang

Zona Rembang membentang sejajar dengan Zona Kendeng dan dipisahkan oleh Depresi Randublatung. Pada zona ini terdapat suatu dataran tinggi yang

merupakan antiklin Barat-Timur sebagai hasil dari gejala tektonik Tersier Akhir yang dapat ditelusuri hingga Pulau Madura dan Kangean.

2.5 Petroleum System Cekungan Jawa Timur Utara

Petroleum System atau sistem petroleum merupakan proses yang saling berkesinambungan dan memungkinkan hidrokarbon terbentuk, bermigrasi, dan terperangkap di bawah permukaan bumi untuk kemudian diproduksi sebagai minyak dan gas bumi. *Petroleum System* yang terdapat pada Cekungan Jawa Timur Utara, sebagai berikut:

1. Batuan Induk

Cekungan Jawa Timur Utara memiliki indikasi batuan induk baik dari batuan klastik maupun karbonat, yang berasal dari batuan dengan umur miosen awal-pliosen. Menurut Waples (1985) berdasarkan perhitungan kematangan *thermal* di Cepu dan sekitarnya, menunjukkan bahwa lapisan induk hidrokarbon yang matang secara *thermal* berada pada kedalaman lebih dari 2000 meter, yang berkorelasi dengan Formasi Tuban (Bojonegoro, Bubulan, dan Balun) atau Formasi Kujung (Tobo dan Dander). Endapan eosen-miosen tengah seperti Formasi Ngimbang, Kujung, dan Tuban merupakan batuan induk yang efektif, sedangkan endapan miosen tengah-pleistosen seperti Formasi Wonocolo, Mundu, dan Lidah merupakan batuan induk yang belum matang (Bintaro dkk, 2020).

2. Migrasi

Migrasi hidrokarbon terjadi pada jarak dekat melalui struktur patahan dan rekahan seperti migrasi ke formasi yang lebih muda yang diisi oleh gas dan minyak. Cekungan Jawa Timur Utara mengalami dua masa migrasi yaitu migrasi primer dan migrasi sekunder. Migrasi primer terjadi pada masa pliosen dimana hidrokarbon bermigrasi dari Formasi Ngimbang sebagai *source rock* ke dalam struktur perangkap akibat adanya tektonik plio pleistosen (Ngrayong-Wonocolo-Ledok) melalui jalur sesar. Migrasi sekunder terjadi setelah tektonik pleistosen dimana hidrokarbon yang terperangkap pada reservoir karbonat Kujung-Tuban bermigrasi kembali menuju perangkap batupasir Ngrayong, Wonocolo, Ledok, dan Lidah (Moehadi, 2010).

3. Batuan Reservoir

Cekungan Jawa Timur Utara memiliki dua batuan reservoir hidrokarbon, yaitu karbonat dan klastik/batu pasir. Hampir semua batuan formasi yang terendapkan di Cekungan Jawa Timur Utara berpotensi sebagai batuan reservoir hidrokarbon. Reservoir utama yang berada pada cekungan ini adalah batuan karbonat Formasi Ngimbang dan Formasi Kujung serta reservoir silisiklastik dari Formasi Ngimbang, Formasi Tuban dan Formasi Ngrayong (Bintaro dkk, 2020).

4. Perangkap (*Trap*)

Pada Cekungan Jawa Timur Utara *trap* yang terbentuk lebih dominan jenis stratigrafi seperti *pinch out* dan *build up* pada karbonat. Batuan *trap* di cekungan ini terbentuk pada umur miosen (*carbonate build-up*), oligosen akhir–miosen awal dan struktur uplimeter pada miosen awal-miosen akhir (Bintaro dkk, 2020).

5. Batuan Penutup (*Seal*)

Pada Cekungan Jawa Timur Utara batuan tudung utamanya merupakan fasies serpih tebal dari Formasi Tuban, yang terekam oleh peristiwa regional yang terjadi di seluruh Jawa Timur Utara menjelang akhir miosen awal. Oleh karena itu, serpih Tuban menyediakan seal dari atas reservoir Kujung atau Prupuh, Rancak dan Ngrayong di bawahnya. Serpih tersebut umumnya menutupi terumbu Kujung atau Prupuh dan secara efektif menutup hidrokarbon yang terperangkap di bawahnya. Serpih Kujung intra-formasional dan batugamping padat yang berfungsi sebagai seal atas yang baik untuk reservoir Ngimbang dan Kujung memberikan seal atas tambahan (Bintaro dkk, 2020).

2.6 Penelitian Sebelumnya

1. Menurut buku tahunan SKK Migas (2020) cekungan Jawa Timur Utara memiliki prospek hidrokarbon yang mana merupakan salah satu dari 60 cekungan yang ada di Indonesia. Cadangan minyak dan kondensat pada cekungan Jawa Timur Utara sebesar 53,7 MMSTB serta cadangan gas dan asosiasi gas sebesar 480,1 BSCF.

2. Berdasarkan penelitian Azhary dkk (2019) mengenai studi sub-cekungan Jawa Timur bagian Utara untuk mengetahui pola sub-cekungan berpotensi minyak dan gas bumi menggunakan data gayaberat didapatkan hasil bahwa daerah penelitian yang memiliki koordinat $6^{\circ}80'-7^{\circ}30'$ LS dan $111^{\circ}30'-112^{\circ}30'$ BT memiliki rentang anomali bouguer -35 sampai dengan 42 mGal yang merupakan densitas batuan pada daerah penelitian. Dari analisis spektrum yang diperoleh dari penelitian ini yaitu didapatkan kedalaman rata-rata bidang diskontinuitas dangkal (residual) sebesar 4,47 km dan kedalaman rata-rata bidang diskontinuitas dalam (regional) sebesar 16,13 km. Hal ini menunjukkan bahwa bidang batas antara batuan dasar (basement) dan batuan sedimen terdapat pada kedalaman rata-rata 4,47 km. Dari analisis residual jumlah sub-cekungan sedimen yang dapat diinterpretasi adalah 5 sub-cekungan dan pola tinggian yang merupakan zona perangkap dan terakumulasinya lapisan sedimen sebagai reservoir. Dari hasil pemodelan 2,5 D dan 3D didapatkan bahwa daerah Jawa Timur bagian Utara masih memiliki cadangan minyak dan gas bumi yang melimpah, dikarenakan dilihat dari hasil gayaberat yang didapatkan, sub-cekungan pada daerah ini masih berpotensi sebagai tempat pembentukan dan pematangan minyak dan gas bumi, pada daerah ini juga memiliki tinggian yang bisa berpotensi sebagai perangkap dan zona reservoir serta terdapat beberapa patahan yang berguna untuk jalur minyak dan gas bumi ini kearah tinggian tinggian anomali pada daerah penelitian.

3. Menurut penelitian Hasan dan Nurwiyanto (2008) telah dilakukan penelitian mengenai estimasi penyebaran sedimen cekungan jawa timur dengan metode *gravity*. Pada penelitian tersebut merupakan studi awal untuk memperkirakan penyebaran dan kedalaman sedimen pada cekungan di daerah Jawa Timur berdasarkan data anomali bouguer. Hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa pemodelan menunjukkan bahwa Jawa Timur memiliki cekungan sedimen tersier yang tebalnya mencapai 6 km. Pusat cekungan terletak di tengah–tengah Jawa Timur (di sekitar Sragen, Karanganyar, Ngawi, Madiun, Nganjuk, Kediri, Bojonegoro, Jombang dan Mojokerto) berarah barat–timur, sedangkan di

bagian timur Jawa Timur (Sidoarjo, Pasuruan dan Probolinggo) dan Selat Madura berarah barat laut-tenggara.

4. Menurut penelitian Setiadi dkk (2019) mengenai delineasi sub-cekungan sedimen dan interpretasi bawah permukaan cekungan Jawa Timur di Selat Madura dan wilayah sekitarnya berdasarkan analisis data gayaberat. Hasil analisis spektral dari data gravitasi menunjukkan bahwa rata-rata kedalaman *basement* daerah penelitian sekitar 3,2 km, jumlah sub-cekungan yang terdeteksi berdasarkan analisis anomali residual adalah 10 sub-cekungan. Hasil dekomposisi spektral data gayaberat menunjukkan bahwa sub-cekungan terlihat pada kedalaman 1 km, 2 km dan 3 km, sedangkan pada kedalaman 4 km pola sub-cekungan tidak terlihat dengan jelas. Pola struktur yang dapat ditemukan dari hasil analisis kualitatif dan kuantitatif adalah tinggi *basement*, graben, dan sesar. Hasil pemodelan 2D menunjukkan bahwa *basement* daerah penelitian diinterpretasikan sebagai kerak benua dan batuan metamorf dengan nilai kerapatan massa 2,7 gr/cc. Hasil analisis gayaberat berguna untuk mengetahui pola graben dan tinggi *basement* yang menarik untuk penelitian lebih lanjut untuk mengetahui lebih detail sistem perminyakan di daerah ini. Arah penampang garis dan model geologi bawah permukaan penampang AA, BB, dan CC di cekungan Jawa Timur di Selat Madura dan sekitarnya.

5. Menurut penelitian Firdaus dan Setianto (2018), telah dilakukan penelitian mengenai interpretasi struktur geologi berdasarkan Citra landsat 8, SRTM dan anomali medan gravitasi satelit di cekungan Jawa Timur Utara. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa interpretasi struktur geologi dan sebaran densitas kelurusan berdasarkan data citra Landsat 8 dan SRTM pada area penelitian didapatkan arah relatif kelurusan dominan berarah NNW-SSE, NW-SE, ESE-WNW, dan E-W. Area densitas kelurusan dominan terdapat pada zona Rembang dan zona Kendeng. Hal tersebut mengindikasikan zona Rembang dan zona Kendeng merupakan area yang intensif mengalami deformasi tektonik dan dekat dengan struktur geologi. Interpretasi struktur geologi berdasarkan data gravitasi dengan metode total *horizontal derivative* dapat mengidentifikasi

struktur geologi bawah permukaan bumi. Patahan yang terdapat di zona Rembang dengan arah ENE-WSW dapat diindikasikan sebagai patahan *basement*.

6. Berdasarkan penelitian Gaol dkk (2009) telah dilakukan penelitian mengenai aplikasi pendekatan metode gayaberat dalam eksplorasi hidrokarbon untuk studi geologi bawah permukaan daerah cekungan Jawa Timur Utara segmen Lamongan. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa data gayaberat di daerah Cekungan Jawa timur Utara segmen Lamongan dapat menjelaskan mengenai keberadaan konfigurasi struktur geologi bawah permukaan, dengan mengkorelasikan data geologi permukaan, dan konsep tektonik diperoleh gambaran kemungkinan terdapatnya perangkap hidrokarbon. Nilai anomali sedang dengan pola kontur yang menonjol ke arah selatan berada di sebelah Barat Barat laut Karanggeneng diduga terdapat perangkap hidrokarbon. Batuan dasar di daerah penelitian relatif dangkal, target eksplorasi untuk Formasi Ngimbang di daerah penelitian masih memungkinkan.

III. TEORI DASAR

3.1 Metode Gayaberat

Metode gayaberat yaitu merupakan salah satu metode geofisika yang menggambarkan nilai densitas dibawah permukaan. Metode gayaberat digunakan untuk menggambarkan struktur geologi bawah permukaan berdasarkan variasi medan gravitasi bumi akibat perbedaan rapat massa batuan. (Sarkowi, 2014).

Metode gayaberat baik digunakan untuk pendugaan struktur bawah permukaan dikarenakan mampu mendeteksi kontras densitas tubuh batuan. Dalam hal ini, perbedaan kontras densitas yang beragam mengindikasikan bahwa struktur bawah permukaan yang beragam jenisnya. Atau dapat dikatakan bahwa distribusi densitas yang tidak seragam di bawah permukaan bumi dapat disebabkan oleh struktur geologi yang terdapat di dalamnya. Prinsip dasar teori yang digunakan pada metode gayaberat yaitu merupakan hukum Newton tentang gravitasi bumi (Setiadi dkk, 2010).

Salah satu penerapan metode gayaberat yaitu dalam tahap awal eksplorasi hidrokarbon. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi struktur prospek hidrokarbon pada cekungan sedimen (Ningrum dkk, 2011).

Metode gayaberat memiliki unsur ambiguitas yang cukup tinggi. Ambiguitas tersebut diakibatkan oleh nilai densitas dan kedalaman batuan sebagai sumber anomali. Anomali tinggi pada data gayaberat dapat diinterpretasikan sebagai batuan dengan densitas tinggi atau *basement* dekat permukaan, sedangkan anomali rendah

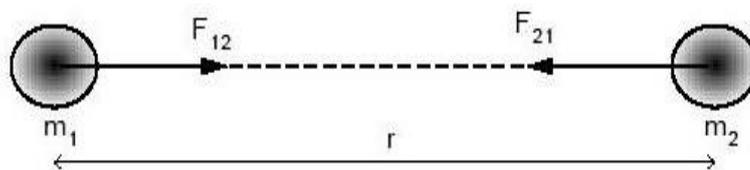
disebabkan oleh sedimen yang tebal dan *basement* yang dalam. Untuk mengurangi faktor ambiguitas tersebut, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan estimasi kedalaman sumber anomali menggunakan analisis spektral (Setiadi dkk, 2010).

3.2 Prinsip Dasar Gayaberat (*Gravity*)

3.2.1 Hukum Gravitasi Newton

Prinsip dasar gayaberat (*gravity*) didasari oleh Hukum Newton yang menyatakan bahwa adanya gaya tarik menarik antara dua partikel atau massa m_1 dan m_2 bergantung dari jarak masing-masing partikel atau massa tersebut, maka gaya tarik menarik (F) yang terjadi diantara kedua benda tersebut yaitu dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut (Rosid, 2005).

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



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

Dimana:

F : Gaya tarik menarik antara dua partikel (N)

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

m_1 : Massa benda 1 (kg)

M : Massa bumi (kg)

r : Jarak antara dua buah benda (m)

\hat{r} : Unit vektor dengan arah dari m_2 menuju m_1

3.2.2 Percepatan Gravitasi (Hukum Newton II)

Newton juga mendefinisikan hubungan antara gaya dan percepatan. Hukum II Newton tentang gerak menyatakan gaya sebanding dengan perkalian massa benda

dengan percepatan yang dialami benda tersebut. Percepatan gravitasi yang bervariasi atau berbeda disetiap tempat yaitu dipengaruhi oleh ketidakhomogenan bumi.

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

Percepatan sebuah benda bermassa m_2 yang disebabkan oleh tarikan benda bermassa m_1 pada jarak r sederhana dapat dinyatakan dengan:

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

Adapun hubungan antara percepatan gravitasi dengan massa jenis adalah sebagai berikut:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} = G \frac{m_1 m_2}{m r^2} = G \frac{m}{r^2} = G \frac{\rho V}{r^2} \quad (4)$$

Dimana persamaan rumus massa jenis adalah

$$m = \rho V \quad (5)$$

Keterangan:

g : Percepatan gaya tarik bumi (m/s^2)

F : Gayaberat (N)

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

m_1 : Massa benda 1 (kg)

m_2 : Massa benda 2 (kg)

r : Jarak antar kedua buah benda (m)

ρ : Massa jenis benda (kg/m^3)

V : Volume benda (m^3)

3.2.3 Potensial Gayaberat (Gravitasi)

Potensial Gravitasi adalah energi yang diperlukan untuk memindahkan suatu massa dari suatu titik ke titik tertentu. Suatu massa atau benda dalam suatu ruang akan menimbulkan medan potensial di sekitarnya. Dimana medan potensial untuk gayaberat yaitu bersifat konservatif sehingga usaha yang dilakukan pada suatu medan gayaberat tidak tergantung dengan lintasan yang ditempuhnya tetapi hanya bergantung pada posisi awal dan posisi akhirnya. Potensial pada suatu titik yang terdapat pada medan gravitasi dinyatakan sebagai usaha yang dibutuhkan untuk

dapat memindahkan satu massa (m) dari jarak tak berhingga ke suatu titik tertentu dalam medan gravitasi bumi yang bermassa m adalah (Blakely, 1996):

$$V = Gm = \int_0^r \frac{dr}{r^2} \quad (6)$$

$$V = G \frac{m}{r^2} r \quad (7)$$

$$V = G \frac{m}{r} \quad (8)$$

Dimana:

V : Potensial gravitasi

r : Jarak (m)

m : Massa Benda (kg)

G : Konstanta gravitasi ($6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^{-3} \text{ kg}^{-1} \text{ dt}^{-2}$)

3.2.4 Rapat Massa Batuan

Rapat massa atau densitas batuan adalah besaran utama dalam menentukan nilai percepatan gravitasi. Pada perhitungan anomali Bouguer diperlukan harga rapat massa rata-rata di daerah survei. Variasi rapat massa pada batuan sedimen disebabkan oleh suatu tekanan gaya tektonik. Rapat massa batuan (densitas) dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu rapat massa butir pembentuknya, kandungan fluida yang mengisi pori-porinya, porositas, dan pepadatan akibat tekanan serta pelapukan yang terjadi pada batuan tersebut

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

<i>Rock Type</i>	<i>Range (g/cm³)</i>	<i>Average (g/cm³)</i>
<i>Sediment</i>		
<i>Soil</i>	1,2-2,4	1,92
<i>Clay</i>	1,63-2,6	2,21
<i>Gravel</i>	1,7-2,4	2,0
<i>Sand</i>	1,7-2,3	2,0
<i>Sandstone</i>	1,61-2,76	2,35
<i>Shale</i>	1,77-3,2	2,40
<i>Limestone</i>	1,93-2,90	2,55
<i>Dolomite</i>	2,28-2,90	2,70
<i>Sedimentary rocks (av.)</i>		2,50

Tabel 1. Lanjutan

<i>Rock Type</i>	<i>Range (g/cm³)</i>	<i>Average (g/cm³)</i>
<i>Igneous Rocks</i>		
<i>Rhyolite</i>	2,35-2,70	2,52
<i>Andesite</i>	2,4-2,8	2,61
<i>Granite</i>	2,50-2,81	2,64
<i>Granodiorite</i>	2,67-2,79	2,73
<i>Phorphyry</i>	2,60-2,89	2,74
<i>Quartz diorite</i>	2,62-2,96	2,79
<i>Diorite</i>	2,72-2,99	2,85
<i>Lavas</i>	2,80-3,00	2,9
<i>Diabase</i>	2,50-3,20	2,91
<i>Basalt</i>	2,70-3,30	2,99
<i>Gabro</i>	2,70-3,50	3,03
<i>Peridotite</i>	2,78-2,37	3,15
<i>Acid igneous</i>	2,30-3,11	2,61
<i>Basic igneous</i>	2,09-3,17	2,79
<i>Metamorphic Rocks</i>		
<i>Quartzite</i>	2,5-2,70	2,60
<i>Schists</i>	2,39-2,9	2,64
<i>Graywacke</i>	2,6-2,7	2,65
<i>Marble</i>	2,6-2,9	2,75
<i>Serpentine</i>	2,4-3,10	2,78
<i>Slate</i>	2,7-2,9	2,79
<i>Gneiss</i>	2,59-3,0	2,80
<i>Amphibole</i>	2,90-3,04	2,96
<i>Eclogite</i>	3,2-3,54	3,37
<i>Metamorphic rocks</i>	2,4-3,1	2,74

3.3 Anomali Bouguer

Anomali Bouguer adalah perbedaan nilai gayaberat terukur dengan nilai gayaberat teoritis untuk suatu model teoritis bumi. Untuk mendapatkan nilai Anomali Bouguer, hasil pengukuran di lapangan perlu dilakukan koreksi dat (koreksi drift, koreksi pasang surut, koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi Terrain). Anomali Bouguer dapat bernilai positif ataupun negatif. Nilai anomali positif mengindikasikan adanya kontras densitas yang besar pada lapisan bawah permukaan. Anomali negatif menggambarkan perbedaan densitas yang kecil (Azahry dkk, 2019). Anomali bouguer ini yaitu menggambarkan persebaran dari gayaberat untuk memperkirakan gambaran kondisi bawah permukaan

berdasarkan kontras rapat massa batuan. Nilai anomali bouguer dapat dirumuskan sebagai berikut (Sarkowi, 2014):

$$BA = g_{obs} - g\varphi + FAC + BC + TC \quad (9)$$

Dimana:

g_{obs} : Harga gaya gravitasi pengukuran di titik tersebut

$g\varphi$: Harga gaya gravitasi normal/teoritis

FAC : *Free Air Correction*/koreksi udara bebas

BC : *Bouguer Correction*/koreksi bouguer

TC : *Terrain Correction*/koreksi medan

Nilai anomali yang diperoleh adalah nilai anomali pada ketinggian titik amat.

3.3 Analisis Spektrum

Analisis spektrum adalah salah satu metode untuk mengestimasi nilai kedalaman suatu anomali. Kemudian, pada analisis spektrum ini juga dapat digunakan untuk dipakai dalam proses separasi anomali regional dan residual (Nugraha, 2016). Analisis spektrum dilakukan dengan *transformasi fourier* dari lintasan yang telah ditentukan pada peta kontur anomali bouguer lengkap. *Transformasi Fourier* mengubah domain waktu menjadi domain frekuensi. Sumber dangkal menghasilkan sinyal yang memiliki panjang gelombang kecil sedangkan sumber yang lebih dalam menghasilkan sinyal dengan panjang gelombang tinggi. (Indriana, 2008). Anomali gayaberat bersifat monopul yang teramati pada bidang horizontal sehingga *Transformasi Fourier*-nya diberikan oleh (Blakely, 1996)

$$(g_z) = 2\pi G m e^{|k|(z_0 - z_1)}, \quad z_1 > z_0 \quad (10)$$

Dimana:

g_z = Anomali gayaberat

K = Bilangan gelombang

z_0 = Ketinggian titik amat

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

$$A = C e^{|k|(z_0 - z_1)} \quad (11)$$

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 *spectral amplitude*.

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C \quad (12)$$

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus:

$$y = mx + c \quad (13)$$

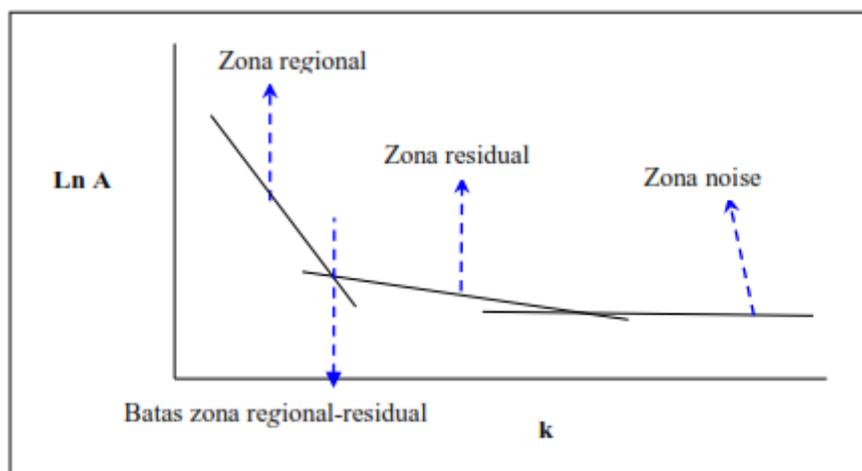
Dimana $\ln A$ sebagai sumbu y , $|k|$ sebagai sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ sebagai kemiringan garis (gradien). Oleh karena itu, kemiringan garisnya merupakan kedalaman bidang dalam dan dangkal $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan dengan bilangan gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$ dan satuannya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

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (14)$$

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, jadi lebar jendela dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$N = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (15)$$

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 $k = 2\pi f$ frekuensi yang sangat rendah berasal dari sumber anomali regional dan frekuensi tinggi berasal dari sumber anomali residual.



Gambar 6. Kurva $\ln A$ terhadap k (Blakely, 1996)

3.4 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali gayaberat yang terukur di permukaan adalah gabungan dari berbagai sumber dan kedalaman anomali yang ada di bawah permukaan yakni regional dan residual. Pada dasarnya metode pemisahan dilakukan untuk memisahkan anomali berdasarkan frekuensi yang berhubungan dengan kedalaman sumber anomali tersebut. Pemisahan anomali bouguer menjadi anomali regional dan anomali residual digunakan untuk mempermudah proses interpretasi kualitatif.

Anomali regional merupakan anomali yang memiliki cakupan yang lebar dan struktur yang lebih dalam. Anomali regional berhubungan dengan frekuensi rendah dibandingkan dengan anomali residual (Supriyadi dkk, 2019). Pola yang dihasilkan anomali regional memiliki kontur yang lebih sederhana dan halus dibandingkan anomali bouguer lengkap.

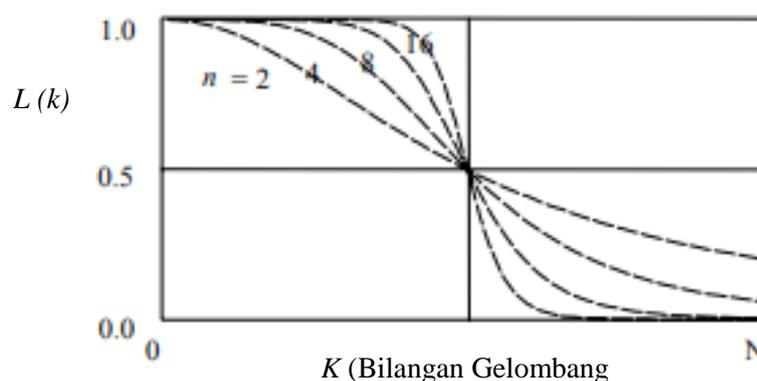
Anomali residual merupakan anomali yang menggambarkan pola struktur lokasi penelitian secara lebih detail. Anomali residual berhubungan dengan anomali tinggi. Pola yang dihasilkan oleh anomali residual adalah pola dengan peningkatan yang kontras dan anomalnya menjadi lebih luas. Nilai anomali tinggi yang dihasilkan di daerah penelitian menandakan bahwa terdapat struktur batuan dengan densitas tinggi dan anomali rendah menandakan bahwa adanya struktur batuan yang memiliki densitas rendah (Liana dkk, 2020). Pada umumnya terdapat beberapa metoda dalam proses pemisahan regional residual yang akan digunakan

untuk memperoleh nilai anomali regional diantaranya adalah *lowpass filter*, *trend surface analysis* atau *polynomial fitting*, *upward continuation*, *moving average*, *gaussian filter*, *butterworth*, dan *bandpass filter*.

3.4.1 Butterworth Filter

Berdasarkan penelitian Laghari dkk (2014), *butterworth filter* pada pengolahan sinyal (*signal processing*) adalah filter sederhana yang memiliki respon frekuensi *passband* yang datar (*maximally flat*) dan tidak memiliki riak sehingga relatif lebih baik. Selain itu, respon frekuensi filter ini pada pita hambat (*stop band*) juga datar. Karena itu, filter ini disebut sebagai filter dengan magnitudo datar maksimum (Sinha, 1991).

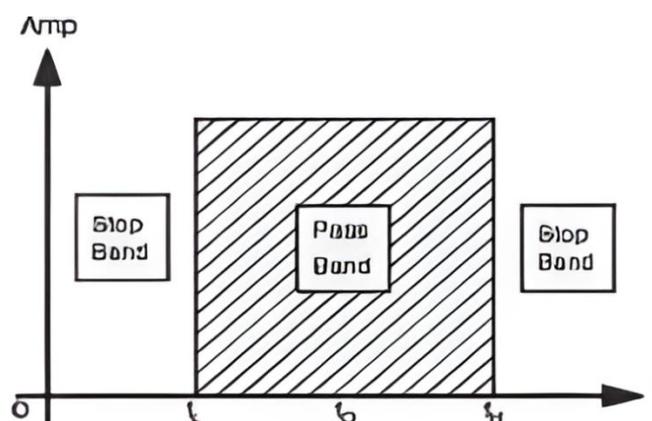
Butterworth filter merupakan filter untuk memisahkan antara anomali regional dan residual dengan menggunakan domain panjang gelombang. Filter butterworth umumnya digunakan untuk memisahkan antara sinyal utama dan sinyal noise yang secara teoritis memiliki bilangan gelombang yang berbeda. Filter butterworth memberikan nilai respon yang sedatar mungkin pada frekuensi yang dilewatkan (*passband*) dan nilai 0 pada frekuensi yang ditapis (*stopband*). Pada filter ini dapat dilakukan secara *high pass filter* maupun *low pass filter* (Whitehead dan Musselman, 2007).



Gambar 7. *Butterworth Filter* (Whitehead dan Musselman, 2007)

3.4.2 *Bandpass Filter*

Bandpass adalah jenis filter yang hanya melewatkan sinyal pada rentang frekuensi tertentu dan meredam sinyal diluar rentang frekuensi tersebut. *Bandpass* memiliki dua frekuensi *cut off* yaitu frekuensi *cut off* bawah (f_L) dan frekuensi *cut off* atas (f_H). Rentang kedua frekuensi *cut off* inilah yang dilewatkan oleh filter sedangkan sinyal diluar rentang frekuensi tersebut akan diredam (Muliadi dan Muttaqin, 2021). *Bandpass filter* merupakan gabungan antara *highpass* dan *lowpass filter*. Filter *bandpass* akan meneruskan sinyal-sinyal dengan frekuensi antara (*median frequency*) dan menahan frekuensi di bawah dan di atas median tersebut. *Bandpass filter* akan melewatkan sinyal dengan frekuensi-frekuensi dalam rentang tertentu dan meredam sinyal dengan frekuensi-frekuensi yang lainnya (Havis dan Fitria, 2018).



Gambar 8. *Bandpass Filter* (Havis dan Fitria, 2018)

3.5 Metode *First Horizontal Derivative* (FHD)

First Horizontal Derivative (FHD) atau Turunan Mendatar Pertama pada data anomali gayaberat adalah perubahan nilai anomali gayaberat dari satu titik ke titik lainnya dengan jarak tertentu. Metode *first horizontal derivative* dapat digunakan untuk menentukan lokasi batas kontak densitas horizontal dari data gayaberat (Cordell, 1979). Metode ini dapat digunakan untuk menggambarkan struktur bawah permukaan yang dangkal maupun dalam. *First horizontal derivative* bertujuan meningkatkan nilai batas anomali. Kemudian batas-batas anomali ini diduga sebagai struktur geologi berupa sesar/patahan. Struktur sesar yang ditandai

dengan adanya kontras densitas batuan umumnya memiliki nilai total *horizontal derivative* yang maksimum. Menurut Grauch dan Cordell (1987), magnitudo maksimum gradien horizontal tersebut dapat bergeser dari posisi sebenarnya apabila struktur sesar memiliki kemiringan yang landai (tidak mendekati vertikal) atau berdekatan dengan struktur sesar yang lainnya. Untuk menghitung nilai FHD dapat dilakukan dengan persamaan berikut (Blakely, 1996):

$$\text{FHD} = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (16)$$

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

3.6 Metode *Second Vertical Derivative* (SVD)

Second Vertical Derivative atau turunan tegak kedua adalah 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). SVD bersifat sebagai *high pass filter*, sehingga dapat menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis patahan turun atau patahan naik. Metode *second vertical* digunakan untuk memunculkan sumber-sumber anomali yang bersifat lokal atau dangkal. Metode ini sangat baik digunakan untuk mengetahui diskontinuitas dari struktur bawah permukaan, khususnya dalam melakukan interpretasi struktur patahan atau sesar. Dengan menggunakan metode ini, keberadaan struktur patahan di suatu daerah akan dapat diketahui dengan baik (Sarkowi, 2014).

Secara teoritis metode *Second Vertical Derivative* (SVD) ini diturunkan dari persamaan Laplace's. Adapun persamaannya yaitu sebagai berikut (Telford dkk, 1990):

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \quad (17)$$

Atau:

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = 0 \quad (18)$$

Sehingga *second vertical derivative* persamaannya menjadi:

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

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

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \quad (20)$$

Dalam grid teratur untuk data anomali gayaberat, anomali *Second Vertical Derivative* dapat diturunkan melalui koefisien *filter*. Adapun operator koefisien *filter* SVD dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Koefisien filter SVD (Sarkowi, 2010)

SVD Tipe Henderson & Zietz (1949)				
0.00	0.00	-0.0838	0.00	0.00
0.00	1.00	-2.6667	1.00	0.00
-0.0838	-2.6667	17.00	-2.6667	-0.0838
0.00	1.00	-2.6667	1.00	0.00
0.00	0.00	-0.0838	0.00	0.00
SVD Tipe Elkins (1951)				
0.00	-0.0833	0.00	-0.0833	0.00
-0.0833	-0.6667	-0.0334	-0.6667	-0.0833
0.00	-0.0334	-1.0668	-0.0334	0.00
-0.0833	-0.6667	-0.0334	-0.6667	-0.0833
0.00	-0.0833	0.00	-0.0833	0.00
SVD Tipe Rosenbach (1953)				
0.00	-0.0416	0.00	-0.0416	0.00
-0.0416	-0.3332	-0.75	-0.3332	-0.0416
0.00	-0.75	4.00	-0.75	0.00
-0.0416	-0.3332	-0.75	-0.3332	-0.0416
0.00	-0.0416	0.00	-0.0416	0.00

Dimana dalam metode ini yaitu mengambil nilai turunan kedua dari anomali bouguer sama dengan nol sebagai kontak dari kontras densitas antar dua lapisan batuan, dimana kontak tersebut dapat dikatakan sebagai struktur patahan ataupun intrusi (Sarkowi, 2010). Struktur patahan naik atau turun dapat ditentukan dari nilai anomali SVD dengan karakteristik yaitu sebagai berikut:

$|\text{SVD}|_{\min} < |\text{SVD}|_{\max}$ = Sesar turun atau sesar normal

$|\text{SVD}|_{\min} > |\text{SVD}|_{\max}$ = Sesar naik

$|\text{SVD}|_{\min} = |\text{SVD}|_{\max}$ = Sesar mendatar

3.7 Forward Modelling dan Inverse Modelling

3.7.1 Forward Modelling

Forward Modelling (Pemodelan ke Depan) adalah proses membuat dan menghitung model awal yang berdasarkan pada perkiraan geologi dan geofisika kemudian membandingkannya dengan anomali dari hasil pengukuran sehingga kedua anomali tersebut berkorelasi (Blakely, 1996).

Pada saat melakukan interpretasi, dicari model yang menghasilkan respon yang cocok dan *fit* dengan data pengamatan atau data lapangan sehingga diharapkan kondisi model itu bisa mewakili atau mendekati keadaan sebenarnya. Pada metode gayaberat metode interpretasi dapat digunakan untuk memprediksi atau memperkirakan nilai densitas bawah permukaan dengan membuat terlebih dahulu benda geologi yang terdapat di bawah permukaan. Kalkulasi anomali dari model yang dibuat kemudian dibandingkan dengan anomali bouguer yang telah diperoleh dari survei gayaberat. Prinsip umum pemodelan ini adalah meminimumkan selisih anomali pengamatan untuk mengurangi ambiguitas.

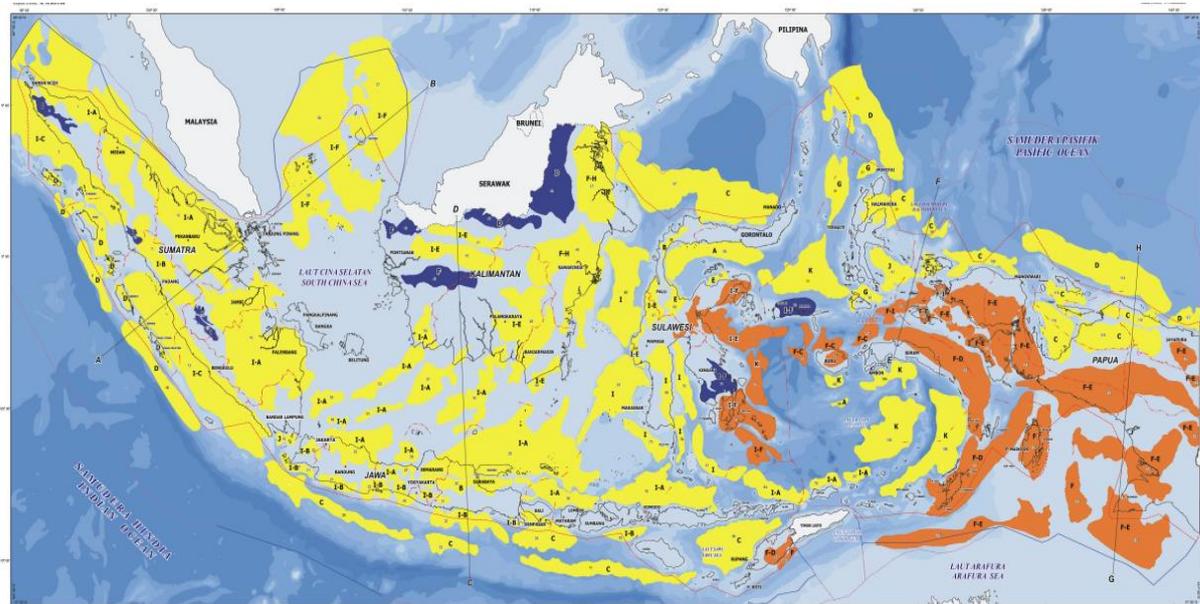
3.7.2 Inverse Modelling

Inverse Modelling (Pemodelan ke Belakang) adalah pemodelan yang berkebalikan dengan pemodelan ke depan. Pemodelan inversi berjalan dengan cara suatu model dihasilkan langsung dari data. Pemodelan jenis ini sering disebut data fitting atau pencocokan data karena proses di dalamnya dicari parameter model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan. Tujuan dari proses inverse adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (Supriyanto, 2007).

3.8 Minyak dan Gas Bumi

Minyak dan gas atau secara umum disebut petroleum merupakan kompleks hidrokarbon (senyawa dari unsur kimia hidrogen dan karbon) yang terjadi secara alamiah di dalam bumi yang terperangkap dalam batuan kerak bumi. Indonesia adalah salah satu negara yang mempunyai potensi hidrokarbon yang besar di dunia, hal terlihat dari peta cekungan sedimen (Badan Geologi, 2009) yang berhasil memetakan jumlah cekungan sedimen berdasarkan data-data geologi dan geofisika, yakni kurang lebih ada 128 cekungan sedimen yang mempunyai potensi ekonomi geologi.

Ada dua langkah untuk meningkatkan produksi migas di Indonesia, yang pertama, yaitu dengan mengoptimalkan produksi cekungan-cekungan sedimen yang sudah terbukti menghasilkan hidrokarbon dengan cara memanfaatkan teknologi-tenbologi canggih untuk mengeluarkan hidrokarbon dari perut bumi, yang kedua adalah diimbangi dengan pencarian cadangan-cadangan baru dengan cara melakukan penelitian-penelitian cekungan-cekungan frontier di daerah-daerah yang belum pernah dieksplorasi atau masih sedikit data-data geologi maupun geofisika (Setiadi, 2010).



Gambar 9. Peta cekungan sedimen Indonesia (Badan geologi, 2009).

3.8.1 Cekungan Sedimen

Cekungan sedimen atau *sedimentary basin* adalah suatu daerah cekungan yang menciptakan ruang akomodasi untuk akumulasi sedimen yang diperkirakan merupakan tempat penampungan sedimen. Saat sedimen terkubur, mereka mengalami peningkatan tekanan dan memulai proses pemadatan dan litifikasi yang mengubahnya menjadi batuan sedimen.

3.8.2 Petroleum System

Petroleum System atau sistem petroleum merupakan konsep yang menyatukan beberapa elemen berbeda dan proses yang saling berkesinambungan dan memungkinkan hidrokarbon terbentuk, bermigrasi, dan terperangkap di bawah permukaan bumi untuk kemudian diproduksi untuk produksi minyak dan gas bumi.

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tugas akhir ini dilaksanakan di:

Tempat : Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dan Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Data Geofisika, Teknik Geofisika, Universitas Lampung.

Alamat : Jl. Diponegoro No. 57, Kota Bandung, Jawa Barat. 40122

Waktu : Juni s.d. Januari 2022

Adapun pelaksanaan kegiatan penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Pelaksanaan kegiatan penelitian

Kegiatan	Juni Minggu Ke-				Juli Minggu Ke-				Agustus Minggu Ke-				September Minggu Ke-				Oktober Minggu Ke-				November Minggu Ke-				Desember Minggu Ke-				Januari Minggu Ke-			
	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	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																			
Pengumpulan Data			■																													
Pengolahan Data			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
Penyusunan Laporan Proposal																																
Bimbingan Seminar Proposal													■																			
Seminar Proposal													■																			
Pengolahan Data									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Penyusunan Laporan Hasil																	■	■	■	■	■											
Bimbingan Seminar Hasil																					■	■										
Seminar Hasil																									■							
Revisi dan Bimbingan Laporan																									■	■	■	■				
Sidang Komprehensif																													■			

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Laptop
2. Peta anomali bouguer lembar Surabaya-Sapulu, lembar Tanjungbumi, dan lembar Waru-Sumenep.
3. Peta geologi lembar Surabaya-Sapulu, lembar Tanjungbumi, dan lembar Waru-Sumenep.
4. *Software Global Mapper*
5. *Software Surfer 13*
6. *Software Geosoft Oasis Montaj 6.4*
7. *Software Grablox 1.6.*
8. *Software QGIS 3.10*

4.3 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, prosedur untuk melaksanakan penelitian dibagi menjadi 6 bagian, yaitu:

1. Studi Literatur

Pada tahap awal penelitian yaitu dilakukan studi literatur. Studi literatur berguna untuk mengumpulkan data-data yang berkaitan dengan penelitian seperti tinjauan pustaka dan teori dasar yang dapat memudahkan dalam penelitian.

2. Peta Anomali Bouguer

Data gayaberat yang diolah pada penelitian merupakan data gayaberat sekunder yaitu berasal dari peta anomali bouguer yang mencakup Lembar Surabaya-Sapulu (Sukardi, 1992), Lembar Tanjungbumi (Azis dkk, 1992), Lembar Waru-Sumenep (Situmorang dkk, 1992) yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G) Bandung. Kemudian peta tersebut dilakukan proses *georeferencing* dengan menggunakan software *Global Mapper*. Data anomali bouguer didapatkan dengan mendigitasi 3 peta anomali bouguer tersebut. Peta anomali bouguer ini didigitasi menggunakan *software surfer 13* lalu kemudian didapatkan nilai anomali bouguer lengkap. Data ini selanjutnya dilakukan proses gridding data menggunakan *software*

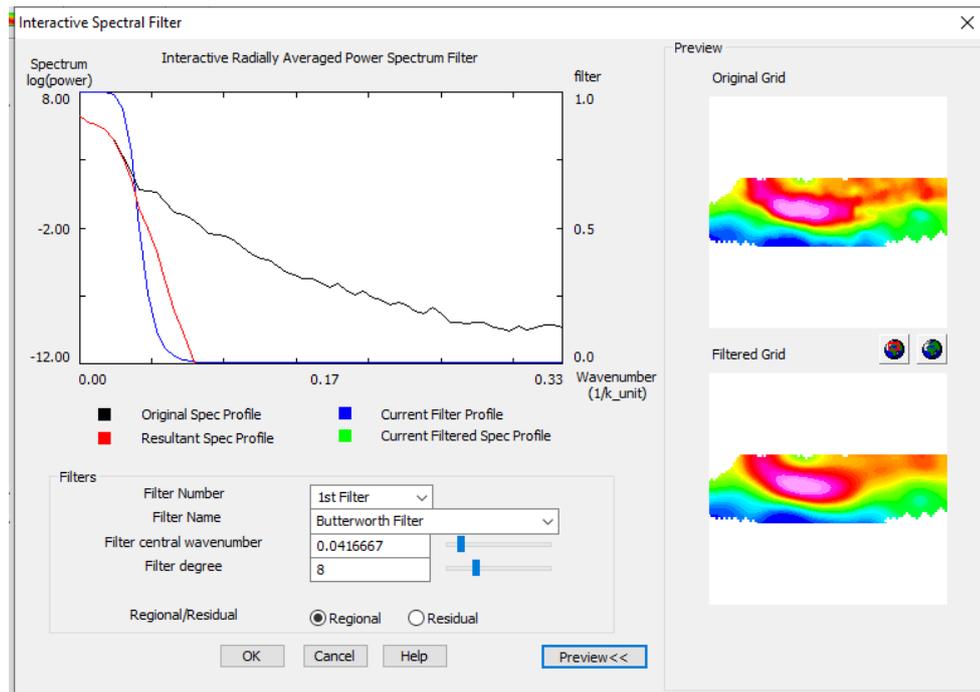
Oasis Montaj 6.4 untuk memperoleh peta anomali bouguer pada daerah penelitian.

3. Analisis Spektrum

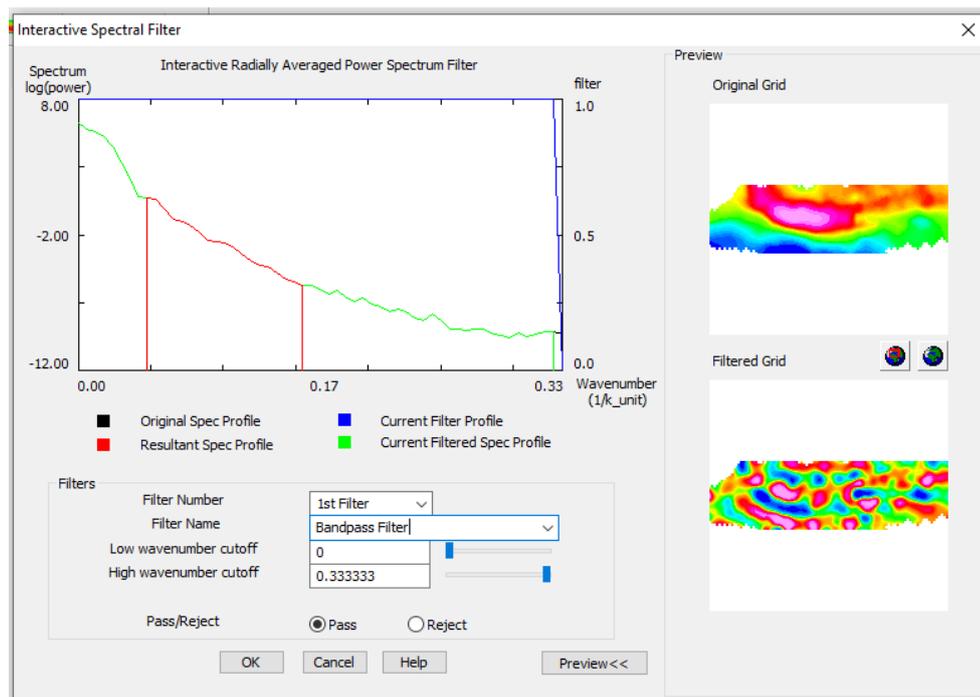
Tujuan dilakukannya analisis spektrum adalah untuk mengestimasi kedalaman sebagai salah satu pemodelan yang nantinya digunakan untuk pemisahan anomali regional dan residual. Dalam tahap analisis spektrum dilakukan analisis *Transformasi Fourier* menggunakan data anomali Bouguer Lengkap untuk merubah domain data dari spasial jarak ke spasial frekuensi. *Software* yang digunakan pada tahap ini adalah *software Oasis Montaj 6.4*. Hasil dari proses analisis spektrum adalah nilai radial average spectrum yang berisi nilai bilangan gelombang (k), $\ln P$, dan kedalaman. Selanjutnya akan diproses dengan menggunakan perangkat lunak *Ms.Excel* untuk mendapatkan nilai *cut off* yang digunakan untuk estimasi kedalaman anomali regional dan anomali residual. Dari hasil pengolahan pada *Ms. Excel* didapatkan nilai *cut off* yang digunakan sebagai parameter pemodelan yaitu sebesar 7,96 km untuk batas regional dan 1,8 km untuk batas residual.

4. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Dalam penelitian menggunakan metode gayaberat ini semua anomali diamati, baik yang berasal dari daerah dangkal maupun daerah dalam. Oleh karena itu perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan residual dari anomali Bouguer. Pada penelitian ini penulis menggunakan pemisahan menggunakan *butterworth filter* dan *bandpass filter*. *Software* yang digunakan untuk proses ini adalah perangkat *software Oasis Montaj 6.4*, proses pemisahan anomali dimulai dengan menginputkan data anomali bouguer ke *software Oasis Montaj* lalu pilih menu *MAGMAP*, selanjutnya pilih *interactive filtering*, lalu pilih *1st filter* yaitu *butterworth filter*, pilih regional kemudian masukkan nilai estimasi batas kedalaman regional yaitu sebesar 7,96 km lalu *apply filter*. Maka akan didapatkan peta data anomali regional. Untuk peta residual pilih menu *MAGMAP*, kemudian pilih *interactive filtering*, pilih *2nd filter* yaitu *bandpass filter*, pilih residual lalu masukkan nilai estimasi batas kedalaman residual yaitu sebesar 1,8 km lalu *apply filter*. Maka akan didapatkan peta data anomali residual.



Gambar 10. *Butterworth Filter* untuk memperoleh peta anomali regional



Gambar 11. *Bandpass filter* untuk memperoleh peta anomali residual

5. Analisis Derivative

Analisis *derivative* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) yang diterapkan pada peta anomali residual untuk menentukan batas-batas struktur yang ada

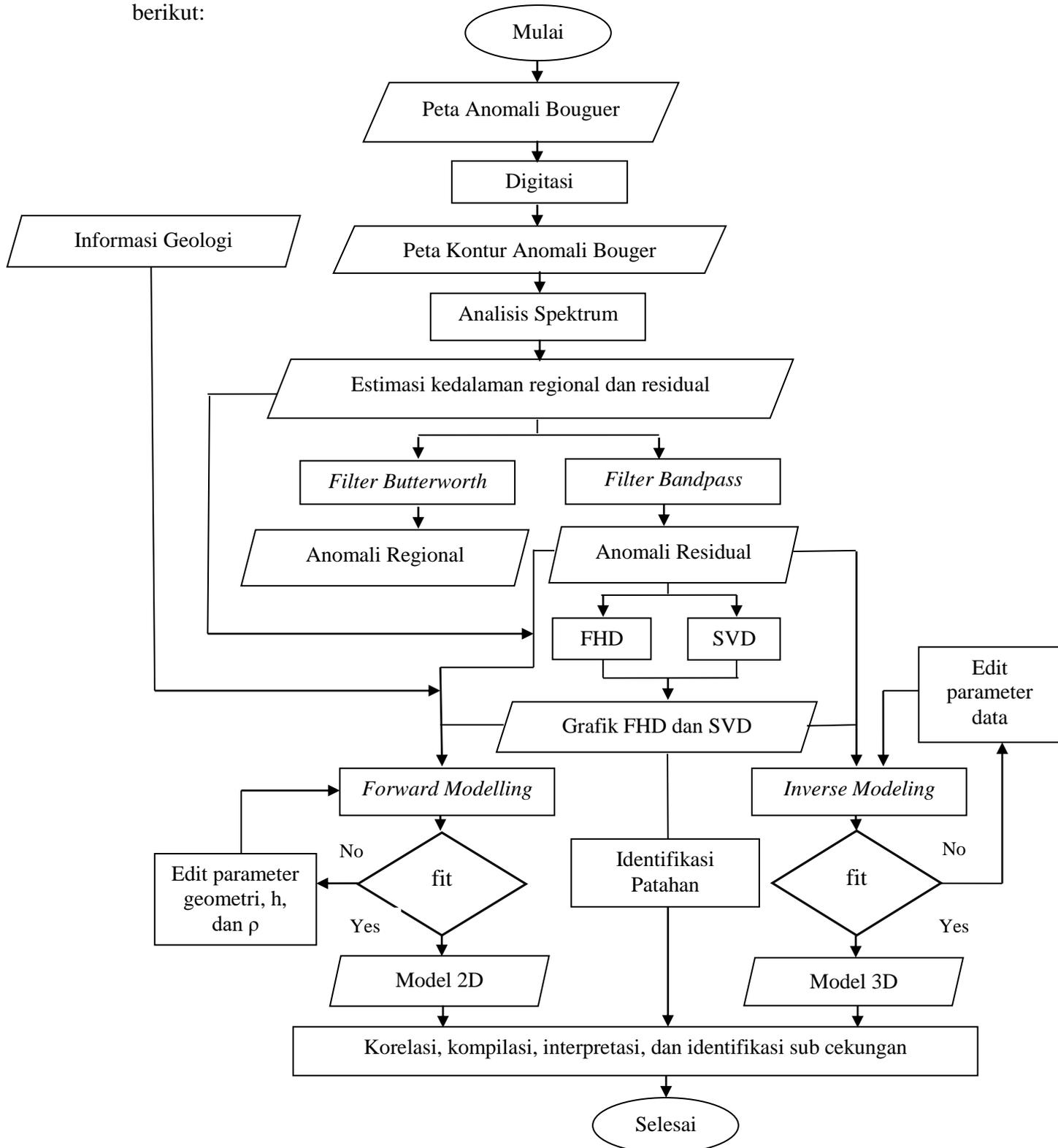
pada daerah penelitian. Dimana hasil dari pengolahan analisis *derivative* ini akan digunakan sebagai data pendukung analisis struktur bawah permukaan untuk mengetahui sebaran patahan daerah penelitian. Struktur sesar yang ditandai dengan adanya kontras densitas batuan umumnya memiliki nilai total FHD yang maksimum. Sedangkan pada metode SVD struktur patahan dapat dilihat dari grafik yang berada pada nilai nol sebagai kontak dari kontras densitas antar dua lapisan batuan.

6. Pemodelan Bawah Permukaan

Tahapan pemodelan bawah permukaan pada penelitian ini menggunakan metode *forward modelling* (2D) atau pemodelan ke depan dan *inverse modelling* (3D) atau pemodelan ke belakang yang menggunakan *software Geosoft Oasis Montaj 6.4.* dan *software Grablox 1.6.* Tahapan *forward modelling* dilakukan dengan melakukan input data jarak dan data anomali residual berdasarkan *slice* ataupun lintasan yang telah dibuat. Tahapan penentuan lintasan dilakukan dengan menarik lintasan yang melewati anomali tinggi dan anomali rendah yang diindikasikan sebagai daerah patahan. Tahapan dimulai dengan membuat *polygon* yang kemudian dibandingkan dengan nilai anomali hasil pengukuran, nilai densitas berdasarkan informasi geologi dan stratigrafi pada daerah penelitian. *Inverse modelling* merupakan pemodelan yang berkebalikan dengan pemodelan ke depan. Pemodelan ini dilakukan menggunakan *software Grablox 1.6.* Pemodelan inversi ini dilakukan dengan mencari suatu model yang dihasilkan langsung dari data. Tahapan optimasi yang dilakukan pada pemodelan inversi melalui tahap optimasi *Base, Density, Occam d, Height,* dan *Occam h.*

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini terdapat pada **Gambar 10**, yaitu sebagai berikut:



Gambar 12. Diagram Alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan pada daerah penelitian kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisa derivative (FHD dan SVD) didapatkan adanya patahan (sesar) berupa patahan naik dan turun yang tersebar di daerah penelitian.
2. Hasil *forward modelling* 2D dan *inverse modelling* 3D yakni model struktur dan distribusi densitas bawah permukaan yang menggambarkan kondisi bawah permukaan dimana terdapat beberapa patahan dan juga beberapa patahan tersebut membatasi daerah sub cekungan yang diisi oleh Formasi Aluvium (Qa) dengan litologi pasir yang memiliki densitas $1,9 \text{ g/cm}^3$, Formasi Pamekasan (Qpp) dengan litologi batulempung yang memiliki densitas $2,21 \text{ g/cm}^3$, Formasi Pasean (Tpm) dengan litologi serpih yang memiliki densitas $2,4 \text{ g/cm}^3$, Formasi Madura (Tpm) dengan litologi batu gamping yang memiliki densitas $2,55 \text{ g/cm}^3$, Formasi Ngrayong (Tmtn) dengan litologi batu pasir yang memiliki densitas $2,35 \text{ g/cm}^3$, dan Formasi Tawun (Tmt) dengan litologi konglomerat yang memiliki densitas $2,7 \text{ g/cm}^3$.
3. Berdasarkan identifikasi patahan dan pemodelan didapatkan 4 sub cekungan pada daerah penelitian. Sub cekungan itu diantaranya adalah sub cekungan Baratsungai yang dibatasi oleh patahan turun, sub cekungan Kopang yang dibatasi oleh patahan turun, sub cekungan Panglemah yang dibatasi oleh patahan turun, dan sub cekungan Mundung yang dibatasi oleh patahan turun. Dimana zona sub-cekungan dapat digunakan sebagai zona pembentukan minyak dan gas yang membuat minyak dan gas ini mengalami pematangan.

6.2 Saran

Adapun kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan maka disarankan untuk melakukan pengukuran serta analisis menggunakan metode geofisika lainnya seperti Metode Magnetik, Metode Seismik, dan juga Metode *Well logging* untuk mendapatkan hasil bawah permukaan yang lebih baik dan detail agar hasil interpretasi dapat lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Azhary, M., Zaenudin, A., Karyanto, dan Setadi, I. (2019). Studi Sub-Cekungan Jawa Timur Bagian Utara Untuk Mengetahui Pola Sub-Cekungan Berpotensi Minyak dan Gas Bumi. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 3(3). Doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jge.v3i3.1050>.
- Azis, S., Sutrisno, Noya, Y., dan Brata, K. (1992). *Peta Lembar Geologi Lembar Tanjungbumi dan Pamekasan, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Bintarto, B., Swadesi, B., Choiriah, S.U., dan Kaesti, E.Y. (2020). Pemetaan Singkapan Di Indonesia Berdasarkan Pada Karakteristik Reservoir Migas Studi Kasus “Cekungan Jawa Timur Utara”. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”:Yogyakarta.
- Blakely, R.J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. In *Cambridge University Press*.
- Cordell, L. (1979). *Gravimetric Expression of Graben Faulting in Santa Fe Country and The Espanola Basin*. Geol. Soc. Guidbook 30th Field Conf, 59-64.
- Firdaus, S., dan Setianto, A. (2018). Interpretasi Struktur Geologi Berdasarkan Citra Landsat 8, SRTM Dan Anomali Medan Gravitasi Satelit Di Cekungan Jawa

Timur Utara. *Prosiding Seminar Nasional Geotik 2018*.

Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia: Jakarta.

Grauch, V.S.J., dan Cordell, L. (1987). Limitations of determining density or magnetic boundaries from the horizontal gradient of gravity or pseudogravity data. *Short note Geophysics*, 52(1), 118-121.

Gaol, L.K., Wardhana, D.D., Praptisih, Yayat, dan Kamtono. (2009). Aplikasi Pendekatan Metode Gayaberat Dalam Eksplorasi Hidrokarbon: Studi Geologi Bawah Permukaan Daerah Cekungan Jawa Timur Utara Segmen Lamongan. *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi-LIPI 2009*. Peran Puslit Geoteknologi dalam Optimalisasi Pemanfaatan.

Hasan, A.M., dan Nurwiyanto, M.I. (2008). Estimasi Penyebaran Sedimen Cekungan Jawa Timur Dengan Metode Gravity. *Jurnal Berkala Fisika*, 11(4), 137-145.

Havis, A.A., dan Liza, F. (2018). Filtering Sinyal Menggunakan Band Pass Filter. *Jurnal SIFC Mikroskil*, 19(2). Doi: <https://doi.org/10.55601/jsm.v19i2.594>.

Indriana, R.D. (2008). Estimasi Ketebalan Sedimen dan Kedalaman Diskontinuitas Mohorovicic Daerah Jawa Timur dengan Analisis Power Spectrum Data Anomali gayaberat. *Jurnal Berkala Fisika*, 11(2), 67-74.

Katili, J.A. (1973). *Volcanism and Plate Tectonics in Indonesian Island Arc*, *Tectonophys*, 26, 165-188.

Laghari, W.M., Baloch, M.U., Mengal, M.A. and Shah, S.J. (2014). Performance Analysis of Analog Butterworth Low Pass Filter as Compared to Chebyshev

Type-I Filter, Chebyshev Type-II Filter and Elliptical Filter. *Journal Circuits and Systems*, 5(9), 209-216. Doi: <http://dx.doi.org/10.4236/cs.2014.59023>.

Liana, Y.R., Wea, T.M.M., Syarifah, W., Supriyadi S., dan Khumaedi, K. (2020). Analisis Anomali Bouguer Data Gaya Berat Studi Kasus di Kota Lama Semarang. *Jurnal Riset Sains Dan Teknologi (JRST)*, 4(2), 63. Doi: 10.30595/jrst.v4i2.6301.

Moehadi, M. (2010). *Fundamental of Petroleum Geology and Exploration*. Universitas Indonesia, Depok.

Muliadi, A., dan Muttaqin, K. (2021). Filtering Sinyal Menggunakan Bandpass Filter. *Jurnal informatika dan Teknologi Komputer*, 02(01),12-16. Doi: <https://doi.org/10.30743/infotekjar.v4i1.1194>.

Nandi. (2006). *Minyak Bumi dan Gas*. Handouts Geologi Lingkungan (GG405). Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.

Ningrum, T., Kadir, W.G.A., Alawiyah, S., dan Wahyudi, E.J. (2011). Studi Identifikasi Struktur dan Prospek Hidrokarbon Daerah Frontier pada Cekungan Melawi-Ketungau, Kalimantan Barat dengan Metode Gayaberat. *Jurnal Teknologi dan Mineral*, XVIII(2). Doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jge.v2i01.215>.

Nugraha, P. (2016). Penentuan Kedalaman Optimum Anomali Gaya Berat Dengan Metode Korelasi Antara Analisis Spektrum dan Continuation Studi Kasus Semarang Jawa Tengah. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang: Semarang.

Rosid, S. (2005). *Gravity Method in Exploration Geophysics*. Depok: Universitas Indonesia.

- Sarkowi, M. (2010). Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer. *Jurnal Sains MIPA*, 16(2), 111-118.
- Sarkowi, M. (2014). *Eksplorasi Gaya Berat*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Setiadi, I., Setyanta, B., dan Widijono, B.S. (2010). Delineasi Cekungan Sedimen Sumatera Selatan Berdasarkan Analisis Data Gaya Berat. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 20(2), 93-106. Doi: <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v20i2.164>.
- Setiadi, I., Setyana, B., Nainggolan, T.B., dan Widodo, J. 2019. Delineasi Sub cekungan Sedimen dan Interpretasi Bawah Permukaan Cekungan Jawa Timur Wilayah Selat Madura dan Sekitarnya Berdasarkan Analisis Data Gayaberat. *Bulletin of The Marine Geology*, 34(1), 1-16.
- Sinha, N.K. (1991). *Linear System*. Jhon Wiley& Sons, Inc. Singapore.
- Sukhyar, R. (2009). *Peta Cekungan Sedimen Indonesia Berdasarkan Data Gayaberat dan Geologi*. Badan Geologi Departemen ESDM.
- Supriyadi, S., Khumaedi, K., Sugiyanto, S., dan Setiaswan, F. (2019). Pemisahan Anomali Regional dan Residual Data Gayaberat Studi Kasus di Kota Lama Semarang. *Physics Education Research Journal*, 1(1), 29-36.
- Supriyanto. (2007). *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Sukardi. (1992). *Peta Lembar Geologi Lembar Surabaya & Sapulu, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Situmorang, R.L., Agustianto, D.A., dan Suparman, M. (1992). *Peta Lembar Geologi Lembar Waru-Sumenep, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.

SKK Migas. (2020). *Laporan Tahunan 2020 'Menuju 1 Juta BOPD & 12 BSCFD Di 2030*. Jakarta.

Sribudiyani, Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie, B., Asikin, S., Harsolumakso, H.A., dan Yulianto, I. 2003. The Collision of The East Java Microplate and Its Implication for Hydrocarbon Occurrences in the East Java Basin. *29th Annual Convention Proceedings Indonesian Petroleum Association, 1*, 1-12.

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

Van Bemmelen, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia. vol. I-A. General Geology*. Government Print Office, The Hague Netherland.

Waples, D. (1985). *Geochemistry in Petroleum Exploration*. Human Resources and Develop. Co, Boston, 232.

Whitehead, N dan Musselman, C. (2007). *Tutorial: Montaj Magmap Filtering (2D Frequency Domain Processing of Potential Field Data Extention for Oasis Montaj 6.4)*. Geosoft Inc. Canada.