

**IDENTIFIKASI SUB CEKUNGAN BANYUMAS BERDASARKAN
ANALISIS DATA GAYABERAT**

(Skripsi)

Oleh

Muhammad Faridz Al Hayat
2055051004



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

**IDENTIFIKASI SUB CEKUNGAN BANYUMAS BERDASARKAN
ANALISIS DATA GAYABERAT**

Oleh

MUHAMMAD FARIDZ AL HAYAT

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



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

ABSTRAK

IDENTIFIKASI SUB CEKUNGAN BANYUMAS BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT

Oleh

MUHAMMAD FARIDZ AL HAYAT

Beberapa rembesan hidrokarbon ditemukan di sekitar Cekungan Banyumas yang menandakan adanya sistem petroleum yang aktif. Namun, struktur geologi yang kompleks menjadi penyebab sulitnya menemukan cadangan minyak dan gas bumi di Cekungan Banyumas. Penelitian dengan metode gayaberat dilakukan untuk mendapatkan sub cekungan yang berpotensi hidrokarbon, melihat pola arah migrasi hidrokarbon dan mengidentifikasi pola struktur geologi bawah permukaan di Sub Cekungan Banyumas. Analisis data gayaberat dilakukan di sekitar Cekungan Banyumas yang terdiri atas analisis spektrum dan filter *moving average*, kemudian dilanjutkan dengan analisis vektor, analisis derivatif, pemodelan 2D dan 3D. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat 6 sub cekungan yang berkorelasi dengan struktur sesar yang dapat di delineasi dengan kedalaman rata-rata yaitu 2.2 km dan pola tinggian di sekitar sub cekungan yang berperan sebagai jalur bermigrasinya hidrokarbon. Hasil pemodelan 2D dan 3D menunjukkan bahwa daerah penelitian tersusun atas endapan berusi kuartar sebagai lapisan permukaan dengan rata-rata densitas 2,2 gr/cc, lapisan dibawahnya merupakan Formasi Halang dengan rata-rata densitas 2,6 gr/cc, lapisan ketiga merupakan Formasi Penanjung dengan rata-rata densitas 2,45 gr/cc, lapisan keempat merupakan Formasi Gabon dengan rata-rata densitas 2,7 gr/cc. lapisan kelima merupakan sedimen Eosen dengan rata-rata densitas 2,75 gr/cc dan lapisan keenam merupakan batuan dasar (*basement*) dengan rata-rata densitas sebesar 3,0 gr/cc.

Kata Kunci: analisis gayaberat, Cekungan Banyumas, pemodelan 2D, pemodelan 3D.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF THE BANYUMAS SUB BASIN BASED ON ANALYSIS OF GRAVITY DATA

By

MUHAMMAD FARIDZ AL HAYAT

Several hydrocarbon seepages were found around the Banyumas Basin indicating an active petroleum system. However, the complex geological structure is the cause of the difficulty in finding oil and gas reserves in the Banyumas Basin. Research using the gravity method was conducted to obtain sub-basins with hydrocarbon potential, to see the pattern of hydrocarbon migration direction and to identify the pattern of subsurface geological structure in the Banyumas Sub-Basin. Gravity data analysis was conducted around the Banyumas Basin consisting of spectrum analysis and moving average filter, then continued with vector analysis, derivative analysis, 2D and 3D modeling. The results of the analysis showed that there were 6 sub-basins that were blocked by fault structures that could be delineated at an average depth of 2.2 km and a height pattern around the sub-basins that acted as a path for hydrocarbon migration. The results of 2D and 3D modeling show that the research area is composed of quaternary sediments as a surface layer with an average density of 2.2 gr/cc, the layer below is the Halang Formation with an average density of 2.6 gr/cc, the third layer is the Penanjung Formation with an average density of 2.45 gr/cc, the fourth layer is the Gabon Formation with an average density of 2.7 gr/cc. The fifth layer is Eocene sediment with an average density of 2.75 gr/cc and the sixth layer is the basement with an average density of 3.0 gr/cc.

Keywords: gravity analysis, Banyumas Basin, 2D modeling, 3D modeling.

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI SUB CEKUNGAN
BANYUMAS BERDASARKAN ANALISIS
DATA GAYABERAT**

Nama : **Muhammad Faridz Al Hayat**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2055051004**

Program Studi : **Teknik Geofisika**

Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

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

Isti Nur Kumalasari, M. T.

NIP. 197112101997021001

NIP. 199707152022032027

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

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

NIP. 196912301998021001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Isti Nur Kumalasari, M. T.

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

2. Dekan Fakultas Teknik

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

NIP. 19750928 200112 1002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 Juli 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "**IDENTIFIKASI SUB CEKUNGAN BANYUMAS BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT**" adalah hasil karya saya sendiri dan bukan hasil plagiasi atau karya orang lain. Seluruh tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah yang ditetapkan oleh Universitas Lampung. Jika di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil jiplakan atau telah dibuat oleh orang lain sebelumnya, maka saya siap menerima segala konsekuensi, termasuk pencabutan gelar sarjana yang telah saya peroleh. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 01 Agustus 2024



Muhammad Faridz Al Hayat
NPM. 2055051004

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bumiayu, Kec. Selebar, Kota Bengkulu pada tanggal 06 Februari 2001. Penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak I. Is Sudarwanto dan Ibu Meri Nofita Sari. Pendidikan formal penulis dimulai di TKIT Auladuna yang diselesaikan pada tahun 2007. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di SDIT Al Hasanah dan lulus pada tahun 2013. Pendidikan tingkat menengah pertama ditempuh di SMPN 4 Kota Bengkulu dan diselesaikan pada tahun 2016. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 7 Kota Bengkulu dan lulus pada tahun 2019. Pada tahun 2020 penulis diterima di Perguruan Tinggi Negeri jalur Mandiri Universitas Lampung di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Teknik, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika, penulis aktif dalam berbagai kegiatan organisasi dan program. Penulis menjadi anggota Riset dan Prestasi (RIPRES) di organisasi BIROHMAH. Selain itu, penulis juga berpartisipasi dalam program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) di Orbit Future Academy. Untuk mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh, penulis melaksanakan Kerja Praktik di Pusat Survei Geologi (PSG) Bandung pada tahun 2023. Penelitian tugas akhir dilakukan di Universitas Lampung dengan menggunakan metode Gayaberat. Penulis terus berupaya untuk mengembangkan diri dan berkontribusi dalam bidang Geofisika, dengan harapan dapat memberikan sumbangsih yang berarti bagi ilmu pengetahuan dan masyarakat.

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur kepada Allah, atas limpahan cinta dan kasih sayang-Nya yang senantiasa memberikan kekuatan, ilmu, dan pengenalan akan cinta sejati. Atas karunia dan kemudahan yang Engkau berikan, akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad.

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kukasihi dan kusayangi

Bapak & Ibu

Terimakasih telah memberikan kasih sayang, motivasi, dukungan, ridho dan doa – doa yang engkau panjatkan sehabis sholatmu. Terimakasih sudah menjadi tempat pulang saat aku kehilangan arah. Tetaplah hidup sampai aku bisa membahagiakanmu Bapak & Ibu.

Kakak dan adik tercinta

Terimakasih atas dukungan dan motivasi yang telah diberikan. Tetap semangat dan berjuanglah sampai akhir.

MOTTO

“Aku membahayakan nyawa ibuku untuk lahir ke dunia, tidak mungkin kehadiranku tidak ada artinya”

“Bersama ibu, ayah selalu jadi pendukung nomor satu dalam hidupku. Dia tidak ada bandingannya”

“Kalau takut jangan ikut, kalau ikut jangan takut”

“The only way out, is through”

~**Muhammad Faridz Al Hayat**~

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**IDENTIFIKASI SUB CEKUNGAN BANYUMAS BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT**”. Skripsi ini bertujuan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dan sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik. Namun penulis menyadari masih banyak ketidaksempurnaan dan kesalahan dalam penulisan. Oleh karena itu penulis meminta maaf dan mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun sebagai evaluasi kedepannya. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 01 Agustus 2024

Penulis



Muhammad Faridz Al Hayat

NPM. 2055051004

SANWACANA

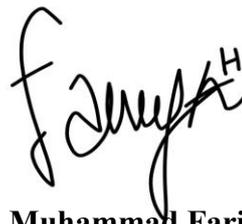
Penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah yang selalu menghargai usaha sekecil apapun dan memenuhi janji-Nya.
2. Bapak Dr. Karyanto, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung dan sekaligus sebagai penguji skripsi penulis.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU. pembimbing utama yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan berharga selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Isti Nur Kumalasari, M.T., pembimbing kedua yang selalu meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan koreksi penulisan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si., pembimbing akademik yang senantiasa memberikan arahan, semangat, dan motivasi kepada penulis sejak awal hingga akhir studi di Teknik Geofisika.
6. Bapak Andy setyo wibowo yang telah memberikan bimbingan dan wawasan baru kepada penulis.
7. Kedua orangtua, atas dukungan moral dan material serta doa yang tiada henti untuk kelancaran segala urusan penulis.
8. Kakak dan adik, yang selalu memberikan dukungan meskipun sering disertai dengan teguran-teguran yang penuh perhatian.
9. Riski, Rafi dan bhedro, yang terus menerus memberikan motivasi serta nasehat kepada penulis.
10. Vina Aviani, yang telah membantu dan menemani penulis dalam banyak hal selama penyusunan skripsi ini.

11. Jenot, Rahmad, Erik, Teguh, Ridho dan Rayya, yang selalu menemani penulis sejak awal hingga menyelesaikan studi di Teknik Geofisika
12. Dan yang terakhir, tidak lupa berterimakasih kepada diri sendiri “Muhammad Faridz Al Hayat” yang sudah kuat melewati rintangan – rintangan yang sudah dialami, terimakasih untuk tidak memilih menyerah meskipun sesulit apapun proses penyusunan skripsi ini. Selamat atas pencapaiannya “Muhammad Faridz Al Hayat”.

Bandar Lampung, 01 Agustus 2024

Penulis



Muhammad Faridz Al Hayat

NPM. 2055051004

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Lokasi Daerah Penelitian.....	5
2.2 Geologi Regional	6
2.3 Fisiografi.....	7
2.4 Tektonik Jawa Tengah.....	9
2.5 Stratigrafi	10
2.6 Sistem Petroleum Cekungan Banyumas.....	15
III. TEORI DASAR.....	20
3.1 Metode Gayaberat.....	20
3.2 Konsep Metode Gayaberat	20
3.2.1 Gayaberat Newton	20
3.2.2 Percepatan Gayaberat	21
3.2.3 Potensial Gayaberat	22
3.2.4 Anomali Bouguer	23

3.3 Analisis Spektrum.....	24
3.4 <i>Moving Average</i>	27
3.5 <i>First Horizontal Derivative (FHD)</i>	28
3.6 <i>Second Vertical Derivative (SVD)</i>	29
3.7 Pemodelan 2D.....	30
3.8 Pemodelan 3D.....	32
3.9 Pola Migrasi.....	33
IV. METODE PENELITIAN.....	35
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	35
4.2 Alat dan Bahan.....	35
4.3 Prosedur Penelitian.....	36
4.4 Jadwal Kegiatan.....	39
4.5 Diagram Alir.....	40
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
5.1 Anomali Bouguer Lengkap.....	41
5.2 Analisis Spektrum.....	42
5.3 Anomali Regional.....	47
5.4 Anomali Residual.....	48
5.5 Identifikasi Sub Cekungan.....	50
5.6 Analisis Vektor.....	51
5.6 Analisis Derivatif.....	52
5.6.1 <i>First Horizontal Derivative (FHD)</i>	52
5.6.2 <i>Second Vertical Derivative (SVD)</i>	53
5.7 Pemodelan 2D.....	53
5.8 Pemodelan 3D.....	57
VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
6.1 Kesimpulan.....	64
6.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Daerah Penelitian	5
2. Daerah penelitian yang di <i>overlay</i> data struktur regional, titik <i>oilseeps</i> dan batas Cekungan Banyumas	7
3. Peta fisiografi Jawa Tengah	8
4. Sesar Muria-Kebumen dan Sesar Pamanukan-Cilacap dan implikasinya terhadap geologi di Jawa Tengah.....	10
5. Stratigrafi regional daerah penelitian.....	11
6. Tektonostratigrafi Kenozoikum Zona Serayu.....	15
7. Minyak bumi dihasilkan dan bermigrasi ke hulu hingga ke dataran tinggi struktural Majalengka-Banyumas dan terperangkap dalam berbagai struktur, sebagian besar merupakan sub patahan <i>trap</i>	16
8. Penampang geologi berdasarkan tektonostratigrafi	17
9. Penampang seismik 91-BMS-05 terdapatnya patahan sebagai jalur migrasi hidrokarbon menuju sayap antiklin.....	19
10. Gaya tarik menarik dua partikel	22
11. Potensial massa 3 dimensi	23
12. Kurva $\ln A$ terhadap k	25
13. Elemen geometris yang terlibat dalam tarikan gayaberat poligon bersisi n ..	31
14. Migrasi Hidrokarbon.....	34
15. Diagram Alir Penelitian	40
16. Peta Anomali Boguer Lengkap	41
17. Peta lintasan analisis spektrum	43
18. Grafik $\ln A$ terhadap k lintasan 1.....	44

19. Grafik $\ln A$ terhadap k lintasan 2.....	44
20. Grafik $\ln A$ terhadap k lintasan 3.....	45
21. Grafik $\ln A$ terhadap k lintasan 4.....	46
22. Grafik $\ln A$ terhadap k lintasan 5.....	46
23. Peta anomali regional.....	48
24. Peta anomali residual	49
25. Peta identifikasi sub cekungan.....	50
26. Peta pola arah migrasi Sub Cekungan Banyumas.....	51
27. Peta <i>First Horizontal derivative</i> (FHD).....	52
28. Peta <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD).....	53
29. Model penampang A – A'	55
30. Model penampang B – B'	56
31. Model penampnag C – C'	57
32. Model 3D Sub Cekungan Banyumas	58
33. <i>Slicing</i> pada model 3D Sub Cekungan Banyumas.....	59
34. Model penampang densitas lintasan A – A' hasil <i>slicing</i> dari model 3D dan 2D.....	60
35. Model penampang densitas lintasan B – B' hasil <i>slicing</i> dari model 3D dan 2D.....	61
36. Model penampang densitas lintasan C – C' hasil <i>slicing</i> dari model 3D dan 2D.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Operator filter Elkins	30
2. <i>Software</i> yang digunakan	35
3. Data penelitian	36
4. Jadwal kegiatan penelitian	39
5. Kedalaman diskontinuitas pada Sub Cekungan Banyumas berdasarkan analisis spektrum.....	47

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pulau Jawa terletak pada wilayah margin aktif yang merupakan pertemuan antara lempeng benua Eurasia dan lempeng samudera Hindia yang sudah berkembang sejak periode Juro-Kretaseus. Diketahui bahwa lapisan dasar (*basement*) pulau Jawa terdiri dari kerak benua Eurasia yang ditempati oleh Jawa Tengah dan Jawa Barat bagian utara serta dataran akresi menengah (*intermediate*) yang ditempati oleh bagian selatan Jawa Barat dan Jawa Tengah dan hampir keseluruhan wilayah Jawa Timur. Terdapatnya beberapa benua mikro seperti Jampang dan Bayat juga dimungkinkan terjadi di Pulau Jawa. Hasil dari konvergensi tersebut membentuk elemen tektonik utama yang meliputi palung subduksi, prisma akresi, busur magmatik-vulkanik serta terbentuknya cekungan busur depan dan busur depan (Satyana, 2006). Diketahui bahwa cekungan sedimen yang tersebar di seluruh pulau Jawa adalah sebanyak 19 cekungan, dimana dari 19 cekungan tersebut hanya 6 diantaranya yang merupakan cekungan berproduksi, 4 diantaranya merupakan cekungan dengan sumur dan penemuan hidrokarbon, 1 cekungan dengan potensi memiliki sistem perminyakan aktif dan 8 lainnya merupakan cekungan yang belum dieksplorasi (Badan Geologi, 2009).

Cekungan Banyumas merupakan salah satu dari 4 cekungan dengan sumur dan penemuan hidrokarbon dan diidentifikasi sebagai salah satu wilayah yang menjanjikan untuk eksploitasi hidrokarbon yang signifikan. Meskipun adanya temuan rembesan hidrokarbon di beberapa lokasi sekitar cekungan

ini, hingga kini belum terdapat sumur produksi minyak dan gas yang ekonomis di wilayah tersebut. (Hidayat dkk., 2020). Menurut Satyana (2007) Berbeda dari cekungan yang berada di daerah Jawa Barat dan Jawa Timur, cekungan yang berada di daerah Jawa Tengah sangat minim eksplorasi minyak dan gas bumi sehingga disebut sebagai “*terra incognita*” (daerah yang tidak dikenal) dalam eksplorasi minyak dan gas bumi di Indonesia.

Eksplorasi minyak dan gas bumi dapat dilakukan dengan menggunakan metode gayaberat sebagai survei pendahuluan. Metode ini dapat mendelineasi sub cekungan berdasarkan anomali gayaberat seperti yang dilakukan Setiadi (2017) untuk mendelineasi dan melihat konfigurasi batuan dasar di Sub Cekungan Banyumas. Pada penelitian tersebut, diperoleh 6 sub cekungan yaitu Sub Cekungan Purbalingga, Wonosobo, Karangobar, Wakatumpul, Lobang dan Bantarbolang. Pada tahun 2020, Hidayat dan rekan-rekannya melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi struktur geologi di bawah permukaan di Cekungan Banyumas. Hasil penelitian mereka mengungkap beberapa struktur bawah permukaan, termasuk pola tren Antiklin Cipari yang tergeser dan diduga memiliki pengaruh terhadap timbulnya rembesan minyak ke permukaan. Dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan di Cekungan Banyumas, belum dilakukan penelitian untuk mengetahui pola migrasi fluida berdasarkan analisis vektor anomali gayaberat dan metode *second vertical derivative* di Sub Cekungan Banyumas.

Penelitian ini melakukan pengamatan geofisika dengan menggunakan metode gayaberat karena memiliki resolusi horizontal yang sangat baik. Meskipun begitu, model struktur bawah permukaan pada metode gayaberat masih bersifat ambiguitas yang dipengaruhi oleh kedalaman dan densitas (Setyanta dan Setiadi, 2010). Untuk mengatasi ambiguitas ini, dilakukan analisis spektrum untuk mengestimasi kedalaman pada model struktur bawah permukaan yang akan dibuat nantinya. Dari analisis tersebut,

diharapkan dapat meminimalisir kesalahan dalam penentuan model kedalaman yang dihasilkan (Indragiri dan Sumarni, 2019). Pemodelan 3D anomali gayaberat, analisis vektor dan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD), dilakukan agar dapat diketahui model distribusi densitas bawah permukaan, pola migrasi fluida dan struktur patahan pada daerah penelitian (Sarkowi, 2010). Data geologi juga diperlukan sebagai pendukung data geofisika dalam memvalidasi sub cekungan hidrokarbon di daerah penelitian. Oleh karena itu, penelitian ini akan melakukan analisis pada data gayaberat dan geologi untuk mengetahui sub cekungan dengan potensi hidrokarbon di Sub Cekungan Banyumas.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah.

1. Mendapatkan sub cekungan yang berpotensi hidrokarbon berdasarkan korelasi analisis peta anomali residual dan *Second Vertical Derivative* (SVD).
2. Mendapatkan arah migrasi hidrokarbon di daerah penelitian berdasarkan analisis vektor dan anomali residual data gayaberat.
3. Mendapatkan model struktur bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan hasil pemodelan anomali residual data gayaberat.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Analisis sub cekungan hidrokarbon berdasarkan analisis peta anomali residual dan *Second Vertical Derivative* (SVD).
2. Identifikasi pola migrasi berdasarkan analisis vektor anomali residual.
3. Mengidentifikasi struktur berdasarkan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) dan melakukan korelasi pada model 2D serta model 3D yang menunjukkan variasi densitas bawah permukaan.

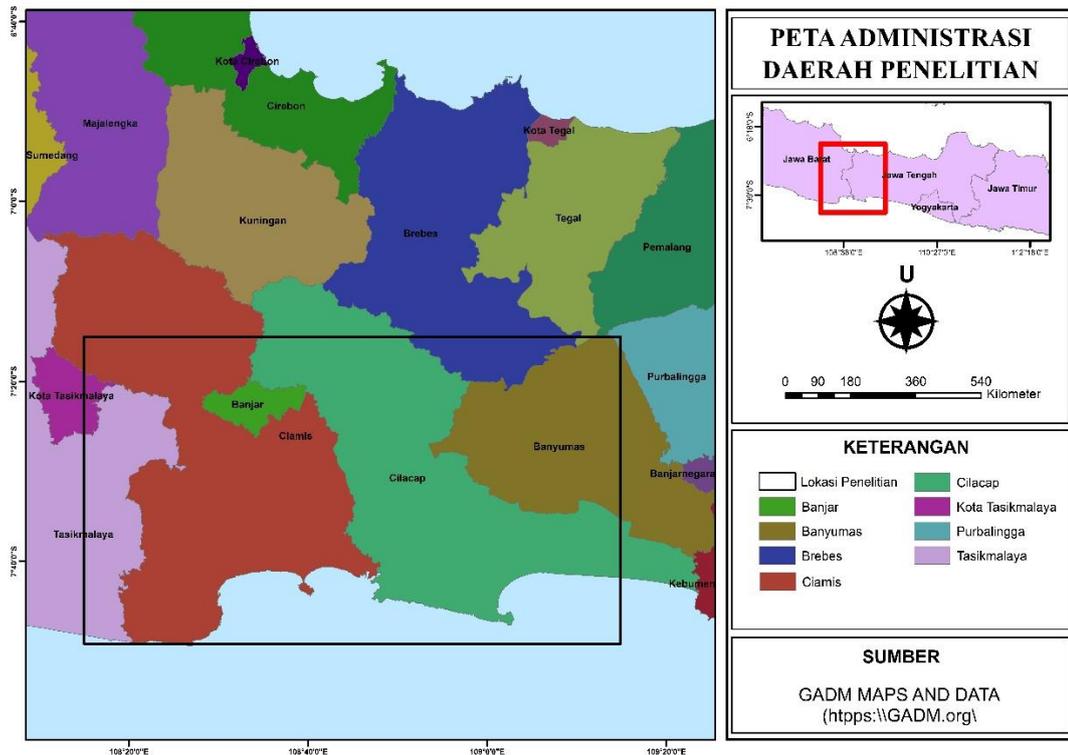
1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini yaitu untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan di daerah Sub Cekungan Banyumas sehingga diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti lain yang memiliki fokus penelitian yang serupa untuk pengembangan yang lebih komprehensif ke depannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Daerah penelitian

Wilayah penelitian mencakup bagian selatan Jawa Tengah dan Jawa Barat yang meliputi Kabupaten Banjar, Banyumas, Brebes, Ciamis, Cilacap, Kota Tasikmalaya, Purbalingga, dan Tasikmalaya. Secara geografis daerah penelitian berada di $108^{\circ}15'00''$ BT sampai dengan $109^{\circ}14'56.4''$ BT dan $7^{\circ}49'00''$ LS sampai dengan $7^{\circ}15'10.8''$ LS. **Gambar 1** menunjukkan wilayah penelitian.



Gambar 1. Peta Lokasi Daerah Penelitian (Hidayat dkk., 2020).

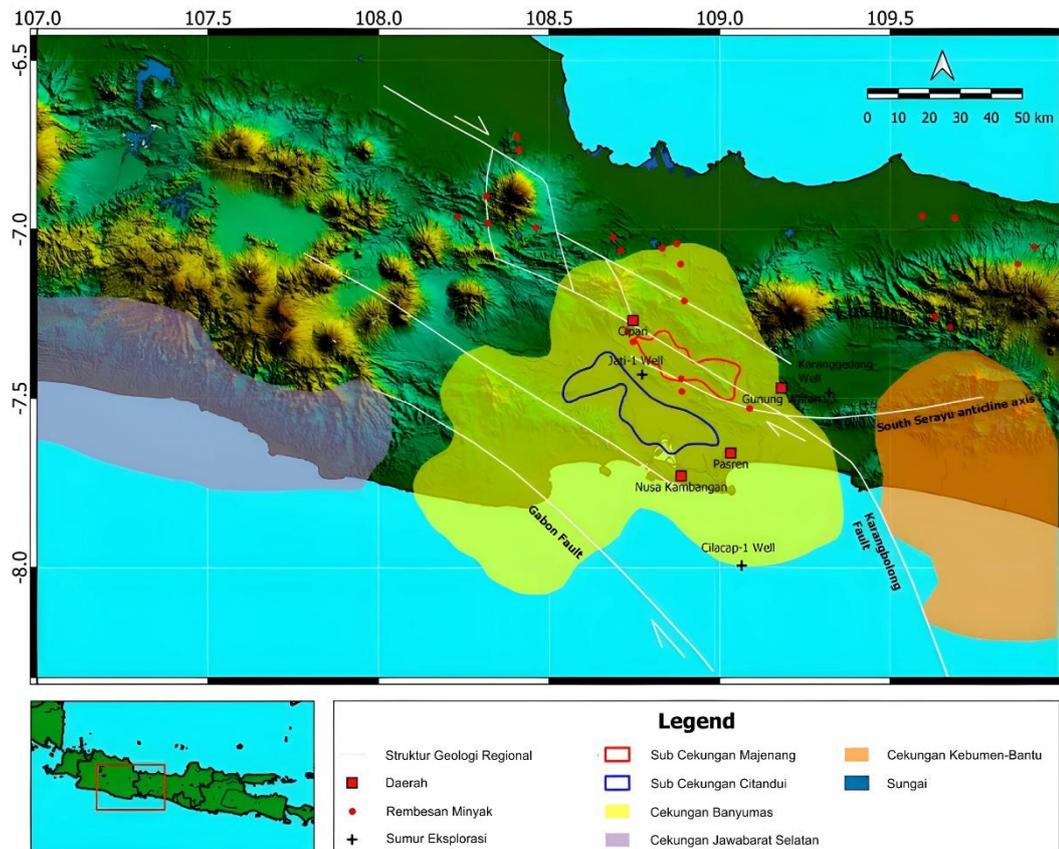
2.2 Geologi Regional

Sejak umur kapur pulau Jawa berada di zona batas yang mempertemukan Lempeng Benua Eurasia dan Lempeng Samudera Hindia. Pertemuan lempeng tersebut menghasilkan elemen tektonik utama yaitu meliputi palung subduksi, cekungan busur depan dan belakang serta busur magmatik-vulkanik. Batuan magmatik yang berada di perbatasan antara batuan intermediet di Jawa Timur dan batuan dasar benua di Jawa Barat menembus lapisan batuan vulkanik dan endapan sedimen. (Hidayat dkk., 2020).

Cekungan Banyumas, terletak di bagian selatan Provinsi Jawa Tengah, Indonesia dan merupakan salah satu cekungan busur antar pegunungan yang ditutupi oleh sedimen vulkaniklastik. Kurangnya kajian geologi dan geofisika di Cekungan Banyumas menjadikannya "*terra incognita*" dalam hal eksplorasi minyak bumi (Satyana, 2015). Terlihat pada **Gambar 2** Dalam konteks geologi Cekungan Banyumas, dapat diamati bahwa strukturnya terdiri dari tiga orientasi utama. Pertama adalah Struktur Gabon-Nusakambangan yang membentang dari barat laut hingga tenggara. Selain itu, terdapat lipatan yang cenderung asimetris dan memiliki lereng yang cenderung landai pada Struktur Gabon-Nusakambangan ini. Lebih lanjut, proses pembentukan sesar naik dan sesar normal terjadi di kedua sisi antiklin yang signifikan dalam daerah ini. Struktur geologis di Cekungan Banyumas dikenali melalui tiga arah utama. Pertama, terdapat Struktur Gabon-Nusakambangan yang membentang dari barat laut ke tenggara. Lipatan yang timbul pada Struktur Gabon-Nusakambangan cenderung bersifat asimetris dengan lereng yang cenderung landai. Di kedua sisi antiklin, terbentuklah sesar naik dan sesar normal. (Hidayat dkk., 2020).

Pada masa Oligosen hingga Miosen, naiknya ge-antiklin bagian selatan menyebabkan ge-antiklin bagian utara mengalami penurunan. Penurunan ini terjadi sampai dengan masa intra Miosen Tengah, saat hal tersebut terjadi reaksi gayaberatona yang menyebabkan ge-antiklin bagian selatan patah,

sayap utara ge-antiklin tersebut tergelincir ke arah depresi geosinklin (Van Bemmelen, 1949).



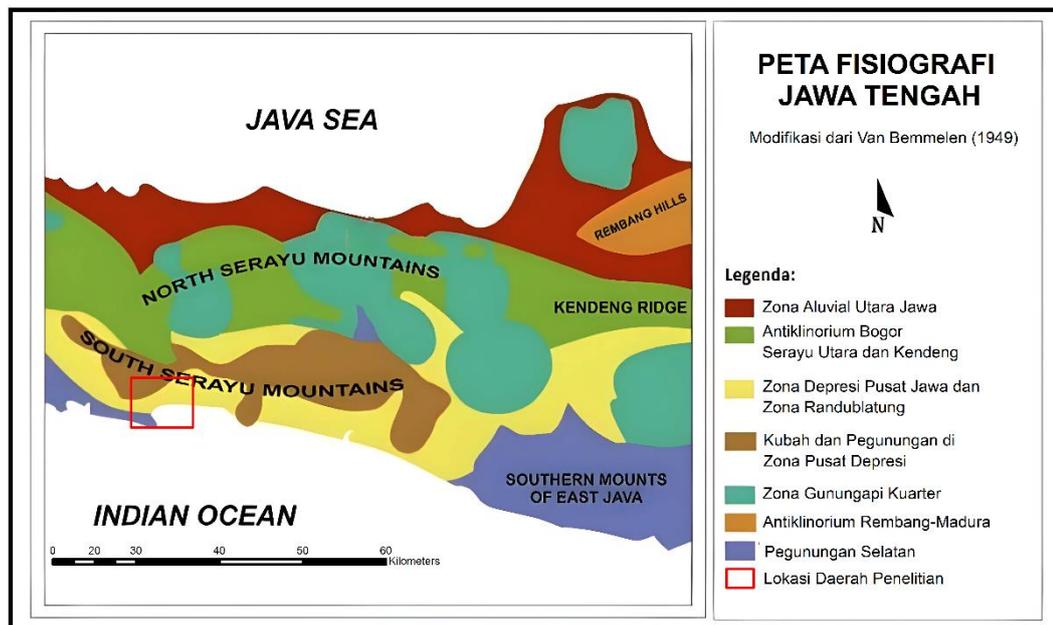
Gambar 2. Daerah penelitian yang di *overlay* titik *oil seeps*, struktur regional dan batas Cekungan Banyumas (Hidayat dkk., 2021).

2.3 Fisiografi

Van Bemmelen (1949) mengklasifikasikan wilayah Jawa Tengah ke dalam beberapa zona fisiografi utama. Zonanya mencakup dataran aluvial Pantai Utara Jawa, Antiklin besar Rembang-Madura, Zona Antiklin besar Bogor, Serayu Utara dan Kendeng, Kubah dan Pematang di Pegunungan Zona Pusat Depresi, Zona Depresi Pusat Jawa dan Randublatung, Pegunungan api Kuarter, dan Zona Pegunungan Selatan.

Menurut pengelompokan zona fisiografi yang diusulkan oleh Van Bemmelen pada tahun 1949, wilayah penelitian dapat dibagi menjadi tiga bagian utama: Kubah dan Pegunungan dalam Zona Pusat Depresi, Zona

Depresi Pusat Jawa dan Randublatung, serta Zona Pegunungan Selatan (**Gambar 3**). Morfologi di Kubah dan Pegunungan di Zona Pusat Depresi memiliki kubah yang terletak di antara Zona Depresi Pusat Jawa dan Randublatung. Terdapat antiklinorium di bagian barat Kubah dan Pegunungan di Zona Pusat Depresi dengan orientasi timur ke barat. Pegunungan ini terletak di daerah Kabupaten Cilacap Utara, Kabupaten Banjarnegara Selatan, Kabupaten Banyumas Selatan, Kabupaten Wonosobo Selatan, Kabupaten Kebumen, dan Kabupaten Purworejo. Zona Depresi Pusat Jawa dan Randublatung memiliki orientasi persebaran di bagian selatan hingga tengah dengan lebar 10-25 km yang memutus morfologi pantai terjal di daerah Jawa bagian selatan. Zona Pegunungan Selatan memiliki morfologi pantai terjal dengan orientasi di sepanjang pantai di bagian selatan Jawa. Zona ini terputus di Provinsi Jawa bagian tengah oleh Zona depresi Pusat Jawa dan Randublatung sehingga tidak menampilkan bentuk morfologi tersebut (Husein dkk., 2013).



Gambar 3. Peta fisiografi Jawa Tengah (Modifikasi dari Van Bemmelen, 1949).

2.4 Tektonik Jawa Tengah

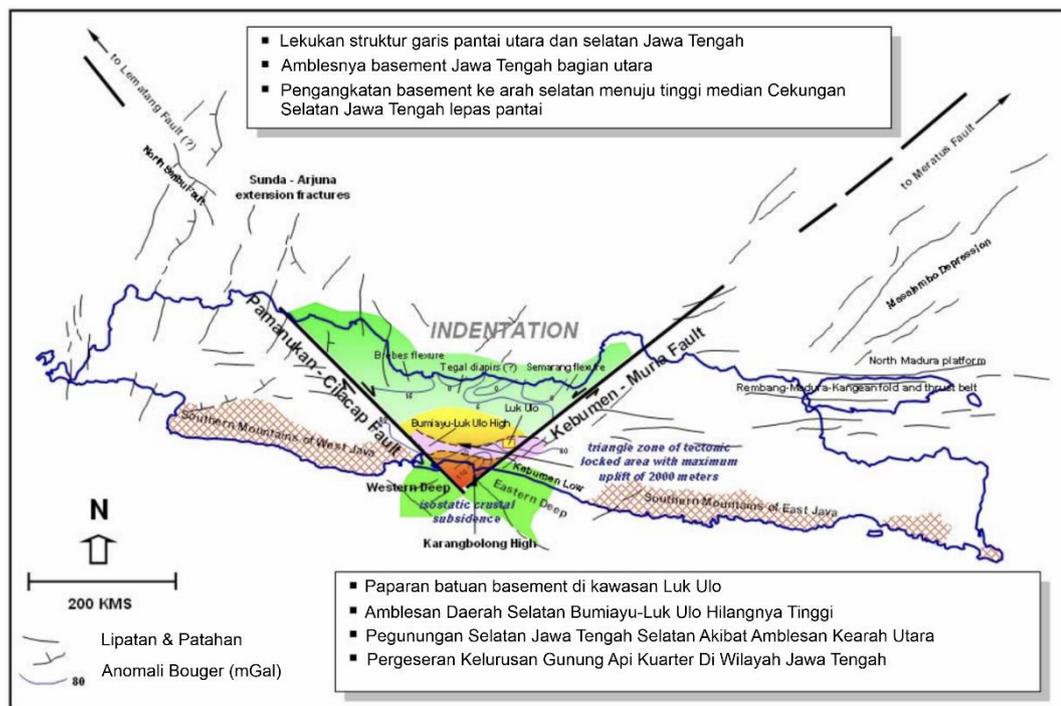
Jawa Tengah memiliki karakteristik tektonik yang unik dimana karakteristik tektonik ini akan memainkan peran penting dalam membentuk geologi

perminyakan. Secara khusus, keberadaan dua sesar mendatar (*strike-slip fault*) regional yang saling bersinggungan di Jawa Tengah bagian selatan (**Gambar 4**) sangat mempengaruhi geologi minyak bumi di daerah tersebut (Satyana, 2007).

Di Jawa Tengah bagian selatan, konfigurasi dari patahan-patahan ini telah menyebabkan pengangkatan yang signifikan, membentuk Pegunungan Serayu. Pengangkatan ini, pada gilirannya, telah menyebabkan penurunan isostatik kompensasi di dua daerah di utara dan selatan zona yang terangkat: daerah utara yang dikenal sebagai Serayu Utara dan daerah selatan yang disebut sebagai Serayu Selatan atau Banyumas. Daerah-daerah yang terangkat ini telah berkembang menjadi cekungan-cekungan di mana berbagai elemen sistem perminyakan aktif, yang dibuktikan dengan banyaknya rembesan minyak dan gas di dalam cekungan-cekungan ini. Tektonik gayaberas dari *toethrusting*, antiklin terbalik yang tersusun oleh turbidit dan karbonat terumbu di blok patahan dapat menjadi target eksplorasi di daerah-daerah ini. Beberapa potensi yang ada tetap harus mempertimbangkan keunikan tektonik Jawa Tengah untuk mengeksplorasi wilayah ini (Satyana, 2007).

Penyempitan ke dalam di pesisir utara dan selatan Jawa Tengah membentuk suatu lekukan atau cekungan. Lekukan ini diduga memiliki hubungan dengan asal tektonik atau struktural seperti yang dipertimbangkan oleh Situmorang dkk., dalam Satyana (2007). Namun, fenomena ini belum diketahui secara rinci hingga publikasi dari Satyana dan Purwaningsih (2002) yang menjelaskan asal muasal dan implikasi geologis dari penyempitan ke dalam garis pantai Jawa Tengah. Dua sesar major yang disebut Sesar Muria-Kebumen serta Sesar Pamanukan-Cilacap yang saling berlawanan *slip* dan trennya dianggap telah menyorok ke garis pantai Jawa Tengah dan hal tersebut menjadi penyebab dari banyaknya perubahan geologi di Jawa Tengah (Satyana dan Purwaningsih, 2002; Satyana, 2005; Satyana, 2006).

Lekukan garis pantai Jawa Tengah diduga memiliki keterkaitan dengan terangkatnya paparan kompleks mélange dan batuan dasar Luk Ulo-Karangsambung yang berumur pra-Tersier hingga Tersier paling awal dan hilangnya Pegunungan Selatan Jawa di selatan Jawa Tengah. Jawa Tengah telah menduduki posisi penting dalam kerangka tektonik Indonesia Bagian Barat pada masa Kapur Akhir hingga Paleogen. Wawasan tektonik baru di Jawa Tengah ini memberikan alasan mengapa cekungan di Jawa Tengah berbeda dari cekungan di Jawa Barat dan Jawa Timur, serta memberikan gambaran mengenai kemungkinan adanya minyak bumi di wilayah tersebut (Satyana, 2007).

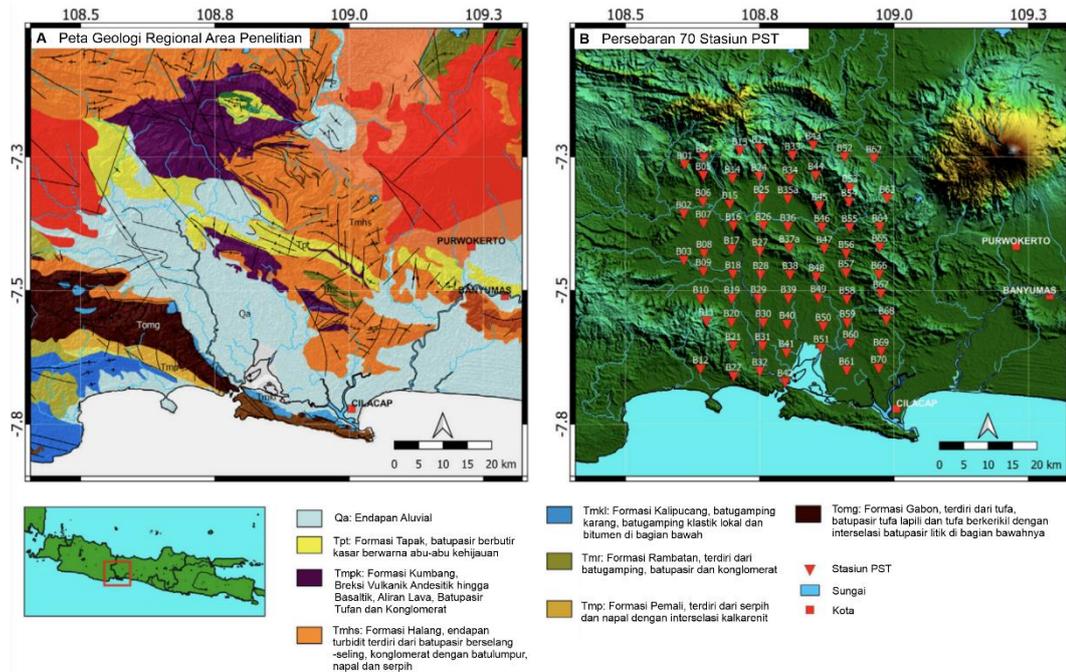


Gambar 4. Sesar Muria-Kebumen dan Sesar Pamanukan-Cilacap dan implikasinya terhadap geologi di Jawa Tengah (Satyana, 2007).

2.5 Stratigrafi

Keterkaitan yang signifikan terdapat antara deformasi tektonik dan stratigrafi regional dalam Zona Serayu Utara dan Serayu Selatan, sebagaimana yang ditunjukkan dalam **Gambar 6**. Di Zona Serayu Selatan, terdapat penemuan batuan pra-Tersier dan batuan Paleogen yang tersingkap ke permukaan di wilayah Karangsambung. (Husein dkk., 2013). Cekungan

Banyumas memiliki Tatahan stratigrafi seperti yang terlihat pada **Gambar 5** Terdiri dari 9 formasi batuan yaitu Endapan Aluvium (Qa), Formasi Gabon (Tomg), Formasi Tapak (Tpt), Formasi Kalipucang (Tmk), Formasi Halang (Tmhs), Formasi Rambatan (Tmr), Formasi Waturanda (Tmw), Formasi Kumbang (Tmks) dan Formasi Pemali (Tmp).



Gambar 5. Stratigrafi regional daerah penelitian (Hidayat dkk., 2021).

2.5.1 Endapan Alluvium (Qa)

Di wilayah penelitian ini, deposit endapan alluvium mencakup sebagian besar wilayah utara, yang terdiri dari lanau, lempung, pasir, kerikil, dan material batuan hasil erosi dari Pegunungan Karangbolong yang kemudian mengendap melalui aliran sungai-sungai yang beragam di area tersebut. Sementara itu, di bagian selatan penelitian, endapan alluvium pesisir pantai yang terdiri dari pasir dengan berbagai ukuran (mulai dari halus hingga sedang) serta endapan lepas, menghasilkan struktur berlapis yang signifikan di lokasi penemuan sumber daya mineral seperti pasir besi. (Silitonga dkk., 1996; Herman, 2005).

2.5.2 Formasi Tapak (Tpt)

Pada periode Pliosen, terjadi kemungkinan adanya perubahan dalam konfigurasi tektonik regional yang terindikasi dengan berkurangnya aktivitas vulkanisme di Serayu Selatan dan menurunnya intensitas vulkanisme di Serayu Utara. Hall (2012) kemudian menghubungkan perubahan tersebut dengan fase terakhir dari rotasi Sundaland. Di masa ketenangan tektonik ini, sedimentasi batupasir gampingan dari Formasi Tapak terjadi di kedua zona Serayu. Formasi Tapak juga kaya akan fragmen moluska yang ditemukan dalam depositnya. (Condon dkk dalam Husein dkk., 2013). Sedimentasi Tapak dimulai pada Miosen Akhir (Lunt dkk., 2009). Formasi Tapak akan terendapkan semakin halus ketika semakin ke atas pada Pliosen Awal sampai Pliosen Tengah. Meskipun tidak selaras dengan Formasi Kumbang Pengendapan formasi ini selaras dengan Formasi Halang. Formasi Tapak tersusun atas batu lempung, napal serta batupasir yang teresimentasi di sekitar laut dangkal hingga pantai. Terdapat dua anggota batuan pada Formasi Tapak yaitu Anggota Breksi dan Anggota Batu Kapur. Keberadaan *Cycloclypeus* dan *Foraminifera Operculina* serta *Lepidocyclina cf. Trybliolepidina ruteni f. stellata Scheffen* menjadi penanda umur Pliosen pada Formasi Tapak (Bachri, 2017).

2.5.3 Formasi Halang (Tmph)

Kemunculan perkembangan busur vulkanik ganda di Jawa Tengah mencerminkan akhir dari periode Miosen. Proses vulkanisme yang terjadi di Serayu Selatan bersamaan dengan perkembangan vulkanisme Serayu Utara menandai transisi ini. Pada periode ini, kedua zona tersebut didominasi oleh batuan pasir vulkanik dari Formasi Halang. Fraksi kasar dan fragmen vulkanik ditemukan dalam Formasi Peniron di Zona Serayu Selatan, sedangkan Formasi Kumbang mengidentifikasi zona Serayu Utara. Cekungan belakang busur Serayu Utara mengalami transformasi menjadi busur vulkanik pada masa ini. Struktur Formasi Halang menunjukkan susunan yang terdiri dari perselingan napal, tufa, batuan

pasir, batu lempung, serta sedikit sisipan breksi. (Condon dkk dalam Husein dkk., 2013).

2.5.4 Formasi Rambatan (Tmr)

Dari Miosen Awal hingga saat ini, Formasi Rambatan telah mengalami proses pengendapan di lingkungan lereng cekungan belakang busur yang memiliki stabilitas rendah. Formasi ini melapisi kelompok sedimen gayaberatonal Wora-wari yang telah terbentuk lebih awal pada periode Oligosen Akhir, yang dipicu oleh pembukaan cekungan belakang busur Serayu Utara. Komposisi Formasi Rambatan mencakup batupasir berkarbonat serta perselingan konglomerat serpih, napal, dan tuff. (Condon dkk dalam Husein dkk., 2013). Meskipun Condon dkk dalam Husein dkk., (2013) mencatat perkembangan Formasi Rambatan dimulai pada Miosen Awal, namun Lunt dkk., (2009) memperkirakan bahwa umur Formasi Rambatan lebih muda yaitu Miosen Tengah.

2.5.5 Formasi Kalipucang (Tmk)

Intensitas vulkanisme di Serayu Selatan mengalami penurunan saat memasuki Miosen Tengah. Penurunan ini diduga disebabkan oleh rotasi berlawanan arah jarum jam Sundaland yang memengaruhi proses subduksi di selatan Jawa. Pada periode ini, Formasi Kalipucang, yang terdiri dari batugamping terumbu, mengendap di atas tinggian vulkanik Formasi Gabon. Formasi Kalipucang ini terdiri dari satuan batugamping yang terbentuk pada masa Miosen Tengah. (Budhistrina, 1986).

2.5.6 Formasi Waturanda (Tmw)

Formasi Waturanda merupakan susunan geologi yang terdiri dari batuan pasir vulkanik di segmen terendahnya, yang kemudian mengandung material tufa napal dan kemudian mengalami transformasi menjadi breksi andesit di segmen puncaknya. Breksi ini umumnya terbentuk dari fragmen batuan andesit dengan dimensi yang beragam, mulai dari butiran kerikil hingga batuan berukuran besar. Komposisi dasar dari breksi ini adalah

pasir kasar. Struktur sedimen yang ditemukan adalah lapisan berlapis normal, lapisan berlapis yang terbalik, dan laminasi paralel. Formasi Waturanda terendapkan sebagai turbidit, berumur Miosen awal (Asikin dalam Ansori dkk., 2019).

2.5.7 Formasi Gabon (Tomg)

Deposisi Formasi Gabon di tepi selatan mewakili periode vulkanisme yang terjadi di Serayu Selatan. Breksi vulkanik Gabon merupakan elemen yang dapat diidentifikasi dalam Zona Pegunungan Selatan Jawa Tengah, sementara Formasi Waturanda di Zona Serayu Selatan bagian tengah juga menunjukkan tanda-tanda aktivitas vulkanik yang signifikan. (Van Bemmelen, 1949). Formasi Gabon diketahui berumur Miosen Awal dan Oligosen Akhir dan tersusun atas breksi vulkanik, lava andesit, tufa, lapili dan laharik. Sebagian besar matriks tufa berubah menjadi tras dan bentonit (Simanjuntak dan Surono, 1992).

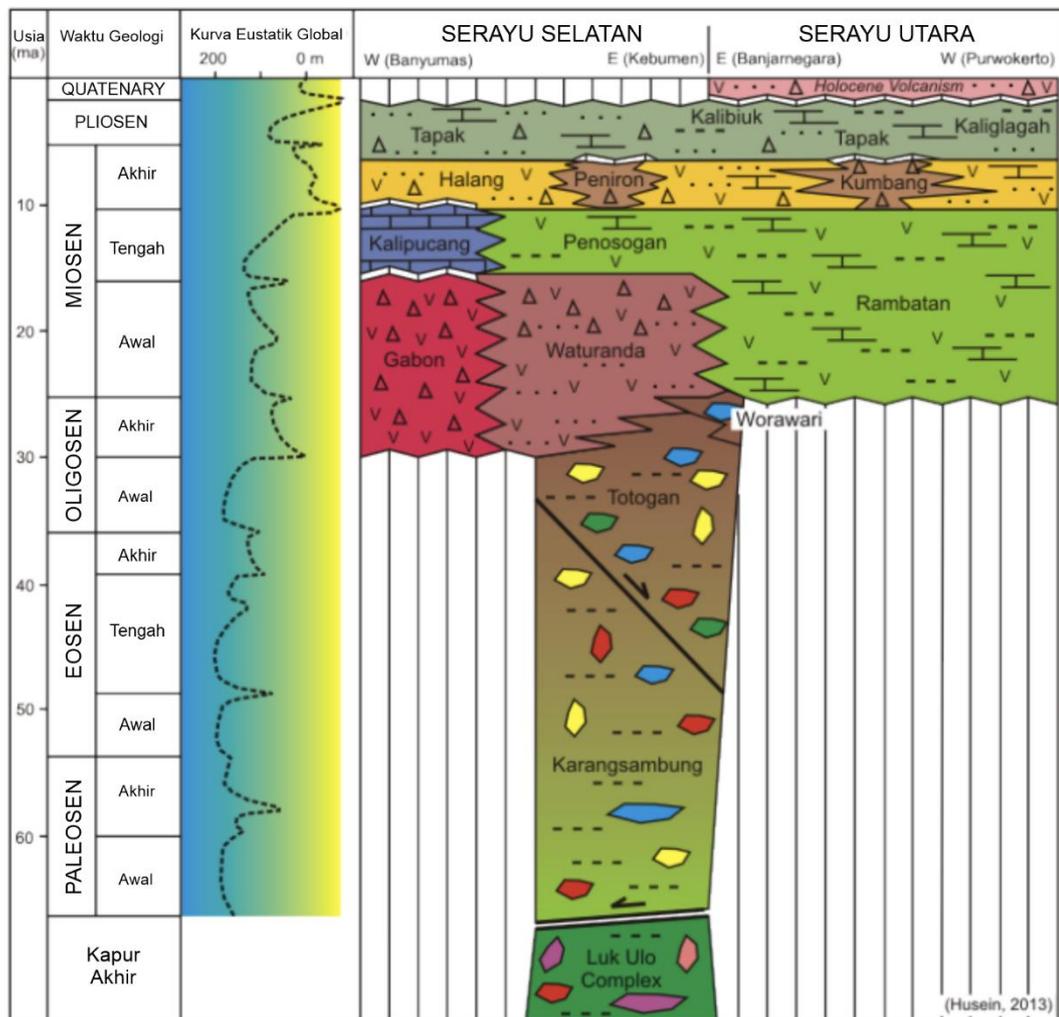
2.5.8 Formasi Kumbang (TmPk)

Formasi Kumbang tersusun atas lava andesit, breksi serta tufa. Di beberapa tempat ditemukan breksi batu apung dan tufa berpasir. Ketebalan formasi Kumbang dapat mencapai 200 meter (Djuri dkk., 1996).

2.5.9 Formasi Pemali (TmP)

Batulempung yang padat berwarna abu-abu kebiruan, dengan daerah perlapisan yang tidak jelas, ditemukan fosil foraminifera kecil-kecil yang tersingkap sempit merupakan susunan Formasi Pemali. Pada lembaran Majenang terdapat napal *Globigerina* berwarna hijau keabu-abuan dan berwarna biru, memiliki lapisan yang cukup baik, dengan sisipan batupasir tufa dan juga batugamping berpasir biru keabu-abuan membentuk formasi ini, ketebalannya berkisar 900 meter (Kastowo dan Suwarna, 1996) dan memiliki umur Miosen Awal hingga Miosen Tengah. Namun menurut Condon dkk dalam Husein dkk., (2013) Miosen Tengan merupakan umur

dari Formasi Pemali dengan daerah pengendapan formasi ini adalah laut dangkal hingga laut terbuka.



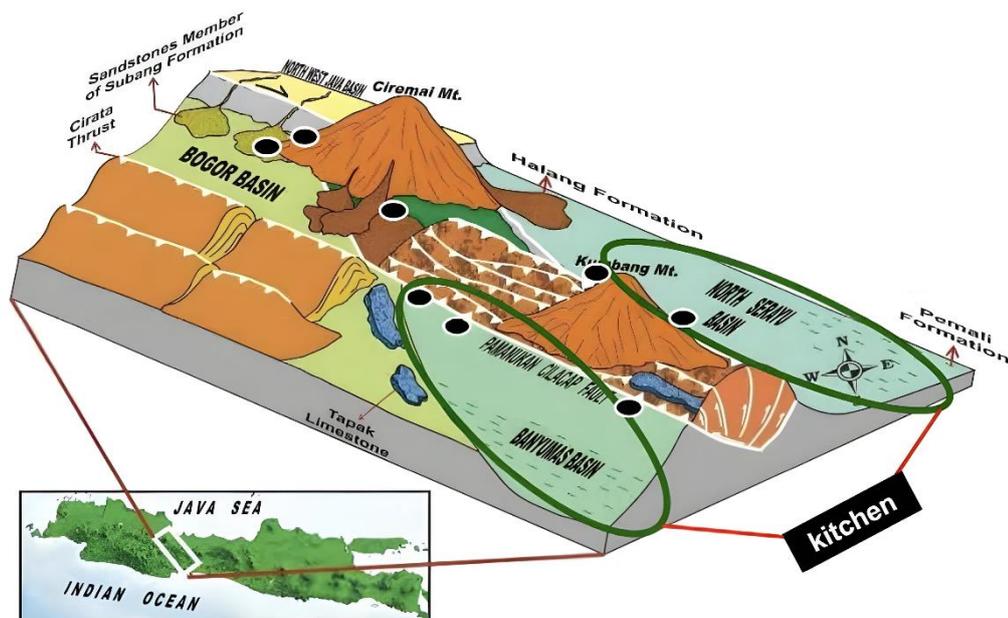
Gambar 6. Tektonostratigrafi Kenozoikum Zona Serayu (Husein dkk., 2013).

2.6 Sistem Petroleum Cekungan Banyumas

Cekungan Banyumas di Jawa Tengah menunjukkan adanya sejumlah rembesan minyak dan gas yang muncul di permukaan, yang merupakan ciri khas dari wilayah ini. Walau demikian, kegiatan eksplorasi untuk minyak dan gas di Cekungan Banyumas belum seaktif yang terjadi di daerah-daerah cekungan lainnya seperti di Jawa Barat dan Jawa Timur. Keberadaan rembesan minyak dan gas tersebut dapat dianggap sebagai bukti positif adanya sistem petroleum yang aktif di Cekungan Banyumas, menunjukkan

bahwa terdapat batuan induk yang telah mengalami proses kematangan dan migrasi menuju permukaan. (Hidayat dkk., 2020).

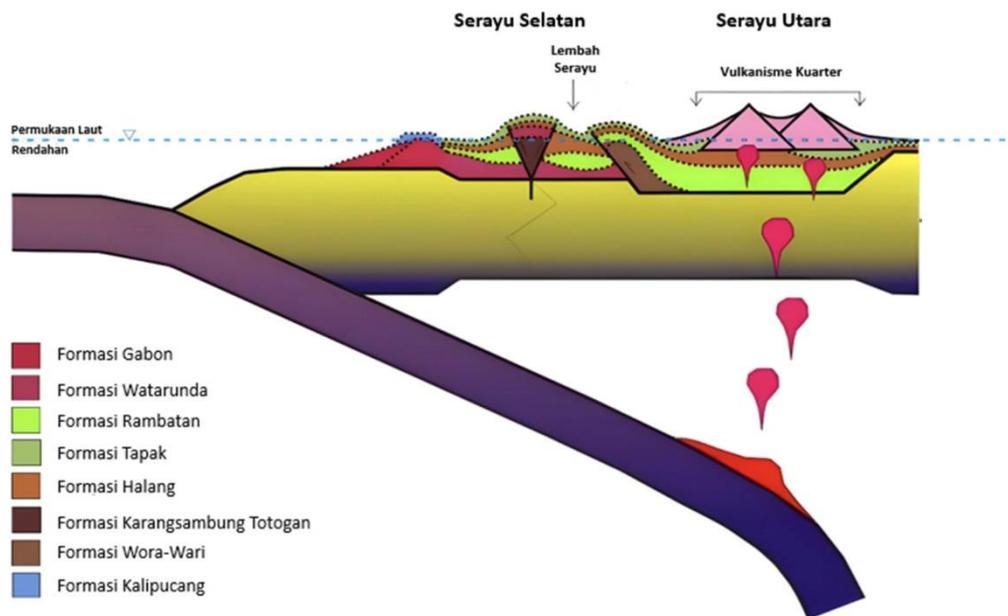
Dupleks palung dan *trans-tension* di wilayah Majalengka-Banyumas serta inversinya telah mendominasi sistem petroleum wilayah *intra-arc* ini (**Gambar 7**). Aliran panas yang tinggi dan gradien panas bumi akibat pembukaan tarik-menarik dan vulkanisme, beban dorong dalam endapan Formasi Halang terbalik dan sedimen Formasi Pemali yang tebal telah mematangkan batuan sumber Paleogen atau Neogen yang ada di daerah ini. Kualitas dari *reservoir*, integrasi perangkap, dan pencitraan struktur yang buruk akibat tutupan gunung berapi dapat berisiko terhadap eksplorasi minyak dan gas. Namun, berdasarkan sistem perminyakan aktifnya, kawasan ini layak untuk dieksplorasi lebih lanjut. (Satyana, 2015).



Gambar 7. Minyak bumi bermigrasi ke hulu hingga ke dataran tinggi struktural Majalengka-Banyumas dan terperangkap dalam berbagai struktur, sebagian besar merupakan sub patahan *trap* (Satyana, 2015).

Menurut Purwasatriya dan Waluyo (2012) elemen-elemen geologi dalam sistem petroleum sangat erat kaitannya dalam produksi dan akumulasi minyak bumi. Di dalam sistem petroleum terdapat 5 (lima) elemen utama yang perlu dipenuhi, elemen-elemen tersebut meliputi batuan induk, batuan

reservoir, perangkap minyak dan gas bumi, batuan penudung serta bermigrasi minyak dan gas bumi.



Gambar 8. Penampang geologi berdasarkan tektonostratigrafi (Husein dkk., 2013).

2.6.1 Batuan Induk

Sejarah geologi dan stratigrafi Cekungan Banyumas menunjukkan bahwa batuan induk (*source rock*) yang potensial berasal dari Formasi Karangsambung yang berumur Eosen. Formasi Karangsambung memiliki potensi besar dalam menghasilkan minyak dan gas alam karena terdiri dari batuan lempung hitam yang telah tererosi dan kaya akan materi organik. Selain itu, Formasi Pemali dan bagian bawah Formasi Halang juga memiliki potensi sebagai batuan induk (*source rock*) karena mengandung banyak lapisan tipis batulempung yang mengandung materi organik dan berpotensi menghasilkan minyak dan gas bumi. Proses pematangan batuan ini dipengaruhi oleh gradien geothermal serta intrusi magmatik yang banyak terjadi di jalur busur magmatik. Di wilayah cekungan yang dalam dengan sedimen vulkaniklistik yang tebal, pematangan batuan induk terjadi dengan lebih cepat. (Purwasatriya dkk., 2019).

2.6.2 Batuan Reservoir

Menurut Noeradi dkk., (2006) *reservoir* yang ada pada Cekungan Banyumas berasal dari Formasi Rambatan, Formasi Halang dan Formasi Pemali. Namun, Porositas sekunder dari suatu rekahan lebih diandalkan sebagai reservoir karena pada lingkungan vulkanik tuff yang terkandung cenderung mengurangi permeabilitas dan porositas. Tidak hanya itu, Permeabilitas dan porositas juga berkurang karena proses alterasi menjadi mineral lempung. Rekahan yang terbentuk dari rezim tektonik pada masa Pliosen-Pleistosen dapat berpotensi berperan sebagai reservoir (Purwasatriya dkk., 2019).

2.6.3 Perangkap Minyak dan Gas

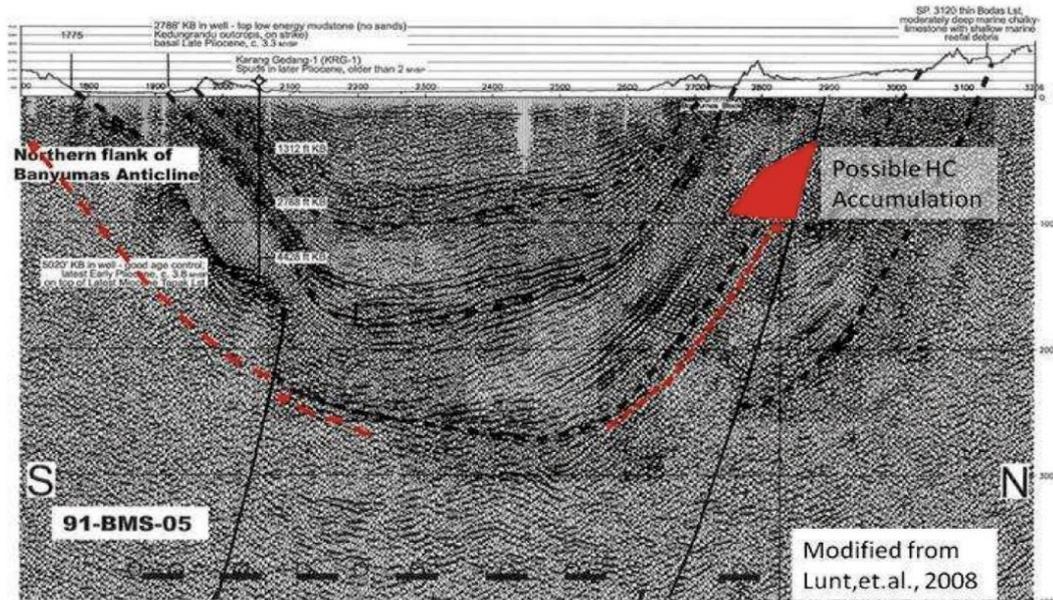
Perangkap minyak dan gas pada Cekungan Banyumas dapat berupa perangkap struktural seperti patahan dan antiklin maupun perangkap stratigrafi seperti *onlap* dan *reef*. Dalam konteks Formasi Rambatan, Halang, dan Pemali, potensi perangkap diperkirakan terletak pada karakteristik struktural tertentu seperti blok patahan terbalik, antiklin yang dipicu oleh sesar dorong (dengan ketergantungan sesar dorong pada keberadaan antiklin) serta antiklin linier yang tidak terkait dengan sesar. Selain itu, kemungkinan perangkap berupa diapir juga dapat terjadi dalam lingkup Cekungan Banyumas. (Armandita dkk., 2009).

2.6.4 Batuan Penyekat

Batuan penyekat biasanya dapat berupa batuan yang bersifat *impermeable*, dimana terdapat interkalasi seperti batulanau, batulempung, tuff dan napal dengan butir yang halus sehingga dapat berfungsi sebagai lapisan penyekat pada reservoir. Batuan penyekat bersifat *intraformational seals* di dalam Formasi Halang (Purwasatriya dan Waluyo, 2012; Purwasatriya dkk., 2018).

2.6.5 Migrasi

Armandita dkk., (2009) berpendapat bahwa pola sesar *dextral* Pamanukan-Cilacap diikuti oleh munculnya rembesan minyak di permukaan pada Cekungan Banyumas. Lunt dkk., (2008) menganalisis data seismik 91-BMS-05 (**Gambar 9**) yang mengindikasikan bahwa migrasi hidrokarbon pada Cekungan Banyumas terjadi dari batuan induk dan terperangkap pada sayap antiklin. Adanya struktur patahan akibat pengaruh evolusi tektonik pada fase ekstensional, kemudian terjadinya fase kompresional pada kala Pliosen – Plistosen yang membentuk lipatan sebagai jebakan potensial.



Gambar 9. Penampang seismik 91-BMS-05 terdapatnya patahan sebagai jalur migrasi hidrokarbon menuju sayap antiklin (Lunt dkk., 2009).

III. TEORI DASAR

3.1 Metode Gayaberat

Salah satu metode geofisika yang pengukurannya berdasarkan pada variasi medan gayaberat bumi merupakan pengertian singkat dari Metode gayaberat. Variasi densitas di bawah permukaan ($\rho = \text{gram/cc}$), jarak bumi yang berbeda terhadap inti bumi, perbedaan jenis batuan yang ada di bawah permukaan serta perbedaan ketinggian di permukaan bumi menjadi penyebab variasi dari gayaberat tersebut (Sarkowi, 2014). Ketidakseragaman struktur geologi pada bawah permukaan juga mengakibatkan perbedaan densitas di bawah permukaan (Andari dkk., 2019).

3.2 Konsep Metode Gayaberat

3.2.1 Gayaberat Newton

Hukum yang mengatur pendekatan gayaberat adalah Hukum Gayaberat Newton. Dapat diamati dari **Gambar 10**, Newton menjelaskan bahwa gaya tarik-menarik antara dua benda sebanding dengan perkalian dari massa keduanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak di antara keduanya. (Telford dkk., 1990). Pernyataan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\vec{F} = \gamma \left(\frac{m_1 m_2}{r^2} \right) \hat{r} \quad (1)$$

Dengan:

\vec{F} = Gaya yang bekerja pada m_2 (N)

γ = Konstanta gayaberat (6.672×10^{-11} N)

\hat{r} = Vektor satuan yang diarahkan dari m_2 menuju m_1

$m_1 m_2$ = Massa partikel 1 dan 2 (Kg)

r = Jarak antar massa partikel (m)

3.2.2 Percepatan Gayaberat

Newton kemudian memberikan definisi dari hubungan antara gaya dan percepatan. Karena nilai yang terukur pada metode gayaberat bukanlah nilai gaya yang bekerja (F) melainkan nilai percepatan gayaberat (g) yang dinyatakan dalam **persamaan (2)** (Telford dkk., 1990):

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m_2} \quad (2)$$

Dengan F merupakan gaya yang bekerja pada m_2 , \vec{g} merupakan percepatan gayaberat dan m_2 merupakan massa partikel 2. Jika **persamaan (2)** di substitusikan pada **persamaan (1)**, maka dapat dimodifikasi menjadi **persamaan (3)**:

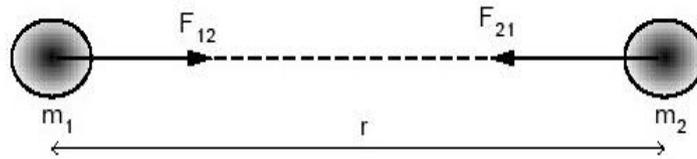
$$\vec{g} = \gamma \frac{m_1}{r^2} \quad (3)$$

γ merupakan konstanta gayaberat dan r merupakan jarak antar massa partikel. Jika kita asumsikan m_2 sebagai massa bumi dan m_1 merupakan massa dari alat atau pegas, maka persamaan dari percepatan gayaberat dapat dimodifikasi menjadi **persamaan (4)**:

$$\vec{g} = \gamma \frac{m_1}{r^2} = \gamma \frac{\rho v}{R^2} \quad (4)$$

Berdasarkan **persamaan (4)** diketahui bahwa percepatan gayaberat bumi bervariasi tergantung dari jarak jari-jari bumi (R) dan adanya ketidakhomogenan massa (ρv) di bawah permukaan bumi.

Berikut merupakan ilustrasi dari gaya tarik menarik yang digambarkan oleh Newton.



Gambar 10. Gaya tarik menarik dua partikel (Grandis, 2009)

3.2.3 Potensial Gayaberat

Ketika suatu massa ingin dipindahkan dalam suatu medan gayaberat maka perpindahan tersebut akan bergantung pada posisi awal dan posisi akhir, hal tersebut merupakan medan yang konservatif. Apapun lintasan yang dilalui oleh suatu massa, jika massa akhirnya dikembalikan ke tempat semula, maka *output* energinya adalah sama dengan nol. Untuk menyatakan hal ini dengan cara yang berbeda maka akumulasi energi kinetik (gerak) dan energi potensial (posisi) adalah dengan menganggapnya konstan dalam sistem yang tertutup. Gayaberat merupakan suatu vektor yang artinya memiliki gaya, *magnitude* dan arah. Arah dari vektor tersebut adalah garis panjang yang menghubungkan pusat di kedua massa. Gaya yang timbul dari suatu medan konservatif akan diturunkan dari fungsi potensial skalar $U(x, y, z)$ atau lebih dikenal sebagai potensial Newton atau tiga dimensi. Definisi yang telah dijelaskan tadi dinyatakan dalam **persamaan (5)** (Telford dkk., 1990):

$$\nabla U(r, \theta, \phi) = \frac{-F(r, \theta, \phi)}{m_2} = -g(r, \theta, \phi) \quad (5)$$

Sehingga, potensial gayaberat akan menjadi **persamaan (6)**:

$$\nabla U(r, \theta, \phi) = \int_{\infty}^r (\nabla U) \cdot dr = - \int_{\infty}^r g \cdot dr \quad (6)$$

Jika **persamaan (6)** di substitusikan ke **persamaan (3)**, maka dapat diperoleh persamaan dalam bentuk skalar yaitu **persamaan (7)**:

$$\nabla U(r) = -\gamma \int_{\infty}^r m \left(\frac{1}{r^2} \right) dr = \gamma \frac{m}{r} \quad (7)$$

Potensial akibat suatu unsur bermassa dm di titik (x, y, z) yang berjarak $P(0, 0, 0)$ dinyatakan dalam **persamaan (8)** (**Gambar 11**):

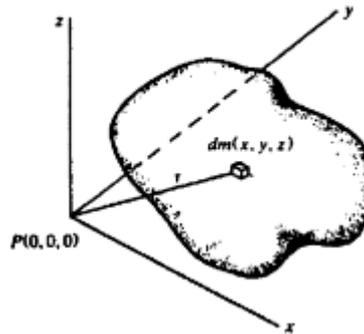
$$dU = \gamma \frac{dm}{r} = \gamma \rho \frac{dx dy dz}{r} \quad (8)$$

Dengan $\rho(x, y, z)$ merupakan densitas serta $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$. Maka massa tersebut memiliki total potensial yang dinyatakan dalam **persamaan (9)**:

$$U = \gamma \int_x \int_y \int_z \left(\frac{\rho}{r} \right) dx dy dz \quad (9)$$

Diketahui bahwa g merupakan percepatan gayaberat di sumbu z yang arahnya adalah vertikal dengan berasumsi bahwa ρ adalah konstan, maka:

$$g = -\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right) = \gamma \int_x \int_y \int_z \left(\frac{z}{r^3} \right) dx dy dz \quad (10)$$



Gambar 11. Potensial massa 3 dimensi (Telford, 1990).

3.2.4 Anomali Bouguer

Anomali Bouguer merupakan hasil variasi dari massa dibawah permukaan terhadap jarak bumi yang telah koreksi *drift*, *tidal*, *latitude*, *free air*, Bouguer serta *terrain*. Variasi massa di bawah permukaan yang dangkal dan juga dalam menggambarkan peta Anomali Bouguer yang dihasilkan. Anomali Bouguer berfungsi memberi gambaran distribusi gayaberat untuk memperkirakan struktur bawah permukaan yang didasari oleh variasi densitas batuan (Reynolds, 1997). Untuk menghitung nilai Anomali Bouguer di setiap titik stasiun dengan menerapkan koreksi-koreksi yang tadi, maka dapat dinyatakan dalam **persamaan (11)**:

$$BA = gobs - (g\Phi - FAC + BC - TC) \quad (11)$$

Dengan:

BA = Anomali Bouguer Lengkap

$gobs$ = Nilai gayaberat observasi (mGal)

$g\Phi$ = Nilai gayaberat koreksi lintang (mGal)

FAC = *Free Air Correction*

BC = *Bouguer Correction*

TC = *Terrain Correction*

3.3 Analisis Spektrum

Medan gayaberat merupakan superposisi anomali akibat perubahan densitas (massa anomali) pada berbagai kedalaman. Beberapa massa anomali terletak pada kedalaman zona yang diteliti, beberapa berasal dari massa yang jauh lebih dalam dan beberapa berasal dari massa yang lebih dangkal sehingga perlu dilakukan proses pemisahan anomali. Karena data gayaberat merupakan data yang berada dalam domain spasial maka harus terlebih dulu dilakukan transformasi menjadi domain frekuensi. Transformasi fourier yang berdasarkan pada *Encyclopedic Dictionary Of Applied Geophysics* (Sheriff, 2001) merupakan persamaan matematis yang digunakan untuk mengubah data yang ada dalam domain waktu atau spasial menjadi data yang ada dalam domain frekuensi atau bilangan gelombang.

Sehingga transformasi fourier yang diturunkan oleh Blakely (1995) dalam suatu fungsi $F(x)$ dapat dinyatakan dalam **persamaan (12)**:

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} F(x)e^{-ikx} dx \quad (12)$$

Dengan k dalam persamaan diatas merupakan bilangan gelombang dan memiliki satuan kebalikan dari jarak. Bilangan gelombang berbanding terbalik terhadap panjang gelombang λ yang dinyatakan dalam **persamaan (13)**:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (13)$$

Transformasi fourier $F(k)$ didefinisikan sebagai suatu fungsi yang cukup kompleks dan terdiri dari bagian *real* dan bagian *imaginer* sehingga $F(k) = Real F(k) + Imaginer F(k)$ atau seperti yang dinyatakan **persamaan (14)**:

$$F(k) = |F(k)|e^{i\theta(k)} \quad (14)$$

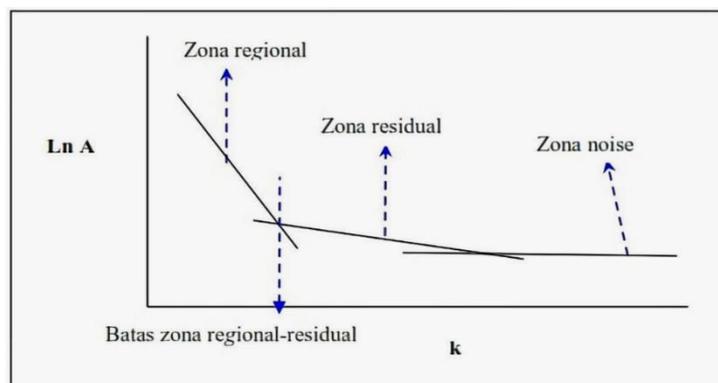
Dengan

$$|F(k)| = [(Real F(k))^2 + (Imaginer F(k))^2]^{1/2} \quad (15)$$

$$\theta(k) = \arctan \frac{Imaginer F(k)}{Real F(k)} \quad (16)$$

Fungsi dari $|F(k)|$ sebagai *spectrum amplitude*, sedangkan $\theta(k)$ sebagai *Spectrum phase*. Persamaan $F(k) = [(Real F(k))^2 + (Imaginer F(k))^2]^{1/2}$ dikenal sebagai persamaan *power spectrum*.

Untuk mendapatkan nilai estimasi kedalaman dari anomali regional dan residual maka dilakukan analisis $\ln A$ terhadap bilangan gelombang k , dimana kemiringan dari grafik (*slope*) tersebut akan menunjukkan kedalaman anomali.



Gambar 12. Kurva $\ln A$ terhadap k (Blakely, 1995).

Blakely (1995) menurunkan persamaan matematis *power spectrum* di suatu bidang horizontal pada ketinggian yang disebut sebagai z_0 dan anomali bawah permukaan misalnya pada kedalaman z_1 , $z_1 > z_0$ Persamaan *power spectrum* yang diturunkan dari medan potensial gayaberat yang bergantung pada variasi $\frac{1}{r}$. persamaan transformasi fourier dapat dinyatakan dalam **persamaan (17)**:

$$F\left[\frac{1}{r}\right] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2+(z_0-z_1)^2}} e^{-i(k_x x+k_y y)} dx dy \quad (17)$$

Berdasarkan hasil perhitungan matematis, diperoleh **persamaan (18)**:

$$F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|k|} \quad (18)$$

Potensial gayaberat di massa titik μ diberikan $U = \gamma \frac{\mu}{r}$, dengan γ merupakan konstanta gayaberat sehingga transformasi fourier dinyatakan dalam **persamaan (19)**:

$$F(U) = \gamma \mu F\left(\frac{1}{r}\right) \quad (19)$$

$$F(U) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|k|} \quad (20)$$

Dikarenakan percepatan vertikal gayaberat g_z merupakan turunan dari $\gamma \frac{\mu}{r}$ atau seperti yang dinyatakan dalam **persamaan (21)**:

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

Jika **persamaan (21)** dan **(19)** di substitusikan, maka persamaan transformasi fourier dapat di dimodifikasi menjadi **persamaan (22)**:

$$F[g_z] = 2\gamma \mu e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (22)$$

Dengan:

g_z = Anomali gayaberat

k = Bilangan gelombang

z_0 = Ketinggian titik amat terhadap bidang geoid

z_1 = Kedalaman benda anomali terhadap geoid

Maka jika $2\gamma \mu$ merupakan konstanta C , sehingga transformasi fourier anomali gayaberat akan memiliki **persamaan (23)**:

$$A = C e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (23)$$

Dengan:

A = Spektrum

C = Konstanta

Nilai spektrum dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan spektrum sama seperti persamaan $F(k) = [(Real F(k))^2 + (Imaginer F(k))^2]^{1/2}$. Nilai kedalaman suatu anomali $z_0 - z_1$ di dapatkan dari mengkorelasikan grafik antara spektrum (A) terhadap bilangan gelombang (k) atau secara matematis di tulis dalam **persamaan (24)**:

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| \quad (24)$$

Dengan menggunakan **persamaan (24)**, maka dapat ditentukan kedalaman batas bidang diskontinuitas suatu sumber anomali ($z_0 - z_1$) dengan melakukan *plotting* atau mengkorelasikan nilai amplitudo ($\ln A$) dengan bilangan gelombang k . Dengan demikian akan diperoleh estimasi kedalaman bidang batas sumber anomali dari regional dan residual ($z_0 - z_1$) dari *slope* kemiringan grafik $\ln A$ terhadap k .

3.4 Filter Moving Avarage

Metode rata-rata bergerak adalah suatu teknik yang bisa diterapkan untuk memisahkan anomali regional dari sisa-sisa (residual). Proses ini melibatkan proses perataan nilai-nilai anomali untuk menghasilkan anomali regional. Secara matematis, persamaan untuk metode rata-rata bergerak pada penampang satu dimensi dapat dinyatakan dalam **persamaan (25)** (Supriyadi dkk., 2019):

$$\Delta g_r(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (25)$$

Dengan:

i = Titik Stasiun

N = Lebar *window* (jendela)

Metode *moving avarage* bersifat *low pass filter* yang berarti menapis anomali gelombang dengan frekuensi tinggi. Sehingga ketika akan menghasilkan nilai

dari anomali residual, maka nilai anomali tersebut akan semakin mendekati nilai Anomali Bouguer seiring dengan semakin lebarnya jendela yang digunakan (Blakely, 1995).

Dengan sifatnya yang *low pass filter* artinya metode *moving average* akan mengabaikan satu frekuensi. Frekuensi yang diloloskan adalah frekuensi rendah dan menghilangkan frekuensi tinggi. Dalam metode ini data Anomali Bouguer lengkap akan ditapis dengan lebar jendela yang ditentukan. Nilai lebar jendela tersebut didapatkan dari nilai rata-rata dari tiap lintasan yang telah dilakukan analisis spektrum sebelumnya. Anomali regional merupakan *Output* dari metode *moving average*. Untuk memperoleh anomali yang lebih dangkal (residual) maka Anomali Bouguer Lengkap akan dikurangkan dengan hasil anomali dari proses penapisan yaitu anomali regional (Setiadi dkk., 2010).

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (26)$$

Dengan :

Δg_{reg} = Besarnya anomali regional

i = Nomor stasiun

N = Lebar jendela

Untuk Δg_{res} atau dalam hal ini anomali residual dihitung dengan menggunakan **persamaan (27)**:

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{reg} \quad (27)$$

Dengan Δg_{reg} merupakan besarnya anomali regional, Δg_{res} merupakan besarnya anomali residual dan Δg merupakan Anomali Bouguer Lengkap.

3.5 First Horizontal Derivative (FHD)

Metode *First Horizontal Derivative (FHD)* telah diterapkan secara luas dalam upaya untuk mengidentifikasi batas-batas kontras densitas dalam data gayabarat. Pendekatan FHD didasarkan pada prinsip bahwa gradien horizontal dari anomali gayabarat yang dihasilkan oleh objek tabular cenderung merata di

sepanjang tepi objek ketika tepi-tepinya berada dalam orientasi vertikal dan berjarak secara terpisah (Cordell, 1979; Cordell dan Grauch, 1985).

Metode FHD memiliki keunggulan dalam penjelasan nilai perubahan anomali gayaberat dan dapat diidentifikasi dengan adanya nilai ekstrim baik minimum maupun maksimum. Persamaan yang menggambarkan amplitudo dari *First Horizontal Gradient* dinyatakan dalam **persamaan (28)** (Cordell dan Grauch, 1985):

$$FHD = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (28)$$

Dengan:

$\frac{\partial g}{\partial x}$: Turunan horizontal medan gayaberat pada arah x

$\frac{\partial g}{\partial y}$: Turunan horizontal medan gayaberat pada arah y

3.6 Second Vertical Derivative (SVD)

Second Vertical Derivative (SVD) bersifat *high pass filter*, sehingga memiliki kemampuan untuk menggambarkan sumber anomali yang bersifat dangkal, khususnya adanya patahan pada daerah penelitian. Turunan vertikal (z) kedua didapatkan dari turunan horizontal karena medan gayaberat tersebut memenuhi persamaan Laplace yang dinyatakan dalam **persamaan (29)** (Sarkowi, 2014):

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \quad (29)$$

Ketika diaplikasikan dalam x , y dan z menjadi **persamaan (30)**:

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = 0 \quad (30)$$

Sehingga persamaan SVD adalah **persamaan (31)**:

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2}\right) \quad (31)$$

Ketika terdapat suatu anomali yang disebabkan oleh suatu struktur yang ada pada cekungan, maka akan memiliki harga nilai maksimal SVD selalu lebih

kecil dari harga minimalnya. Sarkowi (2010) memberikan penjelasan karakteristik dalam menentukan suatu sesar maka dapat dilihat dari **persamaan (32), (33) dan (34)**:

$$\left(\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2}\right)_{maks} > \left(\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2}\right)_{min} \text{ untuk sesar turun} \quad (32)$$

$$\left(\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2}\right)_{maks} < \left(\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2}\right)_{min} \text{ untuk sesar naik} \quad (33)$$

$$\left(\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2}\right)_{maks} \cong \left(\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2}\right)_{min} \text{ untuk patahan tegak} \quad (34)$$

Operator filter SVD 5x5 meliputi Operator SVD Henderson dan Ziets (1949), Elkins (1951) dan Rosenbach (1953). Dalam penelitian ini akan digunakan filter SVD menurut Elkins (1951).

Tabel 1. Operator filter SVD (Elkins, 1951)

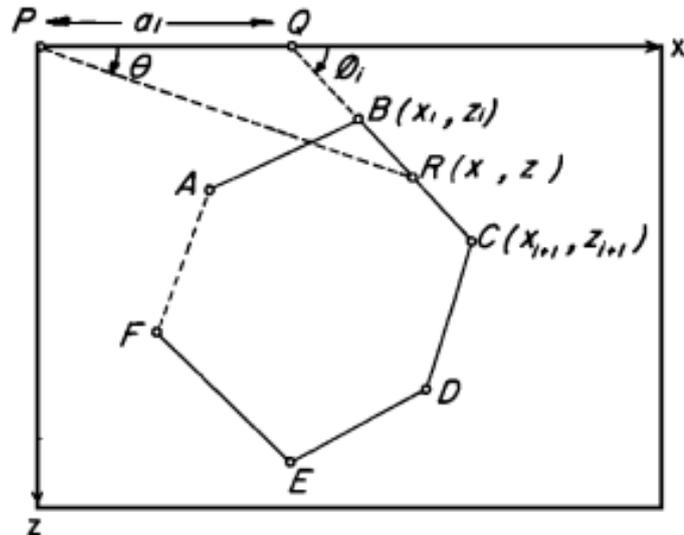
0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0334	+1.0668	-0.0334	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000

3.7 Pemodelan 2D

Forward modelling atau pemodelan 2D dalam metode gayaberat didasarkan pada informasi yang telah diperoleh seperti data geologi dan geofisika. Dalam pemodelan ini, anomali observasi akan menjadi standar sesuai atau tidaknya model yang dibuat (Blakely, 1995). Agar model dengan data observasi sesuai, maka pemodelan *forward* dilakukan dengan proses *trial* dan *error*. Saat melakukan interpretasi, model yang digunakan adalah model dengan respon yang mendekati dengan data observasi. Sehingga model tersebut diharapkan dapat mendekati keadaan bawah permukaan sebenarnya.

Talwani (1959) menjelaskan bahwa penampang poligon yang memiliki sisi n akan merepresentasikan suatu model bawah permukaan dengan tetap mempertimbangkan efek gayaberat. Sisi di sepanjang poligon merupakan integral yang dinyatakan dalam **persamaan (35)**:

$$g_z = 2G\rho\phi \int zd\theta \quad (35)$$



Gambar 13. Elemen geometris yang terlibat dalam tarikan gayaberat poligon bersisi n (Talwani, 1959).

Dalam suatu koordinat kartesian seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 13** di atas digunakan dalam suatu model yang dibuat oleh Talwani (1959) dengan poligon-poligon. Berdasarkan gambaran sederhana dari Talwani (1959) dapat dinyatakan dalam **persamaan (36)**:

$$g_i = \int_b^c \frac{a_i \tan\theta_i}{\tan\theta_i - \tan\theta} d\theta \quad (36)$$

Sehingga diperoleh **persamaan (37)**:

$$g_i = a_i \sin\phi_i \cos\phi_i \left[\theta_i - \phi_{i+1} + \tan\theta_i \log_e \frac{\cos\theta_i(\tan\theta_i - \tan\phi_i)}{\cos\theta_{i+1}(\tan\theta_{i+1} - \tan\phi_i)} \right] \quad (37)$$

Untuk kebutuhan komputasi, maka **persamaan (37)** disederhanakan dengan melakukan substitusi terhadap $\sin\phi$, $\cos\phi$ dan $\tan\theta$ terhadap koordinat titik yang ada di poligon dalam sisi x dan z yang dapat dinyatakan dalam **persamaan (38)**:

$$Z_i = \frac{a_i c}{c^2 + 1} \left\{ \theta_i - \theta_{i+1} + \frac{1}{2} c \left(\frac{x^2_{i+1} - z^2_{i+1}}{x^2_i - z^2_i} \right) \right\} \quad (38)$$

3.8 Pemodelan 3D

Teori inversi menurut Menke (1984) Penggabungan antara ilmu matematika dan statistika digunakan untuk memperoleh informasi yang diperlukan berdasarkan pengamatan sistem yang sedang dipelajari. Pendekatan pemodelan inversi melibatkan proses mekanisme yang bertujuan untuk menyesuaikan model secara iteratif agar sesuai dengan data perhitungan dan pengamatan dengan otomatisasi yang cermat. Dalam konteks ini, sebuah fungsi objektif diterapkan untuk meminimalkan kesenjangan antara data pengamatan yang diamati dan respons yang dihasilkan oleh model yang sedang dikaji. Dalam domain kalkulus, pencapaian nilai minimum suatu fungsi menjadi mungkin saat turunan parsial fungsi terhadap variabel yang tidak diketahui mencapai titik stasioner di mana nilai turunan tersebut sama dengan nol. Teknik ini merupakan metode yang digunakan dalam mengestimasi nilai-nilai parameter dalam model matematis (Rahma dan Wahyudi, 2004).

Persamaan dasar dalam pemodelan inversi 3D gayaberasat dalam menghitung respon anomali gayaberasat dipermukaan dinyatakan dalam **persamaan (39)**:

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

Dengan $\Delta g(x, y, z)$ merupakan tarikan vertikal gayaberasat di titik dimana benda yang bersifat homogen berada, γ merupakan nilai absolut gayaberasat dan ρ merupakan variasi densitas dari setiap lapisan (batuan) (Wulandari, 2014).

Inversi dilakukan pada Anomali residual data gayaberasat dengan *software Grablox 1.6* (Partijavri, 2004) Inversi tersebut yang akan membuat suatu model distribusi densitas dalam bentuk 3D. Inversi yang digunakan dalam *software Grablox 1.6* adalah *Singular Value Decomposition* yang dijelaskan oleh Zhao dan Chen (2011), yang merupakan matriks pemfaktoran yang dapat

menguraikan suatu matriks kedalam dua matriks. Berdasarkan definisi tersebut maka dinyatakan dalam **persamaan (40)** (Sugianto dan Rahadinata, 2015):

$$A = U S V^T \quad (40)$$

Penggunaan teknik inversi ini cenderung stabil dalam menghitung inversi matriks (Grandis, 2009). Kemudian dalam *software Grablox 1.6* digunakan juga inversi yang menggunakan tingkat kekasaran (*roughness*) atau dikenal sebagai Inversi Occam. Berdasarkan definisi tersebut dapat ditulis dalam **persamaan (41)** (Constable dkk., 1987):

$$U = \|\delta m\|^2 + \mu^{-1}\{\|Wd - WGm\|^2 - X^2\} \quad (41)$$

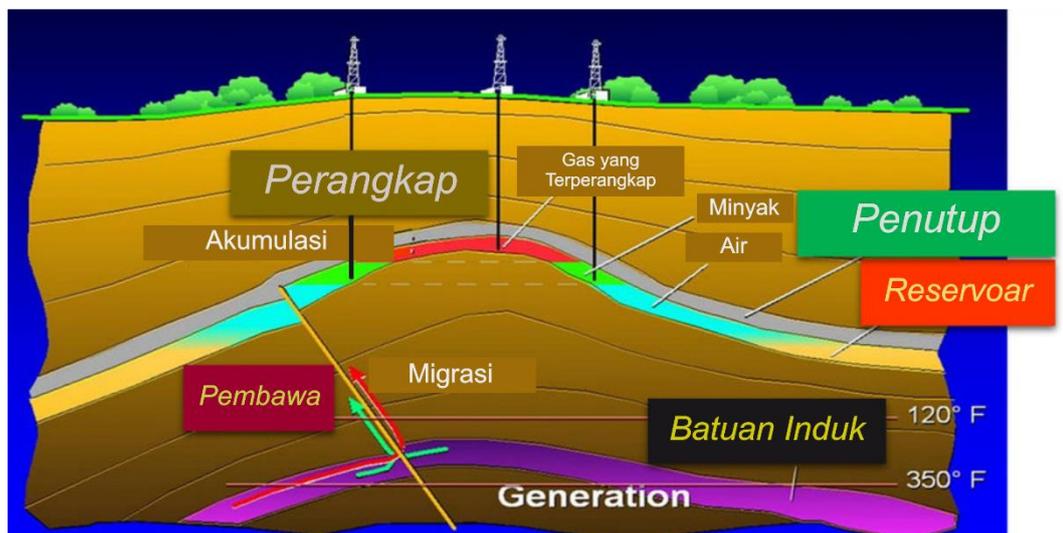
Dengan $\|\delta m\|^2$ berperan sebagai tingkat kekasaran (*roughness*), μ^{-1} merupakan suatu *lagrange multiplier*, $\{\|Wd - WGm\|^2$ merupakan *missfit* dan X^2 merupakan *error*.

3.9 Pola Arah Migrasi

Terdapat 3 migrasi dalam sistem petroleum yaitu migrasi primer, migrasi sekunder dan migrasi tersier. Dalam sistem petroleum migrasi tersier mengacu pada pergerakan hidrokarbon dari satu perangkap menuju perangkap lain atau permukaan bumi yang dapat menyebabkan rembesan alami. Migrasi tersier umumnya akan terjadi setelah hidrokarbon diproduksi dan dikeluarkan dari batuan induk (migrasi primer) dan telah bergerak melalui lapisan pembawa (*carrier bed*) untuk terakumulasinya dalam perangkap awal (migrasi sekunder). Seperti yang dijelaskan oleh Minescu dkk., (2010) dan Luo dkk., (2020) bahwa hidrokarbon dapat bergerak karena perubahan kondisi geologis seperti pergeseran tektonik, reaktivasi patahan atau perubahan tekanan dan suhu. Proses ini dapat mengubah integritas perangkap awal, menyebabkan hidrokarbon bermigrasi ulang ke perangkap baru atau bermigrasi ke permukaan, yang berkontribusi terhadap rembesan.

Migrasi primer merupakan ekspulsi hidrokarbon di bawah permukaan dari batuan induk berbutir halus dengan permeabilitas rendah menuju lapisan

pembawa atau *carrier bed* yang mempunyai permeabilitas lebih tinggi. Migrasi primer berlangsung lambat karena batuan induk yang memiliki permeabilitas yang rendah. Sedangkan migrasi sekunder merupakan berpindahnya hidrokarbon dari lapisan pembawa menuju jebakan (Makhrani, 2012). Supriyana dkk., (2021) pernah melakukan identifikasi pola arah migrasi berdasarkan analisis data gayaberat. Hasil menunjukkan bahwa adanya indikasi migrasi hidrokarbon ke arah selatan. Hal tersebut diperkuat dengan analisis SVD yang menunjukkan bahwa adanya tipe sesar naik, sehingga menggambarkan terbentuknya jebakan yang ditandai oleh batas antiklin atau punggungan.



Gambar 14. Migrasi hidrokarbon (Craig dan Quagliaroli, 2020).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Kegiatan Tugas Akhir ini dilaksanakan di:

Tempat : Lab. Geofisika Geothermal, Teknik Geofisika, Universitas
Lampung

Alamat : Jurusan Teknik Geofisika – Jalan. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro
No. 1, Gedong meneng, Rajabasa, Bandar Lampung, Lampung
35142

Tanggal : Maret 2024 – Juli 2024

4.2 Alat Dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada

Tabel 4 dan **Tabel 5** sebagai berikut

Tabel 2. *Software* yang digunakan

No	<i>Software</i>	Fungsi
1	<i>ArcGIS</i>	Berfungsi dalam modifikasi serta pembuatan peta
2	<i>Numeri</i>	Berfungsi melakukan transformasi fourier
3	<i>Surfer 16</i>	Berfungsi dalam pengolahan data gayaberat, membuat peta kontur, <i>filtering</i> dan peta SVD

4	<i>Grablox 1.6</i>	Berfungsi dalam memodelkan 3D berdasarkan hasil inversi
5	<i>Oasis Montaj 8.4</i>	Digunakan untuk membandingkan hasil pengolahan pada surfer serta sebagai tampilan hasil pengolahan
6	<i>Microsoft Excel 2019</i>	Digunakan untuk menganalisis nilai $\ln A$ dan k dari hasil transformasi fourier

Tabel 3. Data penelitian

No	Data	Keterangan
1	Data Gayabarat	Data Anomali Bouguer Lengkap (ABL) merupakan data milik Pusat Survei Geologi (PSG) di Cekungan Banyumas.
2	Peta Lembar Geologi	Lembar geologi Banyumas, Tasikmalaya.

4.3 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan pengolahan data, prosedur pengolahan terbagi menjadi 5 (lima) bagian yaitu:

4.3.1 Membuat Peta Anomali Bouguer Lengkap

Data Anomali Bouguer Lengkap (ABL) Cekungan Banyumas merupakan data sekunder dari instansi Pusat Survei Geologi (PSG). Pembuatan peta dilakukan dengan *software Oasis Montaj 8.3* yang kemudian dilakukan identifikasi pola anomali tinggi dan rendahnya. Setelah diidentifikasi, pola anomali tersebut akan menjadi target untuk dilakukan analisis spektrum yang dilakukan menggunakan *software Surfer 16*.

4.3.2 Analisis Spektrum

Analisis spektrum dengan melihat *slope* antara grafik $\ln A$ terhadap k dilakukan pada peta Anomali Bouguer Lengkap yang diharapkan dapat mencapai target kedalaman suatu anomali serta menentukan lebar

jendela yang paling sesuai dalam pemisahan anomali regional dan residual. Transformasi fourier dengan menggunakan *software Numeri* dimanfaatkan sehingga diperoleh domain frekuensi untuk analisis spektrum. Dari hasil identifikasi pola anomali diperoleh 5 (lima) lintasan. Lintasan-lintasan tersebut dapat memberikan informasi terkait kedalaman sumber anomali dengan melihat hubungan grafik antara bilangan gelombang (k) dengan \log normal spektrum ($\ln A$) menggunakan *software Excel 2019*. Ketika sumber anomali semakin dalam maka anomali tersebut menjadi menyebar dan frekuensinya akan menurun. Panjang gelombang anomali akan sebanding dengan kedalaman perubahan densitas lateral yang mengindikasikan daerah regional. Sementara gelombang yang pendek akan berkaitan dengan frekuensi tinggi yang menunjukkan daerah residual atau daerah dengan anomali yang lebih dangkal.

4.3.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Karena target yang akan diteliti memiliki keterkaitan terhadap struktur bawah permukaan yang lebih dangkal dalam hal ini adalah anomali residual maka metode *moving average* diterapkan. Anomali regional merupakan *Output* dari metode *moving average*. Untuk memperoleh anomali yang lebih dangkal (residual) maka Anomali Bouguer Lengkap akan dilakukan pengurangan dengan hasil anomali dari proses penapisan yaitu anomali regional.

4.3.4 Analisis Derivative

Untuk melihat keberadaan suatu struktur yang dalam hal ini adalah suatu patahan maka perlu dilakukan analisis derivatif. Suatu patahan akan terdeteksi dengan melakukan analisis derivatif yaitu dengan melakukan korelasi profil SVD dan FHD. *Output* dari analisis ini akan mendelineasi wilayah suatu sub cekungan di daerah penelitian berupa suatu patahan.

4.3.5 Analisis vektor

Fluida memiliki sifat alamiah yaitu berpindah dari anomali rendah menuju anomali tinggi. Untuk melihat arah migrasi fluida dapat dilakukan dengan menggunakan analisis vektor yaitu dengan melakukan *grid vector layer* pada *software Surfer 16* yang menghasilkan peta kebalikan dari peta anomali residual. Peta tersebut kemudian di *overlay* pada peta anomali residual.

4.3.6 Pemodelan bawah permukaan

Metode *inverse modeling* untuk pemodelan 3D menggunakan data anomali residual dilakukan dengan *software Grablox 1.6*. Untuk melakukan *inverse modeling* pada *software Grablox 1.6* diperlukan model awal dan data anomali residual. *Output* dari inversi ini adalah model 3D bawah permukaan yang didapatkan secara otomatis berdasarkan data anomali residual sementara model 2D akan didapatkan dari proses *trial* dan *error* menggunakan *software oasis montaj*.

4.4 Jadwal Kegiatan

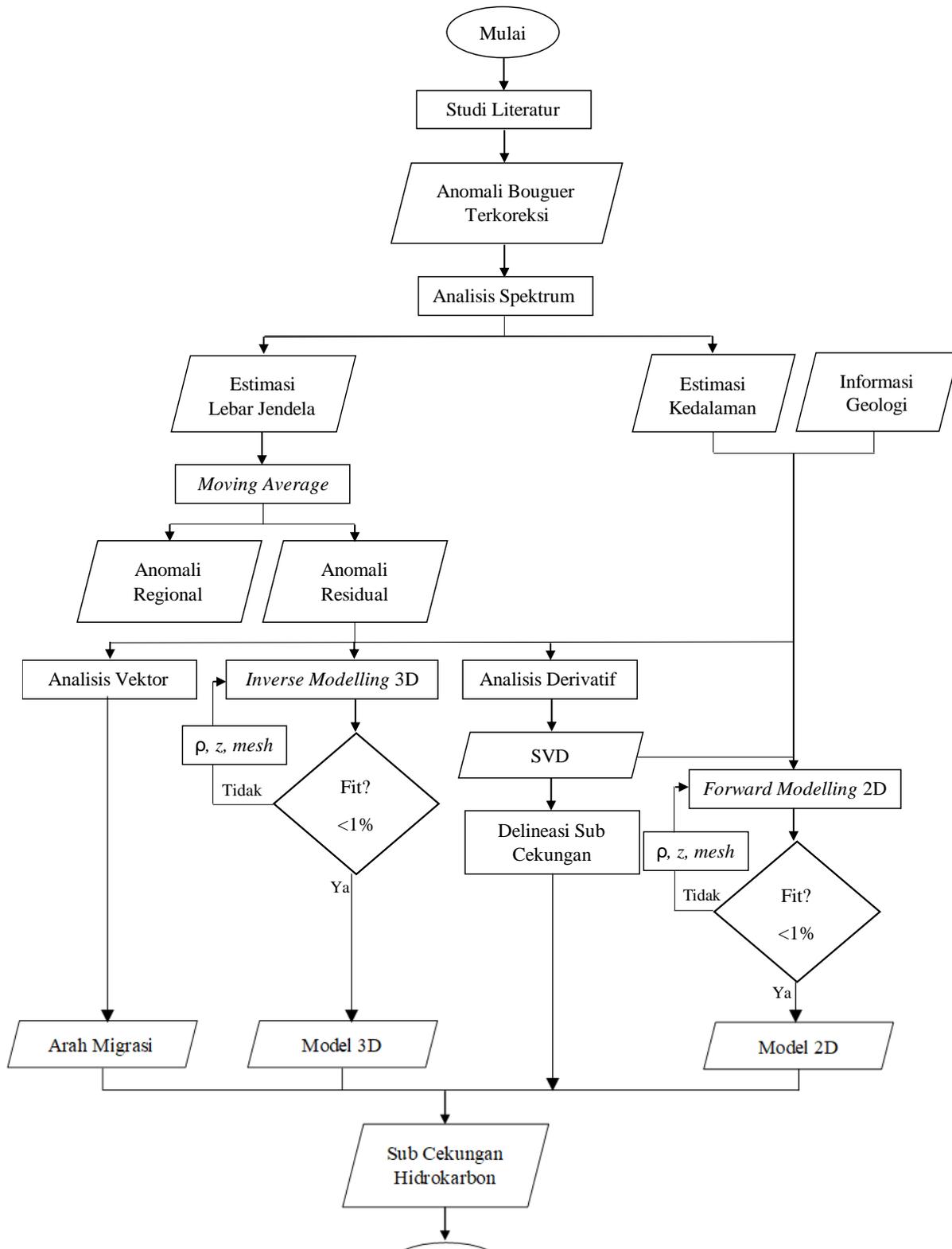
Tabel 4 akan menunjukkan jadwal dari penelitian Tugas Akhir:

Tabel 4. Jadwal kegiatan penelitian

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

4.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 15**.



Gambar 15. Diagram alir penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa:

1. Hasil korelasi analisis peta anomali residual dan SVD menunjukkan bahwa terdapat 6 sub cekungan yang dapat di delineasi dan berkorelasi dengan struktur sesar yaitu Sub Cekungan Citandui, Sub Cekungan Majenang, Sub Cekungan A yang berada di kecamatan Sukudana dan sekitarnya, Sub Cekungan B di kecamatan Pancatengah dan sekitarnya, Sub Cekungan C di kecamatan Cilongo, dan Sub Cekungan D di kecamatan Kroya dan sekitarnya serta ditemukan juga beberapa sesar yang diduga menjadi pengontrol naiknya minyak ke permukaan.
2. Berdasarkan interpretasi kualitatif analisis vektor didapatkan pola tinggian yang berperan sebagai jalur bermigrasinya hidrokarbon yang tersebar di sekitar sub-sub cekungan daerah penelitian seperti di kecamatan Banjar, Karangjaya, Cimerak, Cipari, Bantarsari, Patimuan, Pakuncen, Cilongok, Jatilawang dan Maos.
3. Pemodelan 2D dan 3D anomali residual data gayaberas di lintasan A – A', B – B' dan C – C' terdiri atas 6 lapisan. Lapisan pertama berupa endapan berusia Kuartar dengan rata-rata nilai densitas 2,2 gr/cc, lapisan kedua Formasi Halang dengan rata-rata nilai densitas 2,6 gr/cc, lapisan ketiga Formasi Penanjung dengan rata-rata nilai densitas 2,45 gr/cc, lapisan keempat Formasi Gabon dengan rata-rata nilai densitas 2,7, lapisan kelima berupa sedimen Eosen dengan rata-rata densitas 2,75 dan lapisan keenam berupa batuan dasar (*basement*) dengan nilai densitas 3,0 gr/cc.

6.2 Saran

Saran yang diberikan dalam penelitian ini menekankan perlunya menerapkan metode geofisika yang lebih terperinci, seperti metode magnetotellurik, agar informasi mengenai fitur geologi di daerah tersebut dapat dipahami secara lebih mendalam, terutama dalam konteks potensi hidrokarbon.

DAFTAR PUSTAKA

- Andari, W., Karyanto, K., dan Kurniawan, R. 2019. Identifikasi Batas Sub-Cekungan Hidrokarbon Menggunakan Analisis SHD (*Second Horizontal Derivative*) Dan SVD (*Second Vertical Derivative*) Berdasarkan Korelasi Data Gayaberat Dan Seismik. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 5(1), 60–74.
- Ansori, C., Godang, S., dan Hastria, D. 2019. *Protolith Oceanic Island Arc* dari Granitoid Tipe M dan I di Karangsembung, Kebumen, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 20(4), 249-262.
- Armandita, C., Mukti, M. M. R., dan Satyana, A. H. 2009. Intra-arc trans-tension duplex of Majalengka to Banyumas Area: prolific petroleum seeps and opportunities in West-Central Java border. in *Proceedings Indonesian Petroleum Association 33rd Annual Convention & Exhibition*.
- Asikin, S. Handoyo, A. Pratistho, B. dan Gafoer, S. 1992. *Geologi Lembar Banyumas, Jawa Tengah*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Badan Geologi. 2009. *Peta Cekungan Sedimen Indonesia*. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Badan Geologi. 2018. *Peta Cekungan Sedimen Indonesia*. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Bachri, S. 2013. Peran Sistem Tunjaman, Sesar Mendatar Transform dan Pemekaran terhadap sebaran cekungan sedimen di Indonesia. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 14(4), 19-27.
- Bachri, S. 2017. *Pengaruh Kegiatan Tektonik dan Vulkanisme Terhadap Sedimentasi Endapan Paleogen- Neogen, di Cekungan Serayu, Jawa*. Jakarta: LIPI Press.
- Blakely, R. 1995. *Potential Theory In Gravity And Magnetic Applications*. Cambridge University Press.

- Budhitrisna, T., 1986. *Peta Geologi Lembar Tasikmalaya, Jawa skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Constable, S. C., Parker, R. L., dan Constable, C. G. 1987. Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, 52(3), 289-300.
- Cordell, L. 1979. Gravimetric expression of graben faulting in Santa Fe country and the Espanola basin, New Mexico. In *Guidebook to Santa Fe Country, 30th Field Conference*, p. 59-64. New Mexico Geological Survey.
- Cordell, L., dan Grauch, V. J. S. 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps* p. 181-197. Society of Exploration Geophysicists.
- Craig, J., dan Quagliaroli, F. 2020. The oil & gas upstream cycle: Exploration activity. In *EPJ Web of Conferences* (Vol. 246, p. 00008). EDP Sciences.
- Djuri M., Samodra H., Amin T., dan Gafoer S., 1996, *Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal, Jawa, Skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Elkins, T. A. (1951). The second derivative method of gravity interpretation. *Geophysics*, 16(1), 29-50.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia. Jakarta.
- Henderson, R. G., dan Zietz, I. 1949. The computation of second vertical derivatives of geomagnetic fields. *Geophysics*, 14(4), 508-516.
- Herman, D. Z., 2005. Kegiatan Pemantauan dan Evaluasi Konservasi Sumberdaya Mineral Daerah Kabupaten Cilacap, Provinsi Jawa Tengah. *Kolokium Hasil Lapangan*. Bandung: DIM.
- Hidayat, H., Subagio, S., dan Praromadani, Z. S. A. 2020. Interpretasi struktur geologi bawah permukaan berdasarkan updating data gayaberat cekungan Banyumas, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 21(3), 111-118.
- Hidayat, H., Nugraha, A. D., Priyono, A., Marjiyono, M., Setiawan, J. H., Sahara, D. P., Winardhi, S., Zulfakriza, Z., Rosalia, S., Lelono, E. B., Permana, A. A., dan Setiawan, A. 2021. Travel time tomography to delineate 3-D regional seismic velocity structure in the Banyumas Basin, Central Java, Indonesia, using dense borehole seismographic stations. *Frontiers in Earth Science*, 9, 639271.

- Husein, S., Jyalita, J., dan Nursecha, M. A. Q. 2013. Kendali Stratigrafi dan Struktur Gayaberat pada Rembesan Hidrokarbon Sijenggung, Cekungan Serayu Utara. In *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-6 Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia* p. 11-12.
- Indragiri, N. M. 2019. Inversion Modelling 3D Gravity for Hydrocarbon Identification at Sanggau, West Borneo. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 318(1), 1-7.
- Junursyah, G. M. L., Suteja, A., dan Setyanta, B. 2019. Survei Geomagnet untuk mendelineasi Cekungan Sedimen yang Tertutupi Batuan Vulkanik di Daerah Banyumas [Geomagnetic survey to delineate Sedimentary Basin covered by Volcanic Rocks in Banyumas Area]. *Publikasi Khusus Eksplorasi Hidrokarbon di Sistem Vulkanik*, 51–64.
- Kastowo dan Suwarna, N. 1996. *Peta Geologi Lembar Majenang, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Lunt, P., Burgon, G., dan Baky, A. 2009. The Pemali Formation of Central Java and equivalents: Indicators of sedimentation on an active plate margin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(1), 100-113.
- Luo, X., Zhang, L., Lei, Y., dan Yang, W. 2020. Petroleum migration and accumulation: Modeling and applications. *AAPG Bulletin*, 104(11), 2247-2265.
- Makhrani. 2012. *Buku Ajar Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Universitas Hassanuddin. Makassar.
- Maulidita, A., Mayasari, E. D., dan Hastuti, E. W. D. 2022. Geologi dan Analisis Mikrofasies dalam Penentuan Lingkungan Pengendapan Batugamping Formasi Kalipucang Daerah Urug, Kecamatan Jatiwaras, Kabupaten Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMATAN)*, 1(1), 144-153.
- Menke, W. 1984. *Geophysical Data Analysis Discrete Inverse Theory*. Academic Press.
- Minescu, F., Popa, C., dan Grecu, D. 2010. Theoretical and practical aspects of tertiary hydrocarbon migration. *Petroleum Science and Technology*, 28(6), 555-572.
- Parttijavri, M. 2004. *Grablox: Gravity Interpretation and Modelling Software Based on 3D Block Model*. Geological Survey of Finland. Espoo.
- Purwasatriya, E. B., Surjono, S. S., Amijaya, D. H., Saputra, F. E., Hendaryono, S., dan Said, S. 2018. Tectonostratigraphy of Banyumas Basin and Its

Correlation to Petroleum Potential. In *Proceeding South East Asia Technology University Conference (SEATUC)*. Yogyakarta.

- Purwasatriya, E. B., Surjono, S. S., dan Amijaya, D. H. 2019. Sejarah Geologi Pembentukan Cekungan Banyumas Serta Implikasinya Terhadap Sistem Minyak dan Gas Bumi. *Jurnal Dinamika Rekayasa*, 15(1), 25-34.
- Rahmah, H. M., dan Wahyudi. 2014. Pembentukan Karakter Melalui Aplikasi Sains (Pemodelan 3d Anomali Gayaberat Magma Gunungapi Merapi Dengan Software Grablox, Bloxer Dan Rockwork). *Prosiding Seminar Nasional*, 1(1), 107-115.
- Reynold, J. 1997. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*. John Wiley dan Son Ltd.
- Rosenbach, O. 1953. A contribution to the computation of the " second derivative" from gravity data. *Geophysics*, 18(4), 894-907.
- Sarkowi, M. 2010. Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer. *J. Sains MIPA*, 16(2), 111-118.
- Sarkowi, M. 2014. *Eksplorasi Gayaberat*. Graha Ilmu.
- Satyana, A. H. 2005. Structural Indentation of Central Java: a Regional Wrench Segmentation. *Proceedings Joint Convention Surabaya 2005- the 30th HAGI, the 34th IAGI, and the 14th PERHAPI Annual Conference and Exhibition*. p. 204.
- Satyana, A. H. 2006. New Insight on Tectonics of Central Java, Indonesia and Its Petroleum Implications. In *American Association of Petroleum Geologists (AAPG) International Conference and Exhibition*. p. 90061.
- Satyana, A. H. 2007. Central Java, Indonesia–A “Terra Incognita” in petroleum exploration: New considerations on the tectonic evolution and petroleum implications. *Proceeding Indonesian Petroleum Association, Thirty-First Annual Convention and Exhibition*.
- Satyana, A. H. 2015. Subvolcanic hydrocarbon prospectivity of Java: Opportunities and challenges. *Proceeding Indonesian Petroleum Association, Thirty-Ninth Annual Convention and Exhibition*.
- Satyana, A. H., dan Purwaningsih, M. E. 2002. Lekukan Struktur Jawa Tengah: Suatu Segmentasi Sesar Mendatar. *Prosiding Akatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI)*, Yogyakarta. 1-14.
- Setiadi, I., Setyanta, B., dan Widijono, B. S. 2010. Delineasi Cekungan Sedimen Sumatera Selatan Berdasarkan Analisis Data Gayaberat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 20(2), 93-106.

- Setiadi, I. 2017. Basement Configuration and Delineation of Banyumas Sub-Basin Based On Gravity Data Analysis. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 18(2), 67-76.
- Setyanta, B., dan Setiadi, I. 2010. Pola Struktur Dan Geodinamika Cekungan Bula, Berdasarkan Anomali Gayabarat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 20(1), 41-55.
- Sheriff, R. E. 2001. *Encyclopedic dictionary of applied geophysics*. Society of Exploration Geophysicists.
- Silitonga, P. H., Masria, M., dan Suwarna, N., 1996. *Peta Geologi Lembar Cirebon. Jawa, Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Simanjuntak, T. O. dan Surono. 1992. *Peta Geologi Lembar Pangandaran Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Sugianto, A dan Rahadinata, T. 2015. Pemodelan Gayabarat 3D Daerah Panas Bumi Dolok Morawa, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 10(2), 26-39.
- Supriyadi, Khumaedi, Sugiyanto, dan Setiaswan, F. 2019. Pemisahan Anomali Regional dan Residual Data Gayabarat Studi Kasus di Kota Lama Semarang. *Physics Education Research Journal*, 1(1), 29-36.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics (Second Edition)*. Cambridge University Press.
- Van Bemmelen, R. W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Government Printing Office, The Hague. Netherland.
- Wulandari, I. F., dan Setiawan, A. 2015. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan 3D Purwokerto dan Sekitarnya berdasarkan Data Anomali Gayabarat Bouguer Lengkap. *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(57), 6-12.
- Yulihanto, B. 2002. Reanalisis Cekungan Sedimen Tersier Indonesia; Suatu Tantangan dan Harapan untuk Menunjang Perolehan Cadangan Migas Baru di Masa Mendatang. *Lembaran publikasi minyak dan gas bumi*, 36(2), 49-59.
- Zaenudin, A., dan Yulistina, S. 2018. Studi Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Untuk Mengetahui Sistem Sesar Berdasarkan Analisis First Horizontal Derivative (FHD), Second Vertical Derivative (SVD), Dan 2, 5D Forward Modeling Di Daerah Manokwari Papua Barat. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 4(2), 173-186.

Zhao, B. B., dan Chen, Y. Q. 2011. Singular Value Decomposition (SVD) for Extraction Of Gravity Anomali Associated with Gold Mineralization in Tongshi Gold Field, Western Shandong Uplifted Block, Eastern China. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18(1): 103-109.