

**APLIKASI METODE GAYABERAT UNTUK ESTIMASI AWAL
VOLUME PENYIMPANAN CO₂ DI SUB-CEKUNGAN JAWA TIMUR
BAGIAN SELATAN**

(Laporan Kerja Praktik)

Tempat Kerja Praktik : Pusat Survei Geologi
Waktu Pelaksanaan : November – Desember 2023



Oleh

Jeremia Kelvin Sihotang

2015051002

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN KEBUDAYAAN RISET DAN TEKNOLOGI
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Laporan : Aplikasi Metode Gayaberat Untuk Estimasi Awal Volume Penyimpanan CO₂ Di Sub-Cekungan Jawa Timur Bagian Selatan

Nama : Jeremia Kelvin Sihotang

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015051002

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

Tempat : Pusat Survei Geologi (PSG)

Waktu Pelaksanaan : November – Desember 2023

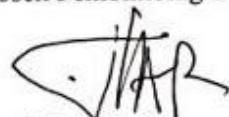
Pembimbing Lapangan : Dr. Andy Setyo Wibowo, S.T., M.T.

Penguji Kerja Praktik : Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.

Bandar Lampung, 22 Januari 2024

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1



Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU.
NIP 196271071987031002

Dosen Pembimbing 2



Sandri Erfani, M.Eng.
NIP 198902152019031016

Ketua Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

ABSTRAK

APLIKASI METODE GAYABERAT UNTUK ESTIMASI AWAL VOLUME PENYIMPANAN CO₂ DI SUB-CEKUNGAN JAWA TIMUR BAGIAN SELATAN

Oleh:

Jeremia Kelvin Sihotang

Pusat Survei Geologi (PSG) merupakan salah satu unit teknis di bawah Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral yang melakukan penyelidikan, pelayanan dan survei di bidang pemetaan, geosains, serta sumber daya minyak dan gas bumi. Kerja praktik yang dilakukan bertujuan untuk memahami kondisi kerja serta manajemen kerja di instansi Pusat Survei Geologi (PSG) dan peran keilmuan geofisika dalam mengurangi emisi CO₂ di Indonesia. Fokus kerja praktik ini yaitu estimasi volume awal dari formasi geologi yaitu akuifer garam dalam (*deep saline aquifer*) di sub-cekungan Jawa Timur bagian Selatan. Akuifer garam dalam (*deep saline aquifer*) merupakan tempat penyimpanan CO₂ yang potensial karena mampu menyimpan CO₂ secara permanen dan memiliki kapasitas penyimpanan yang besar. Metode gayaberat digunakan untuk mengetahui jumlah volume awal CO₂ potensial sebagai CO₂ storage di sub-cekungan Jawa Timur bagian Selatan dengan memanfaatkan data anomali residual dan pemodelan inversi 3D dengan rentang densitas batupasir 1.61-2.67 g/cc. Pada penelitian ini diperoleh 4 sub-cekungan yaitu terdapat 3 sub-cekungan di wilayah Blitar hingga Malang dan 1 sub-cekungan di wilayah Lumajang hingga Jember. Kemudian pemodelan inversi 3D dilakukan dengan membagi 2 wilayah sub-cekungan dan diperoleh hasil perhitungan volume penyimpanan CO₂ di wilayah sub-cekungan wilayah Blitar hingga Malang adalah sebesar 32.747 km³ dan wilayah sub-cekungan Lumajang hingga Jember adalah sebesar 18.505 km³.

Kata kunci:Densitas, gayaberat, *Carbon Capture Storage*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat-Nya dan hidayah-Nya Penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Laporan Kerja Praktik Lapangan dengan judul "**Aplikasi Metode Gayaberat Untuk Estimasi Awal Volume Penyimpanan CO₂ Di Sub-Cekungan Jawa Timur Bagian Selatan**". Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada seluruh pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam kegiatan penyusunan Laporan Kerja Praktik ini. Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Laporan Kerja Praktik ini, sehingga saran dan kritik diharapkan untuk membangun kesempurnaan Laporan ini. Semoga semua yang tertulis di dalam laporan ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun, baik kalangan umum maupun akademisi untuk kemajuan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, Januari 2024

Penulis,

Jeremia Kelvin Sihotang

NPM. 2015051002

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Relevansi.....	4
II. LANDASAN TEORI	5
2.1 <i>Carbon Capture Storage</i>	5
2.2 Formasi Penyimpanan CO ₂	5
2.3 Metode Gayaberat.....	9
2.4 Anomali Bouguer	11
2.5 Transformasi Fourier	12
2.6 Analisis Spektrum	13
2.7 Pemisahan Anomali Regional dan Residual.....	15
2.8 Metode <i>Moving average</i>	16
2.9 Densitas Batuan.....	17
2.10 <i>Inverse Modelling</i>	19
III. TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN.....	21
3.1 Profil Instansi.....	21

3.2 Sejarah Instansi	21
3.3 Visi dan Misi Instansi	22
3.4 Tugas dan Fungsi Instansi	23
3.5 Struktur Organisasi	24
3.6 Referensi	24
IV. METODOLOGI.....	25
4.1 Tempat dan Waktu Kerja Praktik	25
4.2 Alat dan Bahan	26
4.3 Prosedur Kerja Praktik.....	26
4.4 Diagram Alir	28
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
5.1 Bidang Kerja	29
5.2 Deskripsi Kegiatan Kerja Praktik	30
5.3 Pembahasan	36
5.3.1 Lokasi Daerah Penelitian.....	36
5.3.2 Tatatan Tektonik Jawa.....	37
5.3.3 Geologi Regional.....	38
5.3.4 Anonali Bouguer Lengkap	40
5.3.5 Analisis Spektrum	42
5.3.5.1 <i>Slice A-A'</i>	44
5.3.5.2 <i>Slice B-B'</i>	44
5.3.5.3 <i>Slice C-C'</i>	45
5.3.5.4 <i>Slice D-D'</i>	46
5.3.5.5 <i>Slice E-E'</i>	47
5.3.5.6 <i>Slice F-F'</i>	47
5.3.5.7 <i>Slice G-G'</i>	48
5.3.5.8 <i>Slice H-H'</i>	49
5.3.6 <i>Moving Average</i>	50
5.3.7 Anomali Regional.....	51
5.3.8 Anomali Residual	52
5.3.9 Interpretasi Kualitatif.....	53
5.3.10 Analisis Volumetrik.....	55

5.3.10.1 Volume Awal Model Inversi 3D Wilayah Sub-cekungan Blitar-Malang	56
5.3.10.2 Volume Awal Dari Model Inversi 3D Wilayah Sub-cekungan Lumajang-Jember.....	57
VI. PENUTUP	60
6.1 Kesimpulan	60
6.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Penyimpanan CO ₂ di formasi geologi	9
Gambar 2. Gaya tarik menarik antara dua benda	11
Gambar 3. Kurva $\ln A$ terhadap k	15
Gambar 4. Struktur organisasi Pusat Survei Geologi – Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral	24
Gambar 5. Diagram alir kerja praktik.....	28
Gambar 6. Ruang <i>assessment</i> MIGAS	29
Gambar 7. Gedung C Pusat Survei Geologi	30
Gambar 8. Kegiatan pengolahan data gayaberat	31
Gambar 9. Presentasi hasil pengolahan data gayaberat.....	32
Gambar 10. Diskusi bersama pembimbing kerja praktik	33
Gambar 11. Diskusi seputar sampel batuan.....	33
Gambar 12. Foto bersama pembimbing kerja praktik	34
Gambar 13. Kunjungan ke perpustakaan Pusat Survei Geologi.....	35
Gambar 14. Peta lokasi daerah penelitian	36
Gambar 15. Pola struktur utama Pulau Jawa (Prasetyadi dkk., 2021)	37
Gambar 16. Zonasi fisiografi pulau jawa bagian timur (Pannekoek, 1949).....	39
Gambar 17. Peta geologi daerah penelitian	40
Gambar 18. Peta anomali Bouguer lengkap daerah penelitian.....	41
Gambar 19. Peta <i>slice</i> analisis spektrum	43
Gambar 20. Grafik Ln A vs k <i>slice</i> A-A'	44
Gambar 21. Grafik Ln A vs k <i>slice</i> B-B'	45
Gambar 22. Grafik Ln A vs k <i>slice</i> C-C'	46
Gambar 23. Grafik Ln A vs k <i>slice</i> D-D'	46
Gambar 24. Grafik Ln A vs k <i>slice</i> E-E'	47

Gambar 25. Grafik Ln A vs <i>k slice</i> F-F'	48
Gambar 26. Grafik Ln A vs <i>k slice</i> G-G'	48
Gambar 27. Grafik Ln A vs <i>k slice</i> H-H'	49
Gambar 28. Anomali regional daerah penelitian	52
Gambar 29. Anomali residual daerah penelitian	53
Gambar 30. Peta sub-cekungan dari anomali residual daerah penelitian	54
Gambar 31. Peta wilayah sub-cekungan	55
Gambar 32. Model inversi 3D sub-cekungan wilayah Blitar-Malang	56
Gambar 33. Nilai volume dari “volume $\leq \text{isovalue}$ ” saat nilai <i>isovalue</i> 2,76 g/cc pada sub-cekungan wilayah Blitar-Malang	57
Gambar 34. Nilai volume dari “volume $\leq \text{isovalue}$ ” saat nilai <i>isovalue</i> 1,61 g/cc pada sub-cekungan wilayah Blitar-Malang	57
Gambar 35. Model inversi 3D sub-cekungan wilayah Lumajang-Jember	58
Gambar 36. Nilai volume dari “volume $\leq \text{isovalue}$ ” saat nilai <i>isovalue</i> 2,76 g/cc pada sub-cekungan wilayah Lumajang-Jember	58
Gambar 37. Nilai volume dari “volume $\leq \text{isovalue}$ ” saat nilai <i>isovalue</i> 1,61 g/cc pada sub-cekungan wilayah Lumajang-Jember	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Nilai densitas batuan	18
Tabel 2. Jadwal rincian kegiatan kerja praktik	25
Tabel 3. Kedalaman anomali regional dan residual tiap <i>slice</i>	49
Tabel 4. Panjang gelombang (<i>cut-off</i>) dan lebar jendela.....	50

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat, membuat mahasiswa tidak hanya dituntut memiliki pengetahuan di bidang teknologi dan informasi semata. Mahasiswa harus memiliki kesiapan dalam menghadapi dunia pekerjaan dengan menerapkan ilmu yang diterimanya di perkuliahan. Teknik Geofisika Universitas Lampung mewajibkan untuk setiap mahasiswa melakukan Kerja Praktik. Dalam program ini, mahasiswa memiliki kesempatan untuk menjalankan praktik kerja industri atau proyek, agar dapat memperoleh pemahaman langsung tentang penerapan teori-teori yang telah dipelajari selama perkuliahan, dan dapat memperluas jaringan kerja setelah menyelesaikan perkuliahan. Dalam program ini penulis berkesempatan melakukan Kerja Praktik di Pusat Survei Geologi dengan menerapkan metode gayaberat untuk estimasi awal volume penyimpanan CO₂ dengan menggunakan data gayaberat yang disediakan oleh Pusat Survei Geologi.

Indonesia saat ini berada dalam tahap transisi energi menuju *Net Zero Emission* berdasarkan kesepakatan seluruh dunia dalam *Paris Agreement* untuk membayangkan visi iklim panjang yang didasari strategi setengah abad mengenai emisi karbon (IPCC, 2018). Indonesia menyiapkan beberapa langkah untuk mencapai target *Net Zero Emission* pada tahun 2060. Pendekatan alternatif yang telah diterapkan untuk mengurangi emisi CO₂ diantaranya panel surya bebas karbon, tenaga angin bebas karbon, energi panas bumi dan produksi hidrogen (Chu dan Majumdar, 2012). Dewan Energi Nasional (2014) juga telah membuat skenario kebijakan untuk mengurangi emisi CO₂ melalui perbaikan bauran energi, pengurangan ketergantungan pada bahan bakar berbasis karbon serta

penerapan sumber energi terbarukan dari tahun 2020 hingga 2050. Namun, tindakan tersebut dianggap tidak cukup untuk mengurangi target emisi CO₂ lebih lanjut, sehingga indonesia mengambil inisiatif untuk menerapkan teknologi *Carbon Capture Storage* (Adisaputro dan Saputra, 2017) yang diharapkan mampu menangkap sebanyak 85% emisi CO₂ dari pembangkit listrik dan industri lain sebelum di transport melalui pipa atau kapal dan disimpan di bawah permukaan bumi (KESDM, 2009).

Carbon Capture and Storage (CCS) adalah proses menangkap CO₂ dari sumber-sumber antropogenik seperti pembangkit listrik tenaga batubara dan kemudian mengirimkannya ke tempat di mana karbon tersebut dapat disuntikkan ke dalam formasi geologi (IPCC, 2005). Penerapan CCS di Indonesia memiliki potensi yang signifikan untuk dilakukan karena negara ini memiliki sejumlah besar lapangan minyak dan gas yang menghasilkan CO₂, dengan 70% dari lapangan tersebut merupakan lapangan yang telah lama beroperasi (Santoso dkk., 2018). Selain itu, Indonesia juga memiliki beragam formasi geologi yang dapat dijadikan tempat penyimpanan permanen untuk emisi CO₂, seperti akuifer garam dalam (*deep saline aquifer*) (Kemen-ESDM, 2023). Penyimpanan geologi CO₂ telah terbukti menjadi metode yang efisien untuk mengurangi emisi CO₂ (Matter dan Kelemen, 2009; Matter dkk., 2016). Dengan menggunakan penyimpanan geologi, jutaan ton emisi CO₂ berhasil dapat disimpan dalam berbagai formasi penyimpanan geologi, termasuk akuifer garam dalam, batuan basaltik, formasi lapisan batubara, formasi serpih padat, dan reservoir hidrokarbon yang sudah tidak aktif (Al-Rubaye dkk., 2021; Dahrab dkk., 2016). Di Indonesia, khususnya akuifer garam dalam dianggap sebagai media penyimpanan CO₂ yang sangat potensial, mengingat distribusi cekungan yang meluas di seluruh wilayah Indonesia (Kemen-ESDM, 2023; Ali dkk., 2020). Lokasi dan geometri perangkap dari suatu formasi geologi perlu diketahui dan ditentukan dengan menggunakan teknik standar yang digunakan dalam eksplorasi hidrokarbon. Jika volume geometrik (V_{trap}) dari perangkap struktural atau stratigrafi hingga ke titik tumpahan diketahui, serta porositasnya (ϕ) dan saturasi air yang tidak dapat

direduksi (S_{wirr}), maka volume teoritis yang tersedia untuk penyimpanan CO₂ (V_{co_2t}) akan dapat dihitung (Bachu dkk., 2007).

Volume dari suatu formasi geologi dapat diprediksi dengan metode gayaberat, yaitu dengan melakukan pemodelan tiga dimensi pada daerah target penelitian yang kemudian dilakukan validasi menggunakan data-data pendukung seperti data sumur, data lab atau data seismik. Penelitian tentang penggunaan metode gravitasi dalam mendapatkan estimasi awal volume CO₂ yang dapat ditampung pernah dilakukan dan terbukti dapat dilakukan di Formasi Ngrayong pada lapangan Gundih (Santoso dkk., 2018).

Berdasarkan studi sebelumnya, peneliti berhasil memahami cara menentukan volume suatu formasi geologi melalui pemodelan 3D. Oleh karena itu, penelitian kali ini akan digunakan metode gravitasi untuk memodelkan bawah permukaan dan mengestimasi ketebalan sedimen dengan menggunakan analisis spektrum dan akan digunakan sebagai acuan pemodelan 3D *inverse gravity* sehingga akan dapat menghitung estimasi awal volume reservoir berdasarkan hasil analisis volumetrik pada daerah penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam kerja praktik sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi lingkungan kerja dan peran keilmuan geofisika dalam konteks kerja praktik di Pusat Survei Geologi (PSG)?
2. Bagaimana manajemen kerja di Perusahaan Pusat Survei Geologi (PSG), dan bagaimana cara memelihara serta mengembangkan jaringan kerja dengan pembimbing, kolega dan sejawat di Pusat Survei Geologi (PSG)?
3. Bagaimana model inversi 3D data gayaberat di sub-cekungan Jawa Timur bagian Selatan?
4. Seberapa besar kapasitas volume dari penyimpanan CO₂ di sub-cekungan Jawa Timur bagian Selatan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan Kerja Praktik ini adalah sebagai berikut:

1. Data gayaberat yang digunakan merupakan data Anomali Bouguer Lengkap yang merupakan data tahun 2001 hasil pengukuran Pusat Survei Geologi.
2. Penelitian ini terbatas untuk mencari tau kapasitas volume dari penyimpanan CO₂ di sub-cekungan Jawa Timur bagian Selatan menggunakan metode 3D data gayaberat.
3. Pembahasan difokuskan pada tugas dan kegiatan yang dilakukan saat kerja praktik.

1.4 Tujuan Kerja Praktik

Tujuan dalam pelaksanaan Kerja Praktik ini adalah sebagai berikut:

1. Memahami kondisi lingkungan kerja dan memahami peran keilmuan geofisika dalam konteks kerja praktik di Pusat Survei Geologi
2. Mampu memahami manajemen kerja di perusahaan Pusat Survei Geologi (PSG), memelihara dan mengembangkan jaringan kerja dengan pembimbing, kolega dan sejawat di Pusat Survei Geologi (PSG).
3. Memperoleh model inversi 3D data gayaberat di sub-cekungan Jawa Timur bagian Selatan.
4. Menentukan besar kapasitas volume penyimpanan CO₂ di sub-cekungan Jawa Timur bagian Selatan.

1.5 Relevansi

Adapun relevansi dari kerja praktik ini adalah diterapkannya metode gayaberat untuk memperkirakan volume awal dari penyimpanan CO₂ di sub-cekungan Jawa Timur bagian Selatan. Belum pernah ada penelitian serupa yang dilakukan di daerah penelitian.

II. LANDASAN TEORI

2.1 *Carbon Capture Storage*

Carbon Capture and Storage (CCS) adalah teknologi mitigasi mengurangi pelepasan CO₂ dari industri maupun sumber energi yang berpotensi untuk menekan biaya mitigasi secara keseluruhan serta meningkatkan fleksibilitas dalam mencapai pengurangan emisi gas rumah kaca di atmosfer (IPCC, 2005), dengan rangkaian proses mulai dari pemisahan atau penangkapan CO₂ (*capture*) dan pengangkutan CO₂ (*transportation*) ke tempat penyimpanan (*storage*).

Untuk penangkapan (*capture*) CO₂, terdapat tiga jenis yaitu *pre-combustion*, *post combustion* dan *oxyfuel combustion* (IEA, 2013), setelah proses penangkapan CO₂ dilakukan pengangkutan *carbon* dengan pipa atau *tanker* seperti teknik mengangkut gas yang kemudian akan dilakukan penyimpanan *carbon* kedalam bawah permukaan seperti formasi geologi, mineral karbonat, laut atau diaplikasikan dalam dunia industri yang sesuai dengan kriteria dan dengan parameter injeksi yang memadai (misalnya laju injeksi dan tekanan injeksi) untuk imobilisasi permanen (Xu dkk., 2018).

2.2 *Formasi Penyimpanan CO₂*

Penyimpanan CO₂ dalam formasi geologi merupakan solusi yang optimal dari aspek ekonomi, keselamatan dan perlindungan lingkungan. Menurut IPCC

(2005) ada beberapa jenis formasi yang dapat diterapkan untuk dilakukan injeksi CO₂:

a. Lokasi geografis penyimpanan

Lokasi penyimpanan geologi CO₂ perlu memenuhi kriteria kapasitas, injektivitas, dan stabilitas lingkungan. Kriteria penilaian cekungan termasuk karakteristik geologi, sumber daya cekungan, kematangan industri, isu lingkungan, dan sikap masyarakat (Bachu, 2003). Cekungan yang stabil di tengah lempeng benua atau tepi lempeng benua dianggap ideal, sementara cekungan di kawasan tektonik aktif, seperti sekitar Samudera Pasifik, kurang cocok karena potensi kebocoran CO₂ lebih tinggi.

b. Lapangan minyak dan gas yang telah habis

Lapangan minyak dan gas yang sudah menipis menjadi target utama penyimpanan CO₂ karena struktur geologi dan sifat fisiknya telah terperinci. Model komputasi yang digunakan dalam industri minyak dan gas dapat diterapkan untuk memprediksi pergerakan dan perilaku CO₂. Selain itu, infrastruktur dan sumur yang sudah ada dapat dimanfaatkan untuk operasi penyimpanan CO₂. Lapangan yang sudah habis tidak akan terpengaruh oleh CO₂, dan jika masih dalam produksi, penyimpanan CO₂ dapat dioptimalkan untuk meningkatkan produksi minyak atau gas (IPCC, 2005).

Sebuah persamaan alternatif dalam menghitung kapasitas penyimpanan untuk CO₂ dalam reservoir minyak dan gas didasarkan pada geometri reservoir seperti yang terdapat pada basis data cadangan.

c. Formasi garam (*saline formation*)

Formasi garam (*saline formation*) merupakan batuan sedimen dalam yang jenuh dengan konsentrasi garam terlarut yang tinggi (IPCC, 2005). Dibandingkan dengan jenis formasi geologi lainnya, Formasi garam (*saline formation*) memiliki kapasitas penyimpanan yang besar oleh karena itu formasi ini sangat potensial. Meskipun begitu, identifikasi CO₂-storage di Formasi

garam (*saline formation*) belum di eksplorasi secara detail serta infrasturktur yang dibangun (sumur injeksi dan jaringan pipa) belum ada (Tomic., dkk 2022). Formasi garam (*saline formation*) menjadi fokus dari badan geologi karena kapasitas penyimpanan yang besar. Lokasi dan geometri perangkap perlu diketahui dan ditentukan dengan menggunakan teknik standar yang digunakan dalam eksplorasi hidrokarbon. Jika volume geometrik V_{trap} dari perangkap struktural atau stratigrafi hingga ke titik tumpahan diketahui, serta porositasnya f dan saturasi air yang tidak dapat direduksi S_{wirr} , maka volume teoritis yang tersedia untuk penyimpanan CO₂, V_{co_2t} , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Bachu dkk., 2007)

$$V_{co_2t} = V_{trap} \phi (1 - S_{wirr}) = Ah\phi (1 - S_{wirr}) \quad (1)$$

dimana A dan h masing-masing adalah luas perangkap dan ketebalan rata-rata.

d. Lapisan batubara

Mekanisme penyimpanan di lapisan batubara, yaitu absorpsi, sangat berbeda dengan mekanisme di reservoir dan akuifer minyak dan gas, dimana CO₂ yang diinjeksikan menempati ruang pori sebagai fase terpisah atau dilarutkan dalam air atau minyak (Shi dan Duracan, 2005).

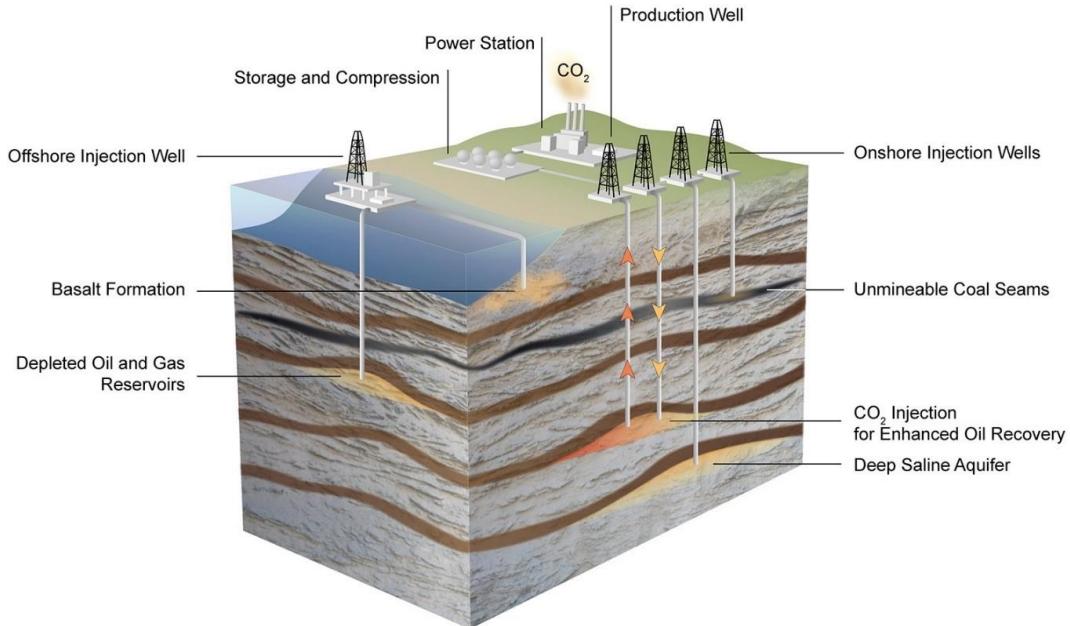
Kemungkinan penyimpanan pada batubara yang belum ditambang dapat berfungsi berdasarkan prinsip adsorpsi CO₂ pada permukaan batubara dan pada rekahan, dimana metana diperoleh kembali karena kapasitas absorpsi CO₂ lebih tinggi dibandingkan metana (Tomic dkk., 2018). Pemulihan gas metana lapisan batubara yang ditingkatkan karbon dioksida (CO₂-ECBM) merupakan teknologi baru yang berpotensi menyimpan sejumlah besar CO₂ antropogenik dalam formasi batubara dalam yang tidak dapat ditambang (lapisan batubara), sekaligus meningkatkan efisiensi dan potensi keuntungan dari pemulihan gas metana lapisan batubara (Shi dan Duracan, 2005).

Sehingga untuk asumsi awal CO₂ perhitungan kapsitas penyimpanan dapat dihitung dengan analogi dengan estimasi Cadangan untuk CBM sehingga perhitungan volume awal adalah CO₂ akan didasari oleh perhitungan gas awal di tempat (*initial gas in place*) IGIP.

e. Formasi basaltik dan serpih

Batuhan basaltik menunjukkan potensi besar untuk penyimpanan CO₂ dalam bentuk mineralisasi melalui proses yang dikembangkan oleh Gislason dkk (2010). Dalam proses ini, CO₂ dan air diinjeksi bersamaan dalam formasi basat, menginduksi reaksi kimia yang cepat untuk menyimpan CO₂ dalam bentuk karbonisasi (Gislason dan Oelkers, 2014). Kelebihan dari proses ini adalah tidak diperlukannya CO₂ yang pekat selama injeksi, yang dapat menyimpan hingga 100 kg CO₂ dalam satu meter kubik area basal (Gislason dkk., 2018).

Kemudian serpih yang kaya akan bahan organik merupakan kandidat lain yang memadai untuk imobilisasi CO₂ secara permanen. Formasi geologi ini dikenal luas sebagai batuan sedimen berpori rendah dan kedap air yang dapat menyimpan CO₂ dalam jumlah yang besar. Dalam formasi ini, CO₂ secara permanen terperangkap dalam keadaan terabsorpsi dalam bahan organic yang terdistribusi secara luar biasa, seperti kerogen (Ali dkk., 2022).



Gambar 1. Penyimpanan CO₂ di formasi geologi (Ali dkk., 2022)

2.3 Metode Gayaberat

Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang pengukurannya berdasarkan pada variasi medan gayaberat bumi. Variasi gayaberat tersebut disebabkan oleh adanya variasi densitas di bawah permukaan (ρ = gram/cc), perbedaan jarak bumi terhadap pusat bumi, jenis batuan bawah permukaan dan perbedaan topografi dipermukaan bumi (Sarkowi, 2014). Ketidakseragaman struktur geologi pada bawah permukaan tersebut mengakibatkan Perbedaan densitas (Andari dkk, 2019). Hukum yang mendasari konsep dari metode gayaberat adalah hukum Newton. Hukum Newton menjelaskan bahwa gaya tarik-menarik antara dua partikel besarnya akan sebanding dengan hasil kali kedua massa partikel dan berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak kedua partikel (Telford dkk., 1990). Pernyataan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$F = \gamma \left(\frac{m_1 m_2}{r^2} \right) r_1 \quad (2)$$

Dimana:

F = Gaya yang bekerja pada m_2 (N)

γ = Konstanta gravitasi ($6.672 \times 10^{-11} Nm^2/kg^2$)

- r_1 = Arah vektor satuan
 $m_1 m_2$ = Massa benda 1 dan 2 (kg)

Karena nilai yang terukur pada metode gayaberat bukanlah nilai gaya gravitasi (F) melainkan nilai percepatan gravitasi (g). Maka hukum II Newton menjelaskan hubungan keduanya dalam persamaan berikut:

$$F = m g \quad (3)$$

Respon anomali gravitasi terhadap densitas suatu massa dapat dilihat dari potensial gravitasi. Potensial gravitasi ini akan berkaitan dengan percepatan gravitasi. Percepatan gravitasi sendiri merupakan suatu medan potensial yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$g = \gamma \left(\frac{M_e}{R_e} \right) r_1 \quad (4)$$

Dimana:

F = Gaya yang bekerja pada m_2 (N)

r_1 = Arah vektor satuan

r = Jarak antar partikel massa (m)

g = Percepatan gravitasi ($m \left(\frac{s^2}{s^2} \right)$)

M_e = Massa bumi (kg)

R_e = Jari-jari (m)

Berdasarkan prinsip fisika diatas, hukum Newton menjadi dasar dari metode gayaberat. Gambar 2 memberikan informasi bagaimana hukum Newton menjelaskan gaya tarik menarik antara dua massa partikel yang terpisah oleh jarak r , dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\vec{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (5)$$

Dimana:

\vec{F} = Gaya tarik menarik (N)

m_1, m_2 = Massa partikel 1 dan massa partikel 2 (kg)

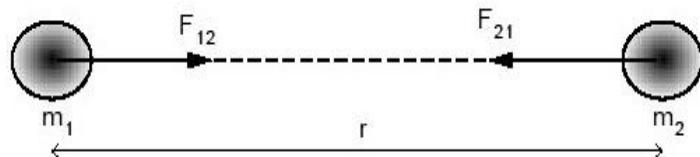
r = Jarak antara dua partikel (m)

\hat{r} = Vektor satuan yang arahnya dari m_1 dan m_2

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

Hukum gravitasi Newton menyatakan apabila \vec{F} adalah nilai suatu gaya gayaberat; G merupakan konstanta gayaberat universal ($6.67 \times 10^{11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$); m_1 dan m_2 adalah massa partikel; r adalah jarak; \hat{r} adalah unit vektor pada arah koordinat r yang berasal dari pusat massa.

Berikut merupakan ilustrasi dari gaya tarik menarik yang ada pada hukum Newton.



Gambar 2. Gaya tarik menarik antara dua benda (Grandis, 2009)

2.4 Anomali Bouguer

Anomali Bouguer merupakan respon gayaberat yang diperoleh setelah dilakukan koreksi *drift*, koreksi pasang surut, koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer dan koresi *terrain*. Anomali Bouguer muncul akibat perbedaan densitas batuan atau hal lain di wilayah permukaan dangkal dan di bawah permukaan bumi. Anomali Bouguer berfungsi memberi gambaran distribusi gayaberat untuk memperkirakan kondisi bawah permukaan berdasarkan variasi densitas batuan (Reynolds, 1997). Untuk menghitung nilai Anomali Bouguer setiap titik stasiun dengan menerapkan koreksi-koreksi yang telah disebutkan sebelumnya

$$BA = g_{obs} - (g\Phi + FAC + BC + TC) \quad (6)$$

Dimana:

- BA = Anomali Bouguer Lengkap
- g_{obs} = Nilai gravitasi observasi (mGal)
- $g\Phi$ = Nilai gravitasi koreksi lintang (mGal)
- FAC = *Free Air Correction* (Koreksi Udara Bebas)
- BC = *Bouguer Correction* (Koreksi Bouguer)
- TC = *Terrain Correction* (Koreksi Medan)

2.5 Transformasi Fourier

Proses pemisahan anomali regional dan residual pada umumnya dilakukan dalam domain frekuensi karena benda-benda yang ada pada anomali residual berasosiasi dengan frekuensi yang tinggi sedangkan anomali regional berasosiasi pada frekuensi yang rendah. Maka dari itu, data gayaberat yang merupakan data dalam domain spasial harus terlebih dahulu dilakukan transformasi menjadi domain frekuensi. Transformasi Fourier yang berdasarkan pada *Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics* (Sheriff, 2001) merupakan persamaan matematis yang digunakan untuk mengkonversi data dalam domain waktu atau spasial menjadi domain frekuensi atau bilangan gelombang.

Transformasi Fourier yang diturunkan oleh Blakely (1995) untuk kasus dua dimensi atau terdiri dari dua variabel dapat dirumuskan secara sederhana seperti persamaan berikut:

$$G(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x, y) e^{-i(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (7)$$

Dimana (k_x, k_y) merupakan bilangan gelombang (frekuensi) yang berasosiasi dengan koordinat (x, y) berturut-turut yaitu $k_x = \frac{2\pi}{\lambda_x}$ dan $k_y = \frac{2\pi}{\lambda_y}$.

Dikarenakan data anomali gayaberat yang dalam hal ini $f(x, y)$ diketahui pada diskrit poin maka digunakan transformasi Fourier diskrit atau *discrete fourier transform* seperti dalam persamaan berikut:

$$G(k, y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} g(m, n) e^{-2\pi i \frac{km}{M} + \frac{ln}{N}} \quad (8)$$

Dimana:

(m, n) = Bilangan bulat (*integer*) yang menyatakan *grid point* dalam domain spasial

(k, l) = Bilangan bulat (*integer*) yang menyatakan *grid point* dalam domain frekuensi

(M, N) = Bilangan bulat (*integer*) yang menyatakan jumlah kolom dan baris data

2.6 Analisis Spektrum

Data Anomali Bouguer yang telah diperoleh merupakan hasil superposisi dari komponen anomali regional dan residual. Sehingga sebelum melakukan *filtering* perlu dilakukan analisis spektrum untuk mengetahui estimasi kedalaman anomali regional dan residual dari data Anomali Bouguer serta menentukan lebar jendela (*window filter*) yang dianggap paling baik untuk digunakan dalam pemisahan anomali regional dan residual daerah penelitian.

Dalam analisis spektrum dilakukan proses transformasi Fourier (transformasi dari domain waktu ke dalam domain spasial) untuk mengubah signal menjadi penjumlahan beberapa signal sinusoidal dengan berbagai frekuensi (Blakely, 1995).

Hasil dari transformasi ini akan berupa *spektrum amplitude* dan *spektrum phase*, melalui transformasi Fourier nilai gayaberat ini kita mampu memperkirakan kedalaman regional dan residual dengan mengestimasi nilai bilangan gelombang (k) dan *amplitude* (A) yang dapat digunakan dalam mengitung lebar jendela yang selanjutnya akan digunakan sebagai *input* dalam melakukan *filtering*. Pada penelitian ini transformasi Fourier dilakukan dengan menggunakan *software DOSBox 0.74*.

Blakely (1995) menurunkan spektrum dari potensial yang diamati pada suatu bidang datar horizontal adalah sebagai berikut:

$$F(U) = \gamma\mu \left(\frac{1}{r}\right) \text{ dan } F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0 - z')}}{|k|} \quad (9)$$

Berdasarkan kedua persamaan diatas maka diperoleh:

$$F(U) = 2\pi\gamma\mu \frac{e^{|k|(z_0 - z')}}{|k|} \quad (10)$$

Sehingga transformasi Fourier anomali gayaberat pada hasil *slice* yang telah dilakukan adalah

$$F(g_z) = \gamma\mu F\left(\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r}\right) = \gamma\mu \frac{\partial}{\partial z} F\left(\frac{1}{r}\right) \rightarrow F(g_z) = 2\pi\gamma\mu e^{|k|(z_0 - z')} \quad (11)$$

dimana

g_z = Anomali gayaberat

k = Bilangan gelombang

Z_0 = Ketinggian titik amat

Z = Kedalaman benda anomali

Bila distribusi densitas bersifat *random* dan tidak terdapat hubungan antar masing masing nilai gayaberat maka $\mu = 1$, sehingga hasil trasnformasi Fourier akan menjadi :

$$A = C e^{|k|(z_0 - z')} \quad (12)$$

dimana

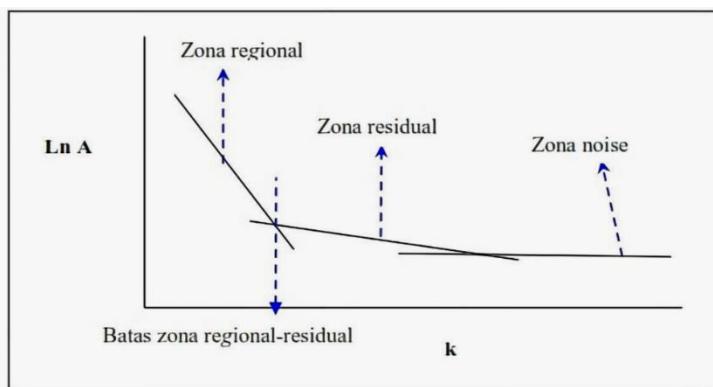
A = Amplitude

C = Konstanta

Selanjutnya dengan melogaritmakan hasil transformasi Fourier tersebut maka diperoleh hubungan antara *amplitude* (A) dan bilangan gelombang (k) dan kedalaman ($z_0 - z'$):

$$\ln A = (z_0 - z')|k| \quad (15)$$

Hasil logaritma ini menunjukkan bahwa kedalaman rata-rata bidang diskontinuitas rapat massa akan berbanding dengan kemiringan grafik spektrum. Kemudian dari hubungan itu kita dapat menggunakan metode *least square* akan menghasilkan gradien yang dapat mengestimasikan kedalaman suatu anomali baik itu anomali regional dan anomali residual seperti pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Kurva $\ln A$ terhadap k (Blakely, 1995).

2.7 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Dari pengukuran metode gayaberat, diperoleh hasil Anomali Bouguer yang merupakan superposisi dari gabungan dari anomali regional dan anomali residual (Blakely, 1995). Anomali Bouguer merupakan total dari anomali regional dan residual, dimana secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$g_{bouguer} = g_{reg} + g_{res} \quad (13)$$

Dimana:

$g_{bouguer}$ = Anomali Bouguer

g_{reg} = Anomali regional

g_{res} = Anomali residual

Anomali regional adalah hasil dari anomali gayaberat yang berasal dari sumber anomali pada kedalaman yang dalam dan memiliki dimensi yang besar

(Nishijima dan Naritomi, 2017). Anomali residual berkaitan dengan komponen frekuensi tinggi, sedangkan anomali regional terkait dengan frekuensi rendah. Tujuan dilakukannya proses pemisahan anomali yaitu untuk memperoleh nilai anomali regional dan anomali residual yang dapat memberikan keadaan bawah permukaan yang sebenarnya (Sari, 2012).

2.8 Metode *Moving Average*

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memisahkan anomali regional dan residual adalah metode *moving average*. Metode ini dilakukan dengan melakukan perataan nilai anomali dan akan menghasilkan anomali regional. Secara matematis persamaan *moving average* untuk satu dimensi adalah sebagai berikut (Darmawan dkk., 2019):

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

Dimana:

i = Stasiun

N = Lebar jendela

Metode *moving average* bersifat *low pass filter* yaitu menapis anomali gelombang frekuensi tinggi tadi. Semakin lebar jendela yang digunakan dalam perhitungan maka nilai anomali residualnya akan semakin mendekati nilai Anomali Bouguer (Blakely, 1995).

Filter moving average merupakan metode penapisan yang bersifat *low pass filter*, dimana metode ini menghilangkan frekuensi tinggi dan meloloskan frekuensi rendah. Data Anomali Bouguer lengkap ditapis menggunakan metode ini dengan lebar jendela merupakan rata-rata dari setiap lintasan yang telah melalui analisis spektrum. Hasil yang didapatkan disebut dengan anomali regional. Sedangkan anomali residual diperoleh dengan cara melakukan proses pengurangan pada Anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Pada prinsipnya nilai lebar

jendela yang digunakan semakin besar maka nilai anomali residual yang diperoleh akan semakin mendekati nilai Anomali Bouguer (Setiadi dkk., 2010).

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (15)$$

Keterangan :

Δg_{reg} = Besarnya anomali regional

i = Nomor stasiun

N = Lebar jendela

Nilai anomali residual atau Δg_{res} dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{reg} \quad (16)$$

2.9 Densitas Batuan

Densitas atau rapat massa batuan merupakan besaran fisik yang sangat penting dalam aplikasi metode gayaberat. Hal tersebut dikarenakan penyebab utama bervariasinya anomali gayaberat di permukaan bumi yaitu adanya inhomogenitas kerapatan di bawah permukaan bumi. Harga dari densitas batuan akan berbanding lurus terhadap anomali gayaberat. Densitas batuan dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara massa dari benda yang dalam terhadap volume benda tersebut. Dalam pengukuran metode gayaberat, perhitungan Anomali Bouguer memerlukan nilai densitas rata-rata di daerah survei. Gaya tektonik dapat menyebabkan variasi densitas pada batuan sedimen. Faktor-faktor seperti densitas butir pembentuk batuan, kandungan fluida di dalam pori-porinya, porositas, pemanjangan akibat tekanan dan pelapukan akan mempengaruhi nilai densitas batuan (Broto, 2001). Berdasarkan Telford dkk (1990) terdapat variasi nilai densitas batuan. Berikut merupakan tabel densitas batuan yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

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

Jenis Batuan	Batas (g/cc)	Rata-rata (g/cc)
Batuhan Sedimen		
<i>Alluvium</i>	1.96 – 2.00	1.98
<i>Clay</i>	1.63 – 2.60	2.21
<i>Gravel</i>	1.70 – 2.40	2.00
<i>Loess</i>	1.40 – 1.93	1.64
<i>Silt</i>	1.80 – 2.20	1.93
<i>Soil</i>	1.20 – 2.40	1.92
<i>Sand</i>	1.70 – 2.30	2.00
<i>Sandstone</i>	1.61 – 2.76	2.35
<i>Shale</i>	1.77 – 3.20	2.40
<i>Limestone</i>	1.93 – 2.90	2.55
<i>Dolomit</i>	2.28 – 2.90	2.70
<i>Chalk</i>	1.53 – 2.60	2.01
<i>Halite</i>	2.10 – 2.60	2.22
<i>Glacier Ice</i>	0.88 – 0.92	0.90
Batuhan Beku		
<i>Rhyolit</i>	2.35 – 2.70	2.52
<i>Granit</i>	2.50 – 2.81	2.64
<i>Andesit</i>	2.40 – 2.80	2.61
<i>Syenite</i>	2.60 – 2.95	2.77
<i>Basalt</i>	2.70 – 3.30	2.99
<i>Gabro</i>	2.70 – 3.50	3.03
Baruan Metamorf		
<i>Gneiss</i>	2.59 – 3.00	2.80
<i>Schist</i>	2.39 – 2.90	2.64
<i>Phylite</i>	2.68 – 2.80	2.74
<i>Slate</i>	2.70 – 2.90	2.79
<i>Granulite</i>	2.52 – 2.73	2.65
<i>Amphibolite</i>	2.90 – 3.04	2.96
<i>Eclogite</i>	3.20 – 3.54	3.37

2.10 Inverse Modelling

Menke (1984) menjelaskan bahwa teori inversi merupakan satu kesatuan teknik antara matematika dan statistika yang dilakukan untuk memperoleh informasi yang diperlukan berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut. Pemodelan dalam inversi merupakan proses mekanisme dalam memodifikasi model agar diperoleh kecocokan data perhitungan dengan data pengamatan yang dilakukan secara otomatis. Kesesuaian antara respon model dengan data pengamatan umumnya dinyatakan oleh suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Dalam kalkulus suatu fungsi dapat mencapai minimum jika turunan fungsi tersebut terhadap parameter atau variabel yang tidak diketahui bernilai nol. Hal tersebut digunakan untuk memperkirakan parameter model (Rahma dan Wahyudi, 2004)

Persamaan dasar dalam pemodelan inversi 3D gayaberat dalam menghitung respon anomali gayaberat dipermukaan adalah sebagai berikut:

$$\Delta g(x, y, z) = G \int_{x1}^{x2} \int_{y1}^{y2} \int_{z1}^{z2} \frac{\rho z dx dy dz}{(x^2 y^2 z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (17)$$

Dimana $\Delta g(x, y, z)$ adalah tarikan vertikal gayaberat di titik dari benda yang homogen, G merupakan konstanta gayaberat dan ρ merupakan densitas dari batuan (Wulandari, 2014).

Yudistira dan Grandis dalam Rasimeng dkk (2020) menjelaskan bahwa untuk mengubah persamaan diatas menjadi pemodelan dalam inversi, maka digunakan matriks kernel dimana *grid* pengukuran bersesuaian dengan titik tengah prisma yang terletak di permukaan. Jika data hanya terdapat di permukaan ($z = 0$) maka jumlah data adalah $N = nx \times ny \times 1$ dan jumlah parameter model adalah $M = nx \times ny \times nz$ dimana nx , ny , dan nz masing-masing adalah jumlah *grid* dalam arah x , y , dan z . Dengan menggunakan data di permukaan maka inversi linier *purely under determined* ($N < M$) yang meminimumkan “norm” model menghasilkan model prisma *me* yang dapat berfungsi sebagai sumber

ekuivalen 3D. Data pada level ketinggian tertentu ($z < 0$) diperoleh sebagai hasil kali sumber ekuivalen 3D tersebut dengan matriks kernel untuk kontinuitas keatas \underline{G}^U adalah sebagai berikut:

$$d^U = \underline{G}^U + m_e \quad (18)$$

Alternatif lain untuk proses kontinuitas adalah melalui *filtering* menggunakan *Fast Fourier Transform*, meskipun untuk itu diperlukan cakupan data yang cukup luas. Kontinuitas ke atas dilakukan pada sejumlah level ketinggian yang lebih besar dari pada jumlah prisma dalam arah vertikal. Dengan demikian, gabungan data di permukaan dan hasil kontinuitas ke atas menghasilkan 2 data dengan jumlah yang lebih besar dari pada jumlah parameter model($N > M$). Permasalahan inversinya bersifat *over-determined* sehingga solusi inversi dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\hat{m} = [\underline{G}^U + \underline{G}^T]^{-1} \underline{G}^t \quad (19)$$

Dimana matriks kernel G pada persamaan di atas sudah melibatkan keseluruhan data atau data dalam ruang 3D (Yudistira dan Grandis dalam Rasimeng, 2020). Maka dari itu, akan didapatkan nilai ρ , z , dan koordinat x , y , z dari model.

III. TINJAUAN UMUM PERUSAHAAN

4.1 Profil Instansi

Pusat Survei Geologi salah satu unit teknis di bawah Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral yang berlokasi di Jl. Diponegoro 57, Bandung 40122. Pusat Survei Geologi menyimpan sebagian besar dokumentasi hasil penyelidikan mineral dan geologi dari berbagai daerah di seluruh Indonesia. Dokumentasi tersebut dapat berupa pustaka (laporan, terbitan, peta) dan percontoh (batuan, mineral, fosil). Selain menyimpan dokumentasi hasil penyelidikan dan pemetaan geologi, Pusat Survei Geologi juga mewarisi dan merawat semua dokumen hasil penyelidikan dan pemetaan geologi serta bahan tambang yang dilakukan oleh lembaga-lembaga pendahulunya, mulai dari Dienst van het Mijnwezen (1850-1922) sampai dengan Puslitbang Geologi (1978-2005).

4.2 Sejarah Instansi

Dalam perjalanan sejarahnya, Pusat Survei Geologi yang dikenal sekarang ini telah berevolusi melewati tiga kurun waktu. Dimulai dari Dienst Van Het Mijnwezen pada masa pemerintahan Hindia Belanda (1820). Setelah proklamasi kemerdekaan Republik Indonesia institusi ini menjadi Direktorat Geologi yang kemudian pada tahun 1979 berubah menjadi Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi atau P3G, dan sejak tahun 2006 menjadi Pusat Survei Geologi. Penelitian dan pengembangan geologi di Indonesia diawali Dienst Van Het Mijnwezen dengan dipaparkannya teori undasi, penemuan lajur anomali gaya berat *free air* negatif, dan penemuan fosil hominid oleh ilmuwan Belanda sekitar tahun 1850.

Pada tahun 1946, Direktorat Geologi memulai program pemetaan geologi secara sistematis, eksplorasi mineral logam dan mineral industri, survei hidrogeologi dan geologi teknik, penyelidikan dan pemantauan gunung api. Pemetaan gaya berat sistematik dimulai pada tahun 1964. Sejak tahun 1979 Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi mulai merangkum berbagai hasil kegiatan yang telah dilakukan sebelumnya menjadi paket-paket data dan informasi kebumian berupa peta-peta geologi digital, serta paket data geologi Irian Jaya (Papua) dan Kalimantan. Kegiatan litbang kebumian dimulai dengan penajaman pada pencarian sumber-sumber baru energi dan mineral, serta aspek lingkungan dan kebencanaan. Hasil-hasil litbang yang berupa data dan informasi tentang potensi kebumian itu disebarluaskan kepada para pemangku kepentingan (*stakeholder*), kalangan industri dan masyarakat luas.

4.3 Visi dan Misi Instansi

Berikut ini merupakan paparan dari visi misi tupoksi dari Pusat Survei Geologi (PSG):

a. Visi

Visi dari Pusat Survei Geologi yaitu geologi untuk perlindungan dan kesejahteraan masyarakat.

b. Misi

Berikut merupakan misi dari Pusat Survei Geologi:

1. Mempromosikan geologi untuk kepentingan perencanaan dan penataan wilayah.
2. Mengungkap potensi *geo-resources* (sumber daya geologi) : migas, panas bumi, batubara, mineral dan air tanah serta potensi geologi lainnya.
3. Mengungkap potensi bencana geologi bagi kepentingan perlindungan manusia dan potensi ekonomi.
4. Mendorong penerapan *geo-sciences* bagi kepentingan konservasi georesources dan potensi geologi lainnya serta perlindungan lingkungan.

4.4 Tugas dan Fungsi Instansi

Pada tahun 2016, Pusat Survei Geologi mengalami reorganisasi sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No. 13 tahun 2016 yang menggantikan Permen ESDM No. 18 tahun 2010. Sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No 13 Tahun 2016, Pusat Survei Geologi memiliki tugas dan fungsi sebagai berikut:

a. Tugas

Pusat Survei Geologi memiliki tugas untuk melakukan penyelidikan pelayanan dan survei di bidang pemetaan, geosains, serta sumber daya minyak dan gas bumi.

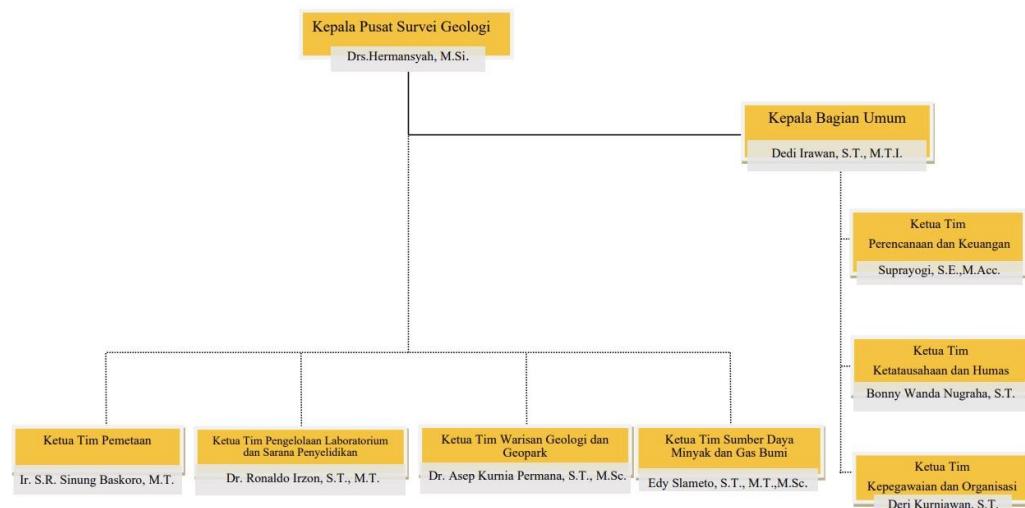
b. Fungsi

Berikut merupakan fungsi dari Pusat Survei Geologi adalah sebagi berikut:

1. Penyusunan kebijakan teknis penelitian dan penyelidikan di bidang pemetaan, geosains, serta sumber daya minyak dan gas bumi.
2. Perumusan kebijakan pelayanan di bidang pemetaan, geosains, serta sumber daya minyak dan gas bumi.
3. Pelaksanaan penyelidikan dan pelayanan di bidang pemetaan, geosains, serta sumber daya minyak dan gas bumi.
4. Penyusunan norma dan standar, prosedur, dan kriteria di bidang pemetaan, geosains, serta sumber daya minyak dan gas bumi.
5. Pelaksanaan pemberian bimbingan teknis dan supervisi dalam penelitian, penyelidikan dan pelayanan di bidang pemetaan, geosains, serta sumber daya minyak dan gas bumi.
6. Pemantauan, evaluasi dan pelaporan pelaksanaan tugas dalam penelitian, penyelidikan dan pelayanan di bidang pemetaan, geosains, serta sumber daya minyak dan gas bumi.
7. Pelaksanaan urusan ketatausahaan, kerumahtanggaan, administrasi keuangan, perencanaan, informasi dan kepegawaian Pusat.

4.5 Struktur Organisasi

Sebuah organisasi yang baik akan terbentuk apabila setiap anggota organisasi mengetahui tugas, wewenang, tanggung jawab serta hubungan komunikasi antar bagian pada struktur organisasi perusahaan. Pada badan usaha ini memiliki struktur organisasi yang bisa dikatakan cukup baik sehingga dapat menunjang dalam melaksanakan fungsinya secara efektif dan efisien. Berikut merupakan struktur organisasi Pusat Survei Geologi (PSG) ditunjukkan pada **Gambar 4.**



Gambar 4. Struktur organisasi Pusat Survei Geologi – Badan Geologi
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

4.6 Referensi

Referensi yang digunakan dalam Tinjauan Umum Perusahaan ini yaitu berdasarkan pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 13 Tahun 2016 Tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

IV. METODOLOGI

4.1 Tempat dan Waktu Kerja Praktik

Adapun waktu dan tempat pelaksanaan kerja praktik ini adalah sebagai berikut:

Waktu : 14 November – 14 Desember 2023.

Tempat : Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral,
Jl. Diponegoro No. 57, Cihaur Geulis, Kecamatan Cibeunying
Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat 40122.

Tabel 2. Jadwal rincian kegiatan kerja praktik

Kegiatan	Waktu											
	November			Desember				Januari				
	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3		
Orientasi Lingkungan Instansi	■											
Studi Literatur		■		■	■	■	■	■	■	■		
Pengambilan Data	■											
Pengolahan Data	■	■	■	■								
Interpretasi dan Diskusi		■	■	■	■	■	■					
Penyusunan Laporan		■						■	■			
Bimbingan Kerja Praktik										■	■	

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam kerja praktik ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop
2. Data Gayaberat
3. *Software Microsoft Excel* 2019
4. *Software Surfer* 13
5. *Software Oasis Montaj* 6.4.2
6. *Software Grablox* 16
7. *Software Voxler* 4
8. *Software ArcGis* 10.8
9. *Software Microsoft Word* 2019

4.3 Prosedur Kerja Praktik

Adapun prosedur dalam pelaksanaan tugas kerja praktik ini adalah sebagai berikut:

a. **Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan pada tahapan awal sampai akhir untuk mengumpulkan data atau informasi yang berkaitan dengan kerja praktik. Data yang berkaitan dengan penelitian seperti tinjauan pustaka dan teori dasar dapat mempermudah dalam proses pengolahan maupun interpretasi hasil.

b. **Pengolahan Data**

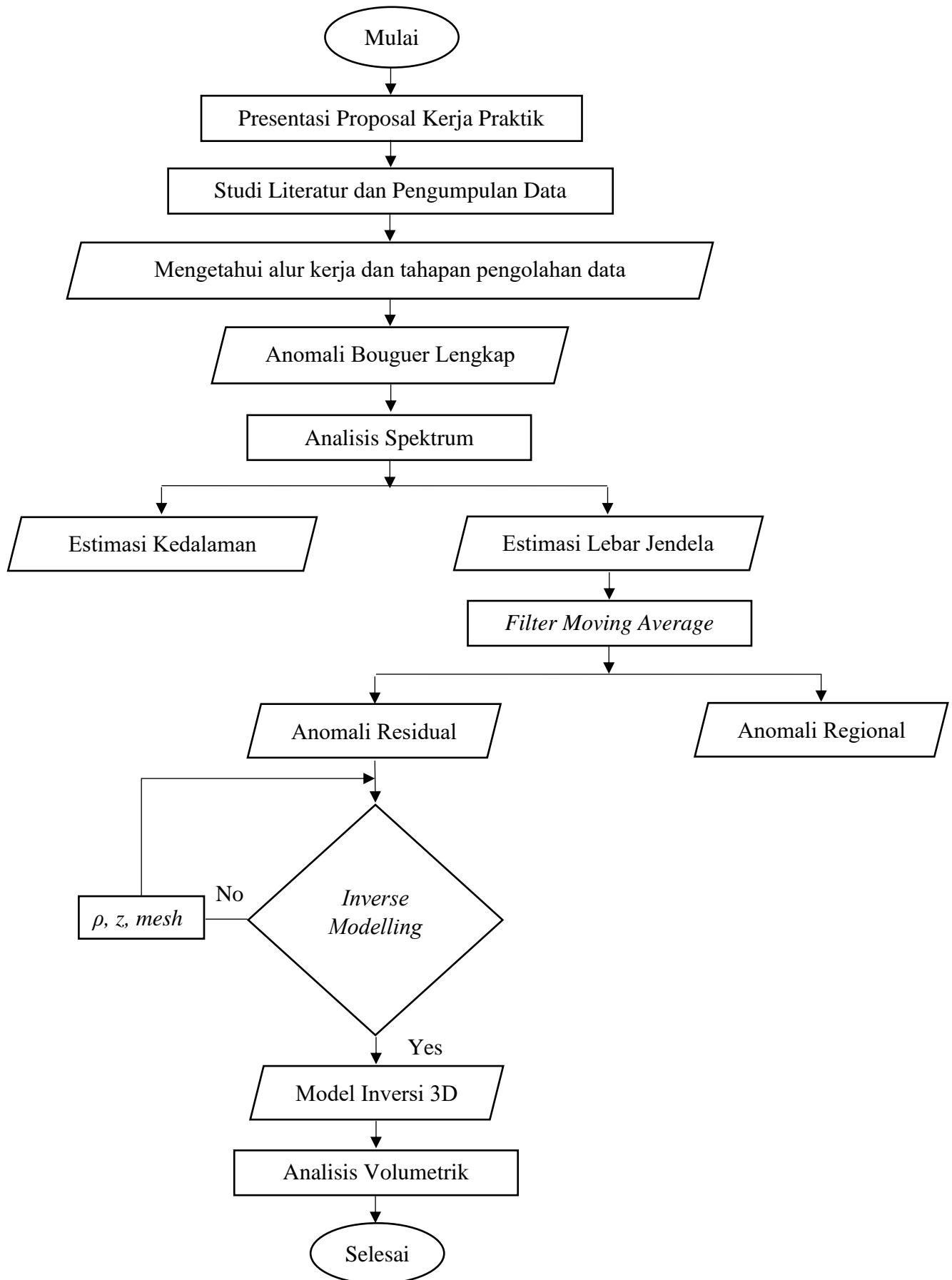
Data yang diolah pada penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari Pusat Survei Geologi (PSG). Data yang diperoleh merupakan data Anomali Bouguer Lengkap (ABL). Selanjutnya yaitu melakukan analisis terhadap anomali. Analisis anomali bertujuan untuk mengestimasi nilai kedalaman suatu anomali dan mengetahui lebar jendela yang digunakan untuk pemisahan anomali regional dan residual. Setelah anomali residual diperoleh, dilakukan penentuan sub-cekungan pada wilayah tersebut dan sub-cekungan tersebut akan dihitung besar volume penyimpanan CO₂ yang dapat ditampung.

c. Pemodelan 3D

Pemodelan 3D dilakukan menggunakan perangkat lunak *Grablox* 16. Proses dimulai dengan memasukkan nilai batas data dan spasi ke dalam *Grablox* 16 untuk membuat *mesh model*. Selanjutnya, data diinput ke dalam *Grablox* 16 setelah diubah jaraknya dari meter menjadi kilometer. Hasil dari model inversi 3D disimpan dalam format file (.blx), yang berisi parameter untuk perangkat lunak *Voxler*, seperti parameter x, y, z, dan densitas. Pada parameter z, nilai yang dihasilkan perlu dikalikan dengan minus satu (-1) agar nilai tersebut menjadi negatif, menandakan bahwa data berada di bawah permukaan bumi. Parameter-parameter ini kemudian digunakan dalam perangkat lunak *Voxler* 4 untuk menghasilkan visualisasi dan memahami distribusi 3D dari volume penyimpanan CO₂ di sub-cekungan Jawa Timur bagian Selatan. Penggunaan perangkat lunak *Voxler* 4 memungkinkan penulis untuk melakukan perhitungan volume penyimpanan CO₂ yang dapat diakomodasi dalam sub-cekungan tersebut. Keseluruhan proses ini menggabungkan langkah-langkah pemodelan, transformasi data, dan analisis untuk mendapatkan informasi yang lebih rinci dan terperinci mengenai potensi penyimpanan CO₂ di wilayah yang diteliti.

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir kerja praktik dan pengolahan data sebagai berikut.



Gambar 5. Diagram alir kerja praktik

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Bidang Kerja

Penulis memulai kegiatan kerja praktik pada hari Kamis, tanggal 14 November 2023, dan mendapat bimbingan langsung dari Bapak Dr. Andy Setyo Wibowo, S.T., M.T. di Pusat Survei Geologi (PSG), sebuah instansi Badan Geologi. Kerja praktik dilaksanakan selama 30 hari kerja, dengan lokasi di gedung C lantai 4, khususnya di ruang *Assessment* MIGAS seperti yang terlihat pada Gambar 6. Fokus kegiatan kerja praktik ini terletak pada pengolahan data dan analisis data yang diberikan oleh Pusat Survei Geologi (PSG). Tujuannya adalah untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, yakni luas volume penyimpanan CO₂ pada sub-cekungan di wilayah Pegunungan Jawa Timur Selatan. Dengan bimbingan dari Bapak Dr. Andy Setyo Wibowo, S.T., M.T., penulis terlibat aktif dalam kegiatan tersebut, mencoba mendapatkan pemahaman yang mendalam dalam bidang ini. Lokasi kerja praktik berada di ruang *Assessment* MIGAS.



Gambar 6. Ruang *assessment* MIGAS

5.2 Deskripsi Kegiatan Kerja Praktik

Kegiatan yang dilakukan selama kerja praktik di Pusat Survei Geologi (PSG) secara lebih rinci akan diuraikan sebagai berikut:

1. Minggu Pertama

Pada minggu pertama, kegiatan yang dilakukan yaitu orientasi lapangan di Pusat Survei Geologi (PSG). Gedung tempat pelaksanaan kerja praktik bertempat di gedung C lantai 4 (empat) yang dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Gedung C Pusat Survei Geologi.

Pada minggu pertama, penulis melakukan presentasi mengenai proposal kerja praktik di Pusat Survei Geologi (PSG) sesuai dengan proposal yang telah dibuat. Selanjutnya penulis dipaparkan materi seputar *Carbon Capture Storage* (CCS) oleh bapak Dr. Andy Setyo Wibowo, S.T., M.T. materi yang dipaparkan diharapkan dapat memberikan gambaran kepada penulis terkait tugas yang diberikan. Pada minggu ini data gayaberat di Jawa Timur bagian Selatan diberikan. Data tersebut kemudian di coba dilakukan pengolahan sederhana dan di sandingkan dengan studi literatur terkait daerah penelitian.



Gambar 8. Kegiatan pengolahan data gayaberat

2. Minggu Kedua

Pada minggu kedua kerja praktik, penulis fokus pada dua kegiatan utama, yaitu pengolahan data dan pencarian studi literatur terkait dengan daerah penelitian. Pengolahan data dilakukan di ruang kerja praktik, tepatnya di ruangan *assessment* MIGAS, sesuai dengan arahan yang diberikan oleh pembimbing. Penulis mulai mengolah data sesuai panduan yang telah diberikan. Selain itu, pada minggu kedua ini, penulis juga melakukan presentasi terkait hasil peta anomali residual yang telah berhasil diperoleh. Setelah presentasi, hasil yang diperoleh dianggap memuaskan, sehingga dilanjutkan dengan melakukan pemodelan 3D untuk menghitung nilai volume penyimpanan CO₂ di daerah tersebut. Pada tahap ini, penulis mulai memasuki aspek pemodelan untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif. Tidak hanya itu, minggu kedua juga diisi dengan diskusi bersama pembimbing terkait dengan *Carbon Capture Storage* (CCS), termasuk dampaknya untuk Indonesia, regulasi pemerintah, peraturan kementerian terkait, tim *carbon capture storage* dari Pusat Survei Geologi, dan peran seorang geofisikawan dalam konteks *Carbon Capture Storage* (CCS). Diskusi ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang aspek praktis dan regulasi terkait proyek tersebut.



Gambar 9. Presentasi hasil pengolahan data gayaberat

3. Minggu Ketiga

Pada minggu ketiga, fokus penulis masih pada tahap lanjutan pengolahan data, khususnya dalam pemodelan 3D data gayaberat. Proses pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Grablox 16*. Karena keterbatasan beban komputasi, wilayah yang akan dimodelkan dalam 3D dibagi menjadi dua bagian, yaitu sub-cekungan Blitar hingga Malang dan sub-cekungan Lumajang hingga Jember. Sambil mengerjakan pemodelan, penulis juga aktif menyusun laporan kerja praktik. Pencarian referensi dari berbagai sumber dilakukan untuk memastikan kelengkapan laporan. Selain itu, penulis terlibat dalam diskusi dengan pembimbing lapangan terkait dengan daerah penelitian. Pada minggu ini, Bapak Dr. Andy Setyo Wibowo, S.T., M.T., turut memperlihatkan data sampel batuan yang nantinya akan

diserahkan ke laboratorium LEMIGAS. Semua kegiatan ini mencerminkan progres yang signifikan dalam pelaksanaan kerja praktik, dengan penekanan pada aspek pengolahan data dan persiapan laporan yang mendalam serta kolaborasi erat dengan pembimbing lapangan.



Gambar 10. Diskusi bersama pembimbing kerja praktik



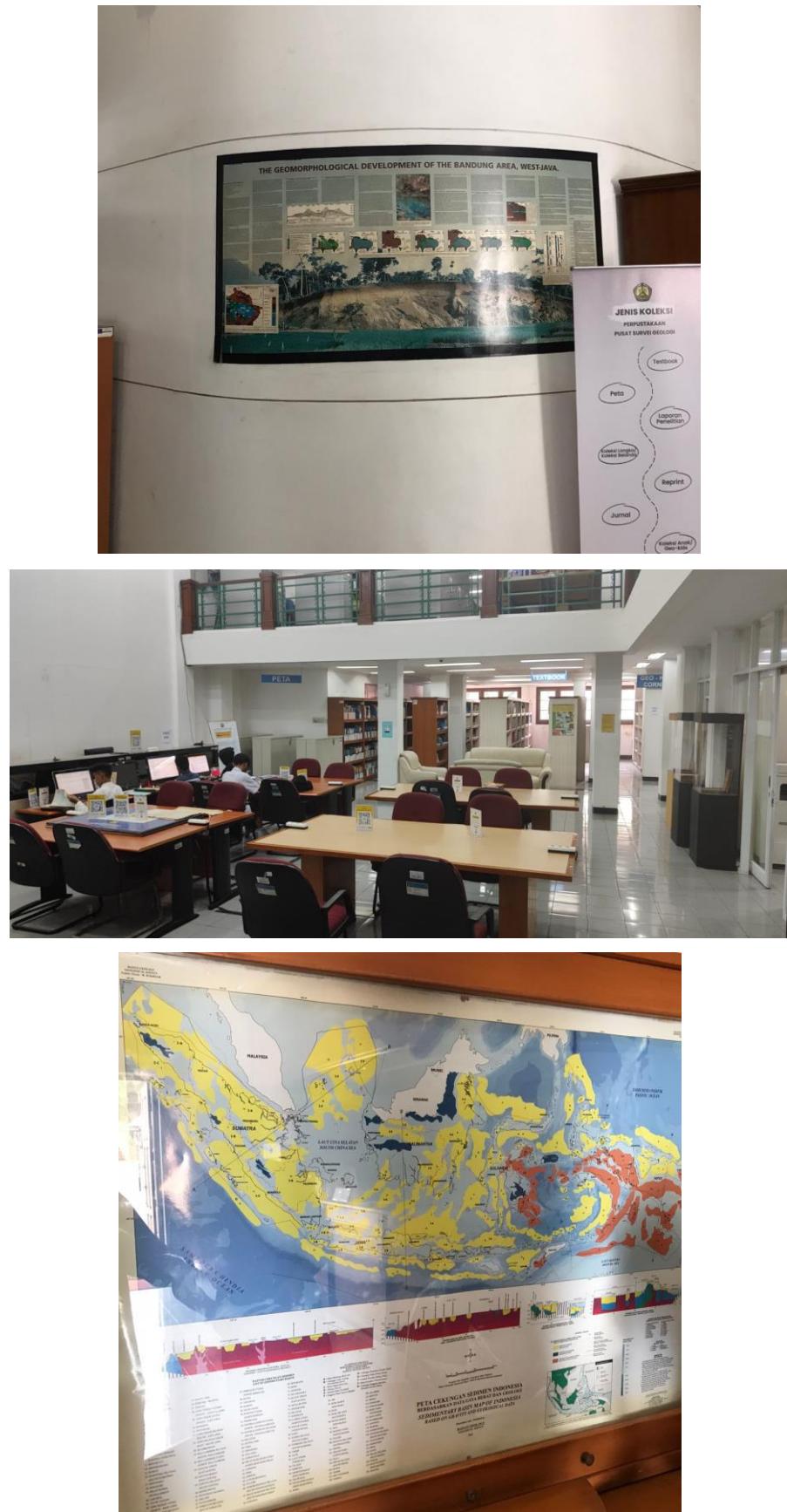
Gambar 11. Diskusi seputar sampel batuan

4. Minggu Keempat

Pada minggu keempat, yang merupakan tahap terakhir dari kerja praktik, penulis fokus pada interpretasi hasil pengolahan data. Pengolahan data sudah selesai dilakukan, dan laporan kerja praktik berada dalam tahap penyelesaian. Hasil yang telah diperoleh bersama dengan laporan kerja praktik diserahkan kepada pembimbing, Bapak Dr. Andy Setyo Wibowo, S.T., M.T., yang menjabat sebagai pembimbing di Pusat Survei Geologi (PSG). Setelah menyelesaikan berbagai kegiatan selama pelaksanaan kerja praktik, penulis mengunjungi perpustakaan yang terletak dekat dengan museum geologi. Sebagai tahap terakhir, penulis menyampaikan pamitan kepada pembimbing, Bapak Dr. Andy Setyo Wibowo, S.T., M.T., yang telah memberikan pengetahuan dan pengalaman berharga selama pelaksanaan kerja praktik di Pusat Survei Geologi (PSG).



Gambar 12. Foto bersama pembimbing kerja praktik



Gambar 13. Kunjungan ke perpustakaan Pusat Survei Geologi

5.3 Pembahasan

5.3.1 Lokasi Daerah Penelitian

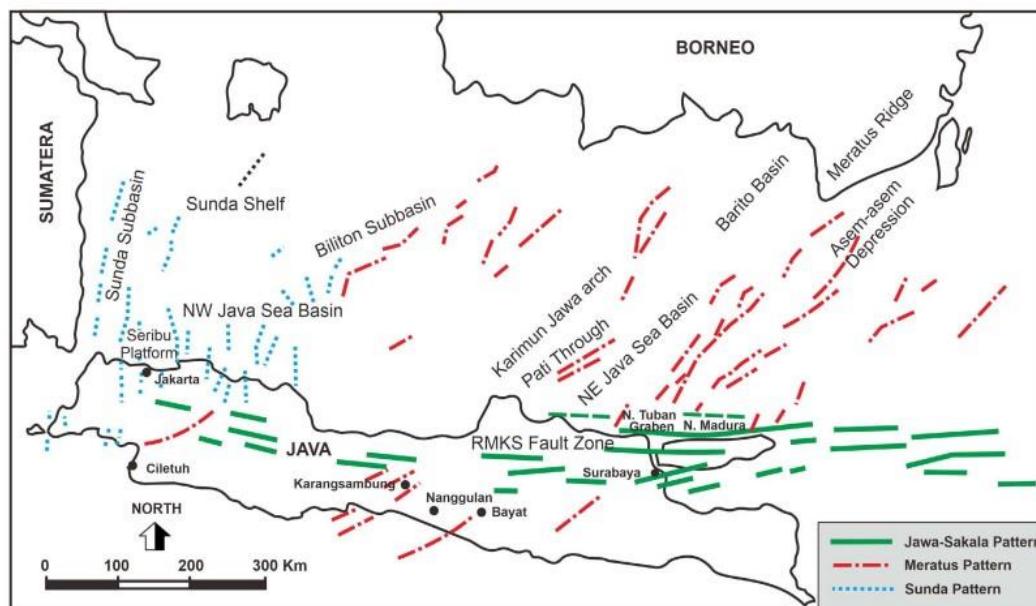
Lokasi Penelitian dengan menggunakan metode gayaberat berada di Jawa Timur bagian Selatan. Secara geografis keseluruhan daerah penelitian terletak di $112^{\circ}15'48.47''\text{BT}$ hingga $113^{\circ}50'5.89''\text{BT}$ dan $7^{\circ}38'21.83''\text{LS}$ hingga $8^{\circ}36'24.73''\text{LS}$, dengan luas daerah $174 \times 107 \text{ km}$. Lokasi penelitian diantaranya meliputi Jombang, Kediri, Mojokerto, Blitar, Kota Batu, Pasuruan, Kota Pasuruan, Malang, Kota Malang, Probolinggo, Kota Probolinggo, Lumajang, Jember, Bondowoso, Situbondo dan Banyuwangi yang dapat dilihat pada **Gambar 14**.



Gambar 14. Peta lokasi daerah penelitian

5.3.2 Tatatan Tektonik Jawa

Di wilayah Jawa, tiga pola struktur geologis mendominasi. Pertama, terdapat pola struktur yang membentang dari timur laut ke barat daya, yang juga dikenal sebagai arah Meratus. Pola ini terbentuk selama periode Kapur Akhir hingga awal periode Eosen. Kedua, terdapat pola struktur dengan orientasi utara-selatan, yang dikenal sebagai arah Sunda, yang terbentuk mulai dari awal periode Eosen hingga awal Oligosen. Ketiga, pola struktur dengan arah barat-timur, atau arah Jawa, terbentuk pada periode Oligosen Akhir sebagai akibat dari tekanan kompresif yang berasal dari arah selatan Pulau Jawa.



Gambar 15. Pola struktur utama Pulau Jawa (Prasetyadi dkk., 2021)

Menurut Prasetyadi dkk (2021) bagian timur Jawa merupakan perpotongan dari dua pola struktur utama diantaranya struktur Meratus yang berarah timur laut ke barat daya dominan berada di wilayah lepas pantai Cekungan Jawa Timur dan struktur Sakala yang berarah timur ke barat dominan berada di bagian timur daratan Jawa.

Adapun sejarah tektonik Jawa Timur dibagi kedalam 3 periode. Periode Kapur Ahir – Awal Eosen (70 – 35 Ma) terjadi pergerakan lempeng ke utara dari lempeng Australia yang mengakibatkan subduksi di bawah *microplate* Sunda

sepanjang sabuk Jawa-Meratus. Hal ini menyebabkan aktivitas magmatik dari Sumatera timur laut melintasi Jawa hingga Kalimantan tenggara. Pembentukan cekungan busur depan juga terjadi di selatan Jawa Barat dan pegunungan Serayu Selatan di Jawa Tengah sebagai hasil dari proses ini. Selain itu, ada kemungkinan bahwa bagian benua terlepas dari Gondwana ke arah selatan, yang kemudian bergerak ke arah timur laut mendekati zona subduksi.

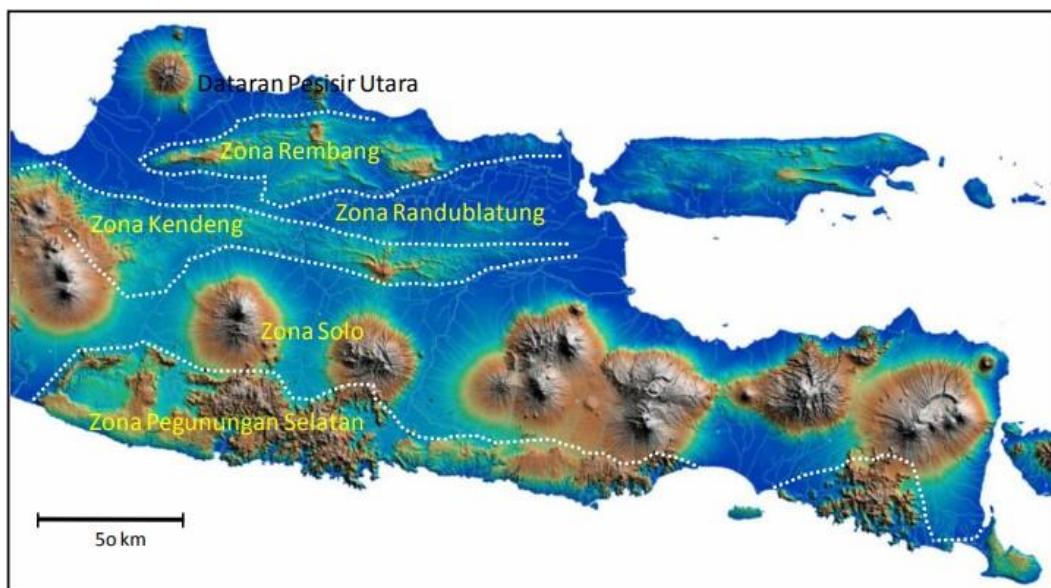
Periode Oligosen – Miosen Awal (35 – 20 Ma) terjadi pengurangan pergerakan lempeng yang menyebabkan peningkatan sudut kemiringan subduksi dan *uplift* di wilayah tenggara *Sundaland*, sementara pemekaran lantai samudra terjadi di Laut Cina Selatan. Konvergensi lempeng India ke utara menghasilkan gaya kompresi pada busur depan Sumatera dan Jawa, yang juga menyebabkan cekungan busur belakang mengalami inversi. Akibatnya, terbentuk sesar geser *strike-slip* yang bergerak ke arah utara-selatan.

Periode Tengah – Miosen Akhir (20 – 5 Ma) terjadi pergeseran pada batas lempeng Indian-Australian diikuti oleh aktivitas magmatik yang merata di seluruh pulau Jawa. Struktur sesar bervariasi dari utara ke selatan pulau, dengan orientasi utara-selatan di bagian utara Jawa Barat, serta timur laut ke barat daya dan barat laut ke tenggara di bagian barat daya dan tengah Jawa. Akibat tekanan kompresi dari utara, terbentuklah sesar geser *strike-slip* yang mengubah geometri cekungan menjadi orientasi sesar geser *strike-slip*. Distribusi formasi di atas batuan dasar dikontrol oleh struktur berarah timur laut ke barat daya dan timur ke barat.

5.3.3 Geologi Regional

Berdasarkan zonasi fisiografi Pannekoek (1949) daerah penelitian tergolong kedalam 2 zonasi seperti pada (**Gambar 16**) yaitu zona Pegunungan Selatan dan zona Solo. Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur merupakan rangkaian pegunungan yang berada di sisi selatan Pulau Jawa di bagian timur dan memanjang relatif berarah timur-tenggara ke barat-baratlaut (TTg - BBL). Bagian barat Pegunungan Selatan Jawa Timur terdiri dari sebuah cekungan sedimen gunungapi yang terbentuk pada rentang waktu dari Eosen hingga Miosen Tengah. Cekungan

tersebut kemudian dilapisi oleh berbagai jenis batugamping yang terbentuk pada rentang waktu dari Miosen Tengah hingga Pliosen. Akibat pengangkatan dan penyesaran bongkah, struktur tersebut cenderung miring ke arah selatan (Husein dan Srijono, 2007). Zona Solo secara luas merupakan suatu depresi (cekungan antara dua lajur pegunungan) memanjang di bagian tengah (*median*) Pulau Jawa, berarah TTg-BBL, terhampar dari Solo hingga Banyuwangi, untuk daerah penelitian terlihat terpaparnya deretan gunungapi. Berdasarkan Van Bemmelen (1949) zona Solo merupakan cekungan sedimen aktif dengan sistem fluvial yang menerima pasokan sedimen dari busur gunungapi, Zona Pegunungan Selatan, dan Zona Perbukitan Kendeng.

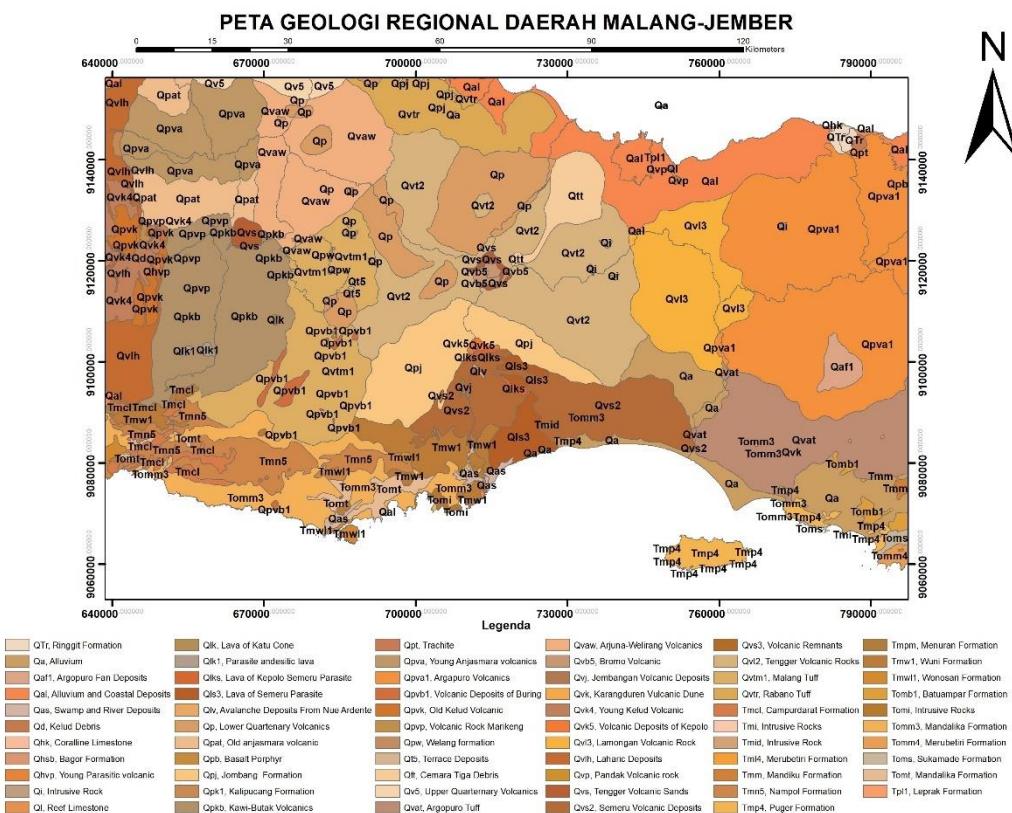


Gambar 16. Zonasi fisiografi pulau jawa bagian timur (Pannekoek, 1949)

Sjarifudin dan Hamidi (1992) menjelaskan bahwa stratigrafi regional daerah tersebut terdiri dari letusan gunungapi, batuan beku intrusif dan batuan sedimen gamping. Litologi yang menyusun wilayah Blitar hingga Malang diantaranya batuan dari hasil letusan gunungapi yang masuk kedalam Formasi Mandalika (Tomm) terdiri dari lava andesit-basalt, latit porfir, riolit dan dasit, Batuan Terobosan (Tomi) terdiri dari dasit, diorit dan tonalit, Formasi Wonosari (Tmwl) terdiri dari batugamping koral batugamping lempungan, batugamping tufan, batugamping pasiran, napal, batulempung hitam bergambut dan kalsirudit, Formasi

Campurdarat (Tmcl) terdiri dari batugamping hablur dan sisipan batulempung, Quarter Aluvium (Qa).

Untuk daerah penelitian dibagian selatan atau Lumajang hingga Jember stratigrafi regional daerah tersebut mirip dengan bagian barat juga terdiri dari hasil letusan gunungapi, batuan beku intrusi dan batuan sedimen gamping. Litologi yang Menyusun wilayah Lumajang hingga Jember diantaranya terdapat Formasi Puger (Tmp) terdiri dari batugamping hablur, kalkarenit dengan perselingan batupasir tufan, tuf dan batugamping pasiran, Formasi Mandalika (Tomm) terdiri dari lava andesit, breksi gunungapi, breksi tuf, tuf sela bersisipan lava dan tuf, Batuan Terobosan (Tmid) terdiri dari diorite, porfir, Quarter Aluvium (Qa).



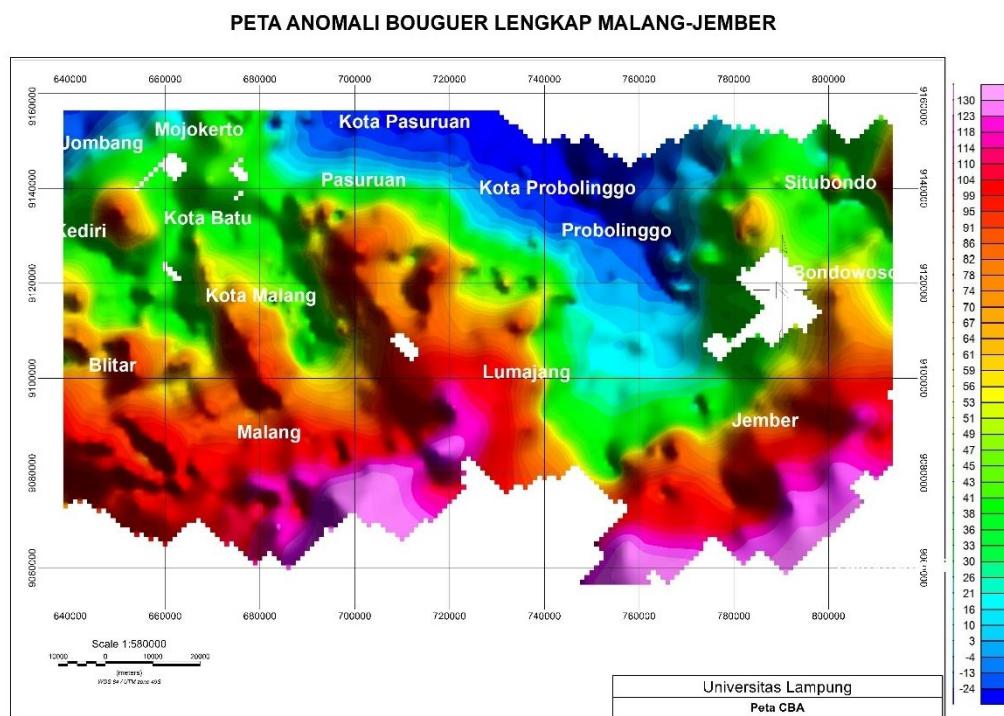
Gambar 17. Peta geologi daerah penelitian

5.3.4 Anomali Bouguer Lengkap

Berdasarkan sebaran data gayaberat dilakukan pengolahan data pada *software Oasis Montaj 6.4.2* dengan melakukan *gridding minimum curvature* dengan jumlah *grid cell size* 1000 dimana jumlah *grid* ini menyesuaikan dengan

sebaran data. Pada peta CBA pada daerah penelitian memiliki rentang nilai anomali gayaberat berkisar antara -24 hingga 134 mGal seperti terlihat pada **Gambar 18**.

Berdasarkan rentang anomali tersebut dikelompokan menjadi 3 pola anomali, anomali rendah memiliki rentang nilai -24 hingga 41 dengan warna biru hingga hijau muda, anomali sedang memiliki rentang nilai 42 hingga 74 dengan warna hijau tua hingga jingga dan anomali tinggi memiliki rentang nilai dari 75 hingga 134 dengan warna merah hingga merah muda.



Gambar 18. Peta anomali Bouguer lengkap daerah penelitian

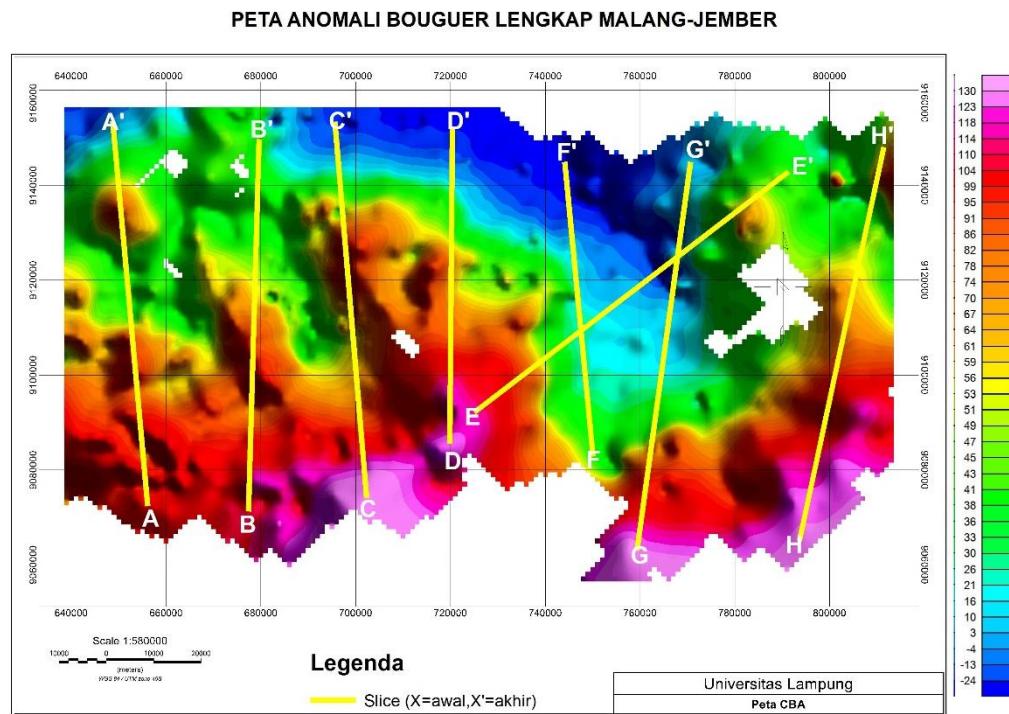
Anomali tinggi relatif berada di bagian selatan mulai dari Blitar, Malang bagian selatan, Lumajang hingga Jember, yang kemungkinan masih berhubungan oleh pengaruh pegunungan Jawa Selatan cenderung tersebar batuan dasar andesit campuran dari kerak samudra dan kerak benua pada berbagai tempat sehingga menunjukkan adanya kontras batuan yang memiliki rapat massa tinggi sedangkan anomali sedang relatif berada di bagian tengah daerah penelitian mulai dari Kediri menerus ke arah timur dan sedikit kearah selatan dan timur laut pada wilayah perbatasan Lumajang dan Jember kemungkinan berhubungan dengan batas wilayah

batas cekungan pada daerah penelitian sedangkan untuk anomali rendah relatif berada di bagian paling utara yang membentang dari daerah Jombang di bagian barat-utara hingga perbatasan di Situbondo yang mana pada area tersebut terdapat cekungan Kendeng yang membentang dari tengah dari arah Barat ke Timur daerah Jawa Timur.

Anomali bouguer lengkap merupakan penjumlahan dari berbagai macam sumber dan kedalaman anomali bawah permukaan atau merupakan hasil kombinasi dari anomali yang disebabkan oleh batuan dangkal (residual) dan batuan dalam (regional) Bouguer sehingga perlu dilakukan pemisahan antara anomali regional dan residual untuk mendapatkan anomali target. Pada penelitian ini dilakukan analisis spektrum hingga *filter moving average* untuk menghasilkan regional terbaik pada pola anomali yang kemudian akan menghasilkan pola cekungan yang lebih jelas dari data gayaberat ini atau merupakan peta anomali residual.

5.3.5 Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan untuk mendapatkan nilai kedalaman dari benda anomali gayaberat yang berada di bawah permukaan, pada analisis spektrum, dapat dinyatakan frekuensi rendah berasal dari sumber dalam dan frekuensi tinggi berasal dari sumber dangkal. Sinyal frekuensi dibawah permukaan yang lebih dalam akan semakin homogen, hal ini disebabkan batuan yang berada semakin dalam cenderung memiliki densitas yang sama. Berbeda dengan permukaan yang lebih dangkal, sinyal frekuensi sedang hingga tinggi lebih menggambarkan lapisan yang lebih rinci dan anomali cenderung lebih bervariasi. Analisis spektrum memanfaatkan transformasi Fourier guna mengubah suatu fungsi waktu dan jarak menjadi suatu fungsi frekuensi atau bilangan gelombang (Blakely, 1995).



Gambar 19. Peta slice analisis spektrum

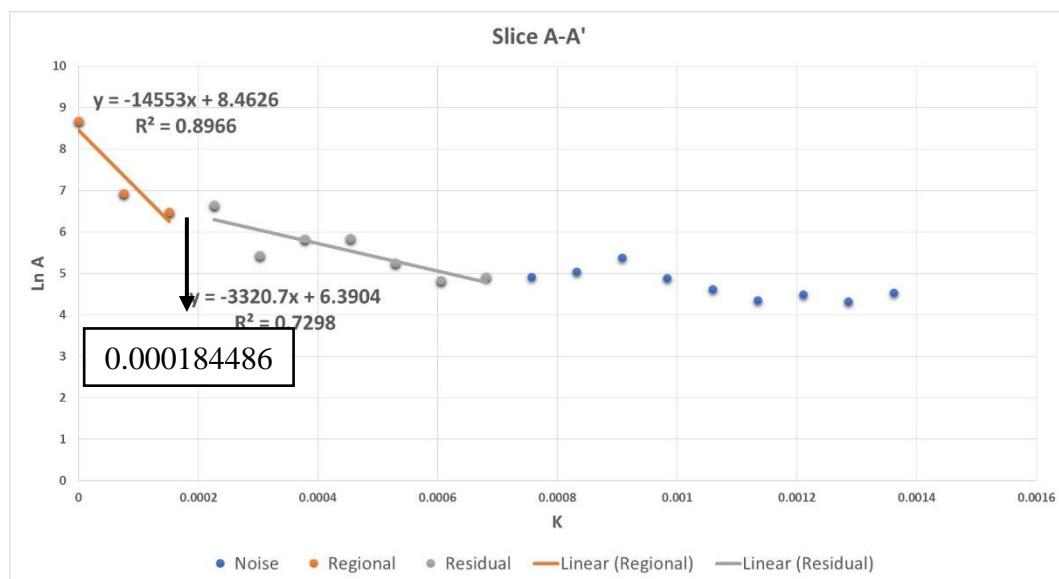
Anomali tinggi relatif berada di bagian selatan mulai dari Blitar, Malang bagian selatan, Lumajang hingga Jember, yang kemungkinan masih berhubungan oleh pengaruh pegunungan Jawa Selatan cenderung tersebar batuan dasar andesit campuran dari kerak samudra dan kerak benua pada berbagai tempat sehingga menunjukkan adanya kontras batuan yang memiliki rapat massa tinggi sedangkan anomali sedang relatif berada di bagian tengah daerah penelitian mulai dari Kediri menerus ke arah timur dan sedikit kearah selatan dan timur laut pada wilayah perbatasan Lumajang dan Jember kemungkinan berhubungan dengan batas wilayah batas cekungan pada daerah penelitian sedangkan untuk anomali rendah relatif berada di bagian paling utara yang membentang dari daerah Jombang di bagian barat-utara hingga perbatasan di Situbondo yang mana pada area tersebut terdapat cekungan Kendeng yang membentang dari tengah dari arah Barat ke Timur daerah Jawa Timur.

Anomali bouguer lengkap merupakan penjumlahan dari berbagai macam sumber dan kedalaman anomali bawah permukaan atau merupakan hasil kombinasi dari anomali yang disebabkan oleh batuan dangkal (residual) dan batuan dalam

(regional) Bouguer sehingga perlu dilakukan pemisahan antara anomali regional dan residual untuk mendapatkan anomali target. Pada penelitian ini dilakukan analisis spektrum hingga *filter moving average* untuk menghasilkan regional terbaik pada pola anomali yang kemudian akan menghasilkan pola cekungan yang lebih jelas dari data gayaberat ini atau merupakan peta anomali residual.

5.3.5.1 Slice A-A'

Gambar 20 menunjukkan hasil analisis spektrum pada *slice A-A'* yaitu dengan kedalaman anomali regional sebesar 14.55 kilometer. Sedangkan kedalaman anomali residual memiliki nilai sebesar 3.32 kilometer, bidang ini dapat diasumsikan sebagai batas antara batuan dasar (*basement*) dengan batuan sedimen. Perpotongan antara gradien pertama dan gradien kedua menunjukkan bilangan gelombang *cut-off* (*kc*) yang memiliki nilai sebesar 0.000184486. Nilai bilangan gelombang *cut-off* ini dibutuhkan sebagai dasar untuk penentuan lebar jendela.

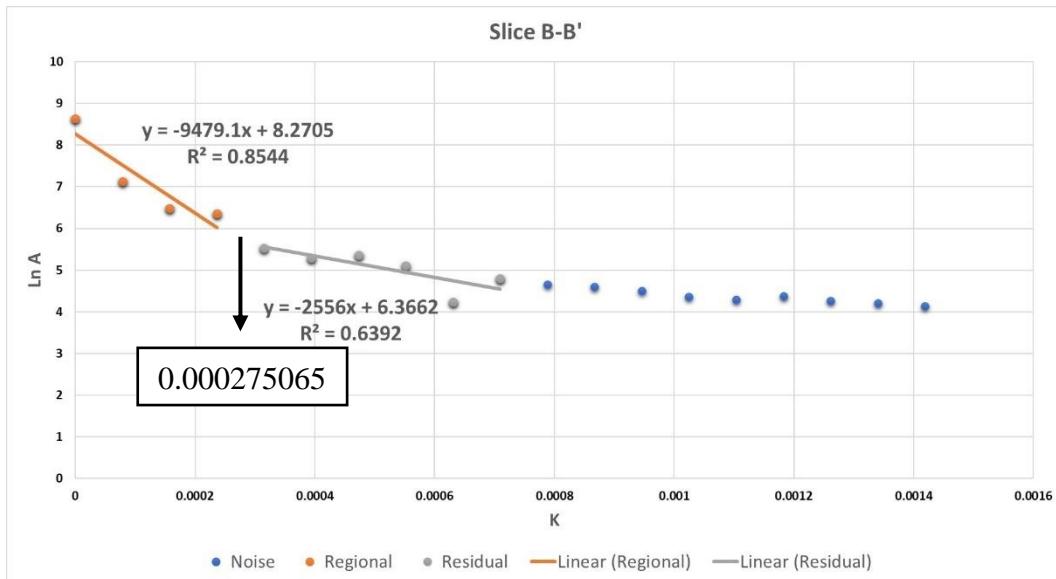


Gambar 20. Grafik $\ln A$ vs k *slice A-A'*.

5.3.5.2 Slice B-B'

Gambar 21 menunjukkan hasil analisis spektrum pada *slice B-B'* yaitu dengan kedalaman anomali regional sebesar 9.48 kilometer. Sedangkan kedalaman anomali residual memiliki nilai sebesar 2.55 kilometer, bidang ini dapat diasumsikan sebagai batas antara batuan dasar (*basement*) dengan batuan sedimen.

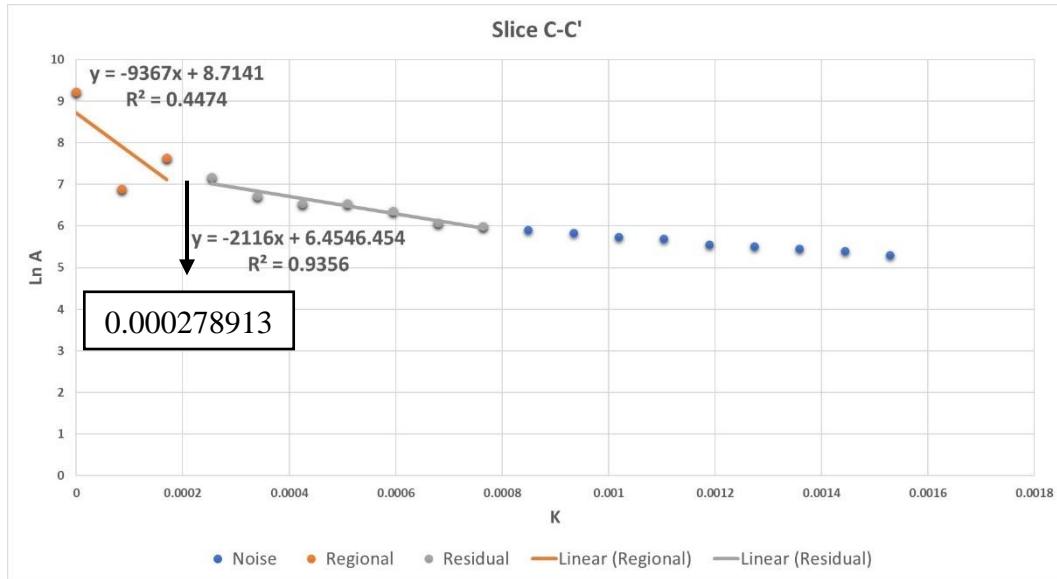
Perpotongan antara gradien pertama dan gradien kedua menunjukkan bilangan gelombang *cut-off* (kc) yang memiliki nilai sebesar 0.000275065.



Gambar 21. Grafik $\ln A$ vs k slice B-B'.

5.3.5.3 Slice C-C'

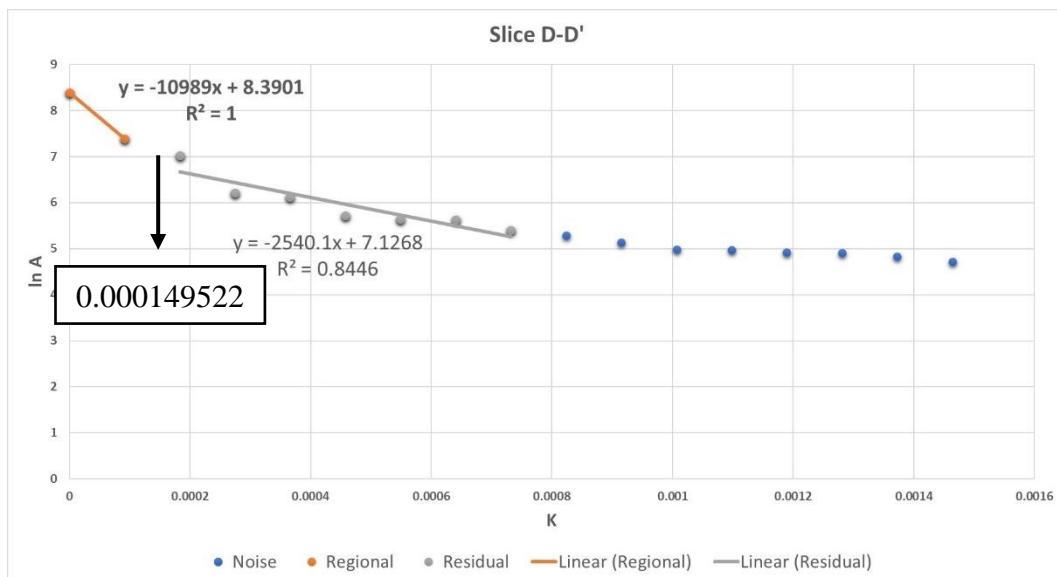
Gambar 22 menunjukkan hasil analisis spektrum pada *slice* C-C' yaitu dengan kedalaman anomali regional sebesar 9.36 kilometer. Sedangkan kedalaman anomali residual memiliki nilai sebesar 2.11 kilometer, bidang ini dapat diasumsikan sebagai batas antara batuan dasar (*basement*) dengan batuan sedimen. Perpotongan antara gradien pertama dan gradien kedua menunjukkan bilangan gelombang *cut-off* (kc) yang memiliki nilai sebesar 0.000278913.



Gambar 22. Grafik $\ln A$ vs k slice C-C'.

5.3.4.4 Slice D-D'

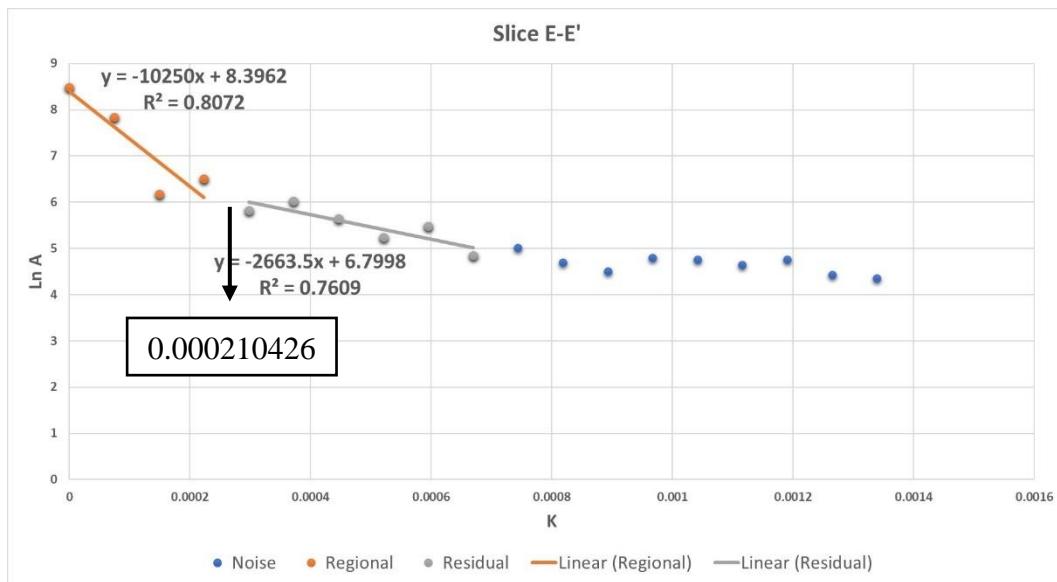
Gambar 23 menunjukkan hasil analisis spektrum pada slice D-D' yaitu dengan kedalaman anomali regional sebesar 10.99 kilometer. Sedangkan kedalaman anomali residual memiliki nilai sebesar 2.54 kilometer, bidang ini dapat diasumsikan sebagai batas antara batuan dasar (*basement*) dengan batuan sedimen. Perpotongan antara gradien pertama dan gradien kedua menunjukkan bilangan gelombang *cut-off* (kc) yang memiliki nilai sebesar 0.000149522.



Gambar 23. Grafik $\ln A$ vs k slice D-D'.

5.3.5.5 Slice E-E'

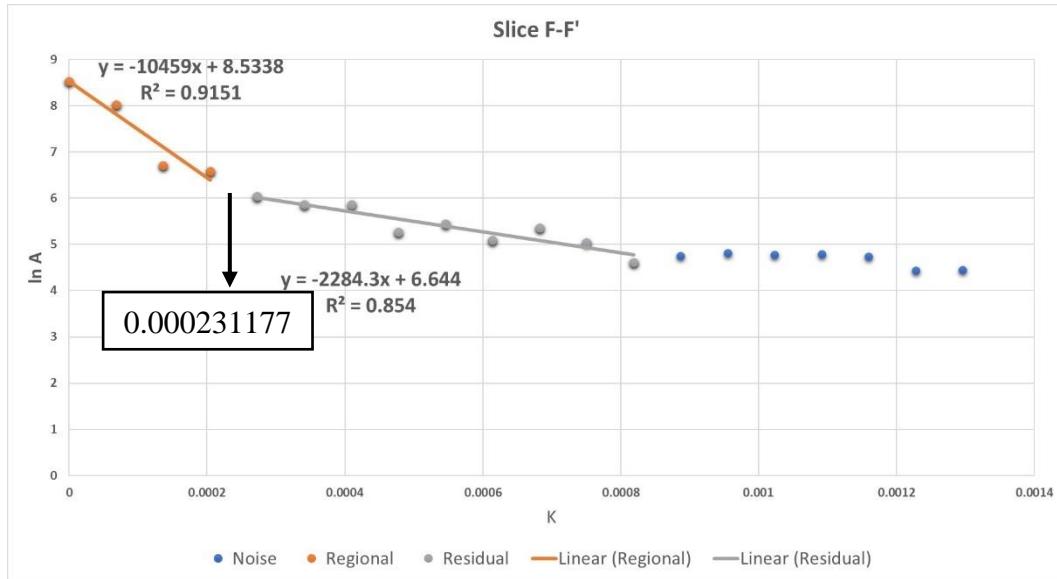
Gambar 24 menunjukkan hasil analisis spektrum pada *slice* E-E' yaitu dengan kedalaman anomali regional sebesar 10.25 kilometer. Sedangkan kedalaman anomali residual memiliki nilai sebesar 2.66 kilometer, bidang ini dapat diasumsikan sebagai batas antara batuan dasar (*basement*) dengan batuan sedimen. Perpotongan antara gradien pertama dan gradien kedua menunjukkan bilangan gelombang *cut-off* (kc) yang memiliki nilai sebesar 0.000210426.



Gambar 24. Grafik $\ln A$ vs k *slice* E-E'.

5.3.5.6 Slice F-F'

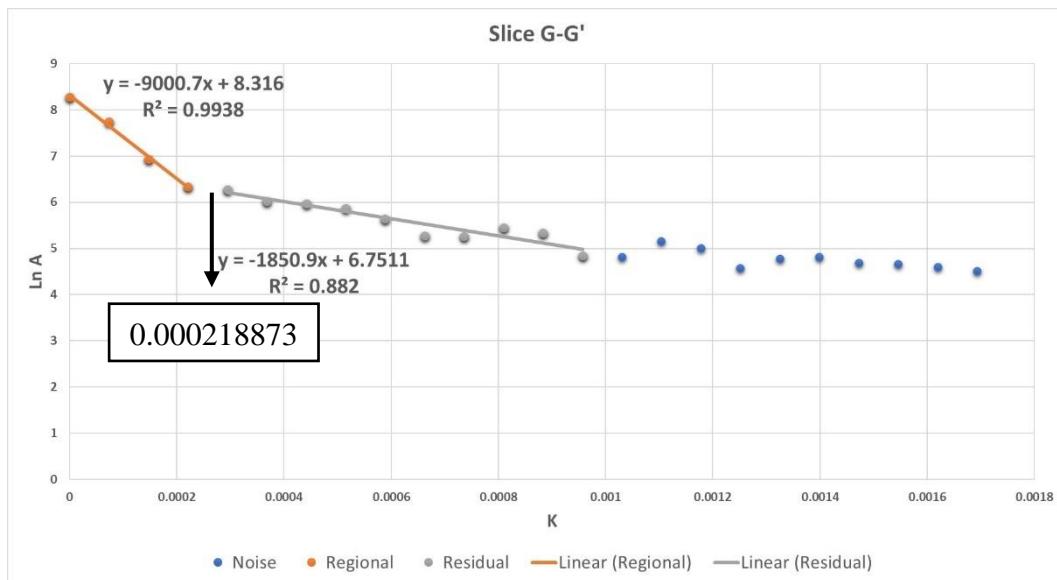
Gambar 25 menunjukkan hasil analisis spektrum pada *slice* F-F' yaitu dengan kedalaman anomali regional sebesar 10.45 kilometer. Sedangkan kedalaman anomali residual memiliki nilai sebesar 2.28 kilometer, bidang ini dapat diasumsikan sebagai batas antara batuan dasar (*basement*) dengan batuan sedimen. Perpotongan antara gradien pertama dan gradien kedua menunjukkan bilangan gelombang *cut-off* (kc) yang memiliki nilai sebesar 0.000231177.



Gambar 25. Grafik $\ln A$ vs k slice F-F'.

5.3.5.7 Slice G-G'

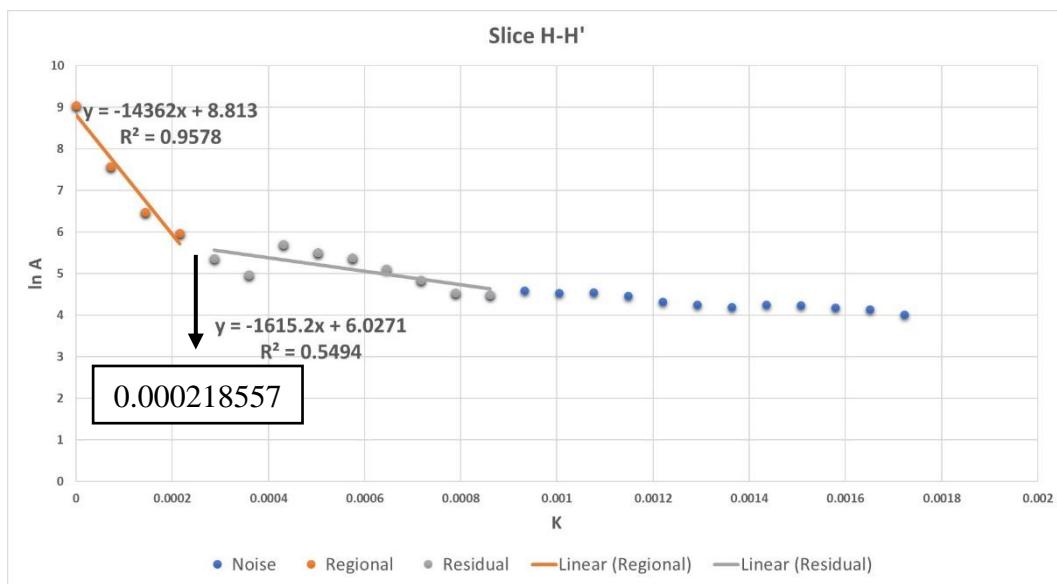
Gambar 26 menunjukkan hasil analisis spektrum pada slice G-G' yaitu dengan kedalaman anomali regional sebesar 9 kilometer. Sedangkan kedalaman anomali residual memiliki nilai sebesar 1.85 kilometer, bidang ini dapat diasumsikan sebagai batas antara batuan dasar (*basement*) dengan batuan sedimen. Perpotongan antara gradien pertama dan gradien kedua menunjukkan bilangan gelombang *cut-off* (k_c) yang memiliki nilai sebesar 0.000218873.



Gambar 26. Grafik $\ln A$ vs k slice G-G'.

5.3.5.8 Slice H-H'

Gambar 27 menunjukkan hasil analisis spektrum pada *slice* H-H' yaitu dengan kedalaman anomali regional sebesar 14.36 kilometer. Sedangkan kedalaman anomali residual memiliki nilai sebesar 2.36 kilometer, bidang ini dapat diasumsikan sebagai batas antara batuan dasar (*basement*) dengan batuan sedimen. Perpotongan antara gradien pertama dan gradien kedua menunjukkan bilangan gelombang *cut-off* (kc) yang memiliki nilai sebesar 0.000218557.



Gambar 27. Grafik $\ln A$ vs k slice H-H'.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada 8 profile *slice* menunjukkan bahwa nilai rata-rata kedalaman bidang anomali dalam (regional) adalah 10.25 km yang diinterpretasikan sebagai rata-rata kedalaman regional, sedangkan rata-rata kedalaman bidang anomali dangkal (residual) adalah 2.66 km terlihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kedalaman anomali regional dan residual tiap *slice*.

Slice	Kedalaman Regional (Km)	Kedalaman Residual (Km)
A-A'	14.55	3.32
B-B'	9.48	2.55

C-C'	9.36	2.11
D-D'	10.99	2.54
E-E'	10.25	2.66
F-F'	10.45	2.28
G-G'	9	1.85
H-H'	14.36	1.61
Rata-rata	11.05	2.36

5.3.6 Moving Average

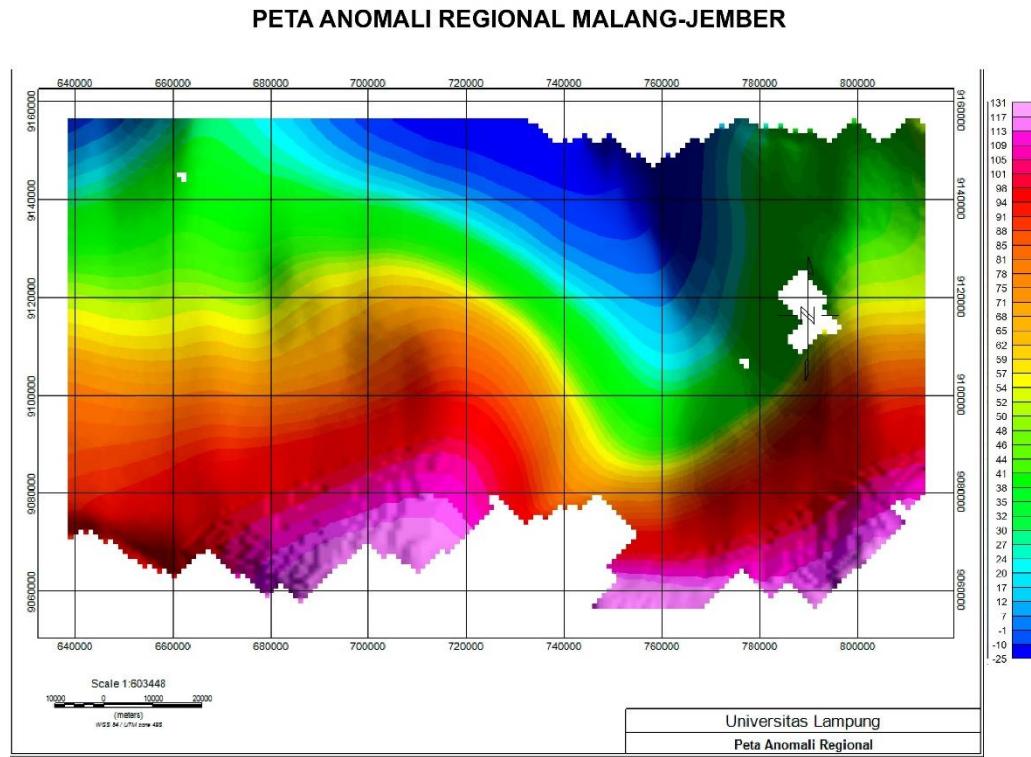
Nilai bilangan gelombang *cut-off* yang diperoleh pada tiap lintasan kemudian akan dihitung lebar jendela dengan membagi nilai lambda dengan spasi tiap lintasan yang digunakan seperti pada **Tabel 4**. Nilai lebar jendela yang diperoleh kemudian digunakan sebagai nilai untuk merata-ratakan anomali Bouguer dengan menerapkan *filter moving average* yang kemudian akan menghasilkan anomali regional. Sedangkan untuk memperoleh anomali residual dilakukan pengurangan nilai anomali Bouguer lengkap dengan nilai anomali regional (Purnomo dkk., 2013).

Tabel 4. Panjang gelombang (*cut-off*) dan lebar jendela.

Slice	Panjang Gelombang (Kc)	Lebar Jendela (N)
A-A'	0.000184486	37.71
B-B'	0.000275065	23.50
C-C'	0.000278913	45.05
D-D'	0.000149522	42.83
E-E'	0.000210426	42.05
F-F'	0.000231177	35.11
G-G'	0.000218873	32
H-H'	0.000218557	32.04
Rata-rata	0.000220877	36.29

5.3.7 Anomali Regional

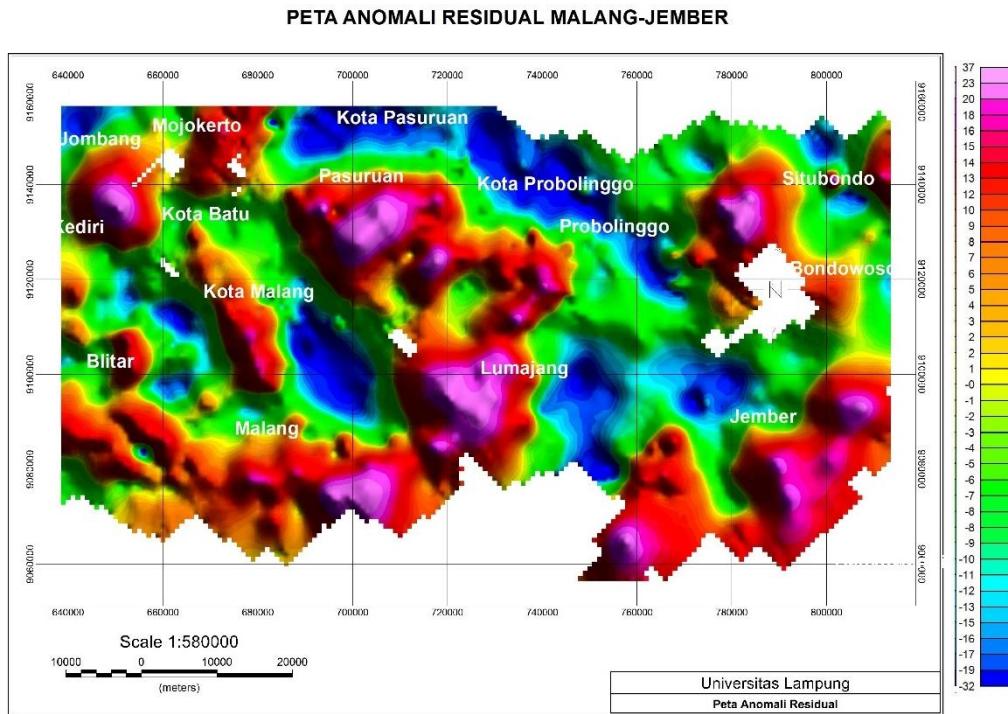
Anomali regional merupakan anomali gayaberat yang memiliki frekuensi yang rendah dan amplitudo yang tinggi (Telford dkk., 1990). Pola anomali regional cenderung memiliki pola anomali yang teratur serta panjang gelombang pada anomali regional yang relatif lebih panjang dari Anomali Bouguer Lengkap hal ini dikarenakan respon anomali regional berasal dari batuan dengan nilai densitas tinggi dan berada pada kedalaman yang jauh dari permukaan. Pola anomali regional yang ditunjukkan oleh (**Gambar 28**) memiliki rentang warna biru hingga merah muda dengan nilai anomali terendah yaitu -25 dan tertinggi adalah 131, berdasarkan hasil anomali regional tersebut dapat dikelompokkan menjadi 3 pola anomali yaitu anomali rendah dengan rentang nilai -25 hingga 35 kontras warna dari biru ke hijau muda dan anomali sedang berada di rentang nilai 36 hingga 71 dengan warna hijau tua ke warna jingga dan anomali tinggi berada di rentang nilai 72 hingga 131 dengan warna merah tua hingga merah muda. Terlihat pada peta adanya gradasi pola sebaran anomali gayaberat dari tinggi ke rendah yaitu anomali dari selatan menuju ke utara. Dengan pola anomali regional masih memiliki pola yang mirip dengan pola anomali CBA yang menandakan pada bagian selatan masih dipengaruhi oleh pegunungan Jawa Timur bagian selatan atau hasil kerak Samudra dan kerak benua pada berbagai wilayah pegunungan Jawa Selatan.



Gambar 28. Anomali regional daerah penelitian.

5.3.8 Anomali Residual

Anomali residual merupakan anomali gayaberat yang memiliki frekuensi tinggi, namun amplitudo gelombang yang pendek (Telford dkk., 1990). Pola anomali residual lebih kompleks dikarenakan menggambarkan pola anomali dengan penjang gelombang yang lebih pendek yang mencerminkan efek benda anomali yang lebih dangkal. Pada Peta residual dapat dilihat anomali rendah memiliki rentang nilai -32 hingga -6 dengan kontras warna dari biru ke hijau muda, anomali sedang berada pada rentang nilai -7 hingga 7 ditandai dengan warna hijau tua ke warna jingga dan anomali tinggi berada pada rentang nilai 8 hingga 37 ditandai dengan warna merah tua hingga merah muda (**Gambar 29**).

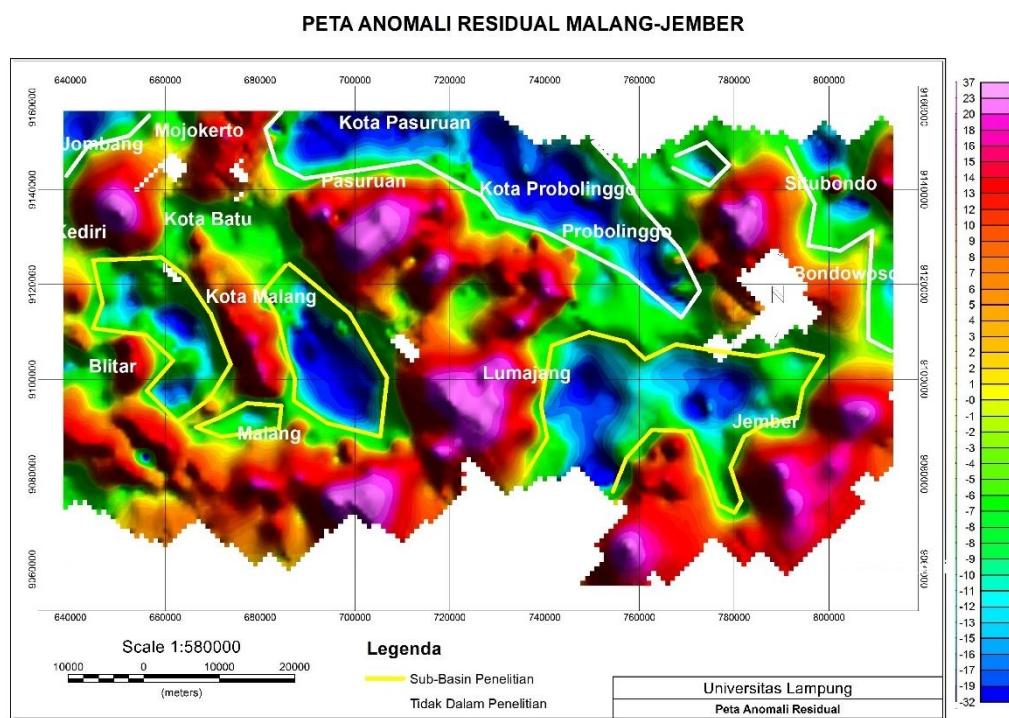


Gambar 29. Peta anomali residual daerah penelitian.

5.3.9 Interpretasi Kualitatif

Sebaran anomali pada residual dapat memperlihatkan bahwa terdapat nilai densitas rendah yang berada pada medium berdensitas tinggi yang akan menghasilkan nilai cenderung negatif sebaliknya densitas tinggi pada anomali rendah akan bernilai positif. Anomali residual tinggi (warna merah) pada peta anomali residual dapat disebabkan oleh batuan densitas tinggi atau batuan dasar (*basement*) dekat permukaan sedangkan Anomali residual rendah (warna biru) disebabkan oleh batuan sedimen yang tebal dan batuan dasar (*basement*) yang dalam (setiadi dkk., 2010). Berdasarkan analisis anomali residual dan pola ketinggian yang memisahkannya terdapat 6 sub-cekungan yang muncul dimana sub-cekungan terlihat terletak pada bagian utara mulai dari Jombang kemudian Kota Pasuruan hingga Probolinggo dan pada daerah Situbondo dibagian timur laut yang terlihat pada peta sedimen masih termasuk kedalam Cekungan Kendeng sedangkan pada Blitar-Malang terlihat terdapat 3 sub-cekungan dan pada daerah Lumajang dan Jember terdapat sub-cekungan yang diperkirakan masih dalam satu sub-cekungan yang sama.

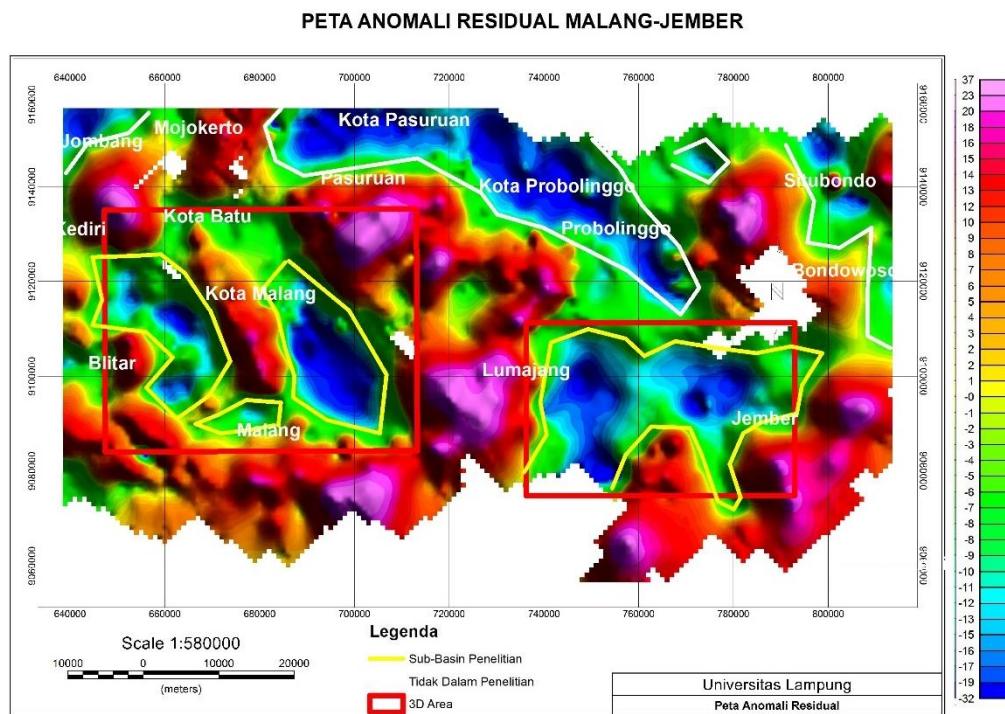
Berdasarkan peta cekungan sedimen Indonesia terbaru keberadaan sub-cekungan pada daerah Blitar hingga Malang dan Lumajang hingga Jember masih belum teridentifikasi namun keberadaan sub-cekungan ini sudah dipublikasikan oleh Badan Pusat Survei Geologi bersama dengan Pertamina EP bahwa pada bagian Malang dan Lumajang terdapat sebuah cekungan namun belum dilakukan penelitian lebih lanjut sehingga analisis volumetrik penelitian ini akan dilakukan pada sub-cekungan yang berada di Blitar hingga Malang dan Lumajang hingga Jember (**Gambar 30**).



Gambar 30. Peta sub-cekungan dari anomali residual daerah penelitian.

5.3.10 Analisis Volumetrik

Model 3D data gayaberat dibuat dengan menggunakan peta anomali residual. Untuk mengurangi beban komputasi, maka model 3D yang dibuat dibagi menjadi 2 bagian yaitu wilayah 3D Area Blitar-Malang dan wilayah 3D Area Lumajang-Jember seperti yang terlihat pada **Gambar 31**.

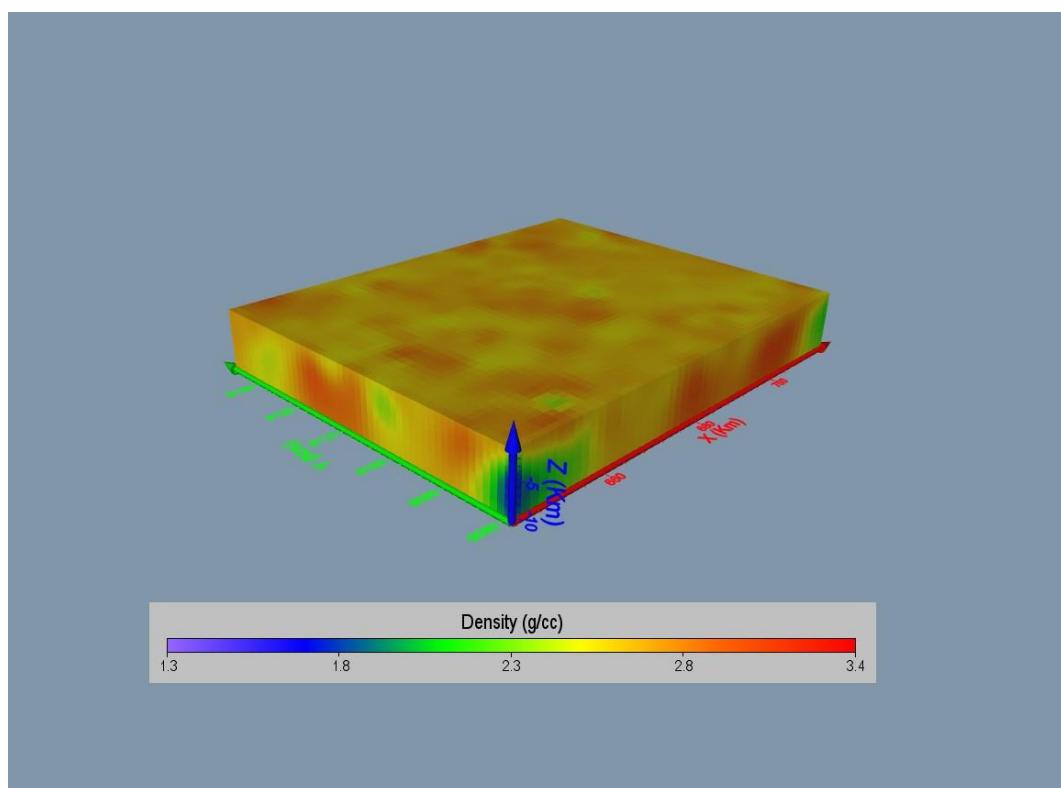


Gambar 31. Peta wilayah sub-cekungan.

Analisis Volumetrik yang akan dilakukan perhitungan adalah wilayah formasi geologi pada akuifer air garam dalam, biasanya berupa batupasir (Al-Khdheeawi dkk., 2021). Sehingga perhitungan volume menggunakan rentang densitas yang ada pada batupasir yaitu 1.61-2.76 g/cc. Menurut Bentham dan Kirby (2005) dalam Ali dkk., (2022) kedalaman minimum yang digunakan agar CO₂ berada dalam *supercritical condition* yaitu sekitar 800 meter dibawah permukaan. Sehingga perhitungan volume batupasir pada rentang densitas 1.61-2.76 g/cc dimulai saat kedalaman 800 meter. Perhitungan volume CO₂ yang dapat ditampung di sub-cekungan tiap wilayah diperoleh dengan pengurangan nilai volume dari “*Volume <= isovalue*” yang diperoleh saat nilai isovalue 2.76 g/cc dengan nilai volume dari “*Volume <= isovalue*” yang diperoleh saat nilai isovalue 1.61 g/cc

5.3.10.1 Volume Awal Model Inversi 3D Wilayah Sub-cekungan Blitar-Malang

Hasil inversi yang diperoleh memiliki data RMS sebesar 0.014 dan model RMS sebesar 0.025 serta *Lagrange* sebesar 1. Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan diperoleh rentang nilai sebaran densitas mulai dari 1.3 g/cc sampai dengan 3.4 g/cc (**Gambar 32**), yang terbagi menjadi 3 bagian yaitu bagian anomali rendah pada rentang 1.3 gr/cc sampai dengan 1.9 g/cc yang ditunjukkan oleh warna ungu sampai 57 dengan warna biru, anomali sedang pada rentang 2.0 g/cc sampai dengan 2.9 g/cc yang ditunjukkan oleh warna hijau hingga jingga, dan anomali tinggi pada rentang 3.0 g/cc hingga 3.4 g/cc.



Gambar 32. Model inversi 3D sub-cekungan wilayah Blitar-Malang.

Nilai *isovalue* saat 2.71 g/cc adalah sebesar 33.007 km³ dan volume yang diperoleh saat nilai *isovalue* 1.61 g/cc adalah sebesar 0.26 km³. Maka total volume batupasir di sub-cekungan wilayah Blitar hingga Malang adalah sebesar 32.747 km³.

Isosurface (id:5)	
Input	Gridder
Input compo...	Component-1
Isovalue	2.76
Compute vol...	<input checked="" type="checkbox"/>
Volume >= i...	8606.27012
Volume <= i...	33007.76694

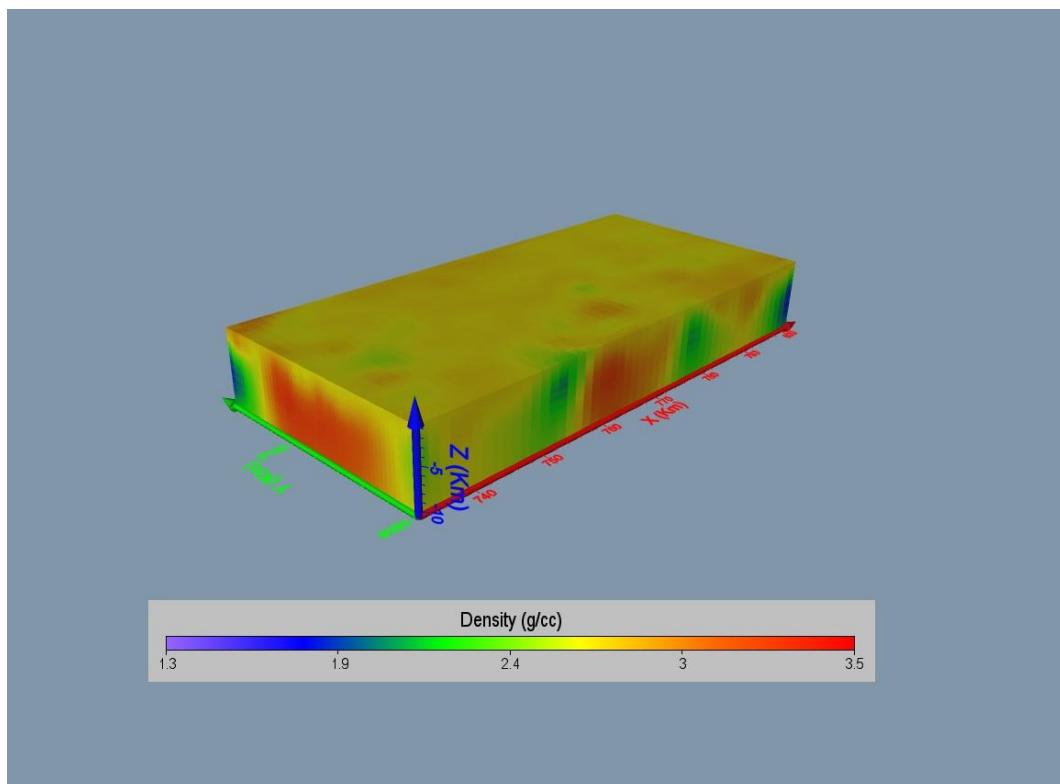
Gambar 33. Nilai volume dari “volume \leq isovalue” saat nilai isovalue 2,76 g/cc pada sub-cekungan wilayah Blitar-Malang.

Isosurface (id:5)	
Input	Gridder
Input compo...	Component-1
Isovalue	1.61
Compute vol...	<input checked="" type="checkbox"/>
Volume >= i...	41613.77362
Volume <= i...	0.2634377176

Gambar 34. Nilai volume dari “volume \leq isovalue” saat nilai isovalue 1,61 g/cc pada sub-cekungan wilayah Blitar-Malang.

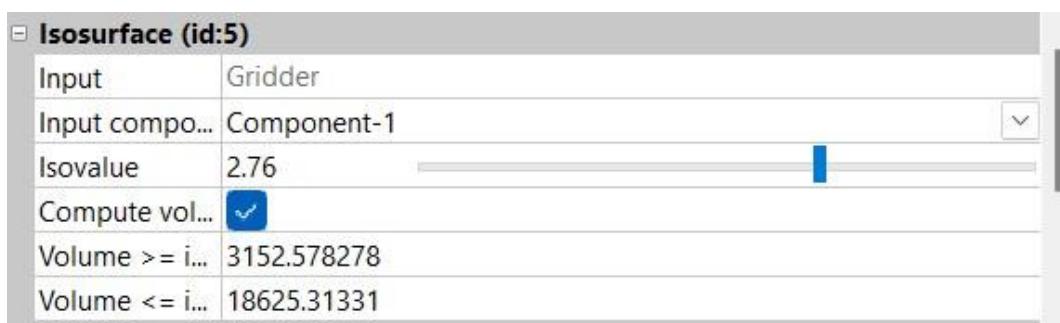
5.3.10.2 Volume Awal Model Inversi 3D Wilayah Sub-cekungan Lumajang-Jember

Hasil inversi yang diperoleh memiliki data RMS sebesar 0.021 dan model RMS sebesar 0.024 serta *Lagrange* sebesar 1. Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan diperoleh rentang nilai sebaran densitas mulai dari 1.3 g/cc sampai dengan 3.4 g/cc (**Gambar 35**), yang terbagi menjadi 3 bagian yaitu bagian anomali rendah pada rentang 1.3 gr/cc sampai dengan 1.9 g/cc yang ditunjukkan oleh warna ungu sampai 57 dengan warna biru, anomali sedang pada rentang 2.0 g/cc sampai dengan 2.9 g/cc yang ditunjukkan oleh warna hijau hingga jingga, dan anomali tinggi pada rentang 3.0 g/cc hingga 3.4 g/cc.

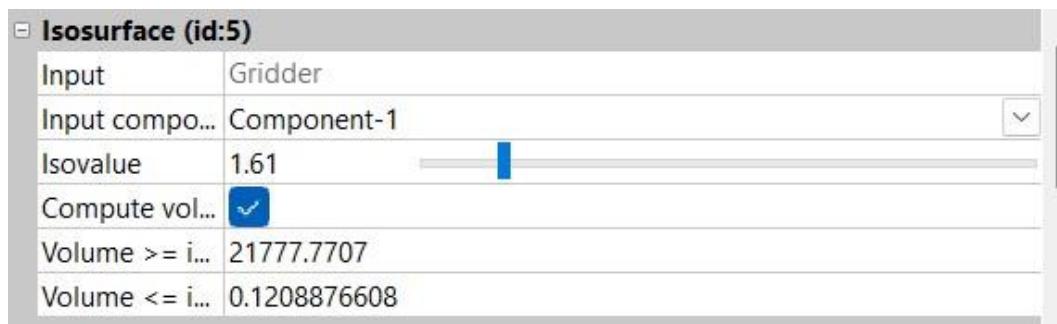


Gambar 35. Model inversi 3D sub-cekungan wilayah Lumajang-Jember.

Nilai *isovalue* saat 2.71 g/cc adalah sebesar 18.625 km^3 dan volume yang diperoleh saat nilai *isovalue* 1.61 g/cc adalah sebesar 0.12 km^3 . Maka total volume batupasir di sub-cekungan wilayah Lumajang hingga Jember adalah sebesar 18.505 km^3 .



Gambar 36. Nilai volume dari “volume $\leq \text{isovalue}$ ” saat nilai *isovalue* 2,76 g/cc pada sub-cekungan wilayah Lumajang-Jember.



Gambar 37. Nilai volume dari “volume $\leq isovalue$ ” saat nilai $isovalue$ 1,61 g/cc pada sub-cekungan wilayah Lumajang-Jember.

VI. PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Di instansi Pusat Survei Geologi, pekerjaan geologis dilakukan dalam bentuk tim yang kolaboratif. Penulis berkesempatan untuk mengambil peran dalam upaya mengatasi emisi CO₂ di Indonesia khususnya pulau Jawa dalam lingkup geofisika. Lingkungan kerja berbasis tim mencerminkan pentingnya kerjasama dan koordinasi antar ahli geologi untuk mencapai tujuan dalam pekerjaan yang dilakukan.
2. Kegiatan kerja praktik ini berada pada naungan Tim Sumber Daya Minyak dan Gas Bumi yang dibimbing oleh Bapak Dr. Andy Setyo Wibowo, S.T., M.T., untuk ikut dalam bagian dalam upaya mengatasi emisi CO₂ di Indonesia khususnya pulau Jawa dalam lingkup geofisika.
3. Hasil Pemodelan 3D data anomali residual di sub-cekungan Jawa Timur bagian Selatan yang dibagia menjadi 2 wilayah yaitu wilayah sub-cekungan Blitar hingga Malang dan wilayah sub-cekungan Lumajang hingga Jember yang memperlihatkan keberadaan batupasir dengan densitas 1.61-2.67g/cc.
4. Volume awal formasi geologi (*deep saline aquifer*) potensial sebagai CO₂ storage di sub-cekungan Blitar hingga Malang adalah sebesar 32.747 km³ dan wilayah sub-cekungan Lumajang hingga Jember adalah sebesar 18.505 km³.

6.2 Saran

Penelitian yang dilakukan masih estimasi awal dimana penulis mengansumsikan bahwa batuan sedimen di seluruh wilayah sub-cekungan Jawa Timur bagian Selatan merupakan akuifer garam dalam (*deep saline aquifer*). Penulis menyarankan agar perlu dilakukan validasi menggunakan data-data pendukung seperti data sumur, data lab atau data seismik serta penelitian lebih lanjut terkait penyimpanan akuifer garam dalam (*deep saline aquifer*) di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisaputro, D., dan Saputra, B. (2017). Carbon capture and storage and carbon capture and utilization: What do they offer to Indonesia? *Frontiers in Energy Research*, 5(6), 1–4. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2017.00006>
- Ali, M. (2022). Effect of Organic Surface Concentration on CO₂-Wettability of Reservoir Rock. *Earth-Science Reviews*, 225(103895), 1–27.
- Ali, M., Jha, N. K., Pal, N., Keshavarz, A., Hoteit, H., dan Sarmadivaleh, M. (2022). Recent advances in carbon dioxide geological storage, experimental procedures, influencing parameters, and future outlook. Dalam *Earth-Science Reviews* (Vol. 225). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103895>
- Al-Khdheeawi, E. A., Mahdi, D. S. M., Ali, M., Iglauer, S., dan Barifcani, A. (2021). Reservoir Scale Porosity-Permeability Evolution in Sandstone Due to CO₂ Geological Storage. *15th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, 1–9. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3818887>
- Al-Rubaye, A., Al-Yaseri, A., Ali, M., dan Ben Mahmud, H. (2021). Characterization and analysis of naturally fractured gas reservoirs based on stimulated reservoir volume and petro-physical parameters. *Journal of Petroleum Exploration and Production*, 11(2), 639–649. <https://doi.org/10.1007/s13202-020-01081-2>
- Andari, W., Karyanto, K., dan Kurniawan, R. (2020). 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. <https://doi.org/10.23960/jge.v5i1.23>.
- Bentham, M., dan Kirby, G.A. (2005). CO₂ Storage in Saline Aquifers. *Oil & Gas Science and Technology-revue De L Institut Francais Du Petrole*, 60, 559-567.
- Bachu, S. (2003). Screening and ranking of sedimentary basins for sequestration of CO₂ in geological media in response to climate change. *Environmental Geology*, 44(3), 277–289. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0762-9>
- Bachu, S. (2015). Review of CO₂ storage efficiency in deep saline aquifers. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 40, 188–202. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.01.007>
- Bachu, S., dan Adams, J. J. (2003). Sequestration of CO₂ in geological media in response to climate change: Capacity of deep saline aquifers to sequester CO₂ in solution. *Energy Conversion and Management*, 44(20), 3151–3175. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00101-8)
- Bachu, S., Bonijoly, D., Bradshaw, J., Burruss, R., Holloway, S., Christensen, N. P., dan Mathiassen, O. M. (2007). CO₂ storage capacity estimation: Methodology and gaps. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 1(4), 430–443. [https://doi.org/10.1016/S1750-5836\(07\)00086-2](https://doi.org/10.1016/S1750-5836(07)00086-2)
- Becattini, V., Gabrielli, P., dan Mazzotti, M. (2021). Role of carbon capture, storage, and utilization to enable a Net-Zero-CO₂-emissions aviation sector. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 60(18), 6848–6862. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c05392>
- Blakely, R. (1995). *Potential Theory in Gravity and Magnetism Application*. Cambridge University Press.
- Bradshaw, J., Bachu, S., Bonijoly, D., Burruss, R., Holloway, S., Christensen, N. P., dan Mathiassen, O. M. (2007). CO₂ storage capacity estimation: Issues and development of standards. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 1(1), 62–68. [https://doi.org/10.1016/S1750-5836\(07\)00027-8](https://doi.org/10.1016/S1750-5836(07)00027-8)

- Chu, S., dan Majumdar, A. (2012). Opportunities and challenges for a sustainable energy future. *Nature*, 488(7411), 294–303. <https://doi.org/10.1038/nature11475>
- Dewan Energi Nasional. (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Gislason, S. R., dan Oelkers, E. H. (2014). Carbon storage in basalt. *Science*, 344(6182), 373–374. <https://doi.org/10.1126/science.1250828>
- Gíslason, S. R., Sigurdardóttir, H., Aradóttir, E. S., dan Oelkers, E. H. (2018). A brief history of CarbFix: Challenges and victories of the project's pilot phase. *Energy Procedia*, 146, 103–114. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.014>
- Gislason, S. R., Wolff-Boenisch, D., Stefansson, A., Oelkers, E. H., Gunnlaugsson, E., Sigurdardottir, H., Sigfusson, B., Broecker, W. S., Matter, J. M., Stute, M., Axelsson, G., dan Fridriksson, T. (2010). Mineral sequestration of carbon dioxide in basalt: A pre-injection overview of the CarbFix project. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 4(3), 537–545. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2009.11.013>
- Grandis, H. (2009). Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia. Jakarta.
- Gunter, W. D., Bachu, S., dan Benson, S. (2004). The role of hydrogeological and geochemical trapping in sedimentary basins for secure geological storage of carbon dioxide. *Geological Society, London, Special Publications*, 233, 129–145.
- Husein, S., dan Srijono. (2007). Tinjauan Geomorfologi Pegunungan Selatan DIY/Jawa Tengah: telaah peran faktor endogenik dan eksogenik dalam proses pembentukan pegunungan. Dalam Seminar Potensi Geologi Pegunungan Selatan dalam Pengembangan Wilayah, Pusat Survei Geologi, Yogyakarta, 27-28 November 2007. 10 pp.
- IEA. (2021). *Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector*. www.iea.org/tdanc/

- IEA. (2022). *An Energy Sector Roadmap to Net Zero Emissions in Indonesia*.
www.iea.org/tdanc/
- IPCC. (2005). *Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge University Press.
- KESDM. 2009. Carbon Capture and Storage (5) : Sistem Penyimpanan CO2.
<https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/carbon-capture-and-storage-5-sistem-penyimpanan-co2>. Diakses pada tanggal 20 Desember 2023
- Kemen-ESDM. (2023). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor : 2 / Permen ESDM. 219 / 2023 tentang Penyelenggaraan Penangkapan dan Penyimpanan Karbon, serta Penangkapan, Pemanfaatan dan Penyimpanan Karbon Pada Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi*.
www.peraturan.go.id
- Matter, J. M., dan Kelemen, P. B. (2009). Permanent storage of carbon dioxide in geological reservoirs by mineral carbonation. *Nature Geoscience*, 2(12), 837–841. <https://doi.org/10.1038/ngeo683>
- Matter, J. M., Stute, M., Snæbjörnsdóttir, S., Oelkers, E. H., Gislason, S. R., Aradóttir, E. S., Sigfusson, B., Gunnarsson, I., Sigurdardóttir, H., Gunnlaugsson, E., Axelsson, G., Alfredsson, H. A., Wolff-Boenisch, D., Mesfin, K., Taya, D. F. D. L. R., Hall, J., Dideriksen, K., dan Broecker, W. S. (2016). Rapid carbon mineralization for permanent disposal of anthropogenic carbon dioxide emissions. *Science*, 352(6291), 1312–1314. <https://doi.org/10.1126/science.aad8132>
- Menke, W. (1984). *Geophysical Data Analysis Discrete Inverse Theory*. Academic Press.
- Nishijima, J., dan Naritomi, K. (2017). Interpretation of gravity data to delineate underground structure in the Beppu geothermal field, central Kyushu, Japan. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 11, 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.022>.

- Pannekoek, A.J. (1949) Outline of the Geomorphology of Java. Reprint from *Tijdschrift van Het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, vol. LXVI part 3, E.J. Brill, Leiden, pp. 270-325
- Purnomo, J., Koesuma, S., dan Yunianto, M., 2013. Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravity Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 3(1): 10-20
- Prasetyadi, C., Subandrio, A., Rachman, M.G., Barizi, A.R.F. and Putro, G.S. (2021) Potensi Sistem Perminyakan Batuan Subvulkanik di Daerah Malang Selatan, Jawa Timur, Indonesia. *Open Journal of Yangtze Gas and Oil*, 6, 146-160. <https://doi.org/10.4236/ojogas.2021.64013>
- Rahmah, H. M., dan Wahyudi. (2014). Pembentukan Karakter Melalui Aplikasi Sains (Pemodelan 3D Anomali Gravitasi Magma Gunungapi Merapi Dengan Software Grablox, Bloxer dan Rockwork). *Prosiding Seminar Nasional*, 01(1), 107–115.
- Rasimeng, S., Tarigan, J. L., Ferucha, I., dan Robbani, M. A. (2020). Identification of geothermal reservoir based on 3d modeling of data anomaly magnetic residual reduction to pole in the region of geothermal prospect Villamasin East Oku. *SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2020-October*, 3407–3411. <https://doi.org/10.1190/segam2020-3412730.1>
- Reynold, J. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley and Sons Ltd.
- Santoso, D., Wahyudi, E. J., Alawiyah, S., dan Sule, R. (2018). An application of gravity method to estimate a storage capacity of Ngrayong Formation for Carbon Capture and Storage (CCS) Pilot Project of Gundih Field, East Java, Indonesia. *14th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, 1–8. <https://www.researchgate.net/publication/333582152>
- Sari, I. P. (2012). *Universitas Indonesia Studi Komparasi Metode Filtering Untuk Pemisahan Anomali Regional dan Residual dari Data Anomali Bouguer*. Universitas Indonesia.

- Sarkowi, M. (2014). *Eksplorasi Gaya Berat*. Graha Ilmu.
- Setiadi, I., dan T. B. Nainggolan. "Gravity Data Analysis Based on Optimum Upward Continuation Filter and 3D Inverse Modelling (Case Study at Sedimentary Basin in Volcanic Region Malang and Its Surrounding Area, East Java)." *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 873, no. 1, p. 012008. IOP Publishing, 2021.
- 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.
- Shahbazi, A., dan Rezaei Nasab, B. (2016). Carbon Capture and Storage (CCS) and its Impacts on Climate Change and Global Warming. *Journal of Petroleum dan Environmental Biotechnology*, 7(4), 1–9. <https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000291>
- Sheriff, R. E. (2001). *Encyclopedic dictionary of applied geophysics*. Society of Exploration Geophysicists.
- Shi, J. Q., dan Durucan, S. (2005). CO₂ Storage in Deep Unminable Coal Seams CO₂ Storage in Deep Unminable Coal Seams. *Oil dan Gas Science and Technology-Rev. IFP*, 60(3), 547–558. <https://doi.org/10.2516/ogst:2005037>.
- Sjarifudin, M.Z., dan Hamidi, S., 1992, Peta Geologi Lembar Blitar, Jawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics* (Second Edition). Cambridge University Press.
- Tomić, L., Karović Maričić, V., Danilović, D., dan Crnogorac, M. (2018). Criteria For Co₂ Storage In Geological Formations. *Podzemni Radovi*, 32, 61–74.
- Van Bemmelen, R. W. (1949). General Geology of Indonesia and adjacent archipelagoes. *The geology of Indonesia*.

Xu, L., Yu, G., He, N., Wang, Q., Gao, Y., Wen, D., Li, S., Niu, S., dan Ge, J. (2018). Carbon storage in China's terrestrial ecosystems: A synthesis. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20764-9>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Form Nilai Akhir Praktik

NILAI AKHIR KERJA PRAKTIK

Nama Mahasiswa : Jeremia Kelvin Sihotang

NPM : 2015051002

Judul Kerja Praktik : Aplikasi Metode Gayaberat Untuk Estimasi Awal Volume
Penyimpanan CO₂ Di Sub-Cekungan Jawa Timur Bagian
Selatan

Tempat Kerja Praktik : Pusat Survei Geologi (PSG)

Tanggal Kerja Praktik : 14 November 2023 – 14 Desember 2023

No	Komponen	%	Nilai	NA
1	Kehadiran	30%	85	25.50
2	Penguasaan Materi	15%	75	11.25
3	Keterampilan Teknis	15%	85	12.75
4	Interpersonal	15%	75	11.25
5	Laporan	25%	70	17.50
	Total	100%	390	78.25

Keterangan: Nilai berbentuk angka dari 0 – 100, NA = % × Nilai Total adalah jumlah penilaian dari komponen 1 – 5.

Rabu, 31 Januari 2023

Pembimbing Lapangan

(Dr. Andy Setyo Wibowo S.T., M.T.)

Lampiran 2. Pengiriman draft laporan

The image consists of three vertically stacked screenshots of WhatsApp conversations, each showing a message from a user to another person. In all three cases, the user sends a PDF file and receives a response thanking them for the document.

Screenshot 1 (Top): A message from 'Pak Sandri' to 'ok lanut'. The message contains a PDF file titled '2015051002_Jeremia K Sihotang Lapor...' (3.6 MB, Microsoft Edge PDF Document). The response message reads: 'Selamat Siang pak Sandri izin saya Jeremia Kelvin Sihotang dengan npn 2015051002 izin mengonfirmasi bahwa saya akan segera mendaftar untuk Seminar kerja praktik dan izin pak mengirimkan hasil revisi akhir laporan kerja praktik terimakasih pak atas bimbingannya⚠' at 12:04 PM.

Screenshot 2 (Middle): A message from 'Dosen Pembimbing Bpk Suharno' to 'ok lanut'. The message contains a PDF file titled '2015051002_Jeremia K Sihotang_Lapor...' (3.6 MB, Microsoft Edge PDF Document). The response message reads: 'Selamat pagi prof izin mengonfirmasi hasil pp yang telah saya perbaiki terimakasih atas bimbingannya prof⚠' at 12:09 AM. Below it, another message from 'ok lanut' says 'baik pak segera saya daftar terimakasih' at 12:16 PM.

Screenshot 3 (Bottom): A message from 'Alimuddin Muchtar' to 'ok'. The message contains a PDF file titled '2015051002_Jeremia K Sihotang_Lapor...' (3.6 MB, Microsoft Edge PDF Document). The response message reads: 'Selamat siang pak izin saya Jeremia Kelvin Sihotang dengan npn 2015051002 izin konfirmasi pak berasal benar dan berminat pengujian untuk seminar Kerja Praktik saya dan tahn pak mengirimkan draft laporan Kerja Praktik saya di Pusat Survei Geologi, terimakasih⚠' at 12:56 PM. Below it, another message from 'ok' says 'makash banyak pak' at 12:56 PM.

Lampiran 3. Buku Kuning

Tabel 3. ABSENSI SEBAGAI PESERTA SEMINAR SKRIPSI

SEMINAR USUL			SEMINAR HASIL		
No	NAMA / JUDUL	TGL & PARAF	No	NAMA / JUDUL	TGL & PARAF
1 Xp	Analisis nilai dan karakteristik faktor-faktor datar core dan posisi transaksi modal di dalam industri PT - D Cemara Tbk	1/9/2023 Paraf	1	Identifikasi struktur struktural tolak denda sebagai alat penyalahgunaan	1/9/2023 Paraf
2	Ketepatan posisi aktiva dalam pengujian metod GPF dan akurasi perbedaan	1/9/2023 Paraf	2	Pengembangan model klasifikasi soal manajemen untuk spesifikasi kriteria tertentu	1/9/2023 Paraf
3	Rencana pengembangan manajemen analisa metrik berbasis dan rencana pengembangan model manajemen	1/9/2023 Paraf	3	Identifikasi kriteria analisis pengujian operasi akurasi jumlah uang dalam	1/9/2023 Paraf
4	Analisis data pendek menggunakan teknik ANOVA untuk mengetahui kendala barang produksi dan variabilitas	1/9/2023 Paraf	4	Klasifikasi model pendek menggunakan teknik klasifikasi perbandingan antara produk dengan teknik analisis uji	1/9/2023 Paraf
5 Xp	Projek pengembangan kunci kunci senyawa lava th. 2023	21/9/2023 Paraf	5	Pengembangan kunci kunci senyawa perbandingan antara produk dengan teknik analisis uji	21/9/2023 Paraf
6	Analisis perbandingan kunci kunci senyawa menggunakan teknik perbandingan OEP	1/9/2023 Paraf	6	Pengembangan model klasifikasi berdasarkan kriteria tertentu	1/9/2023 Paraf
7 Xp	Analisis perbandingan kunci kunci senyawa menggunakan teknik perbandingan OEP dengan teknik analisis uji	20/9/2023 Paraf	7	Pengembangan model klasifikasi berdasarkan kriteria tertentu	20/9/2023 Paraf
8	Analisis klasifikasi menggunakan teknik perbandingan kunci kunci senyawa dengan teknik analisis uji	1/9/2023 Paraf	8	Analisis klasifikasi menggunakan teknik perbandingan kunci kunci senyawa dengan teknik analisis uji	1/9/2023 Paraf
9	Projek pengembangan kunci kunci senyawa dengan teknik analisis uji	1/9/2023 Paraf	9	Pengembangan model klasifikasi berdasarkan kriteria tertentu	1/9/2023 Paraf

10	Wewenang Ahli D-40 dan Standart anuas berdasarkan duta keratikn PT. Kembang Jaya	1/11/23	1	Pengembangan Produk baru menggunakan per mekanisme kelompok data keratikn pada seminar dosen diktipteknologi surabaya
11	Kemajuan Sanggar dengan kerjasama paha Klear Store pada seminar yang diadakan april 2023	✓		
12	Model pengajaran biasa atau guru Untuk Siswa	Mujiyo Mujiyo	2	Penerapan metode guru dominan diktipteknologi surabaya
13	Model pengajaran PTK dan model kognitif pada pembelajaran diktipteknologi surabaya	✓		
14	Kembangkan Model Baru Respon SMA Data Guru Untuk Diktipteknologi Surabaya	✓		
15	Seminar Luring Kerjasama Edutec dan Pengembangan model diktiktipteknologi Surabaya	✓		

*Form ini dapat diperbanyak pada kertas terpisah

Bandar Lampung,
PJ Seminar Jurusan TG,

NIP.

CATATAN :

Mahasiswa dapat melaksanakan Seminar Proposal jika telah menghadiri sekurang-kurangnya 25 kali (Angkatan 2020) & 50 kali (Angkatan 2021 dan setelahnya) Seminar Proposal Mahasiswa Lain.

Mahasiswa dapat melaksanakan Seminar Hasil jika telah menghadiri sekurang-kurangnya 25 kali (Angkatan 2020) & 50 kali (Angkatan 2021 dan setelahnya) Seminar Hasil Mahasiswa Lain.

Lampiran 4. Lembar Pengesahan

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Laporan : Aplikasi Metode Gayaberat Untuk Estimasi Awal
Volume Penyimpanan CO₂ Di Sub-Cekungan
Jawa Timur Bagian Selatan

Nama : Jeremia Kelvin Sihotang

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015051002

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

Tempat : Pusat Survei Geologi (PSG)

Waktu Pelaksanaan : November – Desember 2023

Pembimbing Lapangan : Dr. Andy Setyo Wibowo, S.T., M.T.

Pengujii Kerja Praktik : Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.

Bandar Lampung, 22 Januari 2024

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1



Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU.
NIP 196271071987031002

Dosen Pembimbing 2



Sandri Erfani, M.Eng.
NIP 198902152019031016

Ketua Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung



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