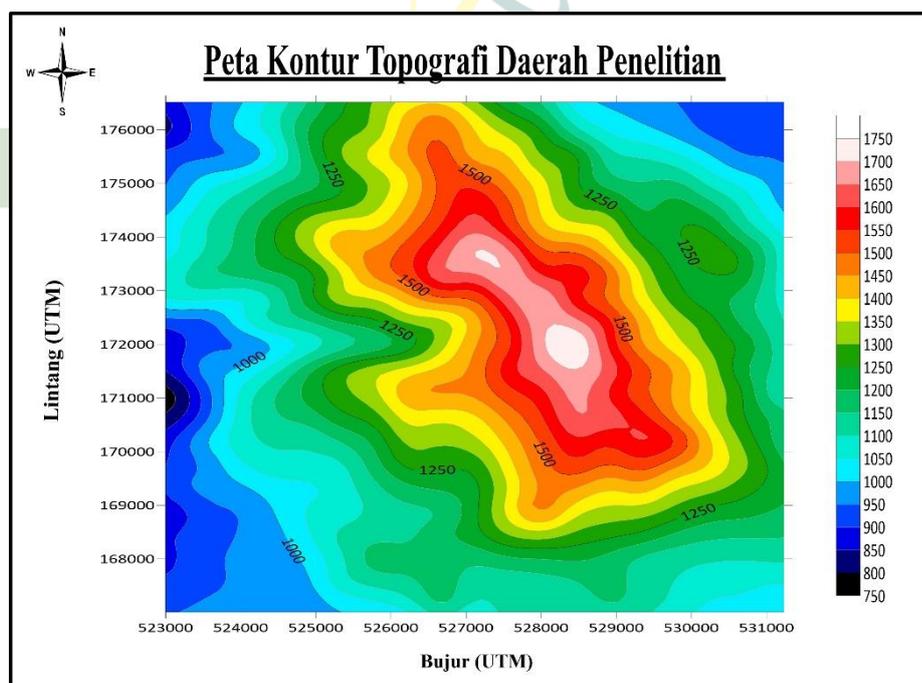


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Anomali Bouguer Lengkap

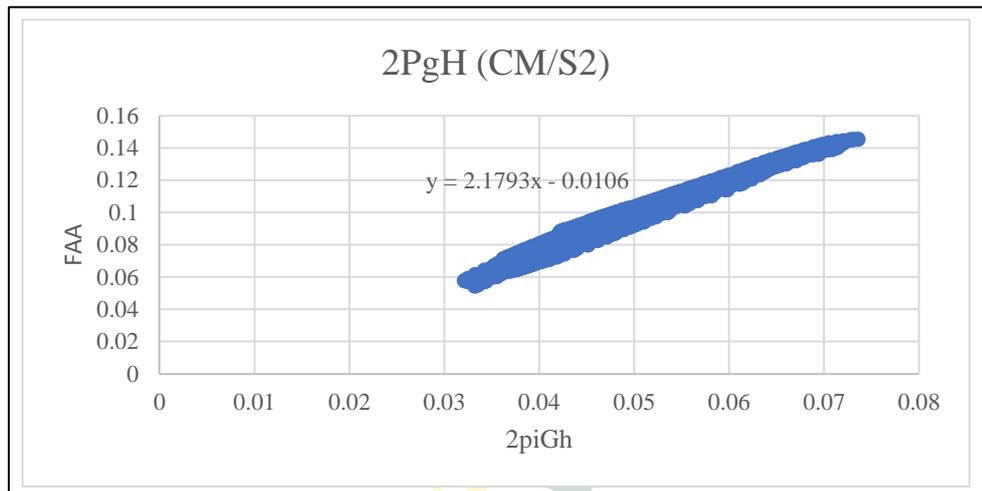
Pada penelitian kali ini data yang diperoleh merupakan data gravitasi. Dimana data ini diambil dari data model GGMplus yang terdiri dari nilai *free air anomaly* (FAA) beserta nilai topografinya. Data yang digunakan sebanyak 1.672 titik pada koordinat 522999 – 531231 easting UTM, dan 167007 – 176514 northing UTM. Nilai *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) dihasilkan dengan melakukan *Bouguer Correction* (BC) dan *Terrain Correction* terlebih dahulu. Gambar 4.1 adalah peta topografi daerah penelitian dengan ketinggian mulai dari 750 sampai 1750 meter.



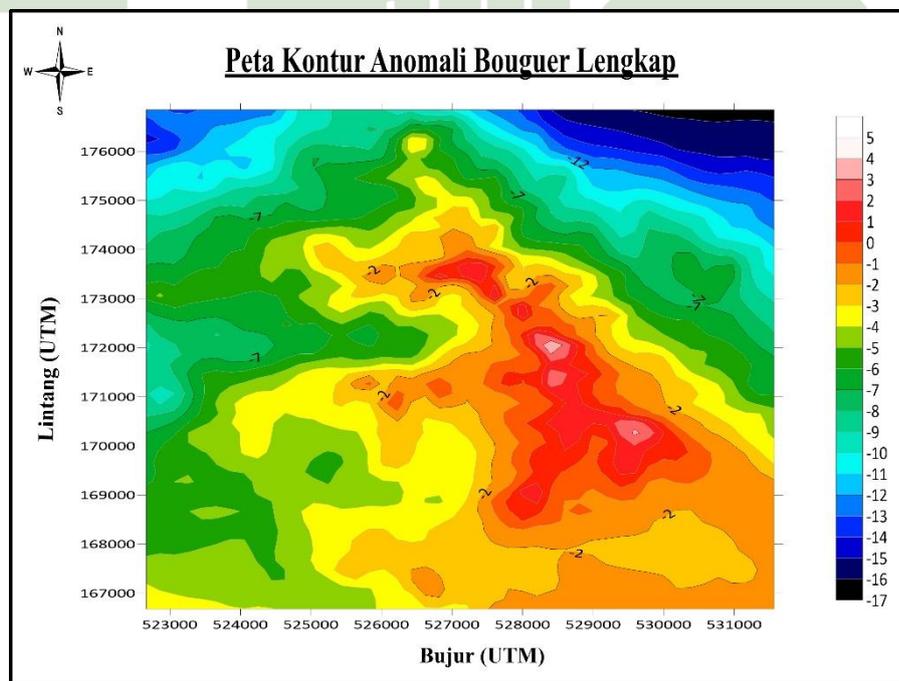
Gambar 4. 1 Peta kontur topografi daerah penelitian

Sebelum dilakukannya koreksi bouguer, dibutuhkannya nilai estimasi densitas permukaan rata-rata menggunakan metode Parasnis pada persamaan 3.4. Hasil yang diperoleh ialah $2,17 \text{ g/cm}^3$, seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 dibawah ini. Nilai densitas yang diperoleh dari metode parasnis akan digunakan sebagai pencari nilai koreksi bouguer (*bouguer correction*). Selanjutnya agar bisa diperoleh nilai *complete bouguer anomaly* (CBA), Diperlukannya koreksi *terrain*

yang dilakukan dengan bantuan *software oasis montaj*. Nilai CBA akan dihitung dengan menjumlahkan nilai *free air anomaly* (FAA), dengan *bouguer correction* (BC) dan *terrain correction* (TC).



Gambar 4. 2 Estimasi densitas batuan permukaan rata-rata menggunakan metode Parasnis



Gambar 4. 3 Peta kontur anomali bouguer lengkap

Peta CBA (Gambar 4.3) diperlihatkan terdapatnya variasi densitas pada lapisan bawah permukaan bumi berdasarkan nilai anomali bouguer yang beragam. Nilai anomali bouguer pada CBA diperoleh dengan rentang berkisar – 17 mGal

sampai dengan 5 mGal, dan dibedakan atas tiga pola. Pola yang pertama merupakan pola tinggi dengan rentang anomali 1 mGal sampai dengan 5 mGal. Yang kedua ialah pola sedang dengan rentang anomali – 4 mGal sampai dengan 0 mGal. Dan yang pola ketiga merupakan pola rendah dengan rentang anomali – 17 mGal sampai dengan – 5 mGal.

Anomali dengan pola tinggi pada CBA terlihat mendominasi pada arah Tenggara, yang berdasarkan data Itologi regional Gunung Sibualbuali. Sedangkan pada pola anomali rendah terlihat pada arah Barat, yang jika dikorelasikan dengan peta kontur topografi (Gambar 4.3) disebabkan oleh batuan-batuan dengan densitas rendah pada ketinggian maksimum di wilayah penelitian. Pada penelitian ini pola kontur antara peta CBA dan peta Topografi menunjukkan ketidak selarasan, hal ini dikarenakan anomali gravitasinya berbanding terbalik dengan nilai jarak, sesuai dengan Persamaan (2.3).

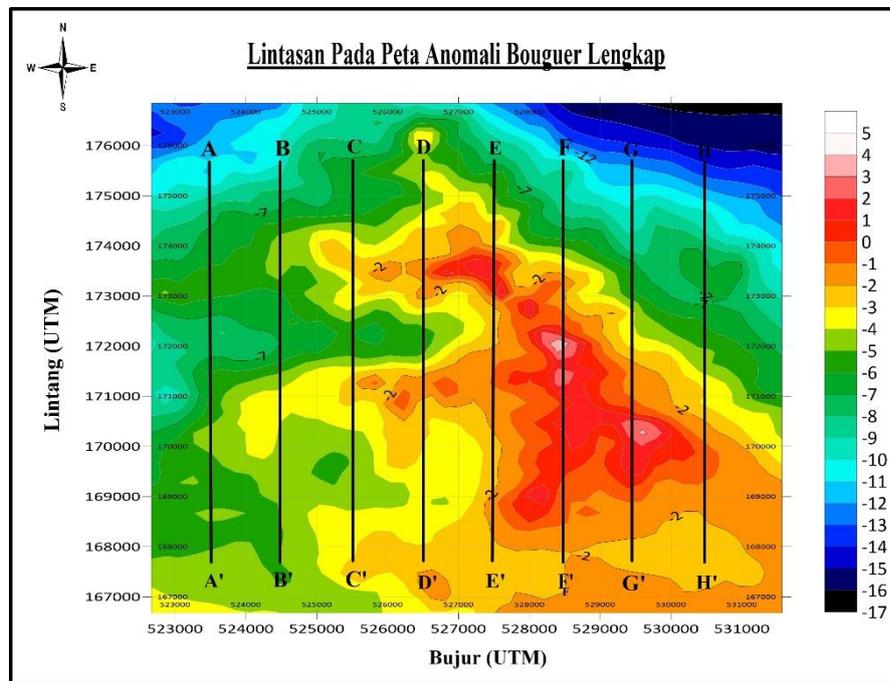
Hasil ini diperoleh dari peta CBA yang sudah mempresentasikan persebaran massa jenis batuan bawah permukaan. Tidak hanya CBA, tetapi terdapat juga anomali regional. Sehingga diperlukannya pemisahan antara anomali regional dan residual untuk dilakukan proses lebih lanjut.

4.2 Analisis Spektrum

Analisis spektrum diproses untuk menghasilkan nilai jendela serta kedalaman *anomaly gravity*. Nilai lebar jendela ini akan dipergunakan sebagai pemisahan anomali regional dan anomali residual. Pemisahan kedua anomali ini menggunakan *filter moving average*. Analisis spektrum dilakukan pada penelitian ini memiliki 8 lintasan yang akan dibuat pada peta CBA seperti Gambar 4.4. Lintasan ini digunakan untuk mewakili nilai anomali daerah penelitian yang nantinya diperuntukkan sebagai transformasi Fourier. Sehingga semakin banyak lintasan yang diperoleh maka akan semakin baik.

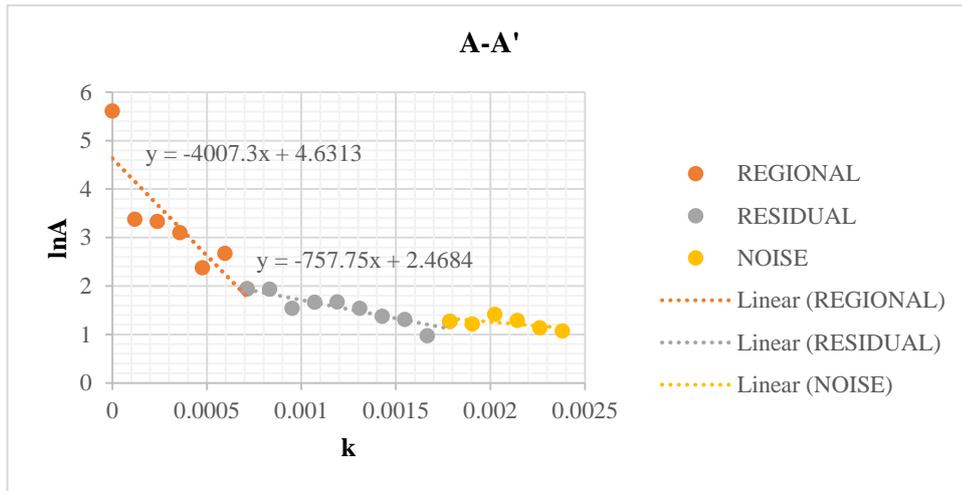
Analisis yang dilakukan ini diperuntukkan sebagai mengkonversi data analog ke dalam format digital. Selanjutnya dilakukan analisis spektrum dari semua lintasan yang ada, untuk mengetahui kedalaman bidang anomali regional maupun residual. Yang menggunakan *Software Microsoft excel*. Pada kedalaman bidang

anomali tersebut dapat dinyatakan dengan nilai kemiringan (*gradient*) dan *log power spectrum* (\ln Amplitudo) terhadap bilangan gelombang (k).

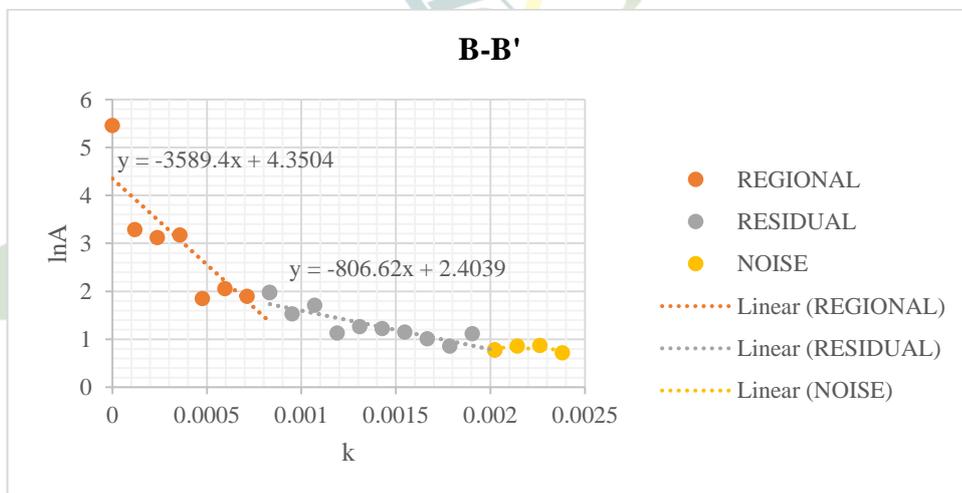


Gambar 4. 4 Lintasan Pada Peta Anomali Bouguer Lengkap

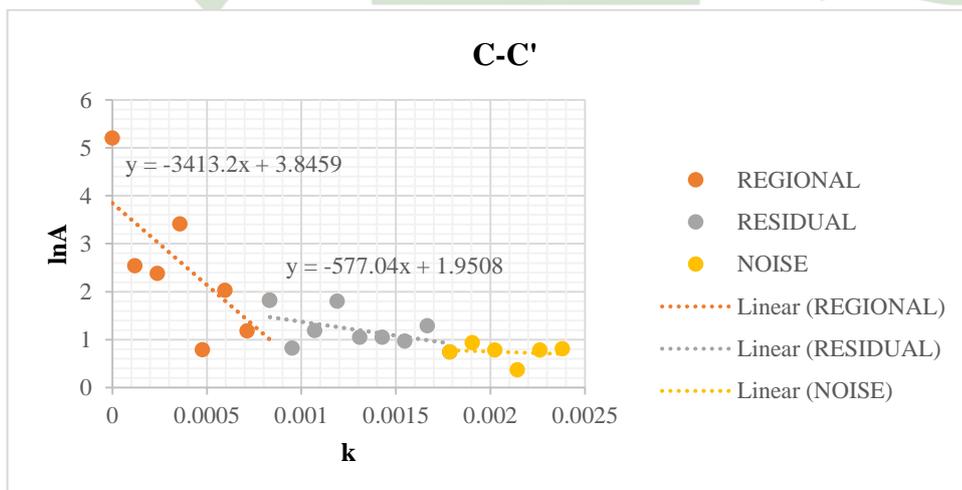
Spasi (Δx) yang digunakan pada proses ini sebesar 200 m. Hasil dari pengolahan ini telah diproses melalui analisis spektrum yang menunjukkan grafik amplitudo ($\ln A$) terhadap nilai bilangan gelombang (k) pada setiap lintasan (*slice*) dari peta *Complete bouguer anomaly* (CBA). Grafik ini dapat terlihat adanya dua *gradient* yang ditunjukkan dengan kedalaman bidang diskontinuitas dalam (residual) dan kedalaman diskontinuitas dalam (regional). Pada kedalaman bidang regional tersebut diperlihatkan dengan adanya frekuensi rendah, sedangkan pada kedalaman residual diperlihatkan dengan adanya nilai frekuensi yang tinggi. Dapat dilihat hal ini disebabkan oleh adanya bidang regional yang memiliki bilangan gelombang yang lebih kecil sedangkan pada *gradient* residual diperoleh dengan bilangan gelombang yang sangat tinggi.



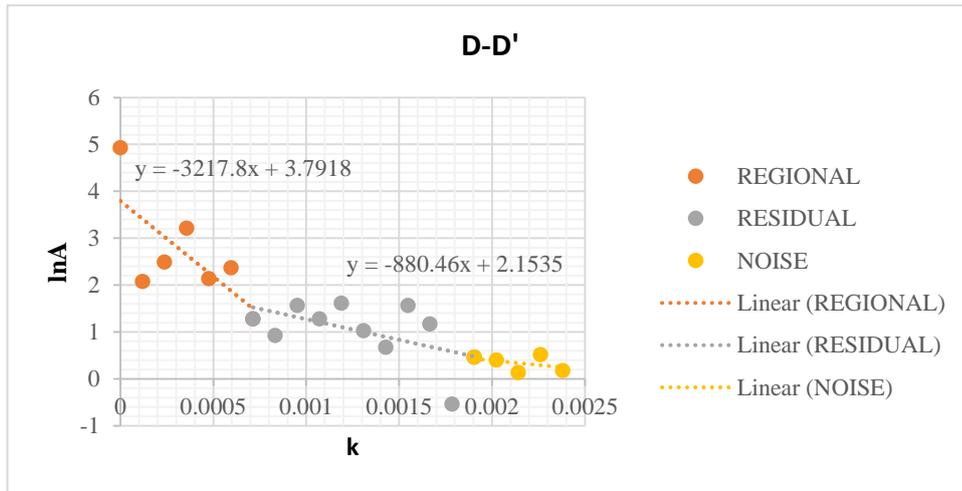
(a)



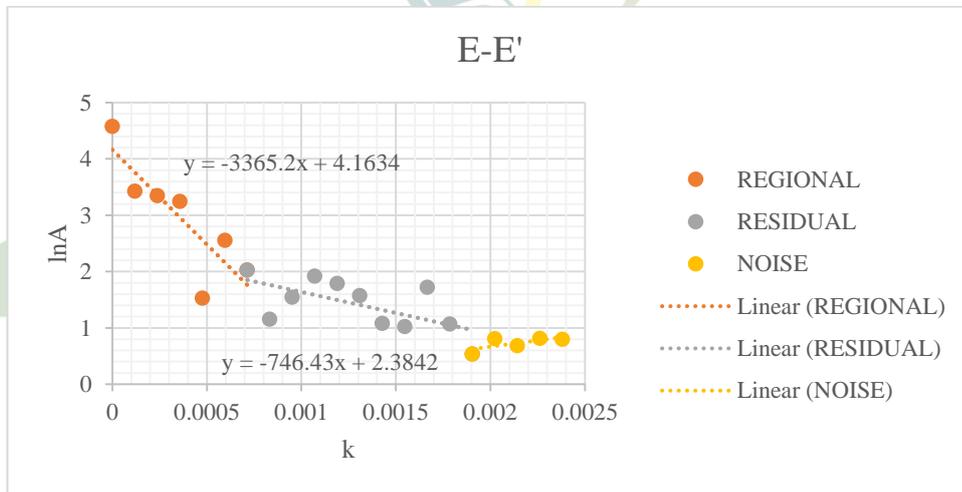
(b)



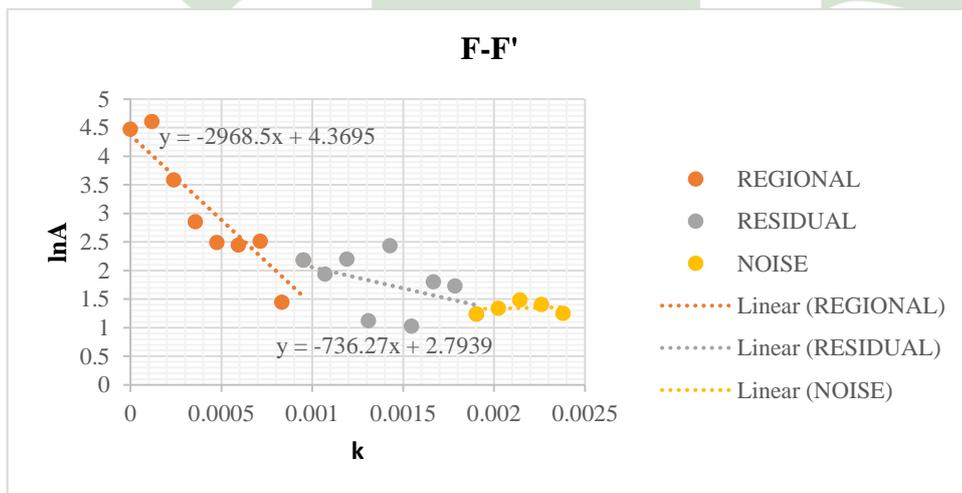
(c)



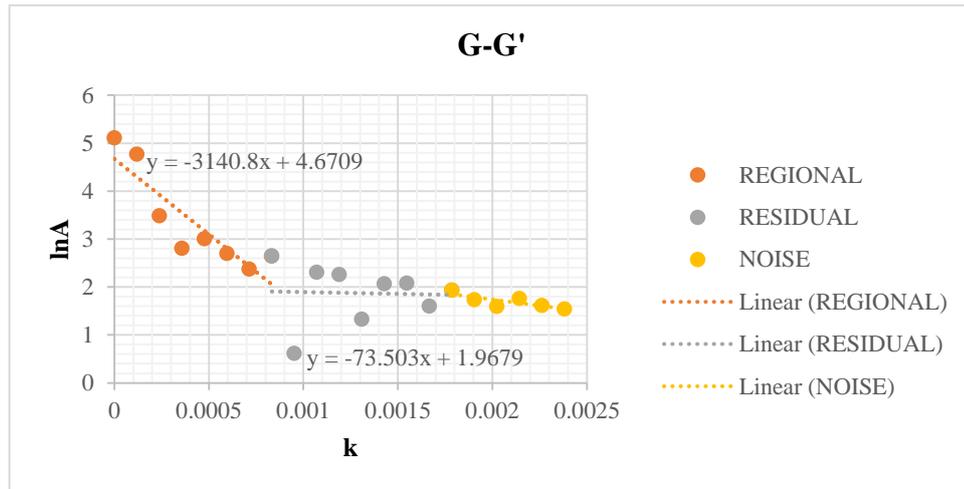
(d)



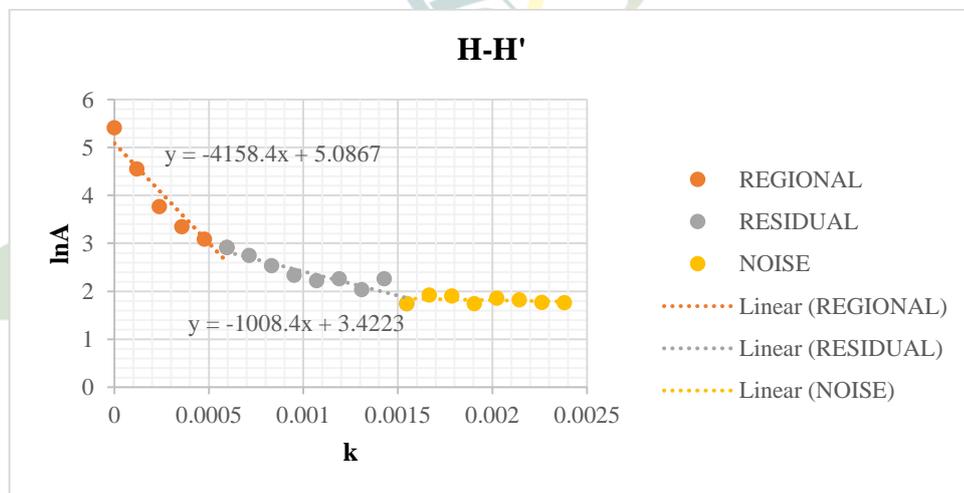
(e)



(f)



(g)



(h)

Gambar 4.5 Grafik kedalaman bidang regional dan kedalaman bidang residual

Irisan yang diperoleh pada Gambar 4.4 menghasilkan kurva analisis spektral dimana nilai diskontinuitas bidang pertama diprediksi sebagai kedalaman kerak bumi. Bersamaan dengan itu, nilai diskontinuitas pada bidang kedua diprediksi sebagai *basement* (batuan dasar). Titik pertemuan kedua *gradient* ini ditampilkan sebagai nilai batasnya (*cutoff*). Selain kedalaman bidang diskontinuitas, kedalamannya adalah -3482.575 m yang diinterpretasikan sebagai rata-rata kedalaman kerak atas dengan kerak bawah. Dan material menjadi lebih padat untuk mendapatkan nilai densitas yang berbeda. Sebaliknya, jika kedalaman diskontinuitasnya kecil (residual), rata-ratanya adalah -698.309125 m. Dimana rata-rata ini merupakan batuan sedimen. Delapan (8) potongan/jalur kedalaman

bidang diskontinuitas dalam dan kedalaman diskontinuitas dangkal dirata-ratakan dan dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini:

Tabel 4. 1 Kedalaman bidang diskontinuitas penampang lintasan A-A' sampai H-H'

Lintasan	Kedalaman bidang diskontinuitas dalam (regional) (m)	Kedalaman bidang diskontinuitas dalam (residual) (m)
A – A'	-4007.3	-757.75
B – B'	-3589.4	-806.62
C – C'	-3413.2	-577.04
D – D'	-3217.8	-880.46
E – E'	-3365.2	-746.43
F – F'	-2968.5	-736.27
G – G'	-3140.8	-73.503
H – H'	-4158.4	-1008.4
Rata-rata	-3482.575	-698.309125

Hasil rata-rata kedalaman diskontinuitas juga digunakan untuk menghitung lebar jendela yang kemudian digunakan dalam proses penyaringan. Proses ini juga dapat dilakukan dengan menghitung rata-rata potongan (K_c) dari delapan potongan/jalur yang telah dibuat sebelumnya pada Gambar 4.4. Total nilai gelombang (K_c) adalah 0,773 dan lebar jendela (N) 41, dapat dilihat dari Tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 4. 2 Bilangan gelombang cutoff (K_c) dan lebar jendela (N) Lintasan A-A' sampai H-H'

Lintasan	Bilangan Gelombang (k_c)	Lebar Jendela (N)
A – A'	0.000714	43.9823
B – B'	0.000833	37.69911
C – C'	0.000833	37.69911
D – D'	0.000714	43.9823
E – E'	0.000714	43.9823
F – F'	0.000952	32.98672
G – G'	0.000833	37.69911
H – H'	0.000595	52.77876
Rata-rata	0.0007735	41.35121375

4.3 Pemisahan Anomali Regional dan Anomali Residual

Complete Bouguer Anomaly (CBA) merupakan gabungan dari anomali regional dan anomali residual. Karena kedua anomali tersebut saling berkaitan dan menimbulkan tumpang tindih. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk membedakan kedua anomali tersebut. *Filter moving average* biasanya merupakan proses pemisahan dua outlier (anomali) yang umum digunakan. Dikarenakan proses penyaringan pada anomali memiliki sinyal frekuensi tinggi (*low pass filter*). Hasil dari metode ini adalah rendahnya frekuensi anomali Bouguer, yang kemudian tercermin dalam anomali regional. Sebaliknya, anomali residual ditentukan dengan mengurangkan total anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional.

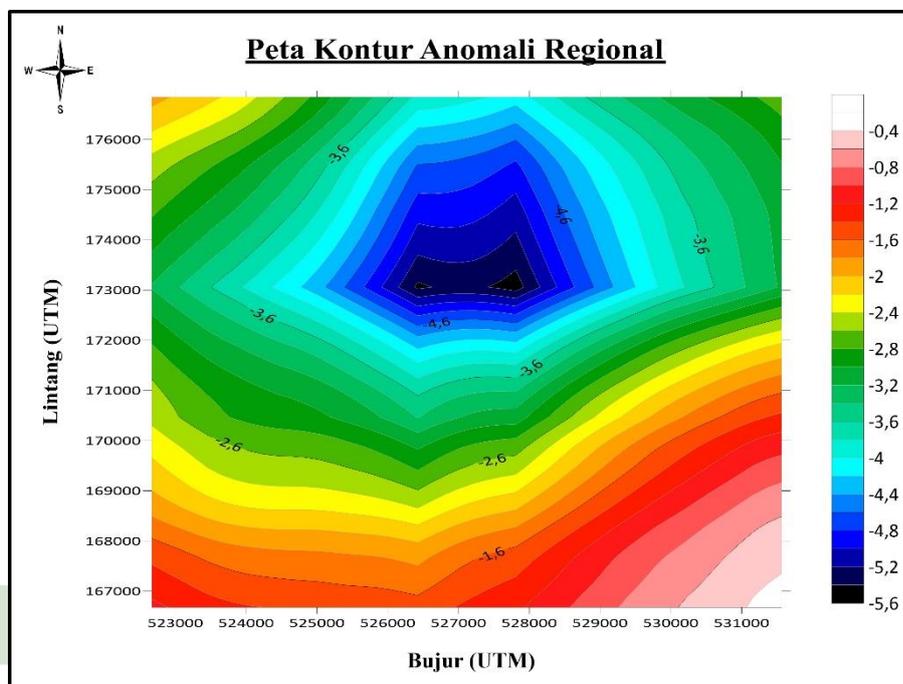
Proses *Filter moving average* dari penelitian kali ini didukung oleh perangkat lunak *Surfer 13*. Nilai lebar jendela sebesar 41 yang dihasilkan selama proses analisis spektrum. Nilai ini digunakan sebagai masukan untuk *filter moving average*. Hasil dari proses penyaringan moving average berupa kontur anomali regional pada Gambar 4.6.

4.3.1 Anomali Regional

Anomali regional merupakan anomali gravitasi yang memiliki keterkaitan dengan struktur regional kerak bumi. Anomali regional juga memiliki susunan kontur yang lebih teratur. Hal ini diakibatkan adanya pengaruh batuan yang dalam seperti batuan dasar (*basement*), dengan diakibatkannya akan cenderung lebih homogen dibandingkan dengan batuan yang dangkal. Nilai data anomali boguer lengkap yang telah dilakukannya pemisahan anomali pada *software surfer 13*. Serta hasilnya dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Anomali regional ini dicirikan sebagai anomali yang memiliki frekuensi rendah. Dengan memiliki gradasi warna pada konturnya yang menunjukkan variasi nilai pada anomali tersebut. Pada kontur anomali regional memperlihatkan rentang nilai densitas mulai dari $-5,6$ mGal sampai dengan $-0,4$ mGal, sama halnya dengan anomali CBA. Anomali regional juga memiliki tiga pola titik mulai dari yang pola tertinggi sampai yang terendah. Dengan pola anomali pertamanya pada anomali tinggi memiliki rentang nilai densitas $-1,2$ mGal sampai dengan $-0,4$ mGal yang terletak di warna merah sampai warna putih pada arah Tenggara lokasi penelitian. Pola anomali kedua dengan adanya anomali sedang yang menempati nilai densitas

berkisar $-2,4$ mGal sampai dengan $-1,6$ mGal di warna kuning hingga orange pada arah Barat Daya. Sedangkan pada pola anomali rendah memiliki rentang nilai densitas $-5,6$ mGal sampai dengan $-2,8$ mGal di warna hitam hingga hijau tua terletak ditengah lokasi penelitian yang sedikit mengarah ke Utara.



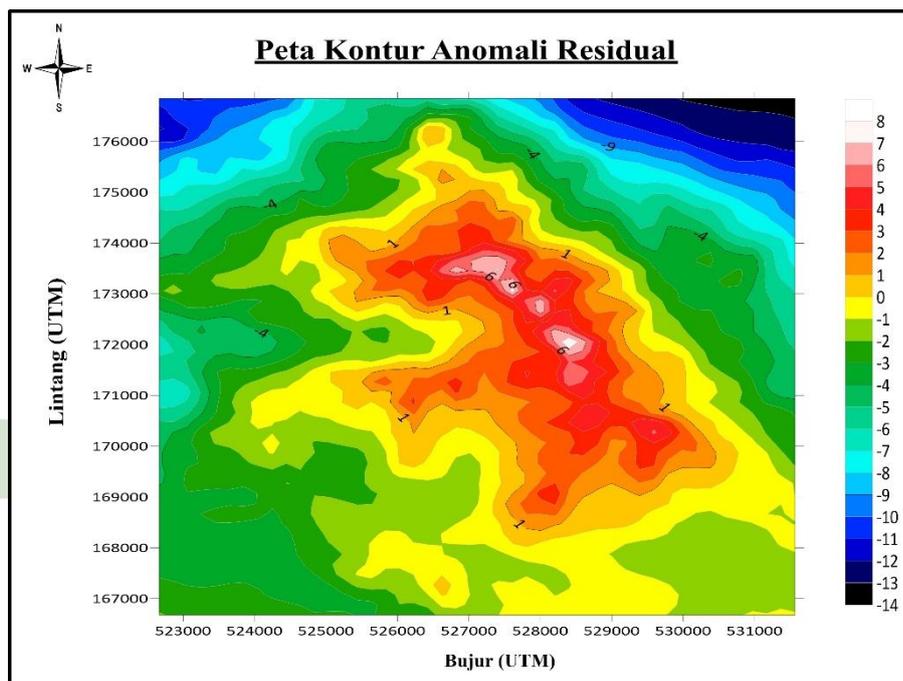
Gambar 4. 6 Peta kontur anomali regional

4.3.2 Anomali Residual

Anomali residual merupakan anomali yang berkaitan dengan struktur lokal atau bisa disebut dengan kata lain anomali residual. Anomali residual ialah anomali yang menampilkan persebaran densitas batuan yang dangkal. Biasanya batuan ini terlihat pada kedalaman yang dangkal juga. Pada umumnya anomali residual memiliki nilai yang cukup bervariasi. Hal ini dikarenakan oleh batuan yang bervariasi juga. Data anomali residual diperoleh dari hasil pengurangan anomali bouguer lengkap dengan anomali regional yang menggunakan *software surfer* 13. Hasilnya dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7.

Anomali residual juga memiliki gradiasi warna dan nilai densitas yang beragam mulai dari -14 mGal sampai dengan 8 mGal pada tingkat pola yang tertinggi hingga terendah. Pola anomali yang tinggi memiliki nilai densitas 3 mGal sampai dengan 8 mGal yang ditunjukkan pada warna merah hingga ke putih. Dan anomali tinggi ini menunjukkan adanya batuan dengan kontras nilai densitas yang

cukup tinggi. Pada pola anomali sedang memiliki nilai densitas dengan rentang -4 mGal sampai dengan 2 mGal yang ditunjukkan pada warna hijau muda hingga orange. Dan anomali sedang ini merupakan batas antara anomali tinggi dan rendah. Sedangkan pada pola anomali rendah memiliki nilai densitas dengan rentang nilai -14 mGal sampai dengan -5 mGal, yang ditunjukkan pada warna hitam hingga biru langit. Anomali rendah ini diperkirakan sebagai batuan yang memiliki nilai rapat massa lebih rendah dilokasi penelitian.



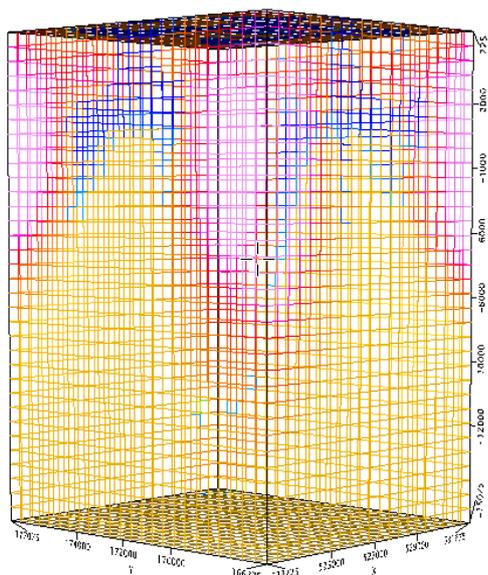
Gambar 4. 7 Peta kontur anomali residual

4.4 Interpretasi dan *Inverse Modelling*

Pemodelan struktur bawah permukaan pada daerah penelitian dilakukan dengan bantuan *Software Oasis Muntaj*. Konsep dari pemodelan ini menginversikan data-data yang kemudian dilakukan komputasi sehingga menampilkan grafik tiga dimensi dengan sebaran densitas dari nilai grid yang sudah dilakukan. Pada pemodelan inversi digunakannya grid peta anomali residual dengan alasan penentuan struktur yang akan lebih dangkal sehingga meningkatkan keakuratan hasil *modelling*.

Luas wilayah pada penelitian yang membentang dari X 522225 hingga 531675 *Easting*, dan Y 166275 hingga 177075 *Northing* dalam koordinat UTM. Pemodelan ini dibuat sebuah *mesh* atau persegi Panjang, dengan ukuran sel

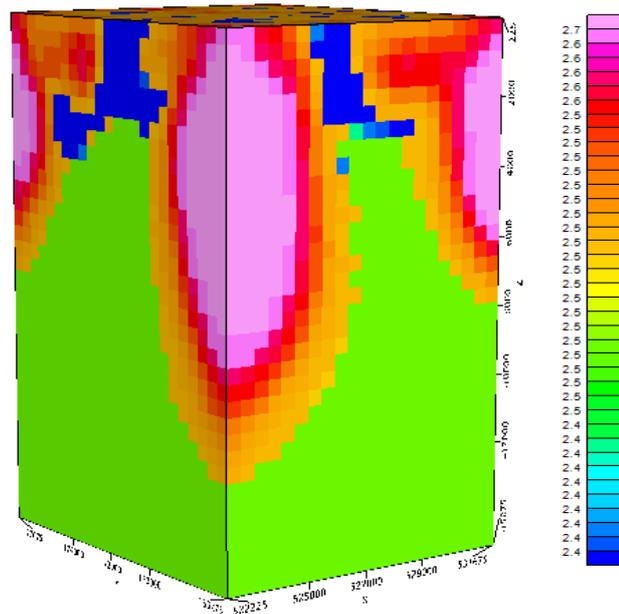
berjumlah 21 x 24 x 34 dengan masing-masing arah x, y, dan z. Lebar tiap sel yang diwakili oleh ukuran sel tersebut sebesar 450 m, untuk pajang X, dan Y. Sedangkan pada kedalaman Z sebesar 450 m juga. Sehingga kedalaman tersebut mencapai 15.000 m dibawah permukaan. Data yang digunakan dalam pemodelan ini sebanyak 8800 data.



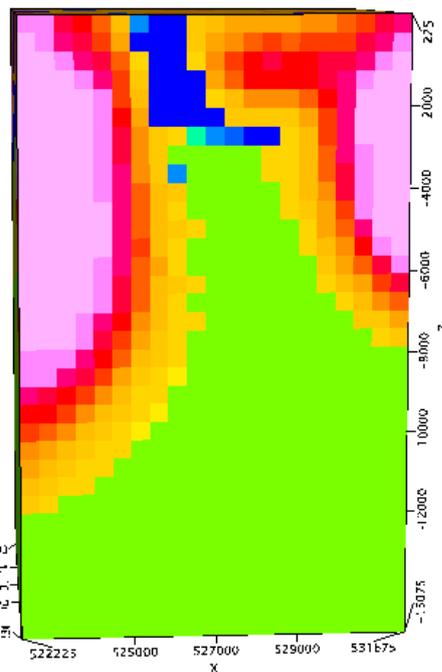
Gambar 4. 8 Susunan sel pada mesh awal

Setelah membuat *mesh* kemudian lanjut dalam proses inversi. Proses inversi yang dilakukan ini pada dasarnya merupakan salah satu modifikasi model agar mencapai kecocokan antara data perhitungan dengan data pengamatan yang lebih baik dilakukan secara otomatis. Pemodelan inversi biasanya juga disebut sebagai data *fitting* dikarenakan dalam prosesnya ini dicari parameter model yang menghasilkan respons yang *fit* dengan pengamatan.

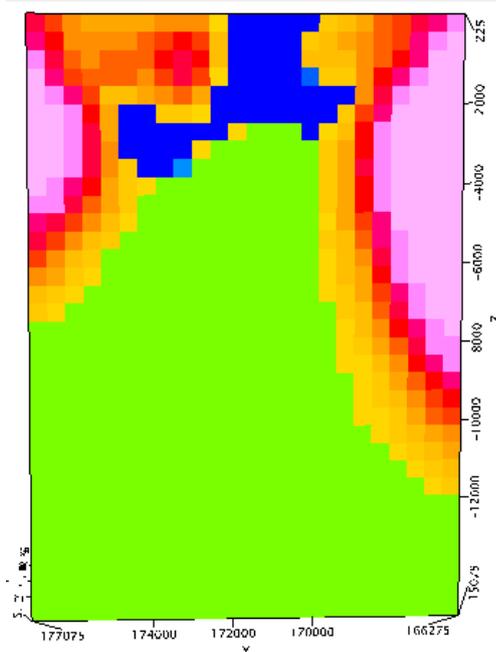
Proses inversi yang telah dilakukan akan menampilkan penampang tiga dimensi dengan sebaran nilai kontras densitas bawah permukaan pada daerah penelitian. Sebaran nilai kontras densitas bawah permukaan pada daerah penelitian berkisar antara 2,4 hingga 2,7 g/cm^3 pada (**Gambar 4.12**). kontras densitas ini merupakan selisih antara nilai densitas satuan dengan nilai densitas rata-rata di sekitarnya yang telah diansumsikan homogen dengan nilai 2,46 g/cm^3 .



Gambar 4. 9 Model sebaran nilai kontras densitas hasil inversi



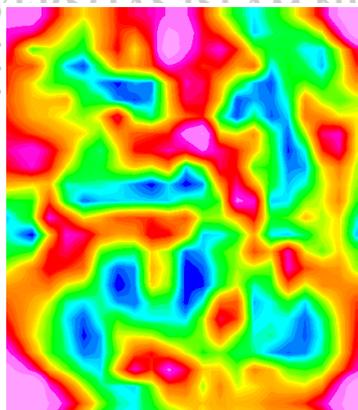
Gambar 4. 10 Model sebaran nilai kontras densitas di sisi X dan Z



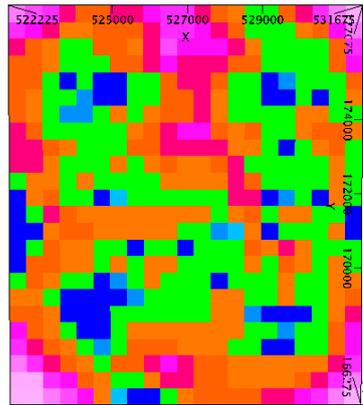
Gambar 4. 11 Model sebaran nilai kontras densitas di sisi Y dan Z

Agar mendapatkan nilai densitas material di daerah penelitian, maka perlu dilakukannya pengukuran antara nilai densitas rata-rata permukaan dengan nilai kontras densitas pada kontur pemodelan. Jenis material ini akan ditentukan setelah diketahuinya nilai densitas rata-rata batuan berdasarkan tabel densitas menurut (Telford et al, 1990). Tabel nilai densitas rata-rata batuan beku, batuan metamorf dan batuan sedimen dapat dilihat pada Tabel 2.1. Untuk malakukan interpretasi maka perlu dilakukannya pengupasan dengan membagi antara daerah rendah, sedang dan tinggi agar diketahui dugaan sebenarnya.

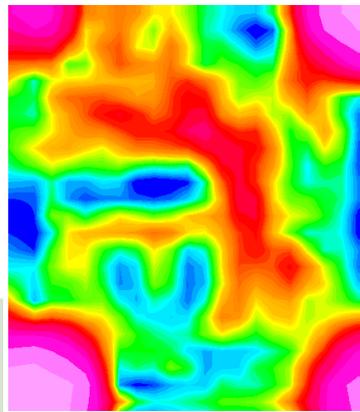
4.4.1 *Inverse Modelling* Permukaan 2D dan 3D



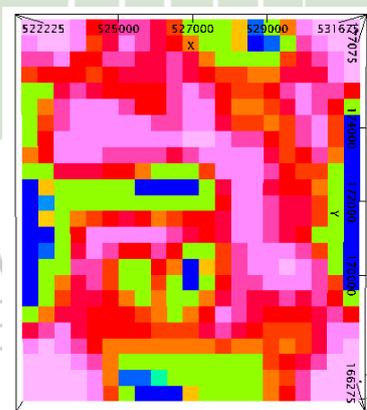
Gambar 4. 12 Penampilan Kontras 2D di permukaan 225 m



Gambar 4. 13 Penampilan Kontras 3D di permukaan 225 *m*



Gambar 4. 14 Penampilan Kontras 2D di kedalaman – 1700 *m*

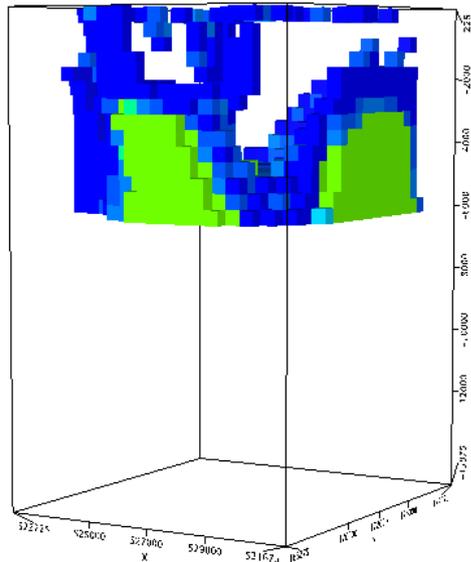


Gambar 4. 15 Penampilan Kontras 3D di kedalaman – 1700 *m*

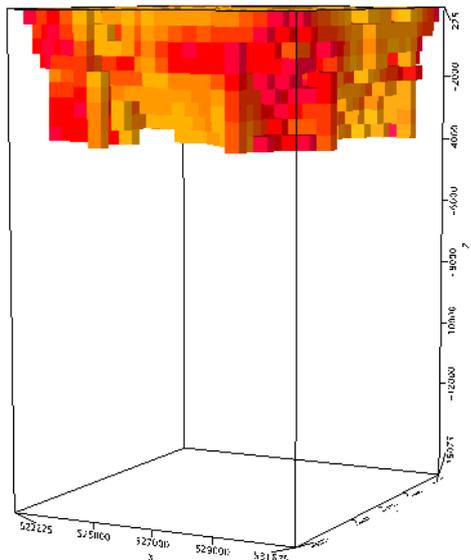
Penampilan kontras 2D dan 3D yang terdapat pada gambar 4.12 dan gambar 4.13 merupakan hasil dari inverse modelling yang ada pada gambar 4.9. Dimana telah dilihat bahwasannya permukaan antara kedua penampilan kontras tersebut memiliki tampilan permukaan yang sama, dan terletak pada permukaan 225 *m*. Kemudian pada kontras 2D dan 3D yang terlihat pada gambar 4.14 dan gambar 4.15

diantara kedua gambar kontras tersebut memiliki tampilan yang sama, yang terletak pada kedalaman -1700 m . Dimana tampilan pada kontras gambar 4.14 dan gambar 4.15 merupakan tampilan dari anomali residual yang terlihat pada gambar 4.7.

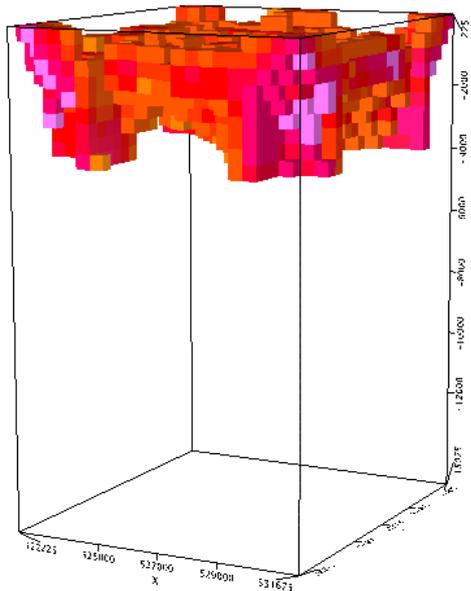
4.4.2 Inverse Modelling 3D



Gambar 4. 16 Hasil inversi 3D dengan kontras Densitas
 $-0,174\text{ g/cm}^3\text{ s/d }-0,06\text{ g/cm}^3$



Gambar 4. 17 Hasil inversi 3D dengan kontras Densitas
 $-0,027\text{ g/cm}^3\text{ s/d }0,228\text{ g/cm}^3$



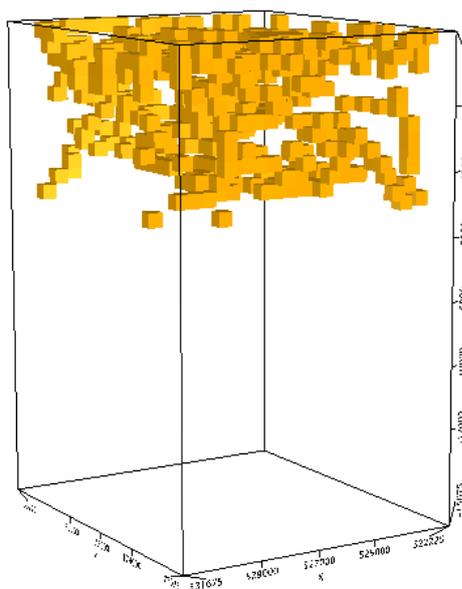
Gambar 4. 18 Hasil inversi 3D dengan kontras Densitas
 $0,044 \text{ g/cm}^3$ s/d $0,39 \text{ g/cm}^3$

Nilai densitas yang paling rendah dapat ditunjukkan pada kontur berwarna biru hingga kehijauan dengan rentang nilai kontras densitas yang berkisar $-0,174 \text{ g/cm}^3$ sampai dengan $-0,06 \text{ g/cm}^3$. Sehingga nilai densitas material di lokasi penelitian sebesar $2,29 \text{ g/cm}^3$ hingga $2,4 \text{ g/cm}^3$. Maka didapat nilai rata-rata densitas sebesar $2,35 \text{ g/cm}^3$, dan dirata-ratakan sebagai jenis batuan sedimen (*sandstone*). Dapat dilihat bahwasannya jenis batuan sedimen ini merupakan rombakan dari batuan beku, batuan metamorf dan batuan sedimen lain yang terbawa oleh aliran air sungai/hujan. Kemudian mengendap ditempat lain baik didarat maupun disekitar sungai. Endapan tersebut mengalami pemadatan, konsolidasi dan sementasi yang kemudian mengeras disuatu tempat dimana saja. Hasil dari densitas rendah ini terdapat jenis batuan sedimen, dimana batuan sedimen ini juga sama dengan formasi sihapus (Tms), formasi gunungapi naribong (Tmvna), formasi telisa anggota sipupus, kelompok tapanuli, anggota kanan, anggota sipupus, dan aluvium muda yang terdapat pada peta geologi.

Nilai densitas yang rendah ditunjukkan pada kontur berwarna kuning hingga orange dengan kontras densitas sebesar $-0,027 \text{ g/cm}^3$ hingga $0,228 \text{ g/cm}^3$. Maka nilai densitas batuan di lokasi penelitian yang dapat diperoleh sebesar $2,433 \text{ g/cm}^3$ sampai dengan $2,688 \text{ g/cm}^3$. Maka nilai densitas rata-rata batuan diperoleh sebesar $2,560 \text{ g/cm}^3$ yang dapat digolongkan sebagai jenis batuan

Igneous rock. Dimana batuan ini merupakan batuan *Andesite*. Hasil dari densitas rendah juga memiliki jenis batuan *andesite* yang dimana batuan ini termasuk dari dari formasi gunungapi toru (tmvo), dan produk pusat lubukrata yang terlihat pada peta geologi.

Nilai densitas tinggi terlihat pada model kontur yang berwarna orange hingga ke unguan ditandai dengan nilai kontras densitas sebesar $0,044 \text{ g/cm}^3$ sampai dengan $0,39 \text{ g/cm}^3$. Sehingga nilai densitas material di daerah penelitian berkisar antara $2,504 \text{ g/cm}^3$ sampai dengan $2,85 \text{ g/cm}^3$. Nilai densitas rata-rata yang diperoleh sebesar $2,677 \text{ g/cm}^3$ yang merupakan batuan beku (*granite*) sebagai jenis batuan *Igneous rock*. Hasil dari densitas tinggi ini juga memiliki batuan *granite* yang dimana batuan ini terdiri dari tuffa toba dan produk gunungapi sibualbuali yang terdapat pada peta geologi.



Gambar 4. 19 Hasil inversi 3D reservoir dengan kontras Densitas 0 g/cm^3 s/d $0,04 \text{ g/cm}^3$

Nilai densitas reservoir terlihat pada model kontur yang berwarna orange dengan nilai kontras densitas sebesar 0 g/cm^3 sampai dengan $0,04 \text{ g/cm}^3$. Dimana nilai kontras densitas $0,04 \text{ g/cm}^3$ diperoleh dari pengurangan nilai rata-rata densitas reservoir $2,5 \text{ g/cm}^3$ dengan nilai rata-rata density $2,46 \text{ g/cm}^3$. Sehingga nilai densitas material di daerah penelitian berkisar antara $2,46 \text{ g/cm}^3$ sampai dengan $2,5 \text{ g/cm}^3$. Nilai densitas rata-rata yang diperoleh sebesar $2,48 \text{ g/cm}^3$. Letak reservoir ini berada pada kedalaman 5000 m.