

# Derivatif Radial Anomali Gravitasi Untuk Identifikasi Batas Vertikal Pada Lapisan Tunggal

Muhammad Zuhdi\*, Syahrial Ayub, Muhammad Taufik

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Mataram

\*Email: mzuhdi@unram.ac.id

Received: 7 Oktober 2019;

Accepted: 28 Maret 2020;

Published: 30 Maret 2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.29303/jpft.v6i1.1384>

**Abstract** - The purpose of this study is to make and test radial derivatives for identification of single layers. Radial Derivatives are derivatives of gravitational anomaly values with respect to the horizontal distance in the radial direction of a particular point. The center of the derivative is chosen based on consideration as the center of the anomaly of target. Several synthetic single layer models have been made in the form of temple artifacts and water table changes over time. From these models, the gravity anomalies are calculated forward. Radial derivatives of these anomalies are performed to determine the vertical boundary of a single layer. Radial derivatives in a single layer of temple artifacts are useful for determining the boundaries of temple walls, so that the analysis of artifact excavation points can be better determined. Radial derivatives in anomalies in water table changes over time are useful for sorting shallow gravity anomalies which have significant value. The result of this research shows that radial derivative is able to detect boundary of buried temple and also boundary of water table. The advantage of the radial derivative method is that it is not necessary to re-measure if gravity data has been previously measured. In other words, this method is a software to review the further analysis that might have been done before.

**Keywords:** Derivative; Radial; Gravity Anomaly; Layers

## PENDAHULUAN

Derivatif Radial adalah turunan nilai anomali gravitasi terhadap jarak horizontal dengan arah radial dari suatu titik tertentu. Derivatif horizontal suatu anomali gravitasi adalah turunan nilai gravitasi dalam arah garis lurus tertentu. Jika garis lurus tersebut memotong secara tegak lurus suatu batas kontras densitas maka nilai derivatifnya akan bernilai besar. Dalam banyak kasus kita memerlukan derivatif yang selalu tegak lurus atau sebisa mungkin mendekati tegak lurus dengan kontras densitas anomali. Untuk keperluan tersebut dibuatlah derivatif radial. Titik pusat derivatif radial dipilih berdasarkan pertimbangan tertentu sehingga titik tersebut dianggap atau dipertimbangkan sebagai pusat anomali yang akan diidentifikasi.

Rapat massa adalah sumber utama medan potensial dari anomali gayaberat yang

terukur dan merupakan suatu sifat fisika yang berbeda cukup signifikan dari tipe batuan ke batuan lainnya, sehingga pengetahuan akan distribusi rapat massa di dalam bumi akan memberikan informasi dengan nilai potensi yang sangat besar tentang geologi bawah permukaan (Grand & West, 1965). Rapat massa suatu bangunan candi memiliki nilai hingga 4 gr/cc, sedangkan soil penimbunnya hanya sekitar dibawah 2 g/cc.

Pada penelitian ini telah dibuat model beberapa model sintetis lapisan tunggal berupa artifak candi dan perubahan water table antar waktu. Model candi yang dibuat terdiri dari 3 model, yaitu model pagar candi, model altar candi dan model candi. Model pagar candi adalah model yang terdiri dari tumpukan batu keliling berbentuk persegi. Model altar adalah model pagar ditambah dengan altar di tengah pagar dengan bentuk persegi dengan

ukuran tertentu. Sedangkan model candi adalah model altar dengan ditambah dengan model bangunan candi. Model water table adalah model kenaikan muka air tanah antar waktu yang merupakan anomali gravitasi 4 Dimensi.

Dari model tersebut kemudian di hitung anomali gravitasnya secara forward. Pada anomali ini kemudian di lakukan derivatif radial untuk mengetahui batas vertikal suatu lapisan tunggal. Derivatif Radial pada lapisan tunggal berupa artifak candi berguna untuk menentukan batas dinding-dinding candi, sehingga analisis titik penggalian artifak dapat di tentukan dengan lebih baik.

Metoda gayaberat mikro 4D adalah merupakan pengembangan metoda gayaberat dengan dimensi yang ke-empat adalah waktu. Metoda ini dicirikan dengan pengukuran yang berulang baik secara harian, mingguan, bulanan, ataupun tahunan dengan menggunakan alat ukur gayaberat (*gravimeter*) dengan ketelitian yang sangat tinggi yang didukung oleh pengukuran posisi dan ketinggian dengan ketelitian yang tinggi pula. Kelebihan dari metoda ini adalah operasional yang relatif sederhana dan ramah lingkungan (Reynolds, 1997).

Eiken *et al.* (2004), menggunakan metode gravitasi mikro untuk identifikasi produksi gas. Gettings *et al.* (2002) menggunakan gravitasi mikro untuk identifikasi anomali di area geothermal untuk eksplorasi. Palowsky (1994) menggunakan bandpass filter untuk identifikasi anomali perlapisan. Zuhdi (2004) menggunakan gravitasi mikro untuk identifikasi perubahan rapat massa pada reservoir. Zuhdi & Setiawan (2015) memodelkan reservoir secara inversi. Zuhdi (2019), momodelkan sesar dengan inversi gravitasi.

Radial derivative pada anomaly perubahan water table antar waktu berguna untuk memilah anomaly dangkal yang nilainya cukup besar. Pada anomaly gravitasi antar waktu atau lebih sering dikenal dengan anomaly gravitasi 4 Dimensi, perubahan muka air tanah memiliki sumbangan yang sangat besar pada total anomaly terukur. Pengetahuan yang baik akan letak perubahan muka air tanah akan sangat membantu dalam memisahkan anomaly tersebut, mengingat anomaly ini adalah komponen dri noise. Akasaka dan Nakanishi (2000) memisahkan anomaly gravitasi sumber geothermal dari efek perubahan muka air tanah dengan mengkorelasikan dari data bor dan data curah hujan.

**METODE PENELITIAN**

Apabila suatu massa 3 dimensi bentuk sembarang terdistribusi secara kontinyu dengan rapat massa  $\Delta\rho(\alpha,\beta,\gamma)$ , maka potensial gayaberat di titik P ( $x,y,z$ ) diatas dan di luar distribusi rapat massa tersebut diberikan oleh :

$$U(x,y,z) = G \iiint \frac{\Delta\rho(\alpha,\beta,\gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha.d\beta.d\gamma \tag{1}$$

Komponen gayaberat vertikal dan horisontal akibat distribusi rapat massa di atas diperoleh dengan mendiferensialkan persamaan (1) terhadap x,y,dan z, yang hasilnya adalah :

$$\Delta g_x(x,y,z) = -G \iiint_{0-\infty-\infty}^{\infty} \frac{\Delta\rho(\alpha,\beta,\gamma)(x-\alpha)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha.d\beta.d\gamma \tag{2}$$

$$\Delta g_y(x,y,z) = -G \iiint_{0-\infty-\infty}^{\infty} \frac{\Delta\rho(\alpha,\beta,\gamma)(y-\beta)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha.d\beta.d\gamma \tag{3}$$

$$\Delta g_z(x,y,z) = -G \iiint_{0-\infty-\infty}^{\infty} \frac{\Delta\rho(\alpha,\beta,\gamma)(z-\gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha.d\beta.d\gamma \tag{4}$$

Dari persamaan (4) tampak bahwa percepatan gayaberat  $g$  di permukaan bumi bervariasi dan harganya tergantung pada distribusi massa di bawah permukaan yang dikontrol oleh bentuk geometri (struktur) dan rapat massa. Medan gayaberat  $g$  disebut juga percepatan gravitasi, satuannya dalam Gall ( $1 \text{ Gall} = \text{cm/s}^2$ ).

Benda 3 dimensi dengan distribusi rapat massa  $\Delta\rho = (\alpha, \beta, \gamma)$ , memberikan efek gayaberat di titik  $P(x, y, z)$  pada permukaan dalam selang waktu tertentu ( $\Delta t$ ) diberikan oleh Kadir (1996):

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = -G \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)(z - \gamma)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (5)$$

Dari persamaan di atas jika perubahan gayaberat terjadi akibat perubahan rapat massa untuk geometri benda prisma sisi tegak anomalnya diberikan oleh persamaan:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) \cong \Delta\rho(\Delta t) \cdot K(x - \alpha, y - \beta, z - \gamma, a, b, c) \quad (6)$$

dimana  $K$  adalah fungsi Green yang menghubungkan perubahan rapat massa  $\Delta\rho$  dengan anomali di permukaan, sedangkan:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = g(x, y, z, t') - g(x, y, z, t) \quad (7)$$

Anomali gayaberat ini berhubungan langsung dengan adanya perubahan rapat massa sebagai akibat adanya perubahan materiil sebagai akibat dari dinamika bawah permukaan. Perubahan rapat massa ini tergantung pada porositas, densitas bulk, densitas fluida pengisi pori dan saturasinya (Schon, 1995).

Anomali gravitasi 4D terukur di lapangan merupakan anomali total dari berbagai kedalaman. Anomali dangkal memiliki panjang gelombang kecil sedangkan anomali dengan nilai kedalaman tinggi memiliki panjang gelombang besar. Jika anomali terukur adalah  $g_{\text{obs}}$  anomali efek

dangkal adalah  $g_s$  dan anomali dalam adalah  $g_d$  maka dapat dituliskan:

$$G_{\text{obs}} = g_s + g_d$$

Selain dari panjang gelombangnya cara membedakan anomali dalam terhadap anomali dangkal adalah dengan mengenali kemiringan responnya. Anomali dalam akan memiliki kemiringan yang landai sedangkan anomali dangkal memiliki kemiringan tinggi.

Derivatif Radial adalah turunan nilai anomali gravitasi terhadap jarak horizontal dengan arah radial dari suatu titik tertentu. Titik pusat derivatif dipilih berdasarkan pertimbangan sebagai pusat anomali yang akan diidentifikasi. Keunggulan metode derivative radial adalah tidak diperlukannya pengukuran ulang jika data gravitasi sudah pernah diukur sebelumnya. Dengan kata lain metode ini merupakan software untuk mengkaji ulang tinjauan analisis yang mungkin telah dilakukan sebelumnya.

Penelitian ini merupakan penerapan model berskala Laboratorium dengan parameter model sedapat mungkin disesuaikan dengan nilai nyata di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas derivatif radial untuk mengidentifikasi batas vertikal suatu lapisan tunggal.

Perangkat keras yang diperlukan adalah Komputer dengan spesifikasi sebagai berikut: Processor Core 2 Duo ® 2.7 GHz, Memory (Ram) 8 GB, Hard Disk 1 TB VGA Card 256 MB, CD ROM Drive.

Perangkat lunak yang diperlukan untuk penelitian ini adalah : Matlab 10® digunakan untuk membuat *forward modelling*, melakukan derivatif horizontal, derivatif radial dan menampilkan gambar hasil anomali.

Model dibuat dengan variabel model yang didasarkan nilai riil yang ada di lapangan

berupa: densitas batu candi, densitas soil penimbun candi, kedalaman reservoir, kedalaman water table dan porositas batuan sekitar water table.

Area yang digunakan pada model candi ini seluas 2,89 hektar dengan bentuk persegi dengan panjang sisi-sisinya 170 m. Interval grid yang digunakan adalah 1m, sehingga respon model berupa matriks persegi berukuran 171 x 171.

Model candi yang dibuat terdiri dari 3 model, yaitu model pagar candi, model altar candi dan model candi. Model pagar candi adalah model yang terdiri dari tumpukan batu keliling berbentuk persegi dengan ketebalan 3 meter dan ketinggian 1 meter. Model altar adalah model pagar ditambah dengan altar di tengah pagar dengan bentuk persegi dengan tinggi altar 50 cm. Sedangkan model candi adalah model altar dengan ditambah dengan model bangunan candi ditengah altar setinggi 2 meter. Kontras densitas candi dengan timbunan soil adalah 3 g/cc.

Model water table adalah model kenaikan muka air tanah antar waktu yang merupakan anomali gravitasi 4 Dimensi. Model ini berada pada area seluas 680 hektar dengan panjang sisi 2,6 km dengan grid berupa matriks 261 x 261 dengan interval grid 10 meter. Model ini adalah perubahan muka air tanah setinggi 3 meter berbentuk dua buah lingkaran dengan diameter masing-masing 150 meter dengan jarak kedua pusat lingkaran 6,5 km.

Respon model kedepan dibentuk oleh konvolusi gravitasi dengan paket program matlab<sup>(R)</sup> dengan tampilan 3 dimensi. Pada model ini kemudian dilakukan derivatif radial dengan titik pusat derivatif tepat di pusat model.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

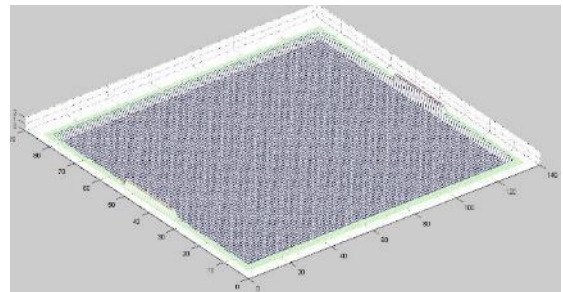
Model dibuat dengan variabel model yang didasarkan nilai riil yang ada di lapangan berupa: densitas batu candi, densitas soil penimbun candi, kedalaman water table dan porositas batuan sekitar water table.

Nilai densitas batu candi adalah 4 g/cc yang biasanya merupakan batuan beku. Densitas soil penimbun candi adalah 1 g/cc sehingga nilai kontras densitasnya 3 g/cc.

Kedalaman water table awal sebesar 15 meter, porositas batuan sekitar water table 20 %, dan densitas air pengisi pori sebesar 1 g/cc.

### Model Pagar

Model pertama adalah model pagar candi dengan kontras densitas 3 g/cc.



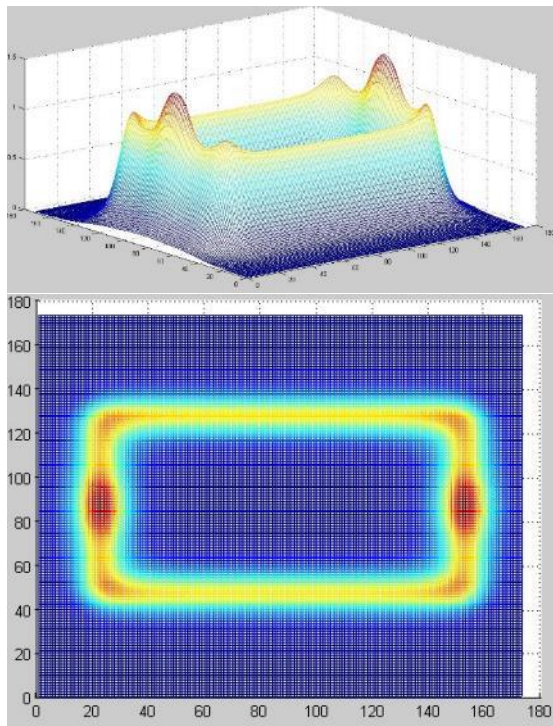
**Gambar 1.** Model Pagar Candi

Pagar tersusun dari batuan beku dengan tebal 3 meter dengan ketinggian 1 meter membentang dengan keliling 2 x 80 meter dan 2 x 130 meter. Pada sisi pendek pagar terdapat gerbang setinggi 2 meter dengan lebar 20 meter yang merupakan gerbang lebar untuk memasuki pagar.

Pada Gambar 2 bagian atas merupakan anomali gravitasi respon model pagar dengan penampakan 3 dimensi dan bagian bawah anomali yang sama dengan penampakan 2 dimensi.

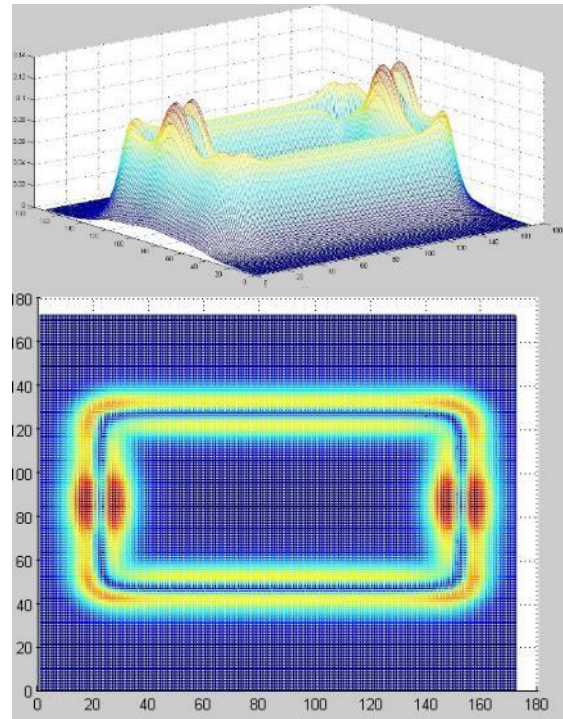
Gambar 3 bagian atas adalah anomali derivatif radial tampak 3 dimensi dan bagian bawah anomali derivatif radial tampak 2 dimensi. Batas vertikal kontras densitas

ditunjukkan oleh bagian puncak anomali derivatif, sedangkan pusat anomali yang merupakan bagian tengah dinding justru tidak tampak. Ini menunjukkan bahwa radial derivatif berpotensi untuk menganalisa secara kualitatif letak batas kontras densitas pada sebuah lapisan horizontal.



**Gambar 2.** Gambar atas adalah anomali tampak 3D dan bagian bawah anomali tampak 2D

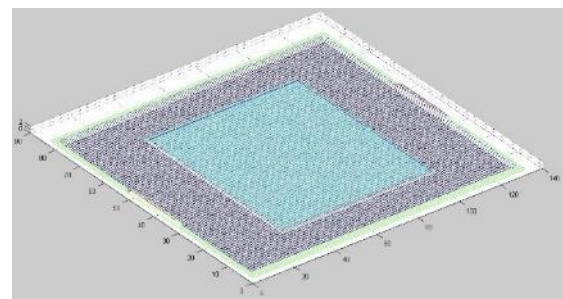
Secara visual penampakan 2 dimensi ledi mudah di analisis, pada penampakan ini posisi pagar lebih jelas terlihat.



**Gambar 3.** Gambar atas adalah anomali derivatif radial tampak 3D dan bagian bawah anomali derivatif radial tampak 2D

### Model Altar

Model yang kedua adalah model altar candi dengan densitas 4 g/cc.

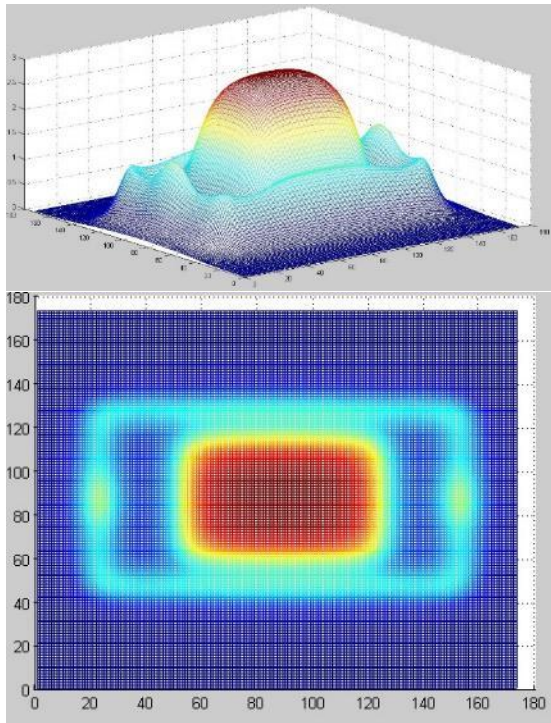


**Gambar 4.** Model Altar Candi

Densitas soil penimbun candi sebesar 1 g/cc sehingga kontras densitasnya 3 g/cc. Model altar adalah model pagar yang di tambah dengan altar yang terhampar di dalam pagar. Altar tersusun dari batuan beku dengan tebal 0,5 meter membentang dengan luas 50m x 70 m. Pada sisi pendek pagar terdapat gerbang setinggi 2 meter dengan lebar 20

meter yang merupakan gerbang lebar untuk memasuki altar.

Pada gambar 5 bagian atas merupakan anomali gravitasi respon model altar dengan penampakan 3 dimensi dan bagian bawah anomali altar yang sama dengan penampakan 2 dimensi. Anomali oleh pagar secara visual sedikit tenggelam oleh anomali bagian tengah altar.

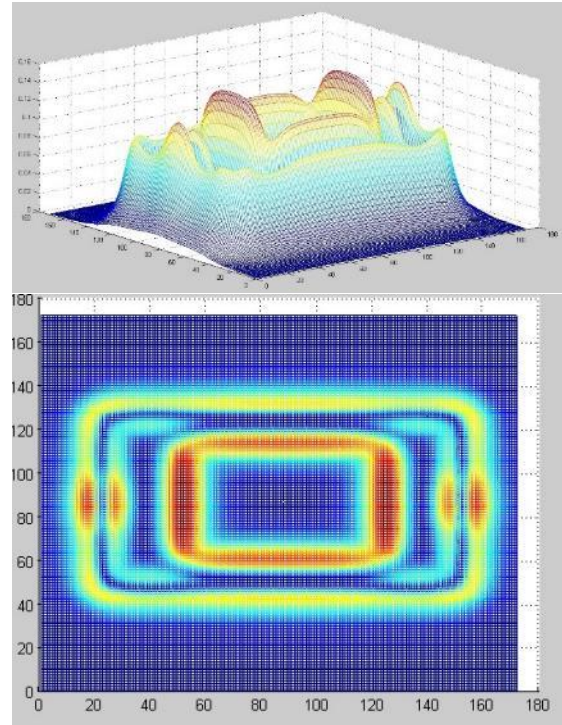


**Gambar 5.** Gambar atas adalah anomali tampak 3D dan bagian bawah anomali tampak 2D dari model Altar

Gambar 6 bagian atas adalah anomali derivatif radial dari model altar tampak 3 dimensi dan bagian bawah anomali derivatif radial dari model altar tampak 2 dimensi.

Batas vertikal kontras densitas ditunjukkan oleh bagian puncak anomali derivatif, sedangkan pusat anomali yang merupakan bagian tengah dinding dan bagian tengah altar justru tidak tampak. Ini menunjukkan hal yang sama bahwa radial derivatif berpotensi untuk menganalisa secara

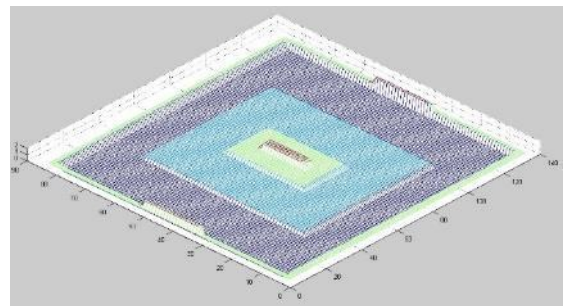
kualitatif letak batas vertikal dari kontras densitas.



**Gambar 6.** Gambar atas adalah anomali derivatif radial tampak 3D dan bagian bawah anomali derivatif radial tampak 2D dari model altar

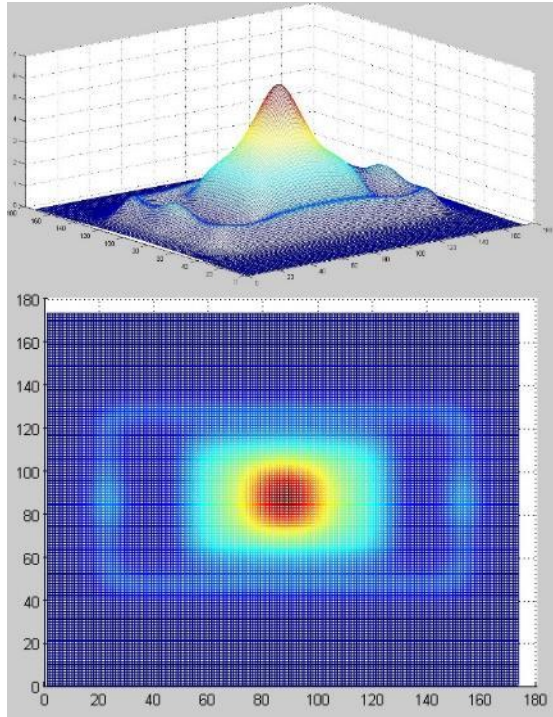
### Model Candi

Model yang ketiga adalah model altar candi dengan densitas 4 g/cc. Densitas soil kering penimbun candi sebesar 1 g/cc, sehingga kontras densitasnya antara material batu candi dengan soil sekitarnya sebesar 3 g/cc.



**Gambar 7.** Model Candi

Model candi adalah model altar yang di tambah dengan sebangkah batu candi yang berada di tengah altar. Candi tersusun dari batuan beku ditengah altar yang berundak seperti ditunjukkan oleh gambar 7.

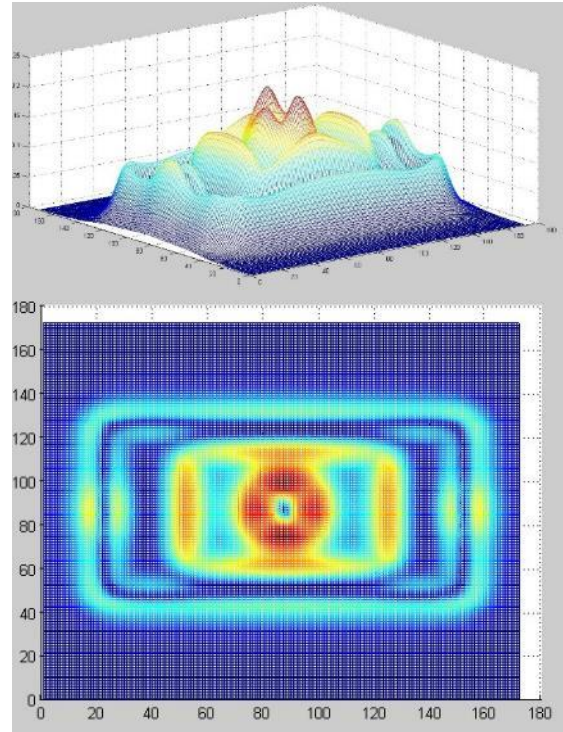


**Gambar 8.** Gambar atas adalah anomali tampak 3D dan bagian bawah anomali tampak 2D dari model Candi

Pada gambar 8 bagian atas merupakan anomali gravitasi respon model candi dengan penampakan 3 dimensi dan bagian bawahnya 2 dimensi

Gambar 9 bagian atas adalah anomali derivatif radial dari model candi tampak 3 dimensi dan bagian bawah anomali derivatif radial dari model tersebut tampak 2 dimensi.

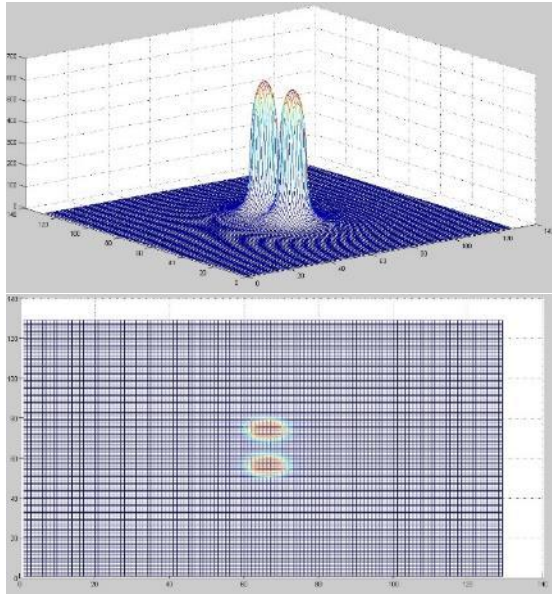
Batas vertikal kontras densitas ditunjukkan oleh bagian puncak anomali derivatif, sedangkan pusat anomali yang merupakan bagian tengah dinding dan bagian tengah altar dan candi justru tidak tampak.



**Gambar 9.** Gambar atas adalah anomali derivatif radial tampak 3D dan bagian bawah anomali derivatif radial tampak 2D dari model candi

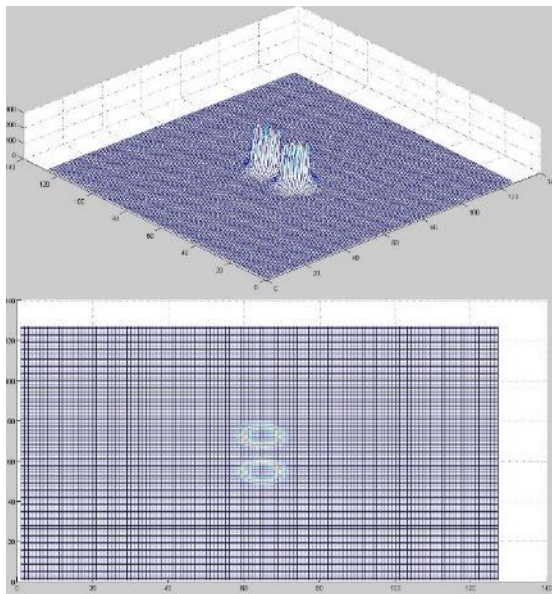
### Model Water Table

Model yang keempat adalah model water table. Model water table adalah model kenaikan muka air tanah antar waktu yang merupakan anomali gravitasi 4 Dimensi. Model ini berada pada area seluas 680 hektar dengan panjang sisi 2,6 km dengan grid berupa matriks berukuran 261 x 261 dengan interval grid 10 meter. Model ini adalah perubahan muka air tanah setinggi 3 meter berbentuk dua buah lingkaran dengan diameter masing-masing 150 meter dengan jarak kedua pusat lingkaran 6,5 km. Porositas batuan sekitar water table 20 %, dan densitas air pengisi pori sebesar 1 g/cc, sehingga kontras densitas 4 dimensi terhitung sebesar 0,8 g/cc.



**Gambar 10.** Gambar atas adalah anomali tampak 3D dan bagian bawah anomali tampak 2D dari model water table

Pada gambar 10 bagian atas merupakan anomali gravitasi respon model kenaikan water table dengan penampakan 3 dimensi dan bagian bawahnya 2 dimensi.



**Gambar 11.** Gambar atas adalah anomali derivatif radial tampak 3D dan bagian bawah anomali derivatif radial tampak 2D dari model water table

Gambar 11 bagian atas adalah anomali derivatif radial dari model water table yang

tampak secara 3 dimensi dan bagian bawah anomali derivatif radial dari model tersebut yang tampak 2 dimensi.

Batas vertikal kontras densitas oleh kenaikan water table sangat jelas ditunjukkan oleh kedua gambar pada gambar 11. Pengetahuan dan analisa yang baik tentang perubahan water table akan sangat membantu analisa noise dan mengurangi resiko kesalahan dalam interpretasi anomali gravitasi 4 dimensi.

### PENUTUP

Derivatif Radial adalah turunan nilai anomali gravitasi terhadap jarak horizontal dengan arah radial dari suatu titik tertentu. Dari beberapa model sintesis lapisan tunggal yang telah dibuat yaitu model berupa artifak candi dan perubahan water table antar waktu kemudian di hitung anomali gravitasnya secara forward dan kemudian di lakukan derivatif radial , dari sini kita dapat mengetahui batas vertikal suatu lapisan tunggal secara kualitatif.

Derivatif Radial pada lapisan tunggal berupa artifak candi berguna untuk menentukan batas dinding-dinding candi, sehingga analisis titik penggalian artifak dapat di tentukan dengan lebih baik.

Radial derivatif pada anomali perubahan *water table* antar waktu berguna untuk memilah anomali dangkal yang nilainya cukup besar. Keunggulan metode *derivative radial* adalah tidak diperlukannya pengukuran ulang jika data gravitasi sudah pernah diukur sebelumnya. Dengan kata lain metode ini merupakan software untuk mengkaji ulang tinjauan analisis yang mungkin telah dilakukan sebelumnya.

Untuk mengenali lebih baik batas vertikal suatu sumber anomali gravitasi yang telah diketahui pusat sumbernya, maka perlu



dilakukan penelitian dan studi tentang kemungkinan dapat dibuatnya second radial derivative dari suatu respon nilai gravitasi. Respon second radial derivative ini harus dikembangkan menjadi bentuk visual yang tegas dari batas vertical suatu kontras densitas.

*Fundamental theory and principles of petrophysics*, Pergamon.

### REFERENSI

- Akasaka, C., & Nakanishi, S. (2000, January). Evaluation of Microgravity Background at The Undisturbed Oguni Geothermal Field, Japan. In *Proceedings of the Twenty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California*.
- Eiken, O., Zumberge, M., Stenvold, T., Sasagawa, G., & Nooner, S. (2004). Gravimetric monitoring of gas production from the Troll field. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2004* (pp. 2243-2246). Society of Exploration Geophysicists.
- Grand, F.S. & West, G.F. (1965). *Interpretation Theory injection Applied Geophysics*. McGraw Hill Inc.
- Gettings, P., Harris, R. N., Allis, R. G., & Chapman, D. S. (2002). Gravity signals at the Geysers geothermal system. *Transactions-Geothermal Resources Council*, 425-430.
- Kadir, W.G.A. (1996). *Dekonvolusi anomali gayaberat bouguer dan derivatif vertikal orde dua dengan menggunakan persamaan dasar potensial, studi kasus: P. Sumatra*, Fakultas Pascasarjana, ITB.
- Reynolds, J. M. (1997). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons.
- Schon, J.H. (1995). *Seismic Exploration, Physical Properties of Rock; Fundamental theory and principles of petrophysics*, Pergamon.
- Zuhdi, M. (2004). *Aplikasi Gaya Berat Mikro 4D Untuk Pemantauan Air Injeksi Pada Reservoir Minyak, Studi Kasus: Lapangan Minyak X*. Thesis Magister, ITB, 2004.
- Zuhdi, M., Taufik, M., Sutrio, S., & Ayub, S. (2019). Pemodelan Sesar Pasca Gempa Dengan Inversi Data Gravitasi Time Lapse. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 5(1), 156-161.
- Zuhdi, M., & Setiawan, A. (2015). Pemodelan Inversi Gravitasi 4D Injeksi Gas pada Reservoir Minyak. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 1(2), 113-117.