



Moving Average Filter untuk Memisahkan Efek Dangkal Anomali Gravitasi Time Lapse

^{1*}Muhammad Zuhdi, ²Syahrial Ayub, ³Muhammad Taufik, ⁴S. Syamsuddin, ⁵Bakti Sukrisna

^{1, 2, 3}Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62. Mataram 83115, Indonesia.

^{4, 5}Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62. Mataram 83115, Indonesia

Email Penulis Korespondensi: mzuhdi@unram.ac.id

Received: September 2019; Revised: October 2019; Published: December 2019

Abstract

[Title: Moving Average Filter for Time Lapse Gravity Anomaly Separation]. Interpretation of time-lapse gravity anomaly due to fluid injection in the reservoir is difficult when it mixed with shallow source anomalies. To solve the kind of problem, anomaly separation is performed with the method of Moving Average Filter. This study was conducted to obtain an effective method to separate the gravity anomaly of shallow sources on time-lapse gravity anomaly. Trials are conducted on anomaly models derived from reservoirs with three distinct depths that are 300, 600 and 900 meters. This forward model is then mixed with gravitational anomaly from the shallow source obtained from the field data. The mixed anomaly is then separated by a Moving Average filter. Results show that Moving Average filters can separate the shallow effect from the deep source anomaly and are effective up to a depth of 900 meters. The research is also beneficial for classroom learning in the computer programming class based on Matlab.

Keywords: Filtering; Gravity anomaly; Timelapse

Abstrak

Interpretasi anomali gravitasi *time lapse* akibat injeksi fluida pada reservoir sulit dilakukan apabila tercampur dengan anomali dangkal. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan pemisahan anomaly dengan metode *Moving Average Filter*. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan metode yang efektif untuk memisahkan anomali gravitasi sumber dangkal pada anomaly gravitasi *time lapse*. Uji coba dilakukan pada model anomaly yang berasal dari reservoir dengan tiga kedalaman yang berbeda-beda yaitu 300, 600 dan 900 meter. Model *forward* ini kemudian dikotori dengan anomali gravitasi dari sumber dangkal yang didapatkan dari data lapangan. Anomali yang tercampur tersebut kemudian dipisahkan dengan *Moving Average filter*. Hasil menunjukkan bahwa *Moving Average filter* dapat memisahkan efek dangkal dari sumber dalam dan efektif hingga kedalaman 900 meter. Penelitian ini juga bermanfaat untuk pembelajaran pemrograman komputer berbasis Matlab.

Kata kunci: Pemisahan; Anomali gravitasi; Timelapse

How to Cite: Zuhdi, M., Ayub, S., Taufik, M., Syamsuddin., & Sukrisna, B. (2019). *Moving Average Filter untuk Memisahkan Efek Dangkal Anomali Gravitasi Time Lapse*. *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*, 7(2), 138-147. doi: <https://doi.org/10.33394/j-ps.v7i2.1766>



<https://doi.org/10.33394/j-ps.v7i2.1766>

Copyright© 2019, Zuhdi et al

This is an open-access article under the [CC-BY License](#).



PENDAHULUAN

Rapat massa adalah sumber utama medan potensial dari anomali gayabarat 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 (Zuhdi *et al.*, 2018).

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 (Zuhdi *et al.*, 2017)

Anomali gravitasi 4D terukur adalah merupakan anomali gravitasi yang berasal dari berbagai sumber baik dalam maupun dangkal, sedangkan interpretasi anomali gravitasi harus sesuai dengan anomali dari kedalaman target yang diinginkan. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan pemisahan anomaly dengan metode *Moving Average Filter*. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan metode yang efektif untuk memisahkan anomali gravitasi sumber dangkal pada anomaly gravitasi time lapse. Anomali gravitasi dari sumber yang dalam memiliki panjang gelombang besar sedangkan anomali gravitasi dari sumber dangkal memiliki panjang gelombang kecil. Dari sifat inilah maka pemisahan efek dangkal dapat dilakukan.

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 Persamaan 1.

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

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

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

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

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

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 Gall = 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 (Δt) diberikan oleh :

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

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

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

Nilai $\Delta\rho$ tergantung pada porositas dan fluida pengisi pori (Supriyadi *et al.*, 2017) sedangkan 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.

Anomali gravitasi 4D terukur dilapangan 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_{obs} anomali efek dangkal adalah g_s dan anomali dalam adalah g_d maka dapat dituliskan :

$$G_{obs} = g_s + g_d \quad (8)$$

Dari perbedaan panjang gelombang inilah efek dangkal dapat dipisahkan dari anomali dalam. Pemisahan efek dangkal dapat dilakukan dengan moving average filter (Indriana *et al.*, 2018), yaitu mengaplikasikan konvolusi 2D (dua dimensi) pada gravitasi terukur. Pemfilteran dengan cara ini dikenal dengan *Moving Average Filter* yang didasarkan pada *Green equivalent layer*.

Analisis data gravitasi sering dilakukan dengan derivatif horizontal maupun derivatif vertikal untuk mempertajam anomali (Wahyudi *et al.*, 2016; Tachtum *et al.*, 2011; Nurwidyanto *et al.*, 2014; Oruc, 2010; & Pasteka *et al.*, 2017). Pemisahan efek dangkal pada injeksi fluida pada reservoir sering mengalami hambatan karena keterbatasan informasi kondisi fisis reservoir (Supriyadi *et al.*, 2017). Pemisahan anomali dangkal dari anomali dalam juga dapat dilakukan dengan *low pass filter* (Kumar *et al.*, 2019).

Kaftan *et al.* (2010) menunjukkan keunggulan metode pemfilteran dengan *finite element*, sedangkan Rokhzadi (2012) mencoba menggunakan *band pass filter* untuk pemisahan anomali. Penelitian tersebut mencoba memodelkan gravitasi *time lapse* pada injeksi fluida reservoir dan cara memisahkan efek dangkal dari anomali yang berasal dari reservoir. Identifikasi pergerakan fluida dalam reservoir minyak dan gas pernah juga dilakukan di Kamerun, Nigeria (Vasilevsky & Dashevsky, 2015). Pemisahan anomali gravitasi 3D hingga kedalaman mental juga pernah dilakukan sebelumnya (Liu *et al.*, 2018).

Permasalahan pada interpretasi anomali gravitasi *time lapse* adalah bahwa anomali gravitasi dari sumber dalam tercampur dengan anomali sumber dangkal sehingga perlu dilakukan pemisahan. Pemisahan anomali bisa dilakukan dengan metode pemisahan spektrum (Xu *et al.*, 2009). Penelitian tentang pemisahan efek dangkal dengan *moving average filter* pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu (Pei, *et al.*, 2012; Shandini & Tadjou, 2012; Indriana *et al.*, 2018) akan tetapi tidak dilakukan pada gravitasi *time lapse*. Pada penelitian ini pemisahan anomali dengan *moving average filter* dilakukan pada data gravitasi 4D (*time lapse*). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas pemisahan anomali gravitasi dengan *moving average filter* melalui data sintetis yang didapatkan dengan pemodelan ke depan (*forward modelling*).

METODE

Penelitian ini merupakan penerapan model berskala Laboratorium pada data real lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan filter untuk memisahkan efek dangkal dari anomali gravitasi 4D. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras yang diperlukan adalah Komputer dengan spesifikasi sebagai berikut: Processor Pentium® Dual Core @ 2.1 GHz, Memory (Ram) 1 GB, Hard Disk 160 GB VGA Card 64 MB, CD ROM Drive. Penelitian dilakukan di Lab Fisika Dasar Universitas Mataram. Perangkat lunak yang diperlukan untuk penelitian ini adalah : Matlab 7.1® digunakan untuk membuat *forward modelling* dari pengurangan massa hasil injeksi dan proses produksi. Program ini juga digunakan untuk menampilkan peta 3 dimensi, Ms Excel® digunakan untuk melakukan berbagai koreksi data gayaberas di lapangan berupa koreksi drift dan koreksi pasang surut, Corel Draw® digunakan untuk mengedit dan menggabungkan tampilan grafis dari berbagai perangkat lunak lain.

Model dibuat dengan variabel model yang didasarkan nilai riil yang ada di lapangan berupa: kedalaman reservoir, saturasi minyak, porositas batuan reservoir, densitas gas, densitas minyak dan densitas gas injeksi. Area yang digunakan pada model ini seluas 900 hektar dengan bentuk persegi dengan panjang sisi-sisinya 3 km. Interval grid yang digunakan adalah 25m, sehingga respon model berupa matriks persegi berukuran 121 x 121. *Gridding*

dilakukan dengan dasar pemikiran bahwa medan gravitasi adalah medan kontinyu yang memiliki nilai di setiap tempat (Dermawan, 2010).

Kedalaman model divariasi menjadi 3 kedalaman yang berbeda. Dari ketiga kedalaman ini akan didapatkan 3 respon model. Volume gas yang diinjeksikan pada tiap-tiap model adalah sama dengan asumsi laju injeksi perhari dari ketiga gas adalah konstan dengan selang waktu penginjeksian 1 tahun.

Pada respon model kemudian diterapkan transformasi Fourier untuk mengetahui panjang gelombang tiap model. Nilai panjang gelombang ini akan bermanfaat untuk menentukan filter yang harus digunakan untuk memisahkan anomali efek dangkal 4D riil di lapangan. Respon model juga akan diterapkan pada data anomali 4D riil untuk mengetahui respon injeksi model terhadap data riil di lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model dibuat dengan variabel model yang didasarkan nilai riil yang ada di lapangan berupa: kedalaman reservoir, saturasi minyak, porositas batuan reservoir, densitas gas, densitas minyak dan densitas gas injeksi.

Ada 3 model reservoir dengan kedalaman berbeda. Model pertama dengan kedalaman 300 m dengan volume injeksi $7.300.000 \text{ m}^3$. Model kedua dengan kedalaman 600 m dengan volume injeksi $7.300.000 \text{ m}^3$. Model ketiga dengan kedalaman 900 m dengan volume injeksi $7.300.000 \text{ m}^3$. Nilai volume injeksi didasarkan pada laju injeksi gas sebesar 20.000 m^3 perhari, sehingga dalam selang waktu pengukuran gravitasi 4D 1 tahun didapatkan volume sebesar $7.300.000 \text{ m}^3$.

Selang waktu 1 tahun didasarkan pada kenyataan bahwa pengukuran nilai gravitasi 4D menghendaki kesamaan muka air tanah yang sama. Perbedaan muka air tanah pada waktu pengukuran dapat mengakibatkan undulasi nilai hingga puluhan mikrogal. Untuk alasan tersebut pengukuran gravitasi 4D dilakukan pada musim yang sama atau bulan yang sama sehingga dibutuhkan periode sekitar 1 tahun.

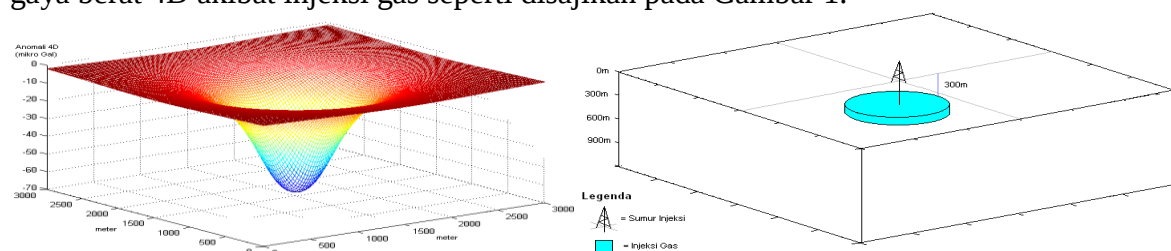
Area yang digunakan pada model ini seluas 900 hektar dengan bentuk persegi dengan panjang sisi-sisinya 3 km. Luas ini cukup baik untuk kedalaman anomali gravitasi hingga sekitar 1km. Interval grid yang digunakan adalah 25 m, grid pertama pada posisi 0 m dan grid terakhir pada posisi 3000 m. Dari ukuran grid diatas respon model berupa matriks persegi berukuran 121×121 .

Respon Model

Model pertama dengan kedalaman reservoir 300 m dengan volume injeksi gas $7.300.000 \text{ m}^3$. Model didasarkan pada asumsi bahwa fluida pengisi pori batuan dengan densitas fluida 0,9 gram/cc seluruhnya digantikan oleh gas dengan densitas 0 gram/cc. Anomali gayabarat 4D dari respon model memiliki nilai hingga -70 mikroGal.

Respon Model 1

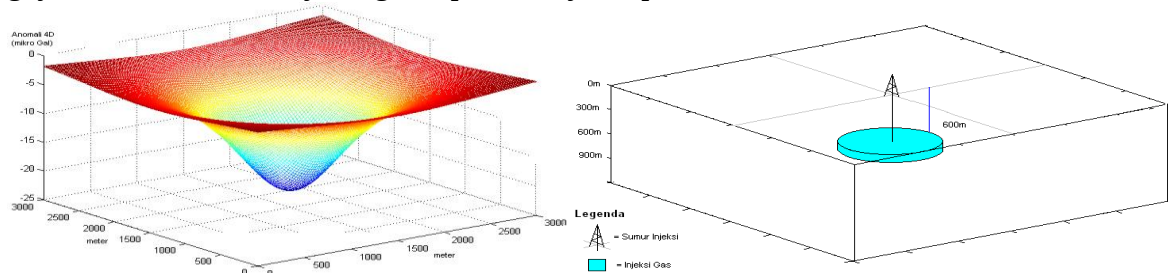
Anomali gayabarat 4D dari respon model 1 memiliki kisaran -4 mikroGal hingga -70 mikroGal. Anomali terendah pada model ini berada tepat dibawah sumur bor (pusat injeksi gas) yang mencapai nilai minimum -70 mikroGal. Respon anomali pada tepi matriks bernilai -4 mikroGal. Gambar 1 menunjukkan injeksi gas pada reservoir model 1 dan respon anomali gaya berat 4D akibat injeksi gas seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Injeksi gas pada reservoir model 1 dan respon anomali gaya berat 4D akibat injeksi gas.

Respon Model 2

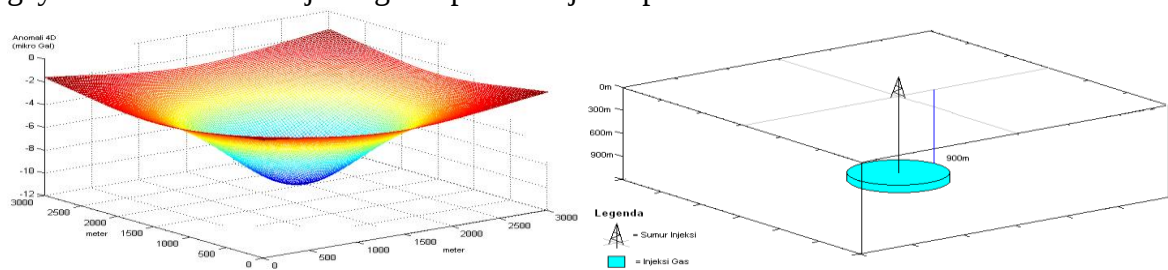
Anomali gayabarat 4D dari respon model 2 memiliki kisaran -3 mikroGal hingga -23 mikroGal. Anomali terendah pada model ini berada tepat dibawah sumur bor (pusat ijeksi gas) yang mencapai nilai minimum -23 mikroGal. Respon anomali pada tepi matriks bernilai -3 mikroGal. Gambar 2 menunjukkan injeksi gas pada reservoir model 2 dan respon anomali gaya berat 4D akibat injeksi gas seperti disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Injeksi gas pada reservoir model 2 dan respon anomali gaya berat 4D akibat injeksi gas.

Respon Model 3

Anomali gayabarat 4D dari respon model 3 memiliki kisaran -3 mikroGal hingga -11 mikroGal. Anomali terendah pada model ini berada tepat dibawah sumur bor (pusat ijeksi gas) yang mencapai nilai minimum -11 mikroGal. Respon anomali pada tepi matriks bernilai -4 mikroGal. Gambar 4 menunjukkan injeksi gas pada reservoir model 3 dan respon anomali gaya berat 4D akibat injeksi gas seperti disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Injeksi gas pada reservoir model 3 dan respon anomali gaya berat 4D akibat injeksi gas.

Transformasi Fourier pada Model

Pada respon model kemudian diterapkan transformasi Fourier untuk mengetahui panjang gelombang tiap model. Nilai panjang gelombang ini akan bermanfaat untuk menentukan filter yang harus digunakan untuk memisahkan anomali efek dangkal 4D riil dilapangan.

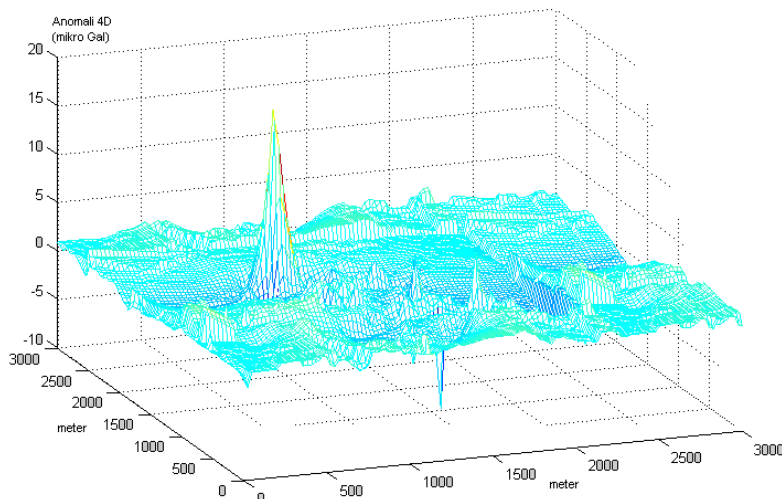
Respon model menunjukkan bahwa model 1 memiliki panjang gelombang sekitar 500 meter, model 2 memiliki panjang gelombang sekitar 1000 meter, model 1 memiliki panjang gelombang sekitar 3000 meter.

Hasil ini menunjukkan pada kita bahwa data 4D riil dilapangan harus mengalami penapisan (*filtering*) untuk memisahkan anomali yang berasal dari injeksi gas dan anomali efek dangkal. Model 1 memiliki panjang gelombang sekitar 500 meter, ini berarti data anomali gayabarat 4D lapangan untuk reservoir berkedalaman 300m harus difilter dengan filter sepanjang 500 meter. Model 2 memiliki panjang gelombang sekitar 1000 meter, ini berarti data anomali gayabarat 4D lapangan untuk reservoir berkedalaman 600m harus difilter dengan filter sepanjang 1000 meter. Model 3 memiliki panjang gelombang sekitar 3000 meter, ini berarti data anomali gayabarat 4D lapangan untuk reservoir berkedalaman 900m harus difilter dengan filter sepanjang 3000 meter.

Penerapan Anomali Model pada Data Riil

Respon model juga akan diterapkan pada data anomali 4D riil untuk mengetahui respon injeksi model terhadap data riil dilapangan. Dari hasil ini akan dapat dibayangkan bagaimana data riil lapangan akibat injeksi gas pada reservoir.

Data lapangan diambil dari Lapangan Minyak X di Nangroe Aceh Darussalam. Data ini merupakan anomali gayaberat 4D dengan selang waktu pengambilan data 1 tahun. Data ini hanya merupakan nilai anomali gayaberat 4D akibat efek dangkal. Nilai anomali ini mencapai kisaran 20 mikroGal hingga -15 mikroGal. Gambar 4. menunjukkan anomali gayaberat riil lapangan sebelum dipengaruhi oleh anomali gayaberat hasil injeksi gas seperti disajikan Gambar 4.



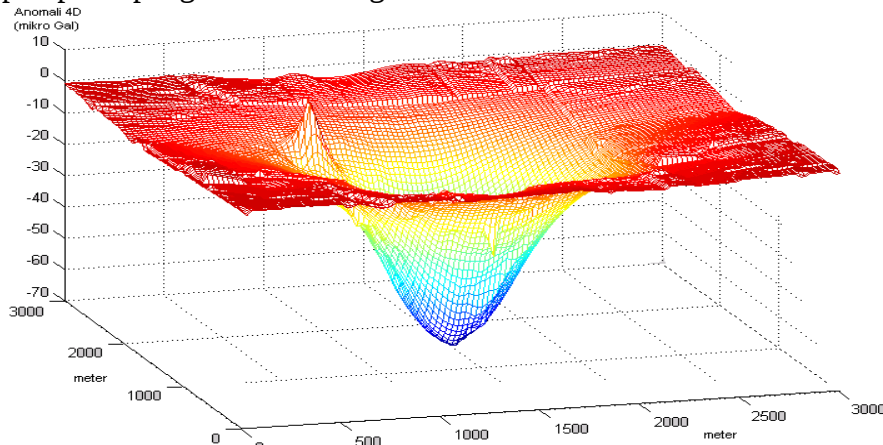
Gambar 4. Anomali gayaberat riil lapangan

Penerapan Anomali Model 1 pada Data Riil

Gambar 5 menunjukkan anomali 4D respon injeksi model 1 terhadap data riil dilapangan. Dari gambar tersebut tampak jelas bahwa anomali 4D model sangat berpengaruh terhadap data riil lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa injeksi gas pada reservoir brkedalaman 300 meter dapat dengan mudah dipantau menggunakan pengukuran gayaberat mikro.

Anomali gayaberat 4D dari respon model 1 memiliki kisaran -4 mikroGal hingga -70 mikroGal, sedangkan anomali gayaberat lapangan memiliki kisaran 20 hingga -15 mikroGal. Cekungan anomali gayaberat 4D sangat tampak terlihat (Gambar 6).

Anomali gayaberat 4D ini dapat dipisahkan dari efek dangkal dengan menggunakan filter dengan panjang gelombang sekitar 500 meter. Tentu saja hasil *moving average filter* tersebut tidak akan sama dengan anomali respon model, namun diharapkan akan terdapat penipisan pengaruh efek dangkal.



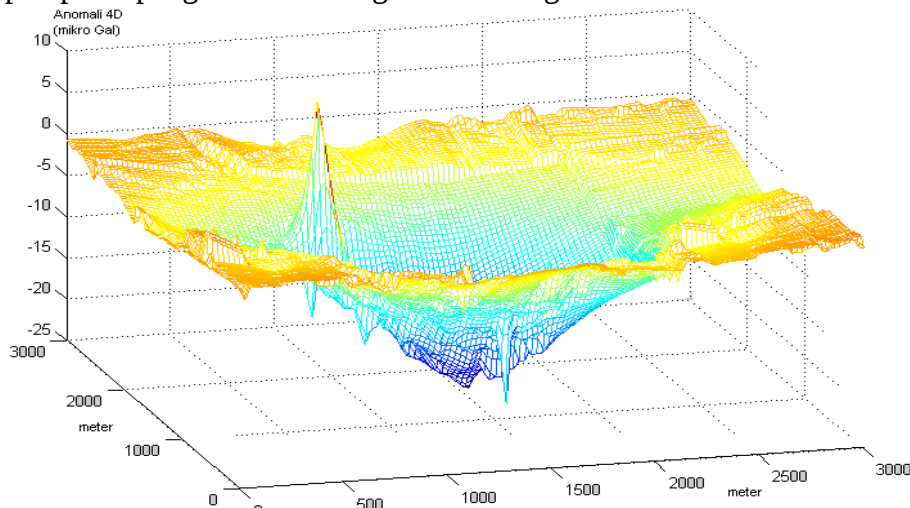
Gambar 5. Anomali 4D respon injeksi model 1 terhadap data riil dilapangan

Penerapan Anomali Model 2 pada Data Riil

Gambar 6. menunjukkan anomali 4D respon injeksi model 2 terhadap data riil lapangan. Dari gambar tersebut tampak jelas bahwa anomali 4D model masih berpengaruh terhadap data riil lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa injeksi gas pada reservoir berkedalaman 600 meter masih dapat dipantau menggunakan pengukuran gayaberat mikro.

Anomali gayaberat 4D dari respon model 2 memiliki kisaran -3 mikroGal hingga -23 mikroGal, sedangkan anomali gayaberat lapangan memiliki kisaran 20 hingga -15 mikroGal. Cekungan anomali gayaberat 4D sangat tampak terlihat pada Gambar 6.

Anomali gayaberat 4D ini dapat dipisahkan dari efek dangkal dengan menggunakan filter dengan panjang gelombang sekitar 1000 meter. Hasil *moving average filter* tersebut tidak akan sama persis dengan anomali respon model, namun diharapkan akan terjadi penipisan pengaruh efek dangkal secara signifikan.

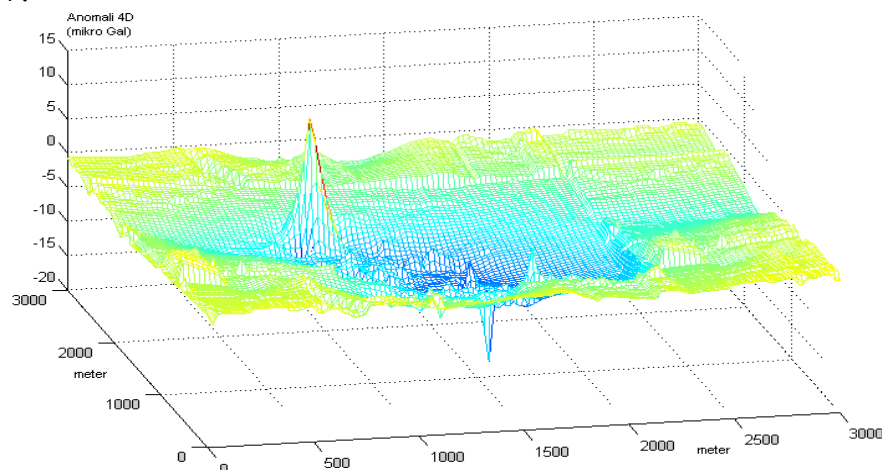


Gambar 6. Anomali 4D respon injeksi model 2 terhadap data riil lapangan

Penerapan Anomali Model 3 pada Data Riil

Gambar 7 menunjukkan anomali 4D respon injeksi model 3 terhadap data riil lapangan. Dari gambar tersebut tampak bahwa anomali 4D model masih memberi pengaruh terhadap data riil lapangan walaupun tidak terlalu mencolok. Cekungan anomali tidak tampak jelas seperti model 1 dan 2. Hal ini menunjukkan bahwa injeksi gas pada reservoir berkedalaman 900 meter susah dipantau menggunakan pengukuran gayaberat mikro.

Anomali gayaberat 4D dari respon model 3 memiliki kisaran -3 mikroGal hingga -11 mikroGal, sedangkan anomali gayaberat lapangan memiliki kisaran 20 hingga -15 mikroGal. Cekungan anomali gayaberat 4D terlihat tidak mencolok lagi seperti disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Anomali 4D respon injeksi model 3 terhadap data riil lapangan

Anomali gayaberat 4D ini dapat dipisahkan dari efek dangkal dengan menggunakan filter dengan panjang gelombang sekitar 3000 meter. Hasil *moving average filter* tersebut tidak akan sama persis dengan anomali respon model, bahkan diperkirakan *moving average filter* tidak mampu menapis anomali efek dangkal karena kecilnya anomali model dari injeksi berkedalaman 900 meter ini.

Penelitian ini sangat bermanfaat untuk pembelajaran pada mata kuliah pemrograman komputer, mengingat kajian empiris terkait integrasi hasil penelitian ini belum ditemukan. Pada mata kuliah tersebut digunakan program berbasis MatLab untuk menyelesaikan masalah medan dalam fisika. Tahapan pembelajaran harus diberikan secara berurutan yaitu dasar pemrograman MatLab, Analisis Runtun Waktu, Konvolusi Digital dan *Moving Average Filter*. Integrasi media pembelajaran berbasis media elektronik dalam pembelajaran sangat penting dilakukan (Zainudin & Pambudi, 2019). Septaria et al. (2019) menyatakan bahwa pembelajaran yang berorientasi pada aktivitas pembelajaran dengan pemberian stimulus berupa video, animasi, gambar, dan media-media pembelajaran dapat meningkatkan keterampilan proses sains siswa. Peserta didik saat ini menggunakan peralatan teknis modern sejak usia dini (Gutnik et al., 2011; Rideout, 2011) sehingga penggunaan teknologi dalam pembelajaran tidak menjadi masalah (Stosic, 2015).

KESIMPULAN

Anomali gayaberat 4D dari respon model 1 memiliki kisaran -4 mikroGal hingga -70 mikroGal. Anomali gayaberat 4D dari respon model 2 memiliki kisaran -3 mikroGal hingga -23 mikroGal. Anomali gayaberat 4D dari respon model 3 memiliki kisaran -3 mikroGal hingga -11 mikroGal. Respon anomali gayaberat 4D dari model 1 memiliki panjang gelombang sekitar 500 meter, model 2 memiliki panjang gelombang sekitar 1000 meter, dan model 3 memiliki panjang gelombang sekitar 3000 meter. Metode gaya berat mikro 4D (*time lapse*) dapat dipisahkan dengan baik melalui *moving average filter* dan terbukti efektif hingga kedalaman 900 meter.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui efektivitas metode selain *moving average filter* untuk reservoir berkedalaman 1000 meter atau lebih. Dengan penelitian lanjutan ini keterbatasan *moving average filter* untuk kedalaman reservoir lebih dari 900 meter dapat teratasi. Terkait dengan pembelajaran, perlu diintegrasikan media pembelajaran yang relevan untuk mempermudah transfer informasi dan aktualisasi materi ajar fisika yang bersifat mikroskopik seperti hasil penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak menerima hibah khusus dari agensi pendanaan mana pun di sektor publik, komersial, atau nirlaba.

DAFTAR PUSTAKA

- Dermawan, A. (2010). Rekonseptualisasi dan Pemrograman Reduksi Data Gravitasi Serta Pemetaan ke Koordinat Teratur (Gridding) Menggunakan Bahasa Pemrograman Visual Basic. *Skripsi*. MIPA UGM, Yogyakarta.
- Gutnik, A.L., M. Robb, L. Takeuchi, & J. Kotler. (2011). *Always Connected: The New Digital Media Habits of Young Children*. New York: The Joan Ganz Cooney Center at Sesame Workshop.
- Indriana, R. D., Brotospito, K. S., Setiawan, A., & Tarcisius, A. (2018). A Comparison Of Gravity Filtering Methods Using Wavelet Transformation And Moving Average (A Study Case Of Pre And Post Eruption Of Merapi In 2010 Yogyakarta, Indonesia), *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG)*, 6(3), 44–57. <https://doi.org/10.9790/0990-0603024457>

- Kaftan, I., Şalk, M., & Sari, C. (2010). Performance of the finite element method for regional - residual separation on gravity method, *Journal of The Balkan Geophysical Society*, 13(2), 9-20. Retrieved from: www.balkangeophysoc.gr/online-journal/2010_V13/No2_Dec2010/JBGS_Vol_13_No2_Dec_2010_p09-20_Kaftan_et_all.pdf
- Kumar, K. S., Rajesh, R., & Tiwari, R. K. (2019). Regional and residual gravity anomaly separation using the singular spectrum analysis-based low pass filtering: a case study from Nagpur, India. *Pure Appl. Geophys*, 1-14. doi: <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02289-y>
- Liu, K., Hao, T., Yang, H., Wen, B., Hu, W., He, E., & Xu, Y. (2018). Journal of Asian Earth Sciences 3D gravity anomaly separation method taking into account the gravity response of the inhomogeneous mantle, *Journal of Asian Earth Sciences*, 163(Setember 2018), 212–223. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.06.006>
- Nurwidyanto, M.I., Brotopuspito, K.S., Sismanto., & Waluyo. (2014). The Sub Surface Modeling of Opak Fault Yogyakarta Region with Inversion Method of Gravity Data. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, 14(6), 19-26. Retrieved from: ijens.org/Vol_14_I_06/146206-7171-IJBAS-IJENS.pdf
- Oruc, B. (2010). Edge Detection and Depth Estimation Using a Tilt Angle Map from Gravity Gradient Data of the Kozaklı-Central Anatolia Region, Turkey. *Pure Appl. Geophys*, 168(10), 1-12. doi: <https://doi.org/10.1007/s00024-010-0211-0>
- Pasteka, R., Zahorec, P., Kusnirak, D., Bosansky, M., Papco, J., Szalaiova, V., Krajnak, M., Marusiak, I., Mikuska, J., & Bielik, M. (2017). High resolution Slovak Bouguer gravity anomaly map and its enhanced derivative transformations: new possibilities for interpretation of anomalous gravity fields. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 47(2), (81–94). doi: <https://doi.org/10.1515/congeo-2017-0006>
- Pei, Y., Wu, Y. G., & Jia, D. C. (2012). Gravity Anomaly Separation based on Bidimensional Empirical Mode Decomposition. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(21), 4227-4236. Retrieved from: <https://maxwellsci.com/print/rjaset/v4-4227-4236.pdf>
- Rideout, V. (2011). *Zero to Eight: Children's Media Use in America*. San Francisco, CA: Common Sense Media.
- Rokhzadi, H., (2012), Separation of surface and deep geological structures by application of band pass filter and statistical comparison with other methods. *Life Science Journal*, 9(3), 950-953. Retrieved from: <https://maxwellsci.com/print/rjaset/v4-4227-4236.pdf>
- Supriyadi., Santoso, D., Gunawan, W., Sarkowi., & Gunawan, D. (2017). Separation method of anomaly source : The time-lapse microgravity data. In *AIP Conference Proceedings* 1862, 030162. Doi: <https://doi.org/10.1063/1.4991266>
- Septaria, K., Dewanti, B., & Habibullo, M. (2019). Implementasi Metode Pembelajaran Spot Capturing Pada Materi Pemanasan Global untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains. *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*, 7(1), 27-37. doi: <https://doi.org/10.33394/j-ps.v0i0.1379>
- Shandini, Y., & Tadjou, J. M. (2012). Interpreting gravity anomalies in south Cameroon, central Africa. *Earth Sciences Research Journal*, 16(1), 5-9. Retrieved from: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/esrj/article/view/33591/33559>
- Stošić, L. (2015). The importance of educational technology in teaching. (*IJCRSEE*) *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education*. 3(1), 111-114. Retrieved from: <http://www.ijcrsee.com/index.php/ijcrsee/article/view/122>
- Tatchum, C.N., Tabod, T. C., Koumetio, F., & Manguelle-Dicoum, E. (2011). A Gravity Model Study for Differentiating Vertical and Dipping Geological Contacts with Application to a Bouguer Gravity Anomaly Over the Fouban Shear Zone, Cameroon. *Geophysica*, 47(1–2), 43–55. Retrieved from:

- www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2011_47_1-2_043_noutchogwe.pdf
- Vasilevskiy A.N., & Dashevsky, Y.A. (2015). Gravity monitoring at oil and gas fields: data inversion and errors. *Russian Geology and Geophysics*, 56(5), 762–772. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.04.007>
- Wahyudi. E. J., Kynantoro, Y., & Alawiyah, S. (2016). Second Vertical Derivative Using 3-D Gravity Data for Fault Structure Interpretation. In *International Conference on Energy Sciences (ICES 2016) IOP Publishing IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 877, 012039. doi : <https://doi.org/10.1088/1742-6596/877/1/012039>
- Xu, Y., Hao, T., Li, Z., Duan, Q., & Zhang, L. (2009). Regional Gravity Anomaly Separation Using Wavelet Transform And Spectrum Analysis. *Journal of Geophysics and Engineering*, 6(3), 279-287. Doi: <https://doi.org/10.1088/1742-2132/6/3/007>
- Zainudin & Pambudi, B. (2019). Efektifitas Penerapan Perangkat Pembelajaran Fisika Dasar Berbasis Keterampilan Berpikir Kritis Menggunakan Aplikasi Edmodo Berplatform Android. *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*, 7(1), 17-26. DOI: <https://doi.org/10.33394/j-ps.v0i0.1039>
- Zuhdi, M., Setiawan, A., & Setyowiyoto, J. (2017). Identification Of Oil-Gas Contact Using Radial Derivative Of 4D Gravity Anomaly, *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG)*, 5(5), 8–13. Retrieved from: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jagg/papers/Vol.%205%20Issue%205/Version-2/B0505020813.pdf>
- Zuhdi, M., Setiawan, A., Setyowiyoto, J., Susilo, A., & Sarkowi, M. (2018). Radial Derivative and Radial Inversion for Interpreting 4D Gravity Anomaly Due to Fluids Injection Around Reservoir. *Telkomnika* 16(6), 2855–2863. doi: <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v16i6.9468>