



PROSIDING
Seminar Nasional MIPA 2016
MAKALAH DALAM SIDANG PLENO
diseminarkan pada 5 November 2016 dan dipublikasikan pada
<http://conf.unnes.ac.id/index.php/mipa/mipa2016/schedConf/presentations>



Aplikasi Metode Gaya Berat Mikro Antar Waktu Untuk Survei Dekat Permukaan (*Near Surface*)

Supriyadi

Lab. Fisika Bumi, Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang

Email: supriyadi@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Metode Gaya berat mikro antar waktu merupakan pengembangan dari metode gaya berat dengan ciri khasnya adalah pengulangan pengukuran gaya berat di titik yang sama untuk selang waktu tertentu. Selang waktu yang dipakai adalah musim kemarau dan penghujan. Koreksi yang harus dilakukan pada metode ini adalah koreksi awal (koreksi Tide dan koreksi Drift) dan koreksi lanjut untuk memisahkan salah satu sumber anomali dengan menggunakan MBF (*Model Base Filter*). Model pada filter ini harus dibangun sesuai kondisi area penelitian. Aplikasi metode ini untuk survei amblesan di kota Semarang memberikan hasil yang cenderung sama dengan penelitian yang dilakukan dengan pendekatan geodesi dan geologi.

Kata kunci: anomali, gaya berat, antar waktu

Abstract

A method of micro gravity over time is the development of methods of gravity with its characteristics is a repeat measurement of gravity at the same point for a certain time interval. The time interval used is the dry season and rainy. Correction should be done in this method is the initial correction (Tide correction and Drift correction) and further corrections to separate one anomaly sources by using MBF (Base Model Filter). The model in this filter should be constructed according to the conditions of the study area. Application of this method to survey subsidence in Semarang results tend to be similar to the research conducted by surveying and geological approach.

Keywords: anomaly, gravity, between the time

PENDAHULUAN

Metode gaya berat merupakan salah satu metode tertua dalam geofisika, tetapi penerapannya pada sumber anomali dekat permukaan dan yang berhubungan dengan lingkungan belum seintensif penerapan untuk studi geodinamika atau eksplorasi dalam estimasi struktur geologi yang relatif besar. Hal ini disebabkan oleh tingkat akurasi anomali masih dalam orde mGal atau $10^3 \mu\text{Gal}$. Sedangkan dari sisi alat gravimeter, akurasi $10 \mu\text{Gal}$ telah dicapai pada awal 1970, tetapi ketelitian pembacaan sepenuhnya bergantung pada ketelitian operator karena gravimeter masih menggunakan alat baca secara mekanik. Metode inipada awalnya lebih banyak digunakan untuk menentukan struktur daerah tertentu (survei regional dan lokal), namun saat ini sesuai dengan kebutuhan masyarakat dan perkembangan teknologi di bidang instrumentasi metode gravitasi telah diaplikasikan untuk berbagai keperluan eksplorasi kebumihan.

Diantara sifat fisis batuan yang mampu membedakan antara satu macam batuan dengan batuan lainnya adalah massa jenis batuan. Distribusi massa jenis yang tidak homogen

pada batuan penyusun kulit bumi akan memberikan variasi harga medan gravitasi di permukaan bumi. Disamping itu bentuk bumi yang ellipsoid dan mempunyai relief yang tidak teratur akan memberikan pengaruh pada adanya variasi medan gravitasi. Metode gravitasi adalah metode penelitian dalam geofisika yang didasarkan pada adanya variasi medan gravitasi di permukaan bumi.

Distribusi massa jenis yang tidak homogen ini dapat juga disebabkan oleh struktur geologi yang ada di bawah permukaan bumi. Walaupun kontribusi struktur geologi terhadap variasi harga medan gravitasi dipermukaan bumi sangat kecil bila dibandingkan dengan nilai absolutnya, tetapi dengan menggunakan peralatan gravimeter yang baik variasi medan gravitasi di permukaan bumi dapat terukur dan dipetakan. Selanjutnya dari peta variasi medan gravitasi tersebut dapat dilakukan interpretasi bentuk atau struktur bawah permukaan.

Sejalan dengan peningkatan yang sangat cepat dalam teknologi digital pada akhir 1980, masalah ketelitian pembacaan dapat ditingkatkan dengan digunakannya sistem pembacaan digital. Pada akhir tahun 2000, LaCoste & Romberg mengeluarkan gravimeter digital secara penuh yang disebut graviton dengan akurasi 1 μGal dan gravimeter semi digital yang merupakan pengembangan LaCoste & Romberg tipe G yang dilengkapi dengan sistem pembacaan digital dengan akurasi 1-5 μGal . Awal tahun 2002 Scintrex juga mengeluarkan gravimeter digital secara penuh yang disebut Scintrex Autograv CG5 dengan akurasi 1 μGal . Tersedianya sistem gravimeter digital secara penuh maupun semi digital maka kendala yang berhubungan dengan alat untuk mengamati perubahan medan gaya berat dalam orde μGal dapat dihilangkan.

Pemanfaatan metode gaya berat mikro untuk berbagai keperluan survei antara lain untuk pemantauan (1) Reservoir minyak dan gas akibat aktivitas produksi minyak dan injeksi gas atau air telah dilakukan sejak tahun 1983 dan terus berkembang sampai sekarang (Hare, dkk., 1999; Kadir, dkk., 2004; Santoso dkk., 2004), (2) Aktivitas gunung api yang berupa pergerakan magma dan deformasi permukaan juga telah diamati dengan metode gaya berat mikro untuk mengetahui karakteristik aktivitas gunung api (Rundle, 1982; Johnsen dkk., 1980; Rymer dkk., 1988; Jousset dkk., 2000), (3) Pemantauan lingkungan oleh Lyness (1985), Branston dan Style (2003) yang memantau amblesan tanah di daerah pertambangan. Pemantauan yang berhubungan dengan hidrologi telah dilakukan mulai tahun 1977 yaitu oleh Lambert dan Beamont (1977) yang mengamati adanya perubahan gravitasi secara musiman mencapai orde 10 μGal di Cap Pele. Goodkind (1986) menunjukkan adanya korelasi yang baik antara perubahan harga gaya berat dengan data curah hujan. Branston dan Style (2003), melakukan pemantauan amblesan tanah di daerah pertambangan.

Di Indonesia metode Gaya berat mikro antar waktu telah dikembangkan oleh beberapa perguruan tinggi yang disesuaikan dengan sumber daya alam dan pengalaman, ITB fokus pada eksplorasi hidrokarbon, UNILA fokus pada eksplorasi panas bumi, UNNES fokus pada pemantauan kualitas lingkungan dekat permukaan (*near surface*), UNTAD fokus pada geologi struktur, dan UNRAM pemantauan kualitas kawasan pesisir.

Pada tulisan ini akan dipaparkan konsep metode Gaya berat mikro antar waktu, akuisisi data, pengolahan data dan interpretasi. Tiga tahapan ini adalah bagian yang menjadi tantangan dan sekaligus harapan untuk mengembangkan metode ini kedepan untuk diaplikasikan di berbagai survei di wilayah Indonesia.

METODE

Metode gaya berat mikro antar waktu merupakan pengembangan dari metode gaya berat dengan dimensi keempatnya adalah waktu. Prinsip dari metode ini adalah pengukuran gaya berat secara berulang baik harian, mingguan, bulanan maupun tahunan dengan menggunakan gravimeter yang teliti dalam orde μGal dan pengukuran elevasi yang teliti (Allis dan Hunt, 1986). Adanya perubahan atau perbedaan hasil gaya berat observasi pada periode pertama dengan periode berikutnya disebut dengan anomali gaya berat mikro. Perubahan gaya berat observasi dapat disebabkan oleh adanya dinamika di sekitar titik amat, seperti perubahan kedalaman muka air tanah dan amblesan tanah.

Telford dkk., (1990) menyatakan bahwa ada lima hal yang mempengaruhi perubahan nilai gaya berat di suatu titik, yaitu : (1) lintang, (2) elevasi, (3) pasang surut, (4) topografi dan (5) variasi rapat massa bawah permukaan. Sehingga pembacaan g_{obs} di permukaan berhubungan dengan kelima faktor tersebut. Faktor 1, 2 dan 3 masing – masing dapat dikoreksi dengan koreksi lintang, koreksi elevasi, dan koreksi pasang surut. Sedangkan faktor 4 dan 5 merupakan target anomalnya. Faktor 5 di daerah penelitian disebabkan oleh perubahan kedalaman muka air tanah (Sarkowi, 2007) dan beban bangunan. Setelah dikoreksi dengan faktor – faktor yang lainnya, maka anomali yang diukur di permukaan merupakan superposisi dari 4 dan 5. Oleh karena itu memisahkan faktor 4 dan 5 merupakan permasalahan yang perlu diselesaikan. Salah satu teknik untuk pemisahan ini adalah dengan mengaplikasikan suatu filter tertentu.

Gaya berat mikro antar waktu merupakan selisih nilai anomali Bouguer tiap titik pengukuran pada interval waktu tertentudan dinyatakan dengan persamaan (1).Sarkowi (2007) menyatakan gaya berat mikro antar waktu sebagai berikut :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = \Delta g(x, y, z, t_2) - \Delta g(x, y, z, t_1) \quad (1)$$

Jika elevasi titik amat berubah pada dua periode pengukuran tersebut, maka persamaan 1 dapat dituliskan menjadi :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = (g_{\text{obs}(2)} - g_{\text{obs}(1)}) - (g_{(\varphi_2)} - g_{(\varphi_1)}) - (c_1 + c_2\rho)(h_2 - h_1) + c_3(\Delta h_2 - \Delta h_1) \quad (2)$$

Selama selang waktu pengukuran pada t_1 dan t_2 posisi titik amat relatif tetap, dimana $\varphi_1 = \varphi_2$, maka persamaan (2) dapat disederhanakan menjadi :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = (g_{\text{obs}(2)} - g_{\text{obs}(1)}) - (c_1 + c_2\rho)(h_2 - h_1) + c_3(\Delta h_2 - \Delta h_1) \quad (3)$$

$$(g_{\text{obs}(2)} - g_{\text{obs}(1)}) = \Delta g(x, y, z, \Delta t) + (c_1 + c_2\rho)(h_2 - h_1) - c_3(\Delta h_2 - \Delta h_1) \quad (4)$$

Kadir (1999), menyatakan bahwa untuk benda 3 dimensi dengan distribusi rapat massa $\rho = (\alpha, \beta, \gamma)$, gaya berat mikro antar waktu di titik P(x,y,z) pada permukaan dinyatakan dengan persamaan (5) sebagai berikut :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = G \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta \rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)(z - \gamma)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan (4) dan (5) dapat dituliskan persamaan (6)

$$(g_{obs(2)} - g_{obs(1)}) = \left(G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)(z - \gamma)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \right) + (c_1 + c_2\rho)(h_2 - h_1) - c_3(\Delta h_2 - \Delta h_1) \quad (6)$$

Berdasarkan pemodelan matematik dan simulasi data sintetik menunjukkan bahwa efek topografi tidak berpengaruh terhadap anomali gaya berat mikro antar waktu. Anomali gaya berat mikro antar waktu dipengaruhi oleh perubahan elevasi (amblesan) titik amat. Konsolidasi yang menyebabkan amblesan tidak menyebabkan massa tanah hilang sehingga koreksi Bouguer tidak dilakukan. Dengan demikian persamaan (6) dapat disederhanakan menjadi persamaan (7).

$$(g_{obs(2)} - g_{obs(1)}) = \left(G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)(z - \gamma)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \right) + c_1(h_2 - h_1) \quad (7)$$

dengan $\Delta g(x,y,z, \Delta t)$: anomali gaya berat mikro antar waktu, $g_{obs(1)}$: gaya berat observasi pengukuran pada t_1 , $g_{obs(2)}$: gaya berat observasi pengukuran pada t_2 , c_1 : konstanta koreksi udara bebas = 0,30876 mGal/m, c_2 : konstanta koreksi Bouguer untuk lempeng terbatas = 0,04193ph, c_3 : konstanta koreksi medan (perubahan koreksi medan akibat perubahan elevasi), Δh : beda elevasi titik amat dengan topografi sekelilingnya, G : konstanta gaya berat umum = $6,67 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{sec}^2$, $\Delta\rho$: perubahan densitas, α, β, γ : koordinat densitas, x, y, z : koordinat titik amat, Δt : selang waktu pengukuran.

Persamaan (7) menunjukkan bahwa selisih nilai gaya berat hasil pengukuran ($g_{obs(2)} - g_{obs(1)}$) disebabkan oleh perubahan rapat massa bawah permukaan yang berhubungan dengan perubahan kedalaman muka air tanah dan amblesan.

Tahapan akuisisi di lapangan untuk survei gaya berat mikro antar waktu dijelaskan sebagai berikut:

(1) Simulasi respon gaya berat mikro antar waktu

Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui besarnya anomali respon gaya berat mikro antar waktu yang akan diukur. Respon anomali gaya berat tersebut disebabkan oleh amblesan dan perubahan kedalaman muka air tanah. Beberapa model simulasi respon anomali gaya berat mikro antar waktu dijelaskan pada bagian hasil dan pembahasan.

(2) Pemilihan gravimeter yang akan digunakan

Survei gaya berat mikro antar waktu memerlukan gravimeter yang sangat teliti. Sebagaimana yang disarankan Sarkowi (2007) ada beberapa tipe gravimeter yang dapat digunakan untuk keperluan survei tersebut, misalnya :

- a. Gravimeter LaCoste & Romberg tipe D dan tipe G yang telah dilengkapi digital alliod sistem dengan akurasi 1 – 5 μGal .
- b. Gravimeter Autograv Scintrex CG 5 dengan akurasi 1 μGal .
- c. Gravimeter Graviton dengan akurasi 1 μGal .
- d. Superconducting gravimeter dengan akurasi 0.001 μGal .

(3) Koreksi Pasang Surut

Koreksi ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu : menghitung perubahan gaya berat akibat perubahan posisi bulan dan matahari terhadap bumi (Longman, 1959) dan dengan melakukan pengukuran gaya berat secara langsung di lapangan.

(4) Urutan pengambilan data tiap periode tetap

Pengambilan data gaya berat dengan cara *looping* dan urutan pengambilan data tiap periode pengukuran harus tetap. Metode ini bertujuan agar masing – masing titik gaya berat mendapatkan koreksi Drift yang relatif sama. Titik di awal *looping* akan mendapatkan koreksi Drift yang kecil. Sebaliknya titik di akhir *looping* akan mendapatkan koreksi Drift yang besar.

(5) Pemilihan titik ikat atau base gaya berat mikro

Untuk keperluan pemantauan dengan menggunakan metode Gaya berat mikro Antar Waktu, satu hal yang harus diperhatikan adalah titik ikat. Titik ikat yang baik harus memenuhi kriteria tidak mengalami amblesan, tidak terjadi penurunan muka air tanah dan jauh dari getaran di titik tersebut.

(6) Diskripsi titik pengukuran gaya berat

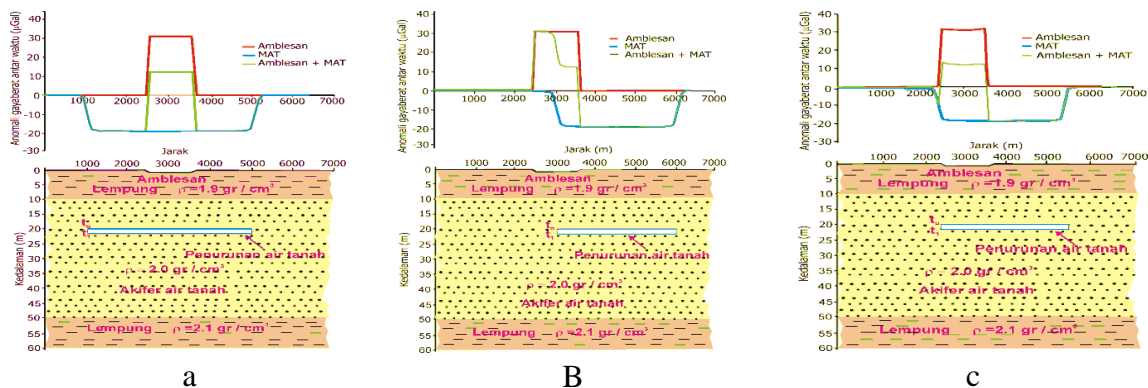
Pada saat melakukan pengukuran gaya berat tiap periode, kondisi titik amat dan sekitarnya harus dicatat. Hal yang perlu dicatat adalah : kondisi fisik titik amat, identitas pengenal titik amat, ketinggian air di sekitar titik amat apabila titik amat gaya berat terletak dekat sungai atau laut, kondisi tanah di sekitarnya (basah atau kering).

(7) Pengolahan Data

Pada survei gaya berat mikro antar waktu setelah koreksi Tide dan koreksi Tide dilaksanakan, harus dilaksanakan koreksi lanjutan dengan cara melakukan filtering pada data gaya berat mikro antar waktu untuk memperoleh salah satu sumber anomali (target). Filtering dilakukan dengan dengan MBF (Model Based Filter), suatu filter yang dibangun berdasarkan model di lapangan dan proses berlangsung pada domain frekuensi dengan menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*) 2D.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dipaparkan hasil masing-masing tahapan survei bawah permukaan di Semarang Utara. Pertama adalah pemodelan untuk sumber anomali gaya berat mikro antar waktu yaitu amblesan dan perubahan muka air tanah yang berupa penurunan muka air tanah (Gambar 1).parameter model yang digunakan berupa model bumi tiga lapis memanjang ke arah horisontal dengan sifat – sifat fisik sebagai berikut : (1) lapisan 1 berupa lempung memiliki ketebalan 10 m dan $\rho=1,9 \text{ gr/cm}^3$, (2) lapisan 2 berupa pasir dengan $\rho=2,0 \text{ gr/cm}^3$. Porositas akuifer adalah 30 %, perubahan rapat massa akibat penurunan muka air tanah $\Delta\rho= -0,3 \text{ gr/cm}^3$, dan (3) lapisan 3 berupa lempung dengan tebal 10 m dan $\rho= 2,1 \text{ gr/cm}^3$.



Gambar 1. Model amblesan dan penurunan muka air tanah, (a) posisi amblesan dan akuifer simetri, (b) ujung akuifer berada di tengah amblesan dan (c) ujung akuifer sejajar dengan ujung amblesan

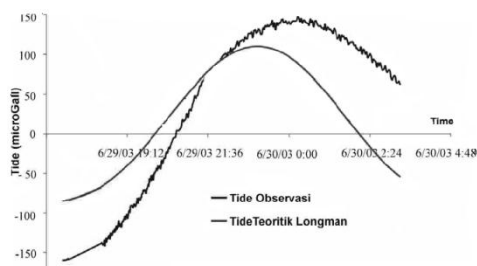
Tabel 1. Data pengukuran gaya berat pada untuk satu loop

No	Titik Amat	Time	Alliod	Tide Corect (mGal)	Grav Terkoreksi Tide	Drift Correct (mGal)	Grav obs (mGal)	Grav Lokal (mGal)
1	Base	21:47	0	-0,037	-0,037	0,000	-0,037	0,000
2	Gadjahmungkur	21:57	-0,77	-0,028	-0,798	0,001	-0,799	-0,762
3	Tugu Muda	22:18	19,30	-0,007	19,293	0,004	19,289	19,326
4	St. Poncol	22:35	19,42	0,020	19,440	0,006	19,434	19,471
5	Kantor Pajak	22:51	19,53	0,034	19,564	0,009	19,555	19,592
6	Kp. Petek	23:05	19,20	0,045	19,245	0,010	19,235	19,272
7	Base	23:30	-0,08	0,057	-0,023	0,014	-0,037	0,000

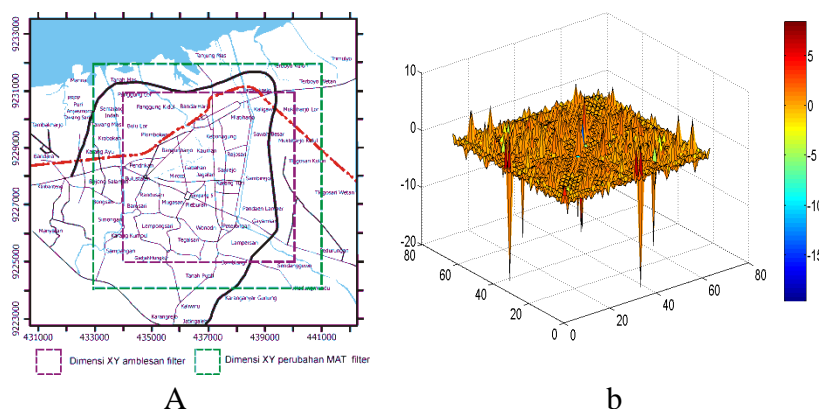
Untuk keperluan koreksi pasang surut sebagaimana dijelaskan sebelumnya harus dilakukan setiap kali pengukuran gaya berat. Sebagai contoh perbandingan koreksi Pasang Surut dengan menggunakan dua cara tersebut untuk data tanggal 30 Juni 2003 di kota Semarang seperti pada Gambar 2.

Contoh urutan pengukuran gaya berat mikro antar waktu ditunjukkan Tabel 1. Urutan pengukuran gaya berat untuk satu loop pada periode berikutnya harus tetap tidak boleh ditukar tetapi waktu pelaksanaannya bisa berubah, misalnya pada periode pertama dilakukan pagi hari dan pada periode kedua malam hari.

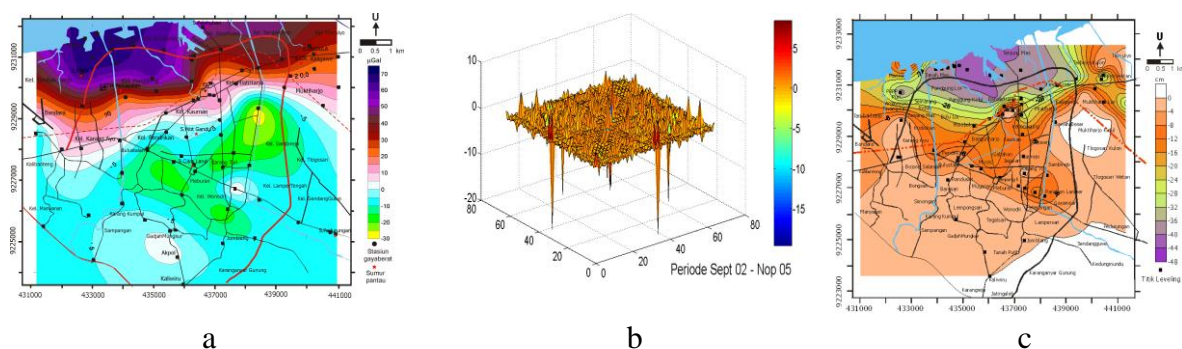
Konsep filter MBF yang dibangun berdasarkan model lapangan untuk kasus di Semarang dijelaskan seperti pada Gambar 3 di bawah ini. Dimulai dari perumusan dimensi model yang berupa amblesan dan penurunan muka air tanah di wilayah tersebut. Dimensi yang dimaksud adalah panjang, lebar, besar amblesan dan penurunan muka air tanah per tahun.



Gambar 2. Koreksi Pasang Surut tanggal di kota Semarang dengan menggunakan gravimeter LaCoste & Romberg G508 dan perhitungan dengan persamaan Longman (Sarkowi, 2007)



Gambar 3. a. Dimensi model amlesan dan penurunan muka air tanah di Semarang, dan b. Bentuk filter MBF



Gambar 4. Proses pengolahan data gaya berat mikro antar waktu dengan menggunakan filter MBF dengan (a) adalah input yang berupa data anomali gaya berat mikro antar waktu, dan (c) adalah output berupa amlesan

Contoh pengolahan data dengan input anomali data gaya berat mikro antar waktu (Gambar 4), dimana pada data tersebut masih mengandung dua sumber anomali yaitu amlesan dan penurunan muka air tanah. Pada penelitian data anomali tersebut difilter untuk meminimalkan sumber anomali penurunan muka air tanah untuk memperoleh sumber anomali amlesan.

Hasil atau output yang berupa data amlesan dalam peta kontur mempunyai kecenderungan yang sama jika dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Marsudi (2001), Yulianto et al (2013), dan Yuwono et al (2009) dengan menggunakan pendekatan berbeda seperti geologi, geodesi di kota Semarang.

SIMPULAN

Metode Gaya berat mikro antar waktu dapat digunakan survai dekat permukaan. Untuk survei diperlukan gravimeter dengan akurasi yang tinggi untuk memperoleh data yang dengan kualitas yang memadai. Salah satu hal yang harus dilakukan pada survei dengan metode ini adalah harus memisahkan sumber anomali dengan proses filter, dimana filter yang digunakan harus dibangun berdasarkan dimensi dan sifat fisis yang terkait dengan model tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Allis, R.G., dan Hunt, T.M. (1986). Analisis of Exploration Induced Gravity Changes at Wairakei Geothermal Field, *Geophysics*, 51, 1647-1660.
- Branston, M.W., dan Style, P. (2003). The Application of Time Lapse Microgravity for The Investigation and Monitoring of Subsidence at Northwich, Chesire, *The Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 36/3, 231 - 244.
- Goodkind, J.M. (1986). Continous Measurement of Nontidal Variations of Gravity, *Journal Geophysics Research*, 91, 9125 - 9134.
- Hare, J.L., Ferguson, J.F., Aiken, C.L.V., dan Bradly, J.L. (1999). The 4D Microgravity Method for Waterflood Surveillance a Model Study for The Prudhoe Bay reservoir – Alaska, *Geophysics*, 64, 78 – 87.
- Jousset, P., Dwipa, S., Beauducel, F., Duquesnoy, T., dan Diament, M.(2000). Temporal Gravity at Merapi during The 1993 – 1995 Crisis : An Insight into The Dynamical Behaviors of Volcanoes, *Jurnal of Volcanology and Geothermal Research*, 100, 289 - 320.
- Lamber, A., dan Beamont, C. (1997). Nanovariations in Gravity due to Seasonal Groundwater Movement Studies : Implications for The Gravitational Detections of Tectonics Movements, *Journal Geophysics Research*, 82, 297 - 306.
- Longman, I.M. (1959). Formulas for Computing The Tidal Acceleration due to The Moon and The Sun, *Journal Geophysics Research*, 64, 2351 – 2355.
- Lyness, D. (1985). The Gravimetric Detection of Mining Subsidence, *Geophysics Prospecting*, 33, 567 – 576.
- Marsudi (2001) : *Prediksi Laju Amblesan Tanah di Dataran Alluvial Semarang – Jawa Tengah*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Rymer, H., Van Wyk de Vries, B., dan William-Jones, J.S.G. (1998). Pit Creater Structure and Processes Governing Persistent Activity at Masaya Volcano, Nicaragua, *Bulletin Volcano*, 59, 345 - 355.
- Sarkowi, M. (2007). *Gayaberat mikro Antar Waktu untuk Analisa Perubahan Kedalaman Muka Air Tanah (Studi Kasus Dataran Aluvial Semarang)*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.P. (1990). *Applied Geophysics 2nd ed*, Cambridge University Press.
- Yulianto A, Sarah D, Soebowo (2013). Pengaruh Lempung terhadap Proses Amlesan Tanah di Daerah Semarang, *Re.Geo.Tam*, Vol.22, No.2, 93-104.
- Yuwono B.D., Abidin H.Z., Hilmi (2013). Analisa Geospasial Penyebab Penurunan Muka Tanah di Kota Semarang, Prosiding SNST ke-4.