

Analisa Penurunan Airtanah dan Amblesan Tanah dengan Metode Gayaberat Mikro dan Gradien Vertikal Antar Waktu: Studi Kasus di Jakarta

Analysis of Groundwater Decline and Land Subsidence by Using of Microgravity and Vertical Gravity Gradient over Time Method: Case Study in Jakarta

Suhayat Minardi^{1*)}, Hiden¹⁾, Daharta Dahrin²⁾ dan Mahmud Yusuf³⁾

¹ Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram

² Program Studi Teknik Geofisika, FTTM Institut Teknologi Bandung

³ Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Kemayoran Jakarta

*) Email: suhayat.minardi@gmail.com

ABSTRACT

Studies have been conducted to identify the occurrence of subsidence, a decline of groundwater, and to model the causes of subsidence in areas of Jakarta based on response of microgravity anomaly and vertical gravity gradient over time. Based on the processing and interpretation of gravity data advance of the time concluded that by using a combination of time lapse microgravity and its vertical gradient have been able to localize the source of the gravity anomaly and the results are strongly support the results of filtering to separate the source of the anomaly. The subsidence that occurs predominantly due to resettlement (in West and North Jakarta), caused by the extraction of groundwater and resettlement (in Central and East Jakarta), and dominated due to the extraction of groundwater (in South Jakarta).

Keywords : Groundwater, time elapse micogravity, time lapse vertical gradient, resettlement subsidence

PENDAHULUAN

Pertambahan populasi dan industri di Jakarta berdampak pada semakin bertambahnya kebutuhan akan energi dan air bersih. Dampak lebih lanjut dari meningkatnya kebutuhan akan energi dan air bersih adalah meningkatnya potensi bencana alam seperti amblesan tanah, turunnya tinggi muka air tanah, banjir akibat hujan, intrusi air asin, dan banjir akibat naiknya muka air laut (rob).

Berdasarkan kenyataan tersebut, maka perlu dikembangkan metode untuk mengatasi masalah tersebut. Metode yang dipergunakan adalah kombinasi metode gayaberat antar waktu dan gradien vertikal antar waktu untuk mengidentifikasi adanya amblesan dan penurunan muka air tanah di Jakarta. Dipilihnya metode ini karena ramah lingkungan dan minimalnya konflik sosial

yang ditimbulkan.

Metode ini merupakan pengembangan dari metode gayaberat dan dicirikan dengan pengukuran berulang serta menggunakan alat ukur dengan ketelitian tinggi hingga orde mikrogal (10^{-6} cm.dt⁻²).

Anomali gayaberat mikro antar waktu merupakan refleksi dari gabungan beberapa sumber anomaly, seperti perubahan ketinggian stasiun, pergerakan fluida, dan perubahan sifat fisis (densitas) di bawah permukaan. Berdasarkan hubungan tersebut, beberapa orang peneliti memanfaatkan metode gayaberat mikro antar waktu ini untuk memonitor perilaku reservoir hidrokarbon (Hare dkk., 1999, Santoso dkk., 2004, Hare dkk., 2007), reservoir panas bumi (Allis dan Hunt, 1986; Fujimitsu dkk., 2000), amblesan dan perubahan muka air tanah (Branston dan Styles, 2000; Kadir dkk., 2004, dan Santoso dkk., 2006).

Anomali gayaberat yang terukur di lapangan merupakan superposisi dari berbagai sumber anomali dan pemisahan setiap sumber anomali merupakan permasalahan yang biasa dijumpai dalam interpretasi data gayaberat. Anomali gayaberat mikro antara waktu bersumber dari anomaly di permukaan (gerakan vertical mengakibatkan anomaly sekitar 3 $\mu\text{Gal}/\text{cm}$) dan anomali bawah permukaan (pergerakan fluida dan perubahan densitas pada reservoir).

Anomali Bouguer lengkap merefleksikan adanya perubahan rapat massa baik pada arah vertical maupun horizontal. Anomali pada stasiun (x, y, z) didefinisikan sebagai :

$$\begin{aligned} \Delta g_B(x, y, z) = & g_{obs}(x, y, z) - g_t(x, y, z) \\ & + ah(x, y, z) - b\rho_B h(x, y, z) \\ & + c\Delta h(x, y, z) \end{aligned} \quad (1)$$

dimana g_{obs} dan g_t adalah nilai gayaberat observasi dan teoritis, a, b, c adalah nilai konstanta koreksi udara bebas, bouguer, dan terrain, ρ_B adalah rapat massa bouguer, h adalah tinggi stasiun serta Δh adalah beda tinggi stasiun terhadap lokasi di sekitarnya.

Dalam survey gayaberat mikro antar waktu, setiap stasiun akan diukur sebanyak dua kali atau lebih dengan selang waktu tertentu, sehingga jika setiap pengukuran dilakukan pada saat t_1 dan t_2 , maka nilai anomaly bouguer pada setiap stasiun diberikan oleh persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \Delta g_B(x, y, z, t_1) = & g_{obs}(x, y, z, t_1) - g_t(x, y, z, t_1) \\ & + ah(x, y, z, t_1) - b\rho_B h(x, y, z, t_1) \\ & + c\Delta h(x, y, z, t_1) \end{aligned} \quad (2)$$

dan

$$\begin{aligned} \Delta g_B(x, y, z, t_2) = & g_{obs}(x, y, z, t_2) - g_t(x, y, z, t_2) \\ & + ah(x, y, z, t_2) - b\rho_B h(x, y, z, t_2) \\ & + c\Delta h(x, y, z, t_2) \end{aligned} \quad (3)$$

Besarnya nilai g_t pada setiap periode pengukuran adalah sama dan pada daerah yang mempunyai topografi relatif datar, efek terrain ($c\Delta h$) sangatlah kecil ($\ll 0.79 \mu\text{Gal}$ untuk perubahan elevasi setinggi 1 cm) sehingga suku ini dapat diabaikan.

Anomali gayaberat mikro antar waktu diperoleh dengan mengurangi Persamaan (3) dengan Persamaan (2), sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} \Delta g(x, y, z, t_2) = & g_{obs}(x, y, z, t_2) - g_{obs}(x, y, z, t_1) \\ & + a\Delta h(x, y, z, \Delta t) - b\rho_B \Delta h(x, y, z, \Delta t) \end{aligned} \quad (4)$$

Persamaan (4) menunjukkan bahwa anomaly gayaberat mikro antar waktu akibat perubahan rapat massa di bawah permukaan (kontras rapat massa dalam selang waktu t_1 dan t_2) dapat dihilangkan setelah dikoreksi udara bebas dan koreksi Bouguer sebagai implikasi dari perubahan ketinggian titik ukur (stasiun). Jika tidak terjadi perubahan ketinggian, maka anomaly gayaberat mikro antar waktu adalah sama dengan beda antara gayaberat observasi pada saat t_1 dan t_2 .

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = g_{obs}(x, y, z, t_2) - g_{obs}(x, y, z, t_1) \quad (5)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa anomaly gayaberat mikro antar waktu diperoleh dengan mengurangi nilai gayaberat observasi (g_{obs}) pada saat t_1 terhadap nilai gayaberat observasi (g_{obs}) pada t_2 . Anomali tersebut bersumber dari kontras densitas bawah permukaan dan perubahan ketinggian. Perubahan ketinggian titik ukur sebesar 1 cm ditunjukkan oleh yang nilainya sebesar 3,4 μGal Allis and Hunt (1986) dan bernilai positif pada kasus amblesan. Sedangkan koreksi Bouguer pada amblesan sebesar 1 cm mengakibatkan perubahan anomaly gayaberat antar waktu sebesar -0.79 μGal untuk rapat massa Bouguer sebesar 1,94 gr/cm^3 . Persamaan (5) secara eksplisit menunjukkan bahwa anomaly gayaberat mikro antar waktu bersumber pada perubahan densitas bawah permukaan dan pergerakan tanah pada arah vertikal.

Metode *vertical gradient* gayaberat biasanya digunakan untuk menentukan batas antara dua buah benda anomali dengan perubahan rapat massa berbeda yang diperoleh dalam anomaly gayaberat antar waktu. Setiap stasiun pengukuran diamati sebanyak dua kali untuk mendapatkan nilai gradient gayaberat. Pengukuran pertama dilakukan dengan menempatkan alat di atas permukaan tanah dan pengukuran kedua dilakukan dengan mematkan alat pada ketinggian tertentu dari permukaan tanah. Anomali gradient vertikal diperoleh dengan membendingkan selisih

hasil pengukuran (gobs) pada kedua pengukuran dengan tinggi berbeda tersebut dengan selisih ketinggiannya seperti dalam Persamaan (6) berikut:

$$VGrad = \frac{Gobs_{h2} - Gobs_{h1}}{h_2 - h_1} \quad (6)$$

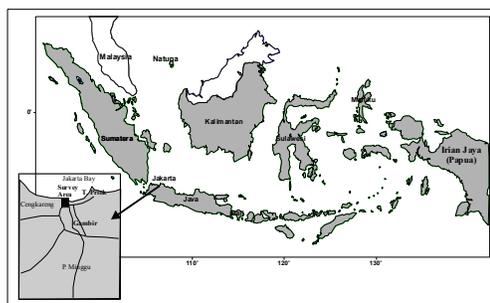
Penelitian dilakukan di Wilayah DKI Jakarta dengan tujuan:

- (1) Untuk mengidentifikasi terjadinya amblesan dan penurunan muka air tanah di wilayah DKI Jakarta berdasarkan respon anomaly gayaberat mikro dan gradient vertical gayaberat antar waktu.
- (2) Untuk memodelkan penyebab terjadinya amblesan di wilayah DKI Jakarta berdasarkan respon anomali gayaberat mikro antar waktu.

Manfaat dari semua ini berujung pada kontribusi yang signifikan terhadap keamanan atau keselamatan hidup manusia (*Human Security*) khususnya di wilayah DKI Jakarta.

METODE

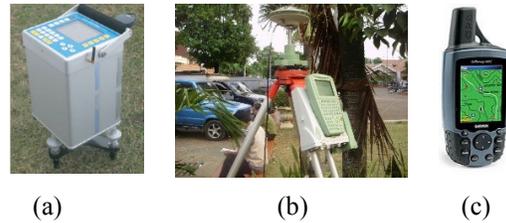
Pengukuran gayaberat dilakukan sebanyak 2 (dua) kali yaitu pada bulan Juli 2008 dan Agustus 2009. Daerah penelitian adalah di Propinsi DKI Jakarta meliputi daerah seluas 32 x 32 km² (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian wilayah DKI Jakarta

Pengukuran gayaberat ini dilakukan dengan menggunakan gravimeter Scintrex Autograv CG-5 yang mempunyai ketelitian pengukuran hingga 1 μGal (10⁻⁶ cm/dt²) (Gambar 2a). Peralatan lain yang digunakan adalah GPS tipe Geodetik Leica Geo System tipe GRX1200GGPRO dan GPS tipe navigasi Garmin tipe 60CSx (Gambar 2b dan 2c). Pada pengukuran gayaberat digunakan teknik

gradien, setiap titik diukur sebanyak dua kali dengan ketinggian yang berbeda. Pengukuran pertama dilakukan di atas permukaan tanah dan pengukuran kedua dilakukan pada ketinggian tertentu dari permukaan tanah (Gambar 3).



Gambar 2 (a) Gravimeter Scintrex Autograv CG-5; (b) GPS tipe geodetic Leica; (c) GPS tipe navigasi Garmin tipe 60 CSx.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis terhadap fenomena amblesan dan penurunan muka air tanah di Jakarta dilakukan dengan menggunakan data gayaberat mikro antar waktu periode 2008 hingga 2009.

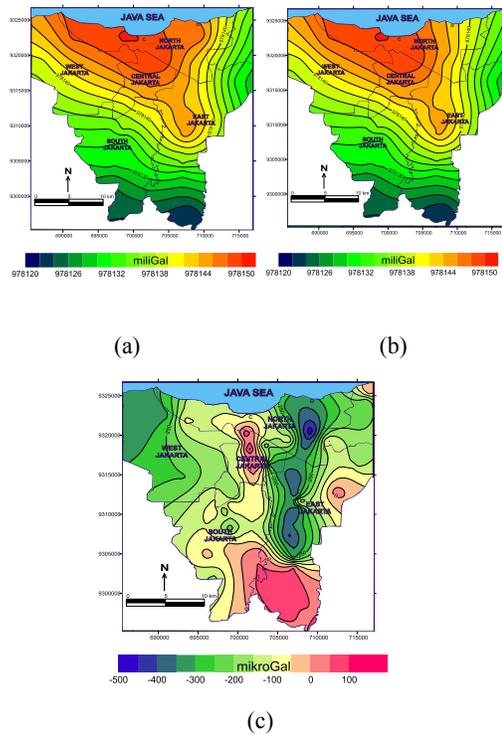


Gambar 3 Pengukuran gayaberat dengan metode gradient vertical (a) Pengukuran di permukaan; (b) Pengukuran gayaberat ketinggian tertentu dari permukaan (80 cm)

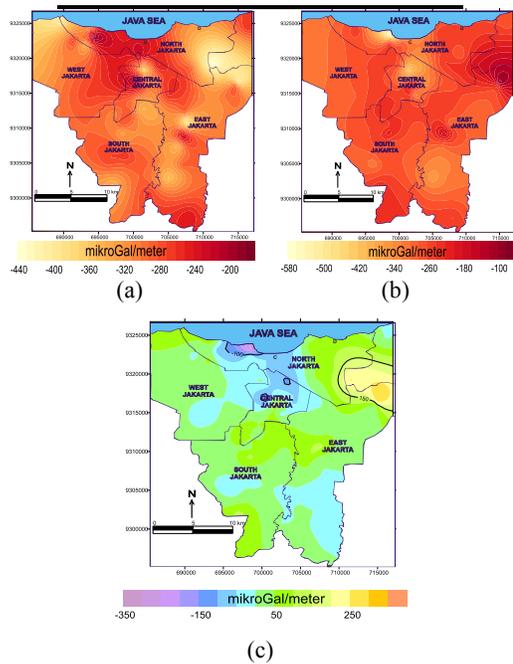
Hasil pengukuran pada kedua periode tersebut ditampilkan pada Gambar 4a dan Gambar 4b. Dan peta anomaly gayaberat mikro antarwaktu pada periode 2008 – 2009 ditampilkan pada Gambar 4c. Pengukuran gayaberat yang dilakukan adalah dengan menggunakan pengukuran gradiometri, setiap stasiun diukur sebanyak dua kali dengan ketinggian yang berbeda. Hasil pengukuran gradiometri tersebut dinamakan gradien

vertical gayaberat. Hasil pengukuran gardien vertical gayaberat tahun 2008 dan tahun 2009 tersebut selanjutnya ditampilkan dalam Gambar 5.

Anomali gradient vertikal gayaberat Tahun 2009; dan (c) Anomali gradient vertikal gayaberat antar waktu periode 2008 - 2009



Gambar 4. (a) Peta gayaberat observasi (g_{obs}) tahun 2008 ; (b) Peta gayaberat observasi (g_{obs}) tahun 2009; dan (c) Peta anomali gayaberat mikro 2008 – 2009



Gambar 5. (a) Anomali gradient vertikal gayaberat Tahun 2008; (b)

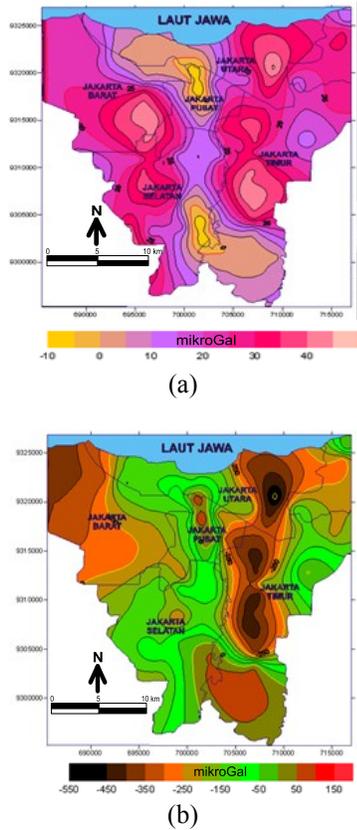
Perubahan nilai anomali gradient vertikal gayaberat antar waktu peride 2008 – 2009 diperoleh dengan menghitung selisih antara hasil pengukuran gradient vertikal tahun 2008 dengan hasil pengukuran gradient vertikal gayaberat tahun 2009. Hasilnya disajikan dalam Gambar 5. Untuk menentukan sumber anomaly gayaberat antar waktu, maka digunakan hubungan antara anomaly gayaberat antar waktu dengan anomaly gradient verikal antar waktu sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hubungan antara nilai anomali gayaberat dan gradien vertikal gayaberat antar waktu, dan sumber anomaly (Kadir dkk., 2004)

Gayaberat antar waktu	Gradien gayaberat antar waktu	Sumber anomali
+	+	Amblesan dan penambahan massa bawah permukaan atau penambahan massa saja
+	0	Amblesan saja
+	-	Pengurangan massa bawah permukaan atau amblesan (dominan)
-	-	Pengurangan massa bawah permukaan saja
0	-	Pengurangan massa bawah permukaan sama dengan amblesan

Anomali sumber dangkal dalam hal ini adalah terjadinya penurunan muka tanah (amblesan) dan anomaly sumber dalam adalah perubahan rapat massa bawah permukaan (penurunan muka air tanah). Pemisahan dilakukan dengan menggunakan filter *striping* (Cordell, 1985; Aina,1994), dimana dalam pemisahan ini didasarkan atas data geometri (kedalaman dan ketebalan lapisan) serta rapat massa pada setiap lapisan (sumber anomaly). Hasil pemisahan anomaly gayaberat antar waktu periode 2008 – 2009 disajikan pada Gambar 6. Gambar 6 (a) menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan muka tanah (amblesan) hampir di seluruh wilayah DKI Jakarta. Penurunan muka tanah tersebut mengakibatkan terjadi perubahan respon gayaberat mikro

sebesar -10 hingga 50 μGal selama periode 2008 hingga 2009, dengan amblesan paling intensif terjadi di Jakarta Barat, Jakarta Selatan bagian Barat laut, Jakarta Utara, dan Jakarta Timur.



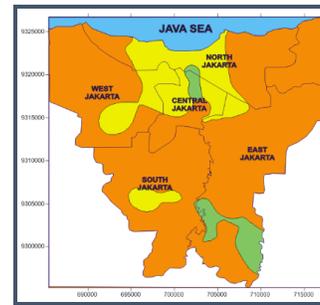
Gambar 6. Peta anomali gayaberat mikro antar waktu Periode 2008 – 2009 (a) sumber dangkal dan (b) sumber dalam.

Fenomena amblesan tersebut diperlihatkan dengan nilai anomaly positif. Sedangkan anomaly bernilai negative diperlihatkan disebagian wilayah Jakarta Pusat dan Jakarta Selatan. Fenomena anomaly negative tersebut merupakan cerminan dari terjadinya kenaikan muka tanah (*up lift*). Fenomena ini dapat terjadi pada daerah yang mempunyai lapisan lempung (*shale*), dimana jika sebagian dari tanah lempung tersebut mengalami tekanan dari atas, maka sebagian yang lain akan terangkat.

Berdasarkan Gambar 6 (b) terlihat bahwa pengurangan rapat massa bawah permukaan terjadi diseluruh wilayah DKI Jakarta, dengan pengurangan paling intensif terjadi di Wilayah Jakarta Barat, sebagian Jakarta Utara, dan Jakarta Timur. Pengurangan rapat massa bawah permukaan tersebut terjadi akibat

pemompaan air tanah. Akibat dari pengambilan air tanah yang berlebihan adalah terjadi penurunan muka tanah (amblesan).

Untuk mendukung interpretasi ini, maka dilakukan zonasi sumber anomaly gayaberat mikro antar waktu dengan mengkombinasikan nilai gayaberat antar waktu periode 2008 – 2009 (Gambar 4 (c)) dengan nilai gradient gayaberat antar waktu periode 2008 – 2009 (Gambar 5 (c)) dan dianalisa menggunakan Tabel 1. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Zonasi sumber anomaly gayaberat mikro antar waktu 2008-2009

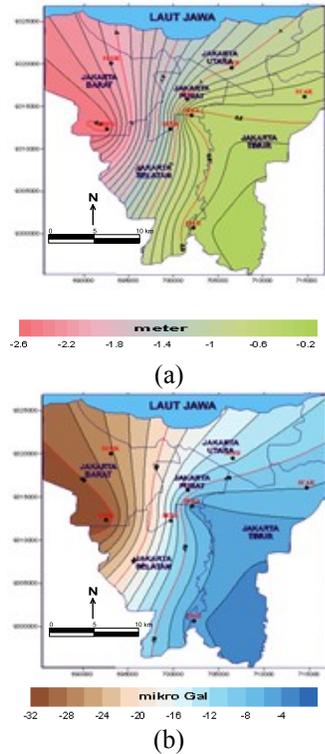
Hasil analisa terhadap Gambar 7 ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Interpretasi sumberanomaly gayaberat mikro antar waktu hasil overlay anomaly gayaberat dengan gradient gayaberat antar waktu periode 2008 – 2009

Warna	Sumber Anomali	Area
	Amblesan	Jakarta Utara, Jakarta Barat, Jakarta Timur, Jakarta Selatan, dan Sebagian Jakarta Pusat
	Pengurangan massa bawah permukaan dan amblesan (dominan)	Sebagian Jakarta Pusat dan Jakarta Selatan
	Pengurangan massa bawah permukaan	Sebagian Jakarta Utara, Sebagian Jakarta Barat, Sebagian Jakarta Pusat, Jakarta Timur, dan Jakarta Selatan

Hasil zonasi sumber anomaly (Gambar 7) ini sangat mendukung hasil pemisahan anomaly menggunakan filter stripping

sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 (a) dan Gambar 6 (b), dimana fenomena amblesan dan pengurangan massa bawah permukaan telah terjadi hamper di seluruh bagian wilayah DKI Jakarta. Data dari hasil pemantauan perubahan tinggi muka air tanah pada sumur-sumur pantau, pada sebagian besar wilayah DKI Jakarta telah terjadi penurunan muka air tanah yang hasilnya digambarkan pada Gambar 8 (a).



Gambar 8 (a) Perubahan tinggi muka air tanah selama periode 2008 – 2009 yang diukur pada sumur-sumur pantau; (b) Respon gayaberat mikro antar waktu akibat penurunan muka air tanah periode 2008 -2009.

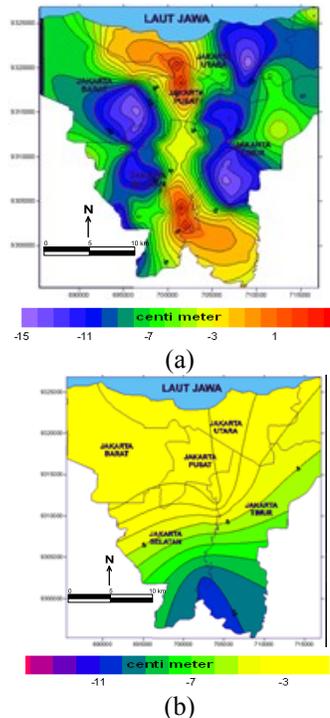
Penurunan muka air tanah yang terjadi selama period 2008 hingga 2009 berkisar hingga $-2,6$ meter. Penurunan muka air tanah ini akan memicu terjadi penurunan muka tanah. Maka dengan menggunakan persamaan untuk menghitung respon gayaberat pada slab Bouguer untuk panjang tak hingga, maka perubahan tinggi muka air tanah tersebut dikonversikan menjadi perubahan respon gayaberat akibat perubahan tinggi muka air tanah dalam reservoir. Allis dan Hunt (1986) menyatakan bahwa perubahan respon gayaberat akibat perubahan tinggi muka air dalam resevoir dengan porositas 30% adalah sebesar $12,579 \mu\text{Gal}/\text{m}$. Hasil konversi dari perubahan tinggi muka air tanah menjadi

Journal homepage: <http://jurnal.unej.ac.id/index.php/JID>

perubahan anomaly gayaberat antar waktu diperlihatkan pada Gambar 8 (b).

Persamaan koreksi udara bebas digunakan untuk menghitung besarnya amblesan berdasarkan perubahan anomaly gayaberat. Besarnya pergerakan vertical muka tanah (amblesan) dihitung berdasarkan peta anomaly sumber dangkal (Gambar 6).

Persamaan koreksi udara bebas menyatakan bahwa untuk perubahan ketinggian stasiun pengamatan sebesar 1 cm akan menyebabkan perubahan respon gayaberat sebesar $3,08765 \mu\text{Gal}$. Besarnya amblesan hasil perhitungan berdasarkan Gambar 6 (a) dan 6 (b) ditampilkan pada Gambar 9 (a) dan Gambar 9 (b).

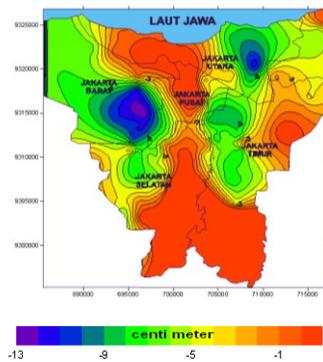


Gambar 9 (a) amblesan total hasil konversi dengan persamaan koreksi udara bebas; (b) amblesan akibat pengambilan airtanah hasil konversi dengan persamaan koreksi udara bebas

Amblesan sebagaimana tergambar pada Gambar 9 (a) adalah amblesan total yang terjadi di Wilayah DKI Jakarta, nilainya berkisar hingga 15 cm dan pengangkatan sekitar 2 cm. Nilai ini tidaklah jauh berbeda dengan hasil pengukuran GPS di Jakarta yang menghasilkan nilai amblesan antara sekitar 24 cm di Pantai Indah Kapuk Jakarta Utara dan

pengangkatan sebesar 4 cm di Cibubur Jakarta Selatan. Amblesan akibat pengambilan air tanah mempunyai nilai gradisional, semakin ke arah selatan nilainya makin tinggi. Nilai amblesan akibat pengambilan air tanah terbesar terjadi di Jakarta Selatan yaitu sebesar -10 cm.

Dengan mengurangi amblesan total yang terjadi dengan amblesan akibat pengambilan tanah (Gambar 9 (b)), maka akan diperoleh besarnya amblesan akibat pembebanan di permukaan. Besarnya amblesan akibat pembebanan di permukaan di gambarkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Amblesan akibat pembebanan di permukaan

Berdasarkan Gambar 10 terlihat bahwa amblesan akibat pembebanan di permukaan selama periode 2008 - 2009 terbesar terjadi wilayah Jakarta Barat Jakarta Utara dimana nilainya berkisar antara 8 – 13 cm , disusul kemudian Wilayah Jakarta Pusat, Jakarta Timur, dan sebagian Jakarta Selatan dengan amblesan kurang dari 8 cm. Di Jakarta Selatan dan Jakarta Timur bagian Selatan (Perbatasan dengan Kabupaten Bogor dan Kotamadia Depok), amblesan masih didominasi oleh akibat dari pengambilan air tanah. Di Jakarta Utara terlihat adanya pengangkatan (uplift) sekitar 2 cm, dan ini adalah akibat dari proyek reklamasi pantai yang terjadi di Pantai Jakarta Utara khususnya di Pantai Indah Kapuk dan Pantai Mutiara.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Kombinasi antara nilai gayaberat mikro antar waktu dan gradient gayaberat antar waktu dapat digunakan sebagai pendukung interpretasi dalam rangka menganalisis terjadi amblesan dan pengurangan massa bawah permukaan (penurunan muka air tanah). Dengan metode tersebut dapat dilokalisir sumber-sumber anomaly gayaberat antar waktu. Untuk Kasus DKI Jakarta, metode ini sangat sesuai dengan hasil pemfilteran untuk memisahkan sumber-sumber anomaly gayaberat antar waktu.
2. Hasil pemodelan amblesan di Jakarta berdasarkan data gayaberat mikro antar waktu yang dipadukan dengan data penurunan muka air tanah dari sumur pantau menunjukkan bahwa amblesan akibat pengambilan air tanah mempunyai nilai yang tergradasi dimana semakin ke Selatan amblesan didominasi oleh sumber tersebut. Sedangkan amblesan akibat pembebanan di permukaan terbesar terjadi di Jakarta Barat dan Jakarta Utara (8 – 13 cm), disusul oleh Jakarta Pusat, Jakarta Timur, dan Jakarta Selatan (kurang dari 8 cm). Di Jakarta Selatan amblesan lebih didominasi akibat pengambilan air tanah.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Dana DIPA P2T eks. Pembangunan Universitas Mataram Tahun Anggaran 2009. Nomer : 0234.0/023.04.2/XXI/2009 oleh karena itu Penulis menyampaikan terima kasih kepada segenap Pengelola DIPA P2T Universitas Mataram.

DAFTAR PUSTAKA

- Aina, A. (1994) : *A simple of Cordell's stripping filter*, Geophysics, **59**, 488-490
Cordell, L. (1985) : *A stripping filter for potential-field data, 55th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts*, 217-218.
Allis, R.G., and Hunt, T.M., 1986, *Analysis of exploitation induced gravity changes at Wairakei Geothermal Field*, Geophysics, 51,

- 1647-1660.
- Branston, M.W., and Styles, P., 2000, *The use of time-lapse microgravity to investigate and monitor an area undergoing surface subsidence: A case study*, www.esci.keele.ac.uk/geophysics.
- Fujimitsu, Y., Nishijima, J., Shimosako, N., Ehara, S., and Ikeda, K., 2000, *Reservoir monitoring by repeat gravity measurements at the Takigami Geothermal Field, Central Kyushu, Japan*, Proceeding World Geothermal Congress, 573-577.
- Hare, J.L., Ferguson, J.F., Aiken, C.L.V., and Bradley, J.L., 1999. *The 4-D microgravity method for water flood surveillance: a model study for the Prudhoe Bay reservoir, Alaska*. Geophysics, 64, 78-87
- Kadir, W.G.A., dkk., 2003, *Studi Amblesan Permukaan Tanah di Semarang Menggunakan Metode Mikrogravitasi 4D*, Laporan Penelitian RUT IX, ITB
- Kadir, W.G.A., Santoso, D., and Sarkowi, M., 2004, *Time Lapse Vertical Gradient Microgravity Measurement for Subsurface Mass Change and Vertical Ground Movement (Amblesan) Identification, Case Study : Semarang Alluvial Plain, Central Java, Indonesia*, SEGJ International Symposium, Japan.
- Kadir, W.G.A., Santoso, D., and Alawiyah, S., 2007, *Principle and Application of 4D Microgravity Survey For Engineering Purpose, Case Example: Groundwater Level Lowering and Subsidence In Residential Area of Jakarta*, SAGEEP, Colorado.
- Santoso D., Muh Sarkowi, and Wawan G.A. Kadir, 2006, *Determination of Negative Groundwater Withdrawal in Semarang City Area Using Time-Lapse Microgravity Analysis*, SEGJ International Symposium, Japan.