

IDENTIFIKASI ZONA PENGURANGAN AIR TANAH BERDASARKAN MODEL 3D GAYA BERAT MIKRO ANTAR WAKTU

Supriyadi^{1✉}, WGA Kadir², Sarkowi³, R Herbet⁴

¹Jurusan Fisika, Universitas Negeri Semarang

^{2,4} Geofisika Terapan Institut Teknologi Bandung

³ Teknik Geofisika Universitas Lampung

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2013

Disetujui Maret 2013

Dipublikasikan April 2013

Keywords:

*time lapse microgravity;
groundwater*

Abstrak

Penelitian ini dilatar belakangi oleh kenyataan bahwa di kota Semarang telah terjadi penurunan muka air tanah di beberapa lokasi. Penelitian menggunakan metoda gaya berat mikro antar waktu (time lapse selama kurun waktu Desember 2003 hingga Juni 2004 di daerah Semarang. Tujuan penelitian adalah untuk mengaplikasikan metoda gaya berat mikro dalam menentukan zona pengurangan air tanah dataran aluvial Semarang dan melakukan pemodelan 3D menggunakan program Grav3D untuk identifikasi zona pengurangan air tanah dataran aluvial Semarang. Akuisisi metoda gaya berat dilakukan dengan menggunakan alat gravitimeter Lacoste & Romberg tipe G1158 dan G1118 yang dilengkapi dengan alliod 100 untuk mengukur gaya berat tiap stasiun dan gravitimeter Lacoste & Romberg tipe G508 untuk mengukur efek pasang surut terhadap gaya berat. Pemodelan 3D anomali gaya berat mikro time-lapse efek dinamika fluida mampu mengidentifikasi 9 zona pengurangan air tanah yakni sekitar masjid Ataqwa, PRPP, Tugu Muda, Simpang Lima, Jl. Majapahit, Genuk, Tanah Mas, Tanah Putih dan daerah sekitar kelurahan Sendangguwo.

Abstract

The background of this research is that Semarang has experienced the ground water level degradation in some areas. The method used in this research was time lapse microgravity during December 2003 to June 2004. The purpose of the research is to apply the microgravity method in determining the reduction zone of groundwater and alluvial plains Semarang using a 3D modeling by using Grav3D program to identify the reduction of groundwater zone of alluvial plains in Semarang. The acquisition method of gravity was done by using a Lacoste & Romberg gravitimeter G1158 and G1118 type equipped with alliod 100 to measure the gravity of each station and Lacoste & Romberg gravitimeter G508 type to measure the tidal effect of the gravity. The 3D modeling microgravity anomaly time-lapse effects of fluid dynamics is able to identify 9 groundwater reduction zones which is about, Ataqwa mosque, PRPP, Tugu Muda, Simpang Lima, Jl. Majapahit, Genuk, Tanah Mas, Tanah Putih, and around Sendangguwo area.

© 2013 Universitas Negeri Semarang

[✉] Alamat korespondensi:

Gedung D7 Lt 2 Kampus Sekaran Semarang 50229

E-mail: pryfis@yahoo.com

Pendahuluan

Metoda gaya berat mengukur variasi dari medan gaya berat bumi yang disebabkan oleh perbedaan rapat massa batuan bawah permukaan (Reynolds, 1997). Metoda gaya berat mikro antar waktu (*time lapse microgravity anomaly*) merupakan pengembangan dari metoda gaya berat dengan dimensi keempatnya adalah waktu, sementara pengukurannya menggunakan gravitimeter yang teliti dalam orde μ Gal. Prinsip dari metoda ini adalah pengukuran gaya berat mikro secara berulang baik harian, mingguan, bulanan atau tahunan sehingga dapat mengamati kemungkinan adanya perubahan rapat massa dan geometri sumber bawah permukaan sebagai fungsi x , y , z dan t . Perubahan nilai gaya berat mikro antar waktu di suatu titik disebabkan karena perubahan fluida bawah permukaan, perubahan titik amat, dan adanya perubahan bangunan di sekitar titik amat.

Anomali gaya berat mikro antar waktu didefinisikan sebagai selisih harga pembacaan gaya berat setiap stasiun pada waktu berbeda (Kadir 1999). Jika tidak terjadi perubahan kondisi lingkungan sekitarnya, seperti perubahan bangunan fisik, misalnya gedung, jembatan, dan sebagainya, maka anomali gaya berat mikro antar waktu hanya dipengaruhi oleh kemungkinan adanya perubahan elevasi dan perubahan massa bawah permukaan, seperti pengambilan air tanah atau imbuhan air tanah pada suatu reservoir air tanah.

Penerapan metode gaya berat mikro antar waktu yang berhubungan dengan lingkungan dilakukan oleh Lyness (1985), Branston dan Style (2003) yang memantau amblesan tanah di daerah pertambangan. Sedangkan untuk 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 10μ Gal di Cap Pele. Goodkind (1986) menunjukkan adanya korelasi yang baik antara perubahan harga gaya berat dengan data curah hujan. Akasaka dan

Nakanishi (2000), melakukan pengukuran curah hujan, perubahan kedalaman muka air tanah dan gaya berat di daerah panas bumi Oguni Jepang yang mendapatkan hubungan antara perubahan curah hujan dengan perubahan kedalaman muka air tanah di daerah tersebut. Branston dan Style (2003), melakukan pemantauan amblesan tanah di daerah pertambangan.

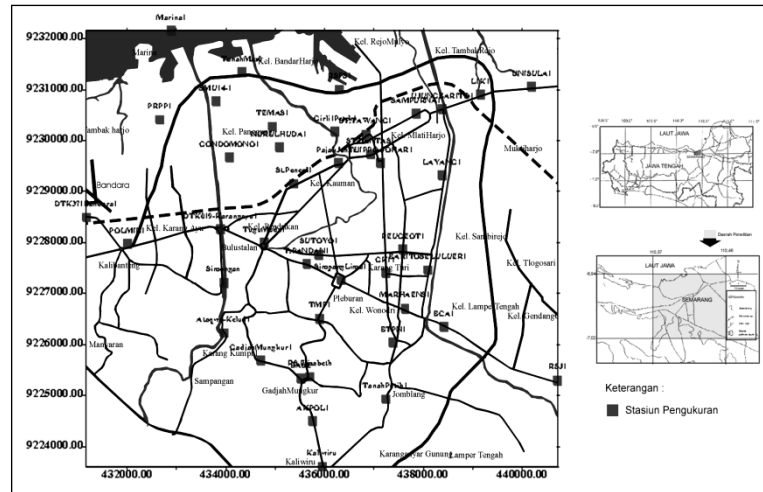
Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian terdahulu yang terkait dengan penggunaan metode gaya berat mikro antar waktu untuk berbagai keperluan, maka pada penelitian ini telah diaplikasikan metode gaya berat mikro antar waktu untuk memantau dinamika muka air tanah, khususnya yang terkait dengan penurunan muka air tanah yang terjadi di kota Semarang. Kasus ini akan lebih jelas jika visualisasi perubahan nilai gaya berat mikro antar waktu dilakukan secara tiga dimensi. Untuk keperluan ini, maka pada pengolahan data gaya berat digunakan perangkat lunak Grav 3D lisensi kampus ITB. *Output* penelitian berupa peta kontur gaya berat mikro antar waktu, penampang melintang kontur gaya berat mikro antar waktu, dan visualisasi tiga dimensi perubahan gaya berat dan perubahan densitas bawah permukaan yang terkait dengan pengurangan air tanah di Semarang.

Metode

Metode gaya berat mikro antar waktu secara umum adalah melakukan pengukuran gaya berat secara berulang dalam selang waktu tertentu pada titik yang sama. Tahapan kegiatan di lapangan sebagai berikut:

Pengukuran gaya berat

Melakukan kegiatan awal berupa penentuan lokasi titik ukur untuk pengukuran gaya berat. Untuk menentukan koordinat titik ukur dengan menggunakan GPS (*Global Position System*). Sebaran titik ukur gaya berat untuk keperluan penelitian seperti pada Gambar 1 berikut. Periode pengukuran adalah Desember 2003 dan Juni 2004.



Gambar 1. Sebaran titik ukur gaya berat di lokasi penelitian

Desain dalam rangkaian tertutup, survey dibagi dalam beberapa looping atau rangkaian dimana satu looping terdiri dari beberapa titik pengukuran dan diawal dan diakhir looping selalu kembali ke titik referensi (KOP A. Yani 15) yang terletak di Taman Diponegoro dengan nilai gaya berat terukur 978099,311 mGal.

Pengukuran nilai gaya berat pada tiap titik pengukuran dilakukan dengan menggunakan Gravimeter Lacoste & Romberg Tipe G1158 dan G1118. Di setiap titik pengukuran dilakukan pengukuran sebanyak tiga kali dengan ketinggian yang berbeda yakni 0, 25 dan 50 cm di atas permukaan tanah. Namun khusus untuk studi dalam tugas akhir ini hanya menggunakan data pengukuran pada ketinggian 0 cm di atas permukaan tanah.

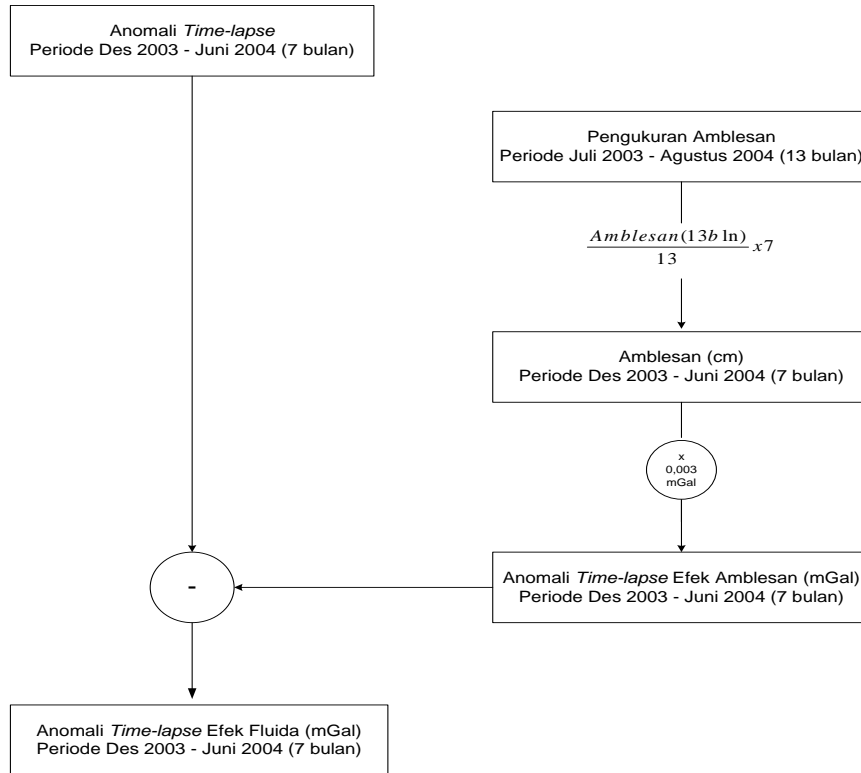
Pengukuran pasang surut gaya berat (*tide*) dengan Gravimeter Lacoste & Romberg tipe G 508 yang telah dimodifikasi dengan menambahkan *feedback factor*, sehingga recordingnya dapat langsung dengan komputer. Interval waktu

pengambilan data pasang surut dilakukan dalam orde 1 menit.

Untuk data posisi dan elevasi stasiun digunakan GPS Trimble 4000 LS tipe Geodetik dan Garmin V dengan menggunakan metoda differential.

Pengolahan data

Pengolahan data gaya berat mikro antar waktu dibagi atas dua bagian, yaitu: reduksi data awal dan penolahan data lanjut. Reduksi awal data anomali gaya berat antar waktu hanya diakibatkan oleh perubahan rapat massa, dimana geometri diasumsikan konstan, maka koreksi yang dilakukan pada gaya berat bacaan hanyalah koreksi kesalahan lingkup pengukuran (*drift*) dan koreksi pasang surut (*tidal*). Dari koreksi-koreksi tersebut akan diperoleh gaya berat observasi lokal. Untuk lebih jelasnya dapat melihat flowchart di bawah ini (Gambar 2) yang memperlihatkan tahapan untuk memperoleh nilai anomali gaya berat efek atau respon dari dinamika air tanah.



Gambar 2. Diagram alir pengukuran gaya berat dan pengolahannya

Pemodelan inversi 3D

Pemodelan inversi yang disajikan di sini adalah pemodelan inversi menggunakan *software* Grav3D (dibangun oleh *UBC Geophysical Inversion Facility, Department of Earth and Ocean Sciences, University of British Columbia*). *Software* tersebut digunakan dalam memodelkan zona pengurangan fluida bawah permukaan di daerah penelitian. Pemodelan inversi yang dituliskan di bawah ini bersumber dari makalah Li dan Oldenburg (1998). Metoda inversi gaya berat terdiri dari :

1. Algoritma inversi magnetik 3-D, dimana data gaya berat ditransformasi menjadi data pseudomagnetik menggunakan hubungan Poisson.
2. Inversi data gaya berat secara langsung untuk memperoleh model struktur minimum.

Berdasarkan kedua pendekatan di atas, bumi dimodelkan dengan menggunakan sejumlah besar sel *rectangular* dari densitas dan kemudian distribusi densitas akhir diperoleh dengan meminimalisir fungsi model objektif untuk menyesuaikan antara model dengan data lapangan.

Data yang digunakan dalam pemodelan adalah data anomali gaya berat mikro antar waktu dan anomali gaya berat mikro antar waktu efek

dari dinamika fluida. Untuk pemodelan anomali gaya berat mikro antar waktu dan gaya berat mikro antar waktu efek dinamika fluida digunakan ukuran grid data sebesar 20 x 20.

Bumi dimodelkan dalam 10.815 sel yang memiliki kontras densitas yang sama setiap selnya. Lebar sel bumi dari arah barat hingga ke timur adalah sebesar 170 m demikian juga dengan lebar dari arah selatan ke utara sebesar 170 m. Sementara kedalaman maksimum model bumi diestimasi sebesar 170 m. Error dalam pemodelan diambil sebesar 10 % dari masing-masing data anomali gaya berat mikro *time-lapse*. Batas bawah untuk kontras densitas model ditentukan sebesar - 0,3 g/cc sesuai dengan besarnya kontras densitas ketika batuan mengalami pengurangan fluida yang berupa penurunan muka air tanah.

Hasil dan Pembahasan

Anomali gaya berat mikro antar waktu periode Des 2003 – Jun 2004

Berdasarkan peta kontur anomali gaya berat mikro waktu (Gambar 3) dapat disebabkan karena respon amblesan dan kenaikan permukaan tanah di titik amat, dinamika fluida bawah permukaan

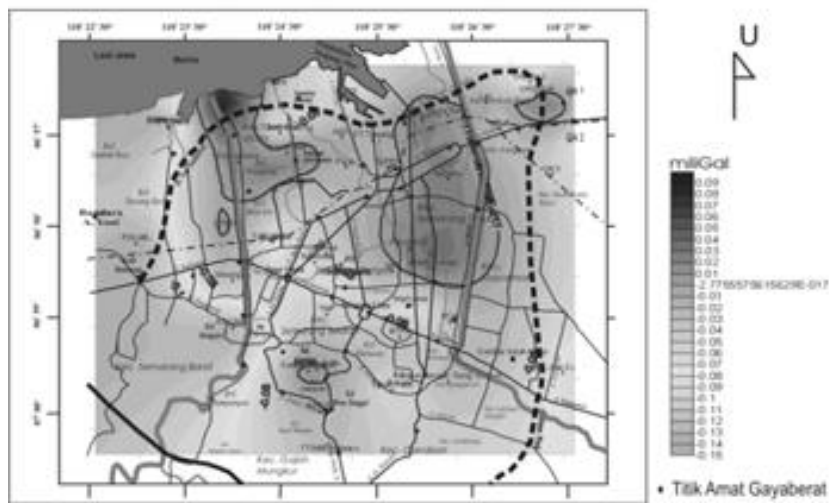
yang berupa penambahan maupun pengurangan air tanah, dan adanya bangunan baru di sekitar titik amat. Respon yang berbagai macam tersebut tidak akan kita bahas satu persatu namun kita hanya meninjau mengenai respon amblesan tanah secara sekilas dan respon pengurangan air tanah yang menjadi objektif penelitian ini terhadap nilai anomali gaya berat mikro yang diperoleh. Asumsi kita adalah tidak terjadi penambahan bangunan baru maupun perubahan bangunan di sekitar titik amat yang dapat menyebabkan perubahan dalam anomali gaya berat mikro. Nilai anomali gaya berat

mikro antar waktu yang diperoleh mempunyai kemungkinan sebagai berikut.

$\Delta g(+)$ maka ada dua kemungkinan yakni nilai massa bertambah dan atau jarak antara titik amat dengan pusat bumi semakin dekat.

$\Delta g(-)$ maka ada dua kemungkinan yakni nilai massa berkurang dan atau jarak antara titik amat dengan pusat bumi semakin jauh.

$\Delta g \approx 0$ maka daerah tersebut stabil, massa maupun jarak mengalami perubahan yang besarnya sama.



Gambar 3. Nilai gaya berat mikro antar waktu Desember 2003-Juni 2004

Tabel 1. Amblesan daerah Semarang

No	Daerah	Des 2003 – Jun 2004
1.	Genuk	3 - 3.5
2.	Kec. Semarang Utara	3 - 4
3.	Pantai Marina s/d Pelabuhan Tanjung Mas	6 - 8
4.	Kec. Semarang Timur	3 - 3.5
5.	Jl. Raden Patah	2.5 - 3.5
6.	Kel. Tambak Rejo	2.5 - 3.5
7.	Unisula	3 - 3.5
8.	Kec. Semarang Barat	1.5 - 2
9.	Kec. Semarang Tengah	0.5 - 1
10.	Kec. Candisari	0.5 - 1
11.	Kel. Kaligawe	2.5 - 3
12.	Kel. GajahMungkur	0 - 0.5
13.	LIK	2.5 - 3
14.	Gondowoso	2.5 - 3.5
15.	Tugu Muda	0.5 - 1

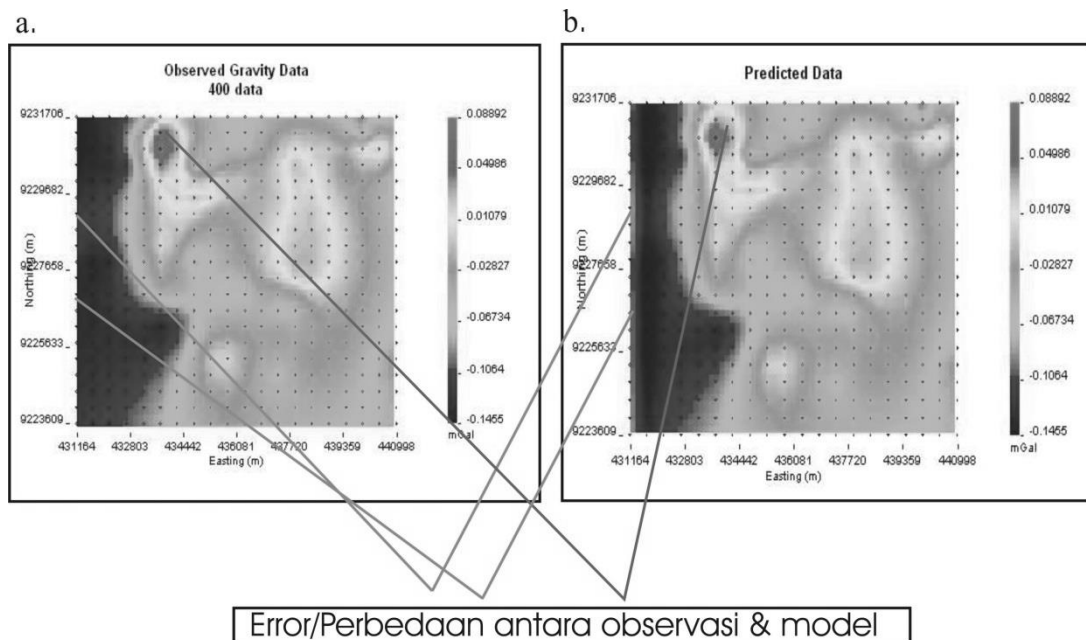
Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai maksimum anomali gaya berat mikro antar waktu adalah positif 90 μ Gal dan minimum sebesar -150 μ Gal. Anomali positif ditemukan di sekitar daerah Kecamatan Semarang Utara, Gondowono hingga Pantai Marina. Selain itu di daerah Kecamatan Semarang Timur (sekitar Jl. Barito), Jl. Raden Patah ditemukan anomali positif. Anomali positif di daerah yang disebutkan di atas sangat tinggi antara 40 hingga 90 μ Gal terutama di sekitar Pantai Marina. Daerah yang memiliki anomali gaya berat mikro antar waktu positif cenderung memiliki amblesan yang tinggi. Berikut ini (Tabel 1) adalah data amblesan pada beberapa wilayah di Semarang:

Pemodelan 3D anomali gaya berat mikro antar waktu

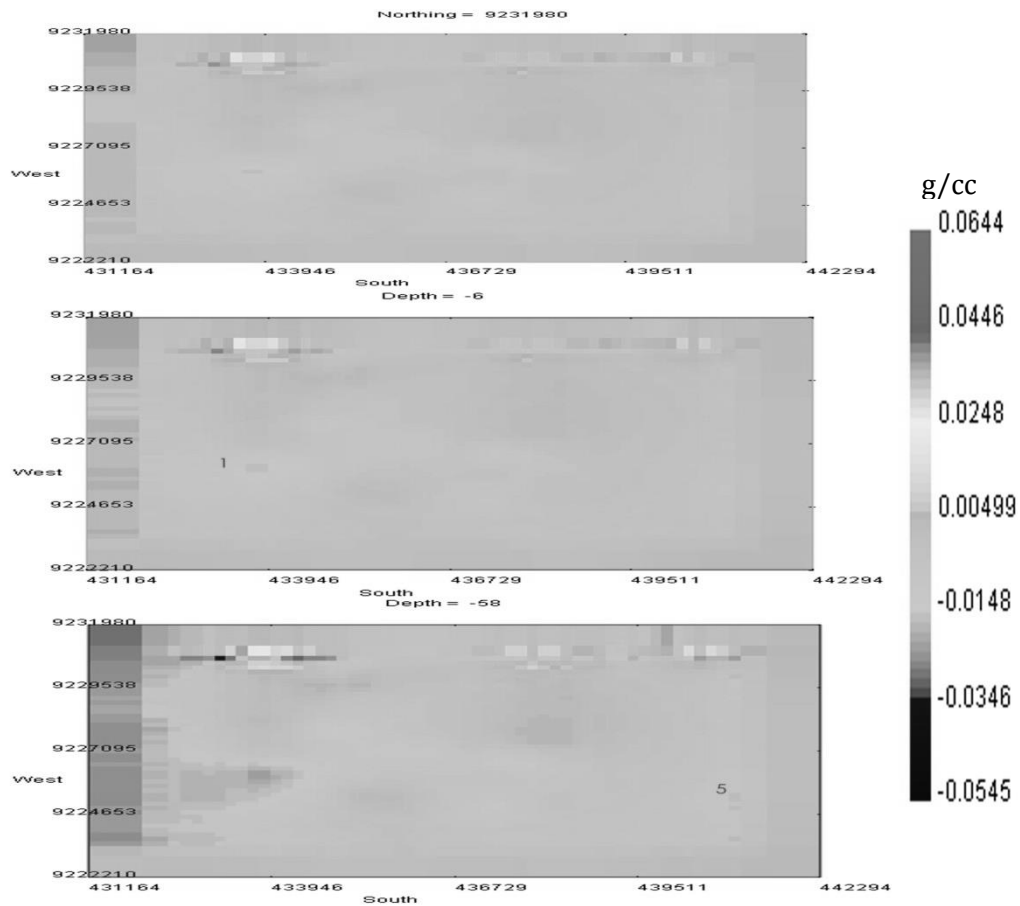
Model 3D anomali gaya berat mikro antar waktu dihasilkan dengan menggunakan bantuan *software* pemodelan inversi Grav3D. Pada Gambar 4 merupakan gambar kontur anomali gaya berat mikro antar waktu dari penelitian dan kontur anomali gaya berat mikro antar waktu dari model

yang dihasilkan. *Error* antara model dengan data observasi adalah sekitar $0,3620 \cdot 10^3$ hingga $0,4027 \cdot 10^3$ sementara normalisasi model atau fungsi objektif model berkisar $0,2112 \cdot 10^2$ hingga $0,1563 \cdot 10^2$. Perbedaan antara model dengan anomali gaya berat hanya terlihat pada 2 wilayah sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4. Perbedaan ini terlihat pada bagian utara (49 M 434442 9231301) dan tepi kiri (49 M 433622.5 UTM Y (mulai dari 9225633-9231706)). Bagian utara kira-kira berada di daerah sekitar Pantai Marina.

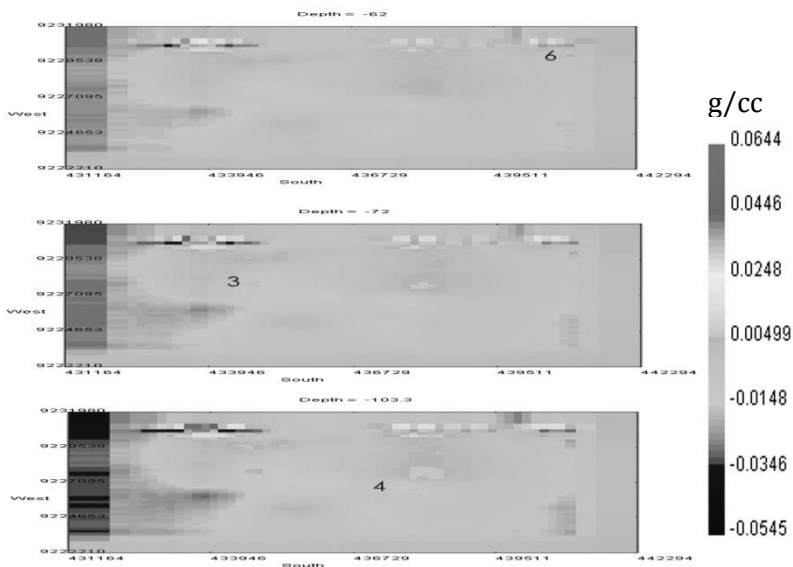
Banyaknya perbedaan yang terjadi di tepi kiri merupakan hal wajar karena pada prinsipnya model *recover* (model yang dihasilkan dari proses inversi) hanya berada di area penelitian, sementara perbedaan yang muncul berada di luar daerah penelitian dan ini yang sering disebut sebagai efek tepi. Efek tepi ini juga muncul di daerah utara model. Hal ini perlu dipahami sehingga pada saat interpretasi model tidak terjebak pada *pitfall* tersebut yang dapat menimbulkan salah interpretasi



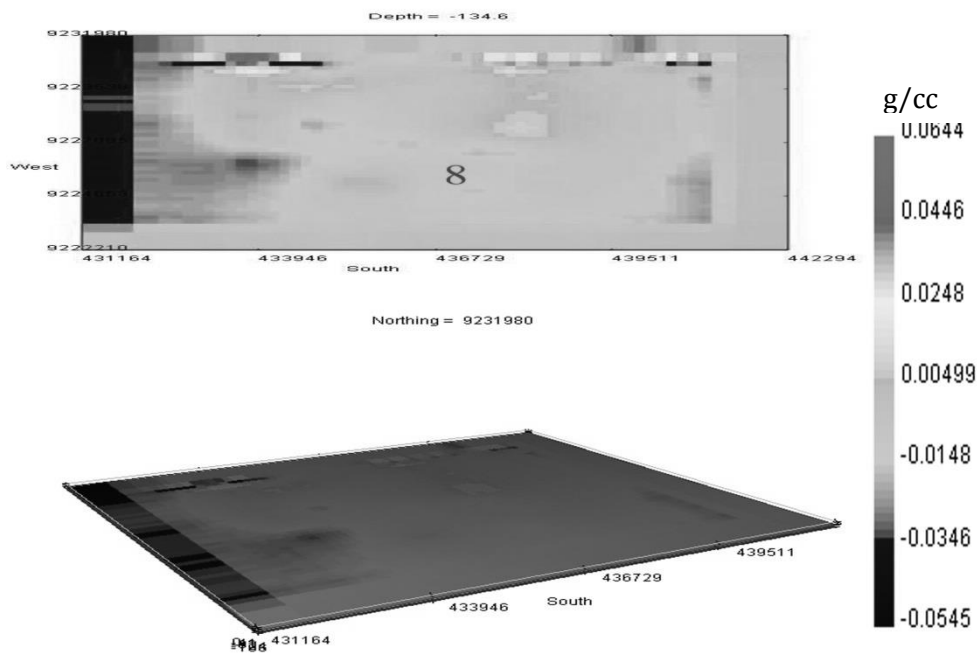
Gambar 4. Perbedaan antara anomali observasi dengan model yang dihasilkan, a. anomali antar waktu hasil observasi, b. anomali antar waktu model



Gambar 6. Zona pengurangan air tanah Semarang dengan simulasi pada kedalaman 6 dan 58 m dbpts serta potongan melintang Utara 9231980.



Gambar 7. Zona pengurangan air tanah Semarang dengan simulasi pada kedalaman 62, 72 dan 103,3 m dbpts.



Gambar 8. Zona pengurangan air tanah Semarang dengan simulasi pada kedalaman 134.6 m dbpts dan model 3D anomali gaya berat mikro antar waktu periode Desember 2003 – Juni 2004.

Berdasarkan gambar di atas (Gambar 6 s.d Gambar 8) diperoleh bahwa pengurangan air tanah di daerah sekitar Kec. Semarang Barat/Ataqwa semakin banyak pada kedalaman 6 m dbpts, zona pengurangan air tanah ini semakin meluas dengan bertambahnya kedalaman diduga karena pengambilan air tanah melalui sumurbor yang biasanya berada pada kedalaman 50-60 m (Sarkowi 2007), hal ini terlihat ketika berada pada kedalaman 58 m dbpts zona pengurangan air tanahnya semakin meluas sampai ke daerah sekitar Polmil dan PRPP. Sementara di daerah sekitar Genuk pengurangan air tanah yang cukup besar mulai terlihat pada kedalaman 62 m dbpts. Pengurangan air tanah yang cukup besar di daerah sekitar Tugu Muda mulai dideteksi pada kedalaman 72 m dbpts sementara zona pengurangan air tanah Simpang Lima berada di kedalaman 103,3 m dbpts dan daerah sekitar Tanah Putih di kedalaman 134,4 m dbpts. Pengurangan air tanah di Jl. Majapahit terdeteksi pada kedalaman 58 m dbpts menyebar sampai daerah sekitar Kel. Gendang Guwo.

Pemodelan anomali gaya berat mikro antar waktu yang murni diakibatkan oleh dinamika

fluida semakin menguatkan interpretasi yang telah dilakukan di atas. Zona pengurangan air tanah di daerah sekitar Ataqwa terdeteksi mulai dari kedalaman 2 m dbpts dan meluas pada kedalaman 58 m dbpts. Hal ini wajar karena pada saat pemodelan anomali gaya berat mikro antar waktu masih tercampur antara efek akibat amblesan dan fluida sehingga kedalaman pengurangan air tanah baru terdeteksi pada kedalaman 6 m dbpts. Sementara di daerah sekitar Jl. Majapahit terdeteksi pada kedalaman 20 m dbpts. Kedalaman pengurangan air tanah di daerah Tugu Muda dan Simpang Lima & Tanah Putih adalah pada 72 m dan 103.3 m dbpts yang sama dengan interpretasi model sebelumnya. Suatu hal yang menarik adalah munculnya kontras densitas positif di beberapa tempat walaupun anomali yang dimodelkan murni efek dari fluida. Hal ini disebabkan karena adanya imbuhan dalam hal ini dikontrol oleh aktivitas Banjir Kanal Barat dan Banjir Kanal Timur serta recharge dari akuifer perbukitan Candi Atas. Zona imbuhan air tanah tersebut dideteksi pada daerah sekitar Marina, daerah sekitar Ujung Barito & Sampurna (24 m dbpts), sekitar SMU 14 (58 m dbpts) serta sekitar Gajah Mungkur (72 m dbpts).

Penutup

Berdasarkan uraian dalam Bab Analisa dan Pembahasan, maka disimpulkan sebagai berikut: (1) Anomali positif ditemukan di daerah Kecamatan Semarang Utara, Gondowono hingga Pantai Marina, Kecamatan Semarang Timur (sekitar Jl. Barito) dan Jl. Raden Patah. Anomali positif ini disebabkan karena adanya amblesan tanah yang terjadi di daerah ini, dan didukung oleh data hasil pengukuran leveling yang menunjukkan laju amblesan yang tinggi di daerah tersebut, (2) Anomali negatif dijumpai hampir merata di seluruh wilayah penelitian, nilai negatif paling besar ditemukan di sekitar daerah Kec. Semarang Barat, PRPP, Kawasan Industri LIK, Kaligawe, St. Tawang, Simpang Lima, Tanah Mas, daerah Pelabuhan Tanjung Mas. Anomali negatif ini disebabkan karena penggunaan sumur bor yang semakin meningkat dari tahun ke tahun dan bahkan cenderung tidak terkendali, (3) Model inversi 3D anomali gaya berat mikro *time-lapse* efek dinamika fluida berhasil mengidentifikasi zona pengurangan air tanah yakni pada daerah sekitar Ataqwa (Kec. Semarang Barat), Polmil, Tugu Muda, Simpang Lima, Majapahit, Genuk, Kelurahan Gendang Guwo, Tanah Putih dan Tanah Mas. Kedalaman zona pengurangan air tanah bervariasi antara 2 m dbpts hingga 134,6 m dbpts. Zona pengurangan air tanah di daerah Kec. Semarang Barat/ Ataqwa semakin menyebar luas pada kedalaman 58 m dbpts, dan (4) Model inversi 3D anomali gaya berat mikro *time-lapse* efek dinamika fluida berhasil mengidentifikasi zona imbunan air

tanah di daerah sekitar Marina, sekitar Gadjah Mungkur, daerah sekitar Ujung Barito & Sampurna serta sekitar SMU 14. Imbunan ini dikontrol oleh aktivitas Banjir Kanal Barat dan Banjir Kanal Timur serta recharge dari akuifer perbukitan Candi Atas.

Daftar Pustaka

- Akasaka C & Nakanishi S. 2000. An evaluation of the background noise for microgravity monitoring in the oguni field, Japan, *Proceedings of 25th Stanford Geothermal Workshop*, 24- 26 January 2000.
- Branston MW & Style P. 2003. The application of time lapse microgravity for the investigation and monitoring of subsidence at northwich, cheshire, *J Eng Geol and Hydrogeol*, 36 (3): 231 - 244.
- Goodkind JM. 1986. Continous measurement of nontidal variations of gravity. *J Geophysics Res.* 91: 9125-9134.
- Kadir WGA. 1999. *Survey gaya berat 4 dimensi dan dinamika sumber bawah permukaan*, Surabaya: Prosiding HAGI XXIV.
- Lamber A & Beamont C. 1997. Nanovariations in gravity due to seasonal groundwater movement studies : implications for the gravitational detections of tectonics movements. *J Geophysics Rese*, 82: 297-306.
- Lyness D. 1985. The gravimetric detection of mining subsidence. *Geophysics Prospecting*. 33: 567-576.
- Reynolds JM. 1997. *An introduction to applied and environmental geophysics*, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Sarkowi M. 2007. *Gaya berat mikro antar waktu untuk analisa perubahan kedalaman muka air tanah (Studi Kasus Dataran Aluvial Semarang)*. Disertasi. ITB Bandung.