

## PERHITUNGAN DEFISIT AIR TANAH DAERAH SEMARANG BERDASARKAN INVERSI ANOMALI 4D MICROGRAVITY

Muh Sarkowi

Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung.  
E-mail : sarkov323@yahoo.com

### ABSTRACT

The continuous and unbalance withdrawal of ground water in Semarang region with the ground water recharge may cause the decrease/deficit of ground water which can cause land subsidence in the region. This research is carried out to find out the ground water deficit which may be occurred with 4D microgravity. The microgravity measurement was done using gravimeter Lacoste & Romberg type G1158 fitted with system feedback factor with accuracy of 5 microGal. The gravity measured was corrected by the corrections of tidal gravity and drift to obtain the observation gravity. The 4D anomaly microgravity is a difference of the final and initial of each measurement. The 4D anomaly microgravity was caused by subsidence and the ground water deficit in the ground surface to get the 4D anomaly microgravity which was caused by the ground water dynamic, therefore the subsidence influenced must be corrected. The corrected subsidence was done by measuring the height using leveling method. The calculation of ground water deficit was done by interpreting 3D anomaly 4D microgravity. The result showed that in the period of 2002 up to 2005, there was ground water deficit of 50.910.000 m<sup>3</sup> with deficit rate of 44.500 m<sup>3</sup>/day.

**Keywords:** water deficit, microgravity 4D, Semarang

### ABSTRAK

Pengambilan air tanah secara terus menerus di daerah Semarang yang tidak seimbang dengan recharge air tanah menyebabkan terjadinya pengurangan air tanah (defisit air tanah) yang pada akhirnya akan menyebabkan amblesan tanah di daerah tersebut. Untuk mengetahui jumlah defisit air tanah yang terjadi pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengukuran 4D microgravity. Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran microgravity dengan menggunakan gravimeter Lacoste & Romberg type G1158 yang dilengkapi system feedback factor dengan ketelitian 5 microGal. Gayaberat hasil pengukuran dikoreksi dengan koreksi pasang surut gayaberat dan koreksi drift untuk mendapatkan gayaberat observasi. Anomali 4D microgravity merupakan selisih nilai gayaberat akhir dengan awal tiap periode pengukuran. Anomali 4D microgravity ini disebabkan amblesan tanah dan pengurangan air tanah di bawah permukaan, untuk mendapatkan anomaly 4D microgravity yang disebabkan oleh dinamika air tanah maka pengaruh amblesan harus dikoreksikan. Koreksi amblesan dilakukan dengan melakukan pengukuran ketinggian menggunakan metode sipat datar. Perhitungan pengurangan air tanah dilakukan dengan melakukan interpretasi 3D anomaly 4D microgravity. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa selama periode tahun 2002 sampai 2005 telah terjadi defisit air tanah sebesar 50.910.000 m<sup>3</sup>, dengan laju defisit 44.500 m<sup>3</sup>/hari.

**Kata kunci:** kekurangan air, 4D microgravity, Semarang

### 1. PENDAHULUAN

Defisit air tanah yang ditunjukkan oleh adanya penurunan muka air tanah telah menjadi masalah yang serius di daerah perkotaan. Penurunan muka air tanah biasanya diikuti terjadinya amblesan tanah dan untuk daerah pantai proses amblesan ini akan menyebabkan masuknya air laut ke dataran seperti yang terjadi di daerah Semarang. Perhitungan defisit air tanah pada umumnya dihitung berdasarkan selisih antara jumlah pengambilan air tanah dengan jumlah imbuhan air tanah di daerah tersebut. Pemantauan jumlah air yang diambil dari sumur bor di daerah perkotaan sulit mendapatkan hasil yang baik karena tidak semua sumur bor dilengkapi dengan alat ukur.

Pengambilan air tanah yang berlebihan akan menyebabkan penurunan muka air tanah atau pengurangan jumlah air tanah yang terkandung dalam akifer air tanah. Berkurangnya jumlah air tanah ini akan menyebabkan pula perubahan densitas di akifer tersebut. Metode gayaberat dapat digunakan untuk mengamati perubahan densitas pada akifer akibat perubahan kandungan air tanah. Semakin besar kandungan air tanah pada akifer maka respon gayaberat yang teramati akan semakin besar dan sebaliknya.

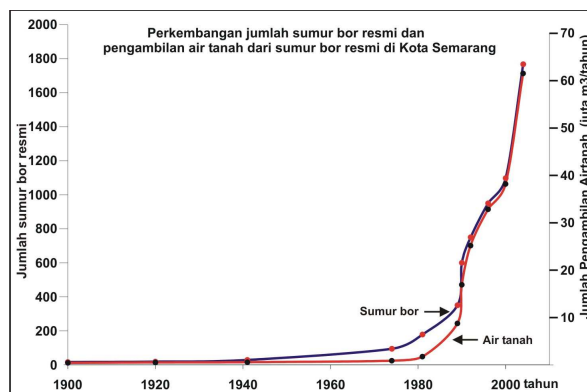
Metode 4D microgravity merupakan pengembangan dari metode gayaberat yang dicirikan oleh pengukuran microgravity secara berulang dengan interval waktu tertentu. Penerapan metode microgravity yang berhubungan dengan lingkungan telah dimulai oleh Lambert dan Beamoont<sup>1)</sup> yang mengamati adanya perubahan gayaberat secara musiman akibat perubahan hidrologi di Cap Pele yang mencapai 10  $\mu$ Gal. Goodkind<sup>2</sup> (1986) menunjukkan adanya korelasi yang baik antara perubahan harga gayaberat dengan data curah hujan. Akasaka dan Nakanishi<sup>3)</sup> melakukan pengukuran curah hujan, perubahan muka air tanah dan gayaberat 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<sup>4)</sup> melakukan pemantauan amblesan tanah di daerah pertambangan. Pada makalah ini akan dibahas metode 4D microgravity untuk pemantauan penurunan muka air tanah di daerah Semarang dan untuk mengetahui defisit air tanah berdasarkan data anomali 4D microgravity.

Interpretasi anomali 4D microgravity akibat dinamika air tanah pada prinsipnya akan mendapatkan jumlah massa air tanah yang berubah di daerah tersebut yang direpresentasikan oleh perubahan kontras densitas dikalikan dengan perubahan volume yang terjadi. Sehingga defisit air tanah dapat dihitung dari hasil interpretasi anomali 4D microgravity.

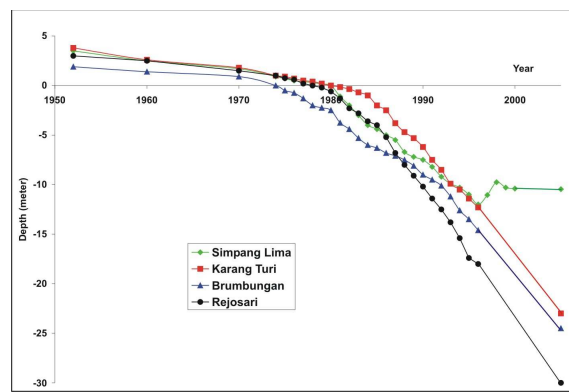
Untuk pemantauan perubahan kedalaman muka air tanah di daerah Semarang, telah dilakukan pengukuran gayaberat dan ketinggian mulai tahun 2002 – 2006 dengan selang waktu 6 bulan. Sebanyak 45 titik gayaberat yang tersebar dari daerah Kaliwiru sampai Pelabuhan dan dari Pedurungan sampai Kalibanteng telah diukur sebanyak 7 kali menggunakan gravimeter Lacoste & Romberg tipe G1158 yang dilengkapi dengan alliod system. Sedangkan pengukuran ketinggian menggunakan Theodolit type Water Pass Nak. Gayaberat yang terukur dipermukaan merupakan gabungan dari beberapa penyebab anomali seperti penurunan tanah dan perubahan densitas bawah permukaan akibat adanya dinamika fluida bawah permukaan. Allis dan Hunt<sup>5)</sup> menyatakan penurunan muka tanah menyebabkan perubahan gayaberat pengukuran sebesar 3  $\mu$ Gal/cm. Respon perubahan gayaberat akibat penurunan muka air tanah dapat dihitung menggunakan pendekatan koreksi Bouguer sederhana dengan memasukkan faktor porositas. Perubahan muka air tanah 1 meter dengan porositas batuan 30% menyebabkan perubahan respon gayaberat 12,579  $\mu$ Gal.

### 1.1. Masalah Air Tanah di daerah Semarang

Perubahan kedalaman muka air tanah pada suatu tempat dipengaruhi oleh: musim, banyaknya curah hujan, pengambilan air tanah dan lain-lain. Pemodelan untuk mengetahui perubahan muka air tanah sulit mendapatkan hasil yang baik karena kondisi hidrogeologi yang kompleks, seperti: jenis tanah, struktur tanah, porositas akuifer dan lain-lain. Karena itu perhitungan defisit air tanah pada suatu daerah sering dilakukan dengan banyak asumsi yang harus dimasukkan. Tidak semua sumur bor mencatat dengan baik berapa jumlah pengambilan tiap hari, namun demikian yang dapat diamati adalah penurunan muka air tanah pada sumur pantau.



**Gambar 1.** Perkembangan jumlah sumur bor resmi dan pengambilan air tanah tertekan dari sumur bor resmi di kota Semarang



**Gambar 2.** Penurunan muka air tanah tertekan pada sumur pantau Karangturi, Simpanglima, Brumbungan dan Rejosari tahun 1952 - 2005

Daerah penelitian ini meliputi daerah dataran alluvial Semarang yang memiliki morfologi terdiri dari bentang perbukitan di daerah Selatan dan dataran rendah di bagian Utara. Daerah dataran merupakan endapan alluvial, delta dan pasang-surut yang menempati hampir 60% dari daerah penelitian. Pemanfaatan air tanah tertekan di kota Semarang telah dimulai sejak dilakukannya pemboran pertama tahun 1842 pada

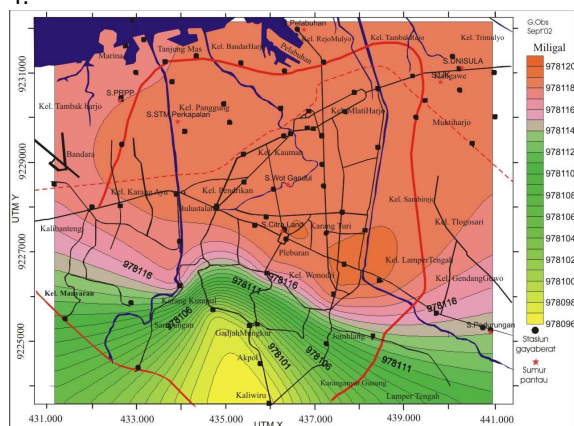
masa pemerintahan Hindia Belanda, di Fort Wilhelm [6]. Pencatatan jumlah sumur produksi air tanah dimulai pada tahun 1900 dengan jumlah sebanyak 16 dan laju pemompaan sekitar 1170 m<sup>3</sup>/hari. Perkembangan jumlah sumur bor resmi dan laju pengambilan air tanah ditunjukkan Gambar 1.

Pengambilan air yang terus meningkat akibat dari kemajuan pembangunan perumahan dan industri yang terus berkembang pesat menyebabkan terjadinya penurunan muka air tanah. Penurunan muka air tanah menyebabkan penurunan muka tanah dan masuknya air laut ke daratan saat air laut pasang (*rob*). Pemantauan muka air tanah di daerah Semarang telah dilakukan sejak tahun 1958 oleh DGTL Bandung yang menunjukkan kecenderungan terjadinya penurunan muka air tanah di daerah Semarang seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Adanya penurunan muka air tanah dengan laju penurunan mencapai 1,5 m/tahun memungkinkan untuk dipantau menggunakan metode 4D microgravity.

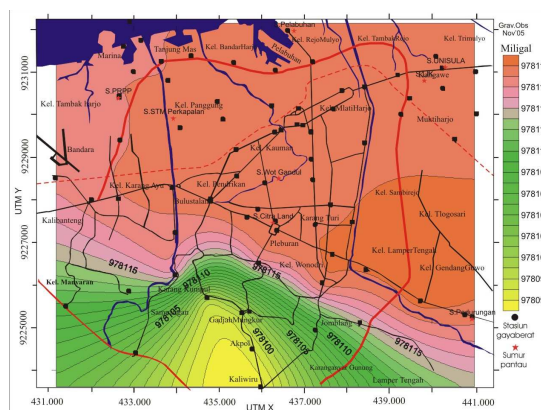
## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Microgravity

Pengukuran microgravity di daerah Semarang telah dilakukan sebanyak 7 kali mulai tahun 2002 sampai tahun 2006. Pengukuran microgravity di lapangan menggunakan gravimeter Lacoste & Romberg tipe G1158 yang dilengkapi alliod sistem dengan ketelitian 5 µgal, sedangkan untuk pengukuran pasang surut secara kontinyu di base station digunakan gravimeter Lacoste & Romberg tipe G508 yang dilengkapi sistem umpan balik elektronik dan terhubung dengan komputer. Pengukuran gayaberat menggunakan metode looping dengan titik KOP A Yani yang terletak di Taman Diponegoro digunakan sebagai titik ikat gayaberat. Pengukuran gayaberat tiap periode dilakukan dengan urutan pengukuran yang tetap. Contoh microgravity hasil pengukuran untuk bulan September 2002 dan Nopember 2005 ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



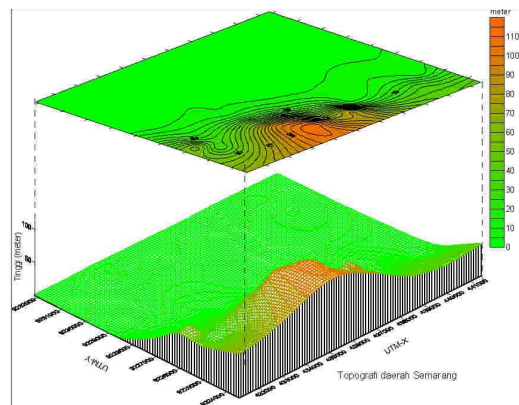
Gambar 3. Gayaberat observasi daerah Semarang September 2002



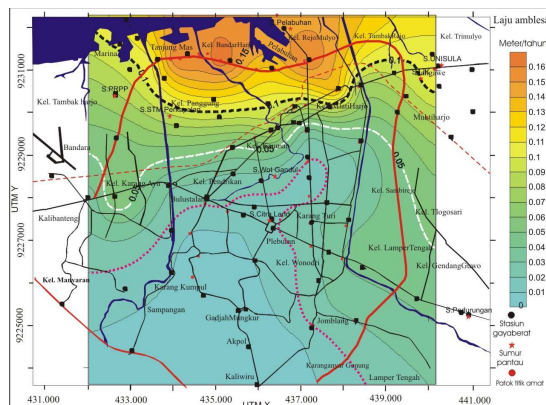
Gambar 4. Gayaberat observasi daerah Semarang November 2005

### 2.2 Ketinggian dan Amblesan Tanah

Pengukuran ketinggian di daerah Semarang untuk pemantauan amblesan tanah dilakukan menggunakan alat Theodolit type Water Pass Nak.



Gambar 5. Peta topografi daerah Semarang hasil pengukuran Agustus 2004



Gambar 6. Peta laju amblesan tanah daerah Semarang berdasarkan data pengukuran tahun 2003 – 2005

Pengukuran dimulai dari Kaliwiru bergerak ke Utara sampai ke arah Pelabuhan dan Unisula. Pengukuran dibagi menjadi 3 looping dengan kesalahan looping maksimum sebesar 5 mm.

Topografi daerah penelitian hasil pengukuran periode Agustus 2004 dan peta laju amblesan tanah daerah Semarang tahun 2002 – 2005 ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Data amblesan tanah ini digunakan untuk melakukan koreksi anomali 4D microgravity.

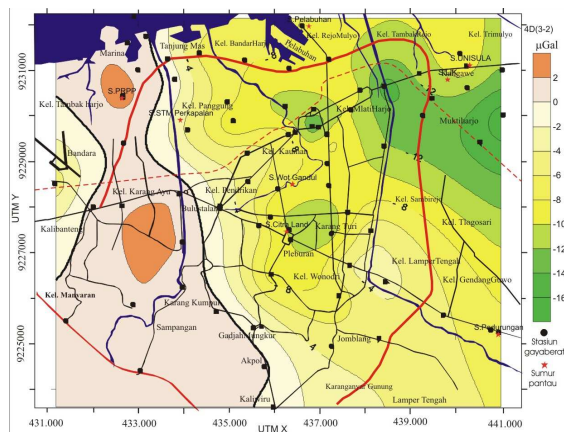
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Interpretasi dan Analisis Anomali 4D Microgravity

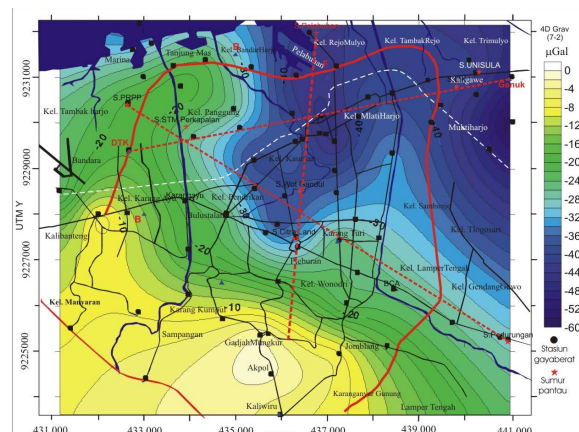
Anomali 4D microgravity merupakan selisih nilai microgravity hasil pengukuran ( $g_{obs(2)} - g_{obs(1)}$ ) yang disebabkan oleh perubahan rapat massa bawah permukaan akibat dinamika fluida bawah permukaan dan perubahan tinggi stasiun akibat adanya amblesan tanah seperti ditunjukkan pada persamaan :

$$(g_{obs(2)} - g_{obs(1)}) = \left( G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)(z - \gamma)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \right) - (0,308765 - 0,04193\rho)(h_2 - h_1) \quad 3$$

dengan  $g_{obs(1)}$ ,  $G$ ,  $\Delta\rho$ ,  $(\alpha, \beta, \gamma)$ ,  $(x, y, z)$ ,  $\Delta t$ , dan  $h$  masing masing adalah gayaberat observasi, konstanta gayaberat umum, kontras rapat massa, koordinat rapat massa, koordinat stasiun, selang waktu dan tinggi. Berdasarkan persamaan 3 diatas, maka untuk mengetahui anomali 4D microgravity yang disebabkan oleh dinamika air tanah bawah permukaan terlebih dahulu dikoreksi respon anomali 4D microgravity akibat adanya amblesan tanah. Anomali 4D microgravity akibat dinamika muka air tanah di daerah Semarang ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Anomali 4D microgravity periode September 2002- Juni 2003



Gambar 8. Anomali 4D microgravity periode September 2002- November 2005

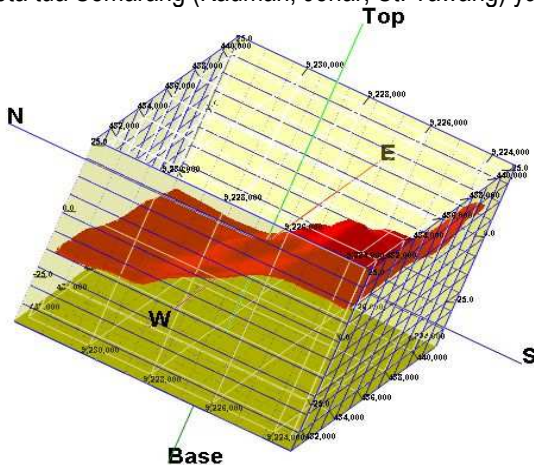
Anomali 4D microgravity periode September 2002 - Juni 2003 menunjukkan adanya anomali negatif lebih kecil dari -10  $\mu\text{Gal}$  menempati daerah Simpang Lima, Bandarharjo, Rejomulyo dengan anomali minimum sebesar -16  $\mu\text{Gal}$  terletak di daerah LIK Kaligawe dan Mlatiharjo. Hal ini mengindikasikan bahwa pada daerah tersebut terjadi penurunan muka air tanah lebih dari 50 cm. Pada periode September 2002- Nopember 2005 anomali gayaberat-mikro antar waktu anomali negatif terus meluas dan bertambah besar. Pada periode September 2002- Nopember 2005 lebih dari 90% daerah penelitian memiliki anomali 4D microgravity negatif. Daerah Simpang Lima, Bandarharjo, Rejomulyo, Karang Turi, Lamper Tengah memiliki anomali lebih kecil dari -35  $\mu\text{Gal}$  dengan anomali minimum sebesar -60  $\mu\text{Gal}$  terletak di daerah Mlatiharjo. Hal ini mengindikasikan bahwa daerah tersebut telah terjadi penurunan muka air tanah tertekan 3 - 6 meter. Anomali positif yang menempati sebelah Barat memanjang dari Selatan ke Utara (Gambar 9) mengindikasikan pada daerah tersebut merupakan daerah yang stabil dan terjadi imbuhan air tanah yang berarah dari Selatan ke Utara, sedangkan anomali negatif rendah dibagian Selatan (Gambar 8) menunjukkan bahwa daerah tersebut penurunan muka air tanah relatif kecil.

#### 3.2. Interpretasi Anomali 4D Microgravity

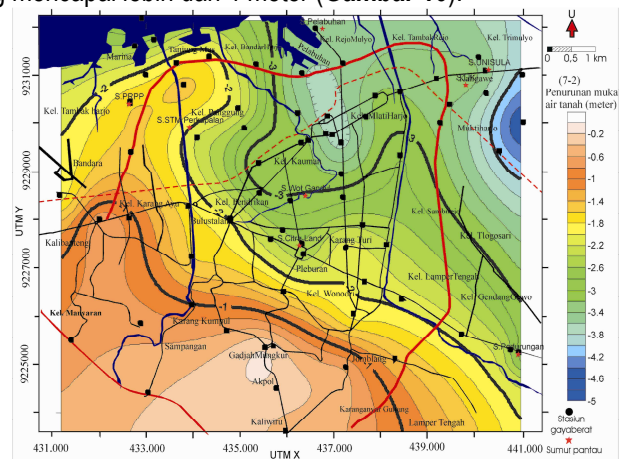
##### 3.2.1. Interpretasi 3D anomali 4D Microgravity

Metode interpretasi 3D dilakukan dengan menyusun prisma berukuran 500m x 500m dengan kedalaman ditentukan berdasarkan data kedalaman muka air tanah dari sumur pantau dan ketebalan

diprediksi dari nilai anomali gayaberasat-mikro antar waktu pada titik tersebut. Ketebalan benda tiap kotak diubah-ubah sehingga respon anomali terhitung mendekati respon anomali teramati. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa muka air tanah memiliki kedalaman yang bervariasi (Gambar 9). Daerah bagian Selatan dan Barat daerah penelitian yaitu daerah dengan topografi tinggi (kawasan Candi, Sampangan, dan Manyaran) muka air tanah tertekan masih tinggi (diatas muka air laut), sedangkan di daerah Semarang bawah kedalaman muka air tanah tertekan sudah terletak jauh di bawah muka laut. Muka air tanah tertekan paling dalam pada November 2005 terletak di daerah Genuksari yang mencapai 34,5 meter di bawah permukaan tanah. Sedangkan penurunan muka air tanah tertekan terbesar terjadi di daerah Genuksari, Mlatiharjo, dan kota tua Semarang (Kauman, Johar, St. Tawang) yang mencapai lebih dari 4 meter (Gambar 10).



**Gambar 9.** Model penurunan muka air tanah tertekan di daerah Semarang tahun 2002–2005 hasil interpretasi anomali 4D microgravity



**Gambar 10.** Penurunan muka air sumur bor daerah Semarang 2002 - 2005

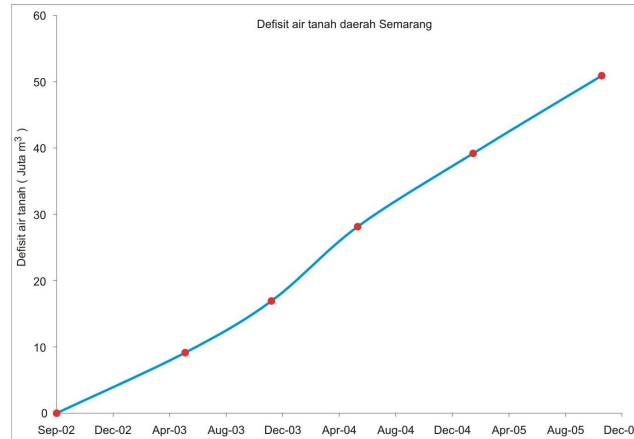
### 3.2.2. Perhitungan Defisit Air Tanah

Defisit air tanah merupakan selisih antara jumlah pengambilan air tanah dengan imbuhan air tanah di daerah tersebut. Pada penelitian ini defisit air tanah dihitung dengan menggunakan hasil pemodelan anomali 4D microgravity di daerah Semarang. Berdasarkan model anomali 4D microgravity yang berupa peta penurunan muka air tanah tertekan maka dapat dihitung volume pengurangan air tanah selama periode tersebut akibat tidak seimbangnya jumlah pengambilan (*decharge*) dan imbuhan (*recharge*) air tanah. Jumlah defisit air tanah merupakan perkalian antara : luas daerah penelitian, porositas dan ketebalan penurunan muka air tanah. Ketebalan penurunan muka air tanah diperoleh dari hasil interpretasi anomali 4D microgravity.

Hasil perhitungan defisit air tanah selama periode September 2002 sampai Nopember 2005 di daerah penelitian dengan luas daerah 10 x 8 km (sebagian kota Semarang) mendapatkan nilai sebesar 50.910.000 m<sup>3</sup> dengan laju defisit 44.500 m<sup>3</sup>/hari. Hasil lengkap perhitungan defisit air tanah daerah penelitian ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 11.

**Tabel 1.** Hasil perhitungan defisit air tanah daerah Semarang periode 2002-2005

No	Periode Anomali 4D microgravity	Defisit air tanah( m <sup>3</sup> )	Keterangan
1	Juni 2003 – September 2002	9.128.000	9 bulan
2	Desember 2003 – September 2002	16.940.000	15 bulan
3	Juni 2004 – September 2002	28.139.000	21 bulan
4	Februari 2005 – September 2002	39.188.000	29 bulan
5	Nopember 2005 – September 2002	50.910.000	38 bulan



Gambar 11. Defisit air tanah di daerah penelitian yang diturunkan dari hasil interpretasi anomali 4D microgravity

#### 4. Kesimpulan

Studi kasus 4D microgravity untuk pemantauan dinamika air tanah di daerah Semarang mendapatkan :

- Anomali 4D microgravity negatif yang mendominasi daerah penelitian yang semakin lama semakin besar dan semakin luas. Pada periode Juni 2003 – September 2002 sekitar 65% daerah penelitian mempunyai anomali negatif, sedangkan pada periode Nopember 2005 – September 2002 lebih dari 90% daerah penelitian mempunyai anomali negatif dengan anomali minimum  $-60 \mu\text{Gal}$  terletak di daerah Genuksari. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar daerah penelitian mengalami pengurangan atau penurunan muka air tanah dengan pengurangan air tanah terbesar terletak di daerah Kaligawe dan Genuksari.
- Berdasarkan hasil penelitian 4D microgravity untuk pemantauan air tanah di daerah Semarang menunjukkan bahwa metode 4D microgravity dapat memperlihatkan perluasan wilayah penurunan muka air tanah.
- Selama periode ini terjadi defisit air tanah sebesar  $50.910.000 \text{ m}^3$ , dengan laju defisit  $44.500 \text{ m}^3/\text{hari}$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- Lambert, A. and Beamont, C. 1977. Nanovariations in gravity due to seasasonal groundwater movement studies : Implications for the gravitational detections of tectonics movements, *Journal of Geophysics Research*, **82**, 297-306.
- Goodkind, J.M. 1986. Continues measurement of nontidal variations of gravity. *Journal of Geophysical Research*, **91**: 9125-9134.
- Akasaka, C and Nakanishi, S, 2000. Correction of Background Gravity Change due to Precipitation: Oguni Geothermal Field, Japan. *Proceeding World Geothermal Congress, Kyushu – Tohoku, Japan*.
- Branston, M.W. dan Styles, P., 2003. *The application of time-lapse microgravity for the investigation and monitoring of subsidence at Northwich, Cheshire. The Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, **36/ 3**, 231-244.
- Allis, R.G. and Hunt, T.M. 1986. Analisis of Exploration-Induced Gravity Changes at Wairakei Geothermal Field. *Geophysics*, **51**: 1647-1660.
- Sihwanto dan Nana I. 2000. *Konservasi air tanah daerah Semarang dan sekitarnya*. Laporan Penyelidikan Hidrogeologi dan Pengembangan Air tanah, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.