

# ANALISIS PENURUNAN MUKA AIR TANAH DI SEKARAN DAN SEKITARNYA BERDASARKAN DATA ANOMALI GAYA BERAT MIKRO ANTAR WAKTU PERIODE 2013

---

Supriyadi<sup>1</sup>, Khumaedi<sup>2</sup>, Ahmad Qosim<sup>3</sup>, Nur Qudus<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

email: supriyadi@staff.unnes.ac.id

**Abstrak.** Telah dilakukan penelitian gaya berat di Sekaran dan sekitarnya dengan menerapkan metode gaya berat mikro antar waktu. Alat utama yang digunakan adalah gravimeter tipe Sintrex Autograv CG-5. Pengukuran dilakukan pada bulan Mei dan Oktober 2013. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kedalaman muka air tanah yang diidentifikasi berdasarkan nilai gaya berat mikro antar waktu yang merupakan selisih antara gaya berat periode Oktober dengan Mei. Hasil penelitian secara umum menunjukkan bahwa nilai anomali gaya berat mikro antar waktu terdapat tiga kemungkinan, yaitu (+) berhubungan dengan amblesan atau kenaikan muka air tanah, (-) berhubungan dengan penurunan muka air tanah, dan nol (0) tidak terjadi perubahan. Nilai (-) yang terjadi di beberapa tempat disebabkan oleh pengambilan air yang berlebihan untuk berbagai keperluan sehari-hari. Kondisi ini akan mengakibatkan penurunan muka air tanah. Curah hujan yang terjadi selama rentang waktu pengukuran gaya berat tidak menyebabkan kenaikan muka air tanah karena pengambilan air yang lebih besar.

Kata kunci : anomali, gaya berat, air tanah

## PENDAHULUAN

Pemanfaatan air tanah tertekan di daerah Semarang menurut catatan yang ada dimulai sejak abad 19, yaitu sejak dilakukannya pengeboran pertama pada tahun 1842 pada masa pemerintahan Hindia Belanda di Fort Wilhelm I Semarang (Sihwanto dan Iskandar, 2000). Setelah pengeboran pertama sukses, maka pemanfaatan air tanah untuk penyediaan air bersih mengalami peningkatan yang berarti. Dalam perkembangannya, pengambilan air tanah dalam jumlah yang cukup berarti dan dianggap sebagai awal pemanfaatan air tanah dimulai pada tahun 1900. Pada saat itu, tercatat jumlah pengambilan air tanah dari 16 sumur bor yang ada di kota Semarang  $\pm 1.170$  m<sup>3</sup>/hari.

Selanjutnya pada tahun 1910 jumlah pengambilan air tanah meningkat menjadi 1.310 m<sup>3</sup>/hari dari 18 sumur bor, tahun 1920 menjadi 1.400 m<sup>3</sup>/hari dan pada tahun 1932 tercatat

pengambilan air tanah telah mencapai 1.610 m<sup>3</sup>/hari disedot dari 28 sumur bor (Sihwanto dan Iskandar, 2000). Pada tahun 1982 tercatat jumlah pengambilan air tanah sebanyak 37.460 m<sup>3</sup>/hari diambil dari 127 sumur bor. Hasil ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Taufiq (2010) tentang kondisi muka air tanah kota Semarang diperoleh dari peta kontur muka air tanah. Berdasarkan perubahan muka air tanah, wilayah yang memiliki laju penurunan muka air tanah berkisar antara 1,2-1,4 m/tahun berada di sekitar sumur pantau Madukoro.

Kecamatan Gunungpati 10 tahun terakhir ini posisinya sebagai daerah resapan semakin berat keberlanjutannya. Hal ini disebabkan oleh perkembangan yang terjadi di berbagai sektor. Dibukanya kampus Universitas Negeri Semarang di Sekaran pada awal tahun 1990 an memberikan peluang berbagai usaha tumbuh di sekitarnya, misalnya perdagangan, jasa dan usaha. Hal yang sama terjadi pula di areal perumahan yang beberapa tahun ni berdiri, misalnya Sekar Gading, Puri Sartika, Trangkir, Safira, Puri Ayodya yang memenuhi kebutuhan airnya dengan membuat sumur artesis atau sumur bor. Kondisi ini jelas tidak menguntungkan karena dapat menyebabkan debit air tanah berkurang dan jika tidak dikendalikan akan meyebabkan hilangnya sumber air untuk kebutuhan hidup.

Masalah pada penelitian ini adalah apakah di daerah Sekaran, kedalaman muka air tanah mengalami penurunan. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui perubahan penurunan muka air tanah dengan menggunakan gaya berat mikro antar waktu.

Metode ini dipilih karena telah menunjukkan hasil yang memuaskan ketika digunakan untuk berbagai survei, diantaranya adalah sebagai berikut: 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.

## **METODE**

Secara umum metode penelitian dijelaskan sebagai berikut: Pemodelan respon anomali gaya berat mikro antar waktu akibat penurunan muka air tanah. Model ini akan digunakan sebagai bantuan untuk analisis dan interpretasi hasil pengukuran gaya berat di lapangan. Untuk keperluan pemodelan digunakan perangkat lunak Grav2D.

Penentuan titik ukur gaya berat di lokasi penelitian sebanyak 40 titik yang tersebar merata (Gambar 1). Posisi titik-titik ukur ditentukan berdasarkan tujuan penelitian. Alat yang digunakan pada kegiatan ini adalah GPS.



**Gambar 1. Sebaran titik ukur gaya berat di lokasi penelitian**

Pengukuran gaya berat sebanyak dua kali, yaitu periode Mei dan Oktober di titik-titik ukur yang telah ditentukan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan gravimeter Scintrex Autograv CG-5 (Gambar 2). Gravimeter ini merupakan generasi akhir yang dilengkapi fasilitas koneksi dengan komputer. Data hasil pengukuran dapat langsung ditransfer ke komputer. Hasil pengukuran gaya berat selanjutnya dikoreksi dengan koreksi pasang surut dan koreksi apungan. Masing-masing untuk menghilangkan pengaruh pasang surut dan kelelahan alat.

Koreksi pasang surut dilakukan setiap 1 menit. Nilai gaya berat akibat pasang surut diperoleh dari gravimeter yang diletakkan di base. Besarnya koreksi pasang surut selalu ditambahkan didalam perhitungan.

$$g_t = g + T \tag{1}$$

$g_t$  : pembacaan percepatan gravitasi dalam mGall yang terkoreksi pasang surut

$g$  : pembacaan percepatan gravitasi setelah dikonversi ke mGall

$T$  : koreksi pasang surut

Koreksi drift dilakukan dengan melakukan pembacaan ulang pada titik ikat dalam satu *loop*, sehingga dapat diketahui harga penyimpangannya. Koreksi ini dinyatakan dengan persamaan

(2)

$$drift = \frac{g_{akh} - g_0}{t_{akh} - t_0} (t_n - t_0) \tag{2}$$

$g_{akh}$  : pembacaan gravitimeter pada akhir looping

$g_0$  : pembacaan gravitimeter pada awal looping

- $t_{akh}$  : waktu pembacaan pada akhir looping
- $t_0$  : waktu pembacaan pada awal looping
- $t_n$  : waktu pembacaan pada stasiun ke n



**Gambar 2. Gravometer Scintrex Autograv CG-5**

Pengolahan data gaya berat hasil pengukuran dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menghitung nilai  $g_{observasi}$

Nilai  $g_{observasi}$  merupakan harga gaya berat pengukuran yang telah dikoreksi dengan koreksi pasang surut dan koreksi drift (apungan) alat. Nilai koreksi ini didefinisikan dengan persamaan (3)

$$g_{observasi} = g_{Base} + g_{lokal} (mGal) \quad (3)$$

2. Menghitung nilai  $g_{lintang}$

Nilai  $g_{lintang}$  merupakan koreksi posisi lintang stasiun pengamatan dengan spheroid referensi. Nilai dari  $g_{lintang}$  didapat dengan persamaan (2)

$$g_{\phi} = 978031.8(1 + 0.0053054 \sin^2 \phi + 0.0000059 \sin^2 2\phi) (mGal) \quad (4)$$

3. Menghitung Anomali Bouger Lengkap (ABL)

Nilai anomali Bouger lengkap dihitung dengan persamaan 3 sebagai berikut:

$$ABL = g_{obs} - g_{\phi} + FAA - BC + TC (mGal) \quad (5)$$

$g_{\phi}$  merupakan  $G$  lintang

FAA (*Free Air Anomali*) diformulakan dengan:

$$FAA = g_{observasi} - g_{\phi} + FAC (mGal) \quad (6)$$

dengan nilai FAC (*Free Air Correction*):

$$FAC = (0.3086 \times h) (mGal) \quad (7)$$

BC (*Bouger Correction*) di definisikan dengan:

$$B = (2\pi\gamma\rho h) (mGal) \quad (8)$$

TC (*Terrain Correction*) merupakan koreksi untuk menghilangkan pengaruh topografi terhadap gaya berat pada titik amat. Besarnya TC dihitung dengan menggunakan

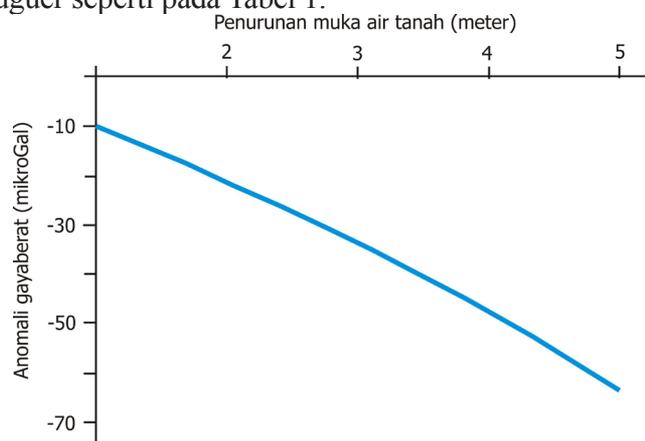
*Hammer Chart.* *Hammer Chart* yang digunakan berskala 1:50.000 dengan zona mulai dari Zona E hingga K.

Pengumpulan data curah hujan untuk periode tahun 2013. Data curah hujan ini diperoleh di BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika) propinsi Jawa Tengah. Data ini selanjutnya akan digunakan untuk koreksi anomali gaya berat mikro antar waktu akibat curah hujan.

Interpretasi hasil pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak surfer untuk menampilkan anomali gaya berat yang telah diperoleh dalam bentuk kontur. Peta kontur memberikan informasi kualitatif dan kuantitatif perubahan kedalaman muka air tanah akibat penambahan curah hujan dan pengambilan air untuk berbagai keperluan untuk rumah tangga.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan kedalaman muka air tanah di suatu tempat dipengaruhi oleh : musim, banyaknya curah hujan, pengambilan air tanah oleh manusia untuk keperluan rumah tangga dan industri. Allis dan Hunt (1986) menyatakan bahwa respon anomali gaya berat akibat perubahan muka air tanah dapat dihitung menggunakan pendekatan koreksi slab Bouguer tak hingga dengan memasukkan faktor porositas. Jika diasumsikan porositas batuan (reservoir air tanah) sebesar 30% maka setiap perubahan muka air tanah 1 meter menyebabkan perubahan gaya berat 12,579  $\mu\text{Gal}$  seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Perbandingan harga gaya berat untuk tiap pendekatan slab Bouguer seperti pada Tabel 1.



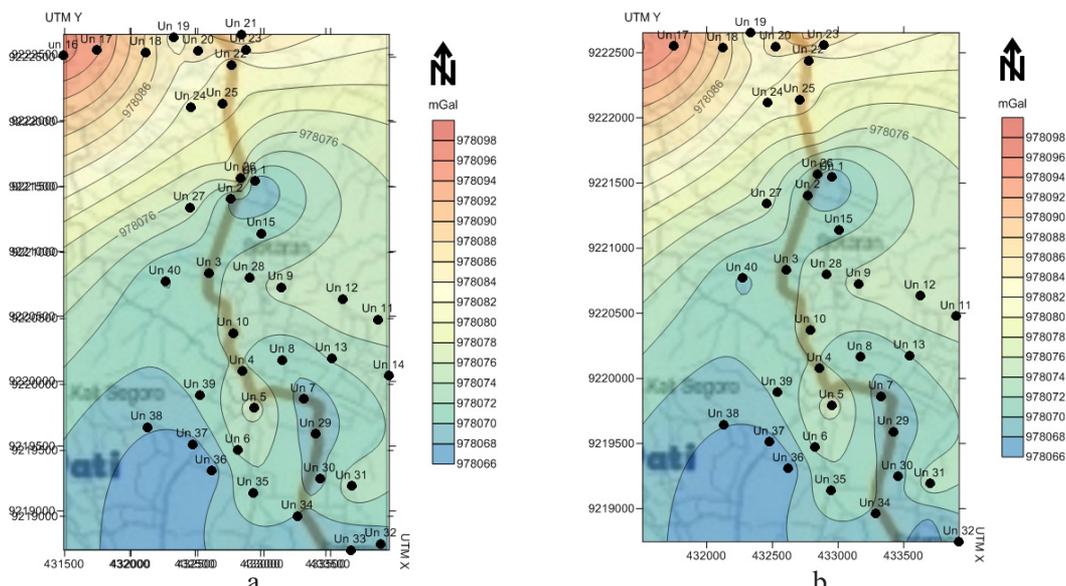
**Gambar 3. Hubungan antara respon gaya berat mikro dengan penurunan mukaair tanah**

**Tabel.1. Respon gaya berat akibat perubahan kedalaman muka air tanah dengan perhitungan pendekatan slab Bouguer tak hingga dan terbatas**

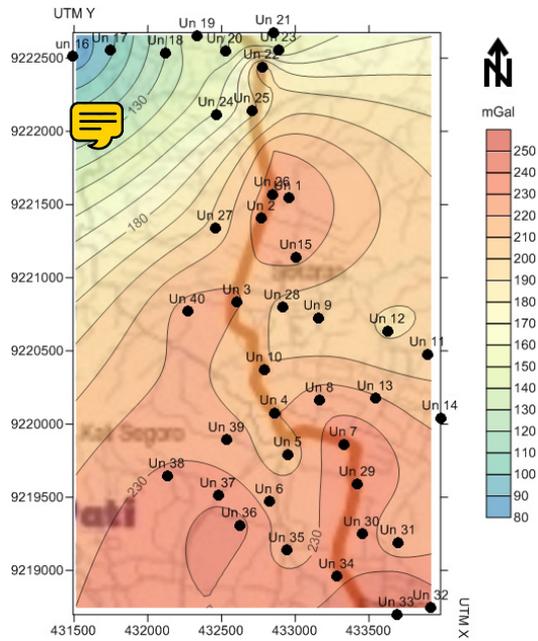
No	R Slab Bouguer	$\Delta g_w$ ( $\mu\text{Gal}$ )	Respon gaya berat akibat penurunan muka air tanah/meter
1	Tak hingga( $\infty$ )	$\Delta g_w = 41,93\rho\phi\Delta d$	12,579 $\mu\text{Gal}/\text{m}$
2	5000	$\Delta g_w = 41,85\rho\phi\Delta d$	12,55 $\mu\text{Gal}/\text{m}$
3	2500	$\Delta g_w = 41,8\rho\phi\Delta d$	12,54 $\mu\text{Gal}/\text{m}$
4	1000	$\Delta g_w = 41,6\rho\phi\Delta d$	12,48 $\mu\text{Gal}/\text{m}$

Peta gaya berat observasi diperoleh setelah dilakukan koreksi drift dan koreksi pasang-surut sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4a dan 4b. Dari peta tersebut didapatkan nilai gaya berat pada bulan mei maupun oktober mempunyai pola yang sama. Pada daerah utara mempunyai nilai besar yaitu 978098 mGal pada bulan mei dan 978094 pada bulan oktober, sementara untuk daerah selatan nilai gaya berat pada bulan mei maupun oktober bernilai rendah yaitu sebesar 978066 mGal. Jika peta gaya berat observasi tersebut dibandingkan dengan peta topografi yang ditunjukkan pada Gambar 5 akan diperoleh korelasi yang berkebalikan. Pada daerah utara yang mempunyai topografi rendah nilai gaya beratnya tinggi, sedangkan untuk daerah selatan yang mempunyai berada pada daerah yang tinggi nilai gaya beratnya cenderung rendah. Hal ini mengindikasikan respon gaya berat semakin rendah pada daerah yang tinggi.

Penentuan densitas rata-rata batuan dilakukan dengan menggunakan metode Nettleton yaitu dengan mencari korelasi topografi dan respon anomali bouguer. Setelah dilakukan perhitungan korelasi anomali bouguer terhadap topografi, diperoleh nilai korelasi minimum paling mendekati 0 yang dianggap sebagai nilai densitas rata-rata yaitu sebesar 0,05967 dengan densitas sebesar 2,9 g/cm<sup>3</sup>.

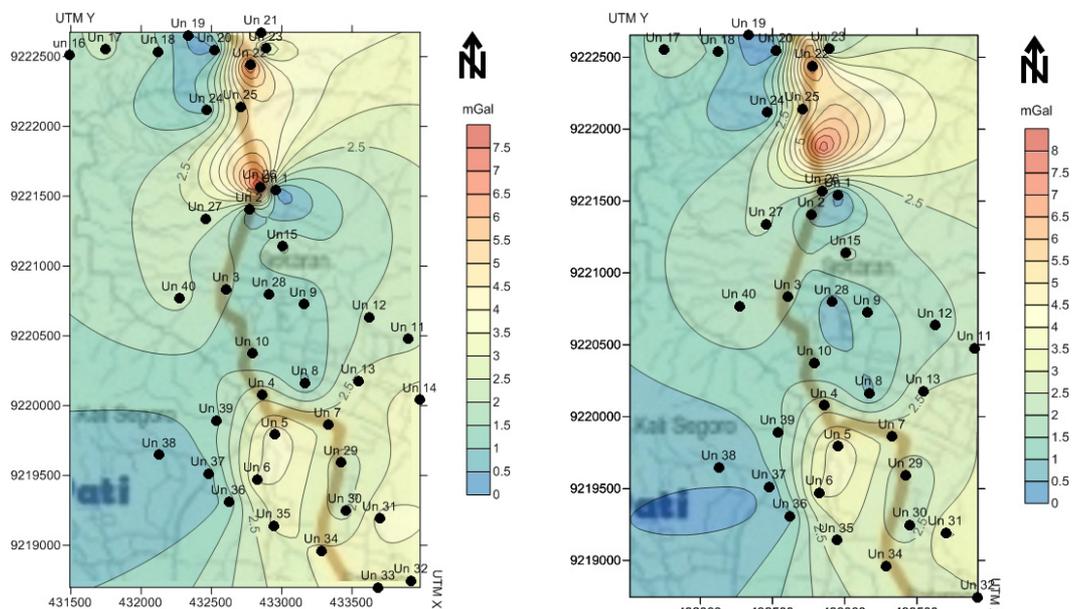


Gambar 4. Nilai gaya berat observasi periode (a) Mei dan (b) Oktober tahun 2013



**Gambar 5. Kontur topografi daerah penelitian**

Pengolahan data respon gaya berat pada Mei dan Oktober tahun 2013 dilakukan untuk mendapatkan anomali gaya berat lokal atau anomali bouguer lengkap dengan menggunakan densitas  $2.9 \text{ g/cm}^3$ . Peta anomali gaya berat lokal ditunjukkan pada Gambar 6a dan 6b sebagai berikut.

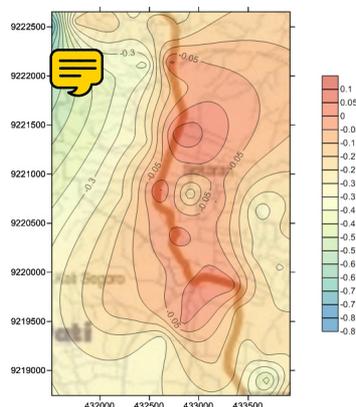


**Gambar 6. Anomali gaya berat mikro (a) periode Mei dan (b) Oktober 2013**

Pada daerah tengah respon anomali gaya berat lokal lebih rendah dari daerah utara maupun selatan. Hal tersebut menunjukkan adanya perbedaan densitas batuan yang lebih kecil di daerah tengah dari lokasi penelitian. Dari kedua peta tersebut tampak perbedaan nilai gaya berat local pada beberapa titik yang mengindikasikan adanya perubahan respon gaya berat pada selang waktu pengukuran.

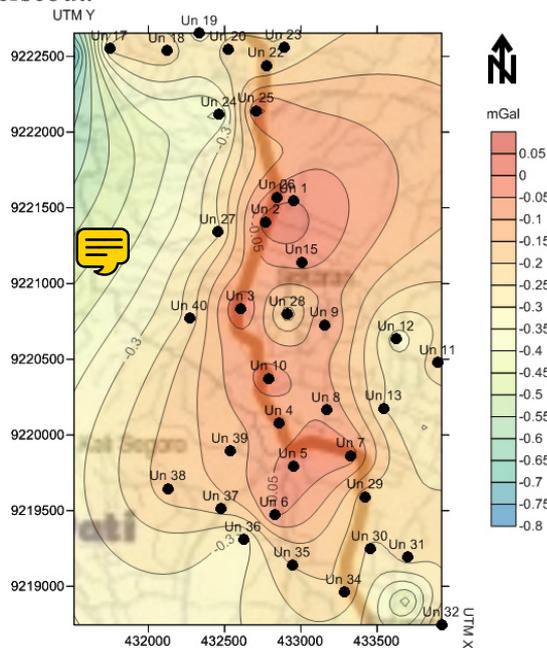
Anomali gaya berat mikro antar waktu diperoleh dari pengurangan anomali gaya berat pada bulan oktober dengan anomali gaya berat pada bulan mei 2013. Kemudian data anomali gaya berat mikro antar waktu tersebut diplot sehingga diperoleh peta anomali gaya berat mikro antar waktu (Gambar 7).

Peta anomali gaya berat mikro antar waktu menunjukkan adanya daerah yang mempunyai respon positif (0.05 sampai 0.10 mGal). Hal ini menunjukkan adanya penambahan densitas batuan akibat dari adanya penambahan muka air tanah ataupun karena adanya amblesan di sekitarnya. Sedangkan amblesan dikarenakan adanya tekanan beban di permukaan. Daerah yang mengalami perubahan densitas tersebut adalah Un 1, Un 2 (perumahan Ayodya dan sekitarnya), Un 5 (Rasunawa), Un 6 (Kalisegoro), Un 7 (gang Pete), Un 10 (PKMU), dan Un 26 (gang Rambutan). Penambahan air tanah ini diakibatkan oleh adanya resapan air hujan kedalam tanah. Respon anomali gaya berat mikro antar waktu yang bernilai negatif (-0,05 sampai -0,75 mGal) menunjukkan adanya penurunan muka air tanah. Penurunan ini disebabkan oleh adanya pengambilan air tanah untuk kebutuhan penduduk dan adanya daerah *discharge* yang merupakan daerah yang mempunyai kecendrungan mudah melepas air. Daerah *discharge* ini terdapat di formasi kerek yang termasuk dalam daerah penelitian. Pada daerah yang mempunyai respon anomali gaya berat mikro antar waktu 0 menunjukkan tidak adanya perubahan kedalaman muka air tanah atau laju pengurangan air tanah sama dengan laju infiltrasi air hujan. Daerah yang stabil ini adalah Un 4 (warung kopi), Un 8 (gang Mangga), Un 9 (parkir MIPA), dan Un 25 (Perum Nirwana).



**Gambar 7. Anomali gaya berat mikro antar waktu Mei-Oktober 2013**

Berdasarkan peta tersebut diperoleh nilai anomali gayaberat mikro antar waktu antara -0.8 sampai 0.05 mGal setelah dikoreksi dengan data curah hujan. Anomali yang bernilai negative menunjukkan adanya penurunan muka air tanah dalam periode Mei sampai Oktober 2013. Daerah yang stabil atau mempunyai respon anomali sebesar 0 adalah Un 3 (gerbang Unnes), Un 5 (Rasunawa), Un 6 (Kalisegoro), Un 7 (gang Pete), Un10 (PKMU), Un 15 (JL. Taman Siswa), dan Un26 (gang 2). Sedangkan Un 1 (Jl. Margasatwa) dan Un 2 mempunyai nilai anomali yang bernilai positif menunjukkan adanya penambahan massa atau peningkatan densitas batuan di daerah tersebut.



**Gambar 8. Peta anomali gaya berat mikro antar waktu Oktober-Mei 2013 dengan koreksi curah hujan**

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Hasil pengukuran yang berupa anomaly gaya berat mikro antar waktu di daerah penelitian mempunyai tiga kemungkinan, yaitu positif (+), negatif (-) dan (0). Masing-masing menunjukkan kondisi di lapangan terjadi kenaikan muka air tanah atau amblesan, penurunan muka air tanah dan tidak terjadi perubahan. Secara umum di lokasi penelitian menunjukkan anomali (-), kondisi ini menunjukkan bahwa telah terjadi pemanfaatan air untuk berbagai keperluan sehari-hari yang mengakibatkan penurunan muka air tanah. Curah hujan yang terjadi selama periode pengukuran tidak mengakibatkan kenaikan muka air tanah. Hal ini disebabkan karena pemanfaatan air yang berlebihan selama rentang waktu tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akasaka, C., dan Nakanishi, S. (2000) : An Evaluation of The Background Noise for Microgravity Monitoring in The Oguni Field, Japan, *Proceedings of 25<sup>th</sup> Stanford Geothermal Workshop, 24 - 26 January 2000*.
- Allis, R.G., dan Hunt, T.M. (1986) : Analisis of Exploration Induced Gravity *Changes at Wairakei Geothermal Field, Geophysics, 51, 1647-1660*.
- Goodkind, J.M. (1986) : Continuous Measurement of Nontidal Variations of Gravity, *Journal Geophysics Research, 91, 9125 - 9134*.
- 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*.
- Sihwanto dan Iskandar N.2000. “Konservasi air tanah daerah Semarang dan sekitarnya”. *Laporan Penelitian tidak Dipublikasikan, Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber daya mineral, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung*.
- Taufik A.NZ. 2010. “Penyelidikan konservasi air tanah cekungan air tanah Semarang-Demak Provinsi Jawa Tengah”. *145/LAP-BGE.P2K/2010. Kementrian ESDM, Badan Geologi, Pusat Lingkungan Geologi*.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.P. 1990. *Applied Geophysics 2<sup>nd</sup> ed*. Cambridge University Press.