

STUDI GAYA BERAT RELATIF DI SEMARANG

Supriyadi*

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang (Unnes), Semarang, Indonesia, 50229

Diterima: 1 Oktober 2008, Disetujui: 1 November 2008, Dipublikasikan: Januari 2009

ABSTRAK

Gaya berat relatif adalah gaya berat yang diperoleh dari hasil pengukuran gaya berat di suatu tempat. Untuk memperoleh nilai gayaberat absolut dilakukan pengukuran gayaberat yang diikatkan dengan sistem yang sudah ada yang dikenal sebagai Sistem Postdam. Sistem ini merupakan jaringan stasiun gayaberat yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan pengukuran gayaberat relatif di suatu tempat di permukaan bumi ini. Studi kasus pengukuran gayaberat relatif telah dilakukan di kota Semarang khususnya kota bawah dengan menggunakan alat gravimeter. Sebagai titik ikat atau titik referensi digunakan titik Kop. A. Yani 15 yang terletak Taman Diponegoro depan rumah sakit Elizabeth. Besar gayaberat di titik referensi ini adalah 978099,311 mGal. Gayaberat relatif dihitung dari selisih antara gayaberat absolut dengan gayaberat hasil pengukuran yang sudah dikoreksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gayaberat di bagian utara kota Semarang lebih besar dibandingkan dengan bagian selatan. Hal ini sesuai dengan topografi kota Semarang, dimana bagian utara lebih rendah dibandingkan dengan bagian selatan.

ABSTRACT

A relative gravity obtained through a measurement activity of gravity in a certain place. The absolute value of gravity could be drawn by conducting a measurement based on called the existing Postdam system. This system consists of gravity's station network that can be used to calculate a relative gravity in a certain place on the earth's surface. A case study on relative gravity was conducted in Semarang, especially downtown area, using a gravimeter. The point Kop. A Yani 15 in Diponegoro Park in front of St Elizabeth Hospital is used as the reference point. The gravity value in this point is 978099.311mGal. The relative gravity was calculated by discrepancy between the absolute value and corrected measured gravity. The study shows that the northern part of Semarang area has a higher value than that of southern part. This result in line with the fact of Semarang's topography, where the northern area is lower than the southern area.

© 2011 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: relative gravity; absolute gravity; gravimeter

PENDAHULUAN

Pada saat ini data gayaberat telah digunakan untuk berbagai keperluan seperti: pengembangan keilmuan, eksplorasi dan sebagainya. Dilihat dari cara pelaksanaannya, pengukuran gaya berat dapat dilakukan dengan pengukuran secara absolut dan relatif. Pengukuran secara absolut untuk keperluan survei telah dilakukan di berbagai negara dengan memakai cara pendulum dan jatuh bebas. Pengukuran gayaberat dengan pendulum dilakukan di Postdam, Viena, Paris, Roma. Sedangkan pengukuran dengan jatuh bebas dilakukan di Teddington, Washington dan Ottawa.

Untuk mendapatkan harga gayaberat absolut di suatu tempat, orang melakukan dengan pengukuran relatif dari suatu tempat pengamatan yang dianggap paling stabil di dunia. Untuk keperluan tersebut dipilih letak pengukuran standar di ruang pendulum Institute of Geodesy Postdam dengan posisi bujur $13^{\circ} 4' 06''$ E, lintang $52^{\circ} 22' 86''$ N dan ketinggian 87 m di atas permukaan air laut. Harga gayaberat ini diukur oleh Kuhnen dan Furt Wangler pada tahun 1906 (Taib, 1971) dengan alat pendulum Kater. Pendulum Kater adalah pendulum yang dilengkapi dengan alat untuk mengoreksi tekanan udara, koreksi perpanjangan tangkai pendulum yang dilakukan dengan cara

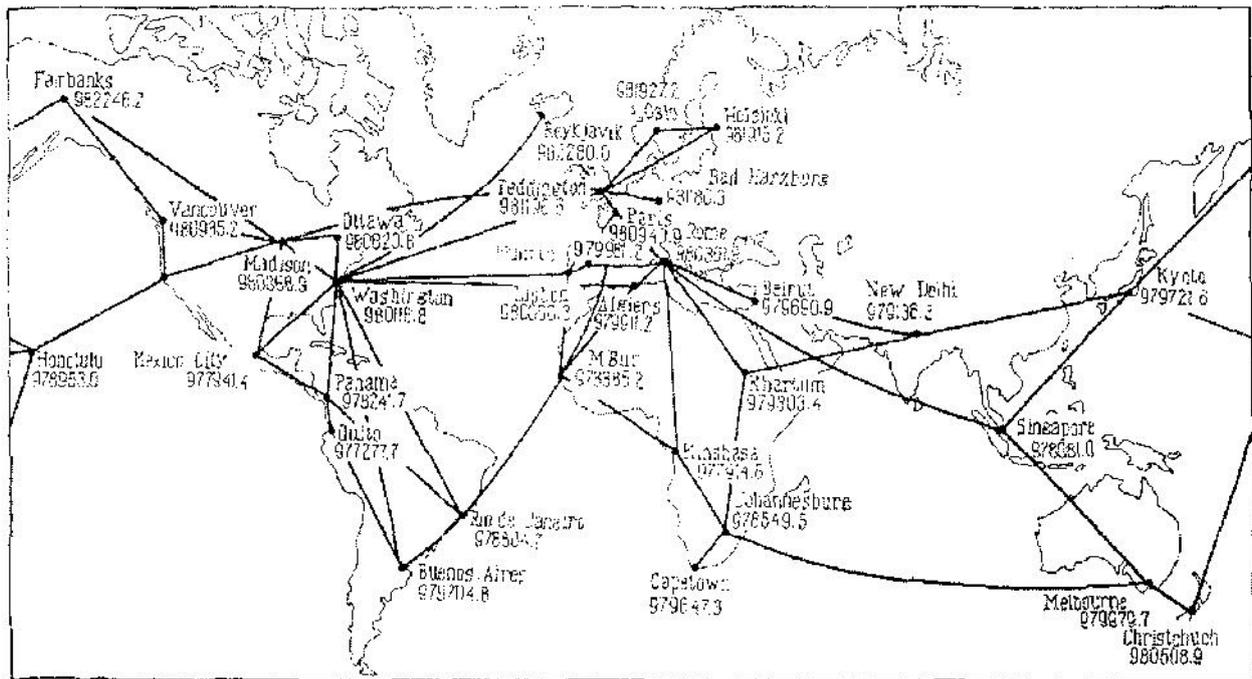
menambahkan beban tambahan pada batang pendulum dan mengubah pusat massa. Harga yang diperoleh adalah sebagai berikut $g_{\text{postdam}} = 981,275 \pm 0,0030$ Gal. Satuan gayaberat menggunakan Gal, untuk menghormati Galileo Galilei, orang yang pertama kali mengusulkan adanya gayaberat pada percobaan menjatuhkan benda dari menara Pisa di Italia. Besarnya $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2}$.

Jaringan stasiun gayaberat yang diukur dengan membandingkan terhadap harga Postdam disebut Sistem Postdam (Gambar 1). Pada saat ini menjadi kebanggaan nasional, bila suatu negara mempunyai beberapa stasiun yang ke Postdam ataupun ke sistem Postdam lainnya. Sistem ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu sistem dalam skala dunia untuk keperluan geodesi, dan sistem dalam skala yang lebih kecil untuk keperluan eksplorasi.

Pada pertemuan ilmiah internasional Geodesi 1906, harga pengukuran Postdam ditetapkan sebagai pusat jaringan titik pangkal di seluruh dunia. Kemudian tiap lembaga ilmu pengetahuan dan masing masing negara mengukur nilai sistem Postdam untuk negaranya baik untuk pengembangan ilmu, maupun sebagai kebanggaan nasional. Pada tahun 1936, Heyl dan Cook (Taib, 1971) melakukan pengukuran gayaberat absolut di Washington menggunakan pendulum dapat balik mendapatkan harga yang berbeda dengan harga yang diukur dari sistem Postdam sebesar -16,8 mGal. Pada tahun 1938 Clark (Taib, 1971) juga mengukur gayaberat absolut di Teddington Inggris dan harga diperoleh berbeda sebesar 12 mGal. Sementara, rasio inersia

*Alamat korespondensi:

Jl. Pandanwangi Raya A106 Semarang
Telp.: (024) 3558332, Mobile Phone: 085226233319
Email: pryfis@yahoo.com



Gambar 1. Jaringan titik pangkal pengukuran gayaberat internasional Postdam System

Tabel 1. Pengukuran gayaberat absolut.

Acuan	Tempat	Deviasi standard (mGal)	Korelasi ke nilai Postdam (mGal)
Free fall (Jatuh bebas)			
Thulin (1961)	Sevres	0,7	-11,8
Preston, Thomas et.al 1960)	Ottawa	1,5	13,1
Tate (1966)	Gasthersburg	0,3	-12,8
Falker (1965)	Princeton	0,7	-13,7
Rice and fall			
Cook (1967)	Teddington	0,13	-13,7
Sakume, Cook (1968)	Severs	0,10	-13,8

terhadap gaya gravitasi berdampak pada kecepatan gerak yang bergantung pada tinggi binatang (Raichlen, 2008). Dari berbagai pengukuran yang telah dilakukan ternyata terdapat beda sebesar 12–14 mGal. Hasil pengukuran gayaberat absolut di berbagai tempat seperti ditampilkan pada Tabel 1.

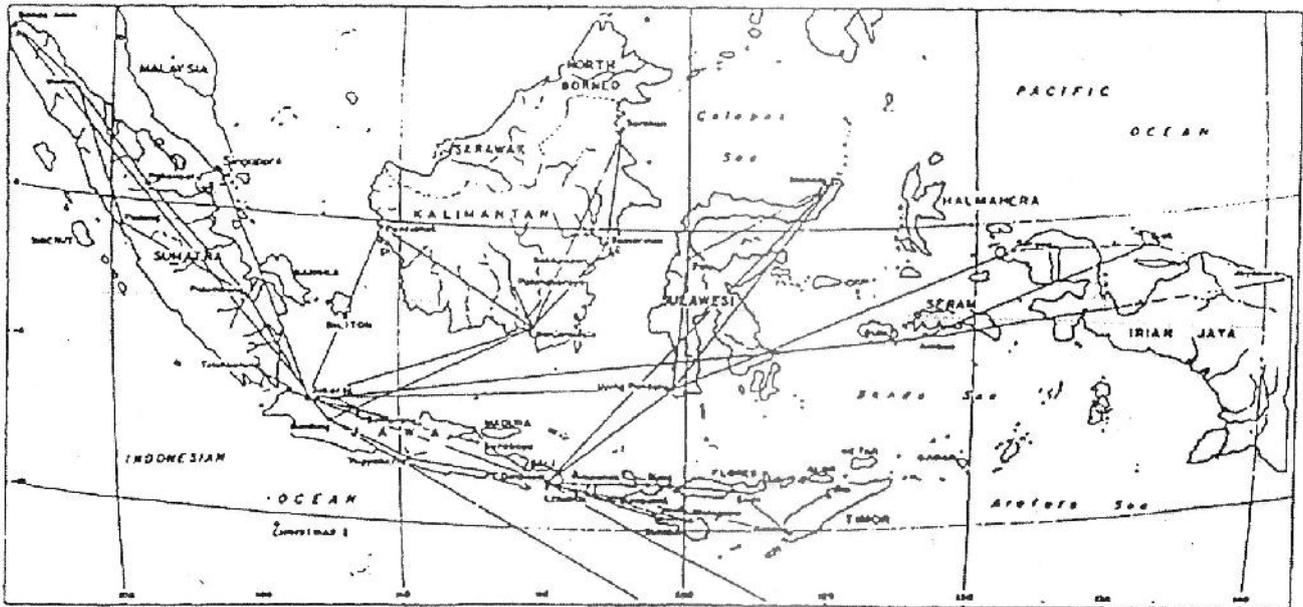
Di Indonesia pengukuran gayaberat yang diikat ke sistem Postdam telah dilakukan oleh pemerintah Hindia Belanda melalui Singapura. Meinesz (1932) melakukan pengukuran gayaberat di Indonesia di beberapa titik, yaitu di pelabuhan Tanjung Priok (Jakarta), Surabaya, Padang, Makasar dan di ruang *Boscha Technische Hooge School* Bandung. Akan tetapi titik–titik stasiun tersebut belum dapat dianggap sistem Postdam karena pengukurannya tidak dilakukan menurut persyaratan prosedur pendirian *base station*.

Pada tahun 1970, Direktorat Geologi melakukan pengikatan ke sistem Postdam (London), dan hasilnya hanya digunakan untuk kalangan terbatas. Sedangkan pada tahun antara 1976–1977 Direktorat Geologi

mengikat lagi ke Australia (Universitas New England) dengan posisi lintang $-6^{\circ} 53' 90,5''$, bujur $107^{\circ} 37' 90''$ dan ketinggian 718 m Data pada titik ini kemudian dibawa ke seluruh Indoensia.

Setelah kemerdekaan, sistem jaringan gayaberat didirikan di Bandung pada tahun 1967–1970 oleh Direktorat Geologi (sekarang Pusat Survei Geologi). Sistem jaringan ini diikatkan melalui Singapura dan London (Adkins dkk., 1978). Jaringan gayaberat di Indonesia (Gambar 2) tersebut diukur ulang oleh Adkins dkk., (1978) dengan ikatan melalui Singapura, Sydney dengan menggunakan jaringan University of New England (UNE) sebagai pusat titik pengikat. Data jaringan gayaberat di Indonesia seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

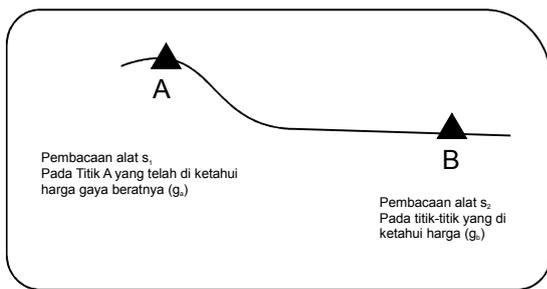
Pengukuran gaya berat untuk keperluan survei dilakukan menggunakan gravimeter. Pada saat ini gravimeter yang umum digunakan adalah buatan LaCoste & Romberg, Sintrex. Gravimeter tersebut menggunakan prinsip kerja pegas. Prinsip pengukuran



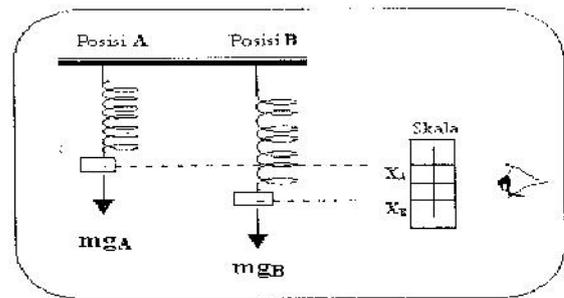
Gambar 2. Lokasi stasiun gayaberat di Indonesia dan garis dasar yang digunakan pada tahun 1976 dan 1977.

Tabel 2. Nilai gayaberat di Indonesia (Adkins dkk., 1978).

Titik Stasiun	Ketinggian (m)	Nilai lama (mGal)	Nilai baru (mGal)
DG 0	718,0	977991,05	977976,38
DG I	717,3	977991,21	977976,55
DG II	869,9	977953,95	977939,24
DG III	1064,8	977916,72	977901,97
DG IV	1177,0	977896,68	977810,91
DG V	1521,6	977841,37	977826,65
DG VI	1831,2	977761,44	977746,76



a



b

Gambar 3. (a) Prinsip pengukuran gaya berat relatif dan (b) Prinsip alat gravimeter.

gayaberat relatif dan gravimeter seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Hubungan antara gayaberat dengan gaya pegas dapat dirumuskan pada persamaan (1)

$$m g = k x \tag{1}$$

dimana k (konstanta pegas), m (massa benda), dan x (perubahan panjang pegas). Bila alat tersebut dibawa dari titik A ke titik B, di mana titik A telah diketahui gravitasinya, maka besarnya gayaberat relatif dapat dinyatakan dengan persamaan (2):

$$\Delta g = \left(\frac{k}{m} \right) \Delta x \tag{2}$$

METODE

Pengukuran gaya berat relatif lebih mudah dibandingkan dengan pengukuran gayaberat absolut. Pengukuran relatif dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran titik yang tidak diketahui nilai gaya beratnya dengan titik yang sudah diketahui dan telah diikat ke titik referensi. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat melakukan pengukuran gayaberat adalah pertama, pemilihan gravimeter yang akan digunakan. Kedua, melakukan koreksi Pasang Surut yang diukur secara langsung. Ketiga, pemilihan titik ikat gaya berat (titik referensi atau base) harus

memenuhi kriteria tidak mengalami amblesan, tidak terjadi penurunan muka air tanah dan jauh dari getaran di titik tersebut. Keempat, mendeskripsikan titik pengukuran gayaberat. Pada saat melakukan pengukuran gayaberat tiap periode, kondisi titik amat dan sekitarnya harus dicatat. Kelima, pengambilan data gayaberat dengan cara *looping* dan urutan pengambilan data tiap periode pengukuran harus tetap. Keenam, mempertimbangkan waktu pengukuran mengingat bahwa alat gravimeter yang digunakan mempunyai sensitivitas yang tinggi, maka pengukuran harus memperhatikan ada tidaknya guncangan yang terjadi. Ketujuh, Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari: Gravimeter LaCoste & Romberg tipe G1168 yang dilengkapi *alliod system* dengan ketelitian 5 Gal.

Sebagaimana yang disarankan Sarkowi (2007) ada beberapa tipe gravimeter yang dapat digunakan untuk keperluan survei tersebut, misalnya: Gravimeter LaCoste & Romberg tipe D dan tipe G yang telah dilengkapi *digital alliod system* dengan akurasi 1–5 Gal, Gravimeter *Autograv Scintrex CG 5* dengan akurasi 1 Gal, Gravimeter Graviton dengan akurasi 1 Gal, dan Superconducting gravimeter dengan akurasi 0.001 Gal. Hasil penelitian Zhu (2010) menyatakan bahwa variasi gravitasi di Venchuan Cina digunakan untuk memprediksi tanda awal kejadian gempa bumi tahun 2008.

Koreksi ini disebabkan karena pengaruh gaya tarik yang dialami bumi akibat massa bulan dan matahari. Harganya berubah–ubah setiap waktu secara periodik bergantung posisi benda–benda langit tersebut. Koreksi ini dilakukan mengingat respon gayaberat lebih kecil dibandingkan 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 gayaberat secara langsung di lapangan. Pada penelitian ini, koreksi Pasang Surut gayaberat diukur menggunakan gravimeter LaCoste & Romberg G508 yang dilengkapi fasilitas faktor umpan balik (*feedback factor*). Fasilitas ini memungkinkan gravimeter dapat dihubungkan dengan komputer, sehingga data pengukuran dalam selang

waktu tertentu dapat disimpan dan diedit sesuai dengan keperluan. Pengukuran gayaberat untuk keperluan koreksi ini dilakukan setiap kali pengukuran gayaberat di lapangan. Sebagai contoh diberikan perbandingan koreksi pasang surut dengan menggunakan persamaan Longman dan pengukuran langsung di lapangan seperti pada Gambar 4.

Pada penelitian ini sebagai titik ikat digunakan titik Kop. A.Yani 15 yang terletak di Taman Diponegoro depan rumah sakit Elizabeth Semarang dengan gayaberat sebesar 978099,311 miliGal. Titik ini dipilih berdasarkan data pengukuran sebelumnya (Muhrozi dkk., 1997) diketahui bahwa titik Kop. A.Yani 15 yang diukur ketinggiannya dengan metode Sipat Datar dengan referensi TTG 447 yang terletak di SPBU - Kaliwiru rentang waktu Oktober 1996 sampai dengan Januari 1997 mengalami amblesan 0.03 cm/ bulan atau 0.36 cm/tahun. Nilai ini relatif kecil, dapat dikatakan tidak terjadi amblesan dan memenuhi kriteria yang dipersyaratkan.

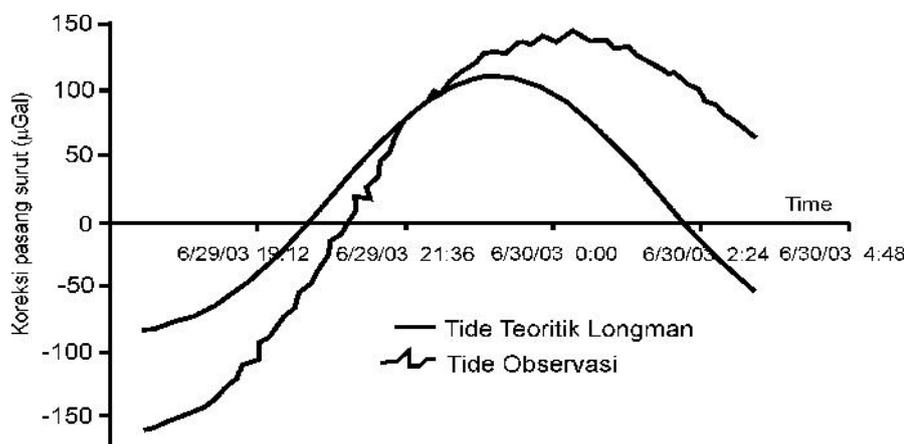
Hal yang perlu dicatat adalah: kondisi fisik titik amat, identitas pengenal titik amat, ketinggian air di sekitar titik amat apabila titik amat gayaberat terletak dekat sungai atau laut, kondisi tanah di sekitarnya (basah atau kering).

Metode ini bertujuan agar masing–masing titik gayaberat mendapatkan koreksi Apungan yang relatif sama. Titik di awal *looping* akan mendapatkan koreksi apungan yang kecil. Sebaliknya titik di akhir *looping* akan mendapatkan koreksi Apungan yang besar. Letak titik pengukuran dan contoh *looping* seperti pada Gambar 5.

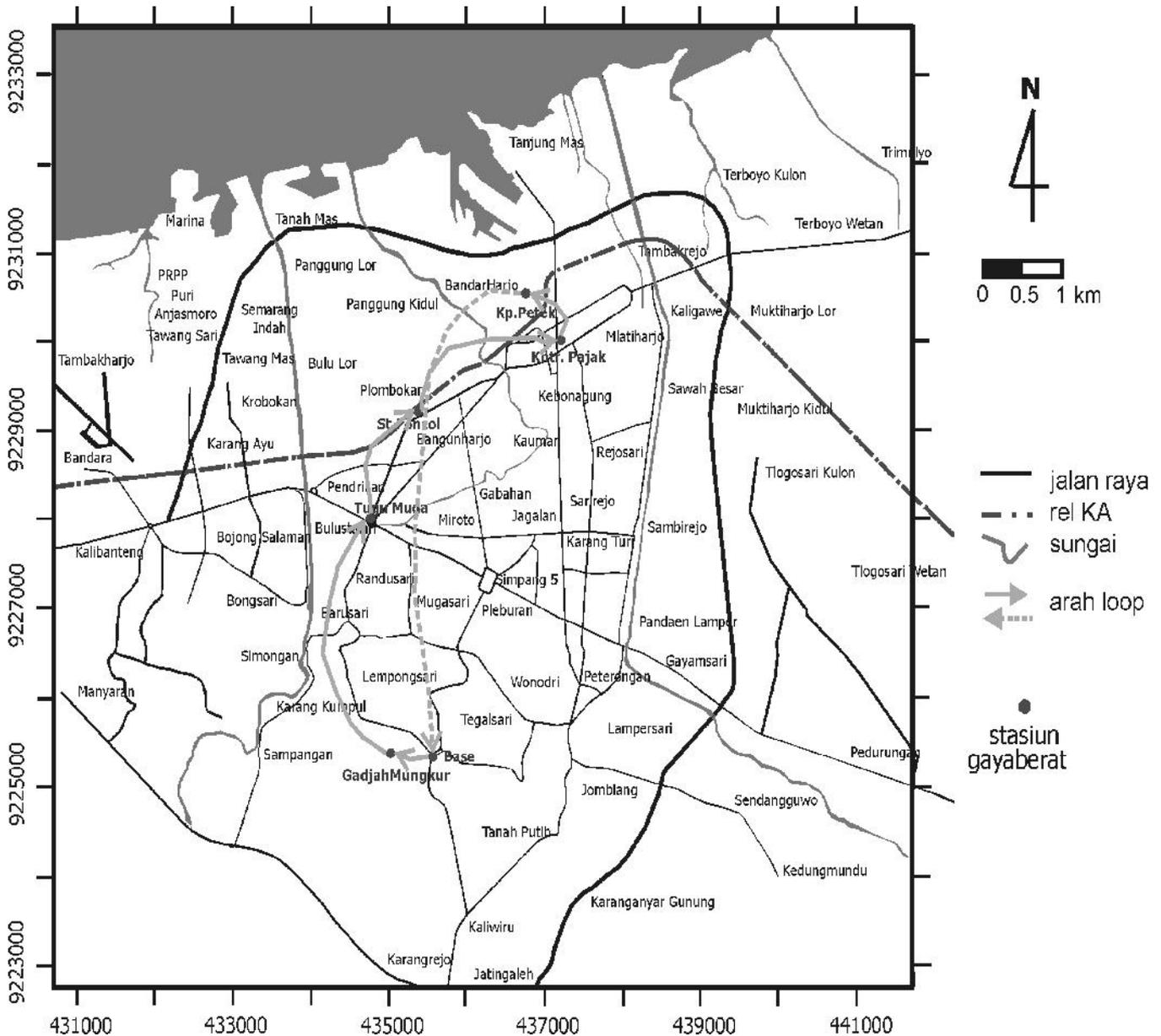
Hasil penelitian menyatakan bahwa nilai gravitasi memiliki model fungsi nonparametrik terhadap ketinggian dan hanya daerah tertentu memiliki model fungsi parametrik (Henderson & Millimet, 2008).

Daerah yang ramai lalu lintas, pengukuran dilakukan pada malam hari untuk mendapatkan data yang berkualitas dengan sedikit pengaruh getaran atau guncangan.

Alat ini digunakan untuk pengukuran gayaberat di lapangan, Gravimeter LaCoste & Romberg tipe G508 yang dilengkapi *feedback factor* yang memungkinkan



Gambar 4. Koreksi Pasang Surut tanggal 29 – 30 Juni 2003 di kota Semarang dengan menggunakan gravimeter LaCoste & Romberg G508 dan perhitungan dengan persamaan Longman (Sarkowi, 2007).



Gambar 5. Loop I pengukuran gayaberat periode September 2003 – November 2005.

terkoneksi dengan komputer. Gravimeter ini diletakkan di *base* untuk mengukur gayaberat. Hasil pengukuran ini digunakan untuk keperluan koreksi pasang surut secara langsung, GPS (*Global Positioning System*) untuk menentukan posisi titik pengukuran gayaberat. Sistem posisi titik pengukuran yang dipakai adalah UTM (*Universal Transverse Mercator*).

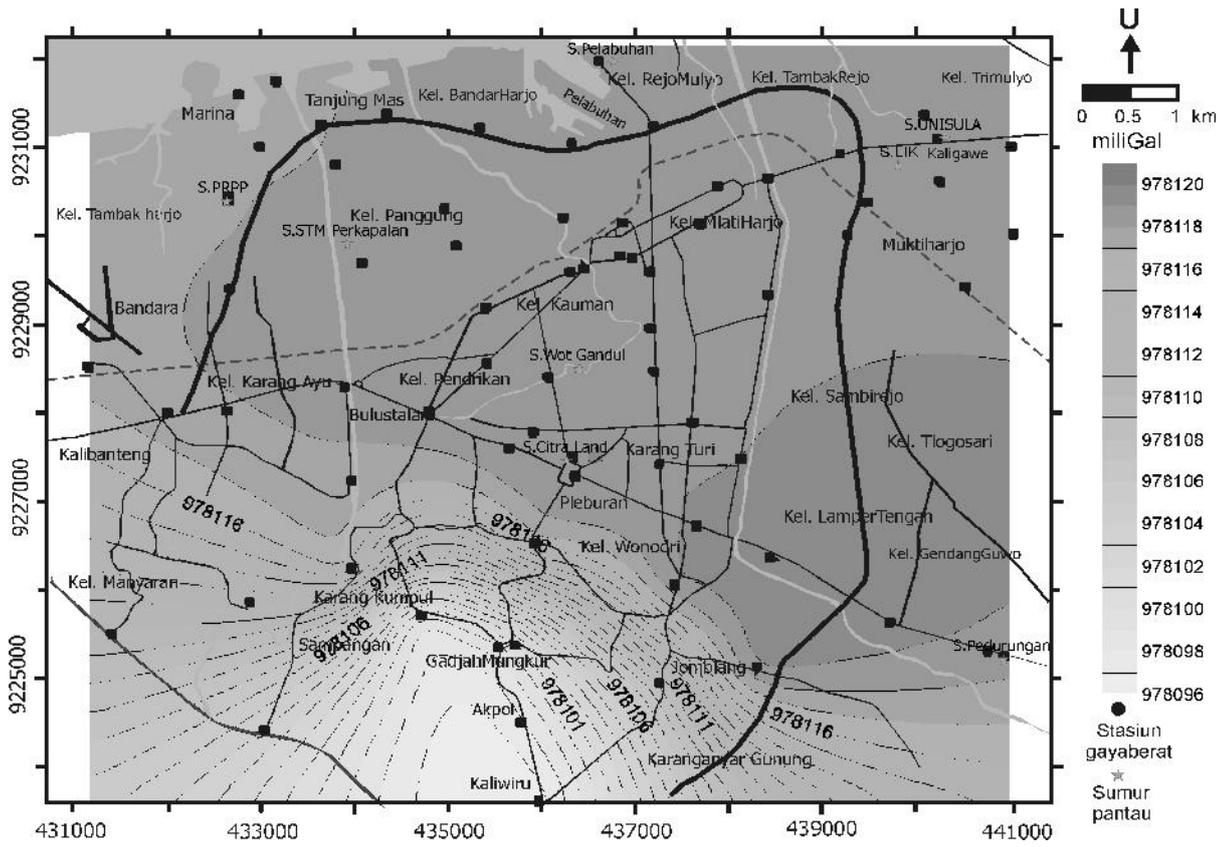
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran berupa gayaberat relatif dan sudah diikat ke titik referensi, selanjutnya dibuat peta kontur berdasarkan data tersebut. Peta kontur dibuat dengan menggunakan software Surfer 8,0. Data yang dipakai untuk keperluan pembuatan peta adalah pengukuran gayaberat pada periode Juni 2003, Desember 2003, Pebruari 2005 dan Nopember 2005.

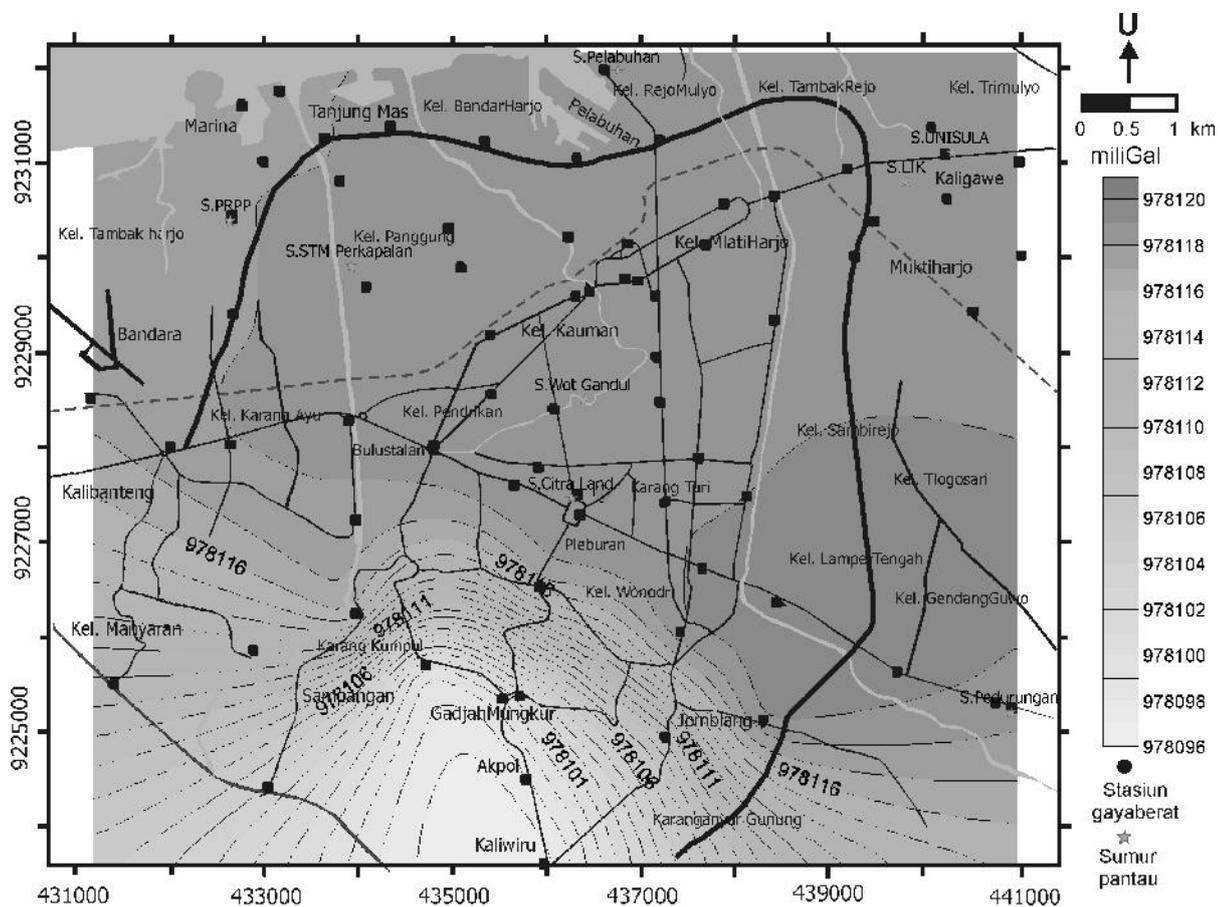
Keseluruhan peta kontur gayaberat keempat periode tersebut seperti pada Gambar 6 sampai dengan 9. Untuk validasi hasil pengukuran digunakan data elevasi tiap titik pengukuran gayaberat yang diukur dengan menggunakan metode Sipat Datar. Peta kontur topografi daerah penelitian seperti pada Gambar 10.

SIMPULAN DAN SARAN

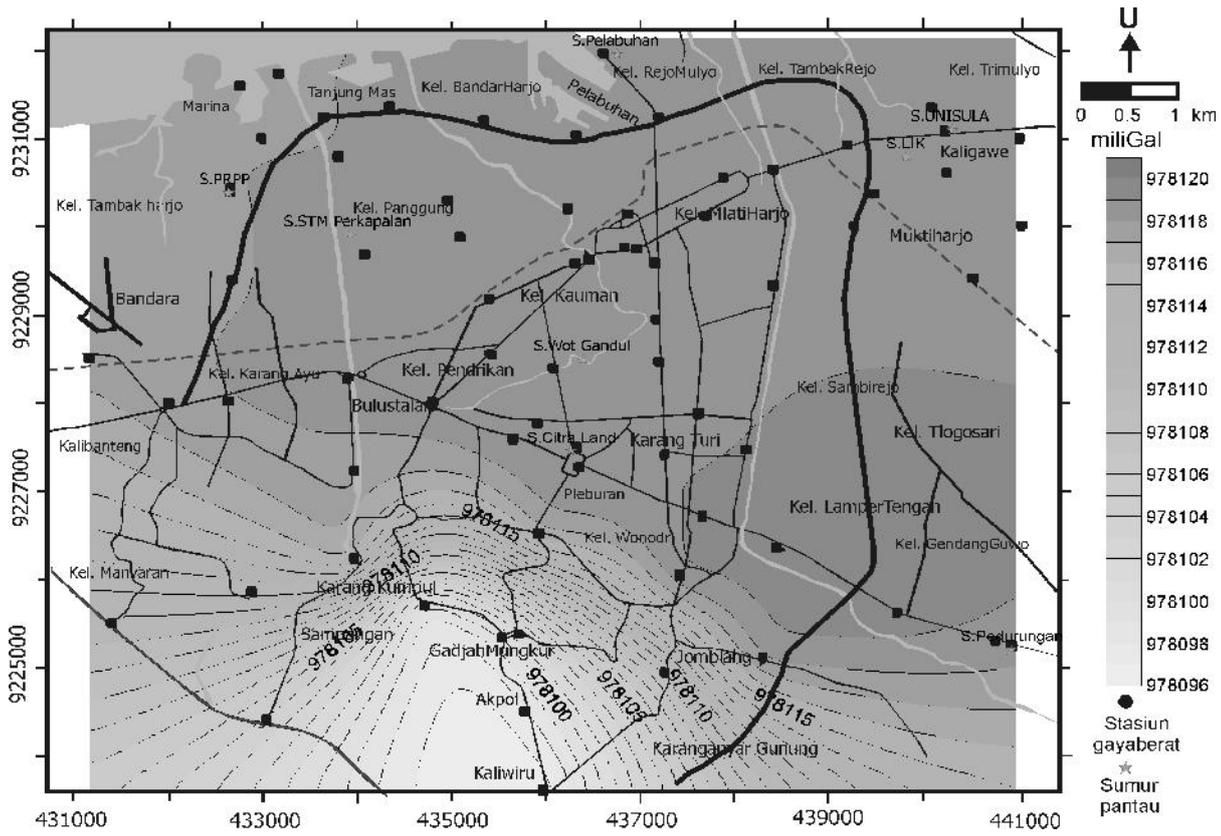
Berdasarkan hasil pengukuran gayaberat dapat disimpulkan bahwa di daerah Semarang bagian utara memiliki gayaberat yang lebih besar dibandingkan dengan di bagian selatan Semarang. Informasi ini untuk beberapa periode pengukuran dapat dimanfaatkan untuk prediksi beberapa kejadian, seperti amblesan (*subsidence*), ada tidaknya intrusi air laut pada suatu daerah, monitoring perubahan kedalaman muka air



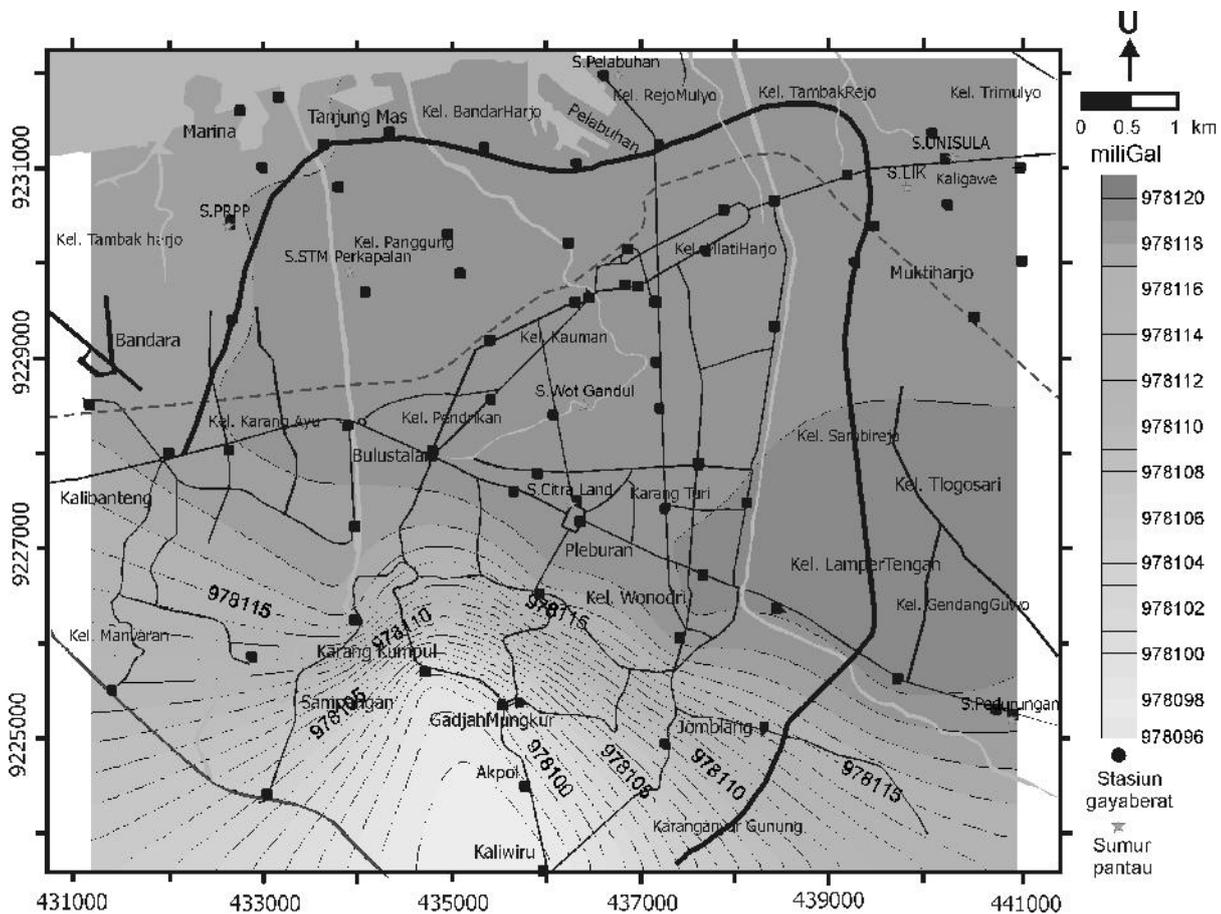
Gambar 6. Peta gayaberat kota Semarang periode Juni 2003.



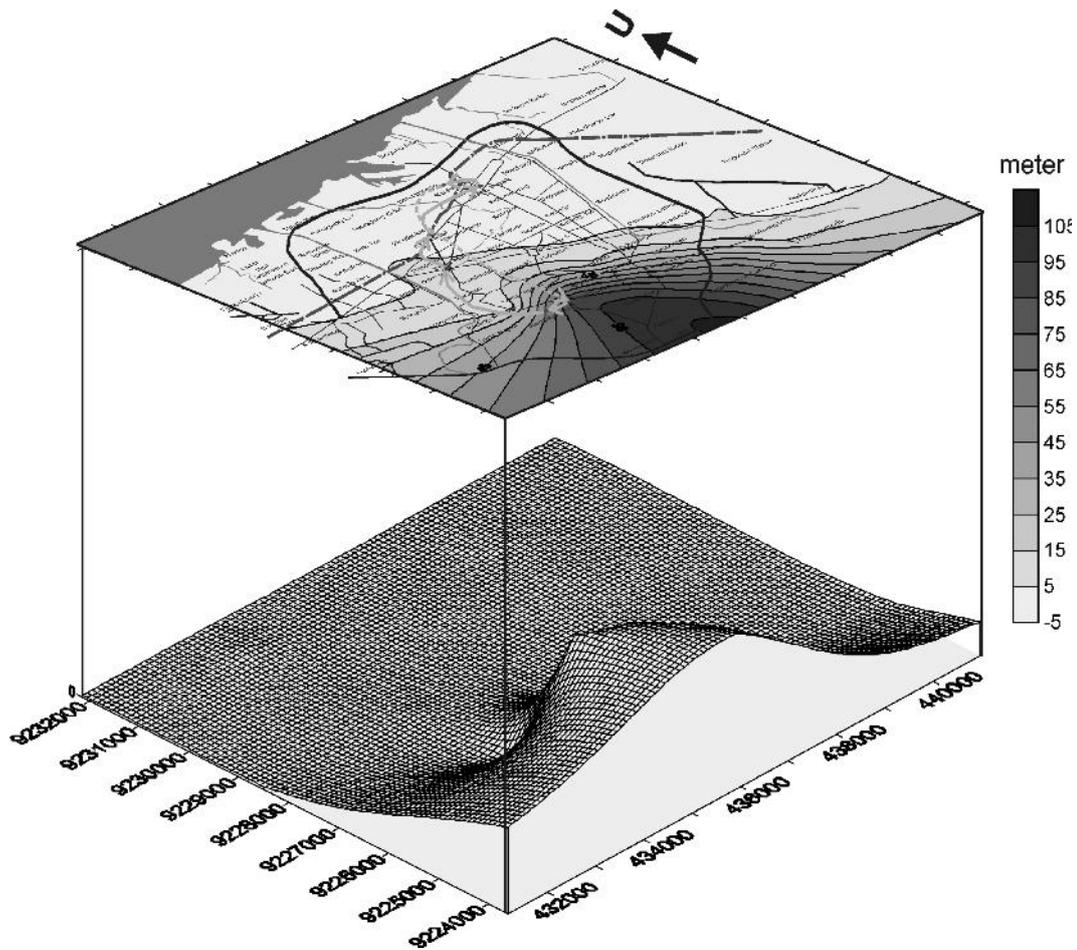
Gambar 7. Peta gayaberat kota Semarang periode Desember 2003.



Gambar 8. Peta gayaberat kota Semarang periode Pebruari 2005.



Gambar 9. Peta gayaberat kota Semarang periode Nopember 2005.



Gambar 10. Peta topografi daerah pengukuran gayaberat.

tanah.

Untuk masa mendatang perlu kiranya untuk mengeksplorasi data gayaberat ini untuk yang masih mentah untuk diolah lanjut sehingga akan diperoleh berbagai informasi yang bermanfaat

DAFTAR PUSTAKA

- Adkins, J., Sukardi, S., Said, H., dan Untung, M. 1978: *A Regional Base Station Network for Indonesia*, Publikasi Teknik-Seri Geofisika, 6, Geological Survey of Indonesia
- Henderson, D.J. & Millimet, D. L. 2008. Is Gravity Linear? *Journal of Applied Econometrics*, 23 (2): 137-172
- Longman, I.M. 1959. Formulas for Computing The Tidal Acceleration due to The Moon and The Sun. *Journal Geophysics Research*, (64): 2351 – 2355
- Meinesz, V. 1932. *Gravity Expedition at Sea, I. The Expedition, The Compilation and The Results, II. The Interpretation of The Results (with Collaboration of J.H.F. Umbgrove and Ph.H. Kuenen (1934), Waltman, Delf*
- Muhrozi, Pranoto, S., dan Nasrullah 1996. *Studi Penentuan Penurunan Permukaan Tanah di Semarang Bagian Bawah*. Laporan akhir Penelitian. Fakultas Teknik Sipil Universitas Diponegoro
- Raichlen, D.A. 2008. The effects of gravity on human walking: a new test of the dynamic similarity hypothesis using a predictive model. *The Journal of Experimental Biology*, (211): 2767-2772
- 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
- Taib, M.IT. 1971 . *Kapita selekta geofisika eksplorasi dan evaluasi prospek, bahan kuliah, program studi geofisika terapan*, Institut Teknologi Bandung
- Zhu, Y. 2010. Gravity Measurements and Their Variations before the 2008 Wenchuan Earthquake. *Journal of the Seismological Society of America*; 100 (5B): 2815-2824