

# Problem Pengolahan Data Gaya Berat Mikro antar Waktu

**Supriyadi**

Jurusan Fisika, FMIPA, UNNES  
pryfis@yahoo.com

Received 21-02-2013, Revised 27-03-2013, Accepted 03-04-2013, Published 13-10-2013

## ABSTRACT

At time lapse microgravity survey will be got data in place for difference period. The Anomaly caused by subsidence and density change under surface which related to groundwater level change. This matter become problem when will take one of the anomaly sources to processed is furthermore. Reduction one of anomaly source cannot be done direct but must be done with filtering process. Process filtering done by using FFT (Fast Fourier Transform), its principal is to move data from time domain to frequency domain. At frequency domain this is mathematics process conducted. On subsidence case study in Semarang by using this technique indicate that subsidence value from time lapse micro gravity survey have tendency is equal to result from geodesy survey.

Keywords: time lapse microgravity, FFT, filtering.

## ABSTRAK

Pada survei gaya berat mikro antar waktu akan diperoleh data di tempat yang sama untuk selang waktu tertentu. Anomali dari dua data hasil pengukuran survei gaya berat mikro antar waktu tersebut disebabkan oleh dua sumber anomali, yaitu amblesan dan perubahan rapat massa bawah permukaan yang berhubungan dengan penurunan atau kenaikan muka air tanah. Hal ini menjadi persoalan ketika akan mengambil salah satu sumber anomali untuk prosesing lebih lanjut. Reduksi salah satu sumber anomali tidak dapat langsung dikerjakan melainkan harus dilakukan dengan proses filtering. Proses filtering dilakukan dengan menggunakan FFT (Fast Fourier Transform), yang prinsipnya adalah memindah data dari domain waktu ke domain frekuensi. Pada domain frekuensi inilah proses matematika dilakukan. Studi kasus amblesan di kota Semarang dengan menggunakan teknik ini menunjukkan bahwa amblesan yang diperoleh dari survei gaya berat mikro antar waktu mempunyai kecenderungan yang sama dengan hasil yang diperoleh dari survei geodesi.

Kata kunci: gaya berat mikro antar waktu, FFT, filtering.

## PENDAHULUAN

Metode gaya berat merupakan salah satu metode tertua dalam geofisika, tetapi penerapannya pada sumber anomali dekat permukaan dan yang berhubungan dengan lingkungan belum seintensif penerapan untuk studi geodinamika atau eksplorasi dalam estimasi struktur geologi yang relatif besar. Hal ini disebabkan oleh tingkat akurasi anomali masih dalam orde mGal atau 103  $\mu$ Gal. Sedangkan dari sisi alat gravitimeter, akurasi 10  $\mu$ Gal telah dicapai pada awal 1970, tetapi ketelitian pembacaan sepenuhnya bergantung pada ketelitian operator karena gravimeter masih menggunakan alat baca secara mekanik.

Metode gaya berat mikro antar waktu merupakan pengembangan dari metode gaya berat dengan dimensi keempatnya adalah waktu. Prinsip dari metode ini adalah pengukuran

gaya berat secara berulang baik harian, mingguan, bulanan maupun tahunan dengan menggunakan gravimeter yang teliti dalam orde  $\mu\text{Gal}$  dan pengukuran elevasi yang teliti<sup>[1]</sup>. Adanya perubahan atau perbedaan hasil gaya berat observasi pada periode pertama dengan periode berikutnya disebut dengan anomali gaya berat mikro. Perubahan gaya berat observasi dapat disebabkan oleh adanya dinamika di sekitar titik amat, seperti perubahan kedalaman muka air tanah dan amblesan tanah.

Adanya peningkatan akurasi gravimeter dan pengembangan sistem digital, penerapan metode gaya berat untuk sumber anomali dekat permukaan dan yang berhubungan dengan lingkungan serta untuk tujuan pemantauan semakin banyak digunakan, diantaranya untuk pemantauan reservoir panas bumi, minyak dan gas. Proses produksi uap dan injeksi air pada reservoir panas bumi harus dimonitor secara baik dengan tujuan agar reservoir panas bumi tetap stabil, produksi uap stabil sehingga reservoir panas bumi dapat bertahan lama<sup>[2][3][4][5][6][7][8]</sup>.

Aplikasi metode gaya berat mikro antar waktu yang lain, misalnya untuk monitoring produksi gas di lapangan Troll Norwegia oleh Eiken and Zumberge<sup>[9]</sup>, penelitian air tanah di Zona Karst oleh Jacob dkk.<sup>[10]</sup> dan kalibrasi model hidrologi yang dilakukan oleh Leiria<sup>[11-12]</sup> menginterpretasi data gaya berat mikro antar waktu pada borhole data menggunakan teknik Robust Inversion.

Kenyataan bahwa bumi mendekati bentuk spheroid, relief permukaan bumi tidak rata, berotasi dan berevolusi dalam sistem matahari mengakibatkan adanya variasi gaya berat di setiap titik pengukuran di permukaan bumi.<sup>[13]</sup> menyatakan bahwa ada lima hal yang mempengaruhi perubahan nilai gaya berat di suatu titik, yaitu : (1) lintang, (2) elevasi, (3) pasang surut, (4) topografi dan (5) variasi rapat massa bawah permukaan. Sehingga pembacaan gobs di permukaan berhubungan dengan kelima faktor tersebut. Faktor 1, 2 dan 3 masing – masing dapat dikoreksi dengan koreksi lintang, koreksi elevasi, dan koreksi pasang surut. Sedangkan faktor 4 dan 5 merupakan target anomalnya. Faktor 5 di daerah penelitian disebabkan oleh perubahan kedalaman muka air tanah<sup>[14]</sup> dan beban bangunan. Setelah dikoreksi dengan faktor – faktor yang lainnya, maka anomali yang diukur di permukaan merupakan superposisi dari 4 dan 5. Oleh karena itu memisahkan faktor 4 dan 5 merupakan permasalahan yang perlu diselesaikan. Salah satu teknik untuk pemisahan ini adalah dengan mengaplikasikan suatu filter tertentu.

**LANDASAN TEORI**

Untuk kasus benda 3 dimensi dengan distribusi rapat massa  $\rho = (\alpha, \beta, \gamma)$ , oleh Kadir dkk.<sup>[15]</sup> dinyatakan bahwa gaya berat mikro antar waktu di titik P(x,y,z) pada permukaan diperoleh dengan Persamaan (1) sebagai berikut :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta \rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)(z - \gamma)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (1)$$

dengan  $\Delta g(x,y,z, \Delta t)$  : anomali gaya berat mikro antar waktu,  $G$  : konstanta gaayaberat umum =  $6,67 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{sec}^2$ ,  $\Delta \rho$  : perubahan rapat massa,  $\alpha, \beta, \gamma$  : koordinat rapat massa,  $x, y, z$  : koordinat titik ukur,  $\Delta t$  : selang waktu pengukuran  
 Pengembangan Persamaan (1) akan menghasilkan Persamaan (2) sebagai berikut.

$$(g_{obs2} - g_{obs1}) = \left( G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta \rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)(z - \gamma)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \right) + \quad (2)$$

$$(c_1 + c_2 \rho)(h_2 - h_1) - c_3(\Delta h_2 - \Delta h_1)$$

Berdasarkan pemodelan matematik dan simulasi data sintetik menunjukkan bahwa perubahan elevasi titik amat 50 cm menyebabkan perubahan koreksi medan sebesar 3  $\mu\text{Gal}$  atau 0.06  $\mu\text{Gal}$  untuk perubahan elevasi 1 cm<sup>[14]</sup>, sehingga perubahan koreksi medan akibat perubahan elevasi titik amat dapat diabaikan. Untuk  $c_3 \cong 0$ , Persamaan (2) menjadi Persamaan (3) berikut.

$$(g_{obs_2} - g_{obs_1}) = \left( G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)(z - \gamma)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]} d\alpha d\beta d\gamma \right) + (c_1 + c_2\rho)(h_2 - h_1) \quad (3)$$

Persamaan (3) menunjukkan bahwa selisih nilai gaya berat hasil pengukuran ( $g_{obs_2} - g_{obs_1}$ ) disebabkan oleh perubahan rapat massa bawah permukaan yang berhubungan dengan perubahan kedalaman muka air tanah dan perubahan elevasi titik amat (amblesan). Faktor konsolidasi pada lapisan tanah tidak menyebabkan hilangnya massa tanah hanya menyebabkan amblesan.

### METODE PENELITIAN

Sebagaimana disebutkan sebelumnya bahwa untuk reduksi salah satu sumber anomali pada data hasil survei gaya berat mikro antar waktu dengan filtering. Filter dibuat berdasarkan model sumber anomali di lapangan. Filter dibangun dengan perangkat lunak Matlab. Tahapan pembuatan filter dan proses filtering sebagai berikut:

#### (1) Pemodelan 3D sumber anomali

Pemodelan ini mengacu pada teori yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Sumber terdiri dari amblesan dan penurunan muka air tanah. Hasil pemodelan berupa anomali akibat amblesan, penurunan muka air tanah dan gabungan keduanya.

#### (2) Melakukan transformasi Fourier 2D pada data sintetik anomali gaya berat akibat amblesan, penurunan muka air tanah dan gabungan keduanya.

Tujuan dari transformasi ini adalah membawa data sintetik yang berada pada kawasan spasial ke kawasan frekuensi sehingga dapat diproses lebih lanjut. Sebelum dilakukan FFT, data anomali gaya berat digrid dengan spasi tertentu sebanyak 2n disesuaikan dengan sumber anomali yang akan dipisahkan.

#### (3) Analisis spektrum bertujuan untuk mengetahui frekuensi dan amplitudo sumber anomali yang diperoleh dari transformasi Fourier.

Informasi frekuensi dan amplitudo ini digunakan untuk menganalisa apakah filter dapat dibuat atau tidak berdasarkan model sumber anomali tersebut. Jika frekuensi kedua sumber anomali berbeda maka filter dapat dibuat, sebaliknya jika frekuensi kedua sumber sama, maka filter tidak dapat dibuat. Pada kasus ini pemodelan diulang kembali dengan mengubah dimensi dan rapat massa sumber anomali.

#### (4) Pembentukan filter menggunakan Persamaan (4) sebagai berikut:

$$G(f) = \frac{X(f)_{amblesan}}{(X(f)_{amblesan} + MAT)} \quad (4)$$

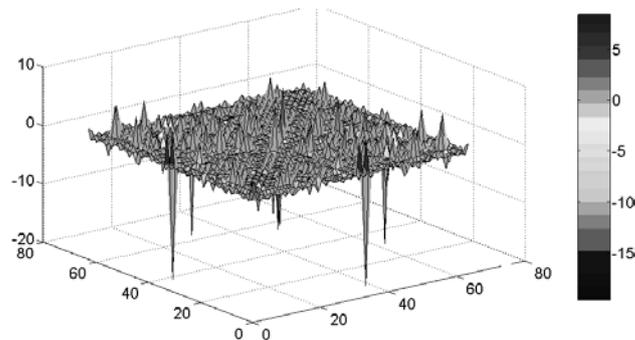
dimana  $G(f)$  : fungsi transfer yang merupakan bentuk filter linier,  $X(f)_{amblesan}$  : anomali gaya berat mikro antar waktu akibat amblesan domain frekuensi, dan  $X(f)_{amblesan} + MAT$  : anomali gaya berat mikro antar waktu akibat subsidence dan perubahan kedalaman muka air tanah. Berdasarkan Persamaan (4) filter tersebut akan menghasilkan out put berupa data anomali gaya berat mikro antar waktu akibat subsidence.

(5) Menguji filter yang telah dibuat. Pada tahap ini out put yang diperoleh dikembalikan lagi ke kawasan spasial untuk di lihat kembali apakah nilainya sama. Jika nilai out put hasil pemfilteran sama dengan nilai aslinya, maka filter bekerja sesuai dengan tujuan.

(6) Mengaplikasikan filter yang telah dibuat pada data anomali gaya berat antar waktu yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa data gaya berat mikro antar waktu hasil pengukuran di Semarang pada periode 2002 – 2005, bentuk filter pada domain frekuensi, dan hasil filtering data anomali gaya berat mikro antar waktu periode tersebut. Secara lengkap hasilnya sebagai berikut.



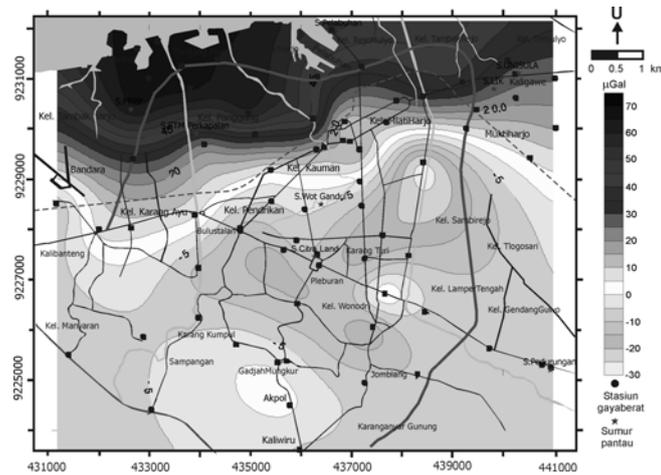
**Gambar 1.** (color online) Bentuk filter periode Sept 2002–Nop 2005.

Filter (Gambar 1) dibuat berdasarkan model di lapangan, yaitu perubahan kedalaman muka air tanah, amblesan, dan anomali gaya berat mikro antar waktu yang terjadi selama selang waktu 2002–2005, maka untuk keperluan pembuatan filter digunakan data sebagai berikut : Penurunan muka air tanah selama rentang waktu tersebut maksimum 5 m atau rata – rata 1,7 m/tahun. Penurunan muka air tanah terjadi pada kedalaman 25 m<sup>[14]</sup>. Amblesan yang terjadi dalam rentang waktu yang sama maksimum 48 cm atau rata-rata 16 cm/tahun (hasil pengukuran elevasi periode 2002–2005 dan Porositas batuan 30 %).

Mengingat luas daerah penelitian 10 km x 10 km, maka kedua model dibuat 6 km x 6 km untuk amblesan dan 8 km x 8 km untuk penurunan muka air tanah. Ukuran ini diasumsikan telah mewakili amblesan dan penurunan muka air tanah yang terjadi di daerah penelitian.

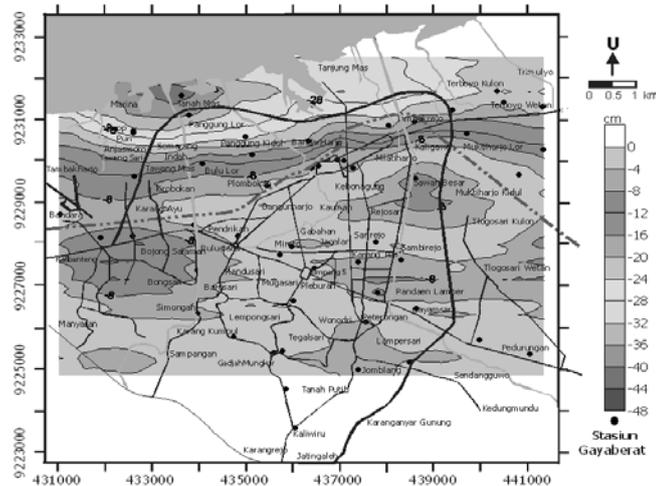
Sebagaimana pemodelan yang telah dilakukan bahwa posisi amblesan dan penurunan muka air tanah tidak berpengaruh terhadap hasil perhitungan. Pada penelitian ini posisi model amblesan dan penurunan muka air tanah dibuat simetri dengan memenuhi syarat dimensi penurunan muka air tanah harus lebih besar daripada dimensi amblesan.

Anomali gaya berat mikro antar waktu yang dinyatakan dalam bentuk peta kontur (Gambar 2) untuk periode yang dimaksud menunjukkan bahwa ada tiga kemungkinan nilai anomali gaya berat mikro antar waktu, yaitu (+) dengan amblesan yang terjadi di bagian utara, (-) berkaitan dengan perubahan densy bawah permukaan yang berhubungan dengan penurunan muka air tanah terjadi di bagian selatan, dan 0 tidak terjadi perubahan.



**Gambar 2.** (color online) Peta kontur anomali gaya berat mikro antar waktu periode Sept 2002 Nop 2005. Pengukuran dengan menggunakan Gravimeter tipe Scintrex CG-5 Autograv.

Hasil filtering yang berupa data amblesan yang menyebabkan terjadinya anomali gaya berat mikro pada periode yang dimaksud (Gambar 3) berikut.

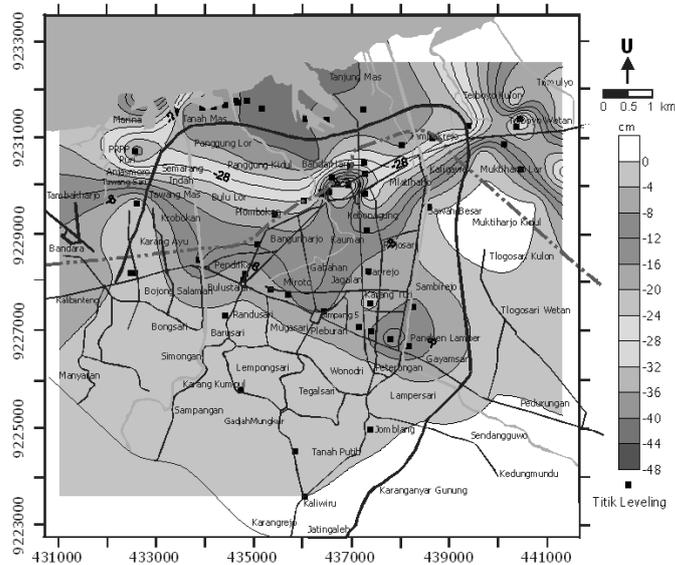


**Gambar 3.** (color online) Peta kontur amblesan yang menyebabkan anomali gaya berat mikro antar waktu periode Sept 2002-Nop 2005. Data amblesan diperoleh dari hasil filtering dengan menggunakan filter (Gambar 1).

Amblesan periode Sept 2002–Nop 2005 seperti pada Gambar 3. Pada periode ini amblesan yang terjadi di Semarang Utara semakin membesar yaitu 20 sampai 48 cm di beberapa tempat, misalnya : kawasan pelabuhan Tanjung Mas, kawasan pantai Marina, PRPP, perumahan Puri Anjasmoro, kelurahan Panggung Lor dan Panggung Kidul, Terboyo Kulon, Terboyo Wetan, dan perumahan Tanah Mas. Daerah Kaligawe, Mlatiharjo, Simpang Lima, Miroto, Gabahan, Jagalan, Kauman, Bangunharjo, Karangturi, Pendrikan, Mugas, Pleburan, Lempongsari, Gayamsari, Pedurangan relatif tidak mengalami amblesan jika dibandingkan dengan periode sebelumnya. Zona baru amblesan yang muncul pada periode sebelumnya cakupannya semakin meluas. Berdasarkan peta anomali gaya berat mikro antar waktu periode yang sama

Hasil filtering ini jika dibandingkan dengan hasil survei geodesi (Gambar 4) menunjukkan kecenderungan daerah yang mengalami amblesan terletak pada tempat yang relatif sama. Amblesan terbesar selama rentang waktu 2002 – 2005 sebesar 48 cm terjadi di bagian

utara Semarang. Mengacu penelitian amblesan sebelumnya di kota Semarang yang dilakukan oleh Muhrozi dkk<sup>[16]</sup> dan Marsudi<sup>[17]</sup> menunjukkan kesesuaian bahwa amblesan yang terbesar terjadi di kawasan utara Semarang. Amblesan yang terjadi di kawasan ini lebih dipengaruhi oleh proses konsolidasi dibandingkan pengaruh penurunan muka air tanah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai anomali gaya berat mikro antar waktu yang bernilai positif.



**Gambar 4.** (color online) Peta amblesan berdasarkan hasil pengukuran survei geodesi pada periode yang sama.

**KESIMPULAN**

Sumber anomali gaya berat anomali gaya berat mikro antar waktu yang terdiri atas amblesan dan perubahan densitas bawah permukaan dapat dipisahkan dengan teknik filtering. Untuk keperluan ini, maka harus dibuat filter yang dibangun berdasarkan model lapangan, yaitu model amblesan dan model perubahan kedalaman muka air tanah di lokasi penelitian.

Prosedur pemisahan anomali gaya berat mikro antar waktu dengan filter meliputi : penentuan parameter model amblesan dan perubahan kedalaman muka air tanah, FFT 2D data anomali gaya berat yang diperoleh dari pemodelan, pembentukan filter, pemakaian filter pada data lapangan.

Aplikasi Filter yang telah dibuat pada data gaya berat mikro antar waktu periode Sept 2002–Nop 2005 diperoleh data amblesan maksimum sebesar 48 cm terjadi kawasan Marina, perumahan Tanah Mas dan sekitarnya. Secara keseluruhan amblesan hasil filtering jika dibandingkan dengan pengukuran menggunakan metode Sipat Datar menunjukkan kecenderungan daerah yang mengalami amblesan terletak pada tempat yang relatif sama.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima ditujukan kepada DP2M DIKTI yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Pascasarja dan dilanjutkan dengan Hibah Strategis

## DAFTAR PUSTAKA

- 1 Allis, R.G. dan Hunt, T.M. 1986. Analisis of Exploration Induced Gravity Changes at Wairakei Geothermal Field. *Geophysics*, Vol. 51, pp. 1647-1660.
- 2 Andres, R.B.S. dan Pedersen, J.R. 1993. Monitoring the Bulalo Geothermal Reservoir, Philippines, using Precision Gravity Data. *Geothermics*, Vol. 22 No. 5/6, pp. 395 - 402.
- 3 Kamah, M.Y., Negara, C., Pulungan, I., dan Budiardjo. 2001. Application of Microgravity Method on Monitoring Geothermal Reservoir Changes during Production of Steam in The Kamojang Geothermal Field, West Java Indonesia, *Proceedings 5th SEGJ International Symposium – Imaging Technology*, Tokyo, Japan.
- 4 Galderen, V.M., Haagmans, R., dan Bilker, M. 1999. Gravity Changes and Natural Gas Extraction in Groningen. *Geophysical Prospecting*, Vol. 47, pp. 979-993.
- 5 Eiken, O., Zumberge, M., dan Sasagawa, G. 2000. Gravity Monitoring of Offshore Gas Reservoir, *SEG Expanded Abstract*, Vol. 19, pp. 431.
- 6 Akasaka, C., dan Nakanishi, S. 2000. An Evaluation of The Background Noise for Microgravity Monitoring in The Oguni Field, *Proceedings of 25th Stanford Geothermal Workshop*, Japan.
- 7 Mariita, N.O. 2000. Application of Precision Gravity Measurement to Reservoir Monitoring of Olkaria Geothermal Field, Kenya, *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, Kyushu – Tohoku, Japan.
- 8 Nishijima, J., Fujimitsu, Y., Ehara, S., dan Yamauchi. 2005. Microgravity monitoring and repeated GPS survey at Hatchobaru geothermal field, *Proceeding World Geothermal Congress*, Central Kyushu, Japan
- 9 Eiken O., Zumberge. 2005. Gravimetric monitoring gas production from the Troll field, *Proceedings SEG International exposition and 74 th annual meeting*, Denver, Colorado.
- 10 Jacob T., Chery J., Bayer R., Moigne N.L., Boy J.P. 2009. Time lapse surface to depth gravity measurements on a karst system reveal the dominant role of the epikarst as a water storage entity, *Geophysics Journal International*, pp. 1-14.
- 11 Leiriao S. 2007. *Hydrological model calibration using ground base and space borne time lapse gravity surveys*, Thesis, Technical University of Denmark.
- 12 Krahenbuhl R.A., Li Y. 2012. Time lapse gravity: A numerical demonstration using robust inversion and joint interpretation of 4D surface and borehole data, Vol.77, No. 2, pp. 33-43.
- 13 Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.P. 1990. *Applied Geophysics 2nd ed*, Cambridge University Press
- 14 Sarkowi, M. 2007. *Gaya berat mikro Antar Waktu untuk Analisa Perubahan Kedalaman Muka Air Tanah (Studi Kasus Dataran Aluvial Semarang)*. disertasi, Institut Teknologi Bandung.
- 15 Kadir, W.G.A., Santoso, D., dan Sarkowi, M. 2004. *Time Lapse Vertical Gradient Microgravity Measurement for Subsurface Mass Change and Vertical Ground Movement (Subsidence) Identification, Case Study : Semarang alluvial plain, central Java, Indonesia*, *Proceedings of the 7th SEGJ International Symposium*, Sendai–Japan, pp. 421-426.
- 16 Muhrozi, Pranoto, S., dan Nasrullah. 1996. *Studi Penentuan Penurunan Permukaan Tanah di Semarang Bagian Bawah*. Laporan akhir Penelitian. Fakultas Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
- 17 Marsudi. 2000. *Prediksi Laju Amblesan Tanah di Dataran Alluvial Semarang – Jawa Tengah*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.