

## **PEMODELAN 2D RESPON ANOMALI GAYA BERAT MIKRO ANTAR WAKTU AKIBAT AMBLESAN DAN DINAMIKA MUKA AIR TANAH**

Supriyadi<sup>1)</sup>, Djuniadi<sup>2)</sup>, Wahyu Hardyanto<sup>3)</sup>

<sup>1,3</sup> Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang, Gunungpati, 50229

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang

\*<sup>1)</sup> Email: pryfis@yahoo.com

### **Abstrak**

Metode Gaya berat mikro antar waktu merupakan pengembangan dari metode Gaya berat dengan ciri khas berupa pengukuran ulang gaya berat di titik yang sama pada selang periode tertentu, misalnya 6 bulan. Problem utama pada survei gaya berat mikro antar waktu adalah bahwa sumber anomali gaya berat mikro antar waktu terdiri atas dua sumber, yaitu amblesan dan perubahan densitas bawah permukaan yang berhubungan dengan dinamika air tanah yang berupa kenaikan atau penurunan muka air tanah. Berdasarkan kondisi tersebut, maka dilakukan pemodelan 2 D respon anomali gaya berat mikro antar waktu dengan menggunakan perangkat lunak Grav 2D. Sebagai contoh digunakan kasus Semarang bagian utara. Parameter model disesuaikan dengan kondisi lapangan yang berupa densitas lapisan, besar amblesan berdasarkan hasil penelitian terkait dengan asumsi telah terjadi amblesan dan penurunan muka air tanah atau kenaikan muka air tanah. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa untuk (1) amblesan 10 cm, penurunan muka air tanah 1, 5 m dengan dimensi amblesan lebih kecil dari penurunan muka air tanah dengan 3 kedudukan yang berbeda memberikan anomali sebesar 12,196  $\mu\text{Gal}$ , 30,706  $\mu\text{Gal}$  dan 13,376  $\mu\text{Gal}$ . (2) dimensi amblesan dan kenaikan muka air tanah sama besar memberikan anomali sebesar 63,546  $\mu\text{Gal}$ , dan (3) dimensi amblesan lebih besar dari penurunan muka air tanah memberikan anomali sebesar 30,856  $\mu\text{Gal}$ . Berdasarkan analisis FFT (Fast Fourier Transform) dapat disimpulkan bahwa untuk memisahkan frekuensi anomali gayaberat akibat amblesan dan perubahan kedalaman muka air tanah diperlukan syarat dimensi kedua sumber anomali berbeda. Untuk kasus dimensi kedua sumber anomali sama, maka anomali gayaberat akibat amblesan dan penurunan muka air tanah tidak dapat dipisahkan.

### **Abstract**

Microgravity method is the development of Gravity methods with the typical form of repeated measurements at the same point at the interval specified period, such as six months. The main problem in micro-gravity surveys over time is that the source of time lapse micro gravity anomaly consisted of two sources, namely subsidence and subsurface density changes associated with groundwater dynamics in the form of an increase or decrease in ground water level. Under these conditions, then do modeling 2 D response time lapse micro gravity anomaly using Grav2D software. For example use case of the northern part of Semarang. Model parameters adjusted to the field conditions such as density layer, a large subsidence based on research results associated with the assumption that there has been a subsidence and groundwater level decline or rise in groundwater level. Modeling results show that for (1) subsidence 10 cm, decrease in groundwater level 1, 5 m with dimensions smaller subsidence of groundwater level decline by 3 different positions gives anomaly of 12.196, 30.706 and 13.376  $\mu\text{Gal}$ , (2) the dimensions of subsidence and groundwater level rise as great give anomaly at 63.546  $\mu\text{Gal}$ , and (3) subsidence dimension greater than the decrease in groundwater level giving anomalies of 30.856  $\mu\text{Gal}$  Based on the analysis of FFT (*Fast Fourier Transform*) can be inferred that to separate frequency gravity anomaly due to subsidence and groundwater depth changes necessary requirement a second dimension different sources of anomalies. For the case of the second dimension of the same anomaly source, then the gravity anomaly due to subsidence and subsidence of groundwater can not be separated.

**Keywords:** *microgravity, time lapse, groundwater*

### 1. Pendahuluan

Metode gaya berat mikro antar waktu merupakan pengembangan metode gaya berat dengan dimensi keempatnya adalah waktu. Pada prakteknya metode ini adalah perulangan pengukuran gaya berat di titik pada permukaan bumi dengan selang waktu tertentu, misalnya pada musim yang berbeda.

Penggunaan metode ini untuk berbagai keperluan survei telah dilakukan di berbagai belahan dunia, misalnya: [1] menggabungkan metode gayaberat dan teknik gradient untuk mendeteksi terowongan dan sumber mata air di Manatee Florida. Selain itu metode gayaberat telah diaplikasikan untuk beberapa keperluan, seperti yang dilakukan oleh [2] yang melakukan pengukuran perubahan nilai gayaberat yang disebabkan oleh relokasi massa dan deformasi tanah di daerah pertambangan Polandia. [3] melakukan pengukuran perubahan nilai gayaberat untuk mengetahui perubahan tekanan di area geothermal Otake Jepang.

Selain itu, metode ini juga telah digunakan untuk pemantauan kegiatan produksi minyak dan gas bumi mulai dilakukan tahun 1983, misalnya: [4] telah mengamati perubahan gayaberat pada proses produksi minyak dan injeksi air di lapangan minyak Tian Juana, Venezuela. [5] melakukan analisa perubahan gayaberat di lapangan gas Groningen-Belanda.

Di Indonesia penerapan metode gayaberat mikro untuk pemantauan pertama kali dilakukan oleh Pertamina Divisi Panas bumi Kamojang sejak tahun 1984, yang memantau produksi uap dan injeksi air di lapangan panas bumi Kamojang [6], [7] melakukan pengukuran dan analisa gayaberat mikro antar waktu di daerah lapangan Y Sumatera Selatan. Hasil pengukuran selama periode Mei – September 2003 menunjukkan adanya anomali gayaberat mikro antar waktu mencapai 200  $\mu$ Gal di bagian barat, timur dan selatan

Satu hal yang menjadi masalah pada survei gaya berat mikro antar waktu adalah anomali yang terjadi disebabkan oleh amblesan (*subsidence*) dan dinamika air tanah yang berupa kenaikan dan penurunan muka air tanah. Pada paper ini akan diuraikan pemodelan 2D respon anomali gaya berat mikro antar waktu. Pemodelan dibangun berdasarkan kondisi riil amblesan dan dinamika air muka tanah. Sebagai contoh digunakan kasus di utara kota Semarang yang sepuluh tahun terakhir ini telah terjadi amblesan, rob (air laut pasang), dan intrusi air laut.

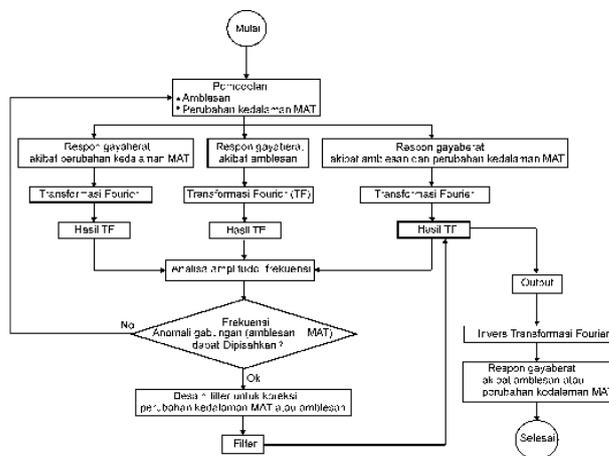
### 2. Metode Penelitian

Untuk keperluan pemodelan digunakan kasus di utara kota Semarang. Berdasarkan hasil pengukuran gaya berat mikro antar waktu di suatu tempat dipengaruhi oleh (1) perubahan rapat massa bawah permukaan yang berhubungan perubahan kedalaman muka air tanah. Penyebab perubahan kedalaman muka air tanah ada dua kemungkinan, yaitu penurunan

muka air tanah akibat pengambilan air untuk berbagai keperluan manusia, dan kenaikan muka air tanah akibat curah hujan, (2) konsolidasi lapisan tanah menyebabkan amblesan [8].

Model sintetik respon anomali gayaberat disesuaikan dengan model topografi dan litologi daerah Semarang dengan beberapa penyederhanaan. Setiap model terdiri dari 3 lapisan dengan ketebalan, rapat massa dan porositas yang berbeda-beda [9], [10].

Mengingat bahwa untuk keperluan survei, maka harus ada salah satu sumber anomali gaya berat mikro antar waktu yang harus direduksi. Untuk keperluan digunakan analisis FFT (*Fast Fourier Transform*) untuk menunjukkan bisa tidaknya sumber anomali dapat direduksi. Secara garis besar metode penelitian seperti pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Tahapan pemodelan dan analisis FFT 1D

Sebagaimana diketahui dalam pemrosesan data geofisika untuk mendapatkan hasil yang diinginkan adalah dengan melakukannya dalam kawasan frekuensi atau bilangan gelombang. Pada kasus ini nilai suatu fungsi yang terukur di lapangan yang merupakan fungsi dalam kawasan spasial dapat didekati dengan deret Fourier atau transformasi Fourier sehingga pemfilteran dapat dilakukan dalam kawasan frekuensi atau bilangan gelombang. Pemfilteran pada kawasan frekuensi seringkali lebih efektif dan efisien daripada harus dilakukan dalam kawasan spasial.

Pada kawasan frekuensi, suatu nilai didekati dengan penjumlahan gelombang – gelombang sinus dan kosinus yang memiliki frekuensi yang berbeda. Transformasi Fourier adalah suatu cara untuk menampilkan kembali suatu fungsi berdasarkan frekuensi tanpa merubah nilai atau karakteristik sumber yang menghasilkan fungsi tersebut. Transformasi Fourier 1D ini dinyatakan dengan persamaan 1 sebagai berikut :

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(s) e^{-i2\pi fs} ds \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1), fungsi  $H(f)$  adalah suatu kuantitas kompleks, yang terdiri dari fungsi real  $R(f)$  dan fungsi imajiner  $I(f)$ . Secara matematik dituliskan sebagai persamaa 2 berikut.

$$H(f) = R(f) + I(f) = |H(f)|e^{i\theta(f)} \quad (2)$$

dengan  $R(f)$  adalah Fungsi real transformasi Fourier,  $I(f)$ : Fungsi imajiner transformasi Fourier,  $|H(f)|$  adalah Amplitudo, dan  $\theta(f)$  adalah Sudut fasa transformasi Fourier.

Jika suatu proses telah dilakukan dalam kawasan frekuensi dan nilai hasil proses tersebut ingin ditampilkan kembali dalam kawasan semula, maka harus dilakukan IFFT (*Invers Fast Fourier Transfrom*). Secara matematik hubungan ini dinyatakan sebagai persamaan 3 berikut.

$$h(s) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f)e^{i2\pi fs} df \quad (3)$$

Transformasi Fourier 1D dilakukan pada data sintetik, yaitu data anomali gayaberat mikro antar waktu akibat amblesan dan perubahan kedalaman muka air tanah. Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui apakah frekuensi gabungan anomali gayaberat akibat amblesan dan perubahan kedalaman muka air tanah dapat dipisahkan. Untuk memenuhi syarat transformasi Fourier, jumlah data yang dipakai adalah  $2^n$  (64) dalam kawasan jarak dengan spasi 100 m. Setelah proses FFT selanjutnya analisa frekuensi dan amplitudo. Jika diketahui frekuensi sumber anomali berbeda satu dengan yang lainnya, maka pemisahan kedua frekuensi dapat dilakukan dengan menggunakan filter tertentu.

### 3. Hasil dan Pembahasan

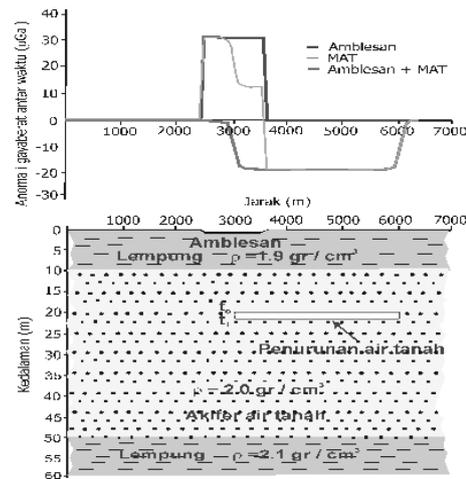
Hasil pemodelan dengan menggunakan model bumi tiga lapis memanjang ke arah horisontal dengan sifat – sifat fisik sebagai berikut :

- Lapisan 1 berupa lempung memiliki ketebalan 10 m dan  $\rho=1,9 \text{ gr/cm}^3$
- Lapisan 2 berupa pasir dengan  $\rho=2,0 \text{ gr/cm}^3$ . Porositas akuifer adalah 30 %, perubahan rapat massa akibat penurunan muka air tanah  $\Delta\rho=-0,3 \text{ gr/cm}^3$
- Lapisan 3 berupa lempung dengan tebal 10 m dan  $\rho=2,1 \text{ gr/cm}^3$

Model di atas selanjutnya digunakan untuk beberapa kasus di utara kota Semarang dengan berbagai kemungkinan sumber anomali gaya berat mikro antar waktu yang berupa amblesan, penurunan muka air tanah, dan kenaikan muka air tanah. Berikut dijelaskan pemodelan yang telah dibuat.

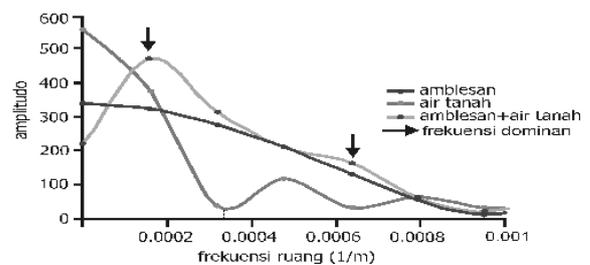
**Pertama**, Respon anomali gaya berat mikro antar waktu akibat amblesan dan penurunan muka air tanah dengan dimensi amblesan lebih kecil dibandingkan penurunan muka air tanah

Diasumsikan amblesan terjadi pada koordinat 2500 – 3500 m yang besarnya adalah pada  $t_0= 0$  dan  $t_1 = 10$  cm. Untuk penurunan muka air tanah terjadi pada koordinat 3000 – 6000 m (Gambar 2) besarnya 1,5 m dengan kedudukan muka air tanah pada  $t_0= 20$  m dan  $t_1 = 21,5$  m. Respon maksimum anomali gayaberat akibat amblesan dan penurunan muka air tanah 30,706  $\mu\text{Gal}$ .

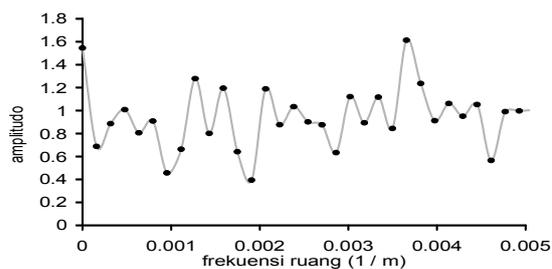


**Gambar 2.** Model amblesan dan penurunan muka air tanah dengan ujung akuifer berada di tengah amblesan

Spektrum untuk model pada Gambar 2 menghasilkan *nyquist frequency* ( $f_n$ ) = 0,005  $\text{m}^{-1}$ . Nilai amplitudo maksimum anomali gayaberat akibat amblesan 339,64 lebih kecil dibandingkan nilai amplitudo maksimum anomali gayaberat akibat penurunan muka air tanah 559. Spektrum gabungan (Gambar 3a) memiliki 2 nilai frekuensi dominan anomali gayaberat akibat amblesan dan penurunan muka air tanah. Untuk memisahkan kedua anomali tersebut dengan menggunakan filter (Gambar 3b) dan keluarannya berupa anomali gayaberat akibat amblesan yang sama dengan masukan sebesar 30,876  $\mu\text{Gal}$ .



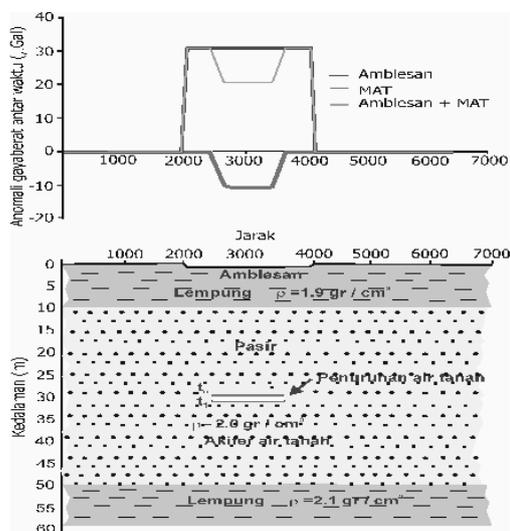
**Gambar 3a.** Spektrum gabungan kedua anomali untuk kasus pertama



**Gambar 3b.** Filter untuk mereduksi anomali gayaberat akibat penurunan muka air tanah pada kasus pertama

**Kedua,** Respon anomali gaya berat akibat amblesan dan penurunan muka air tanah dengan dimensi amblesan lebih besar dibandingkan penurunan muka air tanah

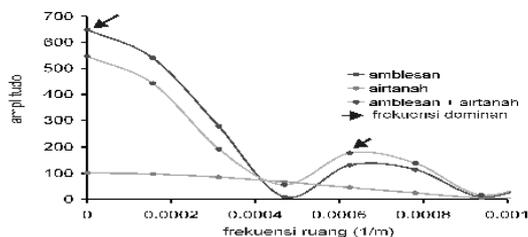
Diasumsikan amblesan terjadi pada koordinat 2000 – 4000 m yang besarnya adalah pada  $t_0=0$  dan  $t_1=10$  cm. Untuk penurunan muka air tanah terjadi pada koordinat 2500 – 3500 m a air tanah sebesar 1 m dengan kedudukan muka air tanah pada  $t_0=30$  m dan  $t_1=31$  m. Respon maksimum anomali gayaberat akibat amblesan dan penurunan muka air tanah sebesar 30,856  $\mu$ Gal (Gambar 4).



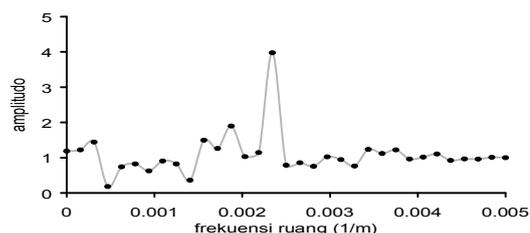
**Gambar 4.** Model amblesan dan penurunan muka air tanah dengan dimensi amblesan lebih besar dibandingkan dimensi penurunan muka air tanah

Spektrum untuk model pada Gambar 4 menghasilkan  $f\eta=0,005$   $m^{-1}$ . Nilai amplitudo maksimum anomali gayaberat akibat amblesan 648,396 lebih besar dibandingkan nilai amplitudo maksimum anomali gayaberat akibat penurunan muka air tanah 102. Spektrum gabungan (Gambar 5a) memiliki 2 nilai frekuensi dominan anomali gayaberat akibat amblesan dan penurunan muka air tanah. Untuk memisahkan kedua anomali tersebut dengan

menggunakan filter (Gambar 5b) dan keluarannya berupa anomali gayaberat akibat amblesan yang sama dengan masukan sebesar 30,876  $\mu$ Gal.



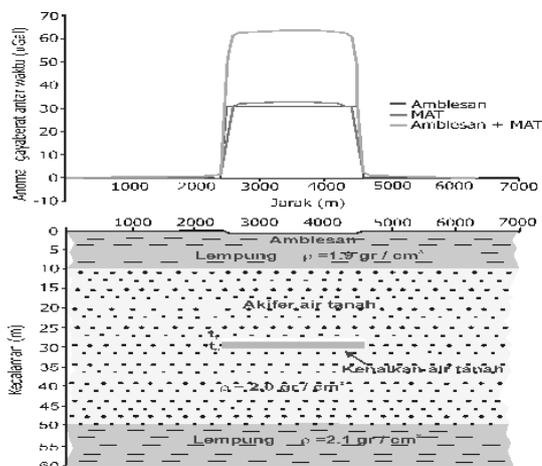
**Gambar 5a.** Spektrum gabungan kedua anomali untuk kasus kedua



**Gambar 5b.** Filter untuk mereduksi anomali gayaberat akibat penurunan muka air tanah pada kasus kedua

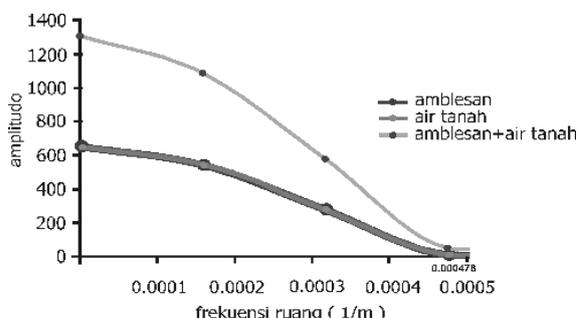
**Ketiga,** Respon anomali gaya berat akibat amblesan dan kenaikan muka air tanah dengan dimensi amblesan dan kenaikan muka air tanah sama besar

Diasumsikan amblesan terjadi pada koordinat 2500 – 4500 m yang besarnya pada  $t_0=0$  dan  $t_1=10$  cm, dan kenaikan diasumsikan terjadi pada koordinat 2500 – 4500 m sebesar 2,5 m dengan kedudukan muka air tanah pada  $t_0=30$  dan  $t_1=27,5$  m. Respon maksimum anomali gayaberat mikro antar waktu akibat amblesan dan kenaikan muka air tanah sebesar 63,546  $\mu$ Gal (Gambar 6).



**Gambar 6.** Model amblesan dan kenaikan muka air tanah dengan dimensi keduanya sama besar. Posisi amblesan dan kenaikan muka air tanah simetri

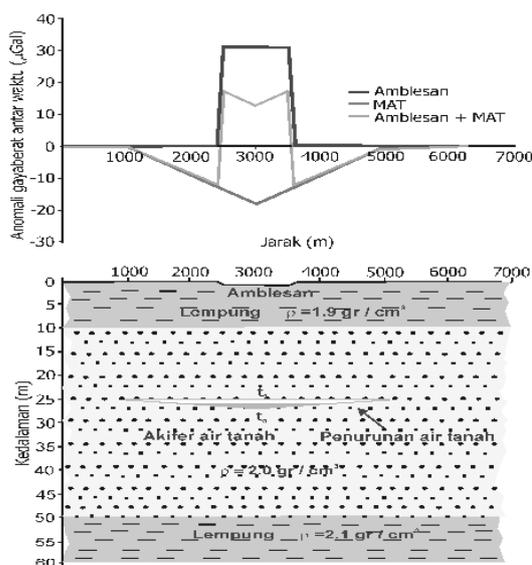
Spektrum untuk model pada Gambar 6 menghasilkan  $f\eta = 0,005 \text{ m}^{-1}$ . Nilai amplitudo maksimum anomali gayaberat akibat amblesan dan kenaikan muka air tanah yang hampir sama masing – masing sebesar 648,40 dan 657,79. Frekuensi gabungan (Gambar 7) memiliki 1 nilai frekuensi dominan anomali gayaberat. Pada kasus ini anomali gayaberat akibat amblesan dan kenaikan muka air tanah tidak dapat dipisahkan.



**Gambar 7.** Frekuensi gabungan kedua anomali untuk amblesan dan kenaikan muka air tanah dengan dimensi yang sama

**Keempat,** Respon anomali gayaberat akibat amblesan dan perubahan muka air tanah yang terjadi secara lokal

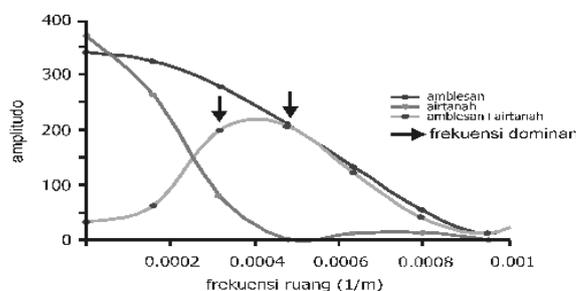
Pengambilan air tanah secara berlebihan menyebabkan terjadinya penurunan muka air tanah yang pada umumnya membentuk kerucut (*cone*) di sekitar sumur bor [11]. Perhitungan respon gayaberat mikro antar waktu akibat model penurunan dan kenaikan muka air tanah berbentuk kerucut (Gambar 8) dengan porositas dan perubahan rapat massa seperti model sebelumnya.



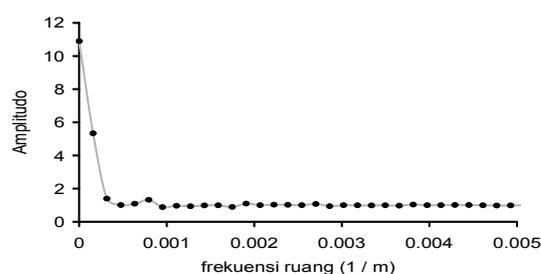
**Gambar 8.** Model amblesan dan penurunan muka air tanah yang berbentuk kerucut

Diasumsikan amblesan terjadi pada pada koordinat 2500 – 3500 m sebesar 10 cm (Gambar 8), penurunan muka air tanah diasumsikan terjadi pada koordinat 1000 – 5000 m sebesar 1,5 m dengan kedudukan muka air tanah pada  $t_0 = 25 \text{ m}$  dan  $t_1 = 26,5 \text{ m}$ . Respon maksimum anomali gayaberat akibat penurunan muka air, amblesan dan penurunan muka air tanah masing – masing sebesar  $-17,91 \mu\text{Gal}$  dan  $17,046 \mu\text{Gal}$ .

Spektrum untuk model pada Gambar 8 menghasilkan  $f\eta = 0,005 \text{ m}^{-1}$ . Nilai amplitudo maksimum anomali gayaberat akibat amblesan 339,64 lebih kecil dibandingkan nilai amplitudo maksimum anomali gayaberat akibat penurunan muka air tanah 370,81. Spektrum gabungan (Gambar 9a) memiliki 2 nilai frekuensi dominan anomali gayaberat akibat amblesan dan penurunan muka air tanah. Untuk memisahkan kedua anomali tersebut dengan menggunakan filter (Gambar 9b) dan keluarannya berupa anomali gayaberat akibat amblesan yang sama dengan masukan sebesar  $30,876 \mu\text{Gal}$ .



**Gambar 9a.** spektrum gabungan kedua anomali pada kasus keempat



**Gambar 9b.** Filter untuk menghilangkan anomali gayaberat akibat penurunan muka air tanah pada kasus keempat

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa frekuensi dan amplitudo dapat terlihat bahwa untuk memisahkan frekuensi anomali gayaberat akibat amblesan dan perubahan kedalaman muka air tanah pada data gayaberat mikro antar waktu diperlukan syarat dimensi kedua sumber anomali berbeda. Untuk kasus dimensi kedua sumber anomali sama, maka anomali gaya berat akibat amblesan dan perubahan kedalaman muka air tanah tidak dapat dipisahkan.

## Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami tujukan kepada M. Sarkowi (jurusan Fisika-UNILA) atas diskusi penyusunan model amblesan dan dinamika air tanah di kota Semarang, Wawan Gunanwan (Geofisika Terapan-ITB), dan Kusno Hadi (Geologi UNPAD) atas diskusi, saran terkait dengan FFT 1D untuk respon anomali gaya berat pada model.

## Daftar Acuan

- [1] Butler, K.D. Microgravimetric and Gravity Gradient Technique for Detection of Subsurface Cavities, *Geophysics*, 49 (1984), p. 1084 – 1096.
- [2] Chrzanowski, A., and Popiolek E. Analysis of Gravity Changes due to Mass Relocation and Ground Deformation in Mining Areas, Proceedings of The Scientific Sessions in Ustron and Balatongyorok – Hungary, Gliwicz, Poland (1997).
- [3] Saito, H., Honda, M., Tagomori, K., Haruguchi, K., dan Tsukamoto, S. Pressure Changes in Reinjection Wells and Gravity Changes in Otake Geothermal Field Japan, Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu – Tohoku, Japan (2000), p. 2827 – 2832.
- [4] Drewes, H., Torge, W., Roder, R.H., Badell, C., Bravo, D., Chourio, O. Absolute and Relative Gravimetric Surveys of National and Geodynamics Networks in Venezuela, *Journal of South America Earth Sciences*, 4 (1991), p. 273 - 286.
- [5] Galderen, V.M., Haagmans, R., dan Bilker, M. Gravity Changes and Natural Gas Extraction in Groningen, *Geophysical Prospecting*, 47 (1999), p. 979-993.
- [6] 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, 5<sup>th</sup> SEGJ International Symposium – Imaging Technology, Tokyo, Japan (2001).
- [7] Santoso, D., Kadir, W.G.A., Sarkowi, M., Ardiansyah, dan Waluyo. Time Lapse Microgravity Study for Rejection Water Monitoring of Talang Jimar field, Proceedings of the 7<sup>th</sup> SEGJ International Symposium, Sendai-Japan (2004), p. 497-502.
- [8] Blakely, R.J. Potential Theory in Gravity and Magnetic Application, Cambridge University Press, New York (1996). p. 337.
- [9] Marsudi. *Prediksi Laju Amblesan Tanah di Dataran Alluvial Semarang – Jawa Tengah*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung (2000).
- [10] Arifin, B.M., dan Wahyudin. *Penyelidikan Potensi Cekungan Air tanah Semarang dan Cekungan Air tanah Ungaran, Jawa Tengah*, Laporan Akhir Penelitian, Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan Bandung (2000).
- [11] Fetter. *Applied Hydrogeology*, Macmillan College Publishing Company (1994).