

## PENELITIAN INTRUSI AIR LAUT DI KAWASAN SEMARANG UTARA DENGAN METODE GAYA BERAT MIKRO ANTAR WAKTU

Supriyadi<sup>1</sup>, Khumaedi<sup>2</sup>, dan M. Yusuf<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Fisika, Universitas Negeri Semarang

<sup>3</sup> Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika, Jakarta

\* e-mail: [supriyadi@staff.unnes.ac.id](mailto:supriyadi@staff.unnes.ac.id); [pryfis@yahoo.com](mailto:pryfis@yahoo.com)

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian intrusi air laut dengan menggunakan metode Gaya berat mikro antar waktu di Semarang Utara. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh beberapa fenomena yang selama beberapa tahun terakhir ini terjadi di lokasi penelitian, yaitu amblesan, rob, banjir dan air sumur gali penduduk berasa asin yang disebabkan oleh intrusi air laut. Pengukuran gaya berat menggunakan gravimeter tipe Scintrex Autograv CG-5. Periode pengukuran gaya berat adalah Oktober di 120 titik yang tersebar merata di daerah penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai anomali gayaberat mikro antar waktu selang periode tersebut menunjukkan bahwa ada beberapa daerah yang mempunyai nilai anomali positif yang berkorelasi dengan kenaikan muka air tanah, anomali negatif berkorelasi dengan penurunan muka air tanah, dan nol tidak terjadi perubahan apapun. Selanjutnya untuk memperoleh gambaran tentang dinamika muka air tanah, maka digunakan data gradien vertikal gayaberatmikro antar waktu dan anomalnya menunjukkan hasil sebagai berikut anomali gradien vertikal gayaberat mikro antar waktu bernilai negatif berarti terjadi penurunan muka air tanah, dan sebaliknya jika positif terjadi kenaikan muka air tanah. Hasil interpretasi 3D gaya berat mikro antar waktu dengan menggunakan perangkat lunak Gravblok menunjukkan beberapa daerah seperti Widoharjo dan sekitarnya, perumahan Semarang sekitarnya, dan perumahan Tlogosari sekitarnya telah mengalami intrusi air laut.

**Kata kunci:** intrusi air laut, gaya berat mikro antar waktu

### PENDAHULUAN

Kota Semarang sebagai ibu kota propinsi Jawa Tengah telah tumbuh menjadi kota metropolitan dengan jumlah penduduk lebih dari 2 juta jiwa. Disamping itu telah berkembang pula menjadi kota industri, perdagangan, pelabuhan, pendidikan dan pariwisata. Saat ini kota Semarang merupakan salah satu kota yang menjadi pusat pertumbuhan utama, yang berfungsi sebagai terminal jasa dan distribusi dalam skala regional. Perkembangan kota Semarang tersebut akan mengakibatkan meningkatnya kebutuhan air bersih untuk berbagai keperluan. Tuntutan kebutuhan air bersih yang meningkat akan memacu aktivitas eksploitasi air bawah tanah. Fenomena ini menyebabkan dampak negatif terhadap kualitas maupun kuantitas air bawah tanah, antara lain

penurunan muka airtanah, fluktuasi yang semakin besar serta penurunan kualitas air bawah tanah, serta terjadinya intrusi air laut di beberapa wilayah kota Semarang.

Intrusi air laut yang terjadi di beberapa wilayah kota Semarang ini ternyata sudah meresap ke sumur gali yang dimanfaatkan oleh masyarakat untuk keperluan sehari – hari, seperti mencuci, mandi dan sebagainya. Sebagaimana penelitian yang telah dilakukan oleh Hendrayana (2002), diketahui bahwa daerah utara Semarang intrusi air laut semakin meningkat sejak beberapa tahun terakhir, terutama pada daerah pemukiman pusat perkotaan dan di beberapa wilayah industri di bagian utara, misalnya daerah sekitar Muara Kali Garang, Tanah Mas, Pengapon dan Simpang Lima. Data intrusi air laut tersebut berdasarkan hasil pemantauan dari beberapa sumur gali

penduduk yang tersebar, maupun dari kualitas sumur bor di beberapa tempat. Di daerah Semarang intrusi air laut ini diperkirakan sudah mencapai sejauh 2 km ke arah selatan garis pantai.

Fenomena intrusi air laut ini telah diteliti oleh beberapa peneliti dengan menggunakan berbagai pendekatan, yaitu pendekatan sosial, ekonomi, lingkungan dan penereparan teknologi untuk mengatasi intrusi air laut di Semarang. Beberapa peneliti diantaranya adalah Amri (2008) melakukan penelitian penyebab intrusi air laut akibat gelombang pasang. Suhartono et al (2012) melakukan penelitian intrusi air laut di kota Semarang dengan melakukan uji kualitas air sumur bor. Suhartanto et al (2011) melakukan investigasi penyebaran intrusi air laut di Bengkulu menggunakan metode Geolistrik.

Berdasarkan kajian penelitian yang selama ini telah dilakukan terlihat bahwa penelitian intrusi air laut pada umumnya menggunakan pendekatan hidrogeologi dan menggunakan metode Geolistrik. Fakta ini memberi peluang untuk menerapkan metode gayaberat mikro antar waktu. Selain ramah lingkungan, metode ini mempunyai kelebihan untuk mengetahui sebaran intrusi air laut secara vertikal maupun lateral. Data disajikan dalam bentuk perubahan densitas bawah permukaan yang merupakan inversi dari nilai gayaberat yang diperoleh dari pengukuran di lapangan.

**LANDASAN TEORI**

Gayaberat mikro antar waktu merupakan selisih nilai anomali Bouguer tiap titik pengukuran pada interval waktu tertentu. Sarkowi (2002) menyatakan gayaberat mikro antar waktu sebagai berikut:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = \Delta g(x, y, z, t_2) - \Delta g(x, y, z, t_1) \tag{1}$$

Jika elevasi stasiun berubah pada dua periode pengukuran tersebut, maka persamaan (2) dapat dituliskan menjadi :

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = (g_{obs(2)} - g_{obs(1)}) - (g_{(t2)} - g_{(t1)}) - (c_1 + c_2 \dots) (h_2 - h_1) + c_3 (\Delta h_2 - \Delta h_1) \tag{2}$$

dimana  $g(x,y,z, t)$  : anomali Gayaberat mikro antar waktu,  $\Delta g(x,y,z,t_1)$  : anomali Bouguer lengkap pengukuran periode pertama,  $\Delta g(x,y,z,t_2)$  : anomali Bouguer lengkap pengukuran periode kedua,  $g_{obs(1)}$  : gayaberat observasi pengukuran

pada  $t_1$ ,  $g_{obs(2)}$  : gayaberat observasi pengukuran

pada  $t_2$ ,  $g_{(t1)}$  : gayaberat teori pada lintang

untuk pengukuran  $t_1$ ,  $g_{(t2)}$  : gayaberat teori pada

lintang untuk pengukuran  $t_2$ ,  $h_1$  : elevasi titik amat pada pengukuran  $t_1$ ,  $h_2$  : elevasi titik amat pada pengukuran  $t_2$ ,  $h_1$  : beda elevasi titik amat dengan topografi sekeliling pengukuran  $t_1$ ,  $h_2$  : beda elevasi titik amat dengan topografi sekeliling pengukuran  $t_2$ .

Kadir et al (1999) menyatakan bahwa untuk benda 3 dimensi dengan distribusi rapat massa  $\dots = (r, s, x)$ , gayaberat mikro antar waktu di titik  $P(x,y,z)$  pada permukaan dinyatakan dengan persamaan (3) sebagai berikut:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta \dots(r, s, x, \Delta t)(z-x)}{[(x-r)^2 + (y-s)^2 + (z-x)^2]^{3/2}} dr ds dx \tag{3}$$

Berdasarkan pemodelan matematik dan simulasi data sintetik menunjukkan bahwa perubahan elevasi titik amat 50 cm menyebabkan perubahan koreksi medan sebesar 3  $\mu$ Gal atau 0.06  $\mu$ Gal untuk perubahan elevasi 1 cm (Sarkowi, 2007), sehingga perubahan koreksi medan akibat perubahan elevasi titik amat dapat diabaikan. Untuk  $c_3 \cong 0$  persamaan (3) dapat disederhanakan menjadi persamaan (4).

$$(g_{obs2} - g_{obs1}) = \left( G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta \dots(r, s, x, \Delta t)(z-x)}{[(x-r)^2 + (y-s)^2 + (z-x)^2]^{3/2}} dr ds dx \right) + (c_1 + c_2 \dots)(h_2 - h_1) \tag{4}$$

Persamaan (4) menunjukkan bahwa selisih nilai gayaberat hasil pengukuran  $(g_{obs2} - g_{obs1})$  disebabkan oleh perubahan rapat massa bawah permukaan yang berhubungan dengan perubahan kedalaman muka air tanah, intrusi air laut dan perubahan elevasi titik amat (amblesan).

**METODE PENELITIAN**

Pada penelitian ini, untuk keperluan penelitian intrusi air laut dikembangkan teknik pengukuran yang dikenal sebagai gradien vertikal gaya berat mikro antar waktu. Ilustrasi teknik pengukuran ini adalah melakukan pengukuran gayaberat di titik yang sama dengan menempatkan gravimeter di permukaan tanah dan pada ketinggian 50 cm (Gambar 1). Gradien vertikal gayaberat dapat dihitung dengan persamaan (5) berikut.

$$\frac{\partial g(x, y, z)}{\partial z} = \left( \frac{g_{(h=0)} - g_{(h=1)}}{h_{(0)} - h_{(1)}} \right) \text{ mGal/m} \quad (5)$$

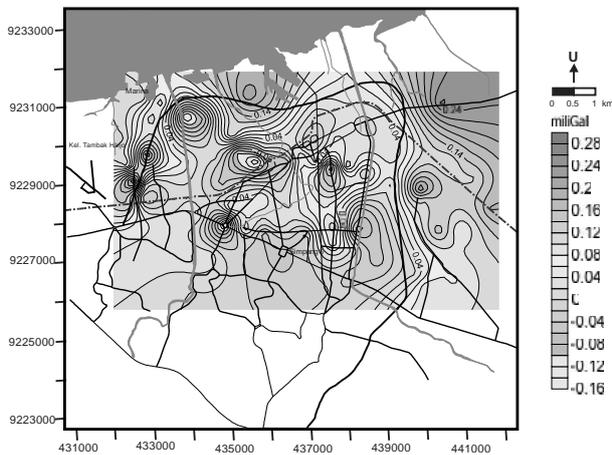
Pengukuran ulang dilakukan di titik yang sama pada bulan Mei dan Oktober pada tahun 2012.



Gambar 1. Ilustrasi teknik gradien vertikal gaya berat

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Peta kontur anomali gradien vertikal bulan Mei dan Oktober tahun 2012 seperti pada Gambar 2. Secara umum ada tiga kemungkinan, yaitu positif (+) berhubungan dengan kenaikan muka air tanah, negatif (-) berhubungan dengan penurunan muka air tanah dan nol mengindikasikan tidak terjadi perubahan.

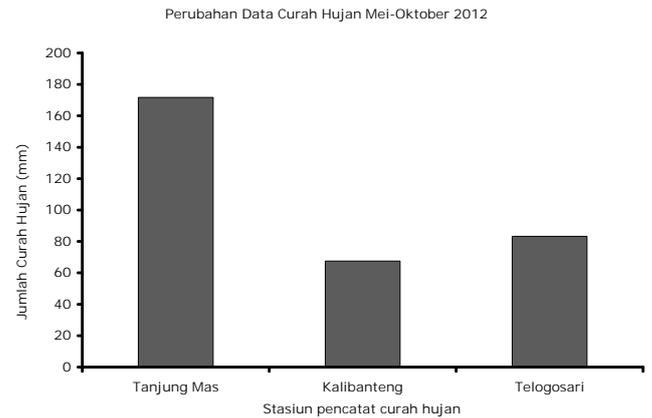


Gambar 2. Anomali gradien vertikal gayaberat mikro antar waktu periode Mei-Oktober 2012

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa nilai (+) terjadi di beberapa tempat, misalnya di perumahan Tlogosari, di kawasan utara kota Semarang sekitar pelabuhan Tanjung Mas. Harga (+) ini diperkirakan disebabkan oleh kenaikan muka air tanah akibat curah hujan. Data curah hujan selama tahun 2012 seperti pada Gambar 3. Curah hujan bulan Mei lebih besar dibandingkan

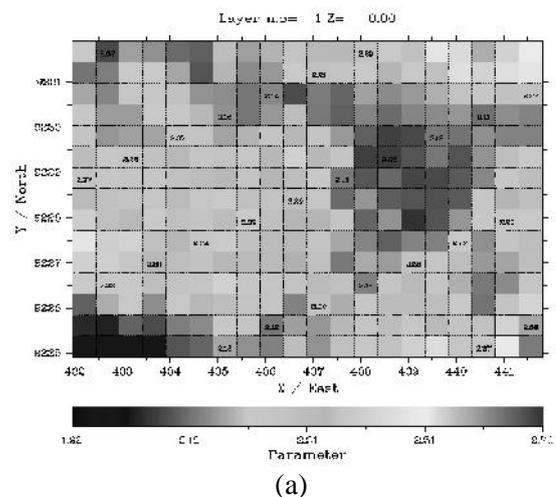
bulan Oktober. Hal ini bersesuaian dengan bulan Mei (musim penghujan) dan sebaliknya bulan Oktober (musim kemarau).

Intrusi air laut yang memberi kontribusi pada anomali gradien berat diperkirakan berasal dari beberapa sungai yang berada di kawasan perumahan Tlogasari dan kawasan utara kota Semarang yang langsung berbatasan dengan laut Jawa.

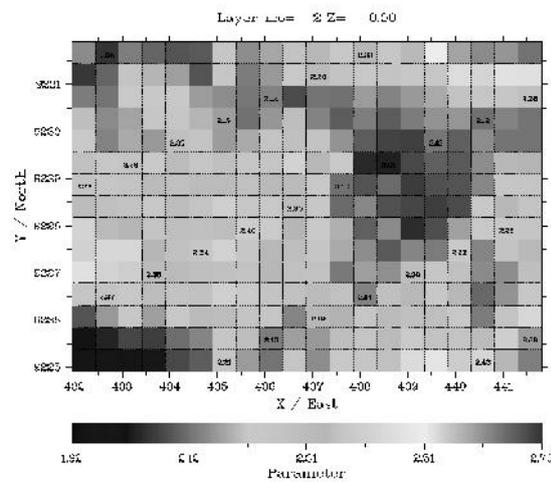


Gambar 3. Data perubahan curah hujan periode Mei-Oktober 2012 dari 3 stasiun yang berada di Semarang bawah

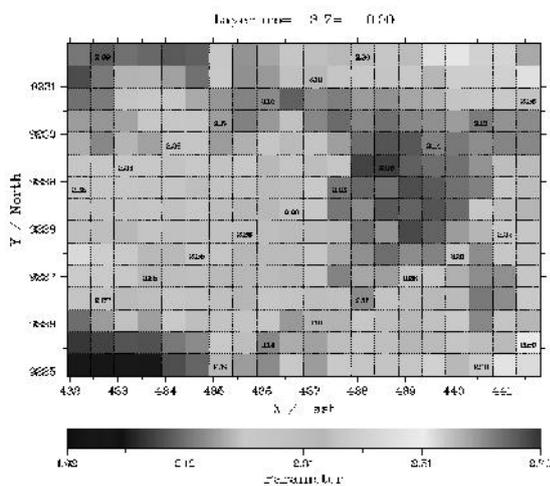
Analisis 3D data gayaberat mikro antar waktu pada periode pengukuran yang sama di atas dengan menggunakan perangkat lunak Gravblok seperti pada Gambar 4. Hasil analisis berupa harga densitas pada beberapa kedalaman di lokasi penelitian.



(a)



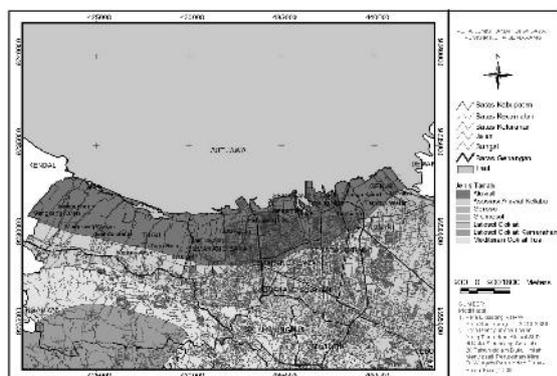
(b)



(c)

Gambar 4. Peta kontur densitas pada kedalaman 0-5 m (a), 6-10 m (b), 11-15 m (c)

Berdasarkan peta jenis tanah di wilayah kota Semarang (Gambar 5) diketahui bahwa daerah penelitian, lapisan tanahnya didominasi oleh lempung dengan densitas  $2,6 \text{ gr/cm}^3$ .



Gambar 5. Peta jenis tanah di wilayah kota Semarang

Pada Gambar 4 terlihat bahwa beberapa lokasi penelitian pada kedalaman sampai 15 meter ditemukan harga densitas melebihi harga  $2,6 \text{ gr/cm}^3$ , artinya bahwa pada kedalaman tertentu telah terjadi intrusi air laut yang menyebabkan nilai densitasnya membesar. Berikut ini dipaparkan daerah dan kedalaman yang mengalami intrusi air laut sebagai berikut: kedalaman 0-5 meter (Widoharjo dan sekitarnya), kedalaman 6-10 meter (Widoharjo dan sekitarnya, perumahan Tlogosari dan sekitarnya, dan kedalaman 11-15 meter (Widoharjo dan sekitarnya).

Hasil analisis berdasarkan anomali gradien gaya berat mikro antar waktu dan gaya berat mikro antar waktu saling memperkuat. Anomali gradien vertikal gaya berat mikro antar waktu menunjukkan kenaikan muka air tanah akibat curah hujan dan intrusi air laut. Hasil ini didukung dengan analisis 3D gaya berat mikro antar waktu yang menghasilkan data densitas akibat intrusi di tempat-tempat yang berkecenderungan sama, yaitu perumahan Tlogosari dan daerah Widoharjo sekitarnya

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada tahun 2012, maka dapat disimpulkan bahwa gradien anomali gayaberat mikro antar waktu selang periode tersebut menunjukkan bahwa ada beberapa daerah yang mempunyai nilai anomali positif yang berkorelasi dengan kenaikan muka air tanah, anomali negatif berkorelasi dengan penurunan muka air tanah dan nol tidak terjadi perubahan apapun. Selanjutnya berdasarkan pengolahan 3D gaya berat diketahui beberapa daerah mengalami intrusi air laut pada kedalaman tertentu. Daerah tersebut adalah Widoharjo dan sekitarnya, perumahan Semarang Indah dan sekitarnya dan perumahan Tlogosari dan sekitarnya.

Mengingat pada penelitian ini periode pengukuran relatif pendek, maka faktor amblesan diabaikan sehingga sumber anomali gayaberat mikro antar waktu adalah dinamika air tanah yang berupa kenaikan muka air tanah, penurunan muka air tanah atau intrusi air laut. Intrusi air laut terjadi pada musim kemarau (sesuai dengan data curah hujan pada tahun 2012 dan 2013 di kota Semarang). Jika imbunan air hujan sedikit atau tidak ada sama sekali, maka interface akan menjorok ke arah darat. Perubahan di dalam tanah

oleh imbuan atau perubahan luar aliran dalam daerah air tawar, menyebabkan perubahan *interface*.

Penurunan aliran air tawar yang masuk ke laut menyebabkan *interface* bergerak ke dalam tanah dan menghasilkan intrusi air asin ke dalam akuifer. Selain itu, akibat penggunaan air tanah yang berlebihan sementara imbuan air hujan terbatas menyebabkan *interface* menjadi naik ke atas sehingga air yang dikonsumsi menjadi asin akibat pengaruh air laut.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DP2M DIKTI yang telah mendanai kegiatan penelitian melalui HIBAH KOMPETENSI tahun anggaran 2012 dengan kontrak Nomor: 142/SP2H/PL/Dit.Litabmas/III/2012 Tanggal 7 Maret 2012

### PUSTAKA

- Amri K., Aplikasi model intrusi air laut akibat gelombang pasang (kasus sungai air Bengkulu), Prosiding seminar Sain dan Teknologi – II, 17-18 Nopember 2008, Universitas Lampung.
- Hendrayana, H., Intrusi Air Asin ke dalam Akuifer di Daratan, 2002, Website: <http://heruhendrayana.staff.ugm.ac.id/web/download/intrusi.pdf>., download 14 April 2008.

Kadir, W.G.A., Santoso, D., dan Sarkowi, M. (1999) : 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 7<sup>th</sup> SEGJ International Symposium, Sendai – Japan 24 – 26 November 2004, pp. 421-426.

Sarkowi, Gayaberat mikro Antar Waktu untuk Analisa Perubahan Kedalaman Muka Air Tanah (Studi Kasus Dataran Aluvial Semarang), Doktor, Disertasi, ITB,, 2002.

Suhartanto B., Pramana A., Wardoyo, Firman M., Sumarno, Investigasi penyebaran intrusi air laut di kota Bengkulu dengan metode Geolistrik tahanan jenis – studi kasus daerah kampung Cina Sumur Melele dan Berkas, Laporan penelitian, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu, 2011.

Suhartono E., Purwanto, Suripin, Model intrusi air laut terhadap tanah pada akuifer di kota Semarang, prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, 11 September 2012, hal. 30-35.