

Identifikasi Pergerakan Penurunan Permukaan Tanah (*Land Subsidence*) Dan Dinamika Air Tanah Di Daerah Kota Semarang Berdasarkan Metode Gayaberat 4D

Yanrizha Ihsan ^{*a}, Muh. Sarkowi ^b, Rizka ^c

^a Program Studi Teknik Geofisika, Jurusan Teknologi Pangan & Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

^b Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

^c Program Studi Teknik Geofisika, Jurusan Teknologi Pangan & Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

* Corresponding E-mail: yanrizha.12113004@student.itera.ac.id

Abstract: Semarang City is dominated by quarter-old alluvial deposits which can indicate a land subsidence. Land subsidence caused by compression of natural alluvial deposits, loading of buildings, soil extraction and addition of groundwater that is not balanced by the release of groundwater.

This research aims to identify of land subsidence related with geological structures, know about the determination of an anomaly 4D gravity caused by land subsidence and identify the dynamics of groundwater in an anomaly 4D gravity in Semarang City. This research is using 4D gravity method. The datas consist of two correction are tide correction and drift correction. Then, subsurface modeling uses by inversion modeling.

The result shows groundwater loss much in indicated subsidence zone area. Negative value of an anomaly 4D gravity response is -0,2 - -0,05 μGal . It shows a response from subsidence zone that has sedimentary rock lithology in that area. Based on dynamics of groundwater 3D inversion models show that fluid groundwater movement into indicated subsidence zone area. Fluid groundwater can escape through the cracks of the fracture fault zone which causes in groundwater loss.

Keywords: *land subsidence* , *4D gravity* , *dynamics of ground water* , *semarang*.

Abstrak: Kota Semarang didominasi oleh endapan alluvial berumur kuartar yang dapat mengindikasikan terjadinya penurunan permukaan tanah (*land subsidence*). Penyebab dari penurunan permukaan tanah diantaranya pemampatan endapan alluvial secara alami, pembebanan bangunan, pengambilan tanah dan penambahan air tanah yang tidak seimbang dengan pengurangan air tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penurunan permukaan tanah dengan struktur geologi, mengetahui hubungan penentuan anomali gayaberat 4D yang diakibatkan oleh penurunan permukaan tanah dan mengidentifikasi dinamika air tanah pada anomali gayaberat 4D di Kota Semarang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode gayaberat 4D. Pengolahan data gayaberat 4D dilakukan dengan cara analisis koreksi yaitu koreksi pasang surut dan koreksi apungan. Kemudian, untuk pemodelan bawah permukaan digunakan pemodelan inversi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa area yang terindikasikan zona *subsidence* mengalami pengurangan air tanah yang banyak. Respon dari nilai anomali gayaberat 4D yang negatif dengan nilai anomali sebesar -0,2 - -0,05 μGal . Hal ini menunjukkan bahwa pada area tersebut terdapat zona *subsidence* yang memiliki litologi berupa batuan sedimen. Pemodelan inversi 3D dinamika air tanah menunjukkan pergerakan fluida air tanah mengarah ke area yang terindikasikan zona *subsidence*. Fluida air tanah dapat meloloskan diri melalui celah-celah dari rekahan zona sesar yang menyebabkan terjadinya pengurangan air tanah.

Kata Kunci : *land subsidence*, *gayaberat 4D*, *dinamika air tanah*, *Semarang*.

Pendahuluan

Metode gayaberat merupakan metode dalam geofisika yang dilakukan untuk menyelidiki keadaan bawah permukaan

berdasarkan perbedaan rapat massa ($\rho = \text{gram}/\text{cm}^3$). Metode ini sering digunakan sebagai metode dalam penelitian untuk mempelajari struktur geologi (Pusdiono, Tedy Y et. al., 2002), studi panas bumi (Hendrian, 2018), dan analisis lereng purba (Prasetyo, Jefrian et. al., 2018).

Metode gayaberat juga dapat diaplikasikan dalam analisis penurunan permukaan tanah (*land subsidence*). Supriyadi (2015) melakukan analisis penurunan permukaan tanah pada Kota Semarang yang mengatakan bahwa penurunan permukaan tanah disebabkan oleh pengambilan air tanah yang tidak terkendali sehingga menimbulkan dampak krisis air tanah yang ditandai dengan menurunnya muka air tanah dan terjadinya penurunan permukaan tanah pada Kota Semarang. Namun untuk mengetahui area penurunan permukaan tanah tersebut dapat dilakukan penelitian menggunakan salah satu metode geofisika yaitu gayaberat 4D (Supriyadi, dkk., 2015).

Berdasarkan tinjauan penelitian yang telah dilakukan oleh Supriyadi, dkk. (2015), maka penulis akan melakukan penelitian mengenai identifikasi penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) dan dinamika air tanah dengan studi kasus berada di Kota Semarang menggunakan metode gayaberat 4D. Hasil yang akan diperoleh berupa area persebaran zona penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) yang terjadi pada Kota Semarang pada tahun 2002. Metode gayaberat 4D merupakan metode yang secara prinsip sama dengan metode gayaberat pada umumnya, tetapi metode ini merupakan pengembangan dari metode gayaberat dengan dimensi keempatnya adalah waktu (Kadir, 2000).

Penelitian gayaberat 4D dilakukan di Kota Semarang. Kota Semarang merupakan ibukota Provinsi Jawa Tengah, terletak di pantai utara Jawa Tengah dengan koordinat $109^{\circ}35' - 110^{\circ}50' BT$ dan $6^{\circ}50' - 7^{\circ}10' LS$. Kota ini mengalami pertumbuhan penduduk yang meningkat setiap tahunnya menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Semarang tahun 2000-2004. Hal ini menyebabkan Kota Semarang dapat dikatakan sebagai kota padat penduduk sehingga memungkinkan pemukiman penduduk yang berada di Kota Semarang meningkat. Peningkatan pemukiman penduduk tersebut dapat berpengaruh terhadap jumlah pengurangan air tanah di Kota Semarang setiap harinya yang berakibat terjadinya penurunan permukaan tanah (*land subsidence*).

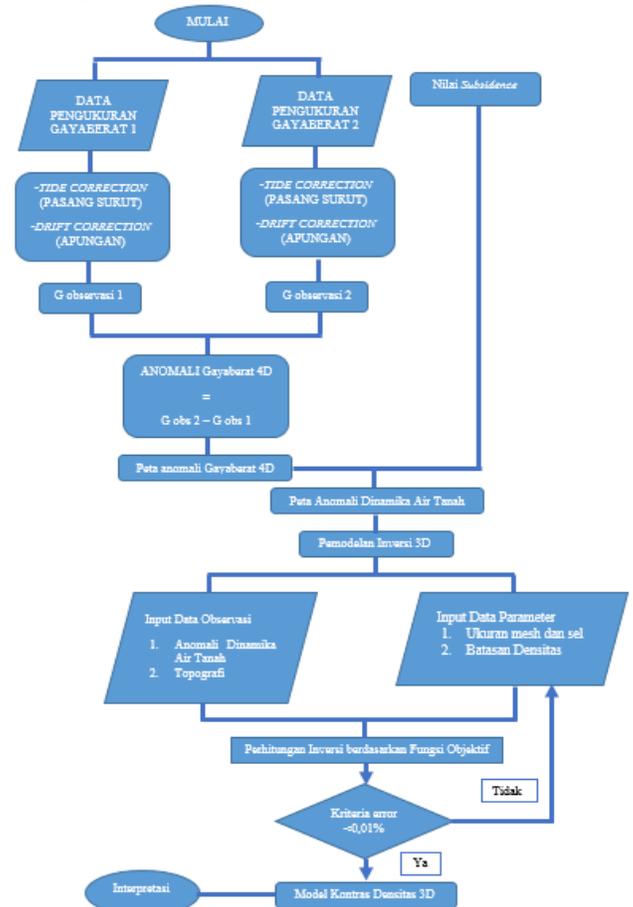
Daerah penelitian memiliki geologi regional penyusun Kota Semarang yang didominasi oleh endapan alluvial berumur Kuartar yang dapat mengindikasikan terjadinya penurunan permukaan tanah dikarenakan oleh pemampatan endapan aluvial secara alami, pembebanan bangunan, pengurangan tanah dan ekstraksi air tanah melebihi kemampuannya (Holtz, 1985). Kota Semarang memiliki struktur sesar yang secara umum terdiri dari sesar normal, sesar geser dan sesar naik. Sesar-sesar tersebut menjadi salah satu faktor penurunan permukaan tanah (Poedjoprajitno et.al, 2008).

Adapun tujuan yang ingin penulis lakukan agar permasalahan di atas dapat dipecahkan dengan melakukan penelitian gayaberat 4D. Hasil yang ingin diperoleh berupa identifikasi penurunan permukaan tanah, hubungan dari anomali gayaberat 4D yang diakibatkan oleh penurunan permukaan

tanah, dan identifikasi dinamika fluida bawah permukaan yang dapat menyebabkan terjadinya amblesan di Kota Semarang.

Metodologi

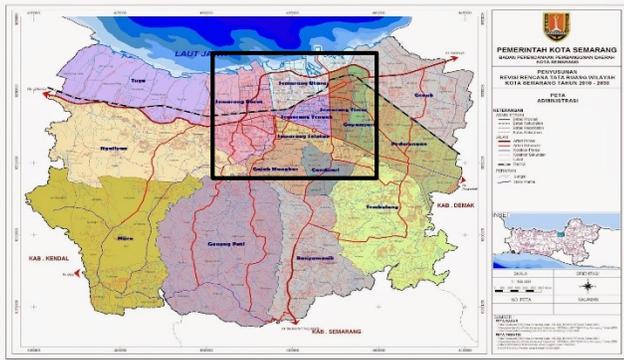
Dalam penelitian ini, data-data yang dibutuhkan berupa data *time section* gayaberat di wilayah Kota Semarang, Jawa Tengah. Secara umum metodologi penelitian ditunjukkan pada diagram alir berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

- Perangkat Lunak
- Pada penelitian ini digunakan beberapa perangkat lunak (*software*), yaitu:
1. Microsoft Excel, digunakan sebagai data perhitungan untuk mendapatkan nilai anomali.
 2. Surfer versi 11, digunakan untuk membuat dan menampilkan hasil peta serta memplot wilayah pengukuran pada peta anomali.
 3. Oasis Montaj versi 8.4, digunakan untuk melakukan pemodelan inversi.
- Waktu dan Lokasi Penelitian

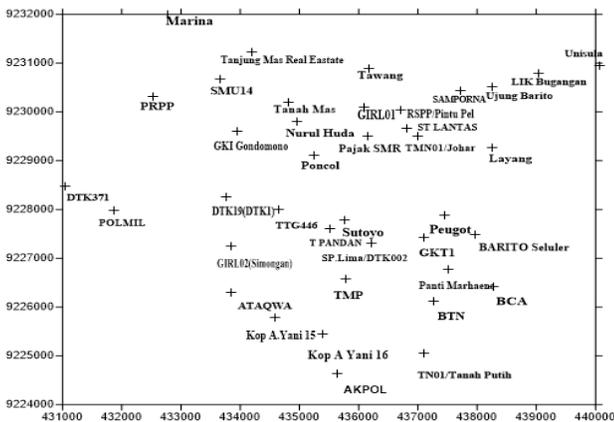
Penelitian gayaberat 4D dilakukan pada tahun 2002 tepatnya pada tanggal 15 - 18 Juli 2002 merupakan pengukuran 1 dan 27 September - 2 Oktober 2002 merupakan pengukuran 2. Lokasi penelitian secara administratif berada pada Kotamadya Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis terletak pada koordinat $6^{\circ}5' - 7^{\circ}10'LS$ dan $110^{\circ}35'BT$. Penelitian ini hanya mencakup sebagian wilayah Kota Semarang yang ditandai dengan kotak berwarna hitam pada gambar 2.



Gambar 2. Lokasi penelitian (sumber: Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Semarang 2010-2030)

• Data Gayaberat 4D

Pengukuran data gayaberat 4D dilakukan selama ± 3 bulan yang dilakukan pada tahun 2002 dengan 39 titik pengukuran yang dilakukan sebanyak dua kali waktu pengukuran yang berbeda (Gambar 3). Nilai yang didapatkan adalah nilai-nilai berupa koordinat tiap titik pengukuran, ketinggian tiap titik pengukuran, Alliod, G Observasi dan G Lokal.

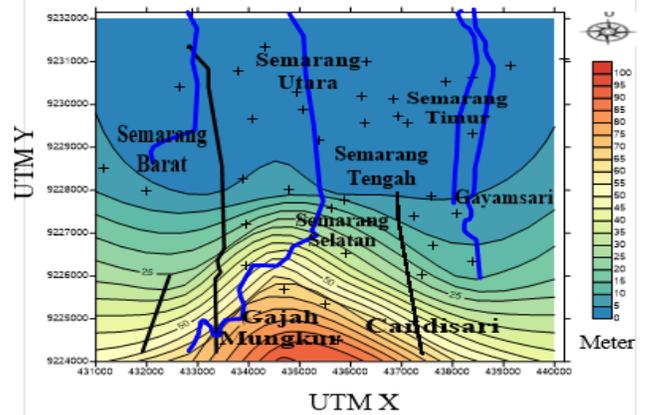


Gambar 3. Titik pengukuran penelitian gayaberat 4D

• Data Topografi

Pada peta topografi Gambar 4 dapat terlihat bahwa nilai ketinggian pada wilayah selatan peta lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah bagian utara. Morfologi Kota Semarang dibedakan menjadi tiga yaitu satuan dataran pantai (ketinggian 0 – 50 meter di atas permukaan laut), satuan perbukitan (50 – 500 meter di atas permukaan laut),

dan satuan kerucut gunungapi dengan puncaknya gunung Ungaran (2.050 meter di atas permukaan laut) (Marsudi, 2001).



Gambar 4. Topografi area penelitian

• Data Curah Hujan Kota Semarang

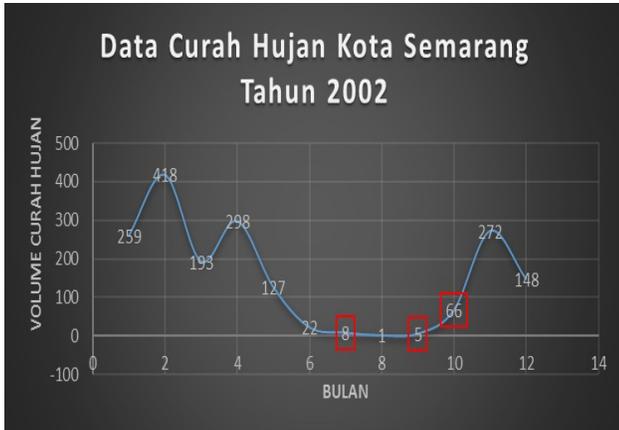
Semarang memiliki dua jenis iklim tropis berupa musim kemarau dan musim penghujan yang mana memiliki siklus pergantian tiap ± 6 bulan. Pengamatan curah hujan pada musim hujan dan musim kemarau dapat dilihat pada data curah hujan (Badan Pusat Statistik Kota Semarang tahun 2000-2004).

Tabel 1 Diagram Curah Hujan Kota Semarang tahun 2000-2004 (sumber: Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Semarang)

Bulan	Curah Hujan Kota Semarang (Mm)				
	2000	2001	2002	2003	2004
Januari	484	269	259	373	332
Februari	252	388	418	568	450
Maret	163	300	193	173	111
April	138	299	298	262	262
Mei	284	114	127	134	172
Juni	51	240	22	0	49
Juli	44	47	8	11	26
Agustus	80	1	1	1	1
September	147	184	5	106	83
Oktober	196	176	66	264	46
November	439	195	272	264	250
Desember	202	179	148	443	244

Penambahan muka air tanah juga sangat berpengaruh terhadap curah hujan yang terjadi di lokasi pengukuran. Penambahan muka air tanah tersebut dapat menimbulkan terjadinya penurunan muka tanah (*land subsidence*). Pada

tahun 2002 dapat diketahui nilai curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Februari dengan jumlah volume sebesar 418 Mm. Namun pada saat pengukuran akuisisi gayaberat 4D curah hujan mengalami penurunan dilihat pada kotak merah Gambar 5 yang dapat diindikasikan bahwa penambahan muka air tanah tertinggi terjadi pada saat bulan Februari tahun 2002.

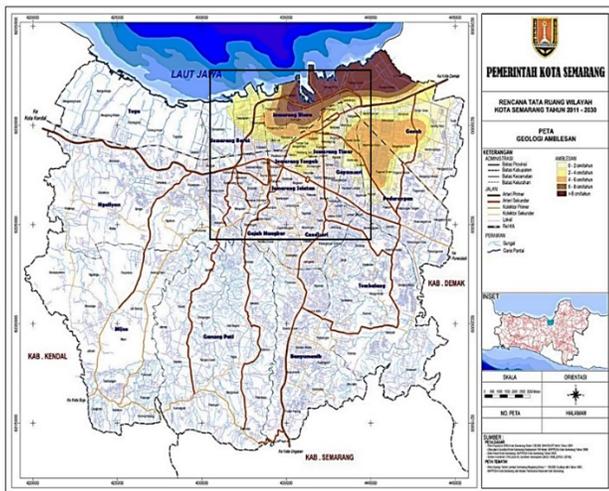


Gambar 5. Data curah hujan Kota Semarang tahun 2002 (Sumber: Badan Pusat Statistik Kota Semarang)

• Data Peta Laju Subsidence

Peta laju subsidence digunakan sebagai data tambahan untuk mendapatkan nilai dari anomali dinamika air tanah yang terjadi di lokasi penelitian. Dapat diketahui nilai laju subsidence tiap tahunnya pada setiap titik pengukuran yang diberikan tanda kotak berwarna hitam pada Gambar 6 Nilai subsidence didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Nilai subsidence} = \frac{\text{rentang waktu pengukuran 1 \& 2}}{\text{tahun}} \times \text{laju subsidence} \quad (1)$$

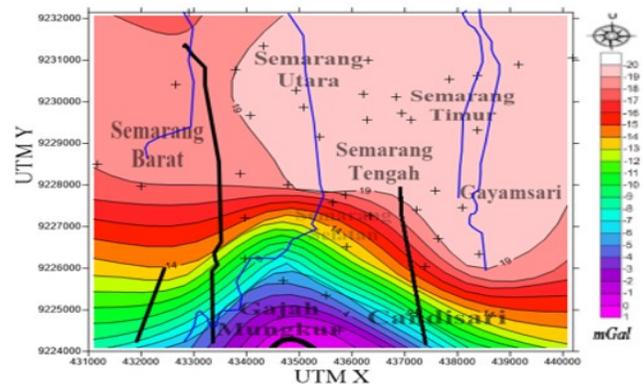


Gambar 6. Peta laju subsidence Kota Semarang (peta rencana tata ruang wilayah Kota Semarang tahun 2011-2030)

Hasil dan Analisis

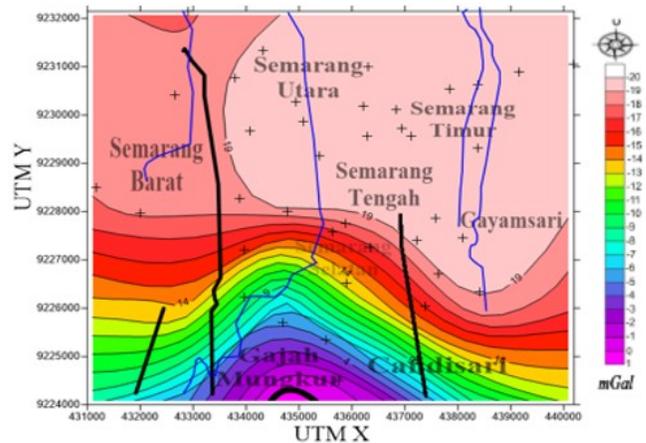
• Analisis Nilai Gayaberat Observasi

Nilai gayaberat observasi ditentukan melalui dua buah koreksi yaitu berupa koreksi apungan (*drift correction*) dan koreksi pasang surut (*tide correction*). Gambar 7 menunjukkan nilai peta anomali gayaberat pada saat periode pengukuran pertama bulan Juli 2002, dimana pada peta anomali ini terjadi respon anomali negatif di sebelah utara dan respon anomali positif di sebelah selatan pada peta.



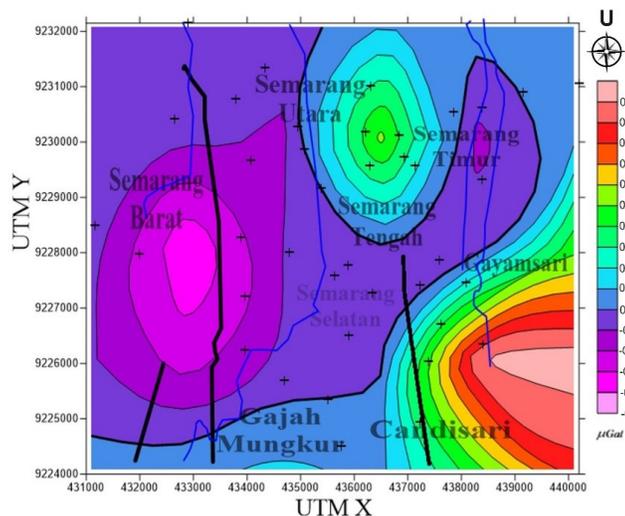
Gambar 7. Peta gayaberat pengukuran 1

Gambar 8 menunjukkan nilai peta anomali gayaberat pada saat periode pengukuran kedua bulan September - Oktober 2002. Berdasarkan Gambar 8 respon anomali yang terlihat sama dengan respon anomali pada saat pengukuran pertama. Respon anomali bernilai negatif didominasi oleh batuan sedimen berupa endapan alluvial dan sandstone. Anomali bernilai positif didominasi oleh batuan vulkanik berupa breksi vulkanik.



Gambar 8. Peta gayaberat pengukuran 2

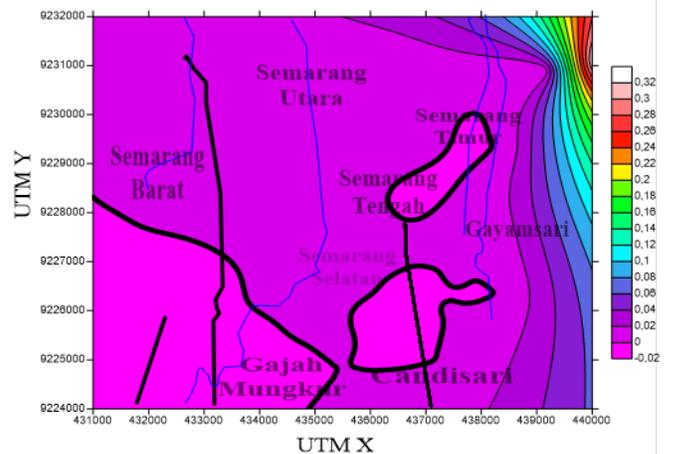
- Analisis Peta Anomali Gayaberat 4D Selisih Dari Nilai Gobs
 Nilai anomali gayaberat 4D merupakan perhitungan perubahan gravitasi tiap waktu (selisih pengukuran Gobs 2 dan Gobs 1) dengan menginterpretasikan keberadaan perubahan variasi densitas di bawah permukaan. Peta anomali gayaberat 4D yang ditunjukkan Gambar 9 mempunyai spasi kontur sebesar 0,05 mGal atau 50 μ Gal. Daerah Candisari hingga Gayamsari memiliki densitas sebesar 0,05 – 0,45 μ Gal tidak terjadi *discharge* air tanah yang signifikan dikarenakan memiliki litologi batuan breksi vulkanik. Daerah Semarang Barat mempunyai elevasi sebesar 5 hingga 15 meter dengan nilai densitas sebesar -0,2 - -0,05 μ Gal. Pada daerah tersebut terjadi penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) karena memiliki *discharge* air tanah tinggi yang disebabkan oleh litologi batuan pasir tufaan yang dapat meloloskan air melalui aliran sungai yang berada di sekitarnya. Daerah ini dilalui jalur sesar sehingga terjadi deformasi sesar dan beberapa faktor lain seperti berdirinya bangunan industri pabrik serta perumahan yang memerlukan pemakaian air tanah yang banyak. Daerah Semarang Timur terjadi *subsidence* dikarenakan memiliki nilai perubahan rapat massa bernilai negatif (Sarkowi, 2008). Daerah ini memiliki litologi berupa endapan alluvium sungai berupa batu lempung yang bersifat liat atau plastis dan memiliki ukuran butiran yang halus mampu meloloskan air tanah cukup banyak.



Gambar 9. Peta anomali gayaberat 4D yang diperoleh dari selisih Gobs 2 dan Gobs 1

- Analisis Peta Gayaberat 4D Akibat *Subsidence*
 Peta anomali gayaberat 4D akibat *subsidence* dapat dilihat pada Gambar 10. Peta ini didapatkan melalui perhitungan selisih pada nilai anomali DAT dengan anomali gayaberat 4D. Nilai pada peta dengan besaran rapat massa negatif sebesar -0,02 – 0 μ Gal menunjukkan adanya *subsidence* yang cukup tinggi. *Subsidence* terjadi karena litologi dari daerah sekitar

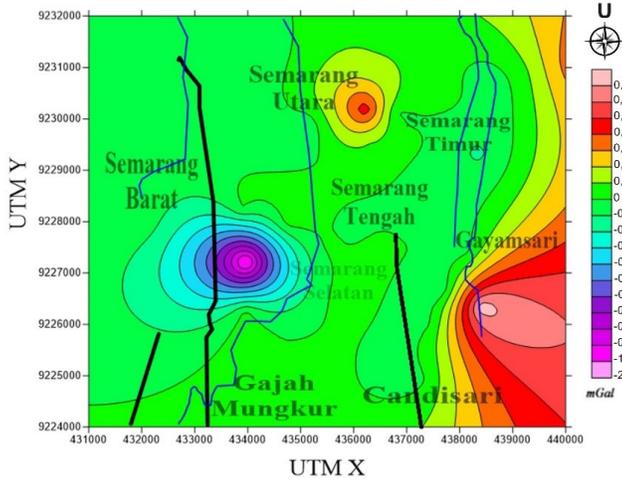
adalah batuan sedimen yang bersifat tidak *rigid* dan memiliki porositas batuan yang besar. Sehingga mudah mengalami penurunan permukaan tanah dan pengurangan air tanah yang banyak. Selain itu, beban dari gedung bertingkat di daerah tersebut juga menjadi faktor penurunan permukaan tanah dan pengurangan air tanah.



Gambar 10. Peta anomali gayaberat 4D akibat *subsidence*

- Analisis Peta Dinamika Air Tanah
 Peta dinamika air tanah (DAT) didapatkan dari perhitungan nilai anomali gayaberat 4D yang diselisihkan dengan nilai *subsidence* area pengukuran (perhitungan 1). Analisis anomali peta DAT yaitu terdiri dari keadaan terminologi air tanah di bawah permukaan, geologi bawah permukaan, dan penyebab dari penurunan permukaan tanah yang disebabkan oleh dinamika air tanah pada Gambar 11. Pada daerah Candisari hingga Gayamsari memiliki nilai perubahan rapat massa dengan nilai anomali positif sebesar 0,1 – 0,7 mGal. Daerah ini memiliki banyak jumlah air tanah di bawah permukaan dan tidak dapat menyebabkan penurunan permukaan tanah (*land subsidence*). Litologi berupa batuan breksi vulkanik dengan sifat rigiditas yang kuat. Pada daerah Semarang Timur menunjukkan perubahan rapat massa negatif sebesar -0,2 hingga -0,1 mGal. Daerah ini memiliki litologi bawah permukaan berupa endapan alluvium sungai yaitu batu lempung dan terjadi pengurangan air tanah penyebab terjadinya *subsidence*. Namun, pengurangan air tanah sedikit sehingga penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) yang terjadi pada titik pengukuran ini tidak mengalami penurunan yang signifikan. Adapun penyebab lain dari penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) yaitu beban-beban gedung perkotaan yang berada pada titik pengukuran tersebut. Tingkat pengurangan air tanah yang tinggi dan penurunan permukaan tanah yang signifikan terjadi pada anomali -1 hingga -0,4 mGal. Pada titik pengukuran ini memiliki litologi berupa batuan pasir tufaan dan terdapat jalur sesar serta aliran sungai yang membuat terjadinya area resapan air

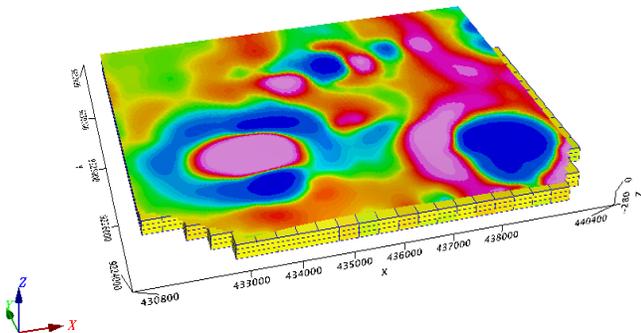
tanah yang tinggi di daerah pengukuran Semarang Barat.



Gambar 11. Peta dinamika air tanah

- Analisis Pemodelan Inversi 3D Dinamika Air Tanah (DAT) Pemodelan inversi dilakukan menggunakan *software* Oasis montaj 8.4. Data pemodelan inversi 3D yang digunakan adalah anomali dinamika air tanah (DAT). Anomali DAT dimodelkan pada sel *mesh* dengan geometri 23 x 19 x 3 dalam bentuk grid. Sistem koordinat yang digunakan adalah WGS 84 / UTM zona 49S.

Pemodelan 3D dapat digunakan untuk mengetahui nilai kedalaman daerah yang mengalami penambahan air tanah, pengurangan air tanah, dan terjadinya penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) pada area pengukuran. Pada Gambar 12 memperlihatkan nilai kedalaman sebesar 0 – 280 meter merupakan area penelitian yang akan dilakukan analisis peta DAT berdasarkan kedalaman.

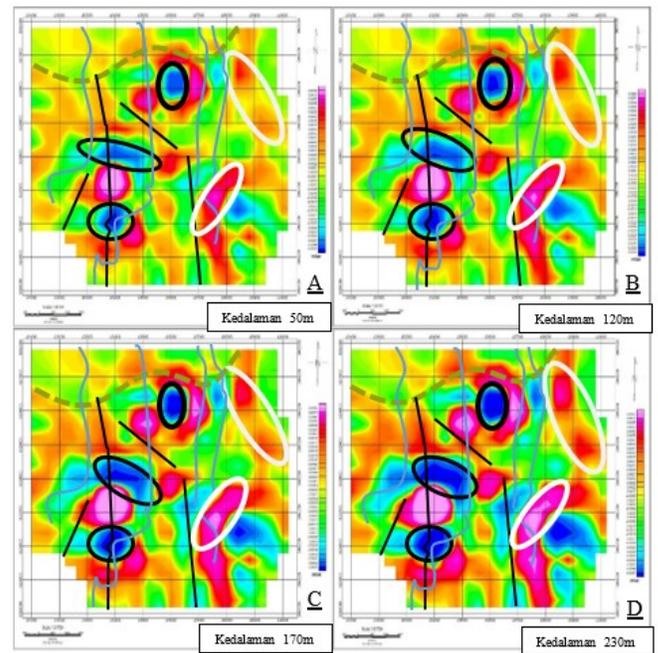


Gambar 12. Pemodelan inversi 3D Dinamika Air Tanah

Hasil dari observasi diambil 4 buah sampel kedalaman dari hasil pemodelan inversi 3D yaitu pada kedalaman 50 meter, 120 meter, 170 meter, dan 230 meter. Pada kedalaman tersebut dapat dilihat perubahan nilai densitas DAT yang terjadi pada bawah permukaan area penelitian.

Pada bagian lingkaran berwarna hitam dengan nilai perubahan rapat massa negatif sebesar $-0,00023$ hingga $-0,00097$ mGal mengalami penurunan permukaan tanah (*land subsidence*). Berdasarkan kajian hidrogeologi bagian lingkaran berwarna hitam mengalami pengurangan air tanah akibat pemakaian sumur gali. Sumur gali tersebut terjadi pada kedalaman 50 – 90 meter di bawah permukaan. Kemudian, pada lingkaran berwarna hitam tersebut memiliki nilai anomali positif yang berada diantara anomali negatif, dapat diindikasikan adanya jalur sesar. Jalur sesar menyebabkan air tanah banyak meloloskan fluida melalui celah-celah dari rekahan zona sesar tersebut. Daerah ini mempunyai litologi berupa batuan sedimen sehingga tanah menjadi tidak *rigid*. Faktor lainnya berupa bangunan-bangunan perkotaan yang menambah beban di atas permukaan area tersebut.

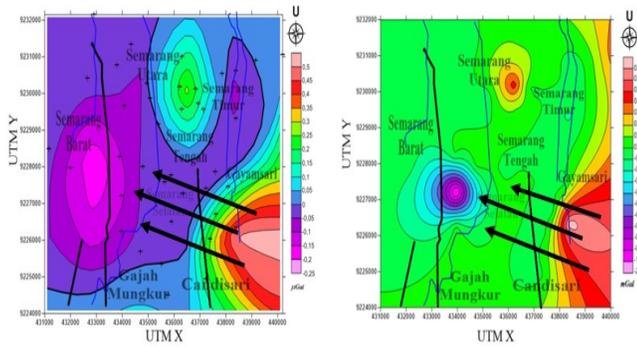
Lingkaran berwarna putih dengan nilai rapat massa positif sebesar $0,00017$ hingga $0,00103$ mGal tidak mengalami pengurangan air tanah yang banyak dan tidak dapat menyebabkan penurunan permukaan tanah (*land subsidence*). Hasil dari kedua analisis tersebut dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Peta DAT berdasarkan kedalaman (A. kedalaman 50 m, B. kedalaman 120 m, C. kedalaman 170 m, dan D. kedalaman 230 m)

- Analisis Arah Pergerakan Fluida

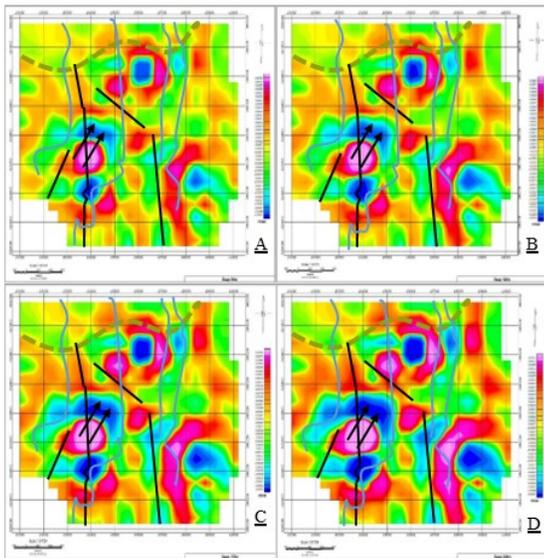
Analisis arah pergerakan fluida menggunakan peta anomali gayaberat 4D dan peta dinamika air tanah (Gambar 14). Pada Gambar 14 ditunjukkan arah pergerakan fluida dari anomali tinggi menuju anomali rendah.



A. Arah pergerakan fluida gayaberat 4D
 B. Arah Pergerakan fluida DAT

Gambar 14. Peta arah fluida gayaberat 4D (A) dan DAT (B)

Pada pemodelan inversi 3D DAT pergerakan fluida bergerak ke arah timur laut Kota Semarang yang mengarah langsung ke Laut Jawa. Dilihat dari perbedaan anomali tiap kedalaman terdapat kecenderungan perubahan ke arah timur laut dengan tanda panah pada pemodelan inversi 3D (Gambar 15).



Gambar 15. Arah fluida pemodelan inversi 3D DAT

Pada kedua peta terjadi pergerakan fluida yang disebabkan oleh lokasi penelitian terdapat jalur aliran sungai yang mengarah ke Laut Jawa. Daerah yang dilalui pergerakan fluida merupakan kawasan industri beserta permukiman penduduk menyebabkan terjadi pengurangan fluida yang mengalir hingga ke topografi yang lebih rendah.

- Analisis *land subsidence* dan dinamika air tanah di Kota Semarang

Berdasarkan metode gayaberat 4D, analisis *land subsidence* dan dinamika air tanah yang terjadi pada Kota Semarang dapat menyebabkan terjadinya *land subsidence*. Air tanah pada bawah permukaan yang mengalami *discharge* air tanah cukup besar, memiliki nilai densitas batuan yang rendah, porositas tinggi, dan terdapat area resapan air yang menyebabkan volume dari air tanah tersebut sedikit. Volume

air tanah yang mengalami penurunan muka air tanah menyebabkan kondisi dari permukaan tanah tersebut tidak memiliki ketahanan terhadap beban-beban yang berada di atas permukaan tanah sehingga berdampak terjadinya *land subsidence*.

Daerah pada lokasi penelitian yang mengalami *land subsidence* terdapat pada anomali bernilai negatif. Anomali bernilai negatif tersebut berada pada lokasi penelitian di daerah Semarang Timur dan Semarang Barat. Daerah ini mengalami *discharge* air tanah disebabkan oleh litologi batuan berupa sedimen pasir tufaan, batu lempung dan terdapat jalur sesar serta aliran sungai yang membuat terjadinya area resapan air tanah. Daerah Candisari hingga Gayamsari tidak mengalami *land subsidence* karena memiliki litologi batuan berupa breksi vulkanik. Permukaan tanah pada daerah ini memiliki ketahanan yang lebih kuat.

Berdasarkan arah pergerakan fluida pada lokasi penelitian, dapat dilihat fluida mengalir pada nilai anomali tinggi menuju anomali yang lebih rendah. Anomali tinggi berada pada daerah Selatan Kota Semarang, sehingga fluida bergerak dari daerah Candisari dan Gayamsari menuju Semarang Barat serta Semarang Tengah. Kemudian, aliran fluida tersebut dilanjutkan hingga menuju ke Semarang Timur. Pada daerah ini akan mengalami *discharge* air tanah yang akan menuju ke Laut Jawa. Kandungan fluida air tanah pada Semarang Timur yang sedikit akan menyebabkan daerah tersebut mengalami *land subsidence* karena kondisi bawah permukaan yang memiliki banyak ruang kosong menyebabkan kondisi permukaan tidak *rigid*.

Kesimpulan

1. Anomali gayaberat 4D yang diasumsikan terhadap penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) ditunjukkan pada perubahan rapat massa negatif $-0,2 - -0,05 \mu\text{Gal}$ menandakan bahwa daerah yang terjadi penurunan permukaan tanah memiliki litologi berupa batuan sedimen.
2. Berdasarkan peta anomali gayaberat 4D dan dinamika air tanah pergerakan fluida terjadi dari Selatan menuju ke arah Barat Laut. Hasil pemodelan inversi dinamika air tanah menunjukkan arah pergerakan fluida dari arah Timur Laut Kota Semarang menuju ke Laut Jawa. Zona yang memperlihatkan *subsidence* berada pada anomali sebesar $-0,2$ hingga $-0,1$ mGal.
3. Keberadaan struktur geologi berupa sesar dapat mempengaruhi terjadinya penurunan permukaan tanah karena aktifitas tektonik yang berada di bawah permukaan area penelitian, sehingga tanah tersebut menjadi tidak tahan terhadap guncangan yang diakibatkan aktifitas tektonik tersebut.

References

1. Badan Pusat Statistik (BPS). 2000 – 2004. *Curah Hujan Kota Semarang*. Semarang, Indonesia.
2. Blakely, R.J. 1995. *Potential in Gravity And Magnetic Application*. Cambridge University Press. USA.
3. Fransbudit, 2008. *Pemodelan 3D data gayaberat mikro time-lapse*. Program Studi Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
4. Hendrian, 2018. *Analisis Gayaberat Mikro Selang Waktu Dalam Mengidentifikasi Zona Pengurangan Fluida Di Lapangan Panas Bumi Ulubelu, Provinsi Lampung*. Program Studi Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sumatera, Lampung.
5. Holtz.,Konvacs, 1985. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice Hall New Jersey.
6. Kadir, WGA., 2000. *Eksplorasi Gaya Berat dan Magnetik*. Teknik Geofisika, FIKTM, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Jawa Barat.
7. Kadir, WGA et. al., 2005. *Identifikasi Amblesan Tanah di Kawasan Perumahan Puri Anjasmoro – PRPP Semarang Menggunakan Metode Gayaberat Mikro 4D*. Program Studi Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Jawa Barat.
8. Marsudi. 2001. *Prediksi Laju Amblesan Tanah Di Dataran Alluvial Semarang, Provinsi Jawa Tengah*. Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Jawa Barat.
9. Maulana, Iwan, 2012. *Analisis 4D Microgravity dan Gradien Vertikal 4D Mikrogravity (Studi Kasus Amblesan Semarang)*. Tesis, FMIPA, Program Pasca Sarjana Fisika Kekhususan Geofisika Reservoar, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia.
10. Poedjoprajitno, S., Wahyuiono, E., dan Citra, A., 2008. Reaktivasi Sesar Kali Garang, Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 3 No. 3 September 2008: 129-138, Bandung.
11. Prasetyo, Jefrian et. al., 2018. *Pola Deformasi dan Analisis Lereng Purba Pada Endapan Kompleks Aliran Massal : Formasi Sambipitu Bagian Bawah, Pegunungan Selatan*. Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke-11, Prespektif Ilmu Kebumihan Dalam Kajian Bencana Geologi Di Indonesia 5 – 6 September 2018, Graha Sabha Pramana. Jogjakarta, Indonesia.
12. Pusediono, Tedy Y et. al., 2002. *Prediksi Struktur Bawah Permukaan Gunung Guntur Berdasarkan Data Pengamatan Gayaberat*, Jurnal Surveying Dan Geodesi, Vol.XII, No.1, Januari 2002, Bandung.
13. Sarkowi. 2008. *Gradien Vertikal Gayaberat Mikro Antar Waktu dan Hubungannya Dengan Dinamika Air Tanah*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II, 49-56 (2008). Lampung: Universitas Lampung.
14. Supriyadi dan Pryambodo, Gunawan., 2015. *Zonasi Penurunan Muka Air Tanah Di Wilayah Pesisir Berdasarkan Teknik Geofisika Gayaberat Mikro 4D (Studi Kasus: Daerah Industri Kaligawe - Semarang)*. Jurusan Fisika, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
15. Telford, W.M., L.P. Geldart, R.E. Sheriff, and D.A. Keys, 1982. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge.