

Monitoring perubahan massa area lumpur LAPINDO dengan metode gayaberat antar waktu: Stusi kasus Porong Jawa Timur

Indah Asmoro Wulan dan Agus Setyawan

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail: indahasmorowulan@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Sidoarjo mud occurs because of the emergence of hot mud and mudflow. Microgravity method used to monitor the mud, indicate that height change and know subsurface structure. Microgravity analysis based on microgravity data used to find out the value of microgravity changes. The result of microgravity value change indicate that the positive value is the addition of subsurface mass and land subsidence while the negative value is the reduction of subsurface mass. Three dimensional modeling based on gravity data were performed to find out the subsurface structure in the study area. The complete Bouguer anomaly is separated using an upward continuation to obtain regional and residual anomalies. 3D modeling were performed on complete Bouguer anomalies. 3D modeling results indicate of sedimentary rocks, sand, gravel, clay and indicate.

Keywords: *land subsidence, mudflow, microgravity method, 3D modelling*

ABSTRAK

Lumpur Sidoarjo terjadi karena munculnya lumpur panas dan mudflow. Metode monitoring gayaberat mikro antar waktu dilakukan untuk mengindikasikan perubahan ketinggian dan mengindikasikan struktur bawah permukaan. Analisis berdasarkan data pemantauan gayaberat mikro antar waktu untuk mengetahui nilai perubahan gayaberat mikro antar waktu. Hasil perubahan nilai gayaberat bahwa nilai positif menunjukkan adanya penambahan massa bawah permukaan dan terjadi penurunan tanah sedangkan nilai negatif menunjukkan adanya pengurangan massa bawah permukaan. Pemodelan tiga dimensi berdasarkan data gaya berat dilakukan untuk mengetahui struktur bawah permukaan pada area penelitian. Anomali Bouguer lengkap dipisahkan menggunakan upward continuation sehingga didapat anomali regional dan residual. Pemodelan 3D dilakukan pada anomali Bouguer lengkap. Hasil pemodelan 3D menunjukkan bahwa terdapat empat lapisan batuan yaitu batuan sedimen, pasir, kerikil, tanah liat dan terdapat sesar di sebelah Barat Daya.

Kata kunci: *penurunan tanah, mudflow, metode gayaberat antar waktu, dan pemodelan 3D*

PENDAHULUAN

Awal terjadi lumpur lapindo pada bulan mei tahun 2006 hingga sampai saat ini. Lumpur lapindo merupakan fenomena alam yang masih menjadi perbincangan yang belum menemukan titik terang kapan akan berakhirnya bencana tersebut. Sampai saat ini asal mula penyebab dan pemicu semburan lumpur masih menjadi hal yang diperdebatkan oleh para ahli kebumihan. Penyebab semburan lumpur masih dalam perdebatan para

ahli yaitu pendapat pertama menyatakan karena fenomena alam berupa mud volcano yang keluar melalui zona patahan yang teraktifasi yang dapat disebabkan oleh gempa Jogjakarta yang mendahului 2 hari sebelum semburan. Pendapat yang kedua menyatakan bahwa kesalahan dalam pemboran. Walaupun terdapat perbedaan pandangan sampai pada kontroversi namun secara universal lumpur lapindo sidoarjo sebagai salah satu mud

volcano yang berjumlah ribuan diseluruh dunia [1].

Amblesan tanah yang terjadi dalam kurun waktu yang panjang akan memberikan dampak kerusakan infrastruktur yaitu patahya pipa air milik PDAM, rel kereta api bengkok diduga karena pergerakan tanah yang terjadi di bawah permukaan tanah, jalan tol porong mengalami kerusakan akibat adanya penurunan tanah hal ini ditandai dengan retaknya jalan, dan munculnya bual-bual yang terdapat di daerah selatan porong diduga karena retakan di bawahnya [2].

Metode gayaberat merupakan metode geofisika yang didasarkan pada pengukuran variasi medan gayaberat bumi. Variasi medan gayaberat di permukaan bumi dapat disebabkan oleh adanya variasi densitas batuan di bawah permukaan, jenis batuan dibawah permukaan, perbedaan jarak permukaan bumi ke pusat bumi, dan adanya perbedaan topografi di permukaan bumi. Pada tahun 1990 metode gayaberat telah dikembangkan untuk pemantauan yang dikenal sebagai metode gayaberat mikro antar waktu atau *timelapse microgravity*. Metode gayaberat antar waktu dapat diaplikasikan untuk *monitoring* perubahan ketinggian. Prinsip metode gayaberat mikro antar waktu sama seperti metode gaya berat, bedanya yaitu kalau metode gayaberat mikro antar waktu perubahan gayaberat secara berkala dan menggunakan waktu sebagai dimensi keempatnya [3].

Analisis perubahan gayaberat mikro antar waktu mengindikasikan perubahan ketinggian dari hasil data gaya berat. Pemodelan 3D merupakan metode yang dikembangkan untuk menyesuaikan kontras densitas dari sel prismatic yang membentuk model 3D untuk meminimalisir residual antara gravity dan respon model. Berdasarkan perubahan ketinggian maka dilakukan penelitian gayaberat mikro antar waktu dan pemodelan 3D struktur bawah permukaan berdasarkan data gaya berat pada porong Sidoarjo.

DASAR TEORI

Hukum Gayaberat Newton

Hukum gayaberat Newton yang menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua buah benda adalah sebanding dengan massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak kuadrat antara pusat massa kedua benda tersebut. Hukum gayaberat Newton dituliskan secara matematis pada Persamaan (1).

$$\vec{F}(r) = -G \frac{mM}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

dengan \vec{F} merupakan gaya tarik menarik, \hat{r} adalah satuan vektor yang mengarah dari massa M ke arah massa m , G adalah konstanta universal gayaberat ($6,67 \times 10^{-11} m^3 s^{-2} kg^{-1}$), m adalah massa benda 1 (kg), M adalah massa benda 2 (kg) dan r merupakan jarak antara m dan M (m) [4].

Metode Gayaberat Mikro Antar Waktu

Pada tahun 1990 metode gayaberat telah dikembangkan untuk pemantauan yang dikenal sebagai metode gayaberat mikro antar waktu atau *timelapse microgravity*. Metode gayaberat mikro antar waktu merupakan pengembangan dari metode gayaberat dengan dimensi keempatnya adalah waktu dengan demikian dapat mengamati adanya perubahan rapat massa dan geometri sumber bawah permukaan sebagai fungsi dari x , y , z dan t . Perubahan gayaberat mikro antar waktu didefinisikan sebagai selisih harga pembacaan gaya berat setiap stasiun pada waktu yang berbeda [5]. Perubahan gayaberat mikro antar waktu disebabkan oleh beberapa hal diantaranya dinamika fluida bawah permukaan, perbedaan musim, amblesan tanah maupun perubahan topografi dan bangunan di sekitar titik amat. Persamaan perubahan gayaberat mikro antar waktu pada Persamaan (2).

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = g(x, y, z, t_2) - g(x, y, z, t_1) \quad (2)$$

Pemodelan 3-D

Pemodelan 3-D dapat dilakukan menggunakan program *Grablox* dari Pirttijarvi [6]. Bentuk model geometri yang dibuat dapat disesuaikan dengan bentuk benda di alam, namun pembuatan pemodelan tiga dimensi pada *Grablox* membutuhkan proses perhitungan yang lama sesuai dengan jumlah blok yang didiskretisasi [7]. Program tersebut menggabungkan dua metode inversi, yaitu *Singular Value Decomposition* (SVD) dan inversi Occam. *Singular Value Decomposition* (SVD) merupakan pemfaktoran matriks dengan mengurai matriks *A* ke dalam dua matriks *U* dan *V* [8]. Pemfaktoran matriks dapat diketahui lewat Persamaan (3).

$$A = U S V^T \quad (3)$$

dengan *U* adalah matriks orthogonal sebelah kiri, *S* adalah matriks diagonal atau *singular value matrix*, dan *V* adalah matriks orthogonal sebelah kanan.

METODE PENELITIAN

Pengambilan data dilakukan di daerah Porong, Jawa Timur oleh Badan Meteorologi, klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kemayoran selama tiga periode yaitu bulan Mei, Juni, dan Oktober. Jenis data yang digunakan yaitu data sekunder berupa data gaya berat dari Badan Meteorologi, klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kemayoran sebanyak 67 titik.

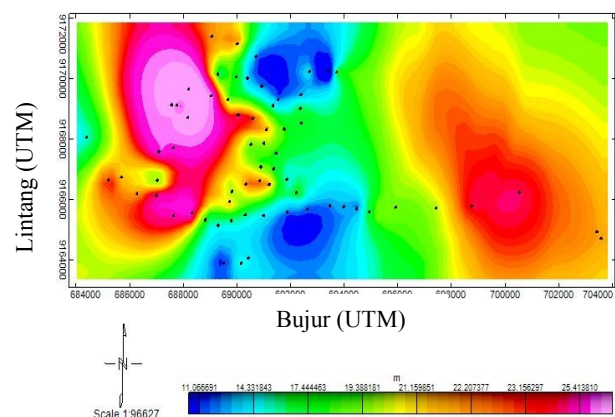
Pengolahan data dilakukan dengan koreksi pasang surut dan koreksi apungan didapatkan nilai medan gayaberat observasi. Nilai medan gayaberat observasi yang diperoleh ada tiga nilai yaitu nilai medan gayaberat observasi bulan mei 2014, nilai medan gayaberat observasi bulan juni 2014, dan nilai medan gayaberat observasi bulan oktober 2014. Kemudian dilakukan selisih antara ketiga nilai medan gayaberat observasi untuk mendapatkan nilai selisih gayaberat mikro antar waktu.

Setelah mendapatkan medan gayaberat observasi dilakukan dikoreksi lintang, udara bebas, *Bouguer*, dan medan sehingga didapat nilai Anomali *Bouguer* Lengkap (ABL). Anomali *Bouguer* Lengkap dipisahkan dengan menggunakan *upward continuation* sehingga didapat kontur anomali regional dan residual. Anomali *Bouguer* Lengkap juga digunakan untuk melakukan pemodelan 3D menggunakan *Grablox* dan *Bloxer*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Topografi Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Daerah sebelah utara adalah Kecamatan Tanggulangin, sebelah timur adalah Selat Madura, sebelah selatan adalah Kecamatan Jabon, lalu sebelah baratnya adalah kecamatan Porong. Pada topografi ini menggambarkan tinggi rendahnya bumi. Dari kontur topografi dapat mengetahui ketinggian suatu wilayah secara akurat. Topografi pada daerah penelitian berada pada dataran rendah yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Topografi daerah penelitian

Gambar 1 menunjukkan sebaran topografi daerah penelitian berdasarkan ketinggian. Daerah memiliki ketinggian antara 11 hingga 25,4 meter. Topografi rendah ditunjukkan dengan warna biru hingga hijau pada

ketinggian 11 hingga 14,3 meter yang berada di sebelah utara dan selatan daerah penelitian. Topografi tinggi ditunjukkan dengan warna jingga hingga merah muda pada ketinggian 22,2 hingga 25,4 meter yang berada di sebelah barat dan timur daerah penelitian dengan puncak berada di barat laut. Pada topografi tidak menunjukkan perbedaan pada bulan Mei, Juni, dan Oktober hal ini karena pengukuran hanya dilakukan sekali saja dengan jarak pengukuran yang berdekatan.

Perubahan Medan Gayaberat Observasi

Perubahan gayaberat mikro antar waktu adalah selisih antara dua atau lebih dari hasil pengukuran pada titik yang sama dengan selang waktu yang berbeda. Perubahan gayaberat observasi ini dilakukan untuk mengetahui sumber perubahan daerah penelitian seperti adanya perubahan ketinggian, pergerakan fluida, dan perubahan densitas di bawah permukaan [3].

Persamaan yang digunakan untuk menentukan perubahan gayaberat mikro antar waktu adalah persamaan 2.2 yang merupakan perubahan nilai gaya berat yang terukur suatu titik yang sama pada selang waktu pengukuran yang berbeda. Untuk menentukan sumber perubahan gayaberat mikro antar waktu maka digunakan hubungan antara perubahan gayaberat antar waktu dengan perubahan gradient vertikal antar waktu ditunjukkan pada Tabel 1 [4].

Perubahan nilai gayaberat mikro antar waktu dilakukan dengan tiga periode. Periode pertama, perubahan nilai gayaberat antar waktu Mei - Juni ditunjukkan pada Gambar 2. Periode kedua, perubahan nilai gayaberat mikro antar waktu Juni - Oktober ditunjukkan pada Gambar 3. Periode ketiga, perubahan nilai gayaberat mikro antar waktu Mei - Oktober ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 2 menunjukkan bahwa perubahan positif gayaberat mikro antar waktu terjadi di bagian Timur hingga Barat Daya daerah penelitian dengan kontur berwarna jingga hingga merah muda yang bernilai 0,01 μGal sampai 0,19

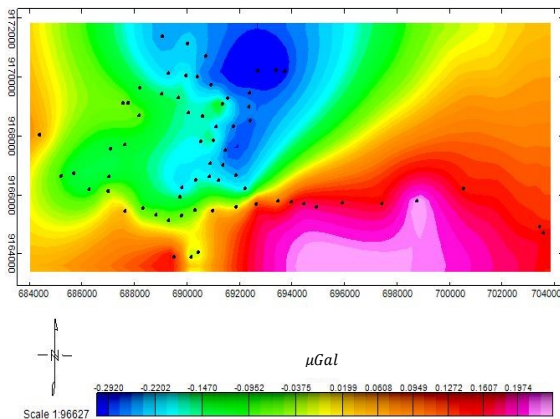
μGal dan perubahan negatif gayaberat mikro antar waktu terjadi di bagian Barat hingga Selatan daerah penelitian dengan kontur berwarna hijau hingga biru muda yang bernilai -0,09 μGal sampai -0,29 μGal .

Tabel 1 Hubungan antara nilai anomali gayaberat dengan gradient vertikal gayaberat antar waktu, dan sumber anomali [5].

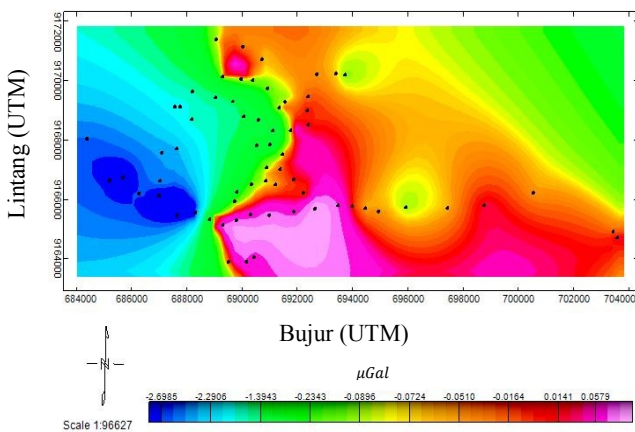
Gayaberat mikro antar waktu	Vertikal gradient gayaberat mikro antar	Sumber anomaly
+	+	Amblesan dan penambahan massa bawah permukaan atau penambahan massa saja
+	0	Amblesan saja
+	-	Pengurangan massa bawah permukaan atau amblesan (dominan)
-	-	Pengurangan massa bawah permukaan saja
0	-	Pengurangan massa bawah permukaan sama dengan amblesan

Perubahan negatif berada di daerah pusat semburan menandakan bahwa terjadi pengurangan massa bawah permukaan. Dengan seiring berjalannya waktu yang berkorelasi dengan banyaknya lumpur yang

keluar maka perubahan negatif akan menjadi luas dari sebelumnya, maka semakin luas daerah yang berpotensi terjadinya amblesan tanah. Hal ini didukung bahwa disekitar area luar terdampak lumpur mempunyai perubahan nilai positif gayaberat mikro antar waktu menandakan terjadi amblesan.



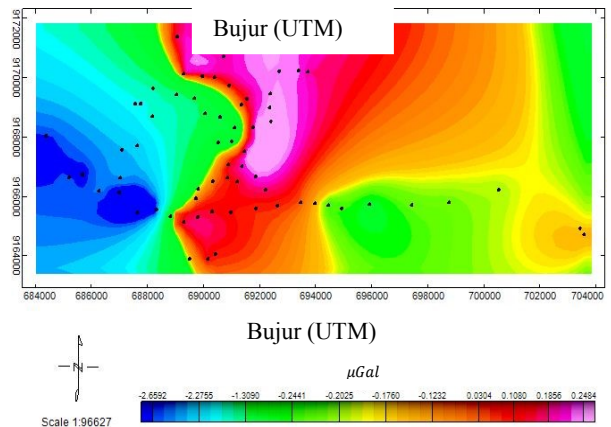
Gambar 2 Perubahan gayaberat mikro antar waktu Mei – Juni



Gambar 3 Perubahan gayaberat mikro antar waktu Juni – Oktober

Gambar 3 menunjukkan bahwa perubahan positif gayaberat mikro antar waktu terjadi di bagian Utara hingga Selatan daerah penelitian dengan kontur berwarna merah hingga merah muda yang bernilai $0,01 \mu Gal$ sampai $0,06 \mu Gal$ dan perubahan negatif gayaberat mikro antar waktu terjadi di bagian Barat daerah penelitian dengan kontur berwarna biru hingga jingga yang

bernilai $-2,6 \mu Gal$ sampai $-0,01 \mu Gal$. Pada daerah pusat keluarnya semburan dan di sekitar area luar terdampak lumpur dominan terlihat perubahan negatif menandakan bahwa daerah tersebut terjadi pengurangan massa bawah permukaan. Dengan seiring berjalannya waktu yang berkorelasi dengan banyaknya lumpur yang keluar maka perubahan negatif ini menjadi luas dari sebelumnya, maka semakin luas daerah yang berpotensi terjadinya amblesan tanah. Hal ini didukung bahwa disekitar daerah Selatan area luar terdampak lumpur mempunyai perubahan nilai positif gayaberat mikro antar waktu menandakan terjadi amblesan.

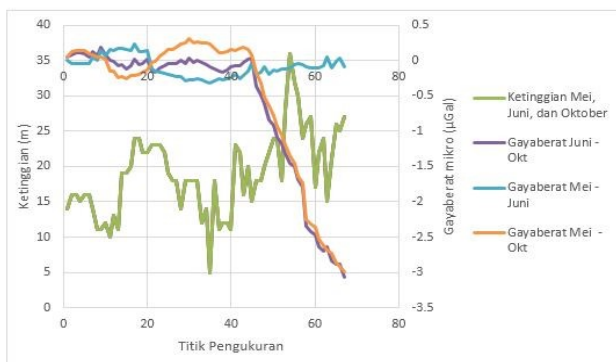


Gambar 4 Perubahan gayaberat mikro antar waktu Mei – Oktober

Gambar 4 menunjukkan perubahan positif gayaberat mikro antar waktu terjadi di bagian Utara daerah penelitian dengan kontur berwarna merah hingga merah muda yang bernilai $0,10 \mu Gal$ sampai $0,24 \mu Gal$ dan perubahan negatif gayaberat mikro antar waktu terjadi di bagian Barat hingga Timur daerah penelitian dengan kontur berwarna biru hingga jingga yang bernilai $-2,6 \mu Gal$ sampai $-0,12 \mu Gal$. Perubahan negatif dominan di daerah pusat semburan dan di sebelah Barat Daya pusat semburan menandakan bahwa terjadi pengurangan massa bawah permukaan. Dengan seiring berjalannya waktu yang berkorelasi dengan banyaknya lumpur yang

keluar maka perubahan negatif akan menjadi luas dari sebelumnya, berarti akan semakin luas daerah yang berpotensi terjadinya amblesan tanah. Hal ini didukung bahwa disekitar daerah utara area luar terdampak lumpur mempunyai perubahan nilai positif gayaberat mikro antar waktu menandakan amblesan.

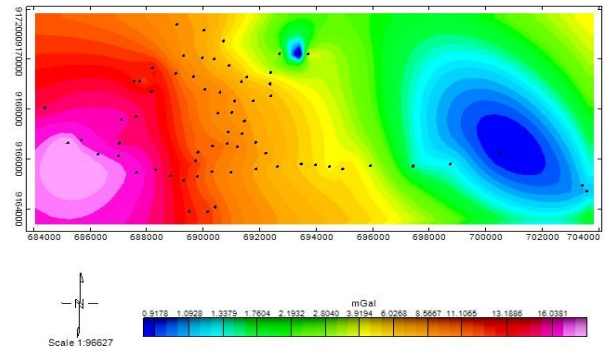
Pada nilai perubahan gayaberat mikro antar waktu pada periode Mei - Juni, Juni - Oktober, dan Mei - Oktober mengalami pengurangan massa bawah permukaan hal ini terlihat tidak adanya perubahan pada ketinggian dititik pengukuran, maka dibuat grafik korelasi antara ketinggian dengan gayaberat mikro antar waktu ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik korelasi antara ketinggian dengan gayaberat mikro antar waktu

Anomali Bouguer Lengkap

Setelah melakukan koreksi lanjutan berupa koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer dan koreksi medan pada nilai medan gayaberat observasi terhadap data mentah hasil pengukuran di lapangan, maka didapatkan nilai anomali Bouguer. Nilai anomali Bouguer didapat setelah menghilangkan efek massa yang terdapat pada lembah atau bukit. Berdasarkan peta anomali Bouguer bulan Mei terlihat bahwa nilai anomali pada daerah penelitian berkisar antara 0,9 mGal – 16 mGal seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Kontur anomali Bouguer lengkap bulan Mei

Gambar 6. menunjukkan rentang nilai anomali antara 0,91 mGal hingga 16,0 mGal. Anomali rendah yang ditunjukkan dengan warna biru pada rentang nilai 0,91 mGal hingga 2,80 mGal berada disebelah Timur daerah penelitian. Anomali tinggi ditunjukkan dengan warna jingga hingga merah muda pada rentang nilai 5,67 mGal hingga 16,0 mGal berada disebelah Barat daerah penelitian.

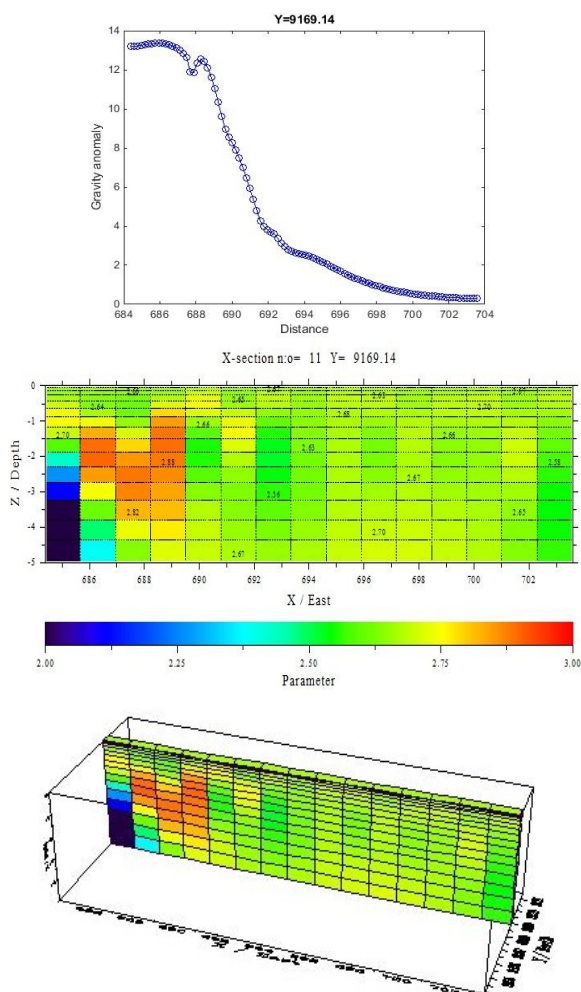
Nilai anomali Bouguer tinggi berada pada bagian Barat Daya daerah penelitian dapat diindikasikan bahwa densitas batuan tinggi sedangkan nilai anomali Bouguer rendah berada pada bagian Timur daerah penelitian dapat diindikasikan bahwa densitas batuan rendah.

Pemodelan 3-D

Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan membuat permodelan bawah permukaan menggunakan software Grablox dan Bloxer, dengan masukan berupa posisi dan profil nilai anomali Bouguer. Permodelan bawah permukaan dilakukan dengan menggunakan enam lintasan sayatan pada anomali Bouguer. Lintasan sayatan pemodelan melintang dari arah selatan ke utara dan barat ke timur dan dibuat tegak lurus dengan daerah sekitar area terdampak dengan dilewati titik pengukuran terbanyak. Hal ini dilakukan untuk melihat kemenerusan struktur patahan dan lapisan batuan yang ada pada daerah penelitian.

Sayatan pada peta anomali *Bouguer* untuk pemodelan struktur bawah permukaan ditunjukkan pada Gambar 7 dengan sayatan yaitu A-A'.

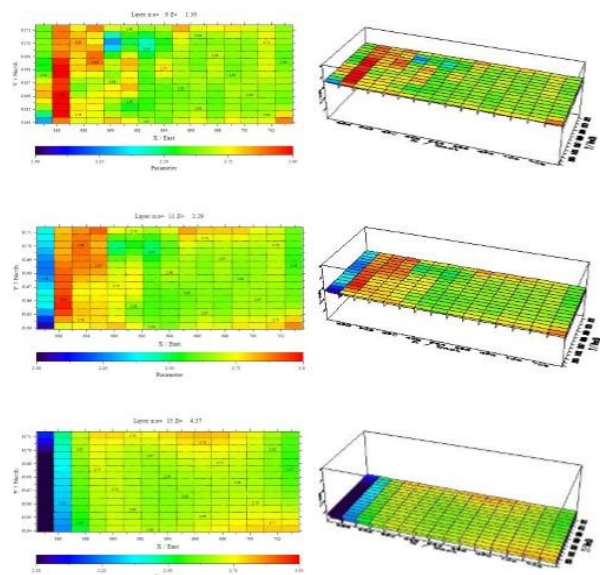
Pada model dari sayatan dengan kedalaman hingga 5 km diperoleh Gambar 8. Pada kedalaman 1,5, 2,3 dan 4,3 km batuan yang tersebar terdiri dari batuan sedimen dengan densitas 2,9 g/cm³, tanah liat dengan densitas 2,6 g/cm³, kerikil dengan densitas 2,4 g/cm³, dan pasir dengan densitas 2,0 g/cm³.



Gambar 7 Model 3-D struktur bawah permukaan sayatan A-A' daerah penelitian

Gambar 7 merupakan model 3-D dari sayatan A-A' pada Y = 9169140 daerah penelitian yang

menunjukkan empat batuan yang terdiri dari batuan sedimen dengan densitas 2,9 g/cm³, tanah liat dengan densitas 2,6 g/cm³, kerikil dengan densitas 2,4 g/cm³, dan pasir dengan densitas 2,0 g/cm³. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada sayatan A-A' menunjukkan bahwa ada sesar di sebelah Barat Daya daerah penelitian dari pusat semburan. Sesar terjadi akibat tidak kuatnya menahan massa lumpur yang begitu besar. Erupsi atau keluarnya lumpur secara terus menerus ke permukaan akan menyebabkan penimbunan lumpur dipermukaan. Seiring berjalannya waktu penimbunan akan mengalami proses kompaksi atau pengerasan batuan sehingga berubah menjadi material yang padat. Material yang padat menyebabkan densitas pada batuan menjadi tinggi. Sehingga batuan dibawah permukaan tidak kuat lagi menahan massa lumpur yang diatasnya, maka terjadilah amblesan tanah.



Gambar 8 Model 3-D dari sayatan dengan kedalaman hingga 5 km

Gambar 8 merupakan model 3D dari enam sayatan kedalaman hingga 5 km. Berdasarkan model 3D diketahui bahwa pada kedalaman 1,5 km sudah mulai terlihat sesar disebelah barat dan terdapat batuan densitas tinggi

disebabkan dari keluarnya lumpur secara terus menerus akan menyebabkan penimbunan lumpur dipermukaan. Seiring berjalannya waktu penimbunan akan mengalami proses kompaksi atau pengerasan batuan sehingga berubah menjadi material yang padat. Pada kedalaman 2,3 km masih terlihat sama seperti pada kedalaman 1,5 km akan tetapi sesarnya lebih terlihat jelas. Sesar atau patahan ini kemungkinan terjadi akibat adanya amblesan tanah yang disebabkan oleh massa lumpur yang begitu besar. Berbeda pada kedalaman 4,3 km batuan densitas tinggi sudah tidak muncul. Berarti pada kedalaman 4,3 km didominasi batuan yang ada pada daerah penelitian.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan gayaberat mikro antar waktu. Periode Mei – Juni mengalami perubahan $-0,29 \mu Gal$ sampai $0,19 \mu Gal$, periode Juni – Oktober mengalami perubahan $-2,69 \mu Gal$ sampai $0,05 \mu Gal$, periode Mei – Oktober mengalami perubahan $-2,6 \mu Gal$ sampai $0,24 \mu Gal$. Pada ketiga periode tidak terjadi amblesan tanah hanya mengalami pengurangan massa di bawah permukaan hal ini terlihat tidak adanya perubahan ketinggian dititik pengukuran. Struktur bawah permukaan daerah penelitian terdiri dari empat lapisan batuan yang terdiri dari batuan sedimen dengan densitas $2,9 \text{ g/cm}^3$, tanah liat dengan densitas $2,6 \text{ g/cm}^3$, kerikil dengan densitas $2,4 \text{ g/cm}^3$, dan pasir dengan densitas $2,0 \text{ g/cm}^3$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ilhami, A., 2009, *Pemodelan Gerakan Penurunan Tanah (land Subsidence) Area Lumpur Lapindo Sidoarjo Jawa Timur Menggunakan Data Mikrogravity*, Skripsi, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [2] Andreas, H., Abidin, H.Z., dan Kusuma, M.A., 2008, *Crack Signature Form Subsidence Effect Aroud Mud Vulcano Porong Sidoarjo*, Geodesy Research Division, Faculty of Earth Science and Technology, Institute Tecnology of Bandung.
- [3] Sarkowi, M, 2014, *Eksplorasi Gaya Berat*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [4] Newton, I., 1846, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, Daniel Adee, New York.
- [5] Kadir, W.G.A., 1999, *the 4-D Gravity Survey and Its Subsurface Dynamics: A Theoretical Approach*, Procceding of 24 HAGI Annual Meeting, Surabaya.
- [6] Pirttijarvi, M, 2008, *User's Guide to Version Grablox 1,6b:Gravity Interpretation and Modelling Software based on a 3-D Block Model*, Department of Physics Universitas of Oulu Finland.
- [7] Dzakiya, N., 2013, *Pemodelan Tiga Dimensi (3D) Bawah Permukaan Bumi Di Subcekungan Jambi Pada lapangan "Zuhro" Berdasarkan Analisis Data Anomali Gravitasi*, *Tesis Pascasarjana*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [8] Triani, 2015, *Pemodelan Tiga Dimensi (3D) Bawah Permukaan Sesar Lawanopo Di Provinsi Sulawesi Tenggara Berdasarkan Analisis Data Anomali Gravitasi*, *Tesis Pascasarjana*, Jurusan Fisika Universitas Indonesia, Depok Jawa Barat.