

# IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN BENDUNGAN SUTAMI DAN SEKITARNYA BERDASARKAN ANOMALI GAYABERAT

Elwin Purwanto<sup>1)</sup>, Sunaryo<sup>1)</sup>, Wasis<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Email: elwin.purwanto@gmail.com

## ABSTRAK

Penelitian geofisika menggunakan metode gayaberat telah dilakukan di Bendungan Sutami dan sekitarnya. Penelitian ini bertujuan mengetahui struktur bawah permukaan dengan melakukan pemodelan  $2\frac{1}{2}D$ . Berdasarkan penelitian di daerah dengan luas wilayah  $10 \times 10 \text{ km}^2$  dan interval 500 m menggunakan gravimeter *Lacoste-Romberg* tipe *G-1053*, diperoleh data titik ukur sebanyak 120 titik. Pengolahan data dilakukan hingga diperoleh anomali Bouguer. Pemisahan anomali regional dan lokal dilakukan menggunakan metode *upward continuation* dengan ketinggian pengangkatan 1900 m. Hasil pemodelan yang dilakukan menggunakan 2 lintasan menunjukkan adanya indikasi struktur yang diakibatkan oleh kelurusan dan merupakan batas formasi pada jarak sekitar sekitar 1,5 km dari bendungan. Densitas batuan penyusun lapisan bawah permukaan diperoleh dari kontras densitas pada pemodelan. Diindikasikan di daerah penelitian terdapat jenis batuan soil dan batuapung, tuf pasiran, batu pasir, batu gamping, dan lava dengan densitas  $1,92 - 2,9 \text{ g/cm}^3$ .

Kata Kunci: *Bendungan Sutami, anomali Bouguer, densitas*

## PENDAHULUAN

Bendungan Sutami merupakan Bendungan Nasional kedua yang dibangun oleh Departemen Pekerjaan Umum setelah Bendungan Jatiluhur di Purwakarta, Jawa Barat. Bendungan yang diresmikan Presiden Soeharto pada tahun 1972 ini terletak di Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang. Bendungan terbesar di propinsi Jawa Timur ini selain didesain mampu mengendalikan banjir juga dirancang sebagai sumber debit air bagi irigasi daerah hilir dan telah menjadi pembangkit listrik tenaga air.

Bendungan ini telah mengalami beberapa kali renovasi untuk menjaga ketahanan bendungan. Faktor yang sangat berpengaruh terhadap ketahanan Bendungan Sutami adalah faktor usia bendungan yang sudah cukup tua dan faktor cuaca. Berdasarkan hasil inspeksi Perusahaan Umum Jasa Tirta I bersama Balai Keamanan Jembatan, ditemukan adanya retakan di atas bendungan. Retakan ini terjadi sepanjang 70 meter dengan kedalaman satu meter. Banyaknya air hujan yang masuk ke pori-pori bangunan membuat lapisan atas bendungan mengalami keretakan.

Untuk mengetahui ketahanan bendungan Sutami diperlukan informasi jenis batuan yang menyusun lapisan batuan daerah tersebut. Salah satu ilmu yang dapat digunakan dalam kasus ini adalah ilmu geofisika. Pada penelitian ini digunakan metode gayaberat untuk mengukur nilai gayaberat di daerah penelitian.

Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang dapat menggambarkan bentuk atau geologi bawah permukaan berdasarkan variasi medan gravitasi bumi yang ditimbulkan oleh perbedaan densitas (rapat massa) antar batuan [3]. Pada prinsipnya metode ini digunakan karena kemampuannya membedakan densitas dari satu sumber anomali terhadap densitas lingkungan sekitarnya[4].

Metode ini didasarkan pada gaya tarik-menarik antara dua buah partikel sebanding dengan perkalian massa kedua partikel tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara

pusat keduanya [1]. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan Bendungan Sutami.

Gayaberat adalah gaya tarik menarik antara benda satu dengan benda yang lain karena keduanya memiliki massa. Besarnya nilai gayaberat antara kedua benda tersebut sebanding dengan massa benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya[2].

Data hasil pengukuran dari penelitian ini adalah data gravitasi observasi. Dalam hal ini terdapat dua faktor yang mempengaruhi nilai gravitasi, yaitu variasi temporal (terhadap waktu) dan variasi spasial (terhadap jarak). Dalam variasi temporal terdapat dua koreksi yaitu koreksi waktu dan koreksi alat (*drift*). Sedangkan dalam variasi spasial terdapat koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi terrain.

## METODE PENELITIAN

Penelitian gayaberat ini dilakukan di Bendungan Sutami dan Sekitarnya, Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang. Daerah penelitian ini meliputi daerah seluas 10 km x 10 km yang dibatasi oleh 8.09965° LS - 8.20230° LS dan 112.36717° BT- 112.46630° BT. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Gravimeter LaCoste-Romberg Model G-1053, GPS Garmin, peta geologi, penunjuk waktu, dan perangkat komputer.

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahap dari pelaksanaan survei gayaberat di lokasi penelitian, pengolahan data, dan analisa hasil pengolahan atau interpretasi. Dalam pengolahan data, digunakan *Microsoft Excel* untuk melakukan koreksi gayaberat terhadap data hingga diperoleh data anomali Bouguer. Data tersebut kemudian diplot dalam *Surfer 11* sehingga dapat diketahui distribusi nilai anomaly Bouguer pada daerah penelitian. Hasil plot ini digunakan dalam interpretasi kualitatif. Karena anomali Bouguer masih merupakan superposisi dari anomali regional dan

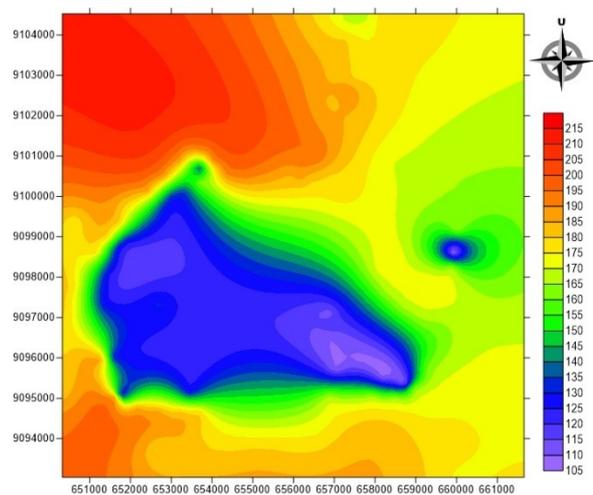
lokal, maka perlu dilakukan pemisahan sehingga diperoleh anomali lokal yang merupakan anomali dari benda terkubur yang dicari untuk menentukan struktur bawah permukaan di daerah penelitian. Untuk memisahkan anomali lokal dan regional, penulis menggunakan metode kontinuitas ke atas (*upward continuation*). Kontinuitas ke atas merupakan metode yang mentransformasi medan potensial yang diukur pada suatu permukaan sehingga medan potensial di lokasi pengukuran akan cenderung menonjolkan anomali yang disebabkan oleh sumber yang dalam (efek regional) dengan menghilangkan atau mengabaikan anomali yang disebabkan oleh sumber dangkal (efek lokal). Pada pengangkatan ke atas dengan ketinggian 1900 m diperoleh kontur anomali regional dan lokal daerah penelitian. Anomali lokal yang diperoleh dari pemisahan ini digunakan untuk melakukan pemodelan geologi. Pemodelan bawah permukaan pada penelitian ini dilakukan menggunakan

metode Talwani  $2\frac{1}{2}D$  yang

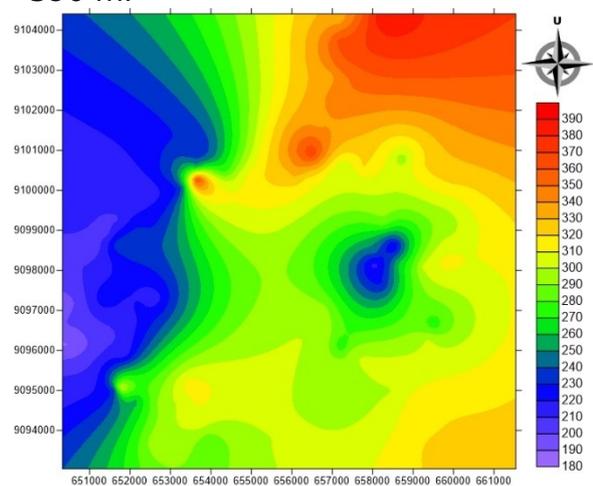
menerapkan metode langsung (*forward method*) dengan bantuan dari program *Grav2dc*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian gayaberas yang dilakukan di Bendungan Sutami dan sekitarnya, diperoleh anomali Bouguer seperti pada gambar 1. Peta kontur anomali Bouguer daerah penelitian pada gambar 1 di bawah menunjukkan bahwa nilai anomali Bouguer berkisar antara 105 mGal - 215 mGal. Anomali yang tinggi ditunjukkan oleh warna merah dengan nilai 185 mGal - 215 mGal. Anomali sedang ditunjukkan oleh warna hijau dengan nilai 145 mGal - 184 mGal. Sedangkan anomali rendah ditunjukkan oleh warna biru dengan nilai 105 mGal - 144 mGal.



Gambar 1. Peta kontur anomali Bouguer. Sedangkan pada peta kontur elevasi daerah penelitian (gambar 2) dapat dilihat bahwa ketinggian permukaan berkisar antara 180 - 390 m. Daerah yang rendah diperlihatkan pada kontur bagian barat dan beberapa titik di tengah (di sekitar jembatan Lahor) dengan warna biru dan nilai elevasi 180 - 250 m. Lalu daerah dengan elevasi sedang ditunjukkan berada di bagian tengah dengan warna hijau dan nilai 251 - 330 m. Sedangkan daerah tinggi ditunjukkan berada di sebelah timur laut dengan warna merah dan nilai 331 - 390 m.

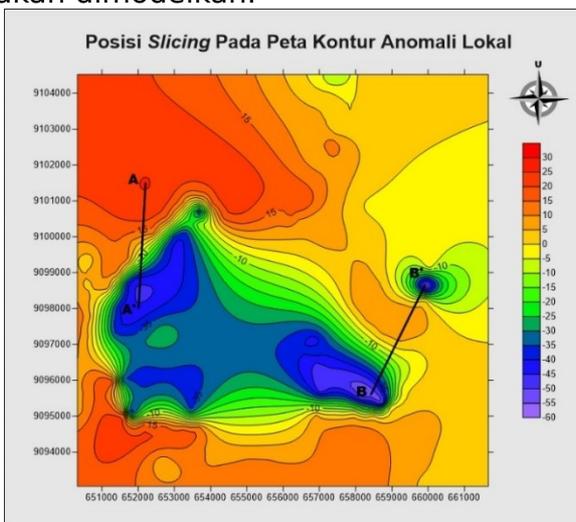


Gambar 2. Peta kontur elevasi. Berdasarkan kontur anomali Bouguer dan kontur elevasi di atas, maka dapat dilihat adanya suatu anomali tertentu yang ada di daerah penelitian. Anomali tersebut ditunjukkan oleh dua peristiwa. Peristiwa pertama ditunjukkan dengan nilai anomali Bouguer rendah pada daerah yang memiliki elevasi rendah. Pada daerah ini diindikasikan bahwa batuan yang memenuhi adalah batuan

dengan densitas yang rendah. Dimungkinkan pada daerah ini dulunya merupakan lembah atau jurang yang dipenuhi oleh batuan muda akibat terjadinya sedimentasi hingga tertutup. Sehingga batuan keras pada daerah ini berada pada lapisan yang cukup dalam. Sedangkan pada peristiwa kedua ditunjukkan oleh adanya anomali Bouguer tinggi pada daerah yang memiliki elevasi tinggi. Diindikasikan bahwa pada daerah tersebut dipenuhi oleh batuan keras dengan densitas yang tinggi. Dimungkinkan peristiwa ini terjadi karena dulunya daerah ini merupakan daerah perbukitan yang terkikis sehingga batuan muda yang ada di atasnya berpindah ke daerah yang lebih rendah. Dengan begitu, pada daerah ini mayoritas diisi oleh batuan keras.

Kondisi bawah permukaan daerah penelitian dapat diketahui berdasarkan anomali Bouguer yang diperoleh dengan melakukan pemodelan. Pemodelan ini dilakukan menggunakan

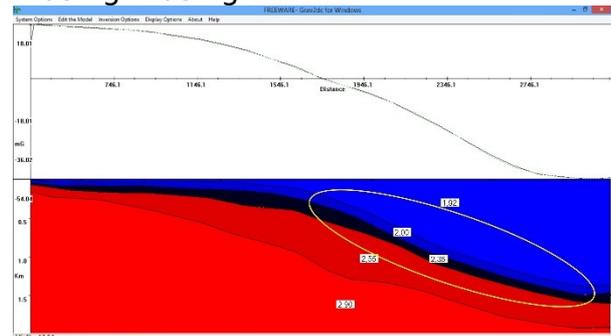
metode *Talwani*  $2\frac{1}{2}D$ . Untuk mempermudah pemodelan, dilakukan slicing pada peta kontur anomali lokal. Slicing ini dilakukan pada lokasi yang akan dimodelkan.



Gambar 3. Posisi *slicing* pada peta kontur anomali lokal

Pada penelitian ini digunakan dua buah *slice* untuk melakukan pemodelan (gambar 3). *Slice* pertama ditunjukkan oleh bentangan *line* A - A' dari utara (titik A) ke selatan (titik A') pada kontur bagian barat dengan panjang

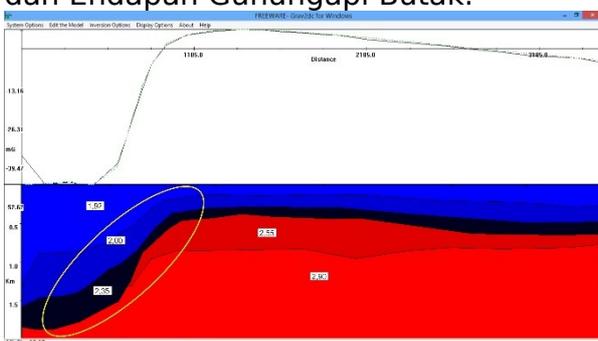
bentangan 3,2 km. Sedangkan *slice* kedua ditunjukkan oleh bentangan *line* B - B' yang terbentang tepat melewati Bendungan Sutami dari barat daya (titik B) ke timur laut (titik B') dengan panjang bentangan 3,4 km. *Line* B - B'. Kedua *line* yang digunakan melewati daerah dengan nilai anomali Bouguer minimum (-60 mGal) hingga maksimum (30 mGal). Pemodelan pada dua *line* di atas dilakukan dengan kedalaman masing-masing 2 km.



Gambar 4. Pemodelan *line* A - A'

Pemodelan *line* A - A' memperlihatkan terdapat lima buah poligon yang memanjang. Berdasarkan informasi geologi dan lokasi daerah penelitian yang berdekatan dengan gunungapi Kelud, maka dapat diindikasikan bahwa kelima poligon tersebut menggambarkan batuan yang berasal dari gunungapi. Poligon 1 berada di bagian paling atas yang memanjang dari jarak 0 hingga jarak 3,2 km. Poligon 1 memiliki kontras densitas  $\Delta\rho = -0,75 \text{ gr/cm}^3$  dan nilai densitas  $1,92 \text{ gr/cm}^3$  yang diindikasikan sebagai soil dan batupung. Poligon 2 berada di bawah poligon 1 dan memiliki pola yang mengikuti pola dari poligon 1. Poligon 2 memiliki kontras densitas  $\Delta\rho = -0,67 \text{ gr/cm}^3$  dengan nilai densitas  $2,00 \text{ gr/cm}^3$  yang diindikasikan sebagai tuf pasiran. Poligon 3 memiliki kontras densitas  $\Delta\rho = -0,67 \text{ gr/cm}^3$  dengan nilai densitas  $2,35 \text{ gr/cm}^3$  yang diindikasikan sebagai batu pasir dan andesit. Poligon 4 memiliki kontras

densitas  $\Delta\rho=0,12\text{ gr/cm}^3$  dengan nilai densitas  $2,55\text{ gr/cm}^3$  yang diindikasikan sebagai batu gamping. Poligon 5 merupakan poligon yang terletak di lapisan paling bawah pada pemodelan ini. Poligon ini memiliki ketebalan maksimum sekitar 1,8 km yaitu pada jarak 0 km. Selain itu poligon ini juga mengalami penipisan dengan mengikuti pola keempat poligon di atasnya hingga mencapai ketebalan minimum sekitar 100 m pada jarak 3,2 km. Poligon 5 memiliki kontras densitas  $\Delta\rho=0,23\text{ gr/cm}^3$  dengan nilai densitas  $2,9\text{ gr/cm}^3$  yang diindikasikan sebagai lava. Berdasarkan pemodelan *line A - A'* di atas, dapat dikatakan adanya kemenerusan struktur pada daerah penelitian. Hal ini diperlihatkan oleh garis kuning pada pemodelan (gambar 4) dengan pola penurunan lapisan yang cukup drastis dan memanjang. Diindikasikan pada daerah ini terjadi pertemuan formasi batuan. Jika dikorelasikan dengan peta geologi, pada daerah ini terdapat pertemuan antara tiga formasi batuan yaitu Formasi Wuni, Formasi Campurdarat, dan Endapan Gunungapi Butak.



Gambar 5. Pemodelan slice B - B'

Pemodelan *line B - B'* memberikan gambaran geologi bawah permukaan berdasarkan poligon-poligon yang diperlihatkan pada gambar 5 di atas. Pada *line B - B'*, didapatkan lima buah poligon seperti pada *line A - A'*. Poligon 1 berada di bagian paling atas memiliki ketebalan maksimum sekitar 1,3 km pada jarak 0 km. Poligon 1 memiliki kontras densitas  $\Delta\rho=-0,75\text{ gr/cm}^3$  dan nilai densitas  $1,92\text{ gr/cm}^3$  yang diindikasikan sebagai soil dan

batuapung. Poligon 2 mengalami kenaikan dari kedalaman 1,55 km menjadi 0,3 km pada jarak 0 - 1,1 km. Poligon 2 memiliki ketebalan maksimum sekitar 500 m dan ketebalan minimum 150 m. Poligon 2 memiliki kontras densitas  $\Delta\rho=-0,67\text{ gr/cm}^3$  dan nilai densitas model  $2,00\text{ gr/cm}^3$  yang diindikasikan sebagai pasir dan tuf pasiran. Poligon 3 memiliki pola yang hampir sama dengan pola 2 yaitu terjadi kenaikan pada jarak 0 - 0,8 km dengan ketebalan maksimum 400 m. Pada jarak 0 - 250 m, poligon 3 berada pada kedalaman maksimum yaitu pada kedalaman 1,4 km. Poligon 3 memiliki kontras densitas  $\Delta\rho=-0,32\text{ gr/cm}^3$

dan nilai densitas  $2,35\text{ gr/cm}^3$  yang diindikasikan sebagai batu pasir dan andesit. Poligon 4 diperlihatkan mulai ada pada jarak 600 m. Pada saat itu, poligon mengalami kenaikan hingga jarak sekitar 900 m selanjutnya memanjang hingga jarak 3,4 km. Poligon 4 memiliki kontras densitas  $\Delta\rho=0,12\text{ gr/cm}^3$  dengan nilai densitas

$2,55\text{ gr/cm}^3$  diindikasikan sebagai batu gamping. Sedangkan poligon 5 berkebalikan dengan poligon 1 yaitu pada jarak 0 - 250 m memiliki ketebalan minimum sekitar 150 m selanjutnya menebal secara drastis menjadi 1,2 km pada jarak 750 m. Kemudian poligon 5 memanjang hingga jarak 3,4 km dengan ketebalan cukup konstan. Poligon 5 memiliki kontras densitas  $\Delta\rho=0,23\text{ gr/cm}^3$  dengan nilai

densitas  $2,9\text{ gr/cm}^3$  yang diindikasikan sebagai lava. Berdasarkan pemodelan *line B - B'*, diperoleh gambaran kondisi bawah permukaan daerah penelitian dimana pada *line* ini terdapat kemenerusan struktur yang digambarkan pada jarak 0 - 1 km. Pada lokasi ini terdapat perbedaan densitas yang cukup tinggi. Pada jarak 0 - 700 m didominasi oleh batuan dengan densitas rendah sedangkan pada jarak 700 m - 3,4 km didominasi oleh batuan dengan densitas tinggi. Jika

dikorelasikan dengan peta geologi, pada daerah ini merupakan perbatasan antara dua formasi batuan yaitu antara Endapan Tuf dengan Endapan Gunungapi Butak. Endapan Tuf berada di sebelah selatan sedangkan Endapan Gunungapi Butak berada di sebelah utara. Berdasarkan informasi umur batuan, Endapan Gunungapi Butak lebih tua dibandingkan dengan Endapan Tuf. Hasil pemodelan ini sesuai dengan informasi geologi dimana line B - B' terbentang dari barat daya ke timur laut dimana formasi yang lebih muda berada di sebelah selatan dan formasi yang lebih tua berada di sebelah utara. Sehingga dapat dimungkinkan bahwa struktur kenaikan lapisan tersebut merupakan pola yang terjadi karena adanya pertemuan antara dua formasi batuan.

*By Means Of Density And Susceptibility Contrast Parameters.* International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS Volume 12 No. 01.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa pada kontur anomali Bouguer lengkap diperoleh rentang nilai anomali sebesar 105 - 215 mGal. Anomali Bouguer dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi geologi daerah penelitian dengan melakukan pemodelan. Dari pemodelan yang dilakukan, di Bendungan Sutami dan sekitarnya terdapat lima jenis batuan yaitu soil dan batuapung, tuf pasiran, batu pasir dan andesit, batu gamping, dan lava. Pada daerah penelitian diindikasikan terdapat struktur dengan jarak 1,5 km dari bendungan. Struktur yang terdapat di daerah penelitian ini diakibatkan oleh kelurusan dan merupakan batas antara formasi batuan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Blakely, R.J. 1995, *Potential Teory in Gravity and Magnetic Application*, Canbridge University Press, USA.
- [2] Lillie, R. J. 1999. *Whole Eart Geophysics*. Prentice-hall. Inc. USA.
- [3] Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons. Chichester.
- [4] Sunaryo. 2012. *Identification Of Arjuno-Welirang Volcano-Geothermal Energy Zone*