

## *3-D Inversion Model of Gravity Data using Iterative Calculation on Mt. Pandan, East Java, Indonesia*

Pemodelan Inversi 3-D Data Gaya Berat dengan Perhitungan Iteratif pada Area Gn. Pandan, Jawa Timur, Indonesia

Aji W., Wahyudi E.J., Santoso D., Kadir W.G. A.

Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa No 10, Bandung, 40132

\*Email: waskitoaji46@gmail.com

Submit: 2018-08-30; Revised: 2018-11-11; Accepted: 2018-12-25

**Abstract:** Mount Pandan is one of the volcanoes located in East Java. There was an earthquake with magnitude 4.2 on Thursday, June 25, 2015, at 10.35 pm located in the area of Mount Pandan. The earthquake indicates the active tectonic of Mount Pandan. In addition, Mount Pandan is one of eleven geothermal prospects in East Java. Thus, it is interesting to do a study related to the geological condition of Mount Pandan. So far, most studies have discussed the related surface geology of Mount Pandan. This study aims to provide information related to the subsurface condition of Mount Pandan based on gravity data. In this research, gravity data inversion modeling technique is used to image the subsurface condition of Mount Pandan. The inversion technique used is non linear inversion with iterative calculation method. In this modeling scheme, the model to be determined is a layer boundary depth model of two layers of rock based on gravity anomaly data. In each layer the rock is assumed to be composed of a set of rectangular prisms with a certain dimension. A collection of prisms representing the rock layers is then computed by the model response and evaluated by comparing it to the observed data. From this evaluation, a modification of the length of the prism is made so that the boundary layer model will change. The process of evaluation and modification of the model is done iteratively until it reaches the number of predefined iterations. The result obtained from this gravity inversion modeling is a model of the subsurface boundary of Mount Pandan. The subsurface model obtained is the existence of a formation resembling a rock intrusion, in this case interpreted as an andesitic rock that intrudes overlying rock layers. This intrusive formation lies at the peak of Mount Pandan and is continuously to the north, with the undisturbed intrusion located around the summit of Mount Pandan.

**Keywords:** Gravity, Inversion, Modelling, Mount Pandan

**Abstrak:** Gunung Pandan merupakan salah satu gunung api yang berada di Jawa Timur. Tercatat pernah terjadi gempa bumi dengan magnitudo 4,2 pada Kamis 25 Juni 2015, pukul 22.35 WIB berlokasi di daerah Gunung Pandan. Gempa tersebut mengindikasikan tektonik Gunung Pan-

dan yang masih aktif. Selain itu, Gunung Pandan termasuk satu dari sebelas prospek panas bumi di Jawa Timur. Sehingga, menarik untuk dilakukan studi terkait kondisi geologi dari Gunung Pandan. Sejauh ini sebagian besar penelitian membahas terkait geologi permukaan dari Gunung Pandan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi terkait kondisi bawah permukaan dari Gunung Pandan berdasarkan data gayaberat. Pada penelitian ini, digunakan teknik pemodelan inversi data gayaberat untuk mencitrakan kondisi bawah permukaan dari Gunung Pandan. Teknik inversi yang digunakan adalah inversi non linier dengan metode perhitungan iteratif. Pada skema pemodelan ini, model yang akan ditentukan adalah model kedalaman batas lapisan dari dua lapisan batuan berdasarkan dari data anomali gayaberat. Pada tiap lapisan batuan diasumsikan tersusun atas kumpulan prisma segiempat dengan dimensi tertentu. Kumpulan prisma yang merepresentasikan lapisan batuan ini selanjutnya dihitung respon modelnya dan dievaluasi dengan cara membandingkannya terhadap data observasi. Dari evaluasi ini, dilakukan modifikasi panjang prisma sehingga model batas lapisannya akan berubah. Proses evaluasi dan modifikasi terhadap model dilakukan secara iteratif hingga mencapai jumlah iterasi yang telah ditentukan. Hasil yang diperoleh dari pemodelan inversi gaya berat ini adalah model batas lapisan bawah permukaan Gunung Pandan. Model bawah permukaan yang didapatkan adalah adanya suatu bentukan yang menyerupai intrusi batuan, dalam hal ini diinterpretasikan sebagai batuan andesitis yang mengintrusi lapisan batuan yang berada di atasnya. Bentukan intrusi ini terletak pada daerah puncak dari Gunung Pandan dan tampak menerus ke arah utara, dengan daerah intrusi terdangkal terletak di sekitar puncak dari Gunung Pandan. **Kata kunci:** Gayaberat, Gunung Pandan, Inversi, Pemodelan

### 1 PENDAHULUAN

Gunung Pandan adalah gunung api yang secara administratif terletak pada perbatasan antara 3 kota di Jawa

Timur yaitu Nganjuk, Madiun, dan Bojonegoro. Menurut Santoso dkk. (2017) Gunung Pandan bukan termasuk gunung api aktif di Indonesia. Secara fisiografi, Gunung Pandan termasuk dalam Antiklinorium Kendeng atau Zona Kendeng. Menurut Nugraha dkk. (2016) di Gunung Pandan tercatat pernah terjadi sebuah gempa dengan magnitudo 4,2 yang terjadi pada Kamis, 25 Juni 2015 pukul 22:35 WIB yang mengakibatkan kerusakan pada 57 rumah di Dusun Pohulung. Gempa ini mengindikasikan bahwa tektonik Zona Kendeng masih aktif. Selain itu, menurut Setijadji (2010), daerah Gunung Pandan teridentifikasi sebagai satu dari sebelas prospek panas bumi di Jawa Timur. Sehingga, daerah Gunung Pandan menarik untuk dipelajari lebih lanjut terkait kondisi bawah permukaan dari Gunung Pandan. Pada penelitian ini penulis mencoba mempelajari kondisi bawah permukaan Gunung Pandan dengan melakukan pemodelan bawah permukaan di Gunung Pandan menggunakan metode geofisika yaitu metode gayaberat.

## 2 GEOLOGI REGIONAL

Daerah Jawa Timur terbagi menjadi tujuh zona fisiografi yaitu Dataran Aluvial Jawa Utara, Antiklinorium Rembang, Zona Depresi Randublatung, Antiklinorium Kendeng, Zona Pusat Depresi Jawa, Busur Vulkanik Kuartar, dan Pegunungan Selatan. Peta lokasi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Gunung Pandan masuk ke dalam zona Antiklinorium Kendeng. Daerah ini menurut Smyth dkk. (2005) terdiri atas sekuen volkanogenik tebal serta pelagic sedimen, selain itu juga terdapat thrust belt dengan tren Barat – Timur yang merupakan batas antara zona Antiklinorium Kendeng dengan zona Antiklinorium Rembang.

Menurut Lunt dkk. (1998) Gunung Pandan merupakan gunung api yang berumur Pleistosen Awal. Jika ditinjau dari jarak relatif deretan gunung api dan palung subduksi maka gunung ini terletak satu deretan dengan Gunung Ungaran yaitu menempati posisi near back-arc. Daerah Gunung Pandan ini secara geologi tersusun atas batuan breksi gunung api yang diberi nama Breksi Pandan, dapat dilihat pada Gambar 2, daerah penelitian ditandai dengan kotak hitam.

## 3 DATA DAN PENGOLAHAN DATA

### 3.1 Data Gayaberat dan Topografi

Data gayaberat yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gayaberat hasil pengukuran di daerah Gunung Pandan pada tahun 2016 dan 2017. Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran adalah Scintrex CG5. Pengolahan data pada penelitian ini melibatkan perhitungan inner zone dan outer zone pada koreksi terrain sehingga data yang dihasilkan menunjukkan anomali yang berbeda dari penelitian awal dari Santoso (2017). Gambar 3 merupakan peta CBA dari daerah Gunung Pandan. Sementara data topografi yang digunakan berasal dari data pengukuran menggunakan GPS yang dilakukan bersamaan dengan akuisisi data gayaberat. Gambar 4 berikut menunjukkan data topografinya.

### 3.2 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Teknik polynomial surface fitting digunakan untuk melakukan pemisahan anomali regional dan residual. Pada pemisahan anomali menggunakan teknik polynomial surface fitting, anomali regional didekati dengan suatu persamaan bidang. Pada penelitian ini digunakan persamaan bidang orde dua untuk mendekati pola anomali regional dari daerah penelitian. Anomali regional hasil pendekatan teknik polynomial surface fitting dapat dilihat pada Gambar 5. Anomali residual didapatkan dengan cara mengurangkan CBA terhadap anomali regional. Peta anomali residual yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 6.

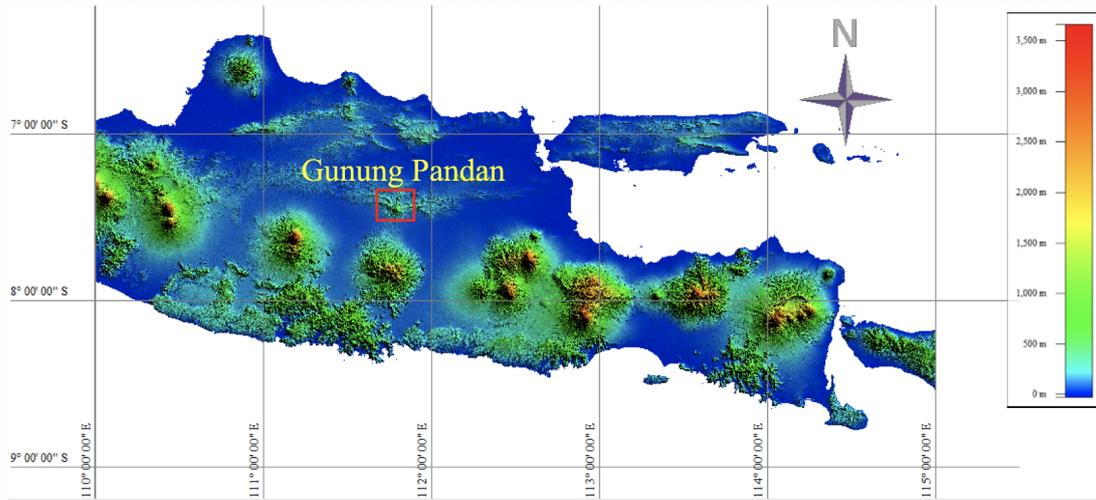
## 4 PEMODELAN

Pada tahap ini, yang didefinisikan sebagai model dari pemodelan inversi adalah kedalaman batas lapisan antara dua lapisan batuan dan yang didefinisikan sebagai data adalah data anomali gayaberat. Kondisi bawah permukaan diasumsikan terdiri atas kumpulan prisma segiempat sebagai sumber bodi anomali. Kumpulan prisma segiempat tersebut terletak dibawah masing masing titik stasiun pengukuran, dengan setiap titik pengukuran diwakili oleh dua buah prisma yaitu prisma lapisan atas dan prisma lapisan bawah, dan setiap lapisan mempunyai nilai kontras densitas  $\Delta$  untuk lapisan atas dan  $\Delta\rho^2$  untuk lapisan bawah.

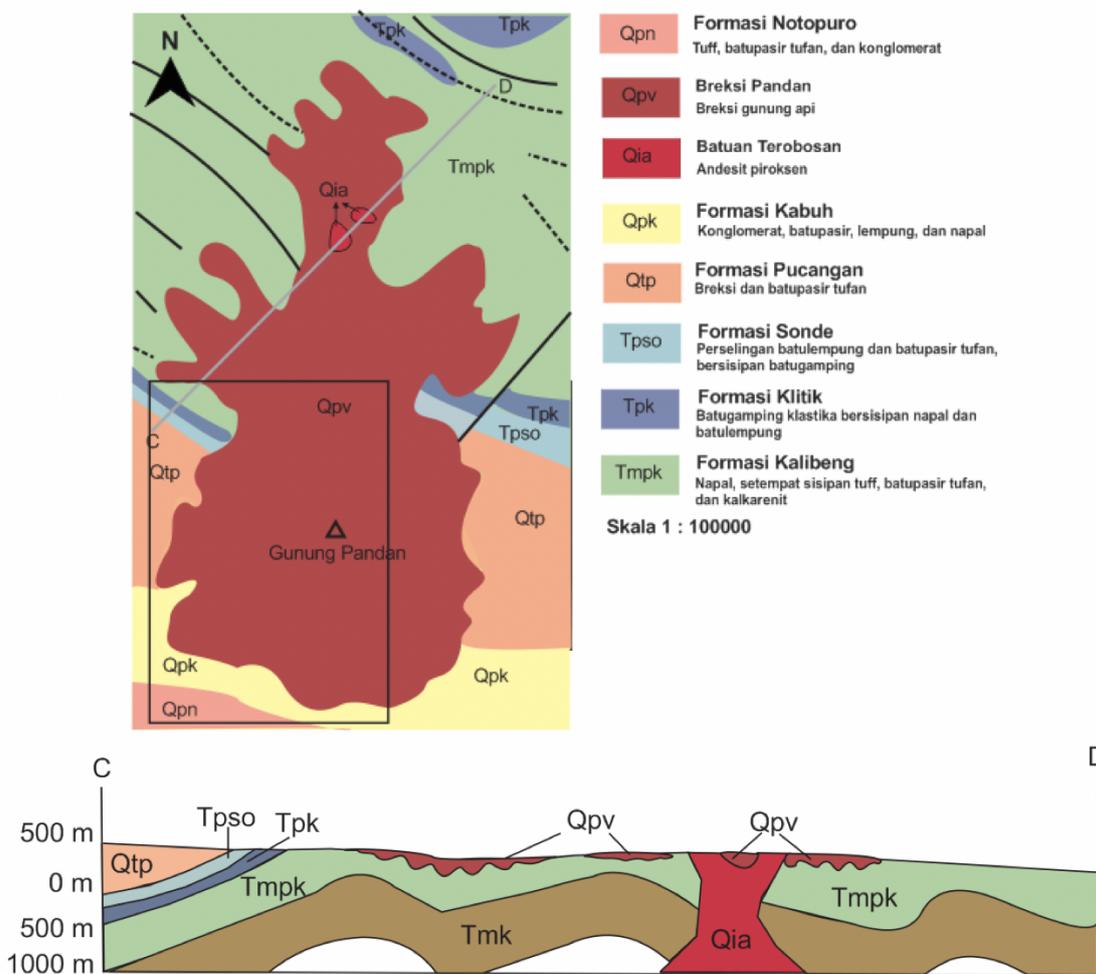
Tahap inisiasi dari program pemodelan ini adalah memasukkan parameter – parameter input diantaranya data anomali gayaberat residual Gunung Pandan dapat dilihat pada Gambar 6, data topografi Gunung Pandan dapat dilihat pada Gambar 4, dimensi model prisma yang digunakan, batas lapisan, jumlah iterasi yang digunakan, nilai densitas untuk tiap lapisan.

Pada penelitian ini, penentuan kontras densitas untuk pemodelan menggunakan data sekunder yaitu peta geologi daerah sekitar Gunung Pandan yang dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan peta geologi, daerah Gunung Pandan terdiri atas beberapa formasi batuan diantaranya Formasi Pucangan, Formasi Klitik, Formasi Sonde, Formasi Kalibeng, serta Breksi Pandan. Pada formasi tersebut secara umum terdapat batupasir dan batupasir tufaan. Selain itu, berdasarkan penampang C – D pada Gambar 2 terdapat intrusi andesit pada sebelah utara daerah Gunung Pandan. Di sisi lain, terdapat bukti yang mendukung kemungkinan adanya suatu intrusi di Gunung Panas sebagai sumber panas yaitu adanya manifestasi mata air panas di sekitar Gunung Pandan.

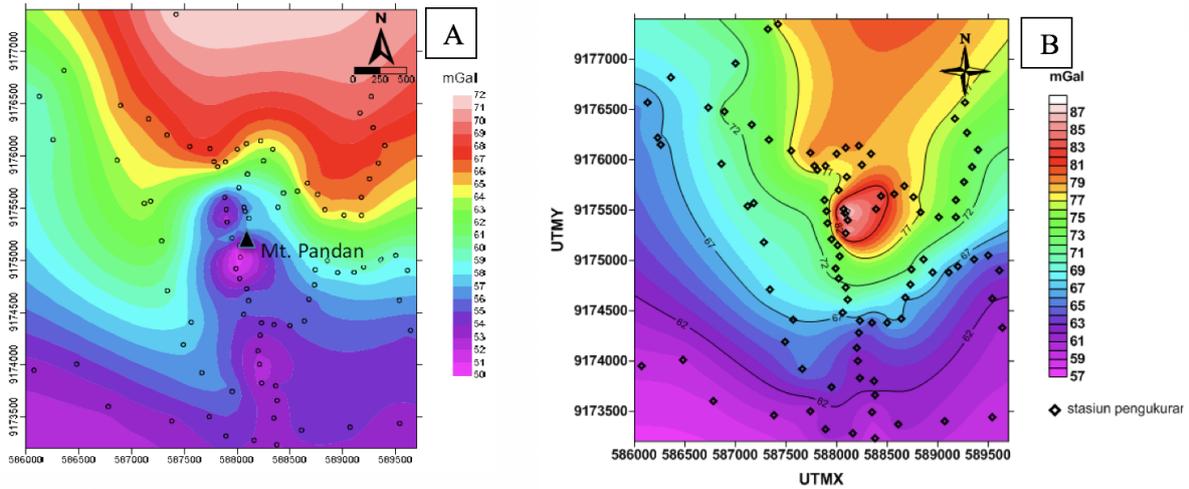
Sehingga pada penelitian ini, akan dimodelkan suatu batuan andesit yang mengintrusi batuan sampling yang berasal dari formasi – formasi batuan yang ada di daerah penelitian. Batuan sampling tersebut diasumsikan homogen berupa batupasir dan batu pasir tufaan. Berdasarkan data nilai densitas batuan dari Telfort (1990), densitas batu pasir yaitu 1,61 g/cc – 2,76 g/cc dan densitas batuan andesit yaitu 2,4 g/cc – 2,8 g/cc. Sementara itu, menurut Tan dkk. (2003), densitas dari batupasir tufaan yaitu 1,92 g/cc – 1,99 g/cc. Sehingga pada pemodelan, digunakan kontras densitas -0,2 g/cc untuk lapisan atas atau batuan sampling dan +0,5 g/cc untuk lapisan bawah atau batuan yang menerobos, dengan asumsi background density dari data adalah 2,1 g/cc.



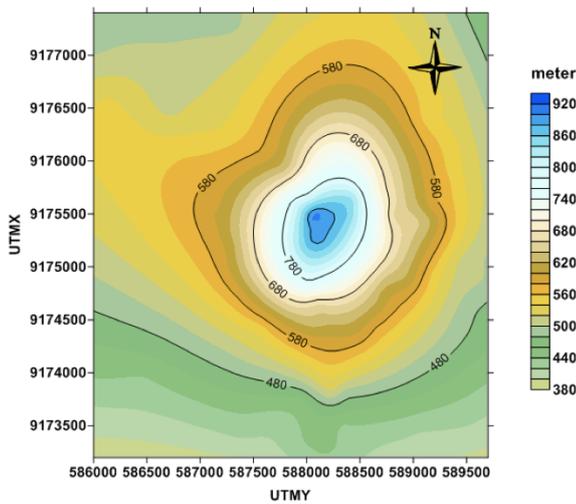
Gambar 1. Peta Daerah Jawa Timur dan wilayah kajian ditandai dengan kotak warna merah



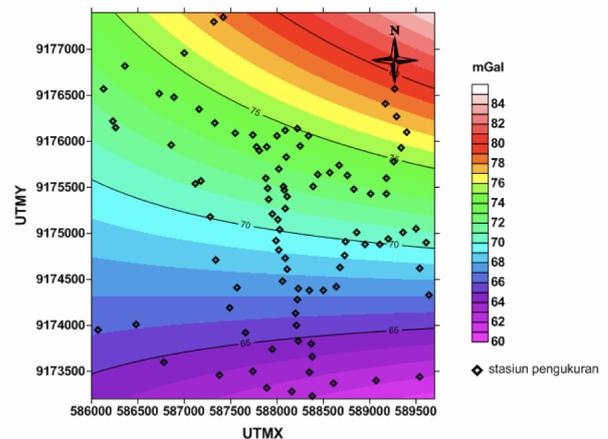
Gambar 2. Penyederhanaan Peta Geologi daerah Gunung Pandan dari Pringgoprawiro dan Sukido (1992)



**Gambar 3.** Peta CBA Daerah Gunung Pandan. Gambar a merupakan data dari penelitian Santoso (2017). Gambar b merupakan data dari penelitian kali ini



**Gambar 4.** Peta topografi daerah Gunung Pandan

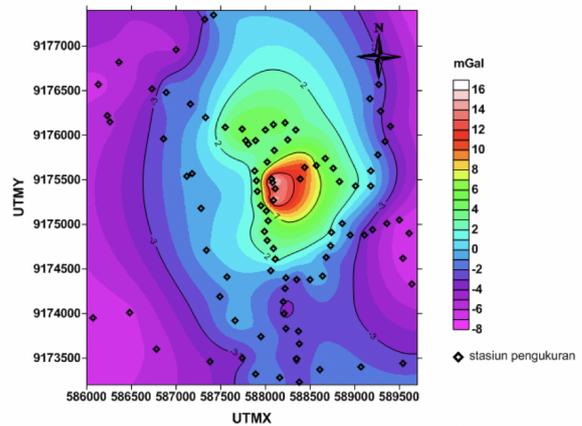


**Gambar 5.** Peta anomali regional daerah Gunung Pandan

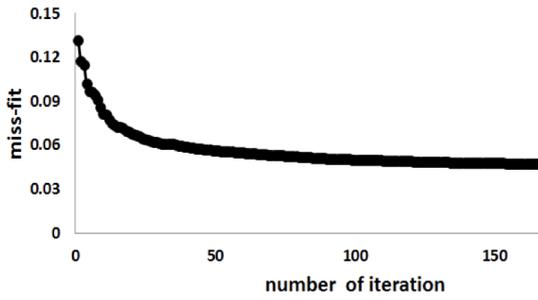
## 5 HASIL DAN ANALISIS

Dari pemodelan yang dilakukan dengan iterasi sebanyak 200 kali, perubahan miss-fit setiap iterasi dapat dilihat pada Gambar 7. Pada awal pemodelan, nilai miss-fit sekitar 0,13 dan berubah secara signifikan hingga iterasi ke-30 sehingga miss-fit-nya menjadi 0,06. Setelah itu perubahan miss-fit tidak terlalu signifikan dan pada iterasi ke-200 mencapai nilai miss-fit 0,045.

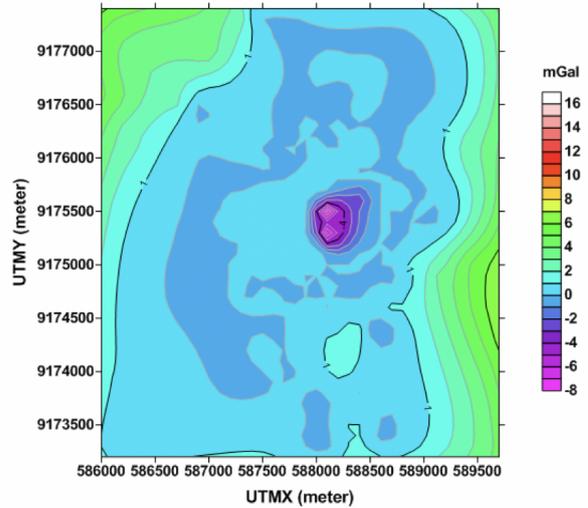
Ketika ditinjau dari kontur calculated data yang dihasilkan yang dapat dilihat pada Gambar 8, pola kontur calculated data sudah sesuai dengan pola kontur dari data yang dimodelkan. Pada daerah sekitar puncak Gunung Pandan ditunjukkan dengan anomali yang relatif tinggi dibandingkan sekitarnya. Namun rentang nilai anomali dari calculated data masih lebih pendek dibandingkan rentang nilai anomali dari data observasi. Nilai anomali terbesar pada calculated



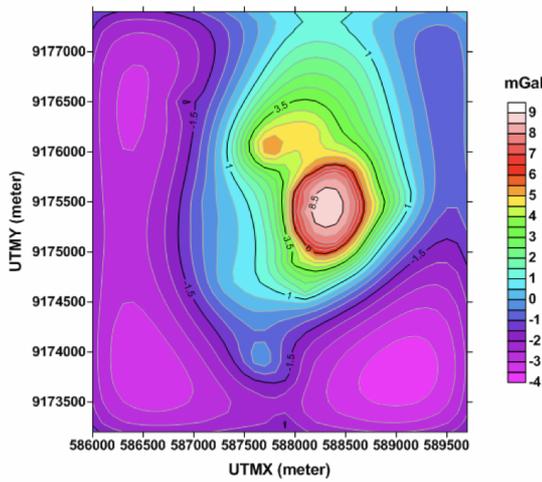
**Gambar 6.** Peta anomali residual daerah Gunung Pandan.



Gambar 7. Kurva perubahan miss-fit setiap iterasi.



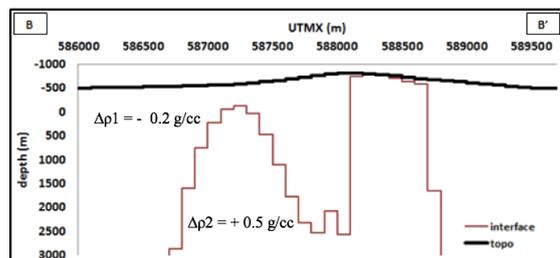
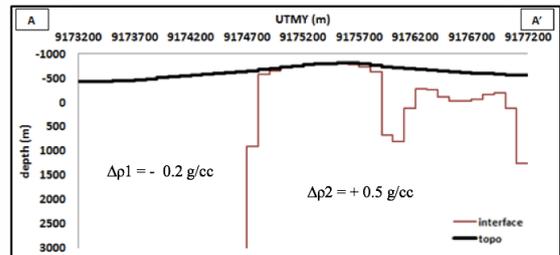
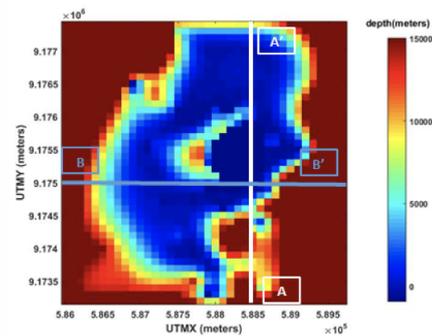
Gambar 9. Peta kontur selisih calculated data dengan observed data



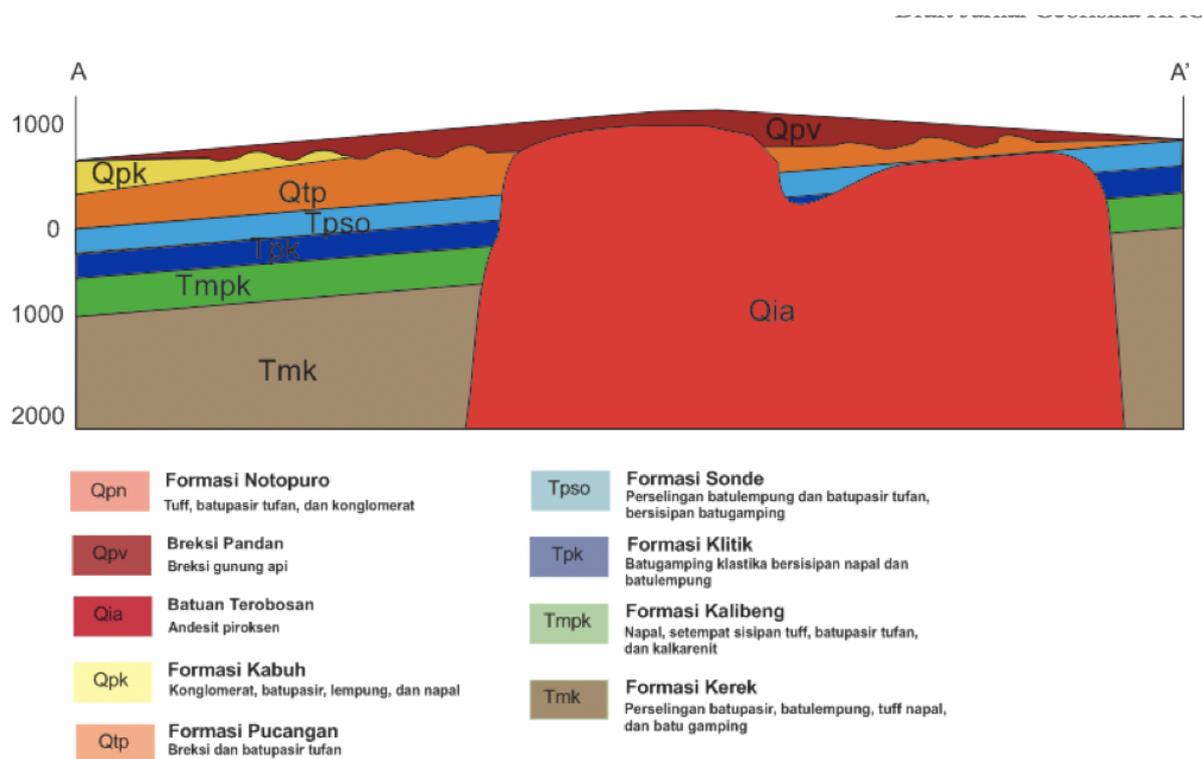
Gambar 8. Peta kontur calculated data.

data yaitu sekitar 9 mGal dan nilai anomali terendahnya yaitu sekitar -4 mGal. Sedangkan nilai anomali terbesar pada data observasi yang dimodelkan yaitu sekitar 16 mGal dan nilai anomali terendahnya yaitu sekitar -8 mGal. Sementara jika ditinjau dari perbedaan nilai antara calculated data terhadap data yang dimodelkan pada titik yang sama, perbedaan terbesar yaitu bernilai 8 mGal pada daerah sekitar puncak Gunung Pandan, dan perbedaan terkecil yaitu bernilai 0,000002 mGal. Kontur perbedaan nilai antara calculated data terhadap data yang dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 9.

Sementara itu, apabila ditinjau dari model yang dihasilkan, yang dapat dilihat pada Gambar 10, ketika dilakukan pemodelan dengan parameter lapisan atas memiliki nilai kontras densitas  $-0,2 \text{ g/cc}$  dan lapisan bawah memiliki nilai kontras densitas  $+0,5 \text{ g/cc}$ , terlihat pada daerah dengan kontur anomali yang tinggi menghasilkan model kedalaman batas lapisan yang lebih dangkal dari sekitarnya. Dari dua penampang yang dibuat yaitu penampang A dan penampang B menunjukkan suatu pola batas lapisan yang menyerupai sebuah intrusi dari lapisan bawah. Pada penampang A yang berarah utara – selatan, terlihat adanya batas lapisan yang dangkal pada daerah sekitar puncak dari Gunung Pandan hingga ke bagian utara dari Gunung Pandan,



Gambar 10. Model batas lapisan hasil pemodelan.



Gambar 11. Model geologi penampang A – A'

dengan batas lapisan paling dangkal dengan kedalaman kurang dari 100 meter berada pada daerah sekitar Puncak Gunung Pandan.

Sementara itu, pada penampang B yang berarah barat – timur, batas lapisan terdangkal juga terletak pada daerah sekitar puncak dari Gunung Pandan, dengan semakin kearah barat kedalaman batas lapisan makin bertambah dengan pertambahan kedalaman yang tidak signifikan pada daerah timur daerah puncak Gunung Pandan. Dari dua penampang tersebut kemungkinan intrusi cenderung menerus kearah utara dengan bagian terdangkal dari intrusi berada pada daerah sekitar puncak dari Gunung Pandan.

Berdasarkan hasil dari pemodelan inversi yang dikombinasikan dengan data formasi batuan dari peta geologi daerah Gunung Pandan, maka dibuat suatu model geologi yang dapat dilihat pada Gambar 11.

## 6 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap hasil penelitian tugas akhir ini, maka dapat disimpulkan ketika program diaplikasikan untuk kasus daerah Gunung Pandan, didapatkan suatu model batas lapisan yang menyerupai bentuk intrusi, yang diasumsikan sebagai intrusi andesitis. Bentuk intrusi ini cenderung menerus kearah utara dari Gunung Pandan dengan intrusi terdangkal dengan kedalaman kurang dari 100 meter terletak pada daerah sekitar puncak dari Gunung Pandan. Berdasarkan data dari pengamatan dilapangan dan peta geologi, menunjukkan bahwa intrusi ini tidak sampai muncul di permukaan. Intrusi ini

yang kemungkinan menjadi sumber panas sistem geotermal di Gunung Pandan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R. J. (1996): Potential theory in gravity and magnetic applications, Cambridge University Press, Cambridge.
- Chai, T. dan Draxler, R.R. (2014): Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?- Arguments against avoiding RMSE in the literature, *Geoscientific Model Development*, 7, 1247 – 1250.
- Lunt, P., R. Netherwood, dan O.F. Huffman (1998): Guide book of IPA field trip to Central Java. Indonesian Petroleum Association, Jakarta., 65pp.
- Nugraha, A. D., Shiddiqi, H. A., dan Widiyantoro, S. (2016): Unexpected earthquake of June 25th, 2015 in Madiun, East Java, *AIP Conference Proceeding*, 1730, 020001.
- Plouff, D. (1976): Gravity and magnetic fields of polygonal prisms and application to magnetic terrain corrections, *Geophysics*, 41, 727 – 741.
- Pringgoprawiro, H. dan Sukido (1992): Peta Geologi lembar Bojonegoro, Jawa Timur, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Santoso, D., Wahyudi, E. J., Alawiyah, S., Nugraha, A. D., Widiyantoro, S., Kadir, W. G. A., Supendi, P., Wiyono, S., dan Zulfakriza. (2017): Subsurface structure interpretation beneath of Mt. Pandan based on gravity data, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 62, 012038.
- Setijadji, L. (2010): Segmented volcanic arc and its asso-

- ciation with geothermal fields in Java Island, Indonesia, Proceeding World Geothermal Congress.
- Smyth, H., Hall, R., Nichols, G. J. (2005): East Java: Cenozoic Basins, volcanoes, and ancient basement, Indonesian Petroleum Association Annual Convention , 30, 251 – 266.
- Tan, T.S., Phoon, K.K., Hight, D.W., dan Lerouiel, S. (2003): Characterization and engineering properties of natural soils, A.A. Balkema Publishers, Tokyo.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.E. (1990): Applied geophysics second edition, Cambridge University Press 1990, Cambridge.