

Pendugaan Formasi Batuan Reservoir dan Batuan Penudung di Area Manifestasi Panasbumi Tulehu Salahutu – Pulau Ambon Berdasarkan Survei Magnetik

Jufri ^{1)*}, Sunaryo ²⁾, Adi Susilo ²⁾

¹⁾ Program Studi Magister Ilmu Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya

²⁾ Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya

Diterima 02 Mei 2015, direvisi 09 Agustus 2015

ABSTRAK

Survei magnetik telah dilakukan di area manifestasi panasbumi Tulehu, pulau Ambon, Salahutu, Maluku Tengah, yang memiliki temperatur reservoir tinggi. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui formasi batuan reservoir dan batuan penudung di area manifestasi panasbumi Tulehu. Pengukuran data dilakukan dengan menggunakan alat magnetometer PPM tipe G-856, di sekitar mataair panas Hatuasa Tulehu dengan luas area survei 1.78 km x 1.25 km, yang terdiri dari 238 titik ukur dengan lebar spasi 50 meter. Pengolahan data dimulai dari koreksi IGRF, koreksi diurnal, reduksi bidang datar, pengangkatan ke atas dan reduksi ke kutub. Interpretasi didasarkan pada tiga model penampang melintang, yaitu AB, BC, dan DE. Hasil pemodelan menunjukkan terdapat formasi batuan penudung yang diduga sebagai aluvial (Qa) dengan kontras suseptibilitas 0.0102 SI sampai 0.0416 SI. Sedangkan formasi batuan reservoir diduga terbentuk dari batuan gunungapi Ambon (Tpav) yang telah mengalami demagnetisasi dengan kontras suseptibilitas 0.0001 SI, berada di kedalaman 1850 m sampai 2775 m di bawah permukaan.

Kata kunci : Panasbumi Tulehu, survei magnetik, batuan reservoir, batuan penudung

ABSTRACT

The magnetic survey has been done in the area of geothermal manifestations Tulehu, Salahutu, Central Maluku in Ambon Island which has high temperature reservoir. The aim of this research was to know the formations reservoir and cap rock in the area of geothermal manifestations Tulehu. The measurement of data is done using magnetometer PPM type G-856, in the area of around the hot springs Hatuasa Tulehu broadly of 1.78 km x 1.25 km, which consists of 238 measuring points with spacing 50 m. Data processing to begin with IGRF correction, diurnal correction, flat surface reduction, upward continuation and reduction to the pole. Interpretation was based on three cross - section models: slice AB, BC, and DE. The modeling of the results indicate the presence of caprock formations suspected as alluvial (Qa) with susceptibility contrast 0.0102 SI to 0.0416 SI, whereas the reservoir rocks formation is suspected rocks of volcanic Ambon (Tpav) had been around demagnetization with susceptibility contrast 0.0001 SI, in the deepness of 1850 m to 2775 m the surface below.

Keywords : Tulehu geothermal, magnetic survey, reservoir rock, cap rock

PENDAHULUAN

Dalam sistem panasbumi keberadaan manifestasi dianggap sebagai gejala di permukaan yang menjadi ciri terdapatnya

potensi energi panasbumi. Ciri tersebut dapat diidentifikasi melalui penggunaan metode magnetik ataupun metode geofisika lainnya yang memenuhi fungsi survei panasbumi. Metode magnetik didasarkan pada kontras magnetisasi batuan yang bersumber dari induksi medan magnet bumi.

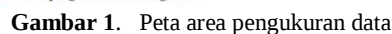
Manifestasi panasbumi di area Tulehu yang muncul sebagai mataair panas menjadi salah

*Corresponding author:

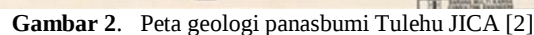
E-mail: jufridarussalam@gmail.com

Tujuan dilakukannya penelitian ini ialah untuk menduga formasi batuan reservoir dan batuan penudung di area Tulehu berdasarkan data hasil survei magnetik.

Penelitian dilakukan di kawasan air panas Hatuasa Desa Tulehu Kecamatan Salahutu Kabupaten Maluku Tengah pada bulan Agustus 2014. Area penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta area pengukuran data



Litologi yang tersingkap didaerah tinjau dari tua ke muda adalah breksi lava dan breksi tufa. Breksi lava, berwarna kelabu hitam, berbutir tak seragam, porfiritik, dengan fenokris (labradorit) dan piroksen yang tertanam didalam massa dasar gelas, feldspar dan mikrokristalin olivine. Breksi tuf dan tuf, umumnya telah lapuk, mengandung komponen andesit dan dasit. Breksi gunungapi biasanya kompak sekali, mengandung komponen andesit, dasit dan sedikit basalt, matriksnya kadang-kadang tuffaan. Lava sering menunjukkan struktur aliran dan bantal, jika dibandingkan dengan stratigrafi peta geologi lembar Ambon termasuk dalam batuan gunungapi Ambon (Tpav) berumur pliosen akhir. Kemudian tidak selaras diatasnya diendapkan batugamping terumbu (Ql) berumur plistosen. Terdiri dari koloni koral, ganggang dan bryozoa, berwarna putih sampai kotor, keras, berongga-rongga terisi oleh kalsit dan pecahan koral. Fosil moluska dan foraminifera sedikit sekali ditemukan dalam batuan ini. Endapan aluvial (Qa) berumur holosen terdiri dari lempung, lanau, pasir, kerikil, kerakal dan sisa tumbuhan tersebar di daerah dataran desa Tulehu [1].

Berdasarkan pengukuran terhadap kuantitas panas permukaan area manifestasi panasbumi Tulehu, terutama disekitar patahan Banda hatuasa diperoleh kisaran nilai antara 53,9°C sampai 65°C. Luas area ukur adalah 1,78 km $\times$ 1,25 km, terdiri dari 238 titik, jarak antara titik ukur adalah 50 m. Dimana pendekatan pengukuran dilakukan secara *lopping* tertutup. Pengolahan data dimulai dari koreksi IGRF, dan koreksi harian (*diurnal*), yang masing-masing menggunakan persamaan (1) dan (2), [4].

$$H_L = \left(\frac{t_n - t_{aw}}{t_{ak} - t_{aw}} \right) (H_{ak} - H_{aw}) \quad (1)$$

Dimana,

H_L : Nilai medan magnet akibat koreksi *diurnal* (Nilai variasi harian)

t_n : Waktu pada titik n

t_{ak} : Waktu pada titik akhir

t_{aw} : Waktu pada titik awal

H_{ak} : Nilai medan magnet total di titik akhir

H_{aw} : Nilai medan magnet total di titik awal

$$H_A = H_T - H_M - H_L \quad (2)$$

Dengan,

H_T : Medan magnetik total bumi (berdasarkan nilai pembacaan alat magnetometer)

H_M : Medan magnet utama bumi (IGRF)

H_A : Anomali magnet total

H_L : Medan magnet luar (koreksi harian)

Berdasarkan dua koreksi tersebut diperoleh anomali medan magnet total, yang kemudian dipetakan menggunakan aplikasi *Surfer 10*. Selanjutnya ditransformasi secara bertahap mulai dari reduksi bidang datar, pengangkatan ke atas, dan reduksi ke kutub.

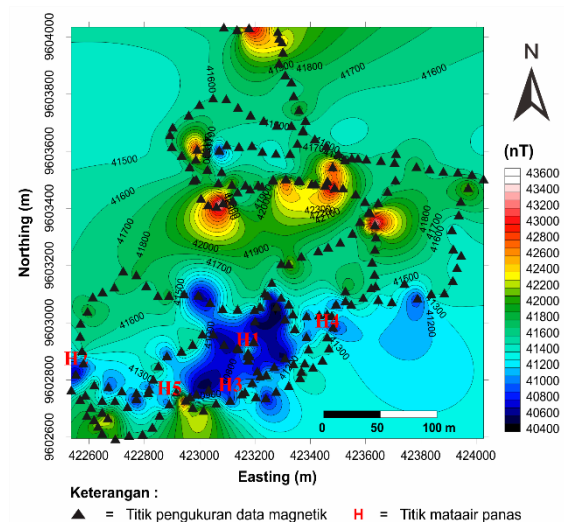
Interpretasi struktur bawah permukaan untuk memperkirakan formasi batuan reservoir dan batuan penudung dilakukan menggunakan aplikasi pemodelan *mag2dc*. Dalam proses pemodelan dilakukan dengan cara mengacak bentuk struktur dan suseptibilitas sehingga antara nilai observasi dan nilai hasil model dapat mendekati kesamaan. Namun demikian aplikasi ini sangat membutuhkan informasi geologi di area penelitian, informasi yang dimaksud ialah nilai rata-rata suseptibilitas batuan. Disebabkan nilai suseptibilitas tersebut akan menjadi acuan parameter pemodelan menggunakan aplikasi *mag2dc*. Dimana sejumlah penulis mengistilahkan hubungan antara nilai rata-rata suseptibilitas batuan lokasi penelitian yang menjadi acuan parameter terhadap nilai suseptibilitas batuan hasil pemodelan dengan sebutan kontras suseptibilitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dalam penelitian ini dibedakan menjadi beberapa bagian, yaitu hasil dari pengukuran langsung dengan alat magnetometer berupa medan magnetik total di lokasi pengukuran, hasil dari anomali magnetik total, hasil dari reduksi bidang datar, hasil dari pengangkatan ke atas (anomali sisa dan

anomali regional), hasil reduksi kutub serta hasil pemodelan dari sayatan pada anomali magnet sisa. Hasil-hasil dari medan magnet total dan anomali magnet disajikan dalam bentuk kontur, sedangkan untuk hasil pemodelan dari sayatan anomali magnet sisa yang ditampilkan adalah sebaran nilai kontras suseptibilitas batuan di sekitar titik-titik mataair panas dilokasi pengukuran menggunakan aplikasi *mag2dc*.

Medan magnetik total. Medan magnetik total merupakan sebaran nilai hasil pengukuran magnetik yang belum dikoreksi harian maupun IGRF yang ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai kisaran medan magnetik antara 41200 nT sampai 42200 nT hampir terdistribusi secara luas di area penelitian. Hal itu mengindikasikan medan magnet utama (IGRF) area Tulehu yang berada dalam kisaran 41601,5 nT ikut terbaca oleh magnetometer. Selain itu faktor perubahan matahari juga masih cukup berpengaruh terhadap keberadaan nilai-nilai magnetik di lokasi pengukuran.

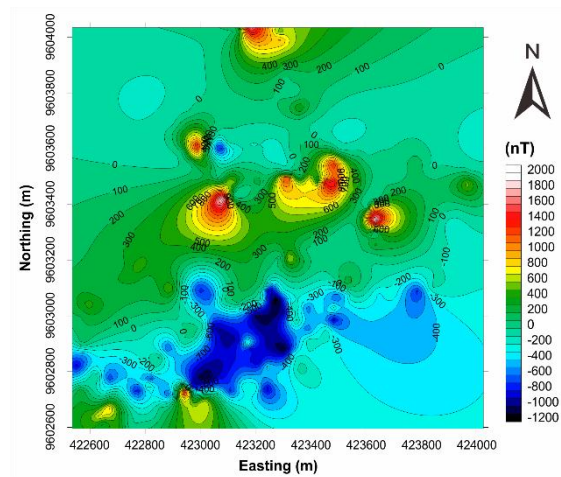


Gambar 3. Kontur Magnet Total

Anomali medan magnet total. Data magnetik yang diperoleh setelah koreksi harian dan IGRF disebut data anomali medan magnet total. Data magnetik setelah dikoreksi berkisar berkisar antara -1200 nT sampai 2000 n dan hampir $\pm 70\%$ anomali medan magnet total berada pada rentang -400 nT sampai 400 nT melingkupi area manifestasi panasbumi Tulehu.

Nilai anomali magnet total (Gambar 4) merupakan gabungan antara anomali regional

dan lokal, sehingga dalam proses analisisnya kedua anomali tersebut perlu dipisahkan dengan transformasi pengangkatan ke atas.



Gambar 4. Kontur Anomali Medan Magnet Total

Reduksi Bidang Datar. Cordell dan Grauch [5], menemukan secara empiris bahwa konvergensi deret Taylor pada persamaan (3) paling cepat jika z_0 ditempatkan di rata-rata $z(x, y)$. Pendekatan inilah yang mendasari analisis reduksi bidang datar, ketinggian yang digunakan (31,56 m.) adalah ketinggian rata-rata daerah tinjau. Reduksi ini dilakukan karena nilai dari anomali magnet total masih dipengaruhi oleh faktor topografi, berupa variasi ketinggian disetiap titik ukur pada permukaan lokasi penelitian. Hasil dari reduksi ini dapat dilihat pada Gambar 5.

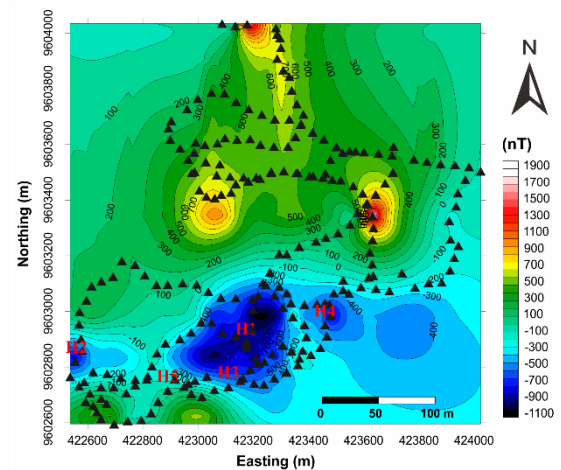
$$U(x, y, z) = U(x, y, z_0) + (z - z_0) \frac{\partial}{\partial z} U(x, y, z_0) + \frac{(z - z_0)^2}{2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} U(x, y, z_0) + \dots$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(z - z_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial z^n} U(x, y, z_0) \quad (3)$$

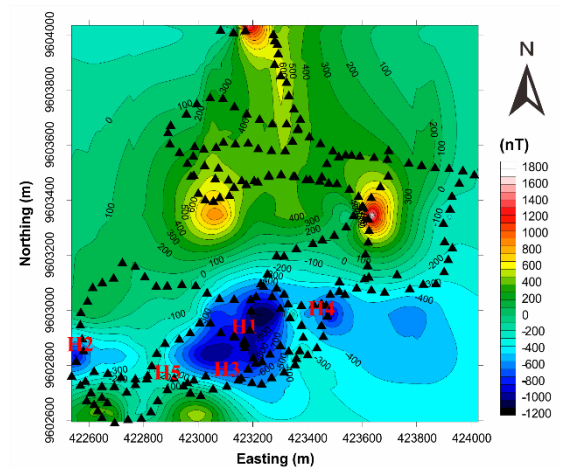
Nilai anomali magnetik setelah proses reduksi bidang datar adalah -1100 nT sampai 1900 nT. Berdasarkan kenampakan Gambar 5, menunjukkan titik-titik pengukuran didominasi oleh besaran anomali antara -500 nT sampai 500 nT.

Pengangkatan ke Atas. Pengangkatan ke atas biasanya melalui *trial and error* sampai diperoleh selang anomali magnet sisa yang konstant. Dalam analisis ini, selang nilai

anomali magnet sisa menjadi konstant setelah proses pengangkatan sampai pada ketinggian 1000 m, yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 6.



Keterangan :
▲ = Titik pengukuran data magnetik H = Titik mataair panas
Gambar 5. Kontur Reduksi Bidang Datar

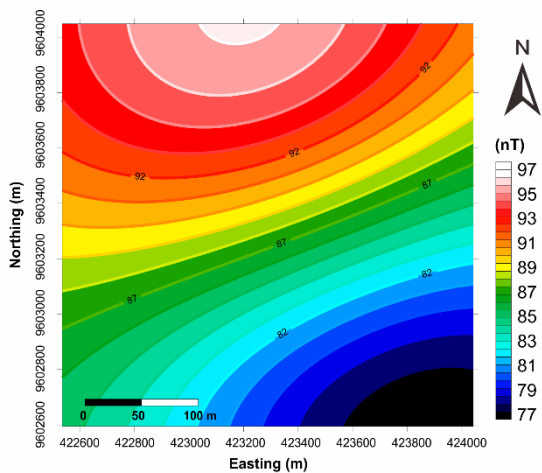


Keterangan :
▲ = Titik pengukuran data magnetik H = Titik mataair panas
Gambar 6. Kontur Anomali Sisa

Transformasi ini akan mereduksi efek topografi dan regional, selain itu juga dapat dipisahkan anomali magnet sisa dan anomali regional. Pemisahan dimaksudkan untuk mendapatkan anomali magnet regional yang lebih halus, serta anomali magnet sisa yang lebih jelas untuk proses interpretasi.

Berdasarkan gambar kontur anomali magnet sisa (Gambar 6) dan anomali regional (Gambar 7) keduanya memiliki perbedaan besaran anomali yang signifikan, dimana sebaran nilai anomali magnet sisa ada pada kisaran -1200 nT sebagai anomali magnet sangat rendah, dan 1800 nT sebagai anomali

magnet tinggi, dengan interval nilai anomali 200 nT. Distribusi nilai anomali magnet sisa yang diperoleh tersebut hampir sama dengan nilai anomali magnet total (Gambar 4). Sedangkan intensitas anomali regional sedikit lebih rendah dengan nilai anomali tinggi 97 nT sampai anomali rendah 77 nT.

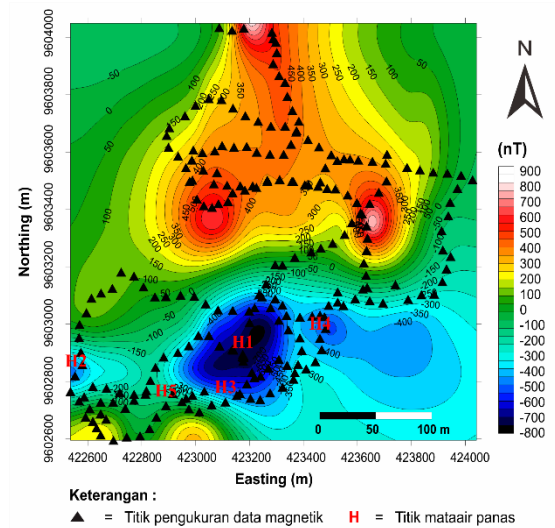


Gambar 7. Kontur anomali regional

Reduksi ke Kutub. Reduksi ke kutub pada dasarnya mengasumsikan anomali magnet di lokasi pengukuran seakan terletak di kutub utara magnet bumi, sehingga dari reduksi ini akan diperoleh pola anomali yang bersifat monopol. Reduksi ke kutub dalam penelitian ini diproses dengan mentransformasi nilai inklinasi ($-22,45^\circ$) dan deklinasi ($1,7^\circ$) masing-masing menjadi 90° dan 0° . Dengan demikian, reduksi ke kutub dapat mengubah pola asimetri medan magnet menjadi pola simetri. Pola asimetri memberi kesan keteraturan yang bervariasi dan lebih dinamis dari anomali magnet, sedangkan pola simetri mengindikasikan keteraturan yang tidak bervariasi dan bersifat konstant dari anomali magnet. Hal ini berarti bahwa pola simetri tersebut dapat menjadi petunjuk terhadap sumber anomali medan magnet. Reduksi ke kutub menghasilkan pola kontur anomali magnet seperti pada Gambar 8. Kontur anomali magnetik setelah ditransformasi reduksi ke kutub terlihat lebih rapat, beraturan dan lebih jelas, dengan nilai anomali magnet berkisar antara -800 nT sampai 900 nT.

Anomali sangat rendah, ditunjukkan pada skala warna biru, dan anomali tinggi ditandai dengan warna hijau sampai warna putih, artinya dengan melihat nilai anomali magnet pada skala warna kontur reduksi ke kutub dapat diprediksi

lokasi dari benda penyebab anomali yang terdapat di daerah tersebut. Dan berdasarkan keterangan tersebut (Gambar 8) nilai anomali magnet sangat rendah sampai rendah cenderung berada di bagian Selatan yang mengarah hampir Barat Daya-Timur Laut.



Gambar 8. Kontur reduksi ke kutub

Pemodelan. Pemodelan diproses menggunakan aplikasi *mag2dc* yang secara umum memasukan nilai inklinasi, deklinasi lokasi pengukuran yang bernilai $-22,45^\circ$ dan $1,7^\circ$, nilai IGRF area penelitian serta nilai rata-rata suseptibilitas batuan yang terdapat di area penelitian, yang diperoleh berdasarkan peta geologi lembar Ambon yang kemudian dikorelasikan jenis batumannya terhadap sebaran nilai suseptibilitas dari dari Telford, Geldart, dan Sheriff [7]. Kemudian dalam pemodelan bentuk dari *body* anomali dan nilai parameter suseptibilitas diubah secara *trial and error* sampai kurva model anomali sesuai dengan kurva *observed* (data lapangan). Nilai suseptibilitas yang diperoleh dari hasil ubahan (*trial and error*) nilai parameter suseptibilitas dikenal dengan kontras suseptibilitas, nilai inilah yang kemudian diinterpretasi sesuai dengan tujuan penelitian yang akan dicapai. Analisis persentase *error* dalam pemodelan, dihitung dengan persamaan berikut [6].

$$R_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{X_{Li} - X_{Mi}}{X_{Li}} \times 100\% \quad (4)$$

dimana,

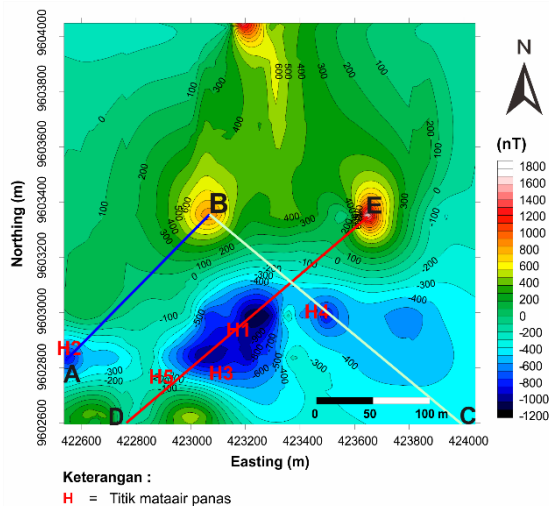
R_M : Ralat atau nilai error rata-rata

X_L : Data lapangan (*observed field*)

X_M : Data hasil model (*calculated field*)

n : Jumlah data

Kecilnya persentase *error*, berarti semakin signifikan model yang dihasilkan, begitupun sebaliknya, jika persentase *error* besar, maka signifikansi model yang dihasilkan juga akan semakin kecil.



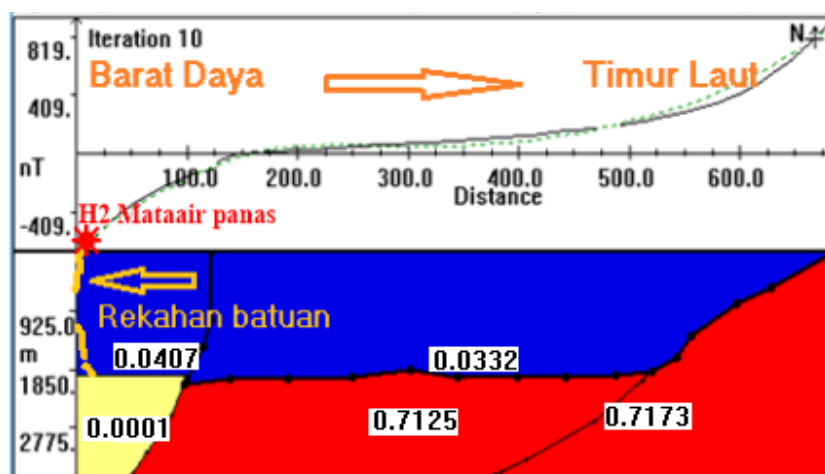
Gambar 9. Sayatan pada kontur anomali magnet sisa

Sayatan untuk pemodelan dilakukan terhadap anomali magnet sisa, yang terdiri dari tiga lintasan yaitu AB, BC dan DE, yang ditunjukkan pada Gambar 9. Lintasan AB membentang dari titik koordinat 422546,5 meter, 9602835 meter sampai 423057,3 meter, 9603351 meter dengan panjang lintasan 684,7

meter berarah dari barat daya ke timur laut, terdiri dari 65 titik data, dengan variasi anomali magnetik berkisar antara -768,88 nT sampai 959,53 nT.

Lintasan BC berarah dari Barat Laut ke Tenggara, pada koordinat 423057,3 mE dan 9603351 mN sampai 423979,2 mE dan 9602605 mN, memiliki panjang lintasan 1140,4 meter, dengan variasi anomali magnetik antara -336,6 nT sampai 959,53 nT yang terdistribusi pada 107 titik data. Sedangkan lintasan DE berada di koordinat 422752,1 mE dan 9602611 mN sampai 423649 mE dan 9603351 mN, dimana variasi anomali magnetik antara -69 nT sampai 1772,31 nT tersebar pada 104 titik data, dengan panjang lintasan 1105,7 meter. Adapun hasil pemodelan pada penampang lintasan AB ditunjukkan pada Gambar 10.

Model penampang bawah permukaan anomali lintasan AB diinterpretasikan berdasarkan sebaran kontras suseptibilitas batuan. Agar tidak disebut mengalami kesalahan konsep maka ditegaskan kembali bahwa kontras suseptibilitas pada pemodelan ini merupakan nilai suseptibilitas yang diperoleh dari perubahan secara *trial and error* dari nilai suseptibilituan yang menjadi parameter ketika melakukan pemodelan menggunakan aplikasi *mag2dc*, dimana nilai tersebut mengacu pada data geologi lembar Ambon. Dengan demikian formasi batuan di lintasan AB dapat diinterpretasikan sebagai berikut.



Gambar 10. Model Penampang Melintang Lintasan AB

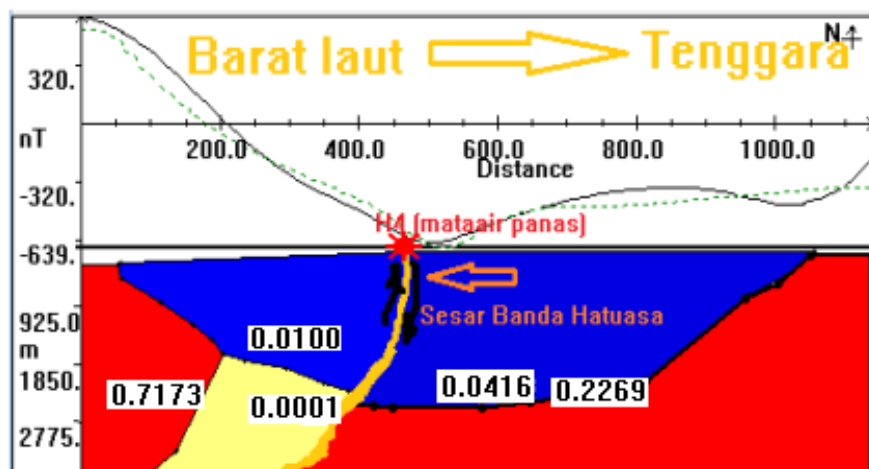
Formasi batuan dengan kontras suseptibilitas $k = 0,0407$ SI sampai $0,0332$ SI (warna biru) ditafsirkan sebagai batuan

lempung yang merupakan ubahan dari batuan aluvial (Qa), tersebar pada permukaan sampai kedalaman 925 meter di bawah permukaan,

formasi ini diduga merupakan lapisan penudung yang berfungsi menahan hilangnya panas dari sistem air panas di lintasan ini. Sedangkan formasi batuan berwarna merah dengan kontras suseptibilitas $k = 0,7125$ SI sampai $0,7173$ SI diinterpretasikan sebagai batuan gunungapi Ambon (Tpav). Pada anomali magnet rendah -768,88 nT dan di kedalaman 1850 meter sampai 2775 meter diduga terdapat formasi batuan gunungapi Ambon (Tpav) yang telah mengalami penurunan kontras suseptibilitas menjadi $k = 0,0001$ SI akibat terpanaskan. Namun demikian di lintasan ini tidak terdapat sesar, sehingga formasi batuan yang mengalami ubahan tersebut tidak bisa dipastikan apakah formasi batuan reservoir atau hanya batuan beku besar. Adapun persentase *error* hasil penampang model lintasan AB hanya 0,26 %. Penampang model lintasan BC yang

ditunjukkan pada Gambar 11, memiliki *error* 0,57 %.

Berdasarkan hasil pemodelan lintasan BC diketahui, formasi batuan dengan kontras suseptibilitas $k = 0,0100$ SI sampai $0,0416$ SI (warna biru) diinterpretasikan sebagai batuan lempung, formasi ini diduga menjadi batuan penudung, formasi batuan di lintasan BC ini terdistribusi pada anomali magnetik -404,21 nT hingga 467,71 nT. Untuk formasi batuan yang memiliki kontras suseptibilitas $k = 0,2269$ SI sampai $0,7173$ SI (warna merah) ditafsirkan sebagai batuan gunungapi Ambon (Tpav), formasi batuan Tpav ini tersebar pada anomali magnetik tinggi 959,53 nT sampai anomali magnetik rendah -943,63 nT di atas permukaan sampai melalui bawah permukaan formasi batuan lempung di kedalaman 2775 meter di bawah permukaan.



Gambar 11. Model Penampang Melintang Lintasan BC

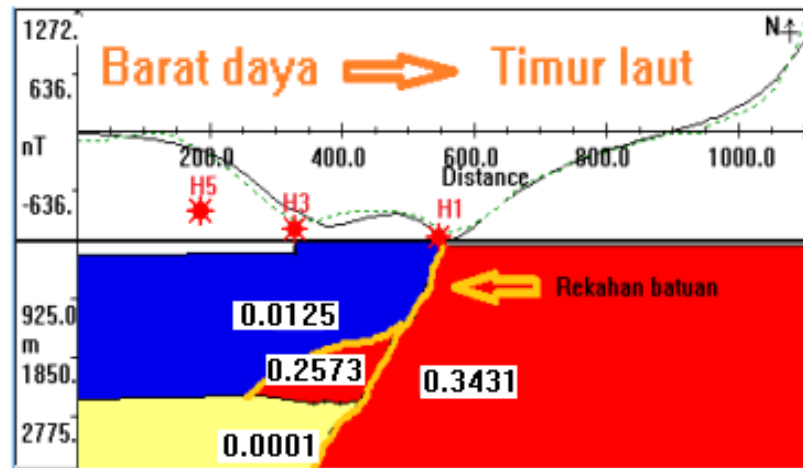
Namun demikian, pada nilai anomali magnet -943,63 nT di kedalaman antara 1850 meter dan 2775 meter di bawah permukaan diduga formasi batuan gunungapi Ambon (Tpav) telah teralterasi sangat kuat sehingga batuannya mengalami perubahan dan penurunan nilai kemagnetan serta penyimpangan kontras suseptibilitas menjadi $0,0001$ nT sebagai efek dari akumulasi panas. Sayatan untuk pemodelan lintasan BC melewati sesar Banda Hatuasa sehingga diduga batuan yang mengalami alterasi kuat tersebut sebagai formasi batuan reservoir, dan diperkirakan di bawah lapisan ini terdapat batuan sumber panasbumi (*host rock*). Di atas permukaan area dugaan formasi batuan reservoir terdapat penampakan manifestasi mataair panas dengan suhu permukaan

mencapai 65°C .

Estimasi untuk model penampang melintang lintasan DE Gambar 12 dengan persentase *error* 5,30 %. Formasi batuan dengan kontras suseptibilitas $k = 0,0125$ SI (warna biru) diinterpretasikan sebagai batuan lempung, formasi ini terdapat di atas permukaan sampai kedalaman 1850 meter di bawah permukaan. Pada anomali magnetik rendah -760,78 nT sampai anomali tinggi 1453,92 nT terdapat formasi batuan yang ditunjukkan berdasarkan kontras suseptibilitas $k = 0,2573$ SI sampai $0,3431$ SI (warna merah) diinterpretasikan sebagai batuan gunungapi Ambon (Tpav), pada kedalaman 1850 meter sampai 2775 meter diduga batuan gunungapi Ambon (Tpav) telah mengalami demagnetisasi,

yang menyebabkan kontras suseptibilitasnya turun menjadi 0,0001 SI. Di lintasan DE terdapat tiga titik manifestasi mataair panas dengan kuantitas temperatur berkisar antara 53°C sampai 65°C, akan tetapi keberadaan titik-titik mataair panas tersebut kemungkinan

disebabkan oleh rekahan batuan atau rembesan saja atau, karena di lintasan ini tidak terdapat patahan atau sesar. Adapun batuan gunungapi Ambon (Tpav) yang mengalami demagnetisasi di lintasan DE tersebut diduga hanya batuan beku besar saja.



Gambar 12. Model Penampang Melintang Lintasan DE

KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh, diduga bahwa formasi batuan reservoir terbentuk dari batuan gunungapi Ambon (Tpav) yang telah mengalami demagnetisasi sehingga kontras suseptibilitas turun menjadi 0,0001 SI terletak dikedalaman 1850 sampai 2775 meter di bawah permukaan.

Selain itu, formasi batuan penutup terbentuk dari batuan lempung yang merupakan bagian dari aluvial (Qa) dengan kontras suseptibilitas antara 0,0102 SI sampai 0,0416 SI terletak di atas formasi batuan reservoir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tjokrosapoetra, S., Rusmanan E., dan Suharsono, (1994). *Geologi Lembar Ambon, Maluku*, Departemen Pertambangan dan Energi Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung
- [2] Japan International Cooperation Agency (JICA), (2007). Pre-Feasibility Study for Geothermal Power Development Projects in Scattered Islands of East Indonesia, *Study Report*. Engineering and Consulting Firms Association. Japan.
- [3] Marini, L. and Susangkyono, A.E., 1999. Fluid Geochemistry of Ambon Island (Indonesia), *Geothermics*, **28**: 184-204
- [4] Sleep, N. H., dan Fujita, K., (1997). *Principles of Geophysics*. Printed and bound by Hamilton Printing Co: USA.
- [5] Cordell, L., and Grauch, V.J.S., (1985). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juanbasin, New Mexico, in *The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomaly Maps*, William J. SEG
- [6] Sunaryo, (2001). Pendugaan Struktur Kantong Magma Gunung Apu Kelut Berdasarkan Survei Magnetik. *Tesis*, UGM Yogyakarta.
- [7] Telford W. M., Geldart L. P., and Sheriff R. E., 1990. *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press. USA.