

PENGOLAHAN DATA LANDSAT DAN GRAVITASI SEBAGAI INDIKASI PANASBUMI DAERAH RANA KULAN, NTT

LANDSAT AND GRAVITY DATA PROCESSING AS A GEOTHERMAL INDICATION OF THE RANA KULAN, NTT

Pangeran Brandon Imran^{1*}, Erwin Fernanda², Sthevanie Dhita Sudrazat³

^{1,2,3}Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Eksplorasi dan Produksi, Universitas Pertamina

Received: 2020, October 27th

Accepted: 2021, March 7th

Keyword:

Geothermal;

Gravity;

Landsat 8;

Non-Linear Inversion;

SVD.

Correspondent Email:

brandanimran@gmail.com

How to cite this article:

Imran, P.B., Fernanda, E., & Sudrazat, S.D. (2021).
Pengolahan Data Landsat dan
Gravitasi Sebagai Indikasi
Panasbumi Daerah Rana
Kulan, NTT. *Jurnal Geofisika
Eksplorasi*, 07(01), 41-51.

© 2021 JGE (Jurnal Geofisika
Eksplorasi). This article is an open
access article distributed under the

Abstrak. Pemanfaatan panasbumi Indonesia hingga kini baru mencapai 4% dari seluruh cadangan yang tersedia. Sedangkan Indonesia memiliki cadangan panasbumi sebesar 29000 MW yang merupakan 40% dari cadangan dunia. Oleh karena itu, dibutuhkan pemetaan daerah prospek panasbumi untuk mendukung studi awal dalam melakukan eksplorasi panasbumi. Pengolahan data Landsat 8 dilakukan dengan metode NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) sedangkan data gravitasi menggunakan metode SVD (*Second Vertical Derivative*) serta Inversi Non-Linear. Penelitian ini menghasilkan peta suhu permukaan tanah, peta persebaran anomali gravitasi dan model 2D struktur geologi daerah penelitian yang didukung oleh peta geologi. Hasil pengolahan dan interpretasi data menunjukkan bahwa patahan merupakan struktur utama dan minor di Rana Kulan yang berasosiasi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi. Dengan demikian, hal ini menunjukkan bahwa daerah Rana Kulan memiliki potensi panasbumi yang dapat dikaji lebih lanjut pada penelitian selanjutnya.

Abstract. Utilization of Indonesia's geothermal energy has only reached 4% of all available reserves. Meanwhile, Indonesia has geothermal reserves of 29000 MW which constitute 40% of the world's reserves. Therefore, it is necessary to map the geothermal prospect area to support the initial study in conducting geothermal exploration. Landsat 8 data processing was carried out using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) method while the gravity data used the SVD (Second Vertical Derivative) method and Non-Linear Inversion. This research produces a map of land surface temperature, a map of the distribution of gravity anomalies and a 2D model of the geological structure of the study area supported by a geological map. The results of data processing and interpretation indicate that the fault is a major and minor structure in Rana Kulan which is associated with high soil surface temperatures. Thus, this

1. PENDAHULUAN

Cadangan bahan bakar fosil semakin menipis seiring berjalannya waktu, sedangkan kebutuhan energi semakin meningkat, sehingga dibutuhkan energi terbarukan untuk membantu memenuhi kebutuhan tersebut, salah satunya adalah energi panasbumi. Energi panasbumi merupakan salah satu energi yang dapat diperbaharui untuk dapat mencukupi ketersediaan energi selama kondisi lingkungan dapat terjaga keseimbangannya. Pemanfaatan energi panasbumi di Indonesia baru mencapai 4% dari 29000 MW cadangan yang tersedia (Hutahaean & Silaban, 2017). Sehingga pemetaan panasbumi secara menyeluruh dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi pada eksplorasi lebih lanjut. Salah satu daerah yang menjadi perhatian khusus penelitian ini adalah Rana Kulan, NTT, Indonesia.

Berdasarkan laporan Kementerian ESDM, Daerah Rana Kulan memiliki bukti manifestasi berupa mata air panas dengan suhu 37.3°C (Direktorat Panas Bumi, 2017). Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa lebih lanjut pemetaan *Land Surface Temperature* dan anomali gravitasi untuk memperluas prospek panasbumi sehingga peluang menemukannya potensi panasbumi lebih besar. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat meningkatkan efisiensi studi awal untuk penentuan titik produksi panasbumi di Indonesia.

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk menentukan karakteristik struktur geologi berdasarkan hasil SVD dan inversi nonlinear pada data gravitasi, menentukan karakteristik suhu permukaan tanah daerah penelitian berdasarkan hasil *Land Surface Temperature* (LST), serta menentukan daerah potensi panasbumi berdasarkan hasil integrasi antara *Land Surface Temperature* dan struktur geologi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional

Daerah Rana Kulan termasuk dalam busur vulkanik (*volcanic arc*) di kepulauan Nusa Tenggara yang terbentuk akibat subduksi lempeng Indo-Australia di bawah busur Sunda-Banda pada masa Tersier (Darman, 2000). Pada daerah ini terdapat struktur geologi berupa sesar normal sebagai pengontrol kemunculan mata air panas, sesar geser jurus mengangan, lipatan, dan kelurusan. (Kasbani, 2009) menyatakan bahwa sistem panasbumi disusun oleh batuan vulkanik menengah yang mengandung andesit-basalt.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Ruteng skala 1:125,000 oleh Koesoemadinata dkk. (1994), daerah penelitian (Gambar 1 dan 2) terdiri atas enam formasi, yaitu Formasi Kiro (satuan batuan breksi dengan komponen batuan andesit dan basal, lava dan tuf dengan sisipan batupasir tufan), Formasi Bari (satuan batuan batugamping berselingan dengan batugamping pasiran), Formasi Nangapanda (satuan batuan batupasir yang memiliki komponen andesit dan basalt, dan batu gamping), Formasi Waihekan (satuan batuan batugamping klastika), Formasi Laka (satuan batuan Tuf, setempat berselingan dengan batupasir tufan; setempat bersisipan batupasir gampingan) dan Formasi Diorit Kuarsa.

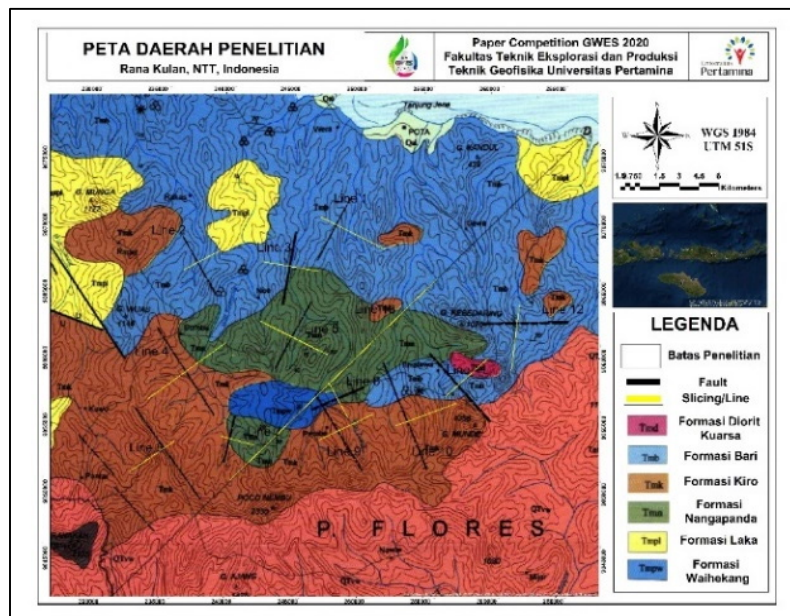
2.2. Metode Gravitasi

Metode gayabarat (gravitasi) merupakan metode geofisika yang didasarkan oleh Hukum Newton tentang gravitasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Dengan Hukum Gravitasi Newton dinyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua buah benda adalah sebanding dengan massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak antara pusat massa kedua benda tersebut yang dapat

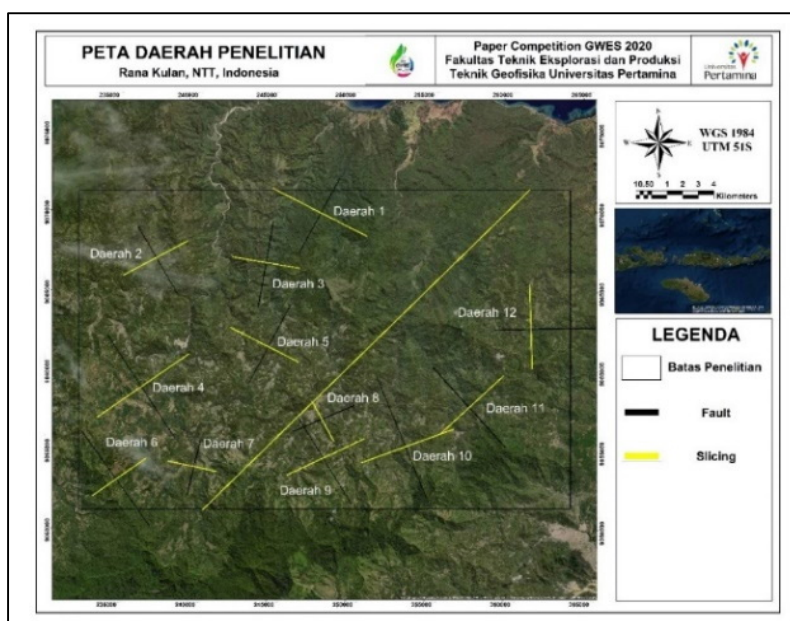
dihitung dengan persamaan di bawah ini (Hinze dkk., 2013).

$$F = G \frac{M m}{R^2} \hat{r} \quad (1)$$

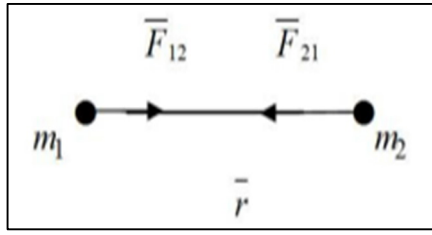
Dimana, F (N) merupakan gaya tarik-menarik antara dua benda yang memiliki massa, G ($6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2 \text{kg}^{-2}$) adalah konstanta gravitasi, M (kg) adalah massa benda pertama, m (kg) adalah massa benda kedua, dan R (m) adalah jarak antara kedua benda.



Gambar 1. Peta litologi daerah penelitian.



Gambar 2. Peta sesar dan *slicing* SVD.



Gambar 3. Gaya tarik menarik antara m_1 dan m_2 pada jarak r .

2.3. Second Vertical Derivative (SVD)

Metode *Second Vertical Derivative* (SVD) digunakan untuk mendukung interpretasi jenis struktur data anomali *Bouguer* yang diakibatkan oleh struktur patahan turun atau patahan naik (Sarkowi, 2011). Persamaan SVD (Telford dkk., 1990) adalah sebagai berikut:

$$\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta z^2} = \left(\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \Delta g}{\delta y^2} \right) \quad (2)$$

Untuk data 1D persamaannya menjadi persamaan (3) berikut:

$$\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta z^2} = - \left(\frac{\delta^2 \Delta y}{\delta x^2} \right) \quad (3)$$

Berdasarkan penelitian Sarkowi (2011), jenis struktur sesar dapat dilihat dari hasil slicing data SVD. Apabila nilai absokut maksimum kurva lebih besar dibanding nilai obsolut minimum kurva maka jenis patahannya adalah patahan normal, dan sebaliknya menunjukkan patahan naik.

$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial} \right|_{maks} > \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \right|_{min} \quad (4)$$

$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial} \right|_{maks} < \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \right|_{min} \quad (5)$$

2.4. Inversi Non-Linear

Perhitungan inversi non-linear menggunakan turunan rumus metode Newton dengan asumsi $H=0$ (matriks Hessian) seperti yang ditunjukkan oleh rumus berikut:

$$m_{n+1} = m_n + (J_n^T J_n)^{-1} \cdot (J_n^T [d_n - g(m_n)]) \quad (6)$$

Dengan $g_n = (m_1, m_2, \dots, m_k) = d_n$, untuk setiap k bilangan asli, $m_k(0)$ adalah parameter awal ke - k , dan matriks Jacobian dirumuskan sebagai berikut:

$$J = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial g}{\partial m_1} \right)_1 (m_1(0)) & \dots & \left(\frac{\partial g}{\partial m_k} \right)_1 (m_k(0)) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial g}{\partial m_1} \right)_n (m_1(0)) & \dots & \left(\frac{\partial g}{\partial m_k} \right)_n (m_k(0)) \end{bmatrix} \quad (7)$$

2.5. LST (Land Surface Temperature)

Suhu permukaan merupakan suhu bagian terluar dari suatu objek yang bergantung pada sifat fisik permukaan objek berupa emisivitas. Pemetaan suhu permukaan atau Land surface temperatur dilakukan untuk mengetahui wilayah distribusi spasial yang mempengaruhi kenaikan temperatur permukaan tanah. Objek yang memiliki emisivitas, kapasitas panas rendah, dan konduktivitas termal tinggi akan mengalami peningkatan suhu permukaan, sedangkan sebaliknya, akan mengalami penurunan suhu permukaan (Ariyadi, 2007).

Untuk mendapat LST atau suhu permukaan tanah yang dikoreksi emisivitas T_s dihitung sebagai berikut:

$$T_s = \frac{BT}{\left\{ 1 + \left[\left(\frac{\lambda BT}{\rho} \right) \ln \epsilon_\lambda \right] \right\}} \quad (8)$$

Dimana T_s adalah LST dalam Celcius, BT pada sensor BT ($^{\circ}\text{C}$), λ adalah Panjang gelombang emisi yang dipancarkan (dimana respon puncak dan rata-rata dari batasan gelombang ($\lambda = 10,895$ (Markham & Barker, 1985) akan digunakan), ϵ_λ adalah emisivitas berdasarkan kalkulasi oleh Weng dkk. (2004).

Dalam menentukan nilai LST dibutuhkan beberapa koreksi seperti koreksi atmosfer dengan memasukkan *band* 10. Kemudian dilakukan konversi radiasi atmosfer ke sinar inframerah menggunakan data *spectral radiance* ke *brightness temperature* menggunakan konstanta termal dalam *file* LANDSAT.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Data Penelitian

Untuk data penelitian yang digunakan terdiri dari 2 jenis data yaitu:

a. Data Utama

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gravitasi dan data Landsat 8. Data gravitasi didapatkan dari data satelit yang diunduh pada *website* Topex.org. Sedangkan data Landsat 8 didapatkan dari data satelit pada *website* USGS. Data Landsat 8 merupakan data yang digunakan untuk metode penginderaan jauh yang memiliki 11 macam saluran (*band*) dengan resolusi spasial yang berkisar 15 x 15 meter hingga 100 x 100 meter (United States Geological Survey, 2016).

b. Data Pendukung

Data Pendukung merupakan data yang digunakan untuk mendukung hasil analisa data utama. Data Pendukung yang digunakan di penelitian ini adalah peta lembar geologi Ruteng, data geologi, dan literatur yang terkait dengan pembahasan.

3.2. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

- Daerah *slicing* tegak lurus dengan arah sesar pada peta lembar geologi Ruteng dan dapat dilihat pada Gambar 2.
- Belum ada validasi dari hasil pengolahan data di lapangan daerah penelitian
- Fokus dari penelitian ini adalah pemetaan panas bumi yang bersifat kualitatif, dengan maksud untuk penentuan prioritas studi lanjut terkait daerah penelitian.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Data Utama

Penelitian ini dilakukan dengan prosedur penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sebelum pengolahan data, dilakukan pengunduhan data Landsat 8 dan data gravitasi. Setelah itu, dilakukan

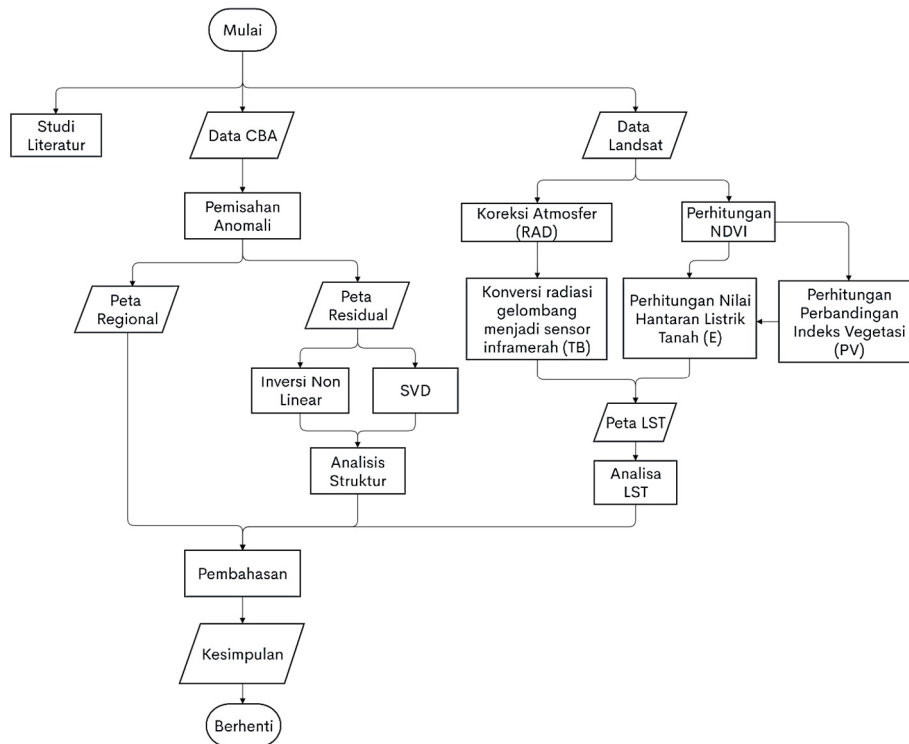
pengolahan data untuk data Landsat terlebih dahulu melalui *software* ArcGIS. Pada data Landsat, penulis menggunakan *band* 4, 5, dan 10. Pada data Landsat *band* 10, kita melakukan koreksi atmosfer dan sensor inframerah menggunakan *Radiative flash transfer model* dengan *6S simulation model* untuk Landsat 4-7, dan *Internal algorithm* untuk Landsat 8 (United States Geological Survey, 2014).

Setelah itu, penulis melakukan perhitungan nilai NDVI menggunakan *band* 4 dan *band* 5. Setelah didapatkan nilai NDVI, penulis melakukan perhitungan nilai emisivitas. Setelah itu, penulis melakukan perhitungan nilai temperatur berdasarkan hasil koreksi data *band* 10 dan nilai emisivitas. Dengan demikian, hasil dari perhitungan tersebut merupakan persebaran nilai LST (°C) yang berupa peta (Gambar 5). Data gravitasi diolah menggunakan *software* Oasis Montaj. Data gravitasi diplot menjadi peta anomali gravitasi Bouguer lengkap. Penulis melakukan pemisahan anomali dengan filter *upward continuation*, sehingga anomali regional dan residual dapat terpisah yang berupa peta regional dan peta residual (Gambar 5).

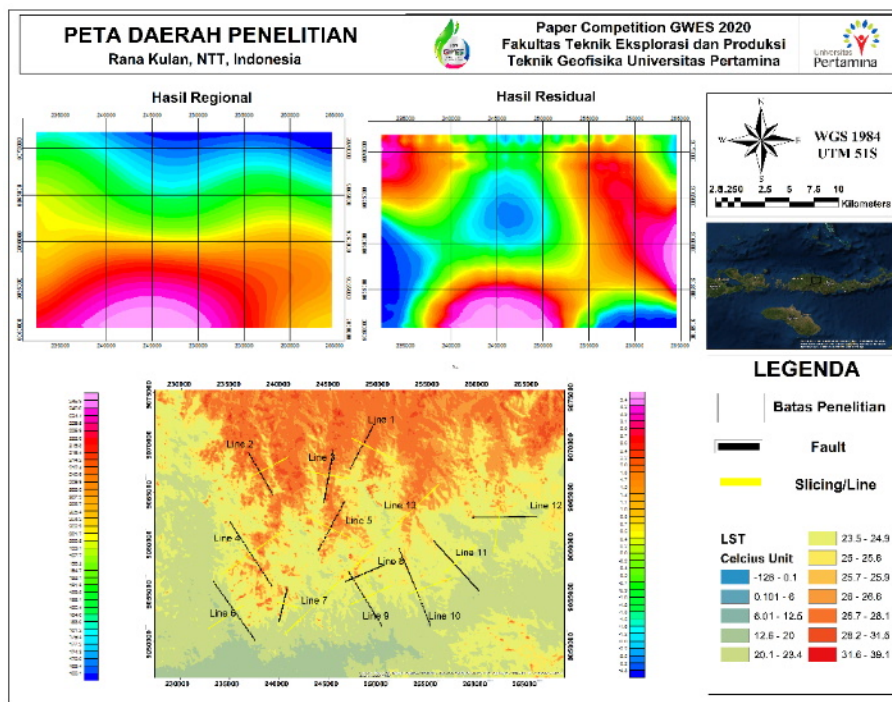
Setelah didapatkan anomali residual, penulis melakukan filter SVD pada data residual. Hasil dari filter tersebut digunakan untuk menganalisa struktur patahan. Setelah itu, penulis melakukan *slicing* data menggunakan *software* Surfer untuk data residual yang sebelum dan sesudah difilter. Data hasil *slicing* (Gambar 6) akan digunakan untuk melakukan pengolahan inversi non-linear dan analisa SVD menggunakan *software* Python.

3.3.2. Klasifikasi Temperatur dan Prioritas Studi Lanjut

Nilai *Land Surface Temperature* (LST) diklasifikasi seperti penelitian yang dilakukan oleh Tampubolon dkk. (2017), kemudian disesuaikan dengan nilai LST secara statistik dari *software* ArcGIS seperti yang ditunjukkan dengan Tabel 1.



Gambar 4. Diagram alir penelitian secara keseluruhan.



Gambar 5. Output pengolahan data: peta anomali gravitasi Bouguer regional; peta anomali gravitasi Bouguer residual; peta *Land Surface Temperature* (LST).

Tabel 1. Klasifikasi LST.

No	Nilai LST (°C)	Klasifikasi
1	-126 – 12.6	Rendah
2	12.7 – 26.5	Sedang
3	26.5 – 39.1	Tinggi

Kemudian analisa potensi panasbumi dilakukan berdasarkan lima klasifikasi prioritas pada Tabel 2 yang merujuk pada penelitian oleh Farras dkk. (2017).

Tabel 2. Prioritas Studi Lanjut.

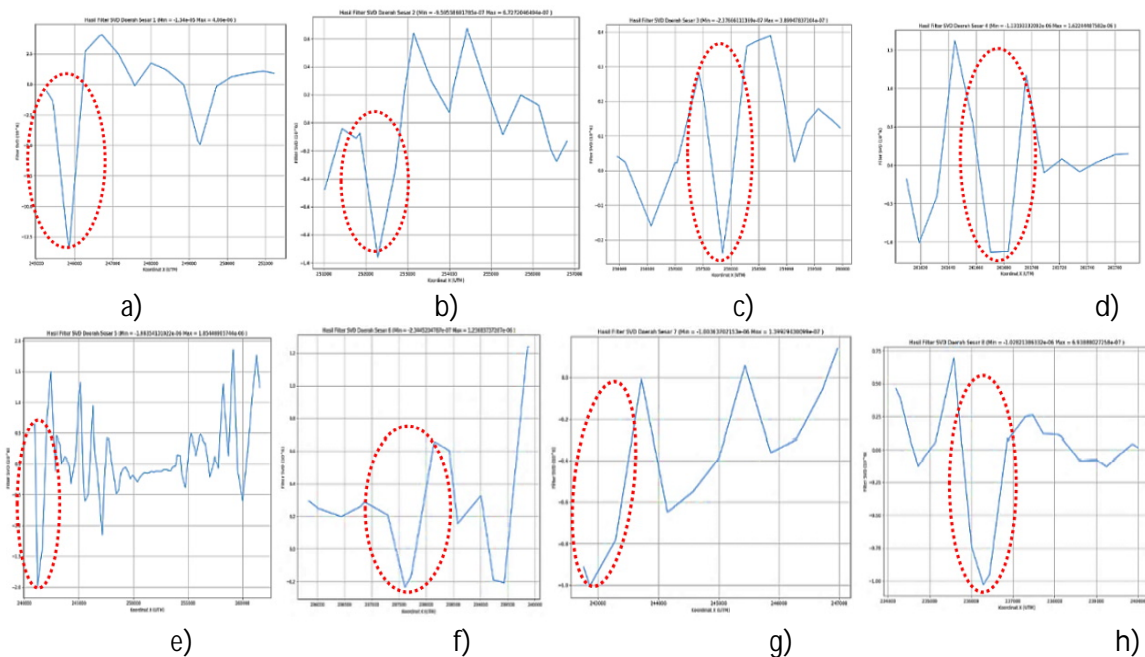
No	Parameter	Prioritas
1	LST tinggi, memiliki struktur, dominasi pemukiman	I
2	LST tinggi, terdapat patahan/sesar, dominasi vegetasi yang lebat	II
3	LST sedang, terdapat patahan/sesar, dominasi pemukiman	III
4	LST sedang, terdapat patahan/sesar, dominasi vegetasi lebat	IV
5	LST rendah, terdapat/tidak terdapat	V

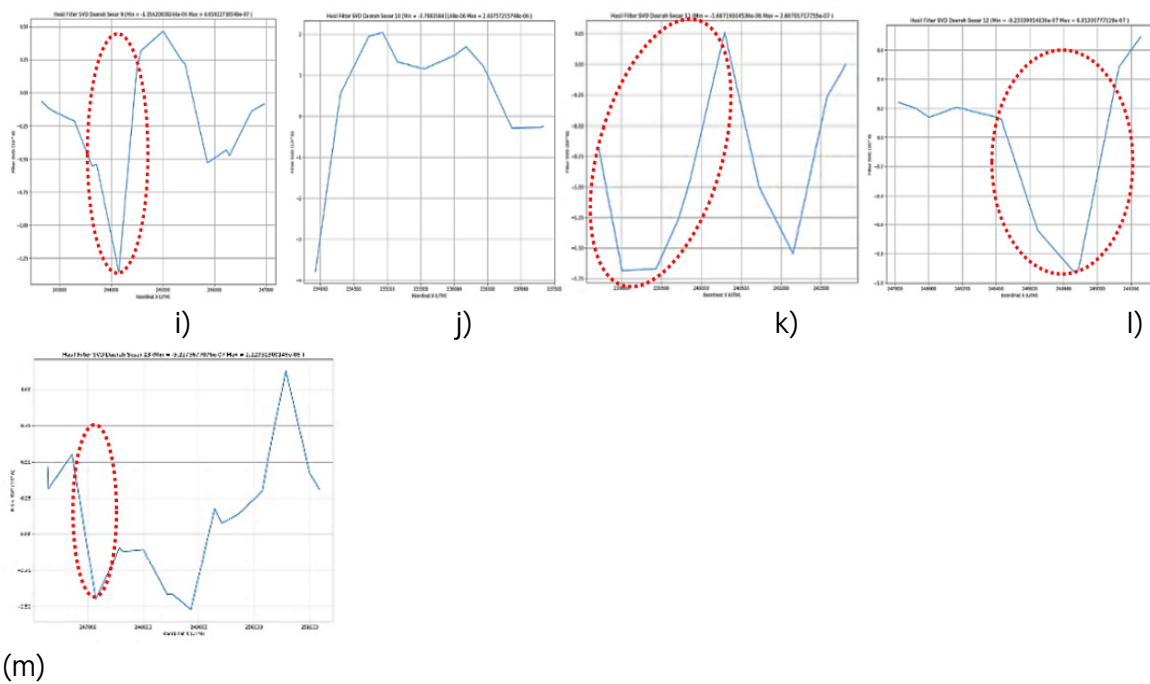
patahan, dominasi pemukiman/vegetasi lebat

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada daerah penelitian, diketahui terdapat 12 *line* berdasarkan hasil digitasi struktur peta geologi lembar Ruteng. *Line* tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga tegak lurus dengan struktur dari peta geologi lembar Ruteng. Tabel 3 merupakan hasil pengolahan data baik data gravitasi maupun data Landsat.

Hasil pengolahan data gravitasi berupa peta residual digunakan untuk mendapatkan nilai *Second Vertical Derivative* (SVD) dalam grafik sehingga dapat ditentukan keberadaan kemenerusan serta jenisnya. Keberadaan sesar pada grafik ditunjukkan dengan perubahan nilai SVD secara tiba-tiba dan signifikan. Dengan dasar tersebut, 12 *line* dari 13 *line* menunjukkan adanya perubahan nilai SVD yang tiba-tiba dan signifikan turun kemudian naik. Perubahan tersebut terlihat kecuali pada *line* 10 yaitu pada koordinat x yang ditunjukkan oleh Tabel 3.





Gambar 6. Grafik SVD: (a) Line 1; (b) Line 2; (c) Line 3; (d) Line 4; (e) Line 5; (f) Line 6; (g) Line 7; (h) Line 8; (i) Line 9; (j) Line 10; (k) Line 11; (l) Line 12, (m) Line 13.

Tabel 3. Hasil Pengolahan Data

Line	Koordinat x (UTM)	Absolute Max (mGal)	Absolute Min (mGal)	Temperatur (°C)	Formasi	Keadaan Lingkungan
1	245900	4.06×10^{-6}	13.4×10^{-6}	26.7 – 28.1	Bari	Vegetasi Lebat
2	252300	0.672×10^{-6}	0.959×10^{-6}	25 – 28.5	Bari	Pemukiman
3	257800	0.389×10^{-6}	0.237×10^{-6}	26 – 26.6	Bari, Nangapanda	Vegetasi Lebat
4	261670 - 261685	1.62×10^{-6}	1.13×10^{-6}	20.1 - 27	Kiro, Nangapanda	Pemukiman
5	242500	1.85×10^{-6}	1.98×10^{-6}	24 – 26.6	Nangapanda	Pemukiman
6	237600	1.236×10^{-6}	0.234×10^{-6}	12.6 - 25	Kiro	Pemukiman
7	242200	0.139×10^{-6}	1.003×10^{-6}	20.1 – 25.5	Kiro, Nangapanda	Pemukiman
8	2326300	0.693×10^{-6}	1.028×10^{-6}	20.1 - 26	Kiro, Nangapanda, Waihekan	Pemukiman
9	244100	4.66×10^{-6}	1.356×10^{-6}	12.6 – 24.9	Kiro	Pemukiman
10	-	2.037×10^{-6}	3.78×10^{-6}	12.6 – 24.9	Kiro	Pemukiman
11	241200	0.26×10^{-6}	1.687×10^{-6}	12.6 - 25	Kiro, Bari, Diorit Kuarsa	Pemukiman
12	248900	0.691×10^{-6}	0.923×10^{-6}	12.6 - 27	Kiro, Bari	Vegetasi Lebat
13	247250	1.129×10^{-6}	0.522×10^{-6}	12.6 – 28.1	Bari, Nangapanda, Kiro, Diorit Kuarsa	Pemukiman

Hasil tersebut menunjukkan bahwa kemenerusan pada peta litologi dapat dikonfirmasi sebagai sesar kecuali untuk *line* 10. Selain itu, *line* 13 yang melewati *line* 9 menjadi validasi bahwa kemenerusan *line* 9 di peta litologi benar merupakan sesar karena dapat ditunjukkan baik oleh *line* 9 maupun *line* 13. Penelitian yang dilakukan oleh Sarkowi (2011) menyatakan bahwa jenis sesar dapat ditentukan berdasarkan nilai absolut minimum dan maksimum dari SVD. Apabila nilai absolut maksimum lebih besar dari absolut minimum menunjukkan patahan normal (turun), dan sebaliknya.

Berdasarkan rujukan penelitian tersebut, pada Tabel 4 ditunjukkan bahwa dari 12 *line* yang terindikasi patahan (sesar), *line* 3, 4, 6, dan 13 menunjukkan jenis patahan normal. Sedangkan *line* 1, 2, 5, 7, 8, 9, 11, dan 12 menunjukkan jenis patahan naik. Keberadaan patahan ini merupakan asal mula manifestasi dari panasbumi. Hal ini juga didukung dari keberadaan mata air panas di sebelah barat tidak jauh dari daerah penelitian. Sehingga semua *line* selain *line* 10 memiliki potensi panas bumi yang cukup tinggi dari keberadaan patahan.

Hasil pengolahan data Landsat menghasilkan nilai temperatur dari daerah penelitian seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3. Persebaran nilai LST berada pada rentang ($-126^{\circ}\text{C} - 39.1^{\circ}\text{C}$), dengan nilai LST tertinggi terletak pada *line* 2 dan nilai LST terendah terletak pada *line* 6. Berdasarkan klasifikasi temperatur Tabel 1, *line* dengan temperatur rendah adalah *line* 6, 9, dan 11. Sedangkan daerah dengan temperatur sedang adalah *line* 4, 5, 7, 8, 10, dan 12. Dan daerah dengan temperatur tinggi adalah *line* 1, 2, dan 3. Temperatur permukaan yang tinggi merupakan indikasi keberadaan manifestasi panasbumi. Sehingga *line* yang memiliki nilai temperatur tinggi memiliki potensi panasbumi yang lebih

tinggi dibanding dengan *line* lain yang memiliki nilai temperatur permukaan lebih rendah.

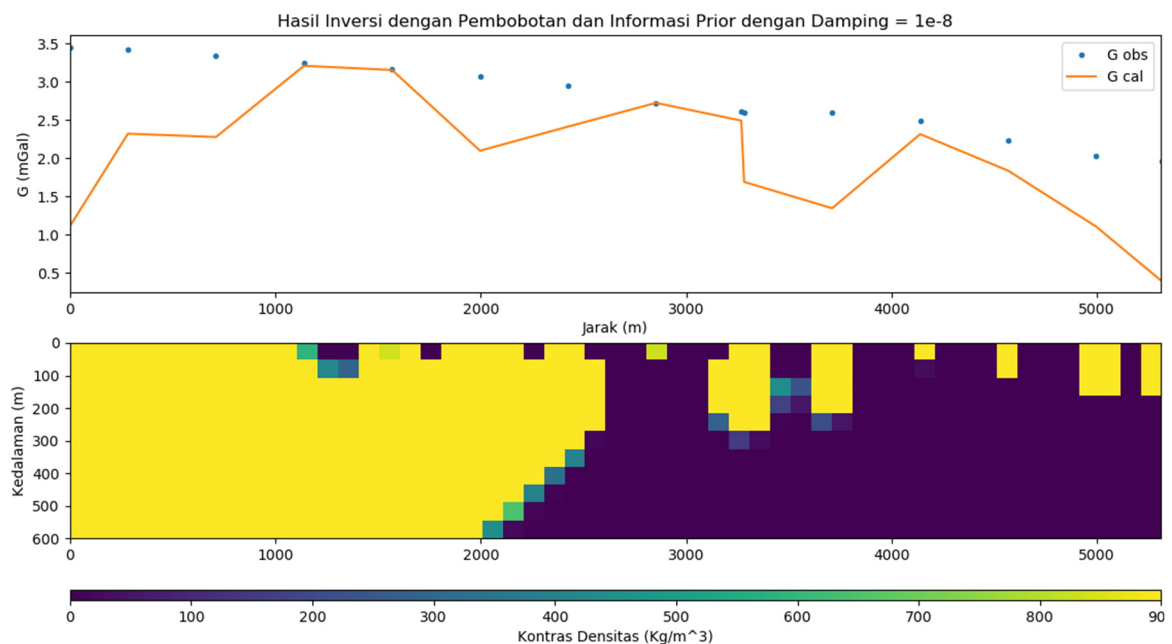
Kasbani (2009) menyatakan bahwa batuan penyusun panasbumi merupakan batuan vulkanik khususnya batuan berumur Miosen Tengah yang memiliki kandungan Andesit-Basalt. Formasi litologi penyusun daerah penelitian ditunjukkan oleh peta litologi (Gambar 2), dimana daerah penelitian tersusun atas enam formasi dan tiga diantaranya memiliki kandungan Andesit-Basalt. Tiga formasi tersebut adalah Formasi Bari, Formasi Kiro, dan Formasi Nangapanda. Seluruh *line* penelitian memiliki satu atau lebih dari tiga formasi tersebut. Hal tersebut menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki kandungan batuan penyusun panasbumi sehingga potensi panasbumi juga tinggi.

Selain faktor pendukung potensi panasbumi, keadaan lingkungan juga perlu diperhatikan dalam melakukan eksplorasi dan eksploitasi lanjutan pada daerah penelitian. Keadaan lingkungan mempengaruhi kemudahan akses transportasi menuju lokasi dan biaya pembangunan infrastruktur. Vegetasi yang lebat dapat menjadi rintangan akses menuju lokasi, dan mengakibatkan pengeluaran biaya pembangunan infrastruktur menjadi lebih tinggi untuk membangun jalan sebagai akses transportasi. Sedangkan pemukiman dapat menguntungkan dalam kemudahan akses transportasi karena telah tersedia dan dapat mengurangi biaya pembangunan infrastruktur. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka *line* dengan keadaan lingkungan berupa pemukiman memiliki potensi panasbumi lebih tinggi daripada *line* dengan keadaan lingkungan berupa vegetasi yang lebat.

Berdasarkan hasil inversi non-linear pada *line* 13 (Gambar 7) terdapat struktur yang ditandai dengan perbedaan kontras densitas dan hal tersebut sesuai dengan peta geologi.

Tabel 4. Rangkuman karakteristik setiap *line*.

<i>Line</i>	Sesar	LST	Keadaan Lingkungan	Andesit-Basalt	Prioritas
1	Naik	Tinggi	Vegetasi Lebat	✓	II
2	Normal	Tinggi	Area Pemukiman	✓	I
3	Naik	Tinggi	Vegetasi Lebat	✓	II
4	Naik	Sedang	Area Pemukiman	✓	III
5	Normal	Tinggi	Area Pemukiman	✓	I
6	Naik	Rendah	Area Pemukiman	✓	V
7	Normal	Sedang	Area Pemukiman	✓	III
8	Normal	Sedang	Area Pemukiman	✓	III
9	Normal	Rendah	Area Pemukiman	✓	V
10	Tidak ada	Rendah	Area Pemukiman	✓	V
11	Normal	Rendah	Area Pemukiman	✓	V
12	Normal	Sedang	Vegetasi Lebat	✓	IV

Gambar 7. Hasil inversi non-linear dengan *error* RMS 1.

5. KESIMPULAN

- Hasil potensi panasbumi paling tinggi berada pada *line* 2 dan *line* 5, dikarenakan pada line tersebut menunjukkan adanya keberadaan sesar dengan temperatur yang tinggi serta kondisi lingkungan yang didominasi oleh pemukiman.
- Hasil dengan potensi panasbumi paling rendah berada pada *line* 6, 9, 10, dan 11,

dengan hasil menunjukkan adanya keberadaan/tidak keberadaan sesar dengan temperatur yang rendah serta kondisi lingkungan yang didominasi oleh pemukiman/vegetasi lebat.

- Kemenerusan yang ditunjukkan pada peta geologi merupakan struktur patahan baik sesar normal maupun sesar naik dari hasil grafik nilai SVD. Struktur berupa sesar

tersebut tervalidasi dari *line* 13 dan *line* 9 yang memotong struktur kemenerusan yang sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Bapak Sandy Kurniawan, P.hD., dan Dicky Ahmad Zaky, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, dan koreksi dalam menyusun paper ilmiah ini. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada keluarga, teman-teman, dan orang tua yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk moril maupun materi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyadi, W. (2007). *Estimasi Evapotranspirasi Spasial Menggunakan Suhu Permukaan Darat (LST) Dari Data Modis Terra/Aqua dan Pengaruhnya Terhadap Kekeringan* [Institut Pertanian Bogor]. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/33247>
- Darman, H. (2000). *An outline of the geology of Indonesia*.
- Direktorat Panas Bumi. (2017). *Potensi Panas Bumi Indonesia. Direktorat Jendral Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Farras, N., Sukmono, A., & Bashit, N. (2017). Analisis Estimasi Energi Panas Bumi Menggunakan Citra Landsat 8 (Studi Kasus: Kawasan Gunung Telomoyo). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 371–380.
- Hinze, W., vonFrese, R., & Saad, A. (2013). *Gravity and Magnetic Exploration, Principles, Practices, and Applications by Hinze, vonFrese and Saad, 2013*.
- Hutahaean, J., & Silaban, R. N. (2017). Penentuan Struktur Bawah Permukaan Panas Bumi Tinggi Raja Kabupaten ismalungun Berdasarkan Data Magnetik. *Jurnal Einstein*, 6, 42–47.
- Kasbani. (2009). *Status Penyelidikan, Potensi dan Tipe Sistem Panas Bumi*. Sumber Daya Panasbumi Indonesia.
- http://psdg.bgl.esdm.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=841&Itemid=611
- Koesoemadinata, S., Noya, Y., & Kadarisman, D. (1994). *Peta Geologi Lembar Ruteng, Nusa Tenggara, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Markham, B. L., & Barker, J. L. (1985). Spectral characterization of the LANDSAT Thematic Mapper sensors. *International Journal of Remote Sensing*, 6(5), 697–716. <https://doi.org/10.1080/01431168508948492>
- Tampubolon, T., Abdullah, K., Lim, H. S., & Yanti, J. (2016). The identification of geothermal with geographic information system and remote sensing in distric of Dolok Marawa. *AIP Conference Proceedings*, 1712, 30011. <https://doi.org/10.1063/1.4941876>
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139167932>
- United States Geological Survey. (2014). *Provisional Landsat 8 Surface Reflectance Data Available*. Diakses pada 20 Agustus 2020 dari: http://landsat.usgs.gov/about_LU_Special_Issue_3.php
- Sarkowi, M. (2011). *Modul Praktikum Pengolahan Data Gayaberat*.
- United States Geological Survey. (2016). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. United State of America, 106 p.
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>