

Analisis Struktur Dan Identifikasi Sistem Panas Bumi Daerah Nage, Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur (NTT) Berdasarkan Data Gayaberat

Hendra Hidayat Akbar¹, Ahmad Zarkasy², Dr. Muh Sarkowi³, Gestin Mey Ekawati¹

¹ Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sumatera

² Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

³ Teknik Geofisika, Universitas Lampung

Corresponding E-mail: hendrahidayat009@gmail.com

Abstract: Exploration of Nage geothermal area in Ngada Regency, Province East Nusa Tenggara uses gravity methods. In the study area there Mount Inerie active volcano which includes strato volcanoes, rock produced lava and pyroclastic rocks, faults and geothermal manifestations. Analyzing fault structure with Second Vertical Derivative (SVD) and identifying subsurface of Forward Modeling on Anomaly map of Residual Moving Average. Results show map value Complete Bouguer Anomaly (CBA) 94 - 136 mGal. Furthermore, Separation Moving Average anomaly, Residual Anomaly value ranges from -18 to 16 mGal. The value Second Vertical Derivative (SVD) anomaly between -11 to 7 mGal. Results of Second Vertical Derivative (SVD) distribution from northwest to southeast, from northeast to southwest and north to south. Forward Modeling 3 Line, Line R - R', W - W' and J - J', Lava Bena (QBi) rock units with a density value of 2.32 gr / cc, Wolo Batulaba Volcanic (QBlv) density value of 2.55 gr / cc, Lava Wolo Piu (QPi) density value 2.38 gr / cc and Pyroclastic Cone Wolo Bobo (QBp) density value of 2.32 gr / cc estimated as Caprock. And identified a reservoir in the unit of Wolo Kenowe Volcanic Rock (TpKv) of 2.65 gr / cc which is 600 - 700 meters deep from surface area of Nage's geothermal manifestation.

Keywords: *Geothermal, gravity, Structure Analysis, Second Vertical Derivative (SVD), Forward Modeling*

Abstrak: Eksplorasi daerah panasbumi Nage di Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur menggunakan metode gayaberat. Di daerah penelitian terdapat gunung api aktif Gunung Inerie termasuk gunungapi stratovulkano, batuan yang dihasilkan berupa lava dan batuan piroklastik, terdapatnya sesar serta manifestasi panasbumi. Bertujuan menganalisis struktur sesar berdasarkan *Second Vertical Derivative (SVD)* dan mengidentifikasi bawah permukaan *Forward Modeling* pada peta Anomali Residual *Moving Average*. Hasilnya menunjukkan nilai peta *Complete Bouguer Anomaly (CBA)* 94 - 136 mGal. Pemisahan anomali *Moving Average*, nilai Anomali Residual berkisar -18 hingga 16 mGal. Nilai anomali *Second Vertical Derivative (SVD)* antara -11 hingga 7 mGal. Untuk hasil *Second Vertical Derivative (SVD)* persebarannya dari barat laut menuju ke tenggara, serta timur laut ke arah barat daya dan arah utara hingga ke selatan. Hasil *Forward Modeling* pada 3 lintasan yaitu lintasan R - R', W - W' dan J - J' terdapat satuan batuan Lava Bena (QBi) nilai densitas 2,32 gr/cc, Vulkanik Wolo Batulaba (QBlv) nilai densitas 2,55 gr/cc, Lava Wolo Piu (QPi) nilai densitas 2,38 gr/cc dan Kerucut Piroklastik Wolo Bobo (QBp) nilai densitas 2,32 gr/cc sebagai Caprock. Dan teridentifikasi reservoir pada satuan batuan Vulkanik Wolo Kenowe (TpKv) 2,65 gr/cc yang kedalamannya sekitar 600 - 700 meter dari permukaan daerah manifestasi panas bumi Nage.

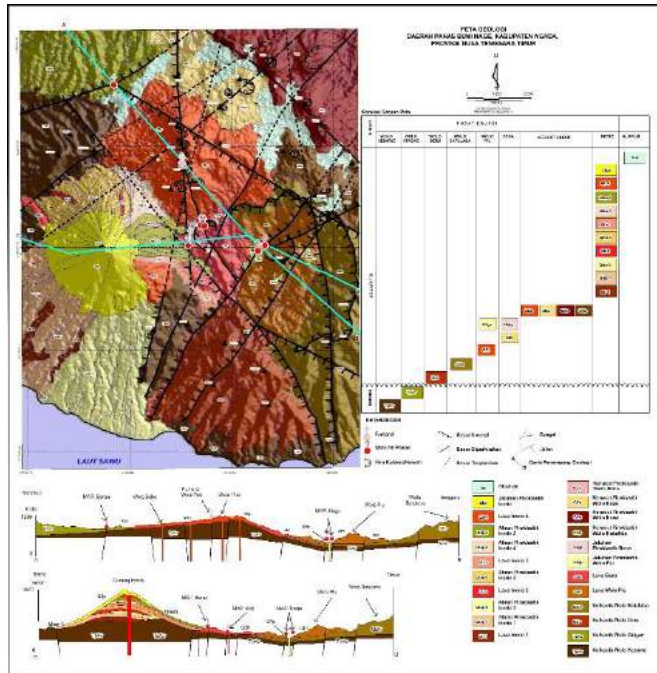
Kata Kunci : *Panasbumi, Gayaberat, Analisis Struktur, Second Vertical Derivative (SVD), Forward Modeling*

Pendahuluan

Eksplorasi daerah prospek panasbumi bertujuan menganalisis keberadaan potensi panasbumi, reservoir, caprock maupun *zona discharge* menggunakan metode geofisika. Metode geofisika dapat menentukan struktur geologi dan komposisi bawah permukaan menggunakan metode gayaberat. Penelitian di daerah panasbumi Nage, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Yang terdapat Gunung Inerie termasuk gunungapi stratovulkano, batuan lava dan batuan piroklastik dan

terdapat manifestasi Mata Air Panas dan Fumarol memiliki temperatur hingga 98°C dan estimasi potensi energi panasbumi di daerah penelitian sekitar 30 MWe (kelas sumber daya hipotesis) (Sukaesih., dkk, 2017). Pada penerapan metode gayaberat tersebut menampilkan dugaan perbedaan densitas batuan bawah permukaan yang membentuk suatu sistem panasbumi serta analisis struktur geologi bawah permukaan. Nantinya dijadikan penelitian dalam melakukan interpretasi yang nantinya hasil interpretasi dapat memberikan informasi mengenai daerah prospek

panasbumi di daerah Nage tersebut analisis struktur geologi bumi daerah panasbumi berdasarkan analisis metode geofisika gayaberat menggunakan metode *Second Vertical Derivative (SVD)* serta *Forward Modeling* 2.5D dengan Peta Anomali Residual *Moving Average* Daerah penelitian di Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Secara geografis, lokasi penyelidikan terleta pada posisi 8°49' - 8°57' Lintang Selatan dan 120°55' - 121°02' Bujur Timur atau pada koordinat 271700 - 285028 mT dan 9009379 - 9026580 mS (UTM WGS 84, zona 51 belahan bumi bagian selatan) dengan luas daerah peyelidikan sekitar 11 x 17 km².



Gambar 1. Peta Geologi Daerah Penelitian

Secara umum, aktivitas vulkanik di daerah penyelidikan dapat dibagi ke dalam lima periode vulkanisme (PSDMBP,2017), yaitu:

- 1) Vulkanisme Tersier yang menghasilkan produk vulkanik Wolo Kenowe dan vulkanik Wolo Atagae
- 2) Vulkanisme Pra-Kaldera berumur Kuarter yang menghasilkan produk vulkanik Wolo Deru dan vulkanik Wolo Batulaba
- 3) Vulkanisme Post-Kaldera berumur Kuarter yang menghasilkan produk vulkanik Wolo Piu dan Bena
- 4) Vulkanisme kerucut sinder menghasilkan produk kerucut piroklastik Wolo Nawa, Wolo Hobolida, Wolo Kapa, dan Wolo Bobo.
- 5) Vulkanisme gunungapi Inerie yang aktivitas vulkaniknya masih aktif sampai sekarang.

Manifestasi panasbumi di daerah penelitian Nage dikelompokkan menjadi lima kelompok, yang terdiri dari fumarol dan air panas. Penamaan dan pengelompokan

manifestasi panasbumi berdasarkan pada tempat atau lokasi keberadaan manifestasi (PSDMBP,2017).

Tabel 1. Nama Lokasi Beserta Temperatur Manifestasi Panasbumi Daerah Penelitian

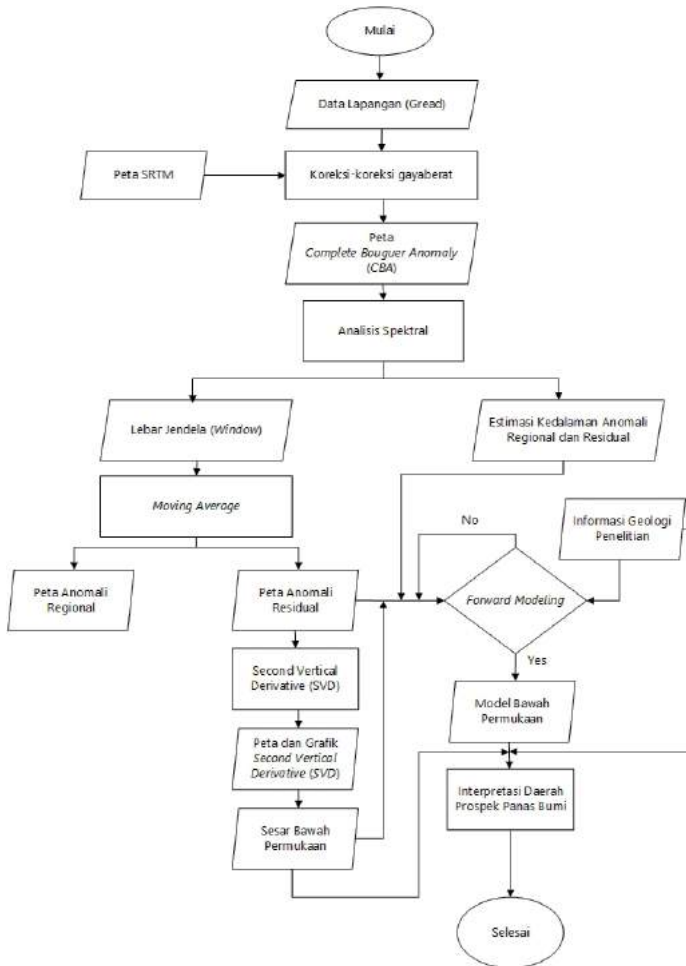
No.	Lokasi	Koordinat (UTM)		Elevasi (m)	Temperatur (C)
		X (m)	Y (m)		
1	Ap. Nage 1	281311	9018083	552	79,99
2	Ap. Nage 2	281050	9017947	518	73,14
3	Ap. Keli 1	278973	9018895	801	67,32
4	Ap. Keli 2	278936	9018174	746	46,13
5	Ap. Borani	275385	9024472	1062	45,15
6	Ap. Bena	278320	9018169	827	35,63
7	Fumarol Wolo Puti	278072	9021298	1435	98,72
8	Fumarol Wolo Puti	278043	9021398	1415	96,76

Struktur geologi yang teramati di lapangan berupa Rim Kaldera yang berdiameter kurang lebih 6 km, Rim Kawah yang terdapat 22 Rim. Serta adanya struktur sesar yang terdiri sesar normal berarah utara-selatan, baratlaut-tenggara dan barat daya-timur laut dan adanya sesar oblique yang berarah baratlaut-tenggara yang terdapat di sebelah timur gunung Inerie (PSDMBP, 2017).

Metodologi

Di Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panasbumi (PSDMBP) didapatkan data penelitian, dimana data yang didapatkan berupa data pengukuran. Data yang didapatkan berupa data *g_{read}*. Pengukuran dilakukan dengan total 249 titik ukur yang tersebar secara acak dengan interval antara 500 m sampai 1000 m. Pengukuran tersebut dengan ketinggian minimum 1,041 meter di pinggir pantai yang terletak di sisi selatan daerah pengukuran dan ketinggian maksimum yakni 2077,211 meter yang merupakan puncak gunung Inerie yang terletak pada sisi barat daerah pengukuran. Data hasil pengukuran gaya berat yang diperoleh di lapangan berupa nilai bacaan alat, waktu pengukuran. Pengolahan data gayaberat dilakukan untuk mendapatkan nilai *Complete Bouguer Anomaly (CBA)* dari hasil beberapa koreksi meliputi: koreksi apungan (*drift*), koreksi pasang surut (tidal) dan koreksi kondisi topografi (ketinggian, medan, *latitude*, dan koreksi Bouguer). Dilakukan analisis spektral untuk pemisahan pada nilai *Complete Bouguer Anomaly (CBA)* hasilnya berupa anomali residual dan anomali regional. Analisis spektral mendapatkan lebar *window* yang digunakan

untuk memisahkan anomali regional dan residual dengan menggunakan metode *Moving Average* Metode *Second Vertical Derivative (SVD)* yang menunjukkan sumber anomali yang bersifat dangkal / residual. Metode *Second Vertical Derivative* juga mampu menampilkan struktur patahan dan sesar. Pada penelitian ini menggunakan operator filter Elkins (1951)



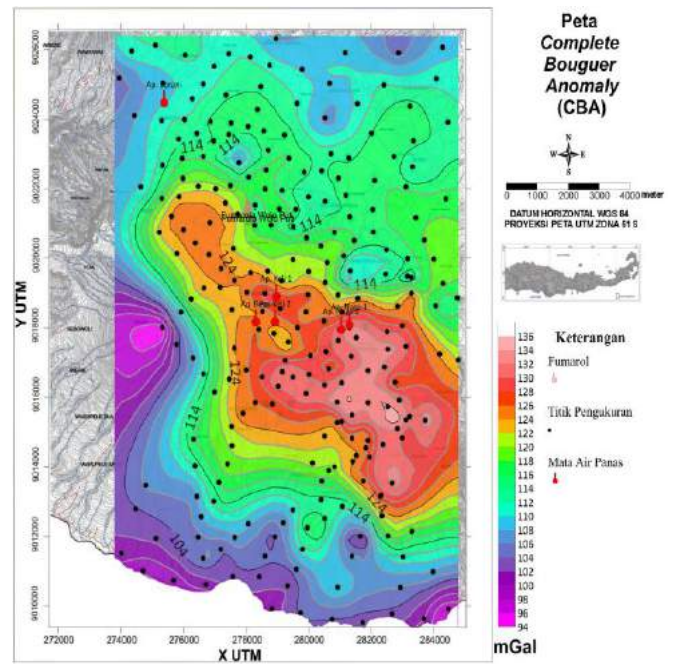
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Pemodelan Ke Depan menggunakan peta anomali residual hasil *Filtering Moving Average* yang diperlukan dasar pembuatan pembuatan pemodelan berupa peta geologi daerah penelitian, peta anomali residual, informasi nilai densitas hasil perhitungan menggunakan metode nettleton maupun parasnis.

Hasil dan Pembahasan

Complete Bouguer Anomaly (CBA) merupakan anomali yang disebabkan oleh variasi densitas secara lateral pada batuan di kerak bumi yang telah berada pada bidang referensi yaitu bidang geoid. Persamaan untuk mendapatkan nilai *Complete Bouguer Anomaly (CBA)* :

$$CBA = g_{\text{observasi}} - g\Phi + FAC - BC + TC \quad (1)$$



Gambar 4. Peta *Complete Bouguer Anomaly (CBA)* daerah penelitian

Dari hasil peta *Complete Bouguer Anomaly (CBA)* tersebut memiliki rentangan nilai anomali di daerah penelitian yakni 94 mGal hingga 136 mGal. Persebaran nilai anomali dibagi menjadi tiga, yakni rentang nilai anomali Bouguer rendah dari 94-108 mGal yang tersebar di daerah barat penelitian yang merupakan disekitar Gunung Inerie dan persebaran hingga di selatan di pinggir pantai daerah penelitian. Selanjutnya rentang nilai anomali Bouguer sedang dari 108-120 mGal terletak dari bagian tengah hingga ke utara daerah penelitian. Dan rentang nilai anomali Bouguer tinggi dari 120-136 mGal di daerah barat Fumarol Wolo Puti yang berlanjut ke tenggara dan selatan daerah penelitian yang dilewati manifestasi-manifestasi gunung api yakni Mata Air Panas Keli, Bena, dan Nage.

Analisis Spektral diawali membuat lintasan yang ditentukan pada peta *Complete Bouguer Anomaly (CBA)*. Pada penelitian ini dilakukan analisis spektral sebanyak enam lintasan untuk mendapatkan nilai berupa nilai bilangan gelombang (k) dan Ln amplitudo (Ln A). Melalui grafik tersebut dengan memisahkan *trend-trend* persebaran titik regional, residual dan efek *Noise* yang nantinya melalui nilai kemiringan (*gradient*) dari bilangan gelombang (k) terhadap Ln amplitudo (Ln A) didapatkan estimasi kedalaman anomali regional maupun residual dan mengetahui nilai lebar jendela (*window*) digunakan untuk pemisahan anomali peta *Complete Bouguer Anomaly (CBA)*.

$$\ln A = |k|(z_0 - z') + \ln C \quad (2)$$

$$N = \frac{2\pi}{k \Delta x} \text{ dan } \lambda = N \cdot \Delta x \quad (3)$$

Tabel 2. Kedalaman Anomali Lintasan Analisis Spektral.

Line	Nilai Kedalaman Anomali Regional (m)	Nilai Kedalaman Anomali Residual (m)
A	5799,4	772,49
B	5569,6	640,95
C	5076,1	955,00
D	5964,9	692,73
E	4992,4	661,68
F	5968,3	688,94
Rata-rata	5561,8	735,3

Hasil analisis spektral dari semua lintasan juga didapatkan nilai *Cut off* bilangan gelombang (k) yang digunakan untuk menentukan nilai lebar jendela (*window*), nilai lebar jendela (*window*) yang didapatkan ialah 19

Tabel 3. Nilai *Cut off* dan Lebar Jendela Analisis Spektral

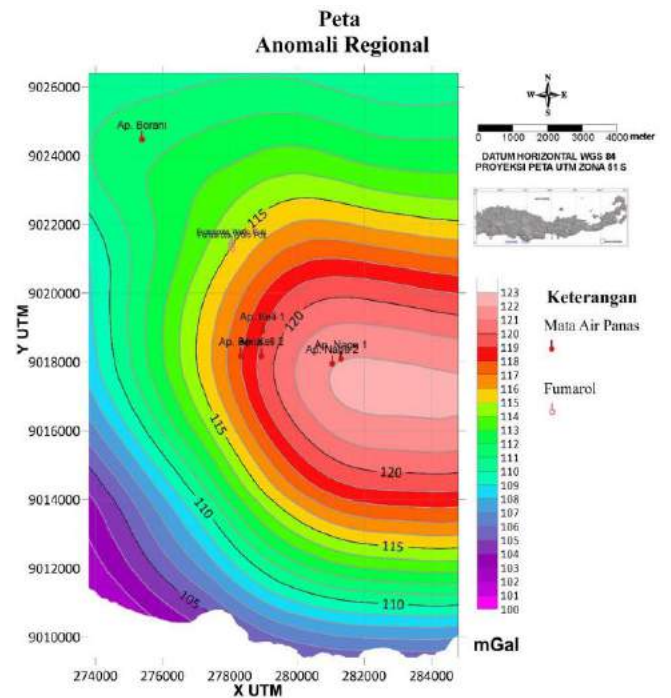
Line	Cutoff Bilangan Gelombang (kc)	Lebar Jendela (<i>Window</i>)
A	0,000634306	19,81918083
B	0,000855427	14,69608677
C	0,000734343	17,1192923
D	0,000606524	20,72699396
E	0,000706465	17,7948479
F	0,000605755	20,75331368
Rata-rata		18,4849526
Nilai Lebar Jendela (w)		19

pemisahan anomali regional dan anomali residual dari peta *Complete Bouguer Anomaly (CBA)* menggunakan *Moving Average* yang dimana hasil pemisahan tersebut didapatkan peta anomali regional, untuk mendapatkan peta anomali residual dengan melakukan mengurangi nilai anomali *Complete Bouguer Anomaly (CBA)* terhadap anomali regional hasil Filtering *Moving Average*.

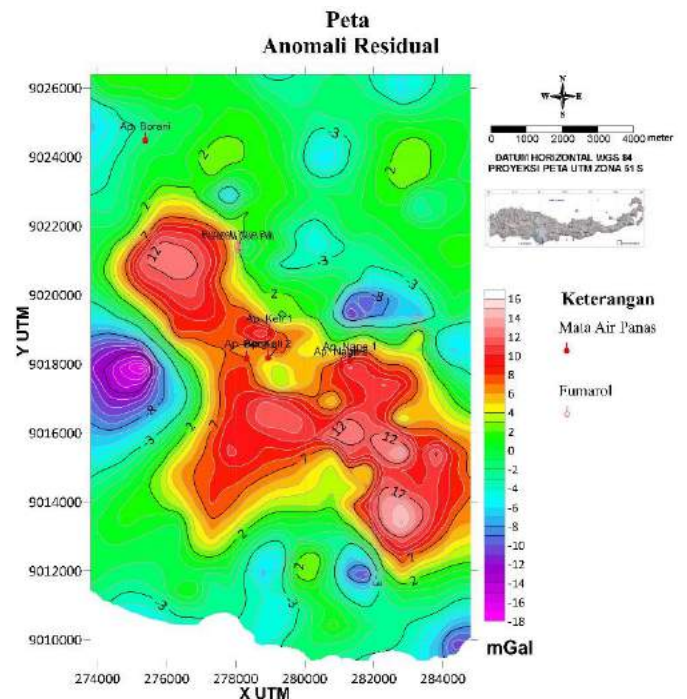
Second Vertical Derivative (SVD) ialah metode pemisahan anomali dimana didapatkan anomali residual. *Second Vertical Derivative (SVD)* tidak dilakukan analisis spektral yang untuk mendapatkan lebar jendela (*window*) seperti yang dilakukan metode *Moving Average*, melainkan didapatkan dari penurunan persamaan Laplace:

$$\nabla^2 U = 0 \quad (4)$$

Untuk penerapan pada metode gayaberat:



Gambar 7. Peta Anomali Regional Daerah Penelitian



Gambar 8. Peta Anomali Residual Daerah Penelitian

$$\frac{\delta^2 \Delta g(x,y,z)}{\delta z^2} = - \left(\frac{\delta^2 \Delta g(x,y,z)}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \Delta g(x,y,z)}{\delta y^2} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\delta^2 \Delta g(x,y,z)}{\delta z^2} = - \left(\frac{\delta^2 \Delta g(x,y,z)}{\delta x^2} \right) \quad (6)$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa *Second Vertical Derivative* dari suatu anomali gayaberat

permukaan sama dengan negatif dari turunan orde dua horizontalnya, data anomali gayabarat di dalam grid teratur dapat menggunakan proses konvolusi untuk mendapatkan anomali SVD tersebut, atau dapat dituliskan menjadi:

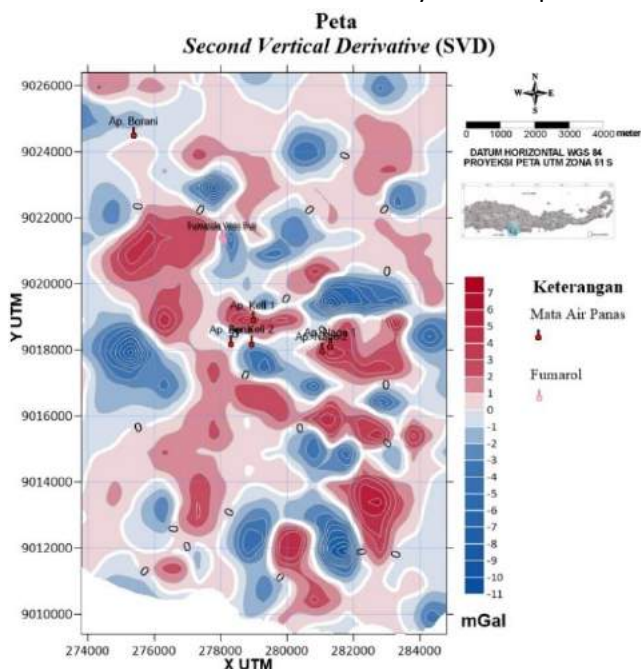
$$\Delta g_{svd}(\Delta x, \Delta y) \approx \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta g(x, y) F(x - \Delta x, y - \Delta y) dx dy \quad (7)$$

Dimana F adalah filter *Second Vertical Derivative* sesuai dengan persamaan (7) dan Δg adalah anomali gayabarat sebagai data input. Dalam penelitian ini menggunakan operator filter *Second Vertical Derivative* Elkins.

Elkins (1951)				
0,0000	-0,0833	0,0000	-0,0833	0,0000
-0,0833	-0,0667	-0,0334	-0,0667	-0,0833
0,0000	-0,0334	+1,0668	-0,0334	0,0000
-0,0833	-0,0667	-0,0334	-0,0667	-0,0833
0,0000	-0,0833	0,0000	-0,0833	0,0000

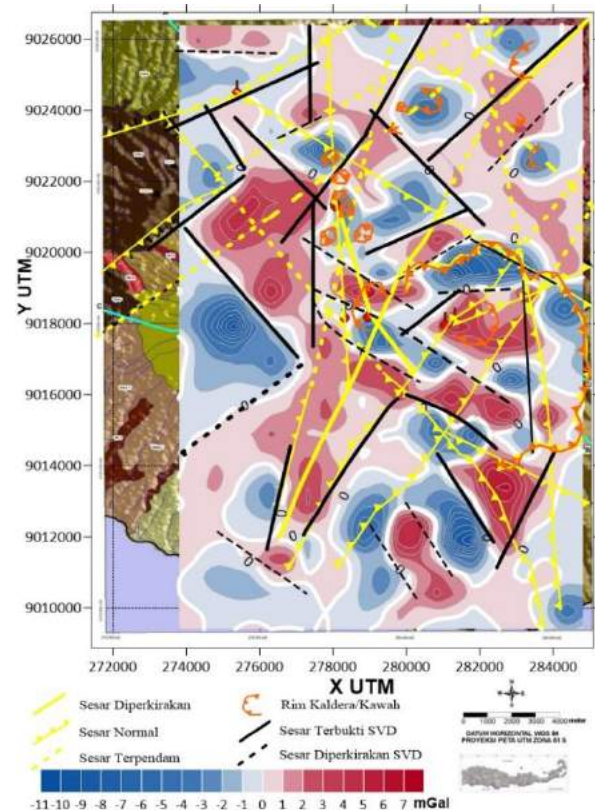
Gambar 9. Koefisien Filter SVD Elkins (1951)

Peta anomali *Second Vertical Derivative* (SVD) memiliki nilai rentang anomali antara -11 hingga 7 mGal. Nilai kontur anomali *Second Vertical Derivative* (SVD) bernilai 0 mengidentifikasi terdapat struktur sesar ataupun patahan di bawah permukaan bila dilihat persebaran nilai anomalnya berarah dari barat laut – tenggara daerah penelitian dan ada pola persebaran kontur bernilai 0 dari timur laut – barat daya daerah penelitian.



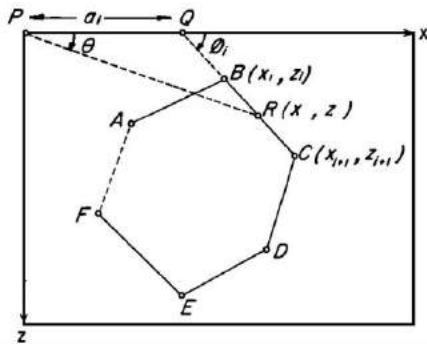
Gambar 10. Peta *Second Vertical Derivative* (SVD) Daerah Penelitian

Diketahui arah struktur sesar pada peta geologi, dapat dilihat peta anomali residual *Second Vertical Derivative* (SVD). Bila kita lihat dari letak nilai garis kontur 0 serta arah persebarannya hampir sama dengan arah lineasi struktur sesar pada peta geologi. Pada interpretasi struktur sesar secara kualitatif di penelitian ini ada 2, yakni garis interpretasi struktur sesar *Second Vertical Derivative* (SVD) yang bergaris tegas, dimana pada interpretasi ini ketika di-overlay dengan garis struktur sesar pada peta geologi relatif sama dan sesuai. Dan garis dugaan interpretasi struktur sesar *Second Vertical Derivative* (SVD) yang bergaris putus-putus, dimana dugaan interpretasi selain mempertimbangkan nilai kontur 0 anomali *Second Vertical Derivative* (SVD) dan arah garis struktur sesar pada peta geologi.



Gambar 11. Overlay Garis Interpretasi Struktur Sesar SVD Terhadap Garis Struktur Sesar Peta Geologi

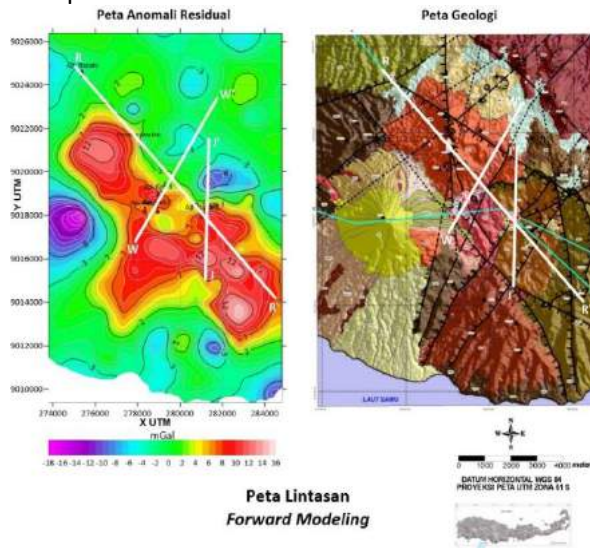
Pemodelan ke depan (*Forward Modeling*) merupakan proses perhitungan data dari hasil teori yang akan teramati di permukaan bumi jika parameter model diketahui. Seringkali istilah *forward modeling* digunakan untuk proses *Trial and Error*. *Forward Modeling* melibatkan penghitungan efek yang dihasilkan oleh model matematis dari kondisi bawah permukaan yang diperkirakan dengan merubah parameter model yang dibuat sehingga menghasilkan efek yang memiliki korelasi yang dapat “diterima” dengan anomali residual.



Gambar 12. Elemen Geometri yang berkaitan dengan gayatarik gravitasi dari poligon dengan n-sisi (Talwani, 1959)

Pemodelan Talwani 2,5D pada pemodelan anomali gaya berat dengan menggunakan bentuk anomali 2,5D yaitu model 2D dengan penampang berhingga yang sama pada arah tegak lurus dengan bidang 2D-nya.

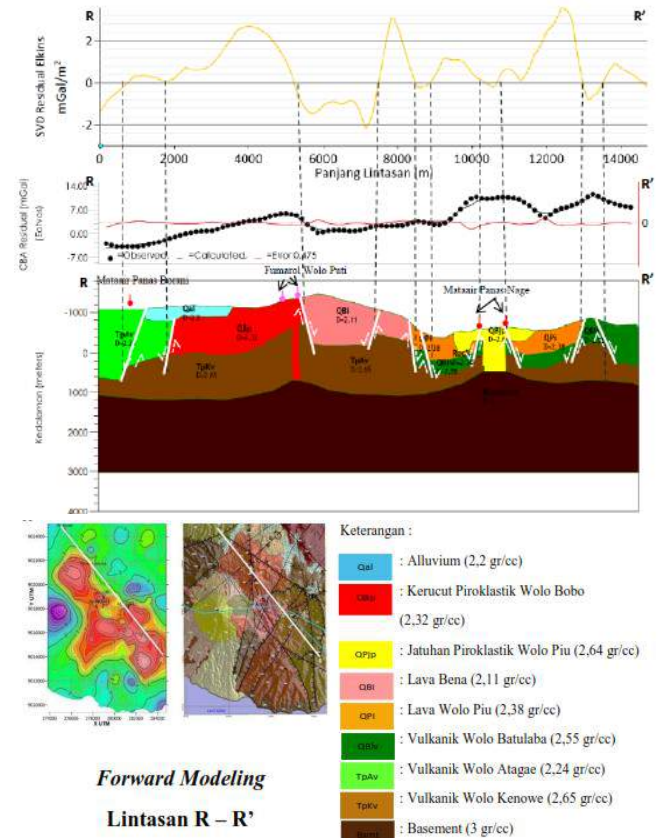
Forward Modeling pada penelitian ini terdapat tiga lintasan permodelan menggunakan peta anomali residual. Yaitu lintasan R - R' dengan panjang lintasan sekitar 14,5 km, lintasan W - W' dengan panjang lintasan sekitar 7,8 km dan lintasan J - J' dengan panjang lintasan sekitar 6,6 km dimana kedua lintasan yakni lintasan W - W' dan lintasan J - J' memotong atau tegak lurus terhadap lintasan R - R'.



Gambar 13. Lintasan *Forward Modeling* Peta Anomali Residual

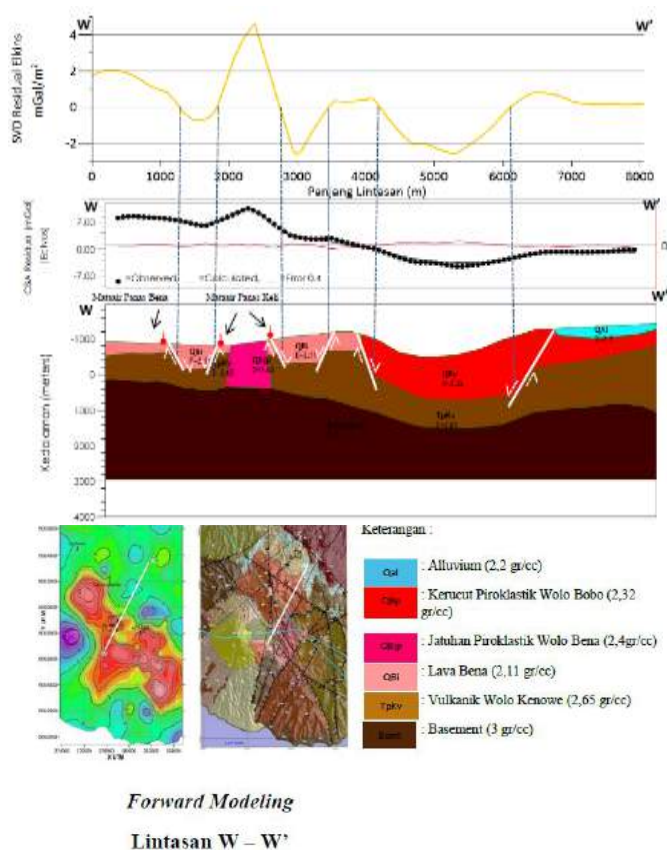
Lintasan R - R' dengan panjang lintasan sekitar 14,5 km arah lintasannya dari Barat Laut ke Tenggara daerah penelitian yang melintasi pusat erupsi pada peta geologi yakni Kerucut Sinder, Bena, Wolo Piu, Wolo Batulaba, Wolo Atagae dan Wolo Kenowe. Lintasan R - R' juga memotong beberapa sesar yang terlinieasi pada peta geologi. Lintasan R - R' merupakan daerah berdasarkan peta anomali residual yang nantinya nilai anomali residual pada lintasan tersebut

mengambarkan bawah permukaan tersebut. Pada lintasan R - R' juga dianalisis grafik *Second Vertikal Derivative (SVD)*.



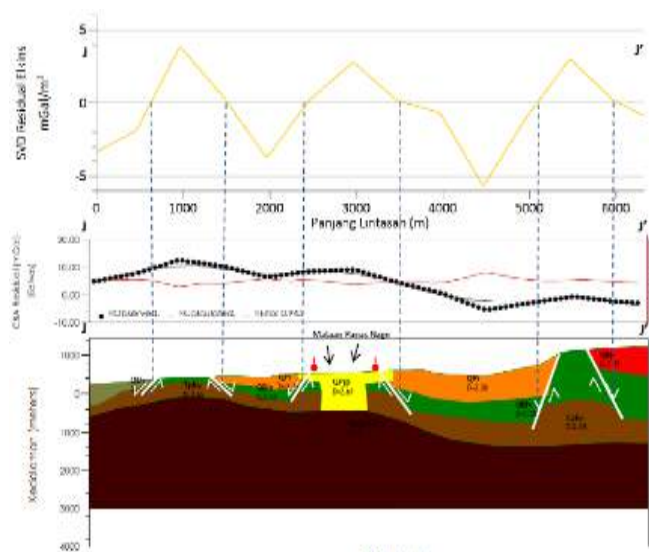
Gambar 14. *Forward Modeling* bawah permukaan Peta Anomali Residual dan grafik *Second Vertikal Derivative (SVD)* Lintasan R - R'

Lintasan W - W' dengan panjang lintasan sekitar 7,8 km arah lintasannya dari Barat Daya ke Timur Laut daerah penelitian yang melintasi beberapa pusat erupsi pada peta geologi yakni Wolo Bena dan Kerucut Sinder. Lintasan W - W' juga memotong beberapa sesar yang terlinieasi pada peta geologi. Lintasan W - W' merupakan daerah berdasarkan peta anomali residual yang nantinya nilai anomali residual pada lintasan tersebut menggambarkan bawah permukaan daerah lintasan. Pada lintasan W - W' juga dianalisis grafik *Second Vertikal Derivative (SVD)*.



Gambar 15. Forward Modeling bawah permukaan Peta Anomali Residual dan grafik Second Vertikal Derivative (SVD) Lintasan W – W'

Lintasan J – J' dengan panjang lintasan sekitar 6,6 km arah lintasannya dari Selatan hingga ke arah Utara daerah penelitian yang melintasi pusat erupsi pada peta geologi yakni Wolo Kenowe, Wolo Deru, Wolo Batulaba dan Kerucut Sinder. Lintasan J – J' juga memotong beberapa sesar yang terliniasi pada peta geologi. Lintasan J – J' merupakan daerah berdasarkan peta anomali residual yang nantinya nilai anomali residual



Gambar 16. Forward Modeling bawah permukaan Peta Anomali Residual dan grafik Second Vertikal Derivative (SVD) Lintasan J – J'

pada lintasan tersebut menggambarkan bawah permukaan tersebut. Pada lintasan J – J' juga dianalisis grafik *Second Vertikal Derivative (SVD)*. Dari ketiga *Forward Modeling* diperkirakan adanya sistem panas bumi, yakni *Caprock*, reservoir dan terdapat *basement* yang diidentifikasi sebagai batuan intrusi. Untuk *Caprock* bila diinterpretasikan satuan batuan Lava Bena (QBi), Vulkanik Wolo Batulaba (QBlv), Lava Wolo Piu (QPiu) dan Kerucut Piroklastik Wolo Bobo (QBp) yang tersebar dari tengah hingga ke Selatan – Tenggara daerah penelitian. Untuk zona reservoir panas buminya ialah di tengah hingga ke Selatan – Tenggara daerah penelitian tepatnya pada satuan batuan Vulkanik Wolo Kenowe (TpKv) yang selain dikarenakan diidentifikasi sebagai batuan lava andesit yang terdeformasi menjadi lempung hingga pasir juga karena terdapat sesar dimana aktivitas sesar disekitar tersebut yang terbentuknya zona hancuran atau rekahan yang diperkirakan hasil tersebut memiliki permeabilitas yang baik. Untuk kedalaman reservoir pada sistem panas bumi tersebut sekitar 600 – 700 meter dari permukaan daerah penelitian, lebih tepatnya di bawah permukaan sekitar manifestasi Mata Air panas Nage, Keli dan Bena. Satuan batuan Jatuh Piroklastik Wolo Piu (QPjp) dan Jatuh Piroklastik Wolo Bena (QBjp) yang bertepatan di sekitar manifestasi Mata Air panas Nage, Keli dan Bena diidentifikasi merupakan adanya *heat source* yang bertepatan di daerah Kaldera Nage dan Kaldera Bena. Bila dilihat dari *Forward Modeling* kedua satuan batuan tersebut ada jalur magma dari *basement* ke permukaan sehingga menghasilkan satuan batuan jatuh piroklastik baik satuan batuan Jatuh Piroklastik Wolo Piu (QPjp) maupun Jatuh Piroklastik Wolo Bena (QBjp) bila dilihat dari nilai anomali residual yang tinggi serta stratigrafinya dikemungkinan merupakan ada *heat source* dibawah daerah tersebut.

Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian berikut ini ialah sebagai berikut:

- a. Koreksi – koreksi yang dilakukan untuk mendapatkan nilai *Peta Complete Bouguer Anomaly (CBA)* memiliki nilai rentangan nilai dari 94 mGal hingga 136 mGal dimana persebaran nilai anomalnya dari 94-108 mGal yang tersebar di daerah barat penelitian, 108-120 mGal terletak di bagian tengah hingga ke utara daerah penelitian dan nilai anomali Bouguer dari 120-136 mGal di daerah barat Fumarol Wolo Puti yang berlanjut ke tenggara dan selatan daerah penelitian yang dilewati manifestasi-manifestasi gunung api yakni Mata Air Panas Keli, Bena, dan Nage. Untuk nilai peta anomali residual hasil pemisahan *Moving Average* di daerah penelitian berkisar -18 hingga 16 mGal dimana persebaran nilai anomalnya antara -18 sampai -6 mGal tersebar di barat daerah penelitian yang merupakan di Gunung Inerie dan di timur dan selatan, antara -6 hingga 4 mGal yang penyebarannya di utara – timur laut daerah penelitian dan barat daya – selatan dan antara 4 hingga 16 mGal yang penyebaran nilai anomalnya dari barat laut hingga ke tenggara – selatan daerah penelitian. Sedangkan untuk nilai peta Anomali *Second Vertical Derivative (SVD)* memiliki nilai rentang anomali antara -11 hingga 7 mGal yang persebaran nilai anomalnya berarah dari barat laut – tenggara daerah penelitian.
- b. Analisis struktur sesar serta interpretasi di daerah penelitian berdasarkan peta *Anomali Second Vertical Derivative (SVD)* ialah mengidentifikasi adanya struktur geologi sesar dengan penyebarannya dari arah barat laut menuju tenggara, serta dari timur laut ke arah barat daya daerah penelitian dan ada berarah utara hingga ke selatan daerah penelitian. Daerah dominan terdapatnya struktur sesar terdapat di sebelah timur daerah penelitian.
- c. *Forward Modeling* pada penelitian ini ada tiga lintasan yakni lintasan $R - R'$, $W - W'$ dan $J - J'$ terdapat satuan batuan Lava Bena (QBi) dengan nilai densitas 2,32 gr/cc, Vulkanik Wolo Batulaba (QBlv) dengan nilai densitas 2,55 gr/cc, Lava Wolo Piu (QPi) nilai densitas 2,38 gr/cc dan Kerucut Piroklastik Wolo Bobo (QBp) dengan nilai densitas 2,32 gr/cc yang teridentifikasi sebagai *Caprock*. Terdapatnya reservoir sistem panas bumi ialah pada satuan batuan Vulkanik Wolo Kenowe (TpKv) dengan densitas 2,65 gr/cc teridentifikasi pada kedalamannya sekitar 600 – 700 meter dari

permukaan daerah penelitian, lebih tepatnya di bawah permukaan sekitar manifestasi Mata Air panas Nage, Keli dan Bena. Dan Satuan batuan Jatuhan Piroklastik Wolo Piu (QPjp) dan Jatuhan Piroklastik Wolo Bena (QBjp) yang bertepatan di sekitar manifestasi Mata Air panas Nage, Keli dan Bena diidentifikasi merupakan adanya *heat source* yang bertepatan di daerah Kaldera Nage dan Kaldera Bena.

Acknowledgements

Mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dosen pembimbing Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si., Gestin Mey Ekawati, S.T., M.T., dosen-dosen Institut Teknologi Sumatera (Itera) serta Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panasbumi (PSDMBP) yang memperlancarkan dalam penulisan ini.

References

- Blakely, R. J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*, Cambridge University Press.
- Elkins, T.A. 1951. *The Second Derivative Method of Gravity Interpretation*. *Geophysics*. XVI: 29 – 50.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia: Jakarta.
- Gupta, H., and Roy, S., 2007, *Geothermal Energy: An Alternative Resource For The 21st Century*: Oxford, Elsevier
- Hammer, S., 1939, *Terrain corrections for gravimeter stations*, *Geophysics*, 4, p. 184-194.
- Hinze, W.J., Frese, R.R.B., and Saad, A.H. 2012. *Gravity and Magnetic Exploration – principles, practices, and applications*. Cambridge University Press
- Kadir, W. G. A., 2000, *Eksplorasi Gayaberat & Magnetik*, Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB, Bandung.
- Kious, J.W. dan Tilling, R.I., 1996, *This Dynamic Earth: the Story of Plates Tectonics*. Online Edition. USGS.
- Longman, I. M., 1959, *Formulas for computing the tidal accelerations due to the Moon and the Sun*, *Journal of Geophysical Research* 64, p. 2351–2355.
- Musset, A.E., and Khan, M. A., 2000, *Looking Into The Earth*: Cambridge, Cambridge University Press
- Putrohari, R.D., Karyanto A., Suryanto H., dan Rasyid I.M.A. 2010. *PSC Term and Condition and Its Implementation in South East Asia Region*. Proceedings of Indonesian Petroleum Association.
- Reynolds, M.R., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons, Inc Somerset, New Jersey, USA

- Rosid, S., 2005, *Lectures Notes: Gravity Method in Exploration Geophysics*: Depok, Univeritas Indonesia.
- Saptadji, N.M., 2009. Sistem Panas Bumi. Program Studi Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB, Bandung.
- Stefansson, V. 2005. World Geothermal Assessment. *Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005*.
- Sukaesih., Kusnadi, Dedi dan Sugianto, Asep. 2017. Survei Terpadu Geologi, Geokimia dan Geofisika Panasbumi Daerah Nage, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Prosiding Hasil Kegiatan 2017 Bidang Energi. Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panasbumi.
- Talwani, M., Worzel, J.L., and Landisman, M. 1959. *Rapid Gravity Computations for Two-Dimensional Bodies with Application to the Mendocino Submarine Fracure Zone*. Journal of Geophysical Research. 64 (1): 49 – 59.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1990. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, London
- Wellenhof, B. H., & Moritz, H., 2005, *Physical Geodesy*, G. Grasl GmbH, Austria.