

Identifikasi struktur geologi pada zona sesar di daerah Kalibening kabupaten Banjarnegara menggunakan metode gravitasi

Fatkhiyatul Maghfiroh, Sehad*, Sugito

Program Studi Fisika, Fakultas FMIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah Indonesia
*email: sehad@unsoed.ac.id

Abstrak - Penelitian menggunakan metode gravitasi telah dilakukan di daerah Kalibening Kabupaten Banjarnegara. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan dan jenis sesar serta perlapisan batuan bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan data anomali gravitasi. Penelitian menggunakan analisis First Horizontal Derivative (FHD) dan Second Vertical Derivative (SVD) untuk mengetahui keberadaan dan jenis sesar. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh melalui Peta Anomali Bouguer yang diterbitkan oleh Pusat Sumberdaya Geologi Bandung. Jumlah data yang digunakan pada penelitian sebanyak 540 data dengan resolusi spasial kira-kira 1 km dan luas daerah 26 km × 19 km. Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi reduksi data ke bidang datar, pemisahan data anomali regional dan residual, serta analisis FHD dan SVD untuk mengetahui keberadaan sesar dan jenisnya. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa di daerah Kalibening terdapat sebuah sesar dengan kategori sesar rotasi yang memiliki orientasi barat laut-tenggara dengan kemiringan 10°. Sedangkan hasil pemodelan dua dimensi memperlihatkan bahwa daerah Kalibening tersusun atas tujuh formasi batuan yaitu Formasi Gunungapi Jambangan (Qj) dengan nilai densitas 2,59-2,69 g/cm³, Formasi Ligung (Qtlb) dengan nilai densitas 2,60-2,75 g/cm³, Formasi Halang (Tmph) dengan nilai densitas 2,66-2,79 g/cm³, Formasi Rambatan (Tmr) dengan nilai densitas 2,70-2,85 g/cm³, Anggota Sigugur Formasi Rambatan (Tmrs) dengan nilai densitas 2,67-2,85 g/cm³, Formasi Totogan (Tomt) dengan nilai densitas 2,82-2,88 g/cm³, dan batuan intrusi (Tm) dengan nilai densitas 2,83-2,90 g/cm³.

Kata kunci: Struktur geologi, zona sesar, FHD dan SVD, Kalibening, metode gravitasi

Abstract – Research using the gravity method was carried out in the Kalibening area, Banjarnegara Regency. This research aims to identify the existence and type of faults as well as the subsurface geological structure of the research area based on gravity anomaly data. The research uses First Horizontal Derivative (FHD) and Second Vertical Derivative (SVD) analysis to determine the existence and type of faults. The data used is secondary data obtained through the Bouguer Anomaly Map published by the Bandung Geological Resources Center. The amount of data used in the research was 540 data with an area of 26 km × 19 km. The research stages carried out include reducing data to a flat plane, separating regional and residual anomaly data, as well as FHD and SVD analysis to determine the presence of faults and their types. The research results indicate that in the Kalibening area there is a fault with a rotational fault category which has a northwest-southeast orientation with a slope of 10°. Meanwhile, the results of two dimensional modeling show that the Kalibening area is composed of seven rock formations, namely the Jambangan Volcano Formation (Qj) with a density value of 2.59–2.69 g/cm³, the Ligung Formation (Qtlb) with a density value of 2.60–2.75 g/cm³, Halang Formation (Tmph) with a density value of 2.66–2.79 g/cm³, Rawat Formation (Tmr) with a density value of 2.70 – 2.85 g/cm³, Sigugur Member of the Rangkat Formation (Tmrs) with density value 2.67–2.85 g/cm³, Totogan Formation (Tomt) with a density value of 2.82–2.88 g/cm³, and intrusive igneous rock (Tm) with a density value of 2.83–2.90 g/cm³.

Key words: Geological structure, fault zones, FHD and SVD, Kalibening, gravity methods

PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar dunia meliputi Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik [1]. Lempeng tersebut bergerak aktif dan saling berinteraksi satu sama lain sehingga mengakibatkan gempa bumi, pembentukan rantai

gunungapi, pegunungan dan dataran tinggi. Oleh sebab itu secara geologi Indonesia menjadi salah satu wilayah yang memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terjadinya gempa bumi. Gempa bumi dapat disebabkan dari pergerakan kerak bumi atau lempeng bumi. Selain itu gempa bumi juga bisa disebabkan dari letusan gunungapi dan aktivitas sesar di darat. Bencana gempa bumi

belum dapat diperhitungkan dan diperkirakan secara akurat kapan terjadinya. Mengingat gempa bumi bisa mengakibatkan kerugian yang besar, maka perlu diteliti daerah yang memiliki sesar aktif yang berpotensi menyebabkan gempa bumi. Hal ini dilakukan untuk mengurangi resiko bahaya gempa bumi agar dampak negatif yang timbul seperti korban jiwa, kerugian ekonomi, dan sumberdaya lainnya dapat diminimalkan [2].

Daerah Kalibening Kabupaten Banjarnegara Jawa Tengah merupakan wilayah yang dilalui banyak sesar. Sesar tersebut dapat mengakibatkan bencana alam tanah longsor dan gempa bumi. Salah satunya adalah sesar mendatar tipe dekstral yang mengakibatkan bencana tanah longsor di kawasan Kalibening [3]. Daerah Kalibening merupakan bagian dari Pegunungan Serayu Utara dimana lapisan wilayahnya tidak stabil akibat topografi bergelombang, mudah longsor, curam dan memiliki berbagai jenis batuan serta struktur geologi yang kompleks [4]. Selain terdapat sesar mendatar, pada daerah Kalibening juga terdapat sesar naik (*reverse fault*) yang berada di daerah timur Kalibening dan sesar turun (*normal fault*) yang berada di daerah tengah hingga timur Kalibening [4].

Secara geologis, daerah Kalibening tersusun atas batuan berumur Pleistosen - Pliosen [5], dimana dari stratigrafinya batuan tersebut terpotong oleh struktur sesar. Sesar tersebut diperkirakan termasuk sesar aktif mengingat banyak kejadian gempa bumi dengan episenter di daerah tersebut [3]. Sebagian besar daerah ini tersusun atas Formasi Batuan Gunungapi Jambangan berbentuk batuan lava andesit dan batuan klastik gunungapi berupa aliran lava, breksi aliran dan piroklastik yang berumur Pliosen. Selain Gunungapi Jambangan, terdapat pula anggota breksi dari Formasi Ligung berumur Pliosen hingga Pleistosen, endapan danau dan *alluvium* yang berumur Holosen, serta Formasi Rambatan berumur Miosen Tengah [5].

Bentukan struktur sesar dapat diidentifikasi dengan metode gravitasi. Metode gravitasi merupakan cara yang tepat untuk mengidentifikasi struktur patahan yang tampak pada sesar di daerah Kalibening. Metode ini merupakan salah satu metode Geofisika yang dapat dimanfaatkan untuk menggambarkan keadaan bawah permukaan bumi berdasarkan variasi medan gravitasi yang diakibatkan perbedaan densitas batuan bawah permukaan

[6]. Parameter fisis yang diukur adalah perbedaan nilai medan gravitasi terukur di suatu titik observasi terhadap medan gravitasi teoritis. Struktur bawah permukaan termasuk sesar dapat diidentifikasi berdasarkan variasi nilai densitas batuan bawah permukaan [7]. Penggunaan metode gravitasi, karena metode ini mampu digunakan untuk mendeteksi nilai kontras atau perbedaan densitas batuan atau struktur geologi bawah permukaan secara teliti.

Penggunaan metode gravitasi dalam penelitian didukung oleh analisis derivatif untuk mengetahui lokasi dan arah sesar serta jenisnya. Metode derivatif yang digunakan adalah *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) [8]. FHD bisa digunakan untuk mengidentifikasi batas struktur geologi bawah permukaan atau batas kontak litologi (sesar) berdasarkan peta anomali gravitasi. Sedangkan SVD bisa digunakan untuk mengetahui jenis-jenis sesar. Analisis tersebut diharapkan dapat membantu memodelkan struktur geologi berdasarkan data anomali Bouguer yang diakibatkan adanya sesar turun, sesar naik, maupun sesar geser di daerah penelitian. Oleh sebab itu analisis derivatif (FHD dan SVD) ini dapat dimanfaatkan untuk mendukung tercapainya tujuan penelitian yaitu mengidentifikasi keberadaan dan jenis sesar, serta peralihan batuan bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan data anomali gravitasi.

LANDASAN TEORI

A. Metode Gravitasi

Konsep dasar metode gravitasi yang mendasari eksplorasi geofisika adalah hukum Newton tentang gaya tarik-menarik antara dua titik massa. Gaya tarik-menarik (F) antara dua titik massa (m_1, m_2) tersebut sebanding dengan massa keduanya serta berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya (r) yang dapat dinyatakan dengan persamaan [9]:

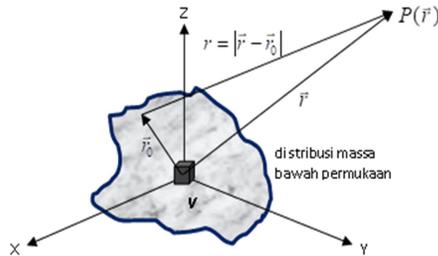
$$\vec{F}(\vec{r}) = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

G adalah konstanta gravitasi universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$). Telford *et.al.* [9] telah menjabarkan hukum Newton seperti persamaan (1) untuk memperoleh potensial gravitasi di suatu titik P di luar volume V seperti ditunjukkan pada **Gambar 1** yang dapat dinyatakan dengan persamaan [9]:

$$U_p(\vec{r}) = - \int_V \frac{G}{|\vec{r}^2 - \vec{r}_0^2|} dm = - G \int_V \frac{\rho(\vec{r}_0)}{|\vec{r}^2 - \vec{r}_0^2|} d^3\vec{r}_0 \quad (2)$$

di mana

$$|\vec{r}^2 - \vec{r}_0^2| = \sqrt{r^2 + r_0^2 - 2r r_0 \cos \gamma}$$



Gambar 1. Potensial gravitasi di titik P pada permukaan bumi akibat distribusi massa yang kontinu di bawah permukaan [9].

Jika integral volume Persamaan (2) diterapkan untuk seluruh bumi, maka dapat diperoleh potensial gravitasi di permukaan bumi. Sedangkan kuat medan gravitasi diperoleh dengan cara mendiferensialkan potensial gravitasi hingga diperoleh suatu persamaan [9]:

$$\vec{E}(\vec{r}) = |-\nabla U_p(\vec{r})| \quad (3)$$

Nilai medan gravitasi bumi (E) pada persamaan (3) sering disebut sebagai percepatan gravitasi bumi (g). Berdasarkan hasil substitusi persamaan (2) ke dalam persamaan (3), nilai percepatan gravitasi bumi dapat dinyatakan sebagai [9]:

$$g(\vec{r}) = |-\vec{E}(\vec{r})| = |\nabla U_p(\vec{r})| \quad (4)$$

$$g(\vec{r}) = -G \int_V \frac{\rho(\vec{r}_0)(z_0 - z) d^3\vec{r}_0}{[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} \quad (5)$$

Persamaan (5) menunjukkan bahwa nilai medan gravitasi di permukaan bumi bervariasi. Variasi medan gravitasi bumi ini dipengaruhi oleh posisi bujur, lintang, elevasi, dan distribusi massa bawah permukaan. Distribusi massa batuan dinyatakan sebagai densitas batuan (g/cm^3), yang merupakan parameter utama dalam survei gravitasi [9].

B. Analisis Derivative

First Horizontal Derivative (FHD) atau turunan mendatar pertama mempunyai istilah lain *horizontal gradient*. FHD merupakan analisis

derivative yang dapat diterapkan untuk menggambarkan batas-batas suatu struktur bawah permukaan pada kontur anomali gravitasi. FHD dari anomali gravitasi yang berasal dari suatu *body* batuan, cenderung menunjukkan batas-batas *body* tersebut. Prinsip yang digunakan analisis ini adalah menghitung turunan mendatar pertama terhadap data anomali gravitasi, sehingga teknik FHD ini dapat digunakan dalam menentukan lokasi batas kontak litologi untuk kontras densitas horizontal dari data anomali gravitasi. Secara visual nilai turunannya memperlihatkan perubahan nilai anomali gravitasi secara lateral dan mempunyai puncak maksimum serta minimum pada kontak benda anomalnya [10]. Secara matematis nilai FHD dapat dihitung melalui persamaan (1):

$$f(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (6)$$

dengan g adalah nilai anomali (mgal).

Second Vertical Derivative (SVD) merupakan suatu teknik analisis *derivative* yang digunakan untuk mengetahui jenis sesar. Metode ini menentukan jenis sesar dengan bantuan peta geologi regional daerah penelitian, yaitu dengan cara *slicing* secara tegak lurus terhadap arah sesar yang terlihat pada peta geologi. Metode SVD dikembangkan oleh Elkins [11] untuk menentukan nilai medan gravitasi di permukaan bumi dengan asumsi bidang horizontal dari tanah adalah saat kedalaman $z=0$ [11]. *Second Vertical Derivative* (SVD) bersifat sebagai filter tapis tinggi (*high pass filter*), sehingga dapat digunakan untuk menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal, termasuk untuk mengidentifikasi jenis sesar turun atau naik [8]. Perhitungan nilai SVD dapat diturunkan dari persamaan Laplace untuk anomali gravitasi di permukaan bumi dengan persamaan:

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \quad (7)$$

Persamaan (7) dijabarkan lebih lanjut sehingga diperoleh:

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = - \left[\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} \right] \quad (8)$$

Ketika metode SVD digunakan sebagai data penampang (1D) maka persamaan yang digunakan dapat dituliskan [10]:

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = - \left[\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} \right] \quad (9)$$

Anomali medan gravitasi dapat diturunkan terhadap beberapa arah, namun turunan terhadap arah vertikal (sumbu-z) lebih sering digunakan seperti terlihat pada persamaan (9). Terkait penentuan jenis sesar, metode SVD dapat diterapkan untuk mengidentifikasi jenis sesar naik, turun, atau geser. Kriteria penentuan jenis sesar dengan metode SVD dapat dijelaskan sebagai berikut [11]:

$$\left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right|_{min} < \left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right|_{max} \quad \text{Sesar turun} \quad (10)$$

$$\left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right|_{min} > \left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right|_{max} \quad \text{Sesar naik} \quad (11)$$

$$\left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right|_{min} = \left| \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right|_{max} \quad \text{Sesar geser} \quad (12)$$

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama 8 bulan yaitu Maret -Oktober 2022 dengan data yang diekstrak dari peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) yang diterbitkan oleh Pusat Survei Geologi (PSG) Bandung tahun 1984. Data yang digunakan adalah data ABL Lembar Banjarnegara dan Pekalongan yang meliputi Kecamatan Kalibening, Kecamatan Wanayasa, dan sebagian Kecamatan Batur. Sedangkan kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium Elektronika, Instrumentasi dan Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA), Universitas Jenderal Soedirman. Secara geografis daerah penelitian dibatasi oleh koordinat 7°5'0"-7°15'24.99"LS dan 109°30'0"-109°44'9.99" BT seperti **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian (sumber: Google Earth).

B. Peralatan dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian meliputi laptop yang dilengkapi perangkat lunak seperti aplikasi Microsoft Excel 2019 dan Fortran 77 untuk pengolahan data, Surfer 17 untuk membuat peta kontur topografi dan data ABL daerah penelitian, serta Oasis Montaj untuk pemodelan 2D. Adapun bahan penelitian adalah data anomali gravitasi yang diperoleh dari peta Anomali Bouguer Lengkap yang diterbitkan Pusat Survei Geologi Bandung sejumlah 540 titik data dengan luas wilayah 26 km × 19 km dan resolusi spasial sebesar 1 km.

C. Prosedur Penelitian

Data Anomali Bouguer Lengkap (ABL) diperoleh secara langsung melalui proses ekstrak data (digitasi) terhadap peta Anomali Bouguer Lengkap yang diterbitkan Pusat Survei Geologi (PSG) Bandung. Data ABL yang diperoleh masih tersebar di permukaan topografi, yang secara matematis dapat dituliskan $\Delta g(\lambda, \vartheta, h)$. Untuk keperluan pengolahan data pada tahap berikutnya, data ABL harus direduksi ke bidang datar. Metode yang digunakan untuk mereduksi data ABL adalah pendekatan Deret Taylor dengan persamaan [10]:

$$\Delta g(\lambda, \vartheta, h_0)^{[i+1]} = \Delta g(\lambda, \vartheta, h) - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(h - h_0)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial h^n} \Delta g(\lambda, \vartheta, h_0)^{[i]} \quad (13)$$

Berdasarkan persamaan (13), $\Delta g(\lambda, \vartheta, h_0)$ yang terdistribusi di bidang datar dapat diestimasi melalui pendekatan, yaitu nilai $\Delta g(\lambda, \vartheta, h_0)$ yang diperoleh pada proses iterasi ke-*i* digunakan

untuk mengestimasi nilai $\Delta g(\lambda, \vartheta, h_0)$ untuk iterasi ke $(i+1)$, demikian seterusnya. Proses iterasi ini dilakukan secukupnya, sedemikian hingga nilai $\Delta g(\lambda, \vartheta, h_0)$ yang diperoleh ini telah menunjukkan konvergen [10].

Data $\Delta g(\lambda, \vartheta, h_0)$ yang diperoleh dari persamaan (13) belum bersih dari efek anomali regional. Oleh sebab itu data tersebut tersebut harus dibersihkan dari efek anomali regional, sebab target penelitian adalah sumber anomali yang bersifat lokal. Data anomali regional dapat diperoleh melalui pengangkatan (*upward continuation*) hingga ketinggian tertentu. Proses ini berfungsi sebagai filter tapis rendah (*low pass filter*), dimana data anomali diangkat sedemikian hingga perubahan *closure* anomali menunjukkan pola yang sangat halus dengan interval nilai yang sangat kecil. Persamaan *upward continuation* bisa dituliskan sebagai [10]:

$$\Delta g(\lambda, \vartheta, h_0 - \Delta h) = \frac{\Delta h}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta g(\lambda', \vartheta', h_0)}{\sqrt{[(\lambda - \lambda')^2 + (\vartheta - \vartheta')^2 + \Delta h^2]^3}} d\lambda' d\vartheta' \quad (14)$$

Data yang diperoleh, selanjutnya dikoreksikan terhadap data $\Delta g(\lambda, \vartheta, h_0)$ dari persamaan (13), sehingga diperoleh data ABL residual dengan persamaan [12]:

$$\Delta g_{res}(\lambda, \vartheta, h_0) = \Delta g(\lambda, \vartheta, h_0) - \Delta g(\lambda, \vartheta, h_0 - \Delta h) \quad (15)$$

Setelah didapatkan data anomali residual dan data anomali regional dari proses pengangkatan ke atas, maka selanjutnya dilakukan analisis *derivative* untuk mengidentifikasi lokasi sebaran sesar di daerah penelitian dan jenis-jenisnya.

Dengan demikian analisis *derivative* ini berperan untuk memudahkan proses pemodelan data ABL residual dalam penelitian ini. Analisis *derivative* yang digunakan pada penelitian ini adalah *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD). Perhitungan SVD dilakukan berdasarkan prinsip dasar dan teknik perhitungan yang telah dijelaskan oleh Henderson dan Zietz, Elkins, dan Rosenbach [11][13]. Pembuatan kontur SVD dapat dilakukan pada aplikasi Surfer 17 dengan filter matriks Rosenbach. Umumnya filter matriks Rosenbach memiliki resolusi yang relatif lebih baik daripada filter matriks lainnya [14].

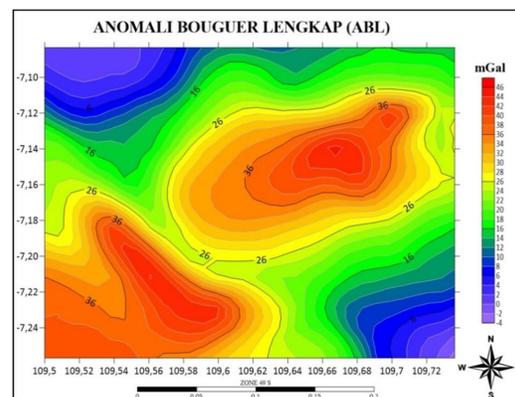
Data ABL residual merupakan data anomali gravitasi lokal yang telah bersih dari berbagai efek sumber anomali lain yang tidak menjadi

target dalam penelitian dan diasumsikan hanya berasosiasi dengan sumber anomali lokal yang menjadi target penelitian. Data ABL residual yang diperoleh dapat langsung dimodelkan. Pada penelitian ini, data ABL akan dimodelkan secara 2D untuk menggambarkan struktur geologi pada zona sesar daerah Kalibening Kabupaten Banjarnegara. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan bisa menjadi sumber informasi bagi masyarakat sekitar dan instansi terkait seperti Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Banjarnegara sebagai upaya pra-mitigasi bencana alam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

Pengaksesan data ABL telah dilakukan pada peta Anomali Bouguer Lengkap Lembar Pekalongan dan Banjarnegara dari Pusat Survei Geologi (PSG) Bandung menggunakan teknik digitasi manual. Berdasarkan hasil digitasi, didapatkan data yang terdiri atas posisi lintang, bujur, dan ABL yang dibatasi oleh posisi koordinat geografis seperti dituliskan pada bagian Lokasi dan Waktu Penelitian. Peta kontur ABL hasil digitasi ditunjukkan pada **Gambar 3**. Adanya kontras anomali diduga terdapat perubahan litologi dan indikasi keberadaan struktur sesar. Nilai anomali tinggi diperkirakan akibat pengaruh dari batuan yang memiliki nilai densitas yang tinggi, demikian pula sebaliknya.



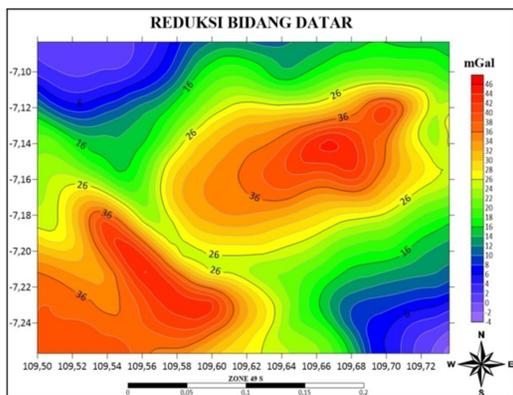
Gambar 3. Peta kontur ABL daerah penelitian.

B. Hasil Pengolahan Data

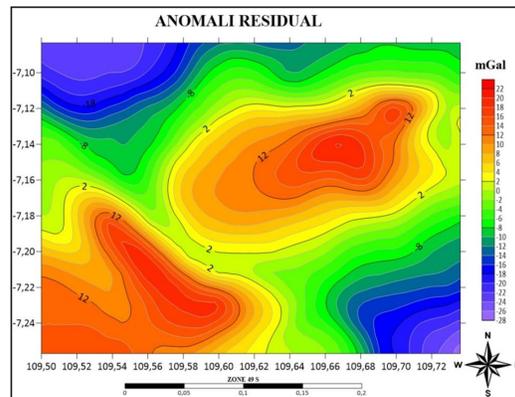
Data ABL masih terdistribusi di permukaan topografi yang memiliki elevasi bervariasi. Reduksi bidang datar dilakukan untuk membawa data ABL pada ketinggian sama. Proses ini

dilakukan untuk meminimalkan distorsi akibat elevasi yang bervariasi dan merupakan syarat pengolahan data pada tahap berikutnya [15]. Reduksi data ke bidang datar menggunakan pendekatan Deret Taylor dilakukan dengan bantuan *software* Fortran 77. Peta kontur ABL pada bidang datar dapat dilihat pada **Gambar 4**. Ketinggian yang digunakan adalah elevasi rata-rata daerah penelitian yaitu 868,287 m. Pola persebaran anomali pada kontur ABL di bidang datar tidak jauh berbeda dengan peta kontur ABL, namun peta kontur ABL di bidang datar relatif lebih halus dan merata dibandingkan peta kontur ABL pada topografi.

Data ABL merupakan hasil dari superposisi antara anomali regional dan anomali residual [16]. Kedua anomali tersebut saling bersuperposisi dan menimbulkan anomali yang saling tumpang tindih. Oleh karena itu data yang telah direduksi ke bidang datar perlu dipisahkan dengan menggunakan metode pengangkatan ke atas (*upward continuation*). Pengangkatan ke atas merupakan langkah perubahan data medan potensial yang diukur pada suatu level permukaan menjadi data yang seolah-olah diukur pada level permukaan di atasnya [17]. Hasil pengangkatan ke atas hingga ketinggian tertentu adalah anomali regional, sedangkan ABL residual diperoleh dengan menghitung selisih antara data ABL di bidang datar terhadap data anomali regional. Pada penelitian ini ketinggian yang digunakan untuk memperoleh data anomali gravitasi regional adalah 18.000 m. Peta kontur ABL residual ditunjukkan pada **Gambar 5**. Peta kontur ABL residual memiliki rentang nilai -28 – 22 mGal. Pola anomali positif dan negatif merupakan salah satu indikasi adanya struktur patahan [18].



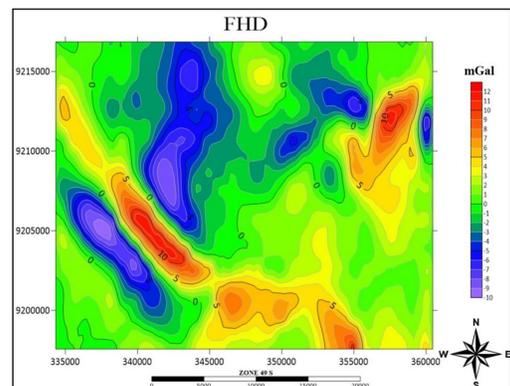
Gambar 4. Peta kontur ABL di bidang datar.



Gambar 5. Peta kontur ABL residual daerah penelitian.

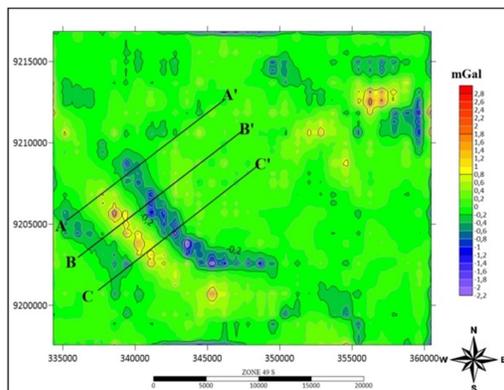
C. Hasil Analisis Derivative

Analisis FHD telah dilakukan terhadap peta kontur ABL residual untuk mengidentifikasi keberadaan struktur patahan atau sesar dengan melakukan sayatan pada peta kontur ABL residual. Hasil analisis FHD berupa grafik atau kurva untuk mempermudah identifikasi daerah penelitian yang memiliki nilai gradien maksimum. Prinsip analisis FHD terkait adanya indikasi patahan dapat dilihat dari nilai maksimum (puncak) atau minimum [10]. Peta kontur hasil FHD dapat dilihat pada **Gambar 6**. Berdasarkan peta kontur FHD dapat ditunjukkan bahwa nilai minimum FHD adalah -10 mGal, sedangkan nilai maksimumnya adalah 12 mGal. Data sayatan pada peta FHD akan digunakan untuk interpretasi batas dari keberadaan sesar berdasarkan variasi lateral ABL residual. Batas keberadaan sesar dapat dilihat dari nilai maksimum FHD. Perubahan pada nilai FHD dari maksimum ke nilai minimum dan sebaliknya, menunjukkan batas kontak litologi secara lateral [19].



Gambar 6. Peta kontur FHD data ABL residual daerah penelitian.

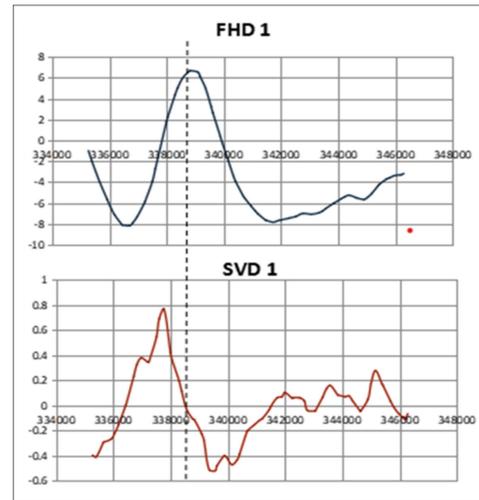
Pada penelitian ini peta kontur SVD dari data ABL residual dihasilkan menggunakan filter Rosenbach pada Surfer 17. Peta kontur SVD ditunjukkan pada **Gambar 7**. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat nilai SVD memiliki rentang sebesar -2,2 – 2,8 mGal. Perubahan nilai SVD dari tinggi ke rendah atau sebaliknya menunjukkan adanya batas perbedaan densitas batuan bawah permukaan secara lateral yang disebabkan dari perbedaan litologi bawah permukaan (berupa sesar). Dugaan keberadaan sesar menurut peta kontur SVD ini terdapat pada bagian kiri peta kontur. Namun ada beberapa sesar yang tidak memiliki kecocokan dengan peta geologi. Hal ini diestimasi akibat kompleksnya struktur geologi serta pendekatan yang berbeda dengan hasil perhitungan SVD. Struktur sesar dapat diidentifikasi dengan menganalisis hubungan grafis analisis FHD dan SVD. Bidang kontak litologi sesar berada pada kurva FHD dengan nilai minimum atau maksimum yang berada pada kurva SVD, sehingga dapat diperkirakan batas-batas terjadinya perubahan nilai anomali [20]. Sedangkan untuk mengidentifikasi jenis sesar dapat dihitung melalui persamaan (10), (11), dan (12).



Gambar 7. Peta kontur anomali gravitasi regional daerah penelitian.

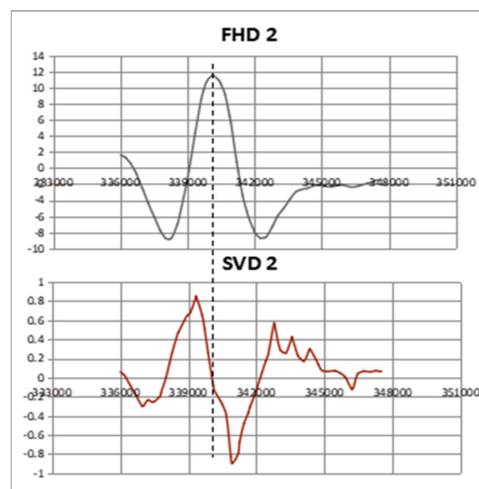
Pendugaan adanya sistem sesar dapat dilihat berdasarkan grafik hubungan nilai maksimum pada grafik FHD dengan nilai absolut nol pada grafik SVD yang dihubungkan dengan garis putus-putus. Hasil analisis kurva FHD dan SVD pada lintasan A-A' memperlihatkan bahwa jenis sesar merupakan sesar turun. Hal ini didasarkan atas nilai SVD maksimum lebih besar daripada nilai SVD minimum. Sesar ini memiliki arah relatif dari barat laut ke tenggara [5]. Grafik yang berisi hubungan kurva FHD dan kurva

SVD di sepanjang lintasan A-A' yang digunakan untuk mengidentifikasi jenis sesar bisa dilihat pada **Gambar 8**.



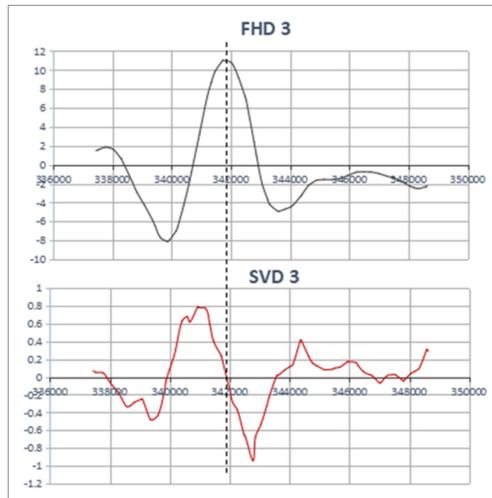
Gambar 8. Grafik analisis kurva FHD dan kurva SVD pada lintasan A-A'.

Hasil analisis terhadap kurva FHD dan SVD pada grafik lintasan B-B' mengindikasikan jenis sesar naik seperti terlihat pada garis putus-putus. Pendugaan sesar naik ini didasarkan atas analisis terhadap grafik SVD, dimana nilai absolut SVD maksimum lebih kecil daripada nilai absolut SVD minimum. Sesar ini memiliki arah relatif dari barat laut ke tenggara [5]. Secara visual grafik yang berisi hubungan antara kurva FHD dan kurva SVD di sepanjang lintasan B-B' yang digunakan untuk mengestimasi jenis sesar dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 8. Grafik analisis kurva FHD dan kurva SVD pada lintasan B-B'.

Hasil analisis terhadap kurva FHD dan SVD pada grafik lintasan C-C' mengindikasikan jenis sesar naik seperti terlihat pada garis putus-putus. Pendugaan sesar naik ini didasarkan atas analisis terhadap grafik SVD, dimana nilai absolut SVD maksimum lebih kecil daripada nilai absolut SVD minimum. Grafik yang menunjukkan hubungan antara kurva FHD dan kurva SVD di sepanjang lintasan C-C' yang digunakan untuk mengestimasi jenis sesar dapat dilihat pada **Gambar 10**.



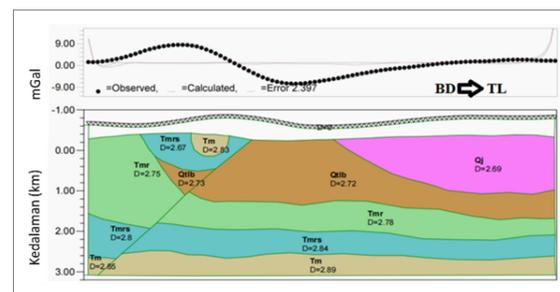
Gambar 10. Grafik analisis kurva FHD dan kurva SVD pada lintasan C-C'

D. Hasil Pemodelan dan Interpretasi Data

Pemodelan 2D pada penelitian bertujuan untuk mengetahui informasi litologi serta struktur geologi bawah permukaan di sepanjang lintasan yang dimodelkan. Untuk membuat model 2D pada penelitian ini, digunakan peta kontur ABL residual, dimana daerah yang akan diidentifikasi adalah daerah yang diestimasi memiliki struktur sesar. Lintasan yang digunakan untuk pemodelan ini adalah lintasan yang sama saat analisis *derivative*, yaitu sejumlah tiga lintasan. Pemodelan dilakukan dengan teknik pemodelan maju (*forward modeling*), yaitu proses perhitungan data dari hasil teori yang teramati pada permukaan bumi jika parameter model diketahui [21]. Untuk melakukan pemodelan 2D, maka digunakan perangkat lunak *Geosoft Oasis Montaj*. Forward modeling ini dilakukan pada data ABL residual, sebab target pemodelan adalah struktur dangkal. Oleh sebab itu struktur sesar yang umumnya terletak dangkal bisa diidentifikasi. Demikian pula model penampang litologi bawah permukaan dapat diinterpretasi.

Hasil pemodelan pada lintasan A-A' menghasilkan sebuah penampang litologi yang memanjang dengan arah relatif dari barat daya ke timur laut. Hal ini dikarenakan pada daerah penelitian sesar yang dimodelkan memiliki arah barat laut ke tenggara. Panjang penampang A-A' adalah 13.258,88 m dan kedalaman sebesar 3.096,41 m. Hasil pemodelan ini memiliki nilai eror sebesar 2,4%. Sesar yang dimodelkan pada lintasan A-A' merupakan patahan turun yang memiliki arah barat dari laut ke tenggara [5] dengan kemiringan 15°. Model 2D pada lintasan A-A' dapat dilihat pada **Gambar 11**. Model batuan menyerupai cekungan pada permukaan lintasan A-A' bukan suatu cekungan karena secara geologi tidak ditemukan model cekungan air tanah di daerah penelitian.

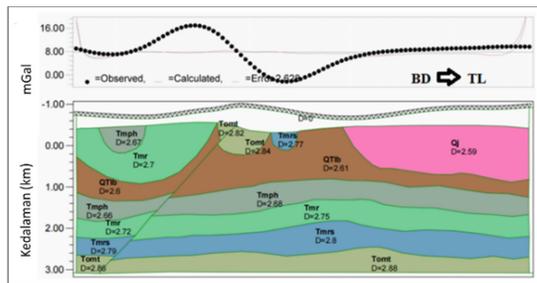
Berdasarkan peta geologi pada lintasan A-A' terdapat lima formasi batuan. Formasi Gunungapi Jambangan (Qj) berumur Plistosen yang terdiri aliran lava, breksi aliran, piroklatika, lahar dan aluvium. Formasi Ligung (QTlb) berumur Pliosen hingga Plestosen terdiri atas breksi gunungapi (aglomerat) bersusuan andesit, lava andesit horonblenda, dan tuf. Formasi Rambatan (Tmr) berumur Miosen Tengah terdiri atas serpih, napal, dan batupasir gampingan. Anggota Sigugur Formasi Rambatan (Tmrs) berumur Oligosen Akhir hingga Miosen Awal terdiri atas batugamping terumbu yang mengandung fosil foraminifera. Sedangkan lapisan paling bawah adalah batuan intrusi (Tm) berumur Miosen Tengah yang berupa karsanit [5].



Gambar 11. Model penampang litologi bawah permukaan di sepanjang lintasan A-A'.

Hasil pemodelan pada lintasan B-B' menghasilkan sebuah penampang litologi yang memanjang dengan arah relatif dari barat daya ke timur laut sebagaimana lintasan A-A'. Panjang penampang model B-B' adalah 13.949,50 m dan kedalaman sebesar 3.085,65 m. Hasil pemodelan ini memiliki nilai eror sebesar

2,6%. Sesar yang dimodelkan di sepanjang lintasan B-B' merupakan sesar naik yang memiliki arah dari barat laut menuju tenggara [5] dengan kemiringan 29°. Model yang dihasilkan berupa penampang litologi bawah permukaan di sepanjang lintasan B-B' seperti terlihat pada **Gambar 12**. Model yang menyerupai cekungan pada permukaan lintasan B-B' juga bukan suatu cekungan karena secara geologi tidak ditemukan cekungan air tanah di daerah penelitian. Selain itu tidak ada kemenerusan batuan tersebut dengan model serupa pada lintasan A-A' sebab formasi batumannya berbeda.

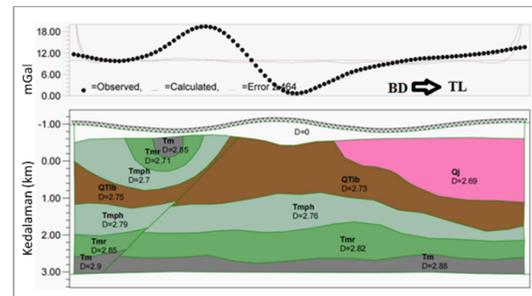


Gambar 12. Model penampang litologi bawah permukaan di sepanjang lintasan B-B'.

Berdasarkan peta geologi pada lintasan B-B' terdapat enam formasi batuan. Formasi Gunungapi Jambangan (Qj) berumur Plistosen terdiri aliran lava, breksi aliran, piroklatika, lahar, dan aluvium. Formasi Ligung (QTlb) berumur Pliosen hingga Plestosen terdiri breksi gunungapi (aglomerat) bersusunan andesit, lava andesit hornblenda, dan tuf. Formasi Halang (Tmph) berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir terdiri atas batupasir tufan, konglomerat, napal, dan batulempung. Formasi Rambatan (Tmr) berumur Miosen Tengah terdiri atas serpih, napal, dan batupasir gampingan. Anggota Sigugur Formasi Rambatan (Tmrs) berumur Oligosen Akhir hingga Miosen Awal terdiri atas batugamping terumbu mengandung fosil foraminifera. Sedangkan paling bawah adalah Formasi Totogan (Tomt) yang berumur Oligosen hingga Miosen Awal terdiri atas batulempung, breksi, napal, konglomerat, tuf, dan batupasir [5].

Hasil pemodelan pada lintasan C-C' menghasilkan sebuah penampang litologi yang memanjang dengan arah relatif dari barat daya menuju timur laut, sebagaimana lintasan A-A' dan B-B'. Arah pemodelan ini diambil tegak lurus terhadap arah sesar yang diestimasi berarah dari barat laut menuju tenggara. Panjang

lintasan C-C' adalah 13.648,92 m dengan kedalaman sebesar 3.055,40 m. Hasil pemodelan ini memiliki nilai eror sebesar 2,5%. Sesar yang dimodelkan pada lintasan C-C' ini merupakan sesar naik yang memiliki dari arah barat laut ke tenggara [5] dengan kemiringan 29°. Model yang dihasilkan berupa penampang litologi bawah permukaan di sepanjang lintasan C-C' seperti terlihat pada **Gambar 13**.

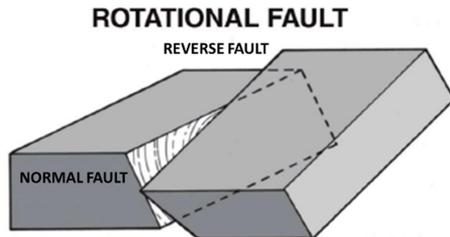


Gambar 13. Model penampang litologi bawah permukaan di sepanjang lintasan C-C'.

Berdasarkan peta geologi pada lintasan C-C' terdapat lima formasi batuan. Formasi Gunungapi Jambangan (Qj) berumur Plistosen terdiri aliran lava, breksi aliran, piroklatika, lahar, dan aluvium. Formasi Ligung (QTlb) berumur Pliosen hingga Plestosen terdiri breksi gunungapi (aglomerat) bersusunan andesit, lava andesit hornblenda, dan tuf. Formasi Halang (Tmph) berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir terdiri atas batupasir tufan, konglomerat, napal, dan batulempung. Formasi Rambatan (Tmr) berumur Miosen Tengah terdiri atas serpih, napal, dan batupasir gampingan. Adapun lapisan paling bawah adalah batuan intrusi (Tm) berumur Miosen Tengah berupa Diorit porfir [5][22]. Model penampang pada lintasan C-C' terlihat kurang selaras dengan lintasan A-A' dan lintasan B-B'. Ini merupakan efek dinamika batuan bawah permukaan yang mungkin sering mengalami gerak translasi maupun rotasi akibat gempa dan tanah longsor yang sering melanda daerah penelitian.

Berdasarkan analisis *derivative* dan hasil pemodelan 2D terhadap data ABL residual diperoleh model struktur sesar di tiga lintasan, yaitu A-A', B-B', dan C-C'. Posisi sesar yang dimodelkan sudah sesuai dengan peta geologi [5], meskipun beberapa sesar lain yang ditunjukkan pada peta geologi tidak selalu terlihat pada peta kontur ABL residual. Pada lintasan A-A' diperoleh struktur sesar turun (*normal fault*), sedangkan di sepanjang lintasan B-B' dan C-C' diperoleh struktur sesar naik

(*reverse fault*). Pemodelan 2D hanya dilakukan pada tiga lintasan, sehingga informasi model sesar pada zona sebelum lintasan A-A dan setelah C-C tidak diketahui. Oleh sebab itu berdasarkan hasil pemodelan, struktur sesar yang diperoleh dapat dikategorikan sebagai sesar rotasi seperti ditunjukkan pada **Gambar 14** [23].



Gambar 14. Model ilustrasi sesar naik (*reverse fault*) dan sesar turun (*normal fault*) dengan gerak rotasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil-hasil penelitian dengan metode gravitasi di daerah Kalibening Kabupaten Banjarnegara dapat diambil kesimpulan:

1. Pengolahan data Anomali Bouguer Lengkap (ABL) telah dilakukan sesuai prosedur umum pengolahan data yang sering digunakan dalam metode gravitasi. Hasil akhir dari pengolahan data adalah data ABL residual yang dengan nilai yang berkisar $-28 - 22$ mGal. Data terdistribusi pada bidang datar dengan ketinggian 868,287 m.
2. Hasil analisis *derivative* yang meliputi *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) terhadap data ABL residual di sepanjang tiga lintasan di daerah Kalibening menunjukkan keberadaan sebuah sesar dengan gerak rotasi (naik dan turun).
3. Hasil pemodelan dua dimensi menunjukkan bahwa daerah Kalibening tersusun atas tujuh formasi batuan, meliputi Formasi Gunungapi Jambangan (Qj) dengan nilai densitas $2,59 - 2,69$ g/cm³, Formasi Ligung (QTlb) dengan nilai densitas $2,60 - 2,75$ g/cm³, Formasi Halang (Tmph) dengan densitas $2,66 - 2,79$ g/cm³, Formasi Rambatan (Tmr) dengan nilai densitas $2,70 - 2,85$ g/cm³, Anggota Sigugur Formasi Rambatan (Tmrs) dengan nilai densitas $2,67 - 2,85$ g/cm³, Formasi Totogan (Tomt) dengan nilai densitas $2,82 - 2,88$ g/cm³, dan yang paling bawah adalah batuan

intrusi (Tm) dengan densitas $2,83 - 2,90$ g/cm³.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Survei Geologi (PSG), Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia atas peta anomali Bouguer yang disediakan. Terimakasih juga disampaikan kepada Saudari Lala Ariska, S.Si. yang berkenan membantu proses pemodelan dan memberikan tutorial penggunaan *Software Oasis Montaj* 8.4.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Netrisa, Z., Syafriani, Triyono, R., Arifin, H., 2018. "Pemetaan Bahaya Gempabumi Deterministik dengan Pendekatan Peak Ground Acceleration (PGA) Di Kota Padang", *Pillar of Physics*, vol. 11 no. 2, Oktober 2018, hal. 41 – 48.
- [2] Sumari, A.D.W., Nugroho, S.P., Addin, T.N., 2016. "Pengurangan Risiko Bencana Gempa Bumi-Tsunami di Pangkalan TNI AU Padang Akibat Megathrust Mentawai". *Jurnal Pertahanan*, vol. 6, no. 1, April 2016, hal: 119-149.
- [3] Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), "Gempa Banjarnegara Akibat Aktivitas Sesar Daratan", 2018. URL: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/news-archives/pvmbg-gempa-banjarnegara-akibat-aktivitas-sesar-daratan> [diakses: 25 Mei 2024].
- [4] Sunan, L.H., Akhmad K,G., Maulana Rizki A., Sachrul, I., Fajar, R.W., Asmoro,W., Fx Anjar Tri, L. "Interpretasi Struktur Geologi Berdasarkan Fault Fracture Density (FFD) dan Implikasinya terhadap Potensial Likuifaksi di Daerah Kalibening, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah". *Explorium, Buletin Pusat Pengembangan Bahan Galian Nuklir*, vol. 42, no. 1, hal. 47-54, 2021 .
- [5] Condon, W.H., Pardyanto, I., Ketner, K.B., Amin, T.C., Gafoer, S., dan Samodra H. "Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan, Jawa", Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1996.
- [6] Sehad, Prabowo, U.N., Raharjo, S.A. "Pemanfaatan Data Anomali Gravitasi

- Citra Satelit untuk Interpretasi Kualitatif Batas-Batas Cekungan Air Tanah Purwokerto-Purbalingga”. *Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers: Pengembangan Sumberdaya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XI*, 12-14 Oktober 2021. Purwokerto, 2022.
- [7] Arisbaya, I., Handayani, L., Sudrajat, Y.. “Evaluasi Data Gravitasi Terrestrial dan Perbandingannya dengan Data Gravitasi Skala Regional dan Model Geopotensial Global: Studi Kasus Zona Sesar Cimandiri di Sekitar Pelabuhan Ratu”. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 19, no.1, hal. 19-28, 2018.
- [8] Zaenudin, A., Yulistina, S.. “Studi Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan untuk Mengetahui Sistem Sesar Berdasarkan Analisis First Horizontal Derivative (FHD), Second Vertical Derivative (SVD), Dan 2,5D Forward Modeling di Daerah Manokwari Papua Barat”. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, vol. 4, no. 2, hal. 173-186, 2018.
- [9] Telford W.M., Gedaart L.P., Sheriff R.E. *Applied Geophysics*. Cambridge. New York, 1990.
- [10] Blakely R.J. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press. USA, 1995.
- [11] Elkins, T.A., “The Second Derivative Method of Gravity Interpretation”. *Geophysics Journal*. vol. 23. hal 97-127, 1951.
- [12] Sehad, Rizqi, N.S., Abdullatif, R.F.. “Modeling of Coal-Bearing Rock Formations in the Kutai Basin, North Panajam Paser Regency, Kalimantan Based on Satellite Gravity”. *Earth Sciences Malaysia (ESMY)*, vol. 8, no. 2, hal. 41-47, 2024
- [13] Soraya, V., “Identifikasi Patahan Kawasan Blawan-Ijen Berdasarkan Data Anomali Gravitasi GGMplus dengan Analisa Second Vertical Derivative (SVD)”. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jember. Jember, 2020.
- [14] Harhale, Erlangga, “Aplikasi Turunan Pertama dan Kedua Vertikal pada Analisis Data Gravitasi dan Geomagnet”. Skripsi. Jurusan Fisika. Universitas Indonesia. Depok, 2007.
- [15] Sehad, Prabowo, U.N., Raharjo, S.A., Kurniati, R., “Utilization of Satellite Gravity Anomaly Data for Two-Dimensional Modeling of Subsurface Structure of Slamet Volcano, Central Java, Indonesia”. *Malaysian Journal of Geosciences*, vol. 7, no. 1, p. 01 – 07, 2023.
- [16] Guo, L. Meng, X., Chen, Z., Li, S., and Zheng Y.. “Preferential Filter-ing for Gravity Anomaly Sparation”. *Computers and Geosciences*, vol. 5, p. 247 – 254, 2013.
- [17] Hiskiawan, P., “Effect of Upward Continuation Contour Patterns on Geomagnetic Data of Interpretation of Reduction to the Poles”. *Saintifika*, vol. 18, no. 1, p. 18 – 26, 2016.
- [18] Zaenudin, A., Dani, I., Amalia, N. “Delineasi Sub-Cekungan Sorong Berdasarkan Anomali Gayaberat”. *Jurnal Geocelebes*, vol. 4, no. 1, hal. 14-22, 2020.
- [19] Sehad, Prabowo, U.N., Raharjo, S.A.. “Pemanfaatan Data Anomali Gravitasi Citra Satelit untuk Interpretasi Kualitatif Batas Cekungan Air Tanah Purwokerto-Purbalingga”. *Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XI*, 12-14 Oktober 2021. Purwokerto, 2022.
- [20] Yulistina, S., “Studi Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan untuk Mengetahui Sistem Sesar Berdasarkan Analisis First Horizontal Derivative (FHD), Second Vertical Derivative (SVD), dan 2,5D Forward Modeling di Daerah Manokwari Papua Barat”. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, vol. 4, no. 2, hal. 62-76, 2020.
- [21] Grandis, H., *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia. Jakarta, 2009.

- [22] Saputra, F.R.T., Rosid, M.S., Fachruddin, Ali, S., Huda, S., and Wiguna, I.P.A.P., “Analysis of Soil Dynamics and Seismic Vulnerability in Kalibening District, Banjarnegara Using the HVSR Method”. *Journal of Physics: Conference Series 2377* (2022) 012038.
- [23] Mukherjee, S., Khonsari, M.M., Brittle Rotational Faults and The Associated Shear Heating. *Marine and Petroleum Geology*, vol. 88, p. 551 – 554, 2017.