
Identifikasi Anomali Gravitasi di Wilayah Sulawesi Tenggara Berdasarkan Data Gravitasi GGMplus

Hilmi Zakariya¹, Relly Margiono^{1,2}, Adinda Novitri¹, Anggi Pevriadi¹

¹Program Studi Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG), Indonesia

²Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Indonesia

ABSTRACT

Pulau Sulawesi terletak di wilayah *triple junction* atau tiga lempeng dunia, yaitu Lempeng Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia yang membuat sistem tektonik di wilayah ini sangat kompleks dan rawan terhadap ancaman gempa bumi. Terkhusus Sulawesi Tenggara, merupakan salah satu wilayah yang pernah dilanda gempa bumi merusak pada tanggal 25 April 2011 dan 11 Juli 2011. Gempa bumi ini diakibatkan oleh aktivitas sesar di daratan yang menyebabkan ratusan rumah mengalami kerusakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi Anomali Gravitasi di Wilayah Sulawesi Tenggara dengan menggunakan data Anomali Gaya Berat *GGMplus*. Hasil menunjukkan Nilai Anomali Bouguer Sederhana pada wilayah Sulawesi Tenggara berada pada rentang -34, 622 mGal hingga 150,967 mGal. Kemudian rentang nilai Anomali Regional berkisar antara 12,97 mGal hingga 89,26 mGal. Selanjutnya, rentang nilai Anomali Regional berkisar antara -28,24 mGal hingga 52,5 mGal.

Kata kunci : Anomali, gravitasi, GGMplus

Penulis Koresponden:

Relly Margiono,

Program Studi Geofisika,

Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Indonesia,

Jl. Perhubungan I No.5 Pondok Betung, Bintaro, Kec. Pd. Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221.

Email: rely.margiono@stmkg.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pulau Sulawesi terletak di wilayah *triple junction* tiga lempeng dunia, yaitu Lempeng Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia [1]. Lempeng Pasifik bergerak sebesar 12 cm/tahun ke arah barat dan Lempeng Australia bergerak sebesar 7 cm/tahun ke arah utara relatif terhadap Lempeng Eurasia. Pergerakan tektonik ketiga lempeng tersebut membentuk serangkaian zona sesar *strike-slip* lateral, diantaranya Sesar Palukoro, Sesar Matano, Sesar Sula-Sorong, dan Sesar Lawanopo. Selain daripada itu, faktor gaya tektonik yang dominan di wilayah Sulawesi adalah intrusi tektonik ke arah barat yang dipengaruhi oleh pergerakan Lempeng Pasifik terhadap Lempeng Eurasia [2].

Berdasarkan Buku Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang disusun oleh Pusat Studi Gempa Nasional [3], telah teridentifikasi beberapa sesar aktif di Sulawesi Tenggara. Sesar-sesar aktif tersebut diantaranya yaitu Sesar Lawanopo, Sesar Tolo, Sesar Buton dan Sesar Kendari. Karakteristik Sesar Lawanopo dan Sesar Buton segmen B telah teridentifikasi sebagai sesar mendatar (*strike slip fault*), Sesar Tolo sebagai sesar naik (*reverse fault*), Sesar Buton segmen A sebagai sesar turun (*normal fault*), dan untuk Sesar Kendari masih belum teridentifikasi karakteristik pergerakannya.

Menurut Katalog Gempa bumi Signifikan dan Merusak (1821-2018) yang diterbitkan oleh Pusat Gempa bumi dan Tsunami Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) [4], terdapat beberapa kejadian gempa merusak di Sulawesi Tenggara. Contoh kejadian gempa merusak di Sulawesi Tenggara yaitu gempa darat pada 25 April 2011 dengan kekuatan M6.0 dan 11 Juli 2011 dengan M5.4. Kedua kejadian tersebut menandakan bahwa sesar-sesar yang berada di daratan Sulawesi Tenggara tergolong masih aktif dan berpotensi memberikan potensi bencana yang sangat signifikan. Kejadian gempa 25 April 2011 dengan M6.0 memiliki mekanisme fokal sesar mendatar. Gempa ini dipicu oleh aktivitas sesar yang berada di Kabupaten Konawe Selatan yang berarah barat-timur. Guncangan gempa terasa cukup kuat di wilayah Kabupaten Konawe Selatan dan Kota

Kendari dengan intensitas III – IV MMI untuk wilayah Kota Kendari dan V – VI MMI di Kabupaten Konawe Selatan.

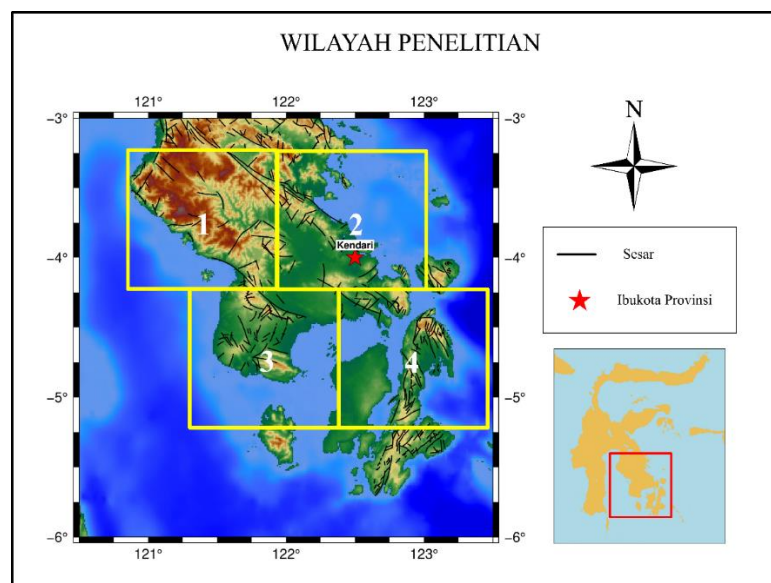
Keberadaan sesar-sesar aktif yang berada di Sulawesi Tenggara berpotensi memberikan dampak yang besar apabila terjadi gempa. Dilatarbelakangi oleh hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi Struktur Bawah Permukaan di Sulawesi Tenggara dengan mengidentifikasi Anomali Gaya Berat. Identifikasi Anomali Gaya Berat ini diharapkan dapat menjadi studi awal dalam penentuan karakteristik bawah permukaan selanjutnya seperti karakteristik sesar dan pemodelan tiga dimensi [5][6]. Aplikasi dari metode gaya berat dianggap dapat memetakan lokasi sesar serta dapat menentukan karakteristik sesar. Selain itu, metode gaya berat juga mampu menggambarkan struktur bawah permukaan dangkal dengan melakukan pemodelan nilai anomali gravitasi.

Pada penelitian ini, *Global Gravity Model plus* (GGMplus) digunakan sebagai data primer yang merupakan data satelit gravitasi. Data GGMplus merupakan gabungan dari model gravitasi satelit GOCE (*Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer*) dan GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) serta data gravitasi *Earth Gravitational Model 2008*. GGMplus digunakan karena memiliki resolusi data yang baik dengan kerapatan antar grid ~ 220 m [7]. Dari data *free air anomaly* yang terdapat pada data GGMplus, akan dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai *Simple Bouguer Anomaly*.

2. METODE PENELITIAN

Data gravitasi diperoleh melalui situs <http://ddfe.curtin.edu.au/gravity/models/>. Dalam penelitian ini, digunakan data anomali udara bebas dan data topografi ERTM2160 untuk mendapatkan nilai *Simple Bouguer Anomaly* (SBA) yang diperoleh dari <http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/ERTM2160/data/dem/>. Selanjutnya nilai SBA yang diperoleh digunakan untuk mengidentifikasi sesar beserta karakteristiknya dengan Teknik *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD).

Wilayah yang dijadikan objek penelitian adalah wilayah daratan Provinsi Sulawesi Tenggara yang terdiri dari lengan tenggara Pulau Sulawesi dan pulau besar di sekitarnya. Untuk mempermudah dalam identifikasi sesar di Sulawesi Tenggara, wilayah penelitian dibagi menjadi empat wilayah dengan rentang $1^\circ \times 1^\circ$ yang ditandai dengan kotak bergaris kuning sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Tanda bintang merah merupakan Kota Kendari sebagai Ibukota Provinsi Sulawesi Tenggara.



Gambar 1. Wilayah Penelitian dan Pembagian Wilayah.

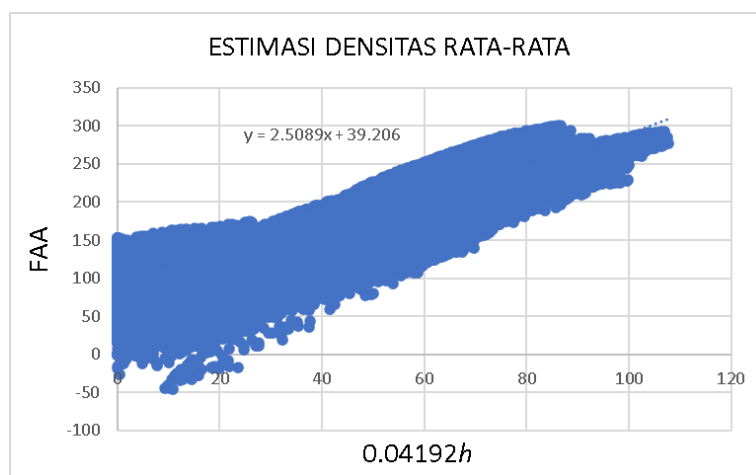
Untuk mendukung dalam melakukan interpretasi hasil penelitian digunakan data pendukung berupa data geologi dan data gempa bumi. Data geologi yang digunakan adalah peta geologi lembar Lasusua-Kendari, Kolaka, dan Buton. Peta geologi tersebut dibuat oleh Pusat

Penelitian dan Pengembangan Geologi. Data gempa bumi diambil dari katalog BMKG dengan rentang Maret 2011 – Maret 2020 dengan kriteria $M \geq 3$ dan kedalaman ≤ 30 km serta focal mekanisme dari GlobalCMT (Global Centroid Moment Tensor) untuk validasi mekanisme pergerakan sesar.

Data yang diolah dalam penelitian ini adalah *Simple Bouguer Anomaly* (SBA). Dari data *Free Air Anomaly* dan data elevasi yang sudah didapatkan, dilakukan perhitungan menggunakan *software* Microsoft Excel 2016 untuk mencari nilai SBA. Setelah nilai SBA diperoleh selanjutnya dilakukan pemisahan anomali residual dan regional menggunakan metode *moving average* dengan bantuan *software* Surfer 15. Hasil dari proses *moving average* didapatkan nilai anomali regional. Untuk mendapatkan anomali residual, data SBA dikurangi dengan anomali regional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

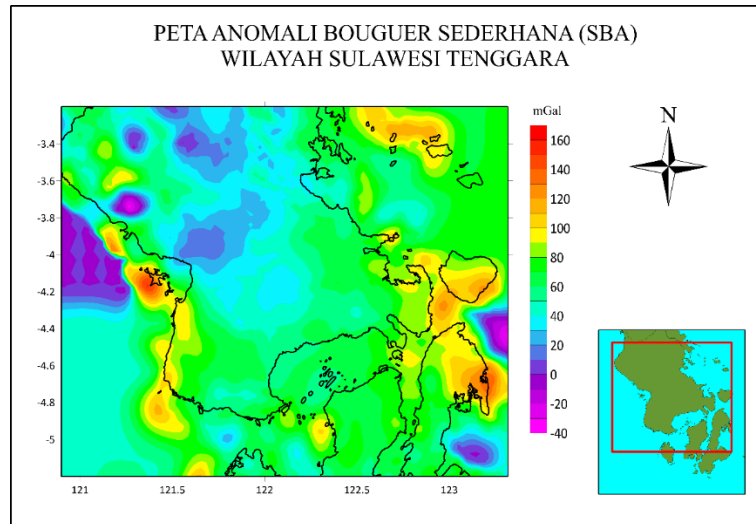
Anomali Bouguer Sederhana (SBA) didapatkan dari hasil pengolahan data anomali udara bebas (FAA) dan koreksi bouguer (BC). Untuk memperoleh nilai koreksi bouguer diperlukan nilai estimasi densitas rata-rata yang dapat diperoleh dari metode Parasnis. Berdasarkan Gambar 2, estimasi densitas rata-rata untuk wilayah Sulawesi Tenggara yaitu 2.5089 gr/cm^3 .



Gambar 2. Hasil Estimasi Densitas Rata-Rata dengan Metode Parasnis.

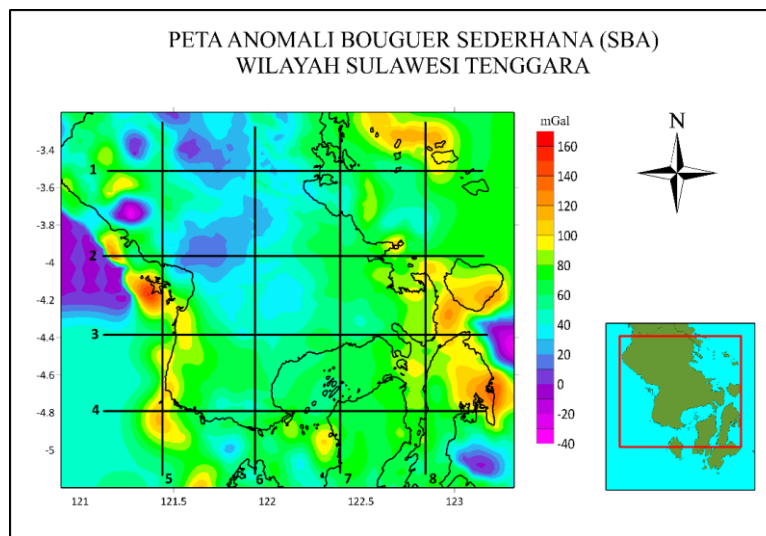
Berdasarkan tabel densitas rata-rata batuan oleh [9] dan [8], maka nilai estimasi densitas rata-rata yang diperoleh untuk wilayah Sulawesi Tenggara merupakan batuan sedimen. Menurut [10] sebagian wilayah Sulawesi Tenggara terdiri dari formasi batuan sedimen yang berupa batugamping, serpih, dan rijang. Berdasarkan hal tersebut, maka estimasi densitas rata-rata dari metode Parasnis cukup sesuai dalam mendeskripsikan kondisi geologi di Sulawesi Tenggara. Selanjutnya nilai estimasi densitas rata-rata digunakan untuk menghitung Koreksi Bouguer dan untuk memperoleh nilai Anomali Bouguer Sederhana (SBA).

Sebaran nilai Anomali Bouguer Sederhana (SBA) untuk wilayah Sulawesi Tenggara dapat dilihat pada Gambar 3. Rentang nilai Anomali Bouguer Sederhana pada wilayah tersebut berkisar antara $-34,622$ mGal hingga $150,967$ mGal. Nilai Anomali Bouguer tinggi ditandai dengan warna oranye-merah pada bagian barat daya lengan Sulawesi Tenggara dan pada timur laut Pulau Buton, sedangkan nilai Anomali Bouguer rendah ditandai dengan warna biru-ungu pada bagian tengah hingga utara lengan Sulawesi Tenggara. Nilai Anomali Bouguer Sederhana yang semakin tinggi menunjukkan bahwa batuan yang ada di bawah permukaan bersifat padat yang dipengaruhi oleh variasi densitas batuan di bawah permukaan. Untuk melihat anomali yang dipengaruhi oleh struktur permukaan dangkal diperlukan pemisahan anomali regional dan anomali residual.



Gambar 3. Peta Anomali Bouguer Sederhana Wilayah Sulawesi Tenggara

Anomali Regional adalah anomali yang bersumber sangat dalam dari permukaan seperti kerak bumi dan medan gravitasi bumi. Dalam memperoleh sebaran anomali regional perlu dilakukan proses analisis spektrum untuk memisahkan anomali regional dan anomali residual. Telah dibuat delapan lintasan sayatan untuk melihat profil SBA yang kemudian dilakukan analisis spektrum (Gambar 4).



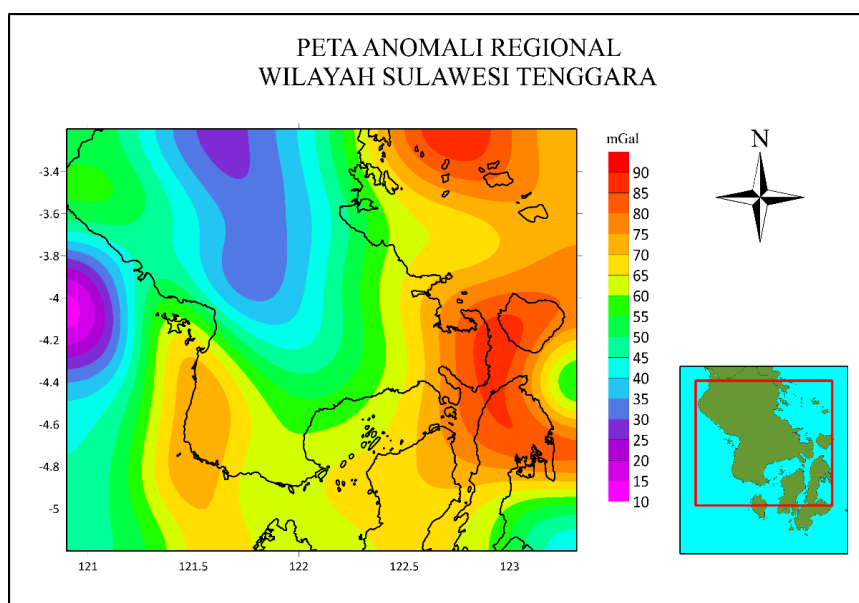
Gambar 4. Lintasan Sayatan Analisis Spektrum untuk Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Sayatan pada Gambar 4 digunakan untuk analisis spektrum dengan mentransformasikan deret fourier dari domain jarak/ruang ke bilangan gelombang. Dari tahap ini akan diketahui estimasi kedalaman anomali regional dan anomali residual dan nilai lebar jendela. Tabel 1 menunjukkan bahwa kedalaman regional rata-rata wilayah penelitian yaitu 4561 meter dan kedalaman residualnya adalah 400,9 meter. Untuk melakukan proses *Moving Average*, nilai lebar jendela harus bernilai ganjil, maka dari itu nilai lebar jendela yang diperoleh adalah 31.

Tabel 1. Perhitungan Lebar Jendela

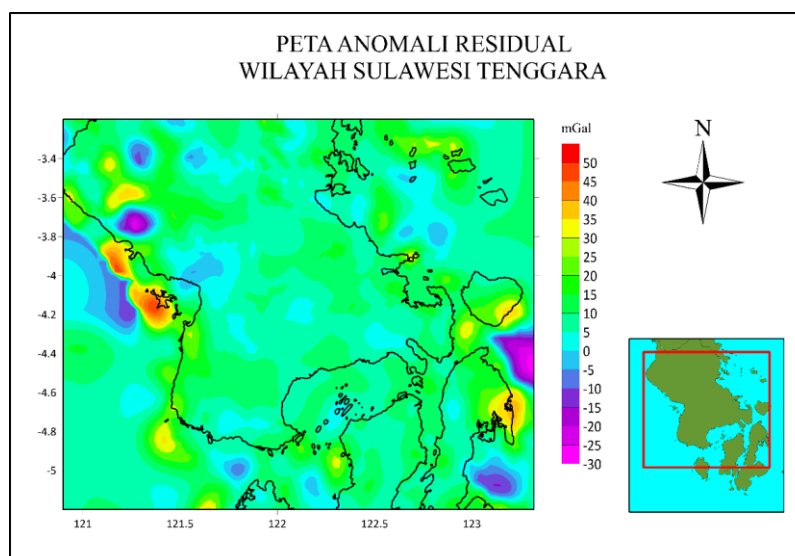
No	Zona Regional (m)	Zona Residual (m)	C1	C2	Λ	k	N
1	-4347.6	-408.09	7.8952	4.5794	0.000842	7465.068	29.86027
2	-4706.1	-436.36	8.3385	4.7537	0.00084	7483.7	29.9348
3	-4097.4	-513.06	8.3049	6.0451	0.00063	9965.958	39.86383
4	-4716.5	-256.44	7.6271	3.6506	0.000892	7047.248	28.18899
5	-4999.9	-324.84	7.6153	3.4199	0.000897	7001.542	28.00617
6	-4836.7	-373.83	8.158	4.5716	0.000804	7818.715	31.27486
7	-4673.5	-422.82	8.7007	5.7233	0.0007	8970.179	35.88071
8	-4110.3	-471.81	7.2434	4.175	0.000843	7450.563	29.80225
	-4561	-400.9					31.60149

Sebaran nilai Anomali Regional untuk wilayah Sulawesi Tenggara ditunjukkan pada Gambar 5. Rentang nilai Anomali Regional pada wilayah penelitian berkisar antara 12,97 mGal hingga 89,26 mGal. Nilai Anomali Regional tinggi ditandai dengan warna oranye-merah pada bagian timur wilayah penelitian dengan rentang nilai 75 mGal hingga 89,26 merupakan bagian kepingan benua yang tersusun atas batuan metamorf berderajat rendah [11]. Untuk nilai Anomali Regional sedang dengan rentang 50 mGal hingga 75 mGal yang ditandai dengan warna hijau-kuning adalah bagian dari kompleks ofiolit yang tersusun dari batuan beku mafik – ultramafik [10]. Nilai anomali regional rendah ditandai oleh warna biru-ungu memiliki rentang nilai anomali berkisar 12,97 mGal hingga 50 mGal merupakan bagian dari kompleks sekisyang didominasi oleh batuan sedimen klastik [12].



Gambar 5. Peta Anomali Regional Wilayah Sulawesi Tenggara

Anomali Residual adalah anomali yang bersifat lokal dan bersumber lebih dangkal dari anomali regional. Anomali Residual mendeskripsikan keadaan struktur dangkal bawah permukaan seperti sesar, cekungan, dan singkapan batuan. Anomali residual diperoleh dari hasil pengurangan Anomali Bouguer Sederhana dengan Anomali Regional. Pola Anomali Residual yang terlihat pada Gambar 6 menunjukkan pola yang lebih kompleks dibandingkan dengan pola Anomali Bouguer sederhana dan Anomali Regional. Rentang nilai Anomali Regional pada wilayah penelitian berkisar antara -28,24 mGal hingga 52,5 mGal. Nilai Anomali Residual tinggi ditandai dengan warna oranye-merah yang ditemukan pada pesisir barat Kolaka, sedangkan nilai anomali residual rendah ditandai dengan warna biru-ungu ditemukan pada wilayah Gunung Mengkoka.



Gambar 6. Peta Anomali Residual Wilayah Sulawesi Tenggara

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan Anomali Gaya Berat di Wilayah Sulawesi Tenggara, didapatkan bahwa nilai Anomali Bouger Sederhana berada pada rentang -34,622 mGal sampai dengan 150,967 mGal. Kemudian didapatkan bahwa rentang nilai Anomali Regional pada wilayah penelitian berkisar antara 12,97 mGal hingga 89,26 mGal. Selanjutnya, Rentang nilai Anomali Regional pada wilayah penelitian berkisar antara -28,24 mGal hingga 52,5 mGal. Dari ketiga nilai anomali yang didapatkan menunjukkan Wilayah Sulawesi Tenggara memiliki nilai Kontras Anomali yang sangat signifikan. Adanya nilai kontras anomali yang signifikan ini dapat ditindaklanjuti dengan analisis lanjutan seperti penentuan karakteristik sesar ataupun pemodelan tiga dimensi sehingga struktur bawah permukaan di wilayah tersebut dapat digambarkan dengan lebih jelas.

REFERENSI

- [1] Warren Hamilton, *Tectonic Of The Indonesian Region*. Washington, 1979.
- [2] D. H. Natawidjaja and M. R. Daryono, "The lawanopo fault, central Sulawesi, East Indonesia," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1658, 2015, doi: 10.1063/1.4915009.
- [3] Pusat Studi Gempa Nasional, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- [4] U. Setiyono *et al.*, *Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak 1821-2018*, Cetakan Pe. Jakarta: Pusat Gempabumi dan Tsunami, Kedepuitan Bidang Geofisika, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2019.
- [5] R. Margiono, A. Novitri, A. Pevriadi, and H. Zakariya, "Analisis Data Gravitasi Untuk Identifikasi Sesar Lokal Penyebab Gempabumi Di Wilayah Barat Daya Sumba Indonesia," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 22, no. 2, pp. 67–73, 2021, [Online]. Available: <http://puslitbang.bmkg.go.id/jmg/index.php/jmg/article/view/824>
- [6] A. K. Maimuna, E. A. Pramesthi, Y. A. Segoro, and ..., "Analisis Anomali Gaya Berat Menggunakan Metode SVD dan Pemodelan 3D (Studi Kasus Gempa di Kepulauan Togean, Kabupaten Tojo Una-Una, Sulawesi ...)," *J. Geofis.*, vol. 19, no. 01, pp. 17–23, 2021, [Online]. Available: <https://178.128.59.82/index.php/jurnal-geofisika/article/view/466>
- [7] C. Hirt, S. Claessens, T. Fecher, M. Kuhn, R. Pail, and M. Rexer, "New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 40, no. 16, pp. 4279–4283, 2013, doi: 10.1002/grl.50838.
- [8] J. M. Reynolds, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics 2nd Edition*. Wiley-Blackwell, 2011.
- [9] W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, "Applied geophysics," *Cambridge University Press*. 1990. doi: 10.1038/127783a0.
- [10] H. Panggabean and Surono, "Tektono-Stratigrafi Bagian Timur Sulawesi," *J. Sumber Daya Geol.*, vol. 21, no. 5, pp. 239–248, 2011.
- [11] Z. Zakaria and D. Sidarto, "Aktifitas Tektonik di Sulawesi dan Sekitarnya Sejak Mesozoikum Hingga Kini Sebagai Akibat Interaksi Aktifitas Tektonik Lempeng Tektonik Utama di Sekitarnya," *Agustus*, vol. 16, no. 3, pp. 115–127, 2015.
- [12] L. T. White, R. Hall, and R. A. Armstrong, "The age of undeformed dacite intrusions within the Kolaka Fault zone, SE Sulawesi, Indonesia," *J. Asian Earth Sci.*, vol. 94, pp. 105–112, 2014, doi: 10.1016/j.jseas.2014.08.014.