

Deteksi Aktivitas Sesar Lombok Berdasarkan Data Anomali Gaya Berat Antar Waktu dan Geodetik

Suhayat Minardi^{1,a)}, Teguh Ardianto^{2,b)}, Alfina Taurida Alaydrus^{3,c)}

^{1,2,3} Kelompok Bidang Kepeminatan Geofisika,
Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram,
Jl. Majapahit no. 62 Mataram, Indonesia, 83125

^{a)} suhayat.minardi@unram.ac.id (corresponding author)

^{b)} tardianto@yahoo.com

^{c)} alfinataurida@unram.ac.id

Abstrak

Penelitian dengan tujuan untuk mendeteksi adanya aktivitas sesar di Pulau Lombok yang membentang dari Lombok Timur hingga Lombok Tengah telah dilakukan selama dua tahun. Sumber anomali gaya berat mikro antar waktu berada di permukaan dan di bawah permukaan, sehingga anomali yang terdeteksi akan mencerminkan aktivitas yang terjadi di permukaan maupun di bawah permukaan. Data yang digunakan adalah data hasil pengukuran pada bulan Agustus 2016 dan April 2018. Pada periode tersebut terdeteksi adanya anomali gaya berat mikro antar waktu sebesar 77 hingga 475 mikroGal. Hasil tersebut kemudian diverifikasi dengan data pengukuran geodetik (GPS) yang diukur pada periode waktu yang sama, dan hasilnya menunjukkan adanya aktivitas sesar di daerah penelitian.

Kata-kata kunci: aktivitas sesar, anomali antar waktu, gaya berat, geodetik

PENDAHULUAN

Kepulauan Indonesia adalah gugusan pulau-pulau yang secara geodinamik terletak pada wilayah konvergen tiga buah lempeng besar. Di bagian selatan ada Lempeng Indo-Australia yang bergerak menuju ke utara dengan kecepatan 6 – 10 cm/tahun dan dari timur Lempeng Pasifik menuju ke barat dengan kecepatan 7 – 13 cm per tahun [1, 2]. Sebagai pulau yang terletak di bagian selatan Indonesia, gerakan lempeng Indo-Australia itu berakibat langsung pada kepada geodinamika Pulau Lombok. Salah satunya adalah teraktivitasnya sesar-sesar yang berada di pulau Lombok, sehingga Pulau Lombok mempunyai potensi yang cukup besar untuk terjadi gempa bumi [3].

Terkait dengan hal tersebut, maka perlu pemantauan terhadap aktivitas sesar-sesar yang ada di Pulau Lombok. Salah satu sesar yang perlu dipantau adalah sesar yang membentang dengan arah Timurlaut-Baratdaya, sepanjang sekitar 75 km dan sesar yang berarah Baratlaut-Tenggara [4]. Kedua sesar tersebut telah terdeteksi berdasarkan data gaya berat baik menggunakan data sekunder dari *Bureau Gravimetric International/International Gravimetric Bureau* [5] maupun dengan data primer hasil pengukuran tahun 2016 [6]. Metode geofisika yang sesuai untuk mencapai tujuan tersebut adalah metode gaya berat mikro antarwaktu dan hasilnya analisisnya diverifikasi dengan metode geodetik, yang mempunyai kemampuan untuk memantau deformasi baik secara vertikal maupun lateral.

Metode gaya berat antar waktu adalah metode yang digunakan untuk memantau perubahan anomali gaya berat selama selang waktu tertentu. Nilai anomali Bouguer lengkap didefinisikan oleh [7] sebagai:

$$\Delta g(x, y, z) = g_{\text{obs}} - g_{\phi} + (c_1 - c_2\rho)h + c_3\Delta h \dots \dots \dots (1)$$

dengan:

- $\Delta g(x, y, z)$: Anomali Bouguer lengkap (ABL) (mGal)
- g_{obs} : Nilai gaya berat pengamatan (mGal)
- g_{ϕ} : Nilai gaya berat teoritik pada lintang ϕ (mGal)
- c_1 : Konstanta koreksi udara bebas ($=0,30876 \text{ s}^{-2}$)
- c_2 : Konstanta koreksi Bouguer ($=0,04193 \text{ cm}^3 \cdot \text{gr} \cdot \text{s}^{-2}$)
- c_3 : Konstanta untuk koreksi medan (s^{-2})
- ρ : Rapat massa ($\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$)
- h : Elevasi stasiun pengamatan (cm)
- Δh : Beda elevasi stasiun pengamatan dengan elevasi rata-rata kompartemen di sekelilingnya (cm)

Anomali gaya berat mikro antar waktu didefinisikan sebagai [8]:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = \Delta g(x, y, z, t_2) - \Delta g(x, y, z, t_1) \dots \dots \dots (2)$$

di mana:

- $\Delta g(x, y, z, \Delta t)$: Anomali gaya berat mikro antar waktu (mGal)
- $\Delta g(x, y, z, t_1)$: Anomali Bouguer lengkap periode 1(mGal)
- $\Delta g(x, y, z, t_2)$: Anomali Bouguer lengkap periode 2 (mGal)

Jika terjadi perubahan elevasi stasiun pengamatan selama selang dua periode pengamatan, maka Persamaan (2) dapat dituliskan menjadi:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = (g_{obs(2)} - g_{obs(1)}) - (g_{\phi(2)} - g_{\phi(1)}) + (0,30876 - 0,04193\rho)(h_2 - h_1) + c_3(\Delta h_2 - \Delta h_1) \dots \dots \dots (3)$$

dengan:

- $g_{obs(1)}$ dan $g_{obs(2)}$: Nilai gaya berat pengamatan periode (1) dan periode (2)
- $g_{\phi(1)}$ dan $g_{\phi(2)}$: Nilai gaya berat teoritik pada lintang ϕ periode (1) dan periode (2)
- h_1 dan h_2 : Elevasi stasiun pengamatan periode (1) dan periode (2)
- Δh_1 dan Δh_2 : Beda elevasi stasiun pengamatan dengan topografi di sekelilingnya periode (1) dan periode (2)

Suku kedua ruas kanan dapat diabaikan jika selama selang periode pengamatan tidak terjadi pergeseran stasiun pengamatan pada arah horizontal ($\phi_1 = \phi_2$), dan Persamaan (3) dapat dituliskan menjadi:

$$(g_{obs(2)} - g_{obs(1)}) = \Delta g(x, y, z, \Delta t) - (0,30876 - 0,04193\rho)(h_2 - h_1) - c_3(\Delta h_2 - \Delta h_1) \dots \dots \dots (4)$$

Sumber berupa benda 3 dimensi dengan distribusi rapat massa $\rho(\alpha, \beta, \gamma)$ selama selang waktu tertentu (Δt), menghasilkan nilai gaya berat di titik P(x,y,z) sebesar [9]:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = G \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta \rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \dots \dots \dots (5)$$

dengan

- G : Konstanta gravitasi umum ($= 6,67384 \times 10^{-11} \text{ N}(\text{m}/\text{kg})^2$)
- x, y, z : Koordinat titik ukur di permukaan (stasiun)
- α, β, γ : Koordinat pusat benda anomali di bawah permukaan
- Δt : Selang waktu pengukuran

Berdasarkan Persamaan (4) dan (5) diperoleh:

$$(g_{obs(2)} - g_{obs(1)}) = G \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta \rho(\alpha, \beta, \gamma, \Delta t)}{[(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma$$

$$-(0,30876 - 0,04193\rho)(h_2 - h_1) - c_3(\Delta h_2 - \Delta h_1) \dots\dots\dots(6)$$

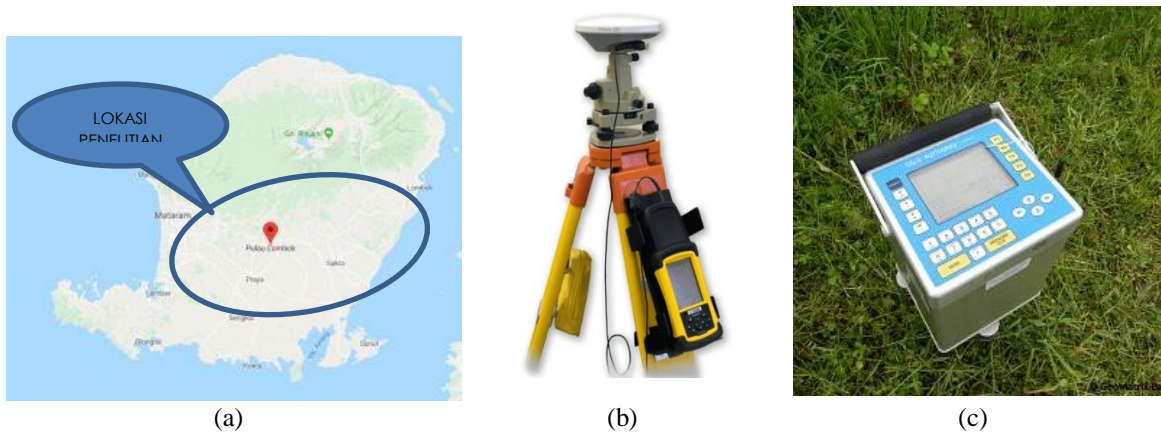
Berdasarkan pemodelan matematis dan simulasi menggunakan data sintetik, anomali gaya berat mikro antar waktu tidak terpengaruh oleh efek topografi. Konsolidasi tanah juga tidak mengakibatkan berkurangnya massa tanah sehingga koreksi Bouguer dapat diabaikan. Berdasarkan pernyataan di atas, maka Persamaan (6) dapat disederhanakan menjadi [10] :

$$(g_{obs(2)} - g_{obs(1)}) = \left(G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha,\beta,\gamma,\Delta t)}{[(x-\alpha)^2+(y-\beta)^2+(z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \right) + 0,30876(h_2 - h_1) \dots\dots\dots (7)$$

Dari persamaan (7) terlihat bahwa anomali gaya berat mikro antar waktu merupakan superposisi dari anomali yang bersumber dari perubahan di permukaan, berupa tinggi titik pengukuran, dan dinamika bawah permukaan, misal pergerakan fluida, dan perubahan densitas.

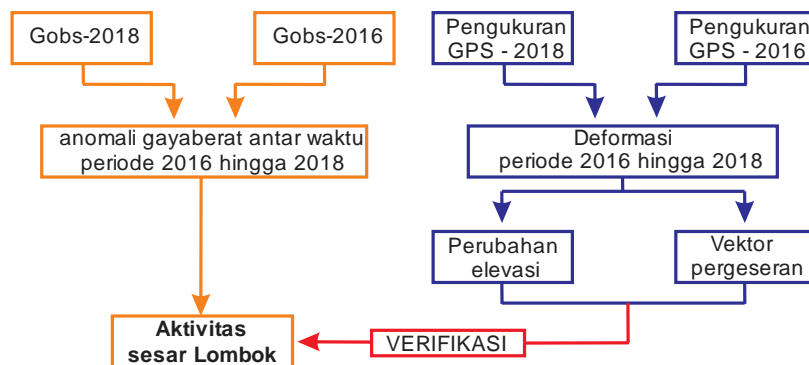
METODE

Metode gaya berat mikro antar waktu dicirikan oleh pengukuran berulang dengan skala pengukuran teliti, dalam orde mikroGal. Pengukuran dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada tahun 2016 dan 2018. Pengukuran tersebut meliputi pengukuran gaya berat dan geodetik (GPS). Lokasi pengukuran adalah di Kabupaten Lombok Tengah dan Kabupaten Lombok Timur, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1(a). Peralatan yang digunakan adalah GPS tipe geodetik merk Trimble tipe R3 (Gambar 1(b)) dan gravity meter Scintrex Autograv CG-5 (Gambar 1(c)).



Gambar 1. (a) Lokasi pengambilan data [11]; (b) alat ukur geodetik Trimble tipe R3 [12]; (c) alat ukur gaya berat Scintrex Autograv CG-5 [13]

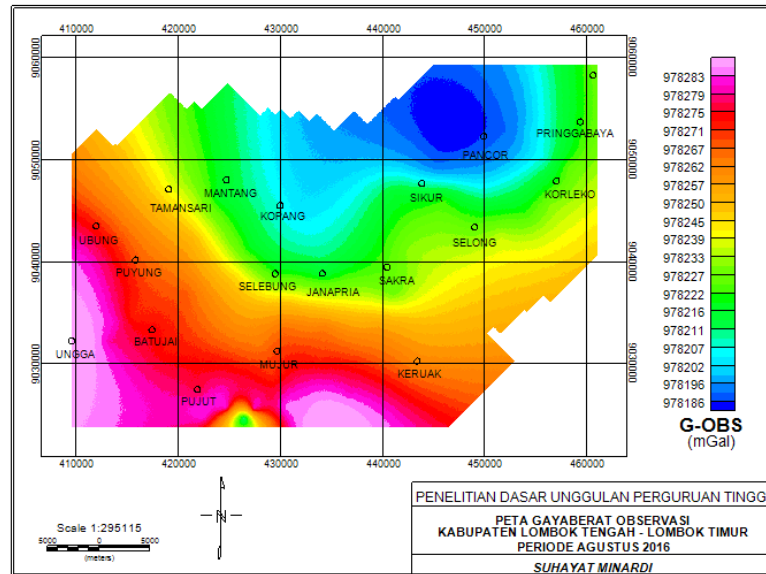
Tahapan pengolahan datanya digambarkan dalam bentuk diagram, sebagaimana ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Tahapan pengolahan data (warna jingga adalah metode gaya berat dan biru adalah metode geodetik)

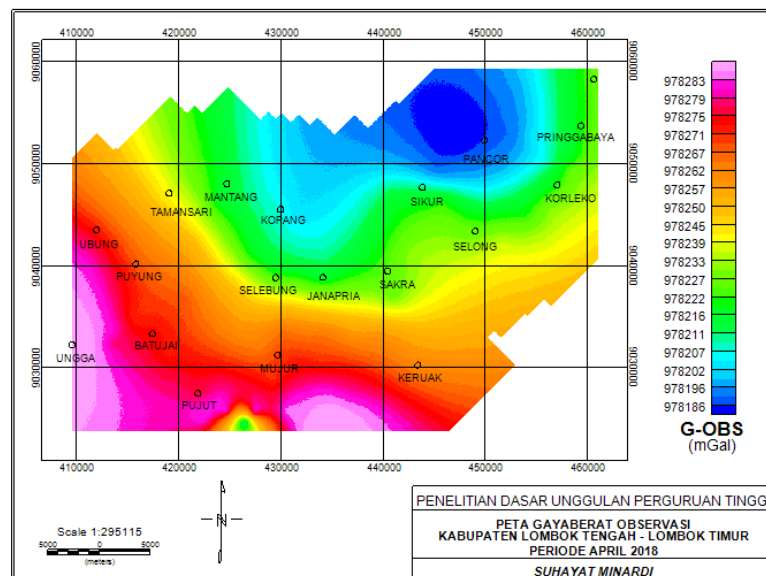
HASIL DAN DISKUSI

Pengukuran gaya berat tahun 2016 menghasilkan nilai pengamatan Gobs berkisar (978186 – 978283) miliGal, sebagaimana ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengukuran gaya berat tahun 2016 (bulan Agustus)

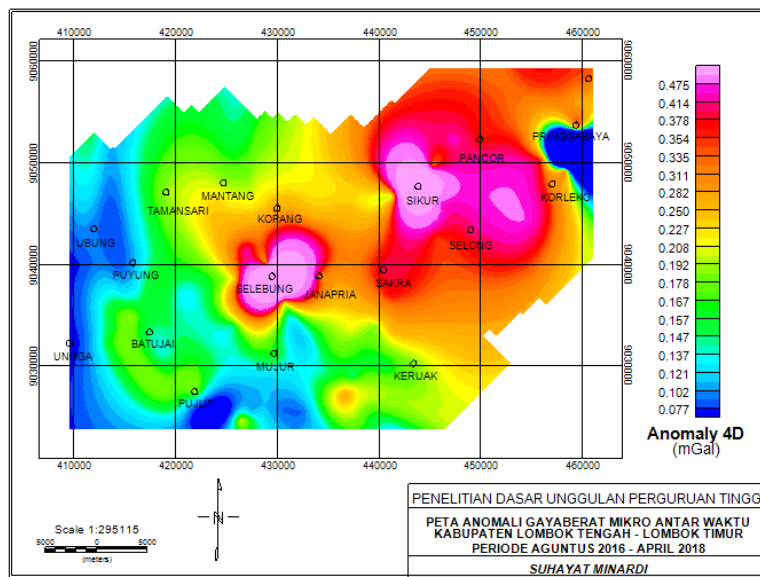
Berdasarkan Gambar 3 tersebut, nilai Gobs-nya cenderung semakin kecil ke arah utara dan semakin membesar ke arah selatan. Hal yang sama juga dilakukan pada hasil pengukuran gaya berat tahun 2018 (gambar 4).



Gambar 4. Hasil pengukuran gaya berat tahun 2018 (bulan April)

Gambar 3 dan Gambar 4 sekilas tampak sama, tapi sebenarnya hasil pengukuran keduanya menunjukkan adanya perbedaan. Sebagaimana tujuan dari penelitian ini yaitu penelitian *monitoring*, maka nilai gaya berat dan GPS yang dipergunakan adalah nilai perubahan nilai gaya berat. Perbedaan atau selisih nilai gaya berat tersebut sangatlah kecil, dalam orde mikroGal, oleh karena itu selisih nilai tersebut dinamakan anomali gaya berat mikro antar waktu. Nilai anomali gaya berat mikro antar waktu untuk periode Agustus 2016 hingga April

2018 diperoleh dengan mengurangkan nilai gaya berat hasil pengukuran tahun 2018 dengan nilai gaya berat hasil pengukuran tahun 2016, yang hasilnya seperti ditampilkan pada Gambar 5.

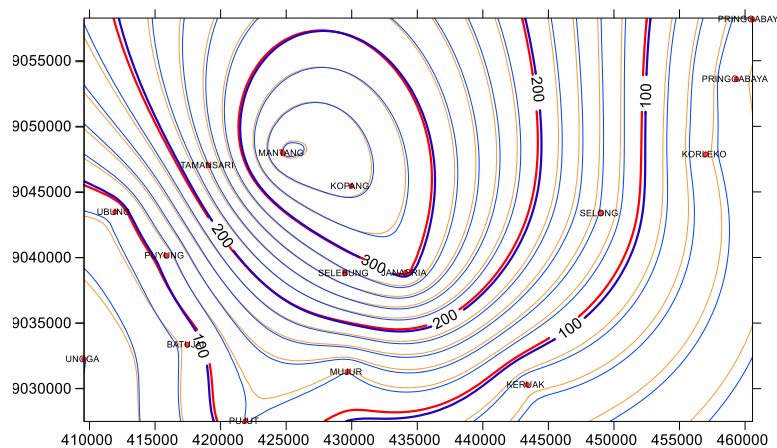


Gambar 5 Perubahan nilai gaya berat selama selang waktu Agustus 2016 hingga April 2018

Dari Gambar 5 tersebut terlihat bahwa anomali gaya berat mikro antar waktu periode Agustus 2016 hingga April 2018 berkisar antara (0,077 – 0,475) miliGal atau (77 – 475) mikroGal. Sumber anomali gaya berat mikro antar waktu dapat berupa:

- Sumber yang berada di permukaan yaitu sumber berupa deformasi permukaan bumi, baik berupa deformasi vertikal (amblesan dan pengangkatan) maupun deformasi horizontal berupa pergeseran permukaan/lempeng.
- Sumber bawah permukaan, berupa penambahan atau pengurangan massa akibat pergerakan fluida atau material di bawah permukaan.

Berkaitan dengan penelitian ini sumber anomali gaya berat mikro antar waktu yang berasal dari permukaan bumi akan terdeteksi akan diverifikasi dengan menggunakan data hasil pengukuran GPS. Untuk melihat perubahan selama periode Agustus 2016 hingga April 2018, data GPS hasil pengukuran 2018 di *overlay* dengan data hasil pengukuran tahun 2016 sebagaimana yang ditampilkan dalam Gambar 6.

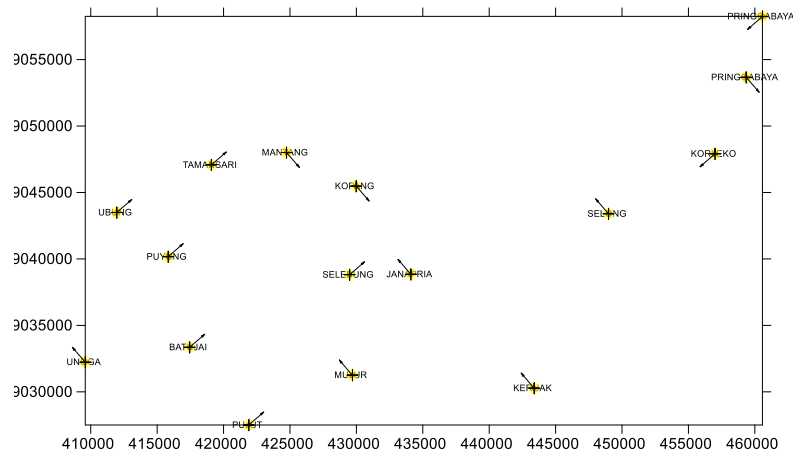


Gambar 6. *Overlay* peta topografi antara hasil pengukuran GPS tahun 2016 (kontur biru) dan hasil pengukuran GPS tahun 2018 (kontur merah)

Pada Gambar 6 hasil pengukuran GPS tahun 2016 digambarkan dengan kontur berwarna biru dan hasil pengukuran GPS tahun 2018 digambarkan dengan kontur berwarna merah. Terlihat pada gambar tersebut kedua

kontur tersebut tidak berhimpit, hal ini menunjukkan telah terjadi deformasi baik pada arah vertikal maupun arah horizontal. Akibat pergeseran pada arah vertikal menyebabkan interpolasi topografi/elevasi pada saat proses *gridding* (pengikisan) akan menghasilkan kontur ketinggian yang berbeda pada titik sama (dari dua periode pengukuran berbeda).

Selain perubahan pada arah vertikal, perubahan horizontal juga dapat dideteksi dengan data geodetik. Deformasi horizontal terukur dengan bergesernya titik ukur GPR, yang direpresentasikan dengan perubahan koordinat pada kedua arahnya (x dan y). Hasil resultan kedua arah pergeseran tersebut akan membentuk vektor pergeseran pada setiap titik ukur yang ditunjukkan dengan tanda panah. Pergeseran titik (vektor) dari setiap titik hasil pengukuran GPS tahun 2016 dan 2018 ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Vektor pergeseran titik ukur GPS antara hasil pengukuran tahun 2016 dan tahun 2018

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data dapat ditarik kesimpulan bahwa pada periode Agustus 2016 hingga April 2018 telah terjadi aktivitas di sepanjang sesar (patahan) yang membentang dari Lombok Timur hingga Lombok Tengah. Hal ini ditandai dengan adanya anomali gaya berat mikro antar waktu dan adanya deformasi di permukaan, berupa amblesan dan pengangkatan, dan pergeseran titik ukur yang terukur dengan menggunakan GPS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018 Nomor: 065/SP2H/LT/DPRM/2018. Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang mendukung pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Katili, J.A., Review of Past and Present geotectonic concept of eastern Indonesia, *Netherland Journal Sea. Res.* 24(2/3), pp. 103 – 129 (1989)
2. Hamilton, Warren., 1979, *Tectonics of the Indonesian region.* USGS Professional Paper, 1078.
3. Kertapati E., 2006. *Aktivitas Gempabumi di Indonesia (Perspektif Regional pada Karakteristik Gempabumi Merusak).* Bandung: Pusat Survey Badan Geologi.
4. Manurung.Y.S dan Karno, 1997. *Hasil Eksplorasi Mineral Logam Di Daerah Mataram, Kabupaten Lombok Barat dan Lombok Tengah, Propinsi Nusa Tenggara Barat,* DSM, Bandung.
5. Minardi, Suhayat, Teguh Ardianto, Alfina Taurida Alaydrus, 2014, *Pemodelan Gaya berat Untuk Mendeteksi Keberadaan Sesar Di Pulau Lombok,* Prosiding SNAFT IV, Universitas Airlangga, Surabaya

6. Minardi, Suhayat, Teguh Ardianto, Alfina Taurida Alaydrus, 2016, Detection of Lombok Faults Using Gravity Methods, Proceeding International Conference on Science and Technology (ICST)
7. Blakely, R.J. (1996) : Potential theory in gravity and magnetic application, Cambridge University Press, New York, 337.
8. Sarkowi, M. (2007) : Gaya beratmikro antar waktu untuk analisa perubahan kedalaman muka air tanah (Studi kasus dataran aluvial Semarang), Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.
9. Kadir, W.G.A., 1999, Survey gaya berat 4-D dan dinamika bawah permukaan, Proceeding PIT HAGI 1999
10. Minardi, Suhayat, 2010, Pengembangan Filter Berbasis Model dengan Banyak Masukan (Multi Input) pada Data Gaya beratMikro Antarwaktu untuk Pemantauan Amblesan (Studi Kasus : DKI Jakarta), Disertasi, ITB, Bandung
11. <http://lombokgreenproperty.com/pulau-lombok/>
12. <http://teknologisurvey.com/gps-geodetic-trimble-r3>
13. <https://www.geomatrix.co.uk/land-products/gravity/scintrex-cg5/>