

Analisis SBA (*Simple Bouguer Anomaly*) Sebelum Gempa Padang Panjang 6 Maret 2007 Sebagai Prekursor Gempa Bumi

Fhatihatul Rahmi*, Dwi Pujiastuti

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 14 Juni 2021
Direvisi: 8 Juli 2021
Diterima:

Kata kunci:

Anomali *Bouguer*
Gempa bumi
GRACE
Gravitasi
Polarisasi

Keywords:

Bouguer anomaly
Earthquake
GRACE
Gravity
Polarization

Penulis Korespondensi:

Dwi Pujiastuti
Email:
dwipujiastuti@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian mengenai analisis SBA (*Simple Bouguer Anomaly*) sebelum gempa Padang Panjang 6 Maret 2007 telah dilakukan untuk melihat adanya korelasi antara perubahan anomali gravitasi dengan kejadian gempa bumi. Data gravitasi yang digunakan adalah data dari satelit GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) dan metode yang digunakan adalah metode *time-lapse microgravity*. Hasil kontur anomali selisih SBA menunjukkan adanya polarisasi anomali gravitasi yang terjadi di sekitar episenter gempa pada 35 hari sebelum gempa. Terdapat zona anomali tinggi di bagian tenggara dan zona anomali rendah di bagian barat daerah penelitian. Berdasarkan data gravitasi dari satelit, diperoleh grafik harian SBA yang menunjukkan penurunan secara perlahan dari 35 hari hingga 20 hari sebelum gempa. Setelah itu, diikuti kenaikan secara terus menerus dari 20 hari hingga 15 hari sebelum gempa. Untuk mengidentifikasi anomali gravitasi yang muncul, maka dilakukan perhitungan selisih harian SBA. Berdasarkan data selisih harian SBA, muncul anomali medan gravitasi tanggal 28 Januari 2007 pada 35 hari sebelum gempa dengan perubahan maksimum dari tanggal 22–23 Februari 2007 sebesar 0,4907 μgal pada titik episenter gempa. Anomali yang muncul tersebut dapat dijadikan prekursor gempa bumi.

Research on SBA (Simple Bouguer Anomaly) analysis before March 6, 2007, Padang Panjang earthquake has been carried out to see a correlation between changes in gravity anomaly and earthquake occurrences. The gravity data used is data from the GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) satellite, and the method used is the time-lapse microgravity method. Results of the SBA difference anomaly show polarization of the gravitational anomaly that occurred around the epicenter of the earthquake 35 days before the earthquake. There is a high anomaly zone in the southeast and a low anomaly zone in the west of the study area. A daily SBA graph is obtained based on satellites' gravity data, showing a gradual decline from 35 days to 20 days before the earthquake. After that, it was followed by a continuous increase from 20 days to 15 days before the earthquake. A daily difference calculation is performed on the SBA data to identify the gravity anomaly. Based on SBA daily difference data, the gravitational field anomaly appeared on January 28, 2007, for 35 days before the earthquake with a maximum gravity anomaly from February 22–23, 2007 of 0,4907 μgal at the epicenter of the earthquake. These anomalies can be used as precursors for the earthquake.

Copyright © 2021 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Sesar Sumatera merupakan sesar *dextral strike slip fault* (sesar manganan) yang menyebabkan blok kiri bergeser ke utara dan blok kanan ke selatan dengan kecepatan 2,5-3,0 mm/tahun (Sih dan Natawidjaja, 2000). Sesar Sumatera tersegmentasi menjadi beberapa bagian, salah satunya segmen Sianok. Pada segmen ini, pernah terjadi tiga gempa besar yaitu tahun 1926, 1943 dan 2007. Sesar segmen Sianok merupakan sesar aktif yang terletak di bagian timur hingga tenggara Kota Padang Panjang. Kota Padang Panjang merupakan wilayah yang memiliki struktur geologi berupa kekar, pelapisan batuan dan sesar lokal bernama sesar Bukit Jarat. Sesar lokal tersebut dicirikan oleh tebing terjal pada bukit bagian selatan Kota Padang Panjang dan kelurusan lembah sungai. Selain itu, dijumpai juga zona hancuran sekitar bukit gamping di Lubuk Simata Kucing. Hal ini menjadikan Kota Padang Panjang rawan gempa bumi.

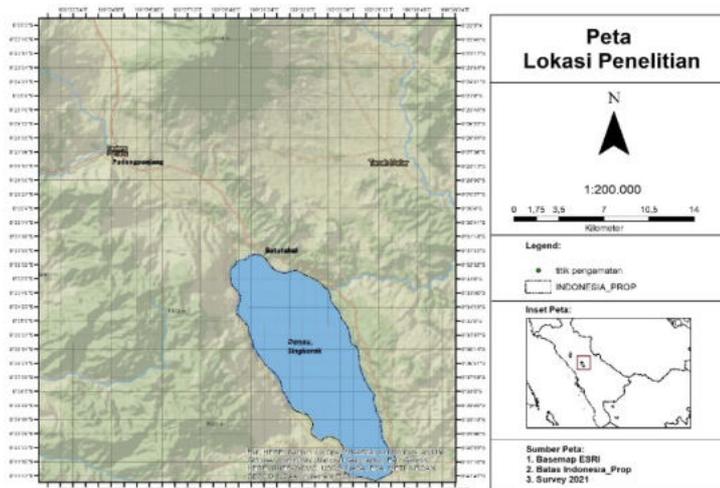
Gempa bumi yang disebabkan sumber gempa patahan terjadi karena adanya aktivitas tektonik. Tekanan yang disebabkan oleh aktivitas tektonik akan mempengaruhi batuan yang berada di zona lemah seperti kekar atau rekahan. Ketika energi yang tersimpan dalam batuan mencapai batas kritis, maka terjadi pelepasan energi sehingga rekahan tersebut bergerak. Pergerakan rekahan ini disebut patahan. Patahan menyebabkan perubahan distribusi massa di bawah permukaan bumi serta perubahan ketinggian permukaan tanah. Perubahan ini berkaitan dengan nilai gravitasi yang terukur di permukaan dan dapat diketahui menggunakan metode gravitasi. Kelebihan metode gravitasi yaitu mampu mendeteksi keberadaan struktur geologi di bawah permukaan meskipun tidak terdapat indikasi adanya struktur geologi di permukaan. Adanya patahan akan tetap mempengaruhi variasi nilai densitas batuan, terlepas dari ada atau tidaknya penampakan patahan tersebut di permukaan. Keberadaan patahan dapat diindikasikan dengan adanya kemenerusan kontras nilai anomali percepatan gravitasi. Beberapa penelitian sudah lama menggunakan anomali percepatan gravitasi untuk mendeteksi pergerakan sesar. Yoshida dkk. (1999) melaporkan adanya perubahan gravitasi sebesar 30 μ gal sebelum dan setelah gempa "swarm" tahun 1997 di Izu Peninsula, Jepang yang diakibatkan oleh aktivitas sesar Kita-Izu. Liang dkk. (2016) melaporkan adanya perubahan gravitasi sebesar 0,1 μ gal sebelum gempa bumi Menyuan, China.

Sriyanto dkk. (2017) memanfaatkan data satelit GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*) untuk mengidentifikasi perubahan anomali gravitasi akibat gempa Papua 28 Juli 2015 magnitudo 7,0. Untuk mengidentifikasi perubahan anomali, dilakukan perhitungan perubahan harian data anomali gravitasi dari satelit mulai dari 15 hari sebelum hingga 15 hari sesudah kejadian gempa. Hasil menunjukkan bahwa adanya perubahan anomali yang signifikan pada hari ke-13 sebelum gempa (tanggal 14 Juli 2015) yaitu terjadi kenaikan maksimum nilai SBA (*Simple Bouguer Anomaly*) sebesar 0,0029 mgal, sedangkan sehari setelahnya terjadi perubahan SBA ke nilai minimum yaitu -0,0029 mgal. Pratama dkk. (2018) mengidentifikasi perubahan anomali gravitasi akibat gempa bumi Tasikmalaya 2 September 2009 magnitudo 7,0 menggunakan data satelit GRACE. Hasil menunjukkan adanya polarisasi kontur di sekitar episenter gempa yang bernilai positif pada kontur SBA, kemudian terjadi penurunan nilai SBA secara signifikan pada 15 hari sebelum gempa sebesar 0,000375956 mgal dan 1 hari sebelum gempa terjadi penurunan 0,000067422 mgal. Penurunan nilai SBA terjadi sampai tanggal 7 September 2009 yang kemudian diikuti dengan kenaikan nilai SBA secara perlahan. Berdasarkan uraian di atas, penelitian terdahulu telah menunjukkan adanya korelasi perubahan gravitasi sebelum terjadinya gempa bumi. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai analisis SBA (*Simple Bouguer Anomaly*) sebelum gempa Padang Panjang 6 Maret 2007 berdasarkan data satelit GRACE untuk mengetahui perubahan gravitasi sebelum kejadian gempa yang dapat menghasilkan hipotesis, model dan metode baru dalam penelitian prekursor gempa bumi.

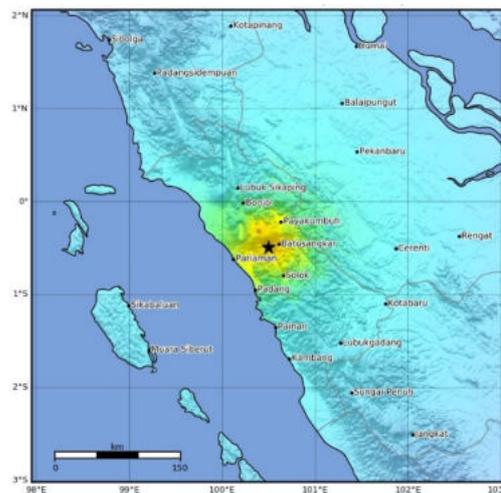
II. METODE

Data yang digunakan adalah data gravitasi citra satelit GRACE dari tanggal 25 Januari-15 April 2007. Data gravitasi diunduh dari situs web <https://icgem.gfz-potsdam.de/calgrid/>. Data tersebut adalah data percepatan gravitasi dengan *grid step* 0,01° dan menghasilkan 1122 titik pengukuran pada wilayah penelitian 0,3° - 0,6° LS dan 100,3° - 100,6° BT yang dapat dilihat pada Gambar 1. Data yang diperoleh dari satelit GRACE adalah data gravitasi yang sudah terkoreksi hingga anomali *Bouguer* sederhana. Selain data gravitasi, dibutuhkan juga data gempa bumi. Data gempa bumi yang dipilih adalah gempa

Padang Panjang 6 Maret 2007 berkekuatan > 6 SR (*Scala Richter*) yang digolongkan sebagai gempa bumi besar. Data episenter gempa bumi diambil dari website USGS (*United Stated Geological Survey*). Pada tanggal tersebut terjadi dua kali gempa dengan sumber yang sama dan selang waktu berdekatan, maka dapat dianggap sebagai satu kejadian gempa. Data gempa bumi Padang Panjang 6 Maret 2007 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian



Gambar 2 Peta gempa 6 Maret 2007 magnitudo 6,4 dengan titik episenter ditandai dengan simbol bintang

Tabel 1 Informasi gempa bumi 6 Maret 2007

No	Tanggal	Waktu (UTC)	Latitude (°)	Longitude (°)	Magnitude	Depth (km)
1	06-03-2007	03:49:38	-0,493	100,498	6,4	19
2	06-03-2007	05:49:25	-0,488	100,53	6,3	11

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *time-lapse microgravity* yang merupakan pengembangan metode gravitasi tiga dimensi dengan memasukkan dimensi keempat berupa waktu (Kadir, 2004). Persamaan *time-lapse microgravity* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta g(x, y, z, \Delta t) = \Delta g(x, y, z, \Delta t_2) - \Delta g(x, y, z, \Delta t_1) \quad (1)$$

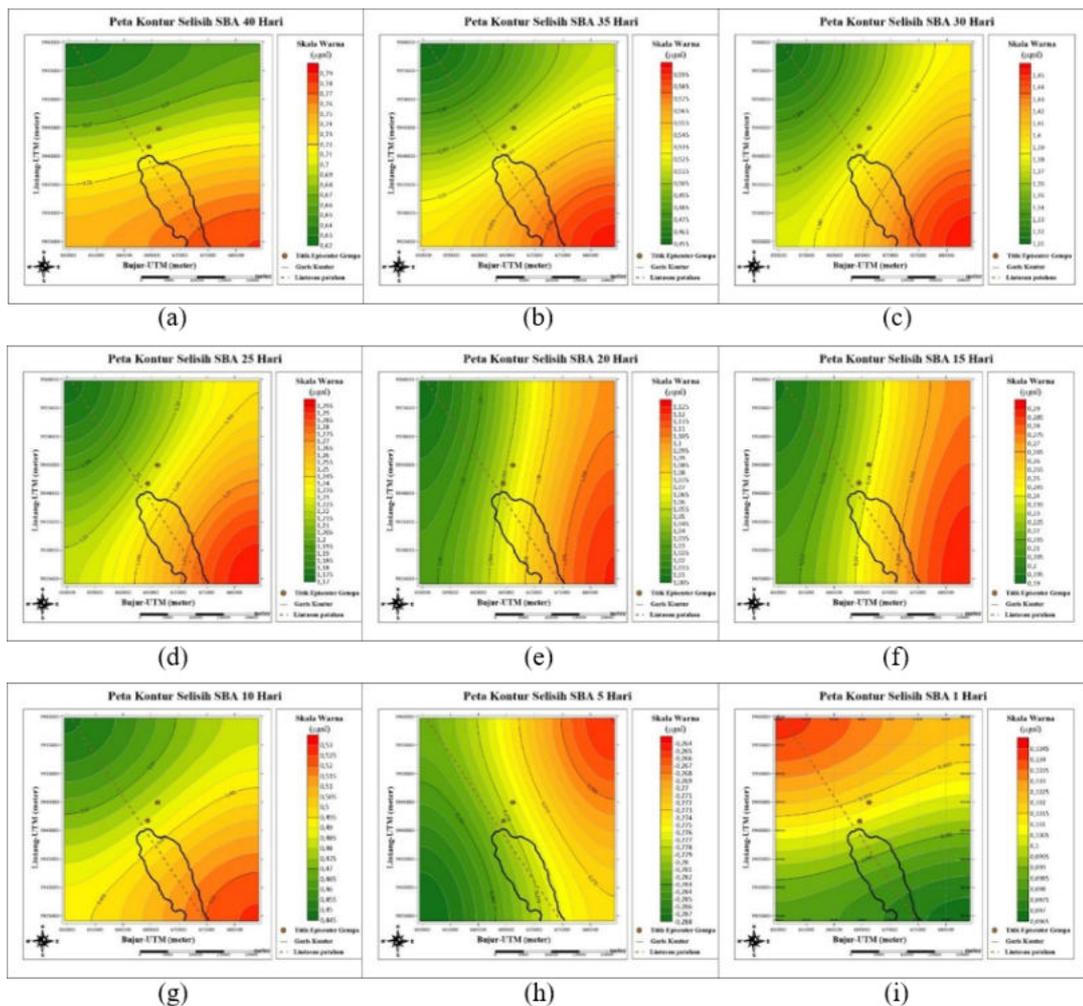
dengan $\Delta g(x, y, z, \Delta t_2)$: anomali *Bouguer* akhir
 $\Delta g(x, y, z, \Delta t_1)$: anomali *Bouguer* awal

Setelah diperoleh data gravitasi, dilakukan perhitungan anomali *time-lapse microgravity* dan pembuatan peta kontur harian SBA serta peta kontur selisih SBA menggunakan *software surfer* yang bertujuan untuk menggambarkan distribusi percepatan gravitasi di daerah penelitian. Setelah itu, dianalisis pola kontur variasi spasial dari nilai perubahan percepatan gravitasi harian selama rentang waktu 40 hari sebelum kejadian hingga 40 hari sesudah kejadian gempa. Berdasarkan variasi spasial perubahan harian, selanjutnya dilakukan sayatan melintang pada peta kontur harian SBA maupun kontur anomali gravitasi 4D. Hal ini bertujuan untuk melihat penampang melintang profil perubahan anomali *Bouguer* di sekitar daerah episenter gempa. Selain itu, dilihat pula nilai perubahan anomali *Bouguer* di posisi episenter gempa yang dilakukan untuk mengidentifikasi variasi perubahan nilai SBA di episenter secara temporal. Untuk mendapatkan anomali gravitasi yang berkorelasi dengan kejadian gempa Padang Panjang 6 Maret 2007, maka dilakukan validasi dengan melihat kejadian gempa bumi di daerah penelitian dari waktu munculnya anomali hingga kejadian gempa.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakteristik Perubahan Gravitasi dengan menggunakan Metode *Time-lapse Microgravity*

Pada metode *time-lapse microgravity* dilakukan perhitungan selisih SBA dengan waktu sesudah t dan waktu sebelum t' gempa. Pada penelitian ini dipilih t' dan t yaitu 1 hari, 5 hari, 10 hari, 15 hari, 20 hari, 25 hari, 30 hari, 35 hari, 40 hari sebelum dan sesudah gempa Padang Panjang 6 Maret 2007. Setelah itu, dilakukan pembuatan peta kontur selisih SBA yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.

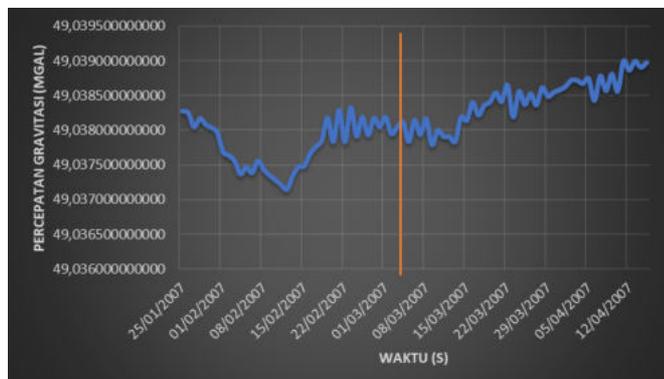


Gambar 3 Polarisasi nilai SBA pada episenter (a) 40 hari, (b) 35 hari, (c) 30 hari, (d) 25 hari, (e) 20 hari, (f) 15 hari, (g) 10 hari, (h) 5 hari, (i) 1 hari sebelum dengan sesudah terjadinya gempa

Berdasarkan kontur di atas, terlihat bahwa distribusi nilai SBA dari Gambar 3(a) hingga Gambar 3(i) pada daerah penelitian berubah dari waktu ke waktu. Pada Gambar 3(b) terdapat zona anomali tinggi di bagian tenggara dan zona anomali rendah di bagian barat laut daerah penelitian. Anomali tinggi berada pada rentang nilai 0,565-0,605 μgal dan anomali rendah berada pada rentang nilai 0,455-0,505 μgal , di antara zona anomali tinggi dengan anomali rendah terdapat zona episenter gempa 6 Maret 2007. Pada rentang ini sudah terlihat adanya perubahan anomali gravitasi bernilai positif di sekitar episenter gempa. Hal tersebut dapat dilihat dari pola dan warna kontur yang dihasilkan. Berdasarkan Gambar 3(b) kontur selisih SBA 35 hari, pola kontur menunjukkan bahwa terdapat polarisasi di sekitar titik episenter gempa bumi yang berkisar antara 0,525-0,515 μgal . Polarisasi di sekitar episenter gempa juga terlihat pada Gambar 3(c) kontur selisih SBA 30 hari, Gambar 3(d) kontur selisih 25 hari, Gambar 3(e) kontur selisih 20 hari, Gambar 3(f) kontur selisih 15 hari, Gambar 3(g) kontur selisih 10 hari dan Gambar 3(i) kontur selisih 1 hari sebelum dengan sesudah gempa dengan anomali bernilai positif, sedangkan Gambar 3(h) kontur selisih SBA 5 hari anomalnya bernilai negatif. Perubahan anomali gravitasi ini terjadi disebabkan adanya perubahan distribusi massa di bawah permukaan ataupun perubahan ketinggian permukaan tanah di daerah penelitian.

3.2 Nilai Harian SBA di Titik Episenter Gempa 6 Maret 2007

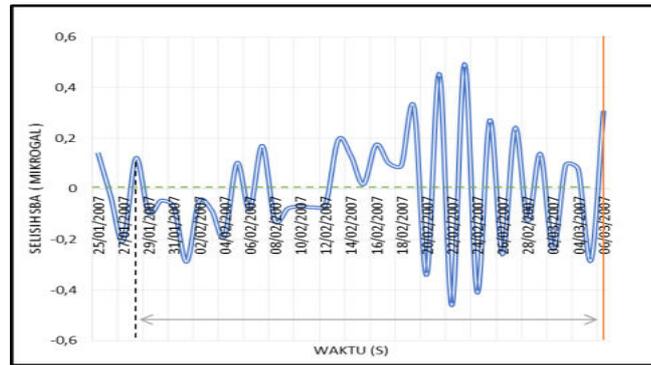
Berdasarkan data gravitasi yang didapatkan dari citra satelit GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*), diperoleh nilai gravitasi harian di titik episenter gempa dari 40 hari sebelum hingga 40 hari sesudah gempa. Untuk melihat nilai SBA yang lebih mudah, maka disajikan dalam bentuk grafik harian SBA terhadap waktu. Secara umum, di titik episenter gempa terjadi penurunan nilai SBA secara perlahan mulai dari 35 hari hingga 20 hari sebelum gempa bumi yaitu tanggal 28 Januari-12 Februari 2007 dengan penurunan nilai SBA maksimum pada tanggal 12 Februari 2007. Sehari setelahnya diikuti dengan kenaikan nilai gravitasi secara terus-menerus pada 20 hingga 15 hari sebelum gempa bumi yaitu tanggal 13-19 Februari 2007. Selanjutnya, rentang waktu 10 hari sebelum gempa nilai anomali gravitasi berubah secara signifikan dengan perubahan maksimum terjadi dari tanggal 22 sampai tanggal 23 Februari 2007. Pada selang waktu 1 hari kejadian gempa 6 Maret 2007 terjadi kenaikan nilai gravitasi sebesar 0,308722189 μgal pada titik episenter magnitudo 6,4. Perubahan nilai harian SBA tersebut dapat dilihat pada Gambar 4 dengan hari kejadian gempa bumi ditandai dengan garis warna *orange*.



Gambar 4 Grafik harian SBA di episenter gempa 6 Maret 2007 magnitudo 6,4

3.3 Selisih Harian SBA di Titik Episenter Gempa Bumi 6 Maret 2007

Untuk melihat perubahan gravitasi maka dilakukan perhitungan selisih harian berdasarkan data harian SBA yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5. Dari grafik perubahan selisih harian SBA akan dapat diketahui ada atau tidaknya anomali gravitasi yang muncul dalam beberapa hari sebelum gempa. Anomali yang dimaksud adalah nilai selisih SBA dengan perubahan gradien negatif-positif yang signifikan, dimana nilai selisih SBA yang melebihi batas standar deviasi (nilai nol) akan dipandang sebagai anomali medan gravitasi pada rentang waktu terjadinya anomali. Anomali tersebut dapat dijadikan sebagai tanda-tanda awal sebelum gempa.



Gambar 5 Grafik selisih harian SBA di episenter gempa 6 Maret 2007 magnitudo 6,4

Jika dilihat grafik pada Gambar 5, pada rentang waktu 35 hari sebelum gempa muncul anomali medan gravitasi yaitu tanggal 28 Januari 2007 sebesar $0,121379933 \mu\text{gal}$ pada titik episenter gempa, sehingga dapat dikatakan anomali gravitasi yang muncul pada 35 hari sebelum gempa (tanggal 28 Januari - 6 Maret 2007) tersebut diindikasikan sebagai prekursor gempa bumi. Perubahan anomali gravitasi maksimum terjadi dari tanggal 22-23 Februari 2007 sebesar $0,490763281 \mu\text{gal}$ pada daerah penelitian. Sumber anomali dianggap sebagai representasi episenter gempa bumi, sehingga anomali yang muncul pada tanggal 28 Januari 2007 merupakan prekursor untuk gempa bumi Padang Panjang 6 Maret 2007.

Anomali gravitasi yang muncul menandakan bahwa adanya perubahan gravitasi yang terjadi di daerah penelitian dan posisi episenter gempa bumi 6 Maret 2007 berada dekat batas blok pergerakan sesar Sianok. Perubahan gravitasi yang terjadi pada zona episenter sebelum gempa bumi di daerah penelitian disebabkan oleh tingkat stress dari zona pusat gempa mencapai kondisi kritis. Hal ini dapat menimbulkan adanya tekanan dan kompaksi batuan (regangan) dan pengurangan densitas batuan. Adanya stress dalam kondisi kritis di zona pusat gempa ini, menimbulkan pergerakan fluida pada lapisan bumi yang ditandai dengan kenaikan atau pengurangan level air, selama stress mencapai kondisi kritis, massa batuan mengalami retakan di sekitar zona pusat gempa yang menyebabkan adanya patahan pada seluruh batuan tersebut. Proses deformasi yang timbul pada zona pusat gempa sebelum terjadi gempa akan menimbulkan adanya zona-zona dengan densitas tinggi dan rendah pada daerah penelitian (Liang, 2016).

3.4 Hubungan Perubahan Gravitasi dan Gempa Bumi

Sebelum gempa 6 Maret 2007, medan gravitasi berubah dan membentuk gradien gravitasi di sekitar episenter gempa. Anomali gravitasi muncul pada 35 hari sebelum gempa ditandai dengan kenaikan nilai SBA. Anomali ini menandakan bahwa adanya perubahan gravitasi yang terjadi di sekitar episenter dan terjadi peningkatan pergerakan material serta tekanan bawah tanah secara terus-menerus di daerah penelitian. Menurut penelitian sebelumnya, anomali gravitasi muncul ditandai dengan adanya polarisasi kontur di sekitar episenter gempa dan adanya perubahan gravitasi yang signifikan di sepanjang patahan aktif sebelum gempa bumi terjadi. Gempa bumi Tasikmalaya 2 September 2009 terjadi dengan mekanisme sesar naik. Dari hasil pengamatan GPS menunjukkan terdapat pergeseran koseismik sebesar 2,1 cm terdeteksi di sekitar Garut Selatan. Sebelum gempa terjadi, terdapat polarisasi di sekitar episenter gempa yang bernilai positif berdasarkan kontur selisih SBA pada 10 hari. Dengan menggunakan metode *time-lapse microgravity*, terlihat anomali gravitasi muncul pada 15 hari sebelum gempa bumi di sekitar episenter. Anomali muncul ditandai adanya penurunan nilai SBA secara signifikan kemudian diikuti dengan kenaikan nilai harian SBA secara perlahan. Penurunan maksimum terjadi pada tanggal 27-28 Agustus 2009 sebesar $0,375856 \mu\text{gal}$ (Pratama dkk., 2018). Gempa Papua magnitudo 7,0 pada 28 Juli 2015 terjadi di zona sesar lokal aktif Papua yang berarah barat-timur. Sebelum gempa bumi Papua, terdapat polarisasi kontur selisih SBA pada 15 hari sesudah dengan 15 hari sebelum gempa yang terdapat dua zona anomali tinggi dan anomali rendah di sekitar posisi episenter gempa. Perubahan nilai gravitasi juga terlihat pada titik episenter gempa yang ditunjukkan oleh kenaikan nilai SBA pada 13 hari sebelum kejadian gempa sebesar $1,42 \mu\text{gal}$ (Sriyanto dkk., 2017).

IV. KESIMPULAN

Grafik harian SBA di titik episenter gempa menunjukkan penurunan nilai SBA secara perlahan dari 35 hari sampai 20 hari sebelum gempa yaitu tanggal 28 Januari - 12 Februari 2007, dengan penurunan nilai SBA maksimum terjadi pada tanggal 12 Februari 2007. Setelah itu, diikuti kenaikan nilai SBA secara terus menerus dari 20 hari sampai 15 hari sebelum gempa yaitu tanggal 13 Februari - 19 Februari 2007. Berdasarkan grafik selisih harian SBA, pada 35 hari sebelum gempa muncul anomali medan gravitasi yaitu tanggal 28 Januari 2007 sebesar 0,121379933 μgal . Jadi anomali yang muncul tersebut merupakan prekursor untuk gempa bumi 6 Maret 2007 dan metode *time-lapse microgravity* dapat digunakan dalam penelitian prekursor gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Kadir, W., 2004, Penerapan Metoda Gayaberatmikro-4D untuk Proses Monitoring, Jurnal JTM Tek., hal. 170-179.
- Liang, W., 2016, Gravity Variations Before the Menyuan Ms 6.4 Earthquake, Journal Geodesy and Geodynamics 2016, The Second Monitoring and Application Center, China Earthquake Administration, , Vol. 7, No. 4, hal. 223-229.
- Pratama, D. A., Ruhullessin, A., Pratama, F. A., 2018, Identifikasi Perubahan Anomali Gaya Berat Akibat Gempa Bumi Tasikmalaya 2 September 2009 Mw 7.0 Menggunakan Citra Satelit GRACE, Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2018, Banten.
- Sieh, K., dan Natawidjaja, D., 2000, Neotectonics of the Sumatran fault, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, No. 28, hal. 295-228.
- Sriyanto, S.P.D., Ariwibiwo, S., Fatimah, A., 2017, Pemanfaatan Data Citra Satelit GRACE untuk Mengidentifikasi Perubahan Anomali Gaya Berat Akibat Gempa Bumi Papua 2015 Mw 7, Prosiding The 5th Geoinformation Science Symposium 2017, hal. 1001-108, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Yoshida, S., Seta, G., Okubo, S., Kobayashi, S., 1999, Absolute Gravity Change Associated with the March 1997 Earthquake Swarm in the Izu Peninsula, Japan, *Earth Planets Space*, Vol. 51, hal. 3-12.
- ICGEM Homepage, 2017, Calculation of Gravity Field Functionals on Ellipsoidal Grids, <http://icgem.gfz-postdam.de/cals>, di akses Desember 2020.
- USGS Homepage, 2020, EarthExplorer, <https://earthexplorer.usgs.gov/>, di akses Agustus 2020 Abidin, H.Z., *Geodesy Satellite*, (P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, 2001).