

## TEKNOLOGI GNSS DALAM MANAJEMEN GEMPA BUMI DI INDONESIA

**Agnes Sri Mulyani**

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Jakarta

*Email: agnes.mulyani@uki.ac.id*

Masuk:22-04-2023, revisi: 27-04-2023, diterima untuk diterbitkan: 30-04-2023

---

### ABSTRAK

Akibat risiko pengulangan gempa bumi tektonik di Indonesia tinggi, maka diperlukan pemantauan pergerakan lempeng bumi secara berkala. Pengamatan posisi suatu titik pantau adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk pemantauan gempa bumi yang disebabkan adanya aktivitas tektonik. Gambaran tentang pergerakan posisi titik pantau secara kontinyu dapat diamati menggunakan GPS. GPS merupakan salah satu rujukan dalam studi geodinamika guna mengamati pola dan berubahnya arah gerak blok kerak bumi dalam menganalisis patahan aktif di bumi. Kondisi titik pantau dalam satu fase gempa tektonik (earthquake cycle) dapat digambarkan dengan metode pengamatan posisi. Beberapa fase yang terdiri dari inter-seismic, pre-seismic, co-seismic, dan post-seismic adalah satu earthquake cycle. Untuk itu perlu dipelajari sedini mungkin deformasi lempeng tektonik supaya di masa yang akan datang risiko kerusakan dan kerugian lingkungan akibat bencana gempa bumi dapat diminimalisir. Tulisan ini bertujuan untuk menelaah teknologi GPS dalam memantau dinamika bumi dengan metode studi literatur. Model potensi bencana alam gempa bumi daerah yang diteliti dapat ditentukan dengan menggunakan data GPS sebagai input dan outputnya adalah model aktifitas sesar. Sangat penting adanya manajemen terhadap bencana yang baik dan tanggap agar kerusakan akibat bencana yang terjadi dapat diminimalisir. Suatu hal yang menjadi keharusan bagi daerah yang berpotensi gempa adalah menggunakan teknologi guna mengetahui adanya gempa dan mengetahui lokasi akan terjadinya tsunami, serta mempunyai infrastruktur guna mengirim informasi tersebut pada penduduk, sehingga mereka siap apa yang harus dilakukan.

**Kata kunci:** Gempa bumi tektonik; GPS; Geodinamika; Fase gempa tektonik; Manajemen bencana

### ABSTRACT

*The high risk of recurring tectonic earthquakes in Indonesia requires regular monitoring tectonic activity. One method that can be used in monitoring earthquakes due to tectonic activity is to observe the position of a monitoring point with GPS. It can provide an overview of the movement of point continuously. GPS is one of the references in geodynamic studies to observe patterns and changes in the direction of movement of blocks of the earth's crust in analyzing active faults in the earth. The position observation method can describe the condition of the monitoring points during one tectonic earthquake phase (earthquake cycle), namely inter-seismic, pre-seismic, co-seismic, and post-seismic. It is necessary to study as early as possible the deformation of tectonic plates so that in the future the risk of damage and loss to the environment due to earthquakes can be minimized. This paper aims to examine GPS technology in monitoring earth dynamics using the literature study method. By inputting GPS data and the output is the fault activity model, it is possible to determine the potential earthquake disaster model in the area studied. It is important to have good and responsive disaster management to minimize the damage caused by a disaster. Areas with a potential for earthquakes must have technology to know if there is an earthquake and where a tsunami will occur, have the infrastructure to transmit this information to residents, and residents must be prepared to know what to do.*

**Keywords:** Tectonic earthquakes; GPS; Geodynamic; Earthquake phases; Disaster management

## 1. PENDAHULUAN

Posisi geografis Indonesia berada diantara tiga buah lempeng besar dunia yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia dan lempeng Pasifik serta sembilan lempeng kecil lainnya yang terus aktif bergerak. Sebagai konsekuensinya Indonesia sangat rawan terhadap bencana geologi, baik gempa bumi, tsunami, erupsi gunung api, dan gerakan tanah. Aktifitas tektonik

lempeng-lempeng tersebut sangat besar dan karena adanya pergerakan lempeng-lempeng yang menyusun bumi, dimana lempeng tersebut saling bertumbukan, bergesekan, dan menindih satu sama lain, maka terjadilah gempa bumi. Lempeng tektonik yang bergerak dapat dipantau dengan posisi stasiun Global Positioning Sistem (GPS) yang dalam waktu tertentu berubah. Lempeng tektonik yang bergeser diamati guna mempelajari pola Bergeraknya lempeng sebelum terjadinya gempa, waktu gempa terjadi, dan setelah terjadinya gempa. Gempa bumi merupakan getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Bencana gempa bumi besar yang terjadi di Indonesia tercatat beberapa kali seperti gempa Laut Banda 1938 (8,5Mw), gempa Aceh yang merupakan gempa bumi yang dahsyat disertai tsunami terjadi 26 Desember tahun 2004 di Samudra Hindia, lepas pantai barat Aceh (9,2Mw), gempa Nias tahun 2005 (8,7Mw), gempa Pangandaran tahun 2006 (7,7Mw), gempa Yogyakarta tahun 2006 (5,9Mw), gempa Bengkulu tahun 2007 (8,4Mw), gempa Padang tahun 2009 (7,6Mw), gempa Palu tahun 2018 (7,4Mw), gempa Cianjur tahun 2022 (5,6Mw) dan gempa Mentawai tahun 2023 (6,9Mw). Gempa tersebut menyebabkan jatuhnya korban jiwa, infrastruktur dan bangunan rusak, serta menghabiskan dana trilyunan rupiah untuk rehabilitasi dan rekonstruksi.

Pemantauan potensi dan usaha mitigasi bencana merupakan langkah yang penting sekali untuk dilakukan karena adanya fakta dan data bahwa banyak efek negatif yang diakibatkan terjadinya gempa bumi. Dengan adanya langkah tersebut efek negatif yang diakibatkan oleh bencana gempa bumi diharapkan menjadi berkurang. Analisis mekanisme siklus dan tahapan gempa bumi dan dilakukannya penelitian adalah suatu upaya untuk memantau potensi dan mitigasi bencana alam gempa bumi. Pengulangan gempa merupakan siklus gempa bumi (earthquake cycle) didefinisikan sebagai satu siklus gempa bumi yang berlangsung dalam waktu puluhan hingga ratusan tahun. Satu siklus gempa terdiri dari beberapa tahapan gempa, yaitu tahapan inter-seismic, pre-seismic, co-seismic, dan post-seismic [Mori (2004), Vigny (2004), Ando (2005), Natawidjaja (2004) dalam Kelompok Keilmuan Geodesi, 2007].

Pemantauan dan pemetaan risiko adalah kunci utama dalam rangka pengelolaan risiko bencana secara terstruktur dan terintegrasi. Penelitian dalam bentuk dokumen sejarah tentang gempa, geologi, geofisika misalnya lapisan batuan, terumbu karang, paleo-tsunami, paleo-likuifaksi, dan lainnya dilakukan sebagai analisis terhadap siklus gempa. Fenomena yang menyertai tahapan gempa seperti deformasi, seismisitas, informasi pengukuran geofisika (reseistivitas elektik, pengamatan muka dan temperatur air tanah), dan lainnya diamati dan diteliti sebagai bentuk analisis tahapan gempa. [Mori (2004), Vigny (2004; 2005), Ando (2005), Natawidjaja (2004) dalam Kelompok Keilmuan Geodesi, 2007].

Salah satu cara agar status *seismic* diketahui adalah melakukan pengamatan terhadap deformasi tektonik yang berhubungan dengan siklus sebuah gempa. Menggunakan pendekatan Geodesi dengan Teknologi *Interferometry Synthetic Aperture Radar* (InSAR) dan GPS dapat dilakukan untuk pengamatan deformasi. InSAR merupakan teknologi Geodesi yang dikembangkan guna pengamatan deformasi dengan ketelitian sampai centimeter (Abidin, 2001 dalam Pratama 2022). Dibandingkan dengan InSAR, GPS mempunyai orde ketelitian yang lebih tinggi. Vector deformasi kerak bumi yang berhubungan dengan gempa bumi secara tiga dimensi yaitu deformasi dalam arah horizontal dan vertikal dengan tingkat ketelitian sampai milimeter diberikan oleh teknologi GPS (Abidin et al., 2009 dalam Pratama 2022). Pada lokasi patahan tersebar beberapa titik pantau yang diperlukan dalam kegiatan pemantauan agar gerakan mikro dan gerakan makro di sekitar patahan dapat terlihat. (Widjajanti, et al., 2013 dalam Pratama, 2022).

Sejak Desember 2009 *Global Navigation Satellite System* (GNSS) yaitu sistem satelit navigasi yang beroperasi secara penuh yang menyediakan posisi geospasial dalam lingkup global. Awal dari satelit tersebut adalah sistem GPS yaitu konstelasi yang terdiri tidak kurang

dari dua puluh empat satelit, memberikankan informasi posisi koordinat yang akurat secara global. Untuk perhitungan posisi titik dimanapun di muka, maka digunakan satelit dan komputer GPS, yang dioperasikan dan dikontrol oleh United States Department of Defenses (DoD). GNSS menyediakan informasi waktu dan lokasi, memancarkan macam-macam sinyal dalam berbagai frekuensi secara terus menerus, dan dapat dipergunakan secara global dimanapun dan oleh siapapun dimuka bumi ini secara gratis, tersedia di semua lokasi di atas permukaan bumi. Untuk saat ini GNSS mempunyai enam buah satelit yaitu NAVSTAR GPS (*NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*) (USA), GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) dari Rusia, Galileo (Eropa), Compass (China)/Beidou Quasi-Zenith Sistem Satelit (QZSS), *India Regional Navigation Satellite System* (IRNSS).

Tulisan ini bertujuan untuk membahas tentang mitigasi gempa bumi dengan teknologi GPS. Dengan menggunakan salah satu teknologi yaitu GPS, dapat dimanfaatkan untuk melihat mekanisme gempa bumi. Dengan data GPS, maka dapat dilihat deformasi yang menyertai tahapan mekanisme terjadinya gempa bumi. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi potensi bencana alam gempa bumi dengan tahapan mekanisme gempa bumi sebagai usaha mitigasi dimasa datang.

## 2. METODOLOGI

Pada penulisan ini digunakan metode studi pustaka yang diambil dari beberapa jurnal ilmiah yang dipublikasikan dan beberapa artikel yang dipublikasikan secara online.

No	Pengarang, tahun	Hasil Penelitian
1	Pujiastuti,D et al, 2020	Pujiastuti melakukan penelitian dengan tujuan menyelidiki deformasi yang terjadi pada tahap <i>pra-seismic</i> gempa di Segmen Mentawai akibat gempa Februari 2008. Software GAMIT/GLOBK digunakan untuk mengolah data GPS guna memperoleh perkiraan koordinat dengan besar vektor yang bergeser dari tujuh stasiun GPS SuGAR sekitar episenter gempa pada Day of Year (DoY) 01 sampai dengan DoY 054 yang terjadi sebelum gempa Februari 2008. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada anomali deformasi tentang perubahan kecepatan deformasi di tujuh stasiun yang diamati terhadap deformasi <i>pra-seismic</i> gempa Mentawai 2008. Koordinat harian setiap stasiun hanya berubah dalam besaran millimeter. Deformasi berarah pada fase <i>pra-seismic</i> sesuai dengan arah laju penunjaman Lempeng India Australia terhadap Eurasia yaitu North – East dengan besar deformasi stasiun BSAT (Bulasat) 5,9 mm, PRKB (Parak Batu) 4,2 mm, SLBU (Silabu) 103,46 mm, SMGY (Saumangayang) 35,16 mm, KTET (Katiet) 96,9 mm, PPNJ (Pulau Siburu) 0,77 mm, dan MKMK (Muko muko) 3,6 mm. Pada wilayah pulau Sipora dan Pagai Utara terjadi pemusatan energi yang ditandai dengan besar deformasi stasiun KTET, LBU, dan SMGY dibanding stasiun BSAT, PRKB, PPNJ, dan MKMK pada tahap <i>pra-seismic</i> , terbukti adanya posisi episenter Gempa Mentawai 2008 pada daerah tersebut.
2	Efendi, J, et al, 2019	Kerangka referensi koordinat yang merupakan fungsi waktu mengalami perubahan posisi akibat dinamika bumi perlu diperhitungkan karena Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013

		(SRGI 2013) yang merupakan referensi tunggal dalam aktivitas pemetaan di Indonesia sudah diberlakukan. Deformasi <i>co-seismic</i> dapat mempengaruhi Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013 (SRGI2013) akibat terjadinya dua gempa bumi secara berurutan di daerah Danau Singkarak Sumatra Barat pada tanggal enam Maret 2007. Pada penelitian ini analisis dilakukan guna menentukan model <i>co-seismic</i> gempa bumi Sianok yang paling sesuai dan dampaknya pada SRGI 2013. Hasil analisis terhadap residual hasil validasi dengan <i>co-seismic</i> terhadap sebelas titik pengamatan GPS ternyata model <i>co-seismic</i> gempa bumi Sianok merupakan model <i>co-seismic</i> yang menggunakan data parameter gempa Global CMT yang mempunyai residual misfit sebesar 47.5 mm. Mekanisme gempa bumi sesar geser secara umum dideskripsikan oleh pola <i>co-seismic</i> gempa bumi Sianok. Nilai <i>co-seismic</i> paling besar adalah 135,43 mm dan 84,74 mm, terjadi di titik KACA dan K108. Besarnya <i>co-seismic</i> gempa bumi Sianok berpengaruh terhadap koordinat Jaring Kontrol Geodesi (JKG) di daerah sekitar terjadinya gempa, maka diperlukan pembaharuan koordinat terhadap JKG, akan tetapi peta dengan skala 1: 1000 tidak terpengaruh.
3	Joko Hartadi et al.,2015	Diawali dengan survey episodik, GPS digunakan untuk mengetahui ada tidaknya sesar aktif di suatu tempat. Digunakan kerangka jaring pengamatan relative, kemudian pada area yang teridentifikasi dipasang titik pengamatan sebanyak mungkin. Secara berkala dan konsisten dan dengan cara yang sama diperoleh data, alat ukur dan pengolahan data yang sama pada titik yang sama. Hasil yang konsisten sebagai besaran pergerakan tanah diperoleh menggunakan teori statistik. Dengan melakukan pengamatan setiap tahun selama lima tahun berturut-turut di stasiun permanen akan diperoleh hasil yang teliti. Berdasarkan hasil tersebut dibuat model tingkat sesar pada lokasi penelitian dan informasi kuantitatif diberikan untuk menentukan besar, arah dan model pergerakan deformasi.
4	Khawiendra tama, B.P.et al.,2016	Akibat adanya gempa maka terjadi deformasi maupun perubahan kecepatan. Software GAMIT digunakan untuk analisis perubahan kecepatan titik yang bergeser yang diakibatkan gempa dengan menggunakan data jaring GPS SuGar (Sumatran GPS Array) terhadap stasiun pengamatan ABGS, MSAI, NGNG, PTLO, PSMK, PSKI, TIKU dan digunakan data pada Gempa Kepulauan Batu, 14 Februari 2005 dan gempa Sumatra Selatan 29 September 2009. Perubahan kecepatan paling besar pada gempa Sumatra Selatan 29 September 2009 terjadi pada stasiun NGNG yaitu sebesar 1.02794 m/tahun.
5	Lubis, A.M., 2021	Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pemantauan GPS guna melakukan pengamatan deformasi <i>inter-seismic</i> di wilayah Bengkulu bagian utara setelah satu dekade terjadinya deformasi <i>post-seismic</i> gempa Bengkulu 2007 (Mw 8,4). Data sebanyak lima titik pengamatan yaitu BNTL, IPUH, SBLT, MURI dan KTHN diambil dengan GPS yang dilakukan pada tahun 2018-2020. Data tersebut kemudian diolah dengan GAMIT/GLOBK. Sesudah lebih sepuluh tahun ternyata gempa bumi 2007 (Mw 8,4), wilayah Bengkulu utara mengalami <i>fase inter-seismic</i> dalam siklus gempa bumi dengan adanya deformasi <i>inter-</i>

---

		<p><i>seismic</i> pada lima stasiun GPS. Sesuai dengan pergerakan relatif lempeng tektonik Indo-Australia terhadap Eurasia, vektor pergerakan pada stasiun tersebut kelihatan seragam dan kecepatan rata-ratanya 20 mm/tahun kearah timur laut. Berdasarkan hasil penelitian lainnya ternyata tidak ada deformasi <i>co-seismic</i> yang diakibatkan oleh 285 gempa yang berkekuatan <math>\geq 4.0</math> sejak Januari 2018 sampai November 2020 di wilayah Bengkulu utara.</p>
6	Maiyudi, R, 2009	<p>Studi deformasi di Sumatera Barat dilakukan pengukuran dengan GPS Geodesi untuk mitigasi bencana di masa mendatang. Data hasil pengukuran GPS Geodesi diperoleh dari data GPS Sumatran Array (SuGAR) diolah menggunakan perangkat lunak Gamit 10.5. Berdasarkan hasil pengolahan data, terjadi akumulasi ketegangan pada tahun 2002-2008 sepanjang pantai Sumatera bagian tengah yang berpotensi gempa. Pada tanggal 30 September 2009 terjadi sebuah gempa bumi yang dapat dilihat dari perubahan posisi yang signifikan pada wilayah Sumatera Barat. Dengan mempelajari sedini mungkin deformasi di Sumatera Barat, diharapkan di masa yang akan datang risiko kerusakan dan kerugian lingkungan akibat bencana gempa bumi dapat diminimalisir.</p>
7	Meilano, I, et al.,2020	<p>Pada penelitian ini pola vektor kecepatan dihasilkan berdasarkan pengolahan dan analisis data stasiun GPS CORS (Continuously Operating Reference Station) BIG (Badan Informasi Geospasial) di daerah bagian selatan Pulau Jawa. Sinyal tektonik yang berupa data deret waktu global dan non-tektonik berupa data deret waktu lokal dan penerapan aturan pemilihan varian dominan nilai eigen dalam pembentukan PC (Principal Component) dan orthogonal vektor eigen sebagai bobot dalam meminimalkan korelasi dipisahkan dengan metode PCA (Principal Component Analysis) guna menganalisis data koordinat harian. Pada tahun 2011 sampai 2018 besar kecepatan pergeseran dihitung dengan hasil data deret waktu global dan lokal. Berdasarkan hasil pengolahan, resultan vektor kecepatan data awal terletak antara 0,06 - 10,46 mm/tahun, untuk data global terletak antara 0,06 mm/tahun - 10,39 mm/tahun, sedangkan data lokal antara 0,0037 - 1,99 mm/tahun. Daerah Banten mengalami variasi pergeseran horizontal pada arah timur laut; Jawa Barat, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan Jawa Tengah ke arah tenggara; dan Jawa Timur ke arah timur laut ditunjukkan oleh variasi spasial vektor kecepatan pengamatan GPS data domain PCA. Pada bagian tengah terjadi defisit slip atau coupling pada zona subduksi Jawa bagian barat dan timur, bagian tengah kelebihan slip, sebagai efek post-seismic gempa Pangandaran 2006, ditunjukkan adanya inversi data pergeseran terhadap slip pada zona subduksi.</p>
8	Muafiry, I.N.,2015	<p>Dilakukan penelitian dengan pengamatan pada fase gempa <i>inter-seismic</i>, <i>post-seismic</i> dan <i>co-seismic</i> terhadap Gempa Mentawai tahun 2008 menggunakan metode kontinyu terhadap jaring stasiun GPS Sumatran GPS Array (SuGAR). Stasiun-stasiun GPS yang terdapat di pulau Sumatra melakukan pengukuran geodetik secara berkesinambungan dikenal dengan stasiun SuGAR (Sumatra GPS). Berdasarkan analisis didapatkan bahwa deformasi paling besar akibat</p>

---

		Gempa Mentawai terjadi pada stasiun SuGAR SLBU dengan besar deformasi adalah 0,1415 m pada sumbu vertikal (up) dan 0,2220 m pada sumbu horisontal (easting, northing). Sedangkan arah pergerakan vektor stasiun GPS pada fase <i>inter-seismic</i> mengarah pada 0,1108 m untuk stasiun LNNG, arah mata angin south-west dengan kecepatan horisontalnya 0,0331 m untuk stasiun GPS SLBU, 0,1179 m untuk stasiun BSAT, dan 0,0806 m untuk stasiun PRKB. Sedangkan stasiun PPNJ mengarah ke south-east dengan kecepatan besar horisontal 0,0236 m. Pada fase <i>post-seismic</i> arah pergerakan vector stasiun GPS mirip dengan arah pergerakan vector pada fase <i>inter-seismic</i> .
9	Sulaeman, C., et al., 2019	Titik GPS bergeser ke timur laut, kecepatannya 6,65 mm/th - 22,76 mm/th ditunjukkan oleh hasil survei periodik yang dilakukan di Pulau Lombok. Pada umumnya pergeseran vertikal naik dengan kecepatan 2,40 mm/th - 559,86 mm/th. Dilatasi luas bernilai positif terjadi pada bagian timur laut, sedangkan negatif terjadi pada bagian tengah hingga selatan Pulau Lombok. Regangan geser juga dialami Pulau Lombok pada umumnya mempunyai nilai negatif. Deformasi tersebut diakibatkan adanya korelasi beberapa sumber gempa bumi yaitu subduksi lempeng Indo-Australia, sesar belakang Flores Timur, sesar belakang Flores Barat, Selat Lombok, dan sesar lokal pantai timur Bali, hal ini didasarkan pada hasil pemodelan yang didapatkan. Potensi momen magnitudo (Mw) gempa bumi yang dihasilkan oleh subduksi, sesar belakang Flores Barat, sesar belakang Flores Timur, sesar Selat Lombok, serta sesar lokal di pantai timur Bali adalah Mw 7,1; Mw 6,6; Mw 6,8; Mw 5,8; dan Mw 5,2.
10	Ulinuha, H., et al., 2019	Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh gempa tektonik terhadap wilayah Mentawai dengan mengkoordinasikan perubahan Segmen Mentawai, sehingga dapat mengurangi resiko dampak negatif tektonik gempa di Segmen Mentawai. Data yang digunakan adalah pengamatan 10 GPS secara kontinyu stasiun pemantau (Sumatran GPS Data Array/SuGAR) di ruas Mentawai. Waktu observasi data adalah hari dalam setahun (doy) pada saat terjadinya gempa tektonik pada tanggal 10 Juli 2013. Data diolah dengan menggunakan software GAMIT/GLOBK. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan koordinat stasiun SuGAR secara signifikan dua jam setelah gempa tektonik terjadi dipengaruhi oleh gempa bumi tektonik 10 Juli 2013.
11	Ulinuha, H., et al., 2022	Aktivitas Sesar Opak dengan skala 6,3 Mw menyebabkan gempa tektonik Yogyakarta terjadi pada tahun 2006 yang menimbulkan dampak negatif. Berdasarkan penelitian sebelumnya ternyata tidak semua segmen patahan Sesar Opak melepaskan energi, sehingga dimungkinkan berpotensi menimbulkan gempa tektonik besar di masa yang akan datang. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mengestimasi potensi gempa tektonik di sekitar wilayah Sesar Opak berdasarkan data pengamatan GPS, juga mengestimasi magnitude maximum dan periode perulangan maximum magnitude tersebut. Digunakan data pengamatan GPS pada titik-titik pantau Sesar Opak sebanyak 11 buah dari tahun 2016, 2017, dan 2018, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK, dan membagi wilayah menjadi sebelah Barat dan sebelah Timur Sesar Opak. Hasil

- 
- pengolahan data GPS menunjukkan bahwa resultan kecepatan pergeseran horizontal titik pantau Timur Sesar Opak lebih besar dari pada titik pantau Barat Sesar Opak. Indikasi bahwa Timur Sesar Opak lebih aktif dibanding Barat Sesar Opak ditunjukkan berdasarkan hasil pengolahan data tersebut. Potensi gempa tektonik dikemudian hari dapat timbul dengan adanya pergeseran aktif ini. Selain itu, hasil perkiraan magnitude maximum yang dapat terjadi di wilayah sesar Opak adalah 6,5 Mw dengan periode perulangan maximum magnitude selama  $\pm 60$  tahun pada Segmen Utara dan selama  $\pm 130$  tahun pada Segmen Selatan. Akan tetapi untuk menyempurnakan hasil perhitungan estimasi ini, maka perlu ditambahkan data lain seperti *seismic multitemporal*.
- 
- 12 Fajar, R.W, et al., 2019 Terdapat tiga stasiun GPS dengan lokasi masing-masing di lempeng tektonik yang berbeda dalam tragedi bencana tsunami Aceh pada tanggal 26 Desember 2004, yaitu stasiun JOGJ dengan lokasi di Yogyakarta merupakan wakil lempeng Micro-Sunda, stasiun ISSC dengan lokasi di India adalah wakil lempeng Hindia - Australia, dan stasiun DGAR dengan lokasi di Maldives sebagai wakil lempeng Eurasia sebagai stable site. Berdasarkan analisis data ternyata ada empat fase gerakan tektonik pada tsunami Aceh, yaitu fase gerakan anomali, fase penekanan, fase pelepasan dari tekanan, dan fase penstabilan. Parameter data pendeteksi pergerakan lempeng dilakukan dengan studi tektonisme dengan pendekatan data stasiun GPS merupakan harapan besar dalam mengembangkan studi pendeteksi gempa bumi.
- 

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adanya pergerakan yang dinamis menyebabkan terjadinya deformasi pada lempeng kerak bumi. Analisis deformasi dilakukan guna menentukan besar pergeseran dan parameter yang memiliki ciri khas dan karakteristik yang mempunyai ruang dan waktu, serta dimanifestasikan terhadap terjadinya pergeseran koordinat suatu titik pengamatan yang dilakukan secara episodik dan berkesinambungan. Studi geodinamika menjadi lebih mudah dikerjakan dengan teknologi GPS guna pengamatan aktivitas geodinamika yang sangat dibutuhkan membuat model potensi gempa bumi, merupakan langkah dalam mitigasi bencana bagi masyarakat di zona gempa. Dengan semakin berkembangnya teknologi penentuan posisi dengan satelit GPS, maka ketelitian posisi koordinat yang dihasilkan meningkat sampai dengan dimensi milimeter, sehingga aktivitas geodinamika terjadinya deformasi akibat kejadian dinamika bumi dapat dideteksi. Kecepatan pergerakan dan pola suatu blok kerak bumi dapat dipelajari dan diamati dengan GPS. Koordinat yang teliti diperlukan untuk menghasilkan pola dan pergerakan blok kerak bumi. Pemantauan dengan GPS secara kontinu digunakan untuk melihat pergerakan deformasi yang terjadi sebelum (*inter-seismic*) dan sesudah (*post-seismic*) akibat gempa (*co-seismic*). Fase *inter-seismic* adalah fase pada saat energi dalam bumi menggerakkan lempeng dan energi tersebut mulai terakumulasi pada bagian batas antar lempeng dan patahan. Fase *inter-seismic* adalah fase awal earthquake cycle, terjadi sebelum *phase co-seismic*. Fase *co-seismic* merupakan fase pada saat terjadinya gempa bumi, pada fase ini getaran pada bumi terasa paling kuat bersamaan terjadinya pelepasan energi secara tiba-tiba. Sedangkan fase *post-seismic* adalah fase sesudah terjadinya gempa bumi. Oleh karena itu penelitian ketiga fase siklus gempa bumi tersebut sangat penting untuk dilakukan.

Mekanisme gempa bumi Aceh tahun 2004 dapat dilihat dengan memanfaatkan teknologi GPS. Deformasi yang menyertai tahapan mekanisme gempa bumi yang terjadi dapat dilihat dengan baik dengan data GPS. Dalam melakukan evaluasi potensi bencana alam gempa bumi, tahapan mekanisme gempa perlu dipelajari karena sangat berguna untuk memperbaiki upaya mitigasi dimasa datang. Mekanisme gempa Aceh diteliti menggunakan data GPS hasil program SEAMERGES yang sudah menghimpun data GPS lebih dari enam puluh stasiun titik pengamatan yang berhubungan dengan pergerakan lempeng di Asia Tenggara dan data GPS yang berhubungan gempa Aceh 2004 dan Gempa Nias 2005. Sebagian data merupakan data yang berkesinambungan, dan sebagian lagi adalah data campaign. Berdasarkan pengolahan data *inter-seismic*, ternyata sebelum terjadinya gempa bumi pada akhir tahun 2004 terjadi penumpukan deformasi pada fase *inter-seismic* di sekitar wilayah Aceh cukup besar, apabila hal ini disadari, mungkin dapat dilakukan bentuk mitigasi bencana yang lebih baik lagi sehingga tidak menimbulkan korban jiwa dan harta benda yang banyak. (<https://geodesy.gd.itb.ac.id/studi-mekanisme-gempa-aceh-menggunakan-gps/>). Untuk itu maka sangat perlu dilakukan penelitian tentang akumulasi deformasi *inter-seismic* untuk mengurangi resiko yang sangat besar, yaitu korban jiwa dan harta benda.

Penelitian secara kontinyu dan menambah titik pengamatan GPS untuk pemetaan kawasan pengumpulan tegangan maupun pengeluaran energi melalui gempa bumi di Bengkulu perlu dilakukan guna keperluan mitigasi dan perencanaan wilayah (Lubis, A.M., 2021). Hal ini tentu saja juga berlaku juga untuk wilayah lain yang berpotensi terjadinya gempa bumi sehingga diharapkan dapat meminimalisir kawasan atau wilayah yang mengalami regangan yang berpotensi terjadinya gempa. Akibat terjadinya dinamika bumi, maka posisi kerangka referensi koordinat yang merupakan fungsi waktu dapat mengalami perubahan. Perubahan posisi kerangka referensi koordinat yang merupakan fungsi waktu akibat adanya dinamika bumi perlu diperhitungkan setelah Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013 (SRGI 2013) yang merupakan referensi tunggal dalam aktivitas pemetaan di Indonesia ditetapkan. Pada enam Maret 2007 dua gempa bumi terjadi secara berturut-turut di daerah Danau Singkarak Sumatra Barat, mengakibatkan deformasi *co-seismic* yang dapat mempengaruhi SRGI2013 (Efendy et.al., 2018). Datum statik digunakan sebagai Jaring kontrol, dan pada datum statik koordinat titik kontrol ditetapkan sama sepanjang waktu, sehingga seiring berjalannya waktu, daerah di Indonesia dengan tingkat kegempaan yang relatif tinggi serta tatanan tektonik yang relatif kompleks, ketelitian koordinat titik kontrol akan mengalami degradasi. Ternyata bencana gempa bumi tidak hanya menyebabkan kerugian dalam bidang infrastruktur, dan korban jiwa, akan tetapi menyebabkan posisi kerangka referensi koordinat yang merupakan fungsi waktu menjadi berubah. Apabila posisi referensi koordinat berubah, maka mengganggu posisi koordinat titik-titik lain di permukaan bumi yang bereferensi ke jaring kontrol tersebut.

Gempa bumi tektonik dapat terulang apabila tidak semua energi dilepaskan, oleh karena itu banyak kejadian terulangnya gempa bumi tektonik. Gempa bumi tektonik yang terulang disebut *earthquake cycle* (Sarsito, dkk., 2005 dalam Ulinuha dkk., 2019). Manajemen bencana yang baik dan tanggap sangat penting dilakukan agar kerusakan akibat terjadinya bencana dapat diminimalisir, sehingga daerah yang berpotensi terjadinya gempa seperti Indonesia diharapkan siap dalam menghadapi terjadinya bencana gempa bumi yang mengancam setiap saat. Penentuan waktu datangnya gempa bumi, peramalan kapan akan terjadi merupakan impian para ilmuwan. Namun dengan bekal informasi daerah yang berpotensi gempa, perkiraan besarnya gempa yang akan terjadi merupakan suatu pencapaian yang sangat berarti (Hartadi et al., 2015).

Saat ini digunakan data seismologi sebagai sistem peringatan dini akan terjadinya tsunami, yaitu dengan cara melakukan pengukuran terhadap gelombang energi yang



disebabkan oleh gerakan dan getaran bumi. Menurut team pusat penelitian dari German, yaitu GFZ (Research Centre for Geosciences) pada awal saat terjadi gempa bumi, sistem ini tidak selalu dapat diandalkan, dan kelemahan tersebut dapat diatasi dengan teknologi navigasi satelit. Penempatan sensor GPS di sekitar garis pantai dilakukan untuk melakukan pengukuran dengan tepat di negara-negara yang rentan terhadap tsunami ketika getaran air menggeser dasar lautan. Data GPS juga dimanfaatkan guna melacak sumber gempa dan menghitung besarnya skala secara akurat sehingga informasi tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan tsunami dan melihat berapa tinggi gelombang yang diakibatkan oleh gempa tersebut. Proses tersebut memerlukan waktu dalam hitungan menit, sehingga peringatan dini dimungkinkan dapat diumumkan lebih cepat. Tidak hanya dengan suatu sistem peringatan dini yang teliti, akan tetapi rencana evakuasi secara ideal juga penting untuk dilakukan (BBC News Indonesia, 2013). Teknologi yang berguna untuk mengetahui terjadinya gempa dan lokasi tsunami akan terjadi, infrastruktur yang berguna untuk mengirimkan informasi tersebut kepada penduduk, agar penduduk mengetahui dan siap apa yang harus mereka lakukan, merupakan suatu hal yang harus dimiliki bagi daerah yang berpotensi gempa.

#### **4. KESIMPULAN**

Berdasarkan uraian diatas, maka disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Pemantauan titik-titik secara berkala sangat diperlukan mengingat tingginya risiko pengulangan gempa bumi tektonik di Indonesia.
- b. GPS merupakan salah satu rujukan studi geodinamika guna mengamati pola dan perubahan arah gerakan blok kerak bumi dalam menganalisis patahan aktif di bumi.
- c. Sangat penting adanya manajemen bencana yang baik dan tanggap agar kerusakan akibat bencana gempa bumi yang terjadi dapat diminimalisir.
- d. Suatu hal yang menjadi keharusan bagi daerah yang berpotensi gempa adalah menggunakan teknologi untuk mengetahui adanya gempa dan lokasi terjadinya tsunami, serta mempunyai infrastruktur untuk menginformasikan kepada penduduk, dan penduduk harus siap dan mengetahui apa yang harus mereka lakukan.

#### **5. DAFTAR PUSTAKA**

- Afif, H., & Geologi, B. (2019). Deformation of Lombok Island Based on GPS Data. <https://www.researchgate.net/publication/336768652>
- Arszandi Pratama, R. A. T. A. dan D. M. F. (n.d.). Teknologi GNSS Dalam Manajemen Bencana. <https://www.handalselaras.com/teknologi-gnss-dalam-manajemen-bencana/>
- BBC News Indonesia. (n.d.). *GPS membantu peringatan dini tsunami*. [https://www.bbc.com/indonesia/majalah/2013/05/130518\\_ipitek\\_gps\\_deteksi\\_tsunami](https://www.bbc.com/indonesia/majalah/2013/05/130518_ipitek_gps_deteksi_tsunami)
- Bima Pramudya Khawendratama, I. M. A. , dan M. Y. (n.d.). *Analisa Perubahan Kecepatan Pergeseran Titik Akibat Gempa Menggunakan Data SuGar (Sumatran GPS Array)*.
- Maiyudi R, Permana I, Ridholfi M. Deformasi di Sumatera Barat Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2002-2009 dan Dampak Kerusakan Lingkungan Akibat Gempa 30 September Tahun 2009. *J Bina Tambang*. 2009;4(3):379-384.
- Efendi, J., Prijatna, K., & Meilano, I. (n.d.). Analisis Pergeseran Koseismik Gempa Sianok Tahun 2007 Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 1993-2007 dan Efek terhadap SRGI 2013. In *Reka Geomatika No.1 | (Vol. 2018)*. [www.globalcmt.org](http://www.globalcmt.org)
- Fajar Rizki Widiatmoko, A. Z. M. A. S. A. N. M. B. (n.d.). REKAMAN STASIUN GPS SEBAGAI PENDETEKSI PERGERAKAN TEKTONIK, STUDI KASUS: BENCANA TSUNAMI ACEH 26 DESEMBER 2004.

- Joko Hartadi, JH and Sugeng Raharjo, SR and Oktavia Dewi Alfiani V. 1. Prosiding Semnas Kebumihan X 2015 (1).pdf.
- Kelompok Keilmuan Geodesi, 2007, STUDI MEKANISME GEMPA BUMI ACEH 2004 MENGGUNAKAN GPS, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan – Institut Teknologi Bandung  
<https://geodesy.gd.itb.ac.id/studi-mekanisme-gempa-aceh-menggunakan-gps/>
- Lingkungan, J., Geologi, D. B., Potensi, A., Di, G., Pulau, S., Berdasarkan, J., Gps, P., Meilano, I., Tiaratama, A. L., Wijaya, D. D., Maulida, P., Susilo, S., & Fitri, I. H. (n.d.). Analysis of Earthquake Potential in the South of Java Island Based on GPS Observations. <http://jlbgeologi.esdm.go.id/index.php/jlbg>
- Lubis, A. M. (2021). Pemanfaatan Survey GPS Geodetik untuk Pengamatan Deformasi Inter-seismik Setelah Satu Dekade Kejadian Gempa Bumi Bengkulu 2007 (Mw 8,4) di Daerah Bengkulu Bagian Utara (Vol. 4, Issue 1).
- Maulida, P., Rizkiya, P., & Kurniawan, A. (2022). Studi Pergeseran Koseismik Gempa Pasaman M6.1 2022 Menggunakan Data Pengamatan GPS Harian Coseismic Displacement Study of M6.1 2022 Pasaman Earthquake Using daily GPS Observation. 18(1), 176–184.
- Muafiry, I. N. (2015). Analisis Deformasi Akibat Gempa Bumi Kepulauan Mentawai Menggunakan Pengamatan GPS Kontinu (Studi Kasus: Gempa Mentawai Tahun 2008). *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Nurdin, N., Pujiastuti, D., & Marzuki, M. (2022). Analisis Kecepatan Pergeseran Seismik Sesar Palu Koro Akibat Gempa Palu 2018 Menggunakan Data Global Navigation Satellite System. *Jurnal Fisika Unand*, 11(4), 428–434. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.4.428-434.2022>
- Pujiastuti, D., Arisa, D., Br. Sitanggang, R. M. A., & Hilma, A. Z. (2020). Analisis Deformasi Praseismik Stasiun GPS Akibat Gempa di Segmen Mentawai Februari 2008. *JURNAL ILMU FISIKA / UNIVERSITAS ANDALAS*, 12(1), 35–43. <https://doi.org/10.25077/jif.12.1.35-43.2020>
- Sulaeman, C. (2008). Karakterisasi sumber gempa Yogyakarta 2006 berdasarkan data GPS. *Indonesian Journal on Geoscience*. <https://doi.org/10.17014/ijog.vol3no1.20085>
- Ulinuha, H., Aris Sunantyo, T., & Widjajanti, N. (n.d.). ANALISIS PENGARUH GEMPA TEKTONIK 10 JULI 2013 TERHADAP PERUBAHAN KOORDINAT STASIUN PANTAU SEGMENT MENTAWAI.
- Ulinuha, H., Lestari, D., Widjajanti, N., Pratama, C., Sophia Heliani, L., & Tresna Novianti, S. (2022). Estimasi Potensi Gempa Tektonik di Wilayah Sesar Opak Berdasarkan Data Pengamatan GPS Estimation of Potential Tectonic Earthquake in the Opak Fault Area Based on GPS Observation Data. 18(1).