

## Pemanfaatan Data GPS Tahun 2017-2020 untuk Monitoring Aktivitas Sesar Kendeng di Kota Surabaya

*Utilization of 2017-2020 GPS Data for Monitoring Kendeng Fault in Surabaya City*

Cindy Nandya Riastama, Ira Mutiara Anjasmara\*, Akbar Kurniawan

Departemen Teknik Geomatika, FTSPK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

\*Korespondensi penulis: ira@geodesy.its.ac.id

Diterima: 14082020; Diperbaiki: 01042022; Disetujui: 01042022; Dipublikasi: 10042022

**Abstrak:** Lempeng di bumi terbagi menjadi dua bentuk, yaitu lempeng samudera dan lempeng benua. Lempeng ini selalu bergerak sehingga zona batas antar lempeng dan sistem patahan terbentuk dan memengaruhi sekitar wilayah batas pertemuan. Salah satu wilayah yang terdampak akan pergerakan tersebut adalah Indonesia. Hal ini karena letak Indonesia dikelilingi oleh tiga lempeng utama bumi dan mengakibatkan aktivitas vulkanik dan tektonik yang tinggi di sekitarnya. Aktivitas ini dapat membentuk suatu sistem sesar. Terdapat satu sistem sesar yang perlu menjadi perhatian khusus karena patahan ini diteliti aktif dan bergerak terus menerus, yaitu Sesar Kendeng di Jawa Timur. Sesar Kendeng membentang dari selatan Semarang ke Jawa Timur. Sesar Kendeng diidentifikasi di Surabaya, kota terbesar kedua di Indonesia yang memiliki populasi hingga 3 juta jiwa. Sebagai kota metropolitan, Surabaya telah menjadi pusat berbagai kegiatan dengan fasilitas yang dibangun dengan baik. Dengan demikian, aktivitas tektonik yang dimungkinkan terjadi karena pengaruh Sesar Kendeng akan menjadi ancaman di daerah ini. Oleh karena itu, sebagai upaya untuk mengurangi tingkat risiko yang terjadi maka perlu dilakukan pemantauan pada aktivitas Sesar Kendeng tersebut. Salah satu metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu pemanfaatan GPS untuk melakukan pengukuran secara geodetik di 25 titik pada segmen sesar. Hasil pengukuran ini kemudian dilakukan pengolahan secara ilmiah dengan software GAMIT/GLOBK. Dari hasil pengolahan, didapatkan nilai kecepatan pergeseran horizontal berkisar antara 2,67 mm/tahun – 124 mm/tahun. Pergeseran vertikal menunjukkan terdapat 10 titik yang mengalami *uplift*. Titik yang mengalami *uplift* berada di wilayah bagian barat dan bagian timur Kota Surabaya. Selanjutnya, 8 titik mengalami *subsidence* yang berada di wilayah utara dan selatan dari Kota Surabaya. Dari 18 vektor kecepatan horizontal digunakan untuk menghitung nilai regangan dengan metode *delaunay triangle*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa wilayah pada zona Sesar Kendeng didominasi oleh peristiwa regangan kompresional. Nilai regangan yang didapatkan melebihi -0,5  $\mu$ strain. Dengan demikian, Sesar Kendeng termasuk dalam sesar aktif dengan pergerakan sesar naik.

*Copyright © 2022 Geoid. All rights reserved.*

**Abstract:** The plates on earth are divided into two forms, namely oceanic plates and continental plates. These plates are always move that boundary zone between plates and fault systems are formed and affect the surrounding area of the boundary. Indonesia becomes one of the most affected area since it surrounded by 3 major plates of the earth and resulted high volcanic and tectonic activities arround it. These activities can make faults systems formed. There is one faults systems that needs special attention because of it's active and continuous movements named Kendeng Faults in East Java. Kendeng Faults stretches from southern Semarang to East Java. Kendeng Faults is identified in Surabaya, the second largest city in Indonesia which has population up to 3 million people. As a metropolitan city, Surabaya has become a center various activities with well-built facilities. Thus, Surabaya has a higher risk of being affected by tectonic activities that might be happened in time. Therefore as an effort to reduce the risk that might be occurs, it is necessary to monitor Kendeng Faults' activity. In this study, geodetic measurement at 25 stations around the fault section is used to be processed by scientific software named GAMIT/GLOBK to obtain displacement velocities value in each station. The results show that the values of horizontal displacements ranged from 2.67 mm/year up to 124 mm/year. The vertical displacements show that uplift occurs at 10 stations located in the western and eastern of Surabaya. Furthermore, subsidence occur at 8 stations located in the northern and southern part of Surabaya. From 18 vectors of horizontal velocity that are used to calculate the strain values using the delaunay triangle method. The calculation results show that the area in the Kendeng Fault zone is dominated by compressional strain. The strain value obtained exceeds -0.5  $\mu$ strain, which is reached -14.92  $\mu$ strain. From the results, Kendeng Fault is included in the active fault with an upward movement of the fault.

---

Kata kunci : Pergeseran, Regangan, Sesar Kendeng, Surabaya

---

Cara untuk sitasi: Riastama, C.N., Anjasmara, I.M., Kurniawan, A. (2022). Pemanfaatan Data GPS Tahun 2017-2020 untuk Monitoring Aktivitas Sesar Kendeng di Kota Surabaya. *Geoid*, 17(2), 208-216.

---

## Pendahuluan

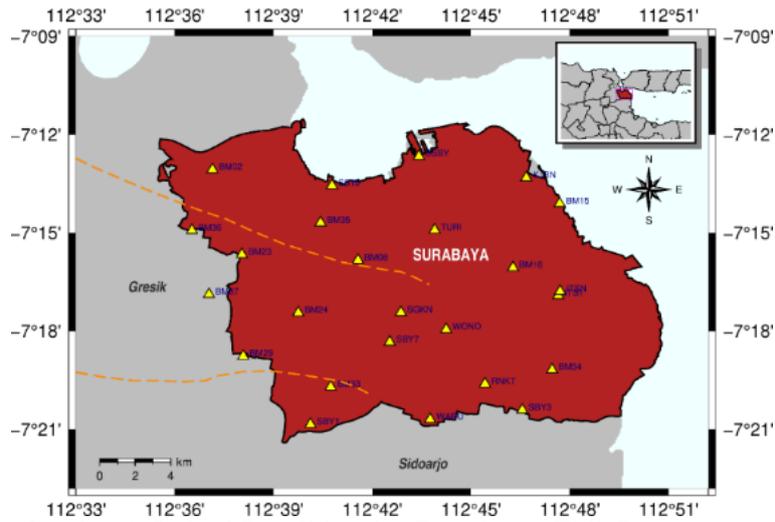
Indonesia terletak pada kawasan dengan aktivitas tektonik yang relatif tinggi dan kompleks. Hal tersebut disebabkan oleh lokasi Indonesia yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik besar dunia, yaitu Lempeng Eurasia di bagian barat dengan pergerakan relatif ke selatan, Lempeng Indo-Australia di bagian selatan dengan pergerakan relatif ke utara, dan Lempeng Pasifik di bagian Timur dengan pergerakan relatif ke barat (Bock dkk., 2003). Pulau Jawa sebagai salah satu jajaran pulau besar di Indonesia kali ini memperoleh dampak dari kondisi tersebut yang mana terdapat zona subduksi Jawa yang terletak di selatan Pulau Jawa sehingga terbentuk beberapa beberapa sesar di Pulau Jawa. Salah satu sesar yang terbentuk sebagai akibat dari *stress* subduksi Jawa di bagian timur adalah Sesar Kendeng. Penelitian terbaru yang dipublikasikan di *Geophysical Research Letter* mengungkap bahwa Sesar Kendeng bergerak aktif dengan pergerakan 5 milimeter per tahun dan menjadi sumber gempa di wilayah Jawa Timur.

Ditinjau dari bentangan Sesar Kendeng di Jawa Timur, sesar ini melintasi wilayah yang memiliki kepadatan yang cukup tinggi dan infrastruktur yang cukup terbangun yaitu Kota Surabaya. Ancaman bencana yang timbul dari Sesar Kendeng dapat diprediksi akan menimbulkan korban jiwa dan kerugian yang besar jika tidak dilakukan mitigasi bencana secara terkendali. Namun, dampak negatif dari bencana gempa yang ditimbulkan oleh Sesar Kendeng dapat diantisipasi dengan melakukan monitoring terhadap aktivitas Sesar Kendeng, baik secara kontinyu maupun secara periodik dalam selang waktu tertentu. Pemantauan aktivitas sesar ini dilakukan untuk mengumpulkan data pasti atas gejala sesar dan aktivitas yang ada.

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pemantauan aktivitas Sesar Kendeng yaitu metode GPS dengan melakukan pengukuran geodetik pada titik-titik di sekitar sesar secara periodik dan dalam rentang waktu tertentu. Adapun pemasangan titik-titik pemantauan ini terkonsentrasi di sekitar segmen Sesar Kendeng yang ada di Surabaya yaitu Segmen Surabaya dan Segmen Waru. Setelah didapatkan data dari hasil pengamatan selanjutnya dilakukan pengolahan dengan *scientific software* yaitu GAMIT/GLOBK. Berdasarkan hasil pengolahan yang dilakukan diharapkan nantinya dapat diketahui bagaimana aktivitas dari Sesar Kendeng secara geometrik berdasarkan analisis deformasi berupa besar dan arah pergeseran serta besar dan pola regangan. Sehingga hasil analisis deformasi ini dapat digunakan selanjutnya sebagai salah satu usaha dalam mitigasi bencana gempa bumi khususnya untuk wilayah Kota Surabaya.

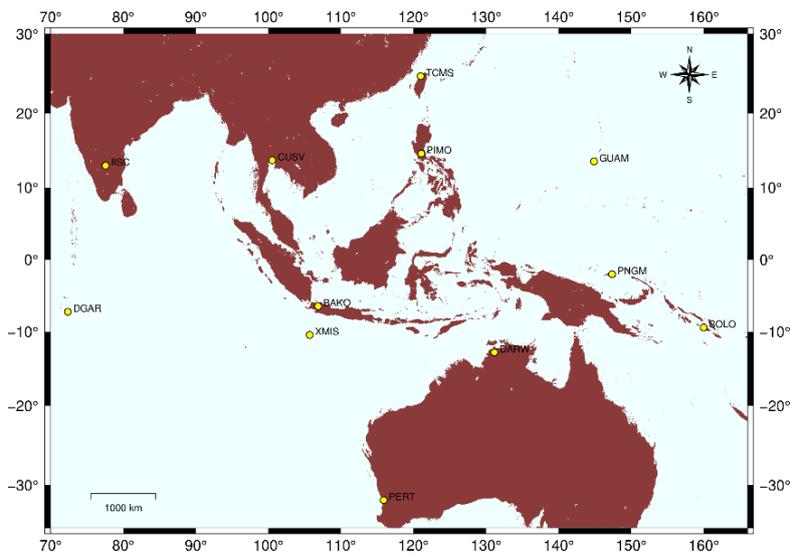
## Data dan Metode

Pelaksanaan penelitian dilakukan di wilayah Kota Surabaya. Wilayah ini berada pada koordinat pada koordinat 07°11'00"-07°21'00" Lintang Selatan dan 112°36'00"-112°54'00" Bujur Timur. Daerah Surabaya secara fisiografi termasuk bagian timur perbukitan kendeng, bagian tengah perbukitan Rembang-Madura, pedataran aluvium Jawa sebelah utara, pedataran tengah Jawa Timur dan bagian timur lekuk Randublatung (Sukardi, 1992). Pemilihan titik-titik pengamatan dilakukan berdasarkan lokasi segmen Waru dan segmen Surabaya yang digambarkan pada Gambar 1. berikut:



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan Persebaran Titik Pengamatan

Data GPS yang digunakan merupakan hasil pengukuran secara langsung selama 6 kala. Data ini diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Anjasmara dkk. (2019) dengan penambahan pengukuran pada kala 6 di tahun 2020. Selain data GPS periodik, dalam pengamatan ini diperlukan juga titik ikat GPS *International GNSS Service* (IGS) yang diperlukan sebagai titik referensi yang dianggap stabil. Adapun titik yang digunakan berjumlah minimal 7 titik pada pengolahan setiap tahunnya menyesuaikan ketersediaan dengan DOY pengamatan yang jaraknya relatif dekat dengan wilayah penelitian. Adapun persebaran dari titik-titik IGS yang digunakan ditunjukkan oleh Gambar 2. di bawah ini.



Gambar 2. Persebaran Titik IGS

Selain data pengamatan GPS periodik dan data stasiun IGS, diperlukan juga beberapa data tambahan dan data koreksi diantaranya, data *broadcast ephemeris*, data orbit satelit, data pemodelan atmosfer, data pasang surut, dan data pemodelan cuaca.

Pengolahan data diawali dengan melakukan kontrol kualitas dan pengeditan info dengan TEQC untuk melihat kualitas data dan informasi dari hasil pengukuran. Data yang telah melalui proses pada TEQC selanjutnya diolah dengan *scientific software* yaitu GAMIT/GLOBK (Herring dkk., 2018) untuk mendapatkan hasil yang teliti. Pengolahan GAMIT dilakukan secara *Automatic Batch Processing* dengan melakukan pengaturan pada beberapa *file* kontrol yaitu *sestbl.*, *station.info*, *sistbl.*, *lfile* dan *process default* sesuai dengan data pengamatan.

Hasil dari proses GAMIT selanjutnya digunakan pada pengolahan GLOBK untuk mendapatkan solusi koordinat yang telah tereferensi dengan ITRF14 dan mendapatkan besar kecepatan pergeseran.

Perhitungan regangan dilakukan dengan metode *delaunay triangle*. Dibuat segmen-segmen segitiga yang dibentuk dengan menghubungkan titik-titik pengamatan terdekat. Dari hasil vektor kecepatan yang didapatkan selanjutnya digunakan untuk menghitung parameter regangan. Setelah didapatkan parameter regangan selanjutnya dapat ditentukan nilai kompresi dan ekstensi yang terjadi.

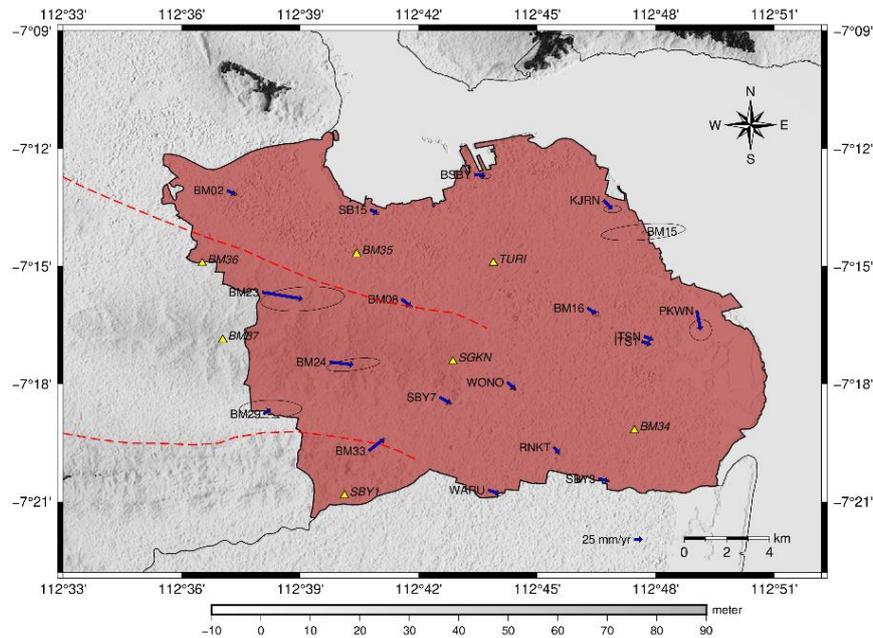
## Hasil dan Pembahasan

Proses pengolahan data dengan GAMIT/GLOBK menghasilkan solusi koordinat dan kecepatan pergeseran dari titik-titik pengamatan. Kecepatan pergeseran yang diperoleh disajikan dalam sistem koordinat toposentrik (*North, East, dan Up*) beserta nilai simpangan baku pada tiap titik pengamatan. Nilai kecepatan tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung besar dan arah kecepatan horizontal dan vertikal. Besar dan arah kecepatan horizontal didapatkan dengan menghitung resultan dari komponen *Easting* dan *Northing*. Adapun nilai resultan yang didapatkan disajikan pada Tabel 1. berikut:

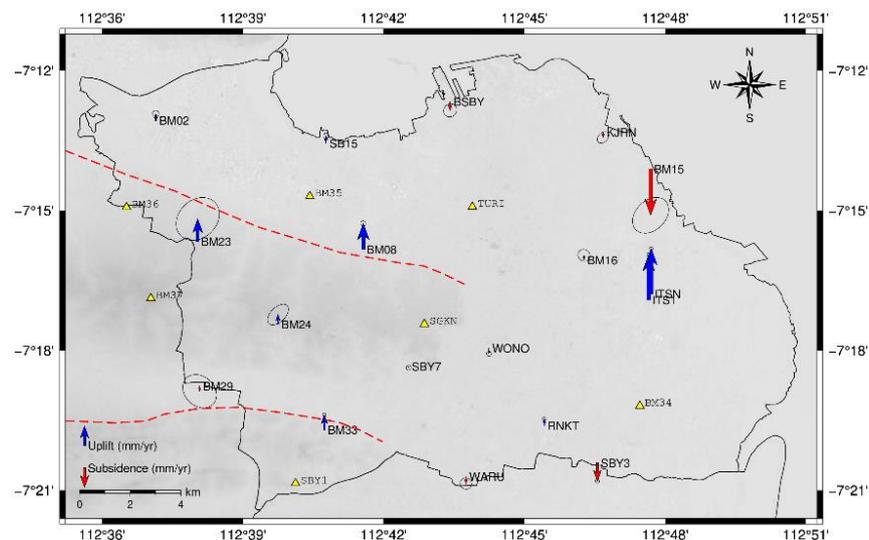
Tabel 1. Kecepatan Pergeseran Horizontal dan Vertikal

Titik	$V_N$	$\sigma_{VN}$	$V_E$	$\sigma_{VE}$	$V_{hor}$	$V_U$	$\sigma_{VU}$
BM02	-11,91	2,95	24,42	3,72	27,17	10,73	15,11
BM08	-22,91	2,42	28,23	2,66	36,36	40,28	12,54
BM15	-2,62	16,82	-0,51	81,8	2,67	-71,49	86,32
BM16	-17,81	4,7	26,06	5,79	31,56	7,68	29
BM23	-20,57	24,38	122,4	121,6	124,14	34,88	103,2
BM24	-8,21	13,13	71,27	52,4	71,74	15,46	49,9
BM29	15,22	17,47	20,95	60,61	25,89	-7,83	80,41
BM33	35,29	1,73	45,38	2,28	57,49	23,13	8,73
BSBY	-4,73	5,65	31,72	11,24	32,07	-13,58	31,47
ITS1	-9,67	1,49	25,98	1,98	27,72	69,92	8,51
ITSN	-9,67	1,49	25,98	1,98	27,72	69,92	8,51
KJRN	-27,39	7,23	27,55	17,27	38,85	-7,99	27,75
RNKT	-19,1	1,57	15,71	1,9	24,73	10,26	8,27
SB15	-11,96	2,68	21,67	3,19	24,75	11,41	13,62
SBY3	-7,23	1,85	28,21	2,64	29,12	-27,78	9,57
SBY7	-18,8	2,09	33,16	2,49	38,12	-2,09	11,92
WARU	-11,57	4,26	33,73	6,79	35,66	-10,99	27,12
WONO	-21,54	2,21	22,58	2,35	31,21	-8,48	11,53

Pada Tabel 1. di atas,  $V_{hor}$  merupakan kecepatan pergeseran horizontal dan  $V_U$  merupakan kecepatan pergeseran vertikal. Secara keseluruhan, nilai simpangan baku yang dihasilkan berada pada fraksi milimeter, kecuali pada BM15, BM23, BM24, dan BM29 yang mencapai fraksi sentimeter. Kecepatan pergeseran horizontal yang dihasilkan berkisar antara 2,67 – 71,74 mm/tahun. Namun, terdapat satu BM yang memiliki kecepatan pergeseran horizontal hingga mencapai 124 mm/tahun, yaitu BM23. Nilai kecepatan pada BM ini diiringi juga oleh besarnya simpangan baku pada komponen *easting*. Hasil perhitungan kecepatan pergeseran tersebut selanjutnya dilakukan plotting dengan *Generic Mapping Tools* (GMT) (Wessel, 2019). Berikut adalah hasil plotting dari kecepatan pergeseran titik pengamatan.



Gambar 3. Plot Kecepatan Pergeseran Horizontal



Gambar 4. Plot Kecepatan Pergeseran Vertikal

Dari hasil *plotting* pada Gambar 3. menunjukkan bahwa pergerakan horizontal titik-titik pengamatan cenderung mengarah ke tenggara. Pergerakan ini sejalan dengan pergerakan Sunda *Shelf Block* dan Lempeng Eurasia (Bock dkk., 2003). Namun, terdapat dua BM yang mengalami arah pergerakan yang berbeda yaitu BM33 dan BM 29. Kedua BM ini mengalami pergerakan yang cenderung mengarah ke timur laut. Kedua titik ini berlokasi di sekitar lintasan sesar, yaitu segmen Waru. Anomali tersebut mengindikasikan adanya pengaruh sesar yang melintas tidak jauh dari lokasi titik pengamatan tersebut, yaitu sejauh 0,34 km dari BM33 dan 0,68 km dari BM29.

Hasil perhitungan pergeseran vertikal yang disajikan oleh Tabel 1. dan Gambar 4. menunjukkan terdapat 10 titik yang mengalami pergerakan positif atau *uplift* yang ditunjukkan oleh panah berwarna biru. Titik yang mengalami kenaikan ini berada pada wilayah Surabaya Barat dan wilayah Surabaya Timur tepatnya berada di lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Nilai kenaikan maksimum berada di titik ITS1 dan ITS2 yang mencapai 69,92 mm/tahun. Sedangkan, nilai kenaikan minimum terjadi pada BM16 sebesar 7,68 mm/tahun. Selanjutnya, terdapat 8 titik yang mengalami pergerakan negatif atau *subsidence* yang ditunjukkan

oleh panah berwarna merah. Titik yang mengalami penurunan ini berada di wilayah Surabaya utara menuju wilayah Surabaya Pusat. Selain itu, titik di wilayah selatan juga cenderung mengalami penurunan. Nilai penurunan minimum terjadi pada titik SBY7 yang bernilai 2,09 mm/tahun. Sedangkan nilai penurunan maksimum berada di titik BM15 yang berlokasi di Kecamatan Bulak mencapai 71,49 mm/tahun. Penurunan di daerah utara Surabaya ini salah satunya dipengaruhi oleh faktor lokasi yang berbatasan dengan laut sehingga menyebabkan adanya intrusi air laut.

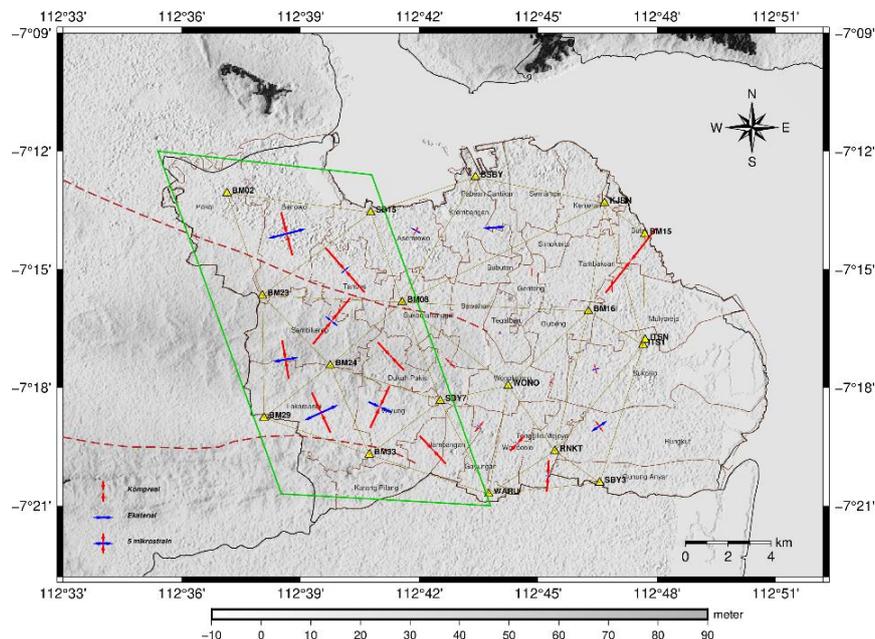
Analisis regangan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode *delaunay triangle*. Perhitungan terhadap 21 segmen segitiga yang terbentuk menghasilkan nilai ekstensi dan kompresi yang disajikan pada Tabel 2. berikut:

Tabel 2. Nilai Regangan Hasil Perhitungan

Segmen Segitiga	$\epsilon_1$ ( $\mu\text{strain}$ )	$\epsilon_2$ ( $\mu\text{strain}$ )	$\theta$ ( $^\circ$ )
BM15-KJRN-ITS1	0,130	-20,730	37,90
KJRN-BM16-ITS1	0,496	-2,976	-2,15
BM16-BM08-KJRN	-0,135	-2,172	5,28
BM08-BSBY-KJRN	5,571	-0,648	-4,62
BM08-BSBY-SB15	2,920	2,340	28,50
BM08-BM23-SB15	2,700	-14,960	-41,09
BM02--BM23-SB15	9,750	-11,260	-14,52
BM08-BM23-BM24	-3,660	-14,920	38,69
BM23-BM24-BM29	6,571	-9,913	-9,69
BM24-BM29-BM33	9,300	-11,150	-24,77
BM24-BM33-SBY7	-6,240	-11,630	24,64
BM08-BM24-SBY7	-0,517	-9,653	-43,00
BM33-SBY7-WARU	-0,517	-9,653	-43,00
SBY7-WARU-WONO	-1,466	-3,296	39,86
BM08-SBY7-WONO	-0,512	-3,337	-44,65
BM08-BM16-WONO	0,991	-0,917	15,03
RNKT-WARU-WONO	-1,271	-5,050	42,93
RNKT-SBY3-WARU	1,462	-7,982	3,67
BM16-WONO-RNKT	0,987	-1,982	18,97
BM16-ITS1-RNKT	2,099	-2,472	-13,54
ITS1-RNKT-SBY3	4,852	-2,960	-34,58

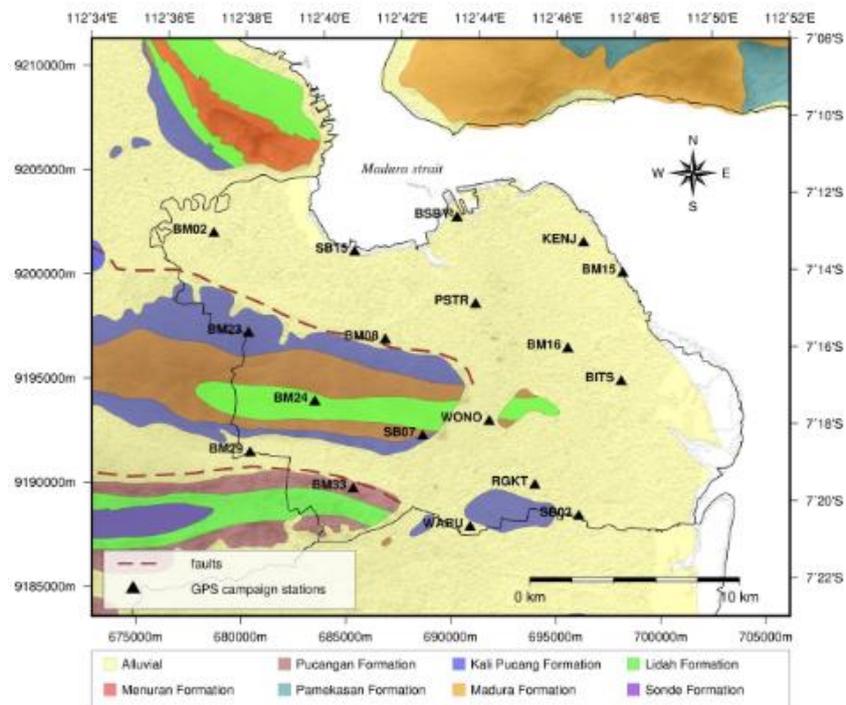
Tabel 2. diatas menyajikan nilai *principal strain* berupa  $\epsilon_1$  yang menyatakan ekstensi dan nilai  $\epsilon_2$  yang menyatakan kompresi. Gambar 5. di bawah merupakan hasil *plotting* dengan GMT yang menyajikan informasi mengenai nilai regangan dari Tabel 2. Hasil dari perhitungan dan *plotting* regangan menunjukkan bahwa di lokasi penelitian terjadi ekstensi dan kompresi yang menjadi parameter bahwa daerah tersebut terjadi deformasi. Pada Gambar 5. terlihat bahwa regangan dominan terjadi di wilayah bagian barat yang ditandai dengan poligon warna hijau. Aktivitas regangan yang terjadi didominasi oleh peristiwa kompresi yang ditunjukkan dengan *cross arrow* berwarna merah. Hal ini mengindikasikan bahwa di daerah tersebut sedang terjadi akumulasi energi. Energi yang saat ini terkumpul suatu saat akan dilepaskan dalam bentuk gempa tektonik. Sedangkan peristiwa regangan yang terjadi di bagian utara dan tengah cenderung bernilai kecil. Secara keseluruhan nilai kompresi berkisar dari nilai -20,73  $\mu\text{strain}$  sampai dengan 2,17  $\mu\text{strain}$ . Kompresi terbesar berada pada segmen BM15-KJRN-ITS1. Sedangkan kompresi minimum terjadi pada segmen BM16-BM08-KJRN. Nilai ekstensi berkisar antara nilai -6,24  $\mu\text{strain}$  sampai dengan 9,75  $\mu\text{strain}$ . Nilai ekstensi maksimum terjadi pada segmen BM02-BM23-SB15. Sedangkan nilai ekstensi minimum terjadi pada segmen

BM24-BM33-SBY7. Nilai regangan ini dapat menjadi indikator awal mengenai aktivitas tektonik yang terjadi pada suatu daerah. Semakin tinggi nilai regangan, maka mengindikasikan semakin tingginya aktivitas tektonik yang terjadi (Hidayat, 2012).



Gambar 5. Plotting Nilai Regangan

Berdasarkan penelitian dari Anjasmara (2019) yang menyajikan estimasi posisi dari Sesar Kendeng, ditunjukkan oleh Gambar 6. terlihat bahwa di sekitar lokasi BM33 dan BM29 terlintas Segmen Waru yang merupakan bagian dari Sesar Kendeng.



Gambar 6. Peta Geologi Surabaya dan Estimasi Posisi Sesar Kendeng (Anjasmara dkk., 2019)

Adanya perbedaan arah pergeseran dari titik pengamatan BM33 dan BM29 diindikasikan karena pengaruh dari aktivitas sesar yang melintas di daerah tersebut. Lokasi titik ini berada di sekitar segmen Waru yang mana diketahui aktivitasnya lebih aktif daripada segmen Surabaya (Anjasmara, 2019). Sebagai tambahan, pada Koulali (2016) juga mengestimasi bahwa laju geser sesar Kendeng sebesar 2,3 – 4,1 mm/tahun pada komponen sinistral. Penelitian ini juga diikuti oleh Kuncoro (2018) yang menyatakan pergerakan Sesar Kendeng termasuk dalam mekanisme sesar mengiri. Adanya mekanisme pergerakan dari sesar ini dapat mempengaruhi perbedaan arah pergerakan titik-titik pengamatan yang dimaksud.

Hasil pergeseran vertikal yang ditunjukkan pada Gambar 4. menunjukkan titik-titik yang mengalami *uplift* adalah SB15, BM02, BM23, BM24, BM08, BM33, RNKT, ITSN, ITS1, dan BM16. Jika ditinjau dari lokasi tempat titik ini berada, BM23, BM08, BM24, dan BM33 berada di wilayah sesar segmen waru dan segmen surabaya dengan nilai *uplift* sebesar 34,88 mm/tahun, 40,28 mm/tahun, 15,46 mm/tahun, dan 23,13 mm/tahun secara berturut-turut. Terlihat pada Gambar 6. bahwa BM23, BM08, BM24, BM33 berlokasi di sekitar *antiklin* lidah dan *antiklin* guyangan. Keberadaan *antiklin* ini diketahui dari peta geologi lembar Surabaya-Sapulu oleh Sukardi (1992). *Antiklin* merupakan bagian yang naik dari struktur lipatan. Lipatan ini timbul karena pengaruh *kompresi*. Diketahui dari hasil regangan menunjukkan bahwa di daerah ini juga didominasi oleh *kompresi*. Kompresi yang terjadi dapat menyebabkan lipatan. Struktur lipatan ini terdiri dari *antiklin* sebagai bagian yang mengalami kenaikan dan *sinklin* sebagai bagian yang mengalami penurunan. Adanya struktur lipatan ini dapat mempengaruhi pergerakan dari titik-titik pengamatan yang berada di sekitar wilayah lipatan. Namun, keberadaan dan panjang *antiklin* dan *sinklin* yang ada belum dapat diketahui pasti.

Dari hasil pengolahan regangan yang dilakukan didapatkan bahwa regangan yang terjadi di Surabaya memiliki nilai yang berbeda-beda pada tiap lokasi segmen segitiga. Wilayah barat terlihat bahwa regangan yang terjadi cukup besar jika dibandingkan dengan wilayah bagian lainnya. Dalam hasil *plotting*, daerah yang memiliki aktivitas regangan tinggi ditandai oleh poligon berwarna hijau. Di daerah tersebut regangan yang terjadi didominasi oleh regangan berupa kompresi dan terdapat 8 segmen segitiga yang tercakup di dalamnya. Nilai kompresi berkisar antara -9,653  $\mu$ strain sampai -14,960  $\mu$ strain. Sedangkan nilai ekstensi yang terjadi berkisar dari -6,240  $\mu$ strain hingga 9,750  $\mu$ strain. Secara administratif, wilayah yang terdampak dari adanya aktivitas tektonik ini yaitu sebagian Kecamatan Pakal, Benowo, Tandés, Sambikerep, Sukomanunggal, Dukuh Pakis, Lakarsantri, Wiyung, Karang Pilang, Jambangan, dan Gayungan. Regangan yang ada menunjukkan bahwa aktivitas tektonik yang terjadi salah satunya dapat disebabkan oleh pengaruh Sesar Kendeng tersebut.

Hasil dari perhitungan regangan menunjukkan nilai komponen ekstensionalnya melebihi 0,5  $\mu$ strain dan nilai komponen kompresionalnya melebihi -0,5  $\mu$ strain sehingga Sesar Kendeng dapat dikatakan sesar aktif (Bock dkk., 2003). Adanya nilai kompresional yang mendominasi menunjukkan bahwa di daerah ini sedang terjadi peristiwa akumulasi energi. Energi yang terakumulasi ini suatu saat akan dilepaskan dalam bentuk gempa tektonik. Melihat adanya reaksi tersebut tentunya daerah yang berada dalam cakupan poligon hijau pada Gambar 5. perlu menjadi perhatian khusus dalam hal mitigasi bencana. Dominasi regangan kompresi yang terjadi juga mengindikasikan bahwa Sesar Kendeng termasuk sesar naik. Hal ini didasari oleh penelitian Turcote dan Gerald (2002) yang menyatakan bahwa salah satu ciri sebuah sesar naik adalah apabila pada sesar tersebut banyak dijumpai regangan yang sifatnya kompresional. Hasil penelitian ini juga selaras dengan penelitian Smyth, Hall, dan Nicholas (2008) yang menyatakan bahwa Sesar Kendeng terdiri dari kumpulan sesar-sesar naik dan lipatan-lipatan (*blind faultd*) yang dapat diamati dari adanya anomali Bouguer di daerah ini.

## Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa pergeseran horizontal dari titik-titik pengamatan cenderung mengarah ke tenggara dengan rentang kecepatan sebesar 2,67 mm/tahun – 71,74 mm/tahun dan 1 titik yang memiliki kecepatan pergeseran yang besar mencapai 124 mm/tahun. Namun, terdapat 2 titik yang memiliki arah pergeseran horizontal yang berbeda yaitu BM33 dan BM29 dimana arah pergeserannya cenderung mengarah ke utara-timur. Sedangkan pada pergeseran vertikal dari titik pengamatan yang berada di sekitar sesar mengalami kenaikan tanah atau *uplift* dengan kecepatan pergeseran vertikal sebesar 15,46 mm/tahun – 34,88 mm/tahun. Selanjutnya, Sesar Kendeng termasuk sesar yang aktif, dibuktikan

dengan didapatkan nilai regangan kompresi yang melebihi  $-0,5 \mu\text{strain}$  dan nilai regangan ekstensi yang melebihi  $0,5 \mu\text{strain}$ . Nilai regangan tersebut terjadi pada 8 segmen segitiga yang berada di sekitar zona Sesar Waru dan Surabaya. Sesar Kendeng juga termasuk sebagai sesar naik ditinjau dari peristiwa regangan yang terjadi didominasi oleh peristiwa regangan kompresional. Aktivitas pengumpulan energi oleh peristiwa kompresional suatu saat dapat dilepaskan dan akan berdampak terhadap Surabaya khususnya bagian Surabaya Barat.

### Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada CDDIS dan SOPAC sebagai penyedia data IGS, *authors and developers* dari GAMIT/GLOBK dan *Generic Mapping Tools* (GMT) yang digunakan pada penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- Anjasmara, I. M., A Mauradhia, S Susilo. (2019). *Surface deformation and earthquake potential in Surabaya from GPS campaigns data*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 389 012032. Surabaya, Indonesia
- Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Genrich, J.F., Stevens, C.W., McCaffrey, R., Subarya, C., Puntodewo, S.S.O., and Calais, E. (2003). *Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements*. J. Geophys. Res., 108(B8), 2367
- Soekardi. (1992). *Geologi Lembar Pacitan, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia.
- Herring, T.A., King, R.W., dan McClusky, S.C. (2018). *Introduction to GAMIT/GLOBK*. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science. Massachusetts Institute of Technology.
- Hidayat, M.H., I. Meliano, dan I. Gumilar. (2012). *Regangan Tektonik dan Estimasi Potensi Bahaya Gempa di Selat Sunda Berdasarkan Data Pengamatan GPS*. Widyariset, Vol. 15 No.3, Desember 2012: 619–628.
- Koulali, A., Susilo, S., McClusky S., Meilano, I., Cummins, P., Tregoning, P., Lister, G., Efendi, J., dan Syafi'i, A. (2016). *Crustal Strain Partitioning and Associated Earthquake Hazard in the Eastern Sunda-Banda Arc*. Geophys. Res. Lett., 43, 1943-1949.
- Kuncoro, Henri dan M. Maharani. (2018). *Identifikasi Mekanisme Sesar di Bagian Timur Pulau Jawa dengan Menggunakan Data GNSS Kontinyu 2010-2016*. ITB Indonesian Journal of Geospatial 05, 2:11-20.
- Smyth, H. R., R. Hall., dan Gary J. Nichols. (2008). *Cenozoic Volcanic Arc History of East Java, Indonesia: The Stratigraphic Record of Eruptions on an Active Continental Margin*. *The Geological Society of America Special Paper*, 436(10), 199–222.
- Turcotte, D., dan S. Gerald. (2002). *Geodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., & Tian, D. (2019). *The Generic Mapping Tools version 6. Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 5556–5564.



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).