

Studi Deformasi Sesar Kendeng Berdasarkan Data Pengamatan GPS Kontinu dan *Campaign* Tahun 2016 - 2020

Kendeng Faults Deformation Study Based on Continuous and Campaign GPS Observation Data From 2016 To 2020

Tio Aulia Pasudewa Koeswoyo, Ira Mutiara Anjasmara*, Akbar Kurniawan

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

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

Diterima: 10022022; Diperbaiki: 17032023; Disetujui: 08082023; Dipublikasi: 08092023

Abstrak: Pulau Jawa secara geografis terletak pada batas paling selatan Blok Sunda. Pada sisi selatan pulau mengalami proses subduksi dengan Lempeng Indo-Australia yang membentuk zona subduksi pada wilayah tersebut. Pulau Jawa yang terletak di utara zona subduksi memiliki beberapa sesar yang merupakan bentuk akomodasi stress dari zona subduksi di selatan Pulau Jawa, salah satu Sesar yang terbentuk dari proses tersebut adalah Sesar Kendeng. Meningkatnya jumlah penduduk di Jawa Timur, dimana memiliki potensi gempa akibat sesar maka studi deformasi Sesar Kendeng menjadi penting. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar dan arah pergerakan titik pengamatan GPS yang dilalui oleh Sesar Kendeng serta pola regangan yang terjadi pada tahun 2016 hingga 2020. Penelitian ini menggunakan data dari stasiun CORS dan titik *campaign*. Dari penelitian ini didapatkan hasil kecepatan pergeseran horizontal, kecepatan vertikal, dan regangan. Kecepatan pergeseran horizontal keseluruhan titik berada pada rentang 19 hingga 41 mm/tahun. Pergerakan terbesar berada pada titik KD07 dengan kecepatan sebesar 40,92 mm/tahun. Kecepatan vertikal stasiun CORS yang mengalami kenaikan muka tanah yaitu CSMP, CPAS, CMAG, dan CTBN, kenaikan muka tanah tertinggi 4,2 mm/tahun pada stasiun CTBN. Pada titik *campaign* terdapat 7 titik pengamatan *campaign* yang mengalami kenaikan muka tanah, sedangkan 16 titik pengamatan lainnya mengalami penurunan. Kenaikan muka tanah tertinggi sebesar 30,35 mm/tahun pada titik KD 15. Penurunan muka tanah terbesar yaitu pada titik KD 20 sebesar 343,4 mm/tahun. Nilai regangan yang terjadi cukup bervariasi, rentang nilai kompresi yakni -0,675 μ strain hingga -0,021 μ strain. Sedangkan rentang nilai ekstensi berada diantara -0,058 μ strain hingga 0,703 μ strain.

Copyright © 2023 Geoid. All rights reserved.

Abstract: Java Island is geographically located at the southernmost boundary of the Sunda Block. On the southern side of the island, it undergoes a subduction process with the Indo-Australian Plate which forms a subduction zone in the region. Java Island which is located in the north of the subduction zone has several faults which are a form of stress accommodation from the subduction zone in the south of Java Island, one of the faults formed from this process is the Kendeng Fault. The increasing population in East Java, which has the potential for earthquakes due to faults, makes the study of the deformation of the Kendeng Fault important. This study aims to determine the magnitude and direction of movement of the GPS observation points traversed by the Kendeng Fault and the strain patterns that occurred from 2016 to 2020. This study uses data from CORS stations and campaign points. From this research, the results obtained are horizontal shift speed, vertical velocity, and strain. The horizontal shift speed of all points is in the range of 19 to 41 mm/year. The biggest movement is at point KD07 with a speed of 40.92 mm/year. The vertical velocity of CORS stations experiencing land level rise are CSMP, CPAS, CMAG, and CTBN, the highest land level rise is 4.2 mm/year at CTBN stations. At the campaign point, there are 7 campaign observation points that have experienced a land level rise, while the other 16 observation points have decreased. The highest land level rise is 30.35 mm/year at KD 15 point. The largest land subsidence is at KD 20 point at 343.4 mm/year. The value of the strain that occurs is quite varied, the compression value ranges from -0.675 strain to -0.021 strain. While the range of extension values is between -0.058 strain to 0.703 strain.

Kata kunci: Deformasi, Sesar Kendeng, Regangan.

Cara untuk sitasi: Koeswoyo, T. A. P., Anjasmara, I. M., & Kurniawan, Akbar. (2023). Studi Deformasi Sesar Kendeng Berdasarkan Data Pengamatan GPS Kontinu dan Campaign Tahun 2016 - 2020. *Geoid*, 19(1), 153 - 163.

Pendahuluan

Pulau Jawa secara geografis terletak pada batas paling selatan Blok Sunda (Hall, 2014). Dimana pada sisi selatan pulau mengalami proses subduksi dengan Lempeng Indo-Australia yang membentuk zona subduksi pada wilayah tersebut (Barunawati, 2019). Pulau Jawa yang terletak di utara zona subduksi memiliki beberapa sesar yang merupakan bentuk akomodasi *stress* dari zona subduksi di selatan Pulau Jawa, Salah satu Sesar yang terbentuk dari proses tersebut adalah Sesar Kendeng. Sesar Kendeng terdiri dari kumpulan sesar-sesar naik dan lipatan-lipatan (*blind faults*) yang dapat diamati dari adanya anomali Bouguer di daerah ini (Smyth dkk, 2008). Di Jawa Timur Sesar Kendeng terdiri dari 4 segmen yakni Segmen Cepu, Segmen Blumblang, Segmen Waru dan Segmen Surabaya dengan keseluruhan segmen memiliki karakter sesar naik (*reverse*) (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).

Dengan terdapatnya 4 segmen Sesar Kendeng di Jawa Timur menyebabkan wilayah disekitar sesar rawan bencana, terutama gempa bumi (Susilo dan Adnan, 2013). Berdasarkan publikasi BPS Provinsi Jawa Timur tahun 2020 tercatat jumlah penduduk Jawa Timur pada tahun 2020 berjumlah 40.666 juta jiwa dengan laju pertumbuhan antara tahun 2010 hingga 2020 sebesar 0,79% per tahun. Dengan meningkatnya jumlah penduduk di Jawa Timur, dimana memiliki potensi gempa akibat sesar maka studi deformasi Sesar Kendeng menjadi penting.

Pada penelitian ini studi deformasi Sesar Kendeng menggunakan metode *GPS* dengan software pengolahan ilmiah yakni *GAMIT/GLOBK* 10.71. Pemantauan deformasi dengan *GPS* dapat dibagi menjadi dua yaitu pemantauan secara berkala dan pemantauan secara kontinu. Prinsip pemantauan deformasi menggunakan *GPS* yaitu pemantauan terhadap perubahan koordinat titik pengamatan dari waktu ke waktu. Dengan menggunakan data pengamatan *GPS* kontinu dan *campaign* dari Badan Informasi Geospasial pada rentang 2016 hingga 2020 akan didapatkan hasil deformasi yang disebabkan oleh pergerakan aktif Sesar Kendeng. Pergerakan yang dihasilkan baik secara horizontal dan vertikal dapat digunakan untuk perhitungan nilai regangan pada wilayah yang dilewari oleh Sesar Kendeng

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar dan arah pergerakan titik pengamatan *GPS* yang dilalui oleh Sesar Kendeng serta pola regangan yang terjadi pada tahun 2016 hingga 2020. Nantinya hasil dari penelitian ini dapat menjadi pertimbangan dalam mitigasi bencana wilayah tersebut.

Data dan Metode

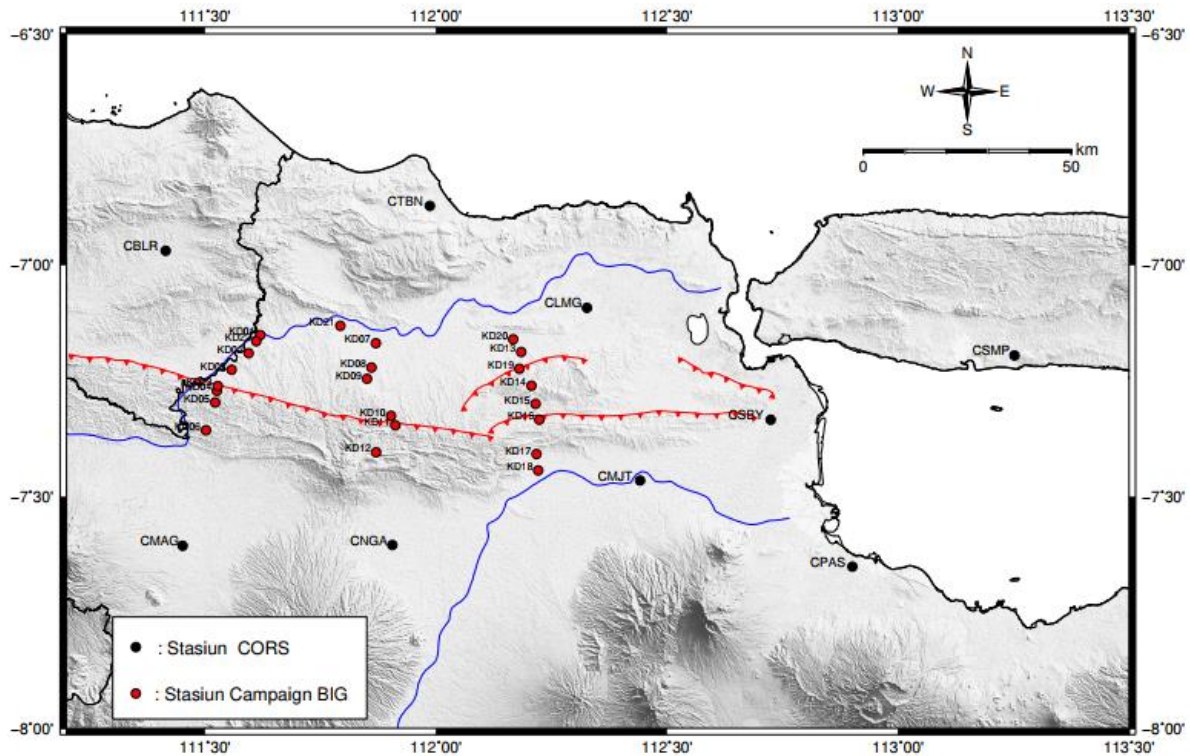
Secara geografis lokasi penelitian ini berada pada sekitar zona Sesar Kendeng dengan rentang koordinat 6°30' LS hingga 8°00' LS dan 111°25' BT hingga 113°30' BT (Gambar 1). Pada penelitian ini mengkombinasikan dua jenis pemantauan *GPS*. Stasiun *GPS* kontinu yang menjangkau keseluruhan zona sesar namun dengan jarak yang relatif jauh dari Sesar Kendeng. Titik *GPS campaign* yang lebih dekat dengan sesar. Data pengamatan *GPS* kontinu pada tahun 2016 hingga 2020 didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan stasiun yang digunakan berjumlah 9 stasiun. Sedangkan data pengamatan *GPS campaign* merupakan hasil observasi Badan Informasi Geospasial pada tahun 2016 hingga 2020 di sepanjang Sesar Kendeng. Koordinat stasiun *GPS* kontinu dan titik *campaign* yang digunakan dapat dilihat secara detail pada Tabel 1.

Terdapat beberapa data sekunder pada penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. data pengamatan stasiun IGS sebagai titik ikat
2. data precise ephemeris (.sp3)
3. data navigasi satelit (.N)
4. Serta data pendukung dalam pengolahan *GAMIT/GLOBK*

Pada penelitian ini data yang digunakan berada pada rentang waktu 2016 hingga 2020. Stasiun IGS yang digunakan sebagai titik ikat berjumlah 12 titik yang relatif dekat dengan lokasi penelitian yakni PIMO, CUSV, HKWS, DARW, SOLO, GUAM, BAKO, DGAR, IISC, KARR, ALIC, XMIS. Pengolahan data *GPS*

menggunakan software ilmiah GAMIT/GLOBK 10.71 dengan kerangka referensi terbaru yakni ITRF 2014. Hasil dari pengolahan GAMIT/GLOBK kemudian digunakan sebagai data masukan untuk dilakukan perhitungan kecepatan menggunakan *plugin tsview* pada Matlab. Perhitungan kecepatan dilakukan dengan menggunakan persamaan sinusoidal untuk mereduksi pengaruh efek musiman (Nikolaidis, 2002) dan juga eliminasi *outliers* dengan menggunakan 2-sigma dengan nilai maksimum *wrms* 10 mm (Panuntun, 2012). Lokasi titik pengamatan GPS yang terletak di Blok Sunda menyebabkan kecepatan yang dihasilkan masih terpengaruh oleh pergerakan Blok Sunda, oleh karena itu perlu direduksi dengan menggunakan menggunakan software *Euler Pole Calculator (EPC)* (Gourdarzi dkk, 2014). Parameter rotasi Blok Sunda yang digunakan yakni nilai lintang (ϕ) Blok Sunda $63,332^{\circ}\text{N}$, bujur (λ) Blok Sunda $112,193^{\circ}\text{W}$, dan kecepatan rotasi angular (ω) sebesar $0,263^{\circ}/\text{Myr}$ (Fuadi dkk, 2020).



Gambar 1. Lokasi Penelitian Dan Sebaran Titik Pengamatan

Tabel 1. Koordinat Stasiun/Titik Pengamatan

Stasiun/Titik Pengamatan	Lintang	Bujur	Stasiun/Titik Pengamatan	Lintang	Bujur
CMAG	7° 36' 23,09" LS	111° 27' 05,16" BT	KD08	7° 13' 17,76" LS	111° 51' 37,80" BT
CTBN	6° 52' 20,11" LS	111° 59' 11,16" BT	KD09	7° 14' 45,24" LS	111° 51' 05,04" BT
CNGA	7° 36' 16,93" LS	111° 54' 19,09" BT	KD10	7° 19' 35,04" LS	111° 54' 10,80" BT
CLMG	7° 05' 33,34" LS	112° 19' 35,48" BT	KD11	7° 20' 47,40" LS	111° 54' 41,40" BT
CMJT	7° 27' 56,08" LS	112° 26' 29,81" BT	KD12	7° 24' 16,20" LS	111° 52' 09,84" BT
CSBY	7° 20' 03,60" LS	112° 43' 27,71" BT	KD13	7° 11' 18,24" LS	112° 11' 00,24" BT
CPAS	7° 39' 05,07" LS	112° 54' 03,73" BT	KD14	7° 15' 40,32" LS	112° 12' 22,68" BT
CSMP	7° 11' 43,61" LS	113° 15' 07,00" BT	KD15	7° 18' 00,72" LS	112° 12' 52,92" BT
CBLR	6° 58' 09,21" LS	111° 24' 53,16" BT	KD16	7° 20' 06,36" LS	112° 13' 24,60" BT
KD01	7° 09' 00,25" LS	111° 37' 10,56" BT	KD17	7° 24' 30,24" LS	112° 13' 03,36" BT
KD02	7° 11' 26,16" LS	111° 35' 39,84" BT	KD18	7° 26' 38,04" LS	112° 13' 15,60" BT
KD03	7° 13' 36,84" LS	111° 33' 27,36" BT	KD19	7° 13' 27,48" LS	112° 10' 49,08" BT
KD04	7° 16' 17,76" LS	111° 31' 31,80" BT	KD20	7° 09' 39,24" LS	112° 10' 00,48" BT
KD05	7° 17' 50,28" LS	111° 31' 19,20" BT	KD21	7° 07' 51,24" LS	111° 47' 32,64" BT
KD06	7° 21' 25,20" LS	111° 30' 07,56" BT	KD22	7° 09' 53,28" LS	111° 36' 36,36" BT
KD07	7° 10' 08,40" LS	111° 52' 15,60" BT	KD23	7° 15' 38,88" LS	111° 31' 38,64" BT

Setelah didapatkan kecepatan stasiun/titik pengamatan lokal yang sudah bebas dari aktifitas Sunda Blok dilakukan perhitungan regangan. Pada penelitian ini perhitungan regangan menggunakan metode *strain interpolation dengan* algoritma *VISR* pada software *straintools*. Algoritma tersebut mengacu kepada interpolasi regangan dengan pembobotan pada fungsi jarak titik interpolasi dan fungsi kerapatan spasial titik interpolasi (Shen dkk, 2015) Dengan metode ini keseluruhan titik *campaign* dan stasiun *CORS* dapat dilakukan perhitungan regangan untuk dianalisis pola regangan yang terjadi.

Hasil dan Pembahasan

1. Hasil Kecepatan Titik Pengamatan

Kecepatan pergeseran Stasiun CORS yang dihasilkan *tsview* sudah terbebas dari *outliers* dan pengaruh efek musiman. Sedangkan kecepatan pergeseran titik *campaign* tidak dilakukan eliminasi *outliers* dan pengaruh efek musiman dikarenakan pengamatan yang dilakukan secara berkala. Berikut ditampilkan hasil kecepatan stasiun/titik pengamatan pada masing masing komponen.

Tabel 2. Kecepatan Stasiun/Titik Pengamatan pada masing-masing komponen beserta standar deviasinya.

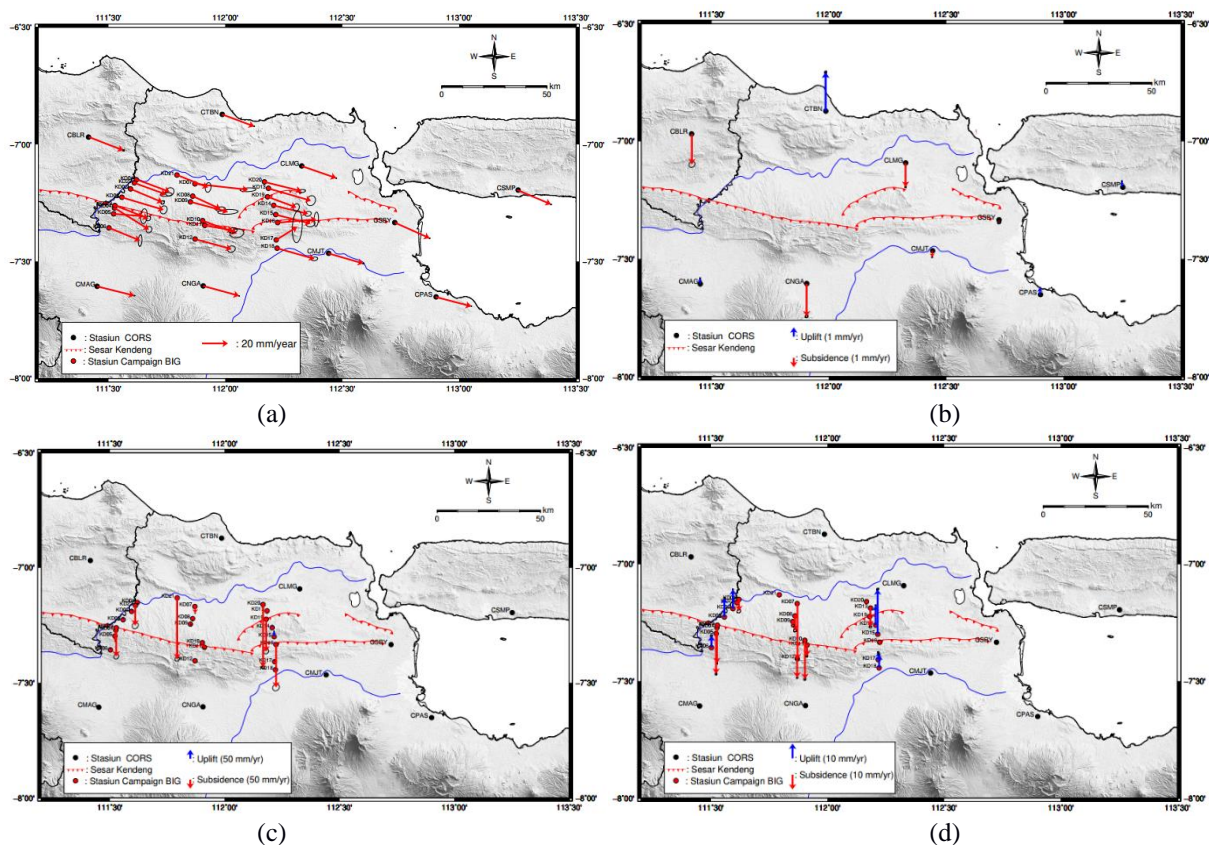
Titik Pengamatan	V_e (mm/tahun)	V_n (mm/tahun)	V_u (mm/tahun)	σ_e (mm/tahun)	σ_n (mm/tahun)	σ_u (mm/tahun)
CBLR	26,66	-10,35	-3,29	0,20	0,18	1,02
CLMG	26,65	-9,23	-2,57	0,09	0,07	0,21
CMAG	28,68	-7,13	0,62	0,21	0,07	0,16
CNGA	27,06	-7,81	-0,68	0,13	0,14	0,15
CPAS	27,76	-7,58	-3,53	0,07	0,07	0,44
CSBY	27,53	-7,20	0,76	0,07	0,05	0,12
CSMP	26,75	-11,95	-0,22	0,09	0,09	0,56
CMJT	26,06	-11,00	0,63	0,13	0,06	0,15
CTBN	24,79	-9,22	4,16	0,09	0,08	0,36
KD01	25,68	-9,61	-8,06	1,34	1,31	11,85
KD02	24,73	-10,38	13,05	0,55	0,54	2,25
KD03	32,18	-9,60	12,92	1,08	1,27	4,19
KD04	26,61	-16,74	-24,09	0,90	1,03	4,76
KD05	23,35	-1,79	-27,22	1,05	2,34	6,47
KD06	24,01	-9,78	8,06	0,59	1,80	6,48
KD07	40,67	-4,55	-37,72	2,48	0,60	7,69
KD08	21,39	-9,89	-9,83	1,51	0,67	9,92
KD09	28,72	-7,72	-2,74	3,18	0,76	9,15
KD10	26,34	-9,76	-26,09	2,18	1,37	7,35
KD11	21,71	-3,81	-7,42	1,36	0,82	5,70
KD12	28,21	-7,76	-12,85	1,20	1,01	4,87
KD13	32,93	-9,48	-12,51	1,42	1,57	7,69
KD14	26,50	-6,45	13,37	1,01	0,78	3,09
KD15	26,96	-6,94	30,35	1,40	1,04	6,83
KD16	29,71	2,65	-234,35	0,72	2,26	184,13
KD17	16,18	10,13	4,92	1,56	5,02	4,86
KD18	28,80	-8,19	9,08	1,02	0,59	4,71
KD19	22,14	-8,18	-176,64	0,97	1,17	131,6
KD20	28,62	-7,02	-343,4	1,23	0,50	81,35
KD21	24,12	-9,67	-336,54	0,91	1,51	115,35
KD22	24,60	-8,96	-110,05	1,89	0,59	167,27
KD23	25,74	-10,14	-158,48	0,74	0,74	136,69

Pada komponen *east-west*, keseluruhan stasiun/titik pengamatan bergerak ke arah timur. Pada komponen *north-south* didominasi bergerak arah selatan namun terdapat 2 titik yang bergerak ke utara. Sedangkan pada komponen *up-down* didominasi dengan nilai negatif yang mengindikasikan terjadinya penurunan. Nilai simpangan baku pada komponen *east-west* dan *north-south* lebih baik dari komponen *up-down*, hal tersebut dikarenakan adanya efek *delay* pada penjalaran sinyal gelombang yang melawati atmosfer (pengaruh ionosfer

dan troposfer) di arah zenith (vertikal) dan tidak adanya satelit GNSS yang berada dibawah horizon sehingga berpengaruh pada ketelitian komponen *up-down*. (Pradipta dkk, 2012).

Tabel 3. Kecepatan Pergeseran Horizontal CORS dan Titik *Campaign* tahun 2016-2020

Titik Pengamatan	V _h (mm/tahun)	σ_h (mm/tahun)	θ (derajat)	Titik Pengamatan	V _h (mm/tahun)	σ_h (mm/tahun)	θ (derajat)
CBLR	28,60	0,27	111,22	KD08	23,57	1,65	114,81
CLMG	28,20	0,11	109,10	KD09	29,74	3,27	105,05
CMAG	29,55	0,22	103,96	KD10	28,09	2,57	110,33
CNGA	28,16	0,19	106,10	KD11	22,04	1,59	99,95
CPAS	28,78	0,10	105,27	KD12	29,26	1,57	105,38
CSBY	28,46	0,09	104,66	KD13	34,27	2,12	106,06
CSMP	29,30	0,13	114,07	KD14	27,27	1,28	103,68
CMJT	28,29	0,14	112,89	KD15	27,84	1,74	104,44
CTBN	26,45	0,12	110,40	KD16	29,83	2,37	84,90
KD01	27,42	1,87	110,52	KD17	19,09	5,26	57,95
KD02	26,82	0,77	112,77	KD18	29,94	1,18	105,87
KD03	33,58	1,67	106,61	KD19	23,60	1,52	110,28
KD04	31,44	1,37	122,17	KD20	29,47	1,33	103,78
KD05	23,42	2,56	94,38	KD21	25,99	1,76	111,85
KD06	25,93	1,89	112,16	KD22	26,18	1,98	110,01
KD07	40,92	2,55	96,38	KD23	27,67	1,05	111,50



Gambar 2. Plot Kecepatan Horizontal Seluruh Titik Pengamatan (a), Plot Vertikal Stasiun CORS (b), Plot Vertikal Titik *Campaign* (c), Dan Plot Vertikal Titik *Campaign* Setelah Menghilangkan 6 Titik Yang Memiliki Kecepatan Diatas 10 cm/Tahun (d)

Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh titik *CORS* BIG dan titik *Campaign* menghasilkan nilai simpangan baku kecepatan pergeseran horizontal dalam fraksi milimeter. Kecepatan pergeseran horizontal keseluruhan titik berada pada rentang 19 hingga 41 mm/tahun. Pergerakan terbesar berada pada titik KD07 dengan kecepatan sebesar 40.92 mm/tahun. Nilai kecepatan pada BM ini diiringi juga oleh besarnya simpangan baku pada

komponen easting dan northing. Besarnya nilai simpangan baku ini dapat dipengaruhi oleh ketidakstabilan posisi BM, kondisi sekitar BM yang menghalangi jalannya sinyal pada receiver *GPS*.

Dari Gambar 2a 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 pergeseran yang berbeda yaitu KD 16 dan KD 17. Kedua BM ini mengalami pergerakan yang cenderung mengarah ke timur laut yang bisa disebabkan oleh faktor gempa sekitar yang mempengaruhi dikarenakan pada dua titik tersebut dilintasi oleh jalur sesar.

Selain kecepatan horizontal, dihasilkan juga kecepatan vertikal (V_u) yang nilainya telah disajikan pada tabel 2. Kecepatan vertikal didapatkan melalui pengolahan *tsview* bersamaan dengan kecepatan N dan E. Hasil dari plotting vertikal stasiun CORS terdapat 5 stasiun CORS yang mengalami penurunan tanah yaitu CNGA, CBLR, CMJT, CLMG, dan CSBY dengan nilai *subsidence* tertinggi 3,53 mm/tahun pada stasiun CNGA. Sedangkan stasiun CORS yang mengalami kenaikan muka tanah yaitu CSMP, CPAS, CMAG, dan CTBN dengan kenaikan muka tanah tertinggi adalah stasiun CTBN dengan kenaikan 4,2 mm/tahun. Sedangkan pada titik *campaign* terdapat 7 titik pengamatan *campaign* yang mengalami kenaikan muka tanah dengan kenaikan muka tanah tertinggi sebesar 30,35 mm/tahun pada titik KD 15. Sedangkan 16 titik pengamatan lainnya mengalami penurunan dengan titik KD 20 mengalami penurunan tanah terbesar yaitu 343,4 mm/tahun.

2. Hasil Reduksi Model Pergerakan dengan Blok Sunda

Pergeseran suatu titik yang terjadi tidak terlepas dari pergerakan yang diakibatkan oleh rotasi blok. Di Jawa Timur pengaruh pergerakan dari rotasi Blok Sunda. Dapat diketahui pergerakan suatu titik apakah terpengaruh dari rotasi suatu blok atau tidak dengan dilakukannya perhitungan dari pergerakan rotasi blok tersebut. *Software* yang digunakan untuk mengestimasi kecepatan suatu titik yang terpengaruh oleh rotasi Blok Sunda adalah *Euler Pole Calculator*. Parameter pergerakan Blok Sunda dengan nilai lintang (ϕ) Blok Sunda $63,332^\circ\text{N}$, bujur (λ) Blok Sunda $112,193^\circ\text{W}$, dan kecepatan rotasi angular (ω) sebesar $0,263^\circ/\text{Myr}$ (Fuadi dkk, 2020). Dengan menggunakan parameter tersebut dilakukan perhitungan kecepatan titik/stasiun pengamatan terhadap blok sunda. Berikut pada tabel 4 adalah hasil dari reduksi rotasi Blok Sunda

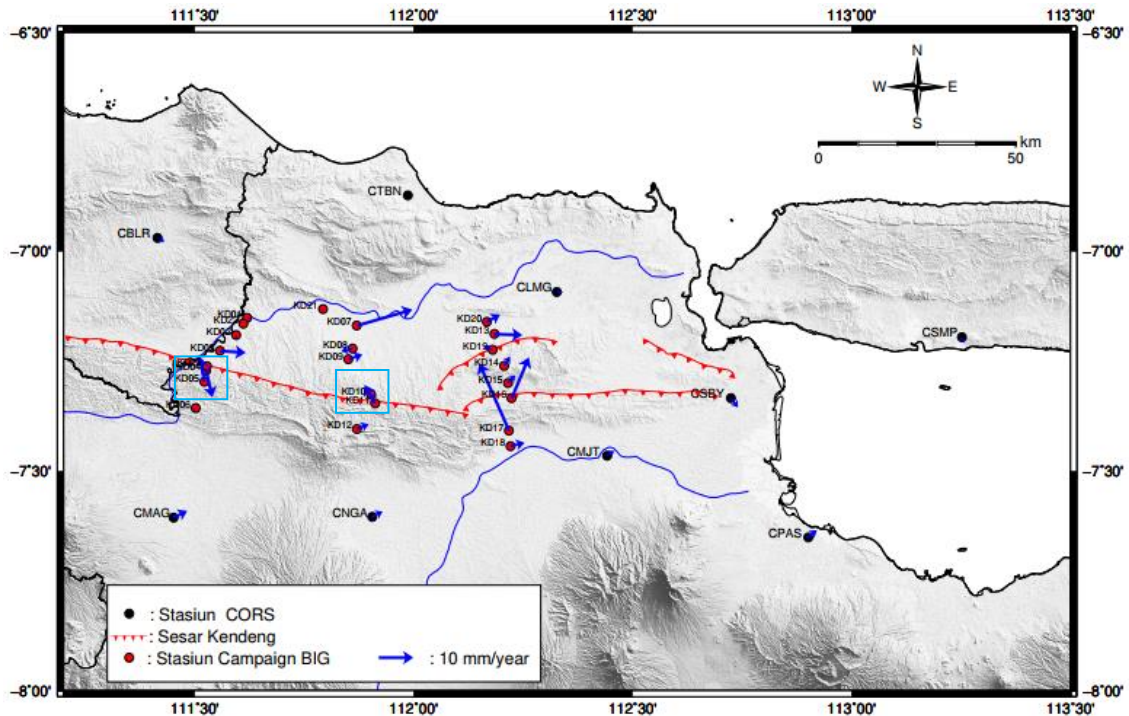
Tabel 4. Hasil Kecepatan Pergerakan Lokal

Nama Stasiun	Hasil Kecepatan Penelitian Ini		Hasil Kecepatan Pergerakan Blok Sunda		Kecepatan Pergerakan Lokal	
	Vn (mm/tahun)	Ve (mm/tahun)	Vn (mm/tahun)	Ve (mm/tahun)	Vn (mm/tahun)	Ve (mm/tahun)
CBLR	-10,35	26,66	-9,06	24,81	-1,29	1,85
CLMG	-9,23	26,65	-9,21	24,80	-0,02	1,85
CMAG	-7,13	28,68	-9,07	24,67	1,94	4,01
CNGA	-7,81	27,06	-9,23	24,73	1,42	2,33
CPAS	-7,58	27,76	-9,14	24,68	1,56	3,08
CSBY	-7,20	27,53	-9,31	24,69	2,11	2,84
CSMP	-11,95	26,75	-9,28	24,76	-2,67	1,99
CMJT	-11,00	26,06	-9,36	24,80	-1,64	1,26
CTBN	-9,22	24,79	-9,16	24,85	-0,06	-0,06
KD01	-9,61	25,68	-9,10	24,78	-0,51	0,90
KD02	-10,38	24,73	-9,09	24,77	-1,29	-0,04
KD03	-9,60	32,18	-9,09	24,76	-0,51	7,42
KD04	-16,74	26,61	-9,08	24,75	-7,66	1,86
KD05	-1,79	23,35	-9,08	24,74	7,29	-1,39
KD06	-9,78	24,01	-9,08	24,73	-0,70	-0,72
KD07	-4,55	40,67	-9,14	24,78	4,59	15,89
KD08	-9,89	21,39	-9,14	24,77	-0,75	-3,38
KD09	-7,72	28,72	-9,14	24,76	1,42	3,96
KD10	-9,76	26,34	-9,14	24,75	-0,62	1,59
KD11	-3,81	21,71	-9,14	24,74	5,33	-3,03
KD12	-7,76	28,21	-9,14	24,73	1,38	3,48
KD13	-9,48	32,93	-9,19	24,78	-0,29	8,15

KD14	-6,45	26,50	-9,19	24,77	2,74	1,73
KD15	-6,94	26,96	-9,19	24,76	2,25	2,20
KD16	2,65	29,71	-9,20	24,75	11,85	4,96
KD17	10,13	16,18	-9,20	24,73	19,33	-8,55
KD18	-8,19	28,80	-9,20	24,73	1,01	4,07
KD19	-8,18	22,14	-9,19	24,77	1,01	-2,63
KD20	-7,02	28,62	-9,19	24,79	2,17	3,83
KD21	-9,67	24,12	-9,13	24,79	-0,54	-0,67
KD22	-8,96	24,60	-9,10	24,77	0,14	-0,17
KD23	-10,14	25,74	-9,08	24,75	-1,06	0,99

Tabel 5. Kecepatan Horizontal Dan Arah Vektor Titik Pengamatan Setelah Direduksi Dengan Sunda Block

Titik Pengamatan	Vh (mm/tahun)	θ (derajat)	Titik Pengamatan	Vh (mm/tahun)	θ (derajat)
CBLR	2,25	124,89	KD08	3,46	257,42
CLMG	1,85	90,53	KD09	4,20	70,33
CMAG	4,45	64,18	KD10	1,71	111,13
CNGA	2,73	58,66	KD11	6,14	330,40
CPAS	3,45	63,06	KD12	3,75	68,41
CSBY	3,53	53,40	KD13	8,15	92,04
CSMP	3,33	143,33	KD14	3,25	32,30
CMJT	2,07	142,45	KD15	3,15	44,33
CTBN	0,08	221,94	KD16	12,84	22,72
KD01	1,04	119,65	KD17	21,13	336,13
KD02	1,29	181,73	KD18	4,20	76,13
KD03	7,44	93,96	KD19	2,82	290,97
KD04	7,88	166,35	KD20	4,40	60,52
KD05	7,42	349,18	KD21	0,86	230,72
KD06	1,01	225,70	KD22	0,22	307,69
KD07	16,54	73,89	KD23	1,45	136,98



Gambar 3. Plot Pergerakan Horizontal setelah direduksi dengan blok sunda

Dapat dilihat pada Tabel 4, hasil perhitungan kecepatan pergerakan blok sunda menghasilkan pola yang sama yakni pada komponen *east-west* yang bernilai negatif semua dan pada komponen *north-south* bernilai positif semua. Pergerakan blok sunda yang dimuat dalam tabel ialah pada komponen horizontal. Setelah didapatkan

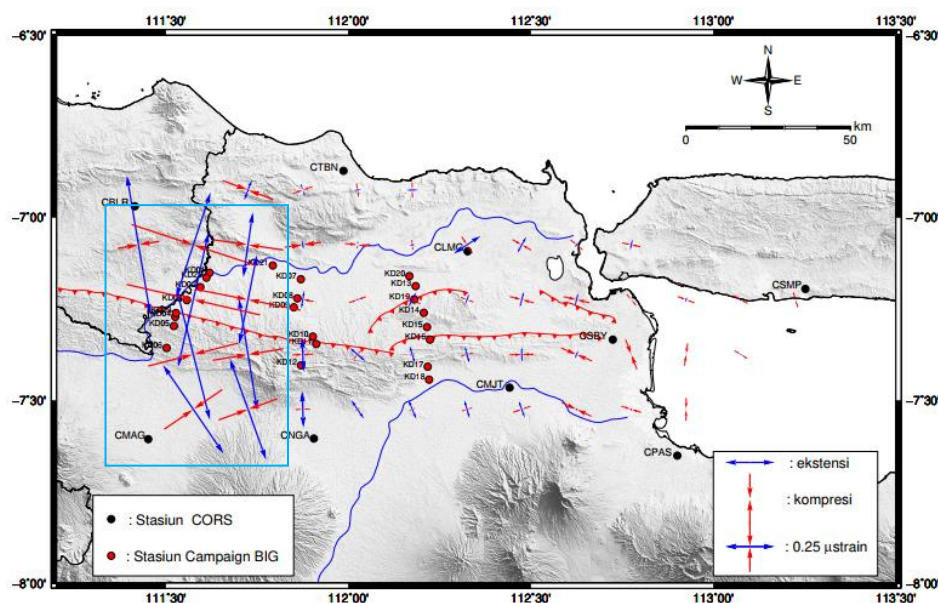
kecepatan pergerakan blok sunda dilakukan perhitungan pergerakan lokal dari masing-masing titik/stasiun pengamatan. Pergerakan lokal adalah pergerakan titik/stasiun pengamatan yang sudah direduksi dengan pergerakan blok sunda. Dapat dilihat pada tabel terjadi setelah dilakukan reduksi dengan kecepatan blok sunda, terjadi penurunan nilai kecepatan pada masing-masing titik/stasiun pengamatan. Hal ini menyatakan bahwa pergerakan blok sunda memiliki pengaruh besar terhadap pergeseran titik *campaign* dan stasiun *CORS* di Jawa Timur.

Setelah didapatkan komponen horizontal pergerakan lokal dari masing-masing titik maka dilakukan perhitungan kecepatan horizontal beserta azimuthnya. Perhitungan dilakukan menggunakan *microsoft excel*. Pada Tabel 5 ditampilkan kecepatan horizontal beserta azimuthnya. Berdasarkan Tabel 5, kecepatan pergerakan lokal keseluruhan titik berkisar antara 0,08 mm hingga 22 mm pertahunnya. Dalam hal ini titik CTBN mengalami pergerakan terkecil yakni 0,08 mm/tahun dan titik KD 17 menjadi titik dengan pergerakan terbesar yakni 21,13 mm/tahun. pada kotak berwarna biru terlihat arah pergerakan yang saling berlawanan yang mengindikasikan terdapatnya potensi sesar geser (*Strike-slip fault*). Hal tersebut dapat dibuktikan dengan adanya aktivitas gempa 4,2 Mw yang terjadi secara tidak terduga di wilayah Madiun pada 25 Juni 2015. Mekanisme gempa yang terjadi merupakan *strike-slip* dengan nilai *strike* 163° , *dip* 88° dan nilai *rake* 175° (Nugraha dkk. 2016).

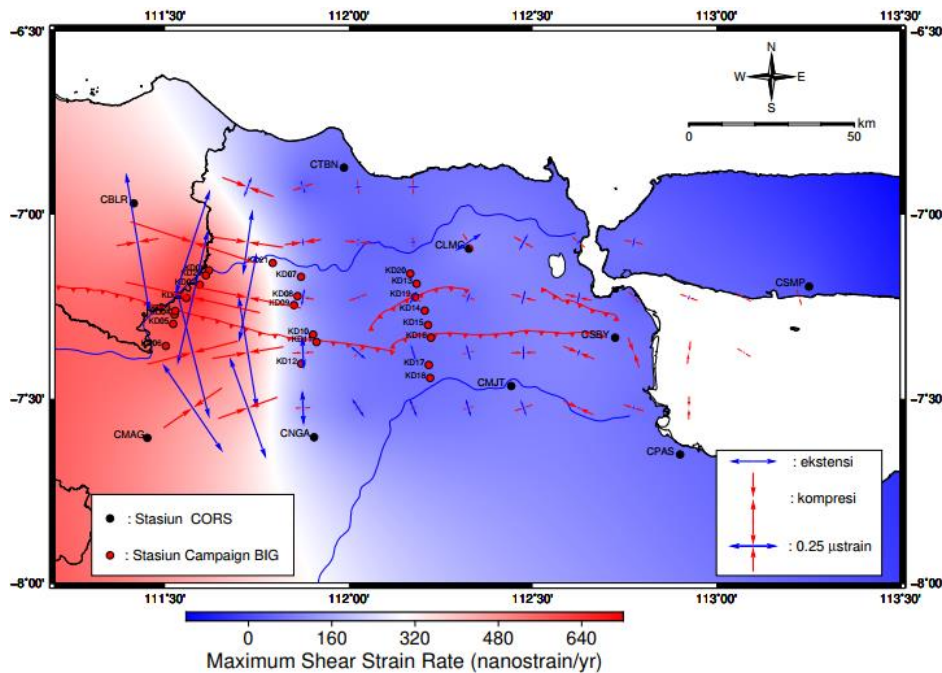
3. Hasil Perhitungan Regangan

Software yang digunakan untuk melakukan interpolasi regangan pada penelitian ini adalah STRAINTOOL (<https://github.com/DSOlab/StrainTool>). Pada prinsipnya software ini menggunakan algoritma *VISR* (*Velocity Interpolation for Strain Rate*; Shen dkk, 2015).

Pada program ini penentuan regangan hanya pada deformasi horizontal saja. Algoritma pada program ini akan mengestimasi parameter tensor regangan disetiap *cell grid* dengan menggunakan pendekatan kuadrat terkecil (berbobot). Output dari hasil algoritma tersebut adalah 6 parameter tegangan berikut [U_x , U_y , ω , τ_x , τ_{xy} , τ_y], *principal strain* ϵ_1 dan ϵ_2 , *maximum shear strain rates* beserta orientasi horizontalnya. Berikut pada gambar 4a menunjukkan hasil plot *principal strain* ϵ_1 dan ϵ_2 menggunakan software GMT. Panah berwarna biru dan mengarah keluar menunjukkan ekstensi sedangkan panah merah dan mengarah kedalam menunjukkan kompresi. Satuan yang digunakan adalah μstrain .



(a)



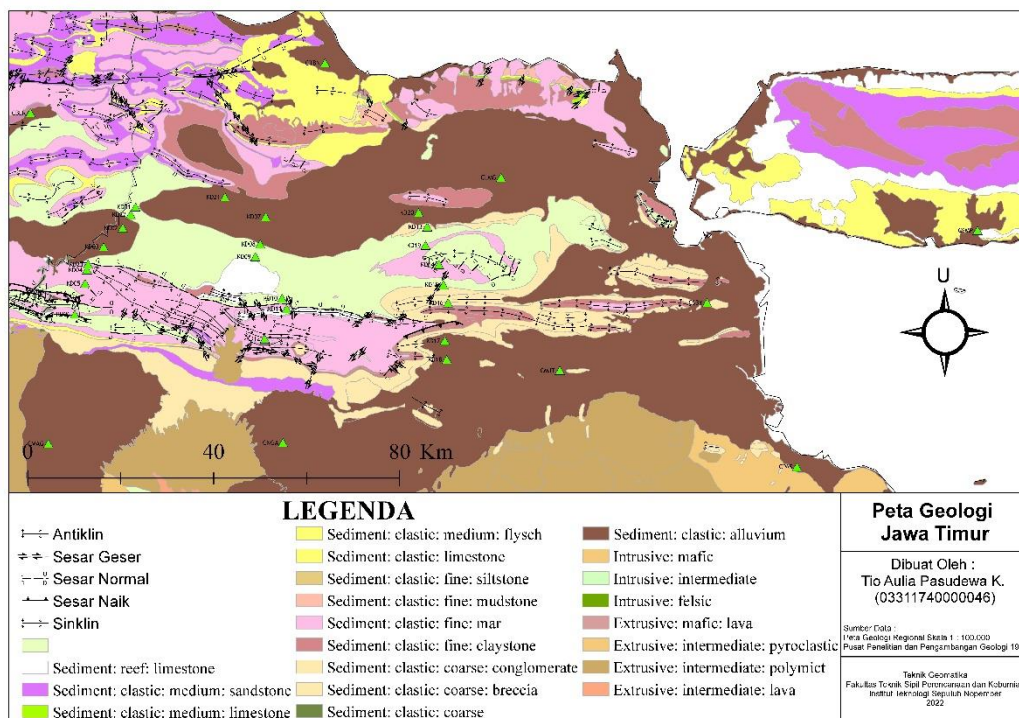
(b)
Gambar 4 Plot *Principal Strain* (a) dan Visualisasi *Maximum Shear Strain Rates* (b)

Nilai regangan yang terjadi cukup bervariasi dengan nilai kurang dari $1 \mu\text{strain}$. Rentang nilai kompresi yakni $-0,675 \mu\text{strain}$ hingga $-0,021 \mu\text{strain}$. Sedangkan untuk rentang nilai ekstensi berada diantara $-0,058 \mu\text{strain}$ hingga $0,703 \mu\text{strain}$. Hasil yang didapatkan pada kotak biru mengindikasikan tinggi aktivitas tektonik yang terjadi hal tersebut didukung dengan seringnya gempa terjadi pada 2016-2020 yang terjadi pada wilayah tersebut. Dengan ditambahkan data titik *campaign* menghasilkan pola dimana segmen barat memiliki nilai regangan lebih besar daripada segmen timur.

Selain dilakukannya plotting *principal strain* ϵ_1 dan ϵ_2 , dilakukan juga plotting *maximum shear strain rate*. Nilai *maximum shear strain rate* berhubungan dengan sesar berjenis sesar geser (*strike-slip*) (Sagiya dkk., 2000). Berdasarkan hasil visualisasi pada gambar 4b, wilayah Jawa Timur tidak menunjukkan adanya potensi sesar geser dengan nilai kurang dari $1 \mu\text{strain}$. Nilai *maximum shear strain rate* berkisar antara $0,021 \mu\text{strain}$ s.d. $0,683 \mu\text{strain}$.

4. Analisa Dengan Kondisi Geologi

Berdasarkan peta geologi Jawa Timur letak dari stasiun CORS milik BIG dominan berada pada jenis tanah *alluvium* yang rawan akan terjadinya deformasi. Sedangkan pada titik *campaign* tersebar pada beberapa jenis tanah dimana didominasi oleh Formasi Lidah yang terdiri dari batuan lempung dan batuan gamping. Selain deformasi yang disebabkan oleh jenis tanah keberadaan sesar lokal dengan mekanisme sesar geser disekitar titik *campaign* dapat mempengaruhi pergerakan horizontal dari titik tersebut. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan pergerakan dari KD 10 dan KD 11 yang berlawanan arah setelah direduksi dengan Blok Sunda. Apabila ditinjau dari nilai dari *maximum shear strain rate* yang didapatkan terindikasi adanya potensi sesar geser pada segmen barat Sesar Kendeng dengan pola peningkatan nilai kompresi pada wilayah tersebut.



Gambar 5 Peta Geologi Jawa Timur

Kesimpulan

Pada penelitian ini, dilakukan kombinasi data pengamatan GPS kontinu dan *campaign* pada tahun 2016 hingga 2020 untuk mendapatkan laju deformasi pada wilayah yang dilewati oleh Sesar Kendeng. Hasil dari pengolahan menggunakan *software* ilmiah GAMIT/GLOBK dihasilkan rentang kecepatan pergeseran horizontal berada diantara 18 mm/tahun hingga 41 mm/tahun selama 2016 hingga 2020. Sedangkan kecepatan pergeseran vertikal -343,4 mm/tahun hingga 30,35 mm/tahun dalam rentang 2016 hingga 2020. Reduksi pergerakan dengan Blok Sunda dilakukan untuk mendapatkan pergerakan lokal stasiun/titik pengamatan yang sudah terbebas dari pengaruh Blok Sunda. Didapatkan kecepatan pergerakan lokal stasiun/titik pengamatan diantara 0,08 mm/tahun hingga 21,13 mm/tahun dalam waktu 2016 hingga 2020. Dengan menggunakan analisis pola regangan serta peta geologi wilayah penelitian ditemukan adanya potensi mekanisme sesar geser pada segmen barat Sesar Kendeng.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Badan Informasi Geospasial dalam penyediaan data dan informasinya, serta kepada semua pihak yang ikut dalam penulisan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Geodesi dan Geodinamika, Departemen Teknik Geomatika ITS atas fasilitas yang diberikan selama pengerjaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

Barunawati, E. V. (2019). *Analisis Hubungan Deformasi Di Jawa Timur Bagian Selatan Dengan Aktivitas Zona Subduksi Java Trench Menggunakan Data GPS CORS Tahun 2015-2018*. Skripsi. Program Sarjana Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

- Bock, Y. E. H. U. D. A., Prawirodirdjo, L., Genrich, J. F., Stevens, C. W., McCaffrey, R., Subarya, C., ... & Calais, E. (2003). Crustal motion in Indonesia from global positioning system measurements. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B8).
- Fuadi, F. Z., Kuncoro, H., Wibowo, S. T., & Rizqiansyah, A. (2020). Slip Deficit Rates Estimation at Baribis Fault on 2016-2019 GPS Observations. *FTSP*.
- Goudarzi, M. A., Cocard, M., & Santerre, R. (2014). EPC: Matlab software to estimate Euler pole parameters. *GPS solutions*, 18(1), 153-162.
- Hall, R. (2014). The origin of Sundaland. *Proceedings of Sundaland Resources*.
- Nasional, T. P. S. G. (2017). Peta Sumber Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. *Pusat Penelitian Pengembangan Perumahan, Kementerian PUPR*.
- Nikolaidis, R. (2002). *Observation of geodetic and seismic deformation with the Global Positioning System*. University of California, San Diego.
- Nugraha, A. D., Supendi, P., Shiddiqi, H. A., & Widiyantoro, S. (2016, May). Unexpected earthquake of June 25th, 2015 in Madiun, East Java. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1730, No. 1, p. 020001). AIP Publishing LLC.
- Panuntun, H. 2012. *Penentuan Posisi Anjungan Minyak Lepas Pantai dengan Titik Ikat GPS Regional Dan Global*. Tesis. Program Studi S-2 Teknik Geomatika. Pascasarjana Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Pradipta, D., Kuntjoro, W., & Prijatna, K. (2012). Temporal Variation Analysis from Troposphere Delay using GPS (Study: Bandung, Indonesia). *Indonesian Journal of Geospatial*, 1(5), 54–70.
- Sagiya, T., Miyazaki, S. I., & Tada, T. (2000). Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan. *Pure and applied Geophysics*, 157(11), 2303-2322.
- Shen, Z. K., Wang, M., Zeng, Y., & Wang, F. (2015). Optimal interpolation of spatially discretized geodetic data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(4), 2117-2127.
- Smyth, H. R., Hall, R., & Nichols, G. J. (2008). Cenozoic volcanic arc history of East Java, Indonesia: The stratigraphic record of eruptions on an active continental margin. *Special Papers-Geological Society of America*, 436, 199.
- Statistik, B. P. (2020). *Jawa Timur Dalam Angka 2020*. Jakarta
- Susilo, A., & Adnan, Z. (2013). Probabilistic Seismic Hazard Analysis of East Java Region, Indonesia. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 5(3), 341.



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