

# Analisis Deformasi Berdasarkan Pergeseran Titik Pengamatan GPS di Kota Surabaya

Andika Mauradhia<sup>1</sup>, Ira Mutiara Anjasmara<sup>1</sup>, dan Susilo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

<sup>2</sup>Pusat Pemetaan dan Integrasi Tematik, Badan Informasi Geospasial (BIG), Indonesia

*e-mail*: ira@geodesy.its.ac.id

**Abstrak**—Indonesia adalah negara kepulauan yang dikelilingi oleh Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik. Interaksi antar lempeng tersebut menyebabkan Indonesia rawan akan bencana gempa bumi, gunung api, dan tsunami. Kota Surabaya adalah ibu kota Provinsi Jawa Timur sekaligus kota metropolitan terbesar di provinsi tersebut. Salah satu ancaman bencana di wilayah Surabaya berasal dari sesar Kendeng. Aktivitas dari sesar ini dapat menyebabkan deformasi di Kota Surabaya sehingga menimbulkan terjadinya gempa bumi. Maka dari itu, perlu adanya pengamatan deformasi secara berkala di Kota Surabaya pada titik-titik yang telah ditentukan. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengamatan deformasi adalah metode *Global Navigation Satellite System* (GNSS) menggunakan data *Global Positioning System* (GPS). Dari hasil dan analisis pengolahan data GPS, diperoleh nilai besar dan arah kecepatan pergeseran. Pergeseran horizontal titik-titik pengamatan GPS di Kota Surabaya dominan menuju ke arah tenggara dengan rentang nilai kecepatan pergeseran antara 1,034 cm/tahun hingga 5,674 cm/tahun. Kecepatan pergeseran horizontal terkecil terjadi pada BM16 dan terbesar pada BM23. Pada pergeseran vertikal, titik-titik selain BM23, BM29, dan BM24 mengalami *subsidence* dengan rentang nilai kecepatan pergeseran antara -0,19 cm/tahun hingga -5,769 cm/tahun. Kecepatan pergeseran vertikal terkecil terjadi pada CSBY dan terbesar pada BM02.

**Kata Kunci**—Deformasi, GPS, Kecepatan.

## I. PENDAHULUAN

INDONESIA adalah negara kepulauan yang dikelilingi oleh empat lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik. Lempeng-lempeng tersebut terus bergerak yang mana suatu saat gerakannya akan mengalami gesekan atau benturan yang cukup keras sehingga menyebabkan terjadinya subduksi. Sisa energi dari proses subduksi antar lempeng tersebut akan mengakibatkan adanya sesar di daratan atau lautan. Pergerakan lempeng, aktivitas zona subduksi, atau pergerakan sesar aktif inilah yang menyebabkan Indonesia rawan akan bencana gempa bumi, gunung api, dan tsunami.

Kota Surabaya adalah Kota berpenduduk terbesar kedua setelah Jakarta. Tentunya aspek mitigasi bencana perlu mendapatkan perhatian serius untuk menghindari korban jiwa dan kerugian yang besar karena wilayah Indonesia yang rawan akan bencana. Salah satu ancaman bencana di wilayah Surabaya berasal dari sesar Kendeng. Aktivitas dari sesar ini dapat menyebabkan deformasi di Kota Surabaya dan

Tabel 1.  
Waktu Pengamatan

Kala	Tanggal	Doy
1	10-13 Maret 2017	069-072
2	11-15 September 2017	254-258
3	11-15 Mei 2018	131-135
4	26-29 Oktober 2018	299-302

menimbulkan terjadinya gempa bumi. Maka dari itu, perlu adanya pengamatan deformasi secara berkala di Kota Surabaya pada titik-titik yang telah ditentukan. Sesar Kendeng terdiri dari kumpulan sesar-sesar naik dan lipatan-lipatan (*blind faults*) yang dapat diamati dari adanya anomali Bouguer di daerah ini [1]. Sesar Kendeng Segmen Surabaya merupakan zona sesar yang memanjang dari Semarang, Jawa Tengah hingga 300 km ke Jawa Timur. Sedangkan Sesar Kendeng Segmen Waru membentang mulai dari bukit di kawasan Karang Pilang sampai ke Sidoarjo, Jombang, dan Nganjuk.

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengamatan deformasi adalah metode *Global Navigation Satellite System* (GNSS) menggunakan data *Global Positioning System* (GPS) yang bersifat kontinu atau periodik. Data tersebut selanjutnya diolah menggunakan *software* GAMIT (*GPS Analysis at MIT*) dan GLOBK (*Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program*). Penelitian ini menghasilkan analisis deformasi berupa besar dan arah kecepatan pergeseran dari titik-titik pengamatan GPS di Kota Surabaya.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

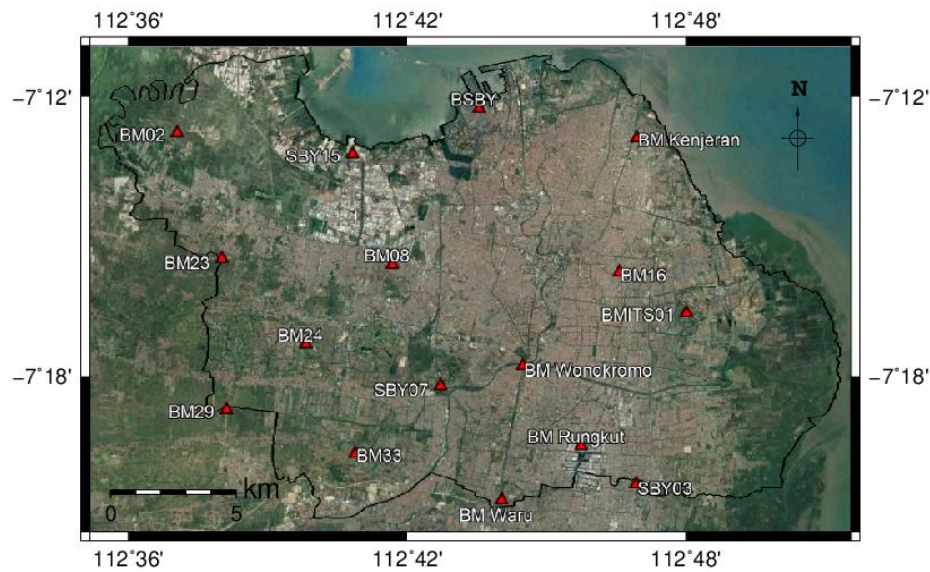
### A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk penelitian ini adalah Kota Surabaya, yang berada pada koordinat 07°11'00"–07°21'00" Lintang Selatan dan 112°36'00"–112°54'00" Bujur Timur. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Surabaya tahun 2018, Kota Surabaya memiliki luas 326,36 km<sup>2</sup> dengan penduduknya berjumlah 2,87 juta jiwa [2]. Batas-batas Kota Surabaya sebagai berikut:

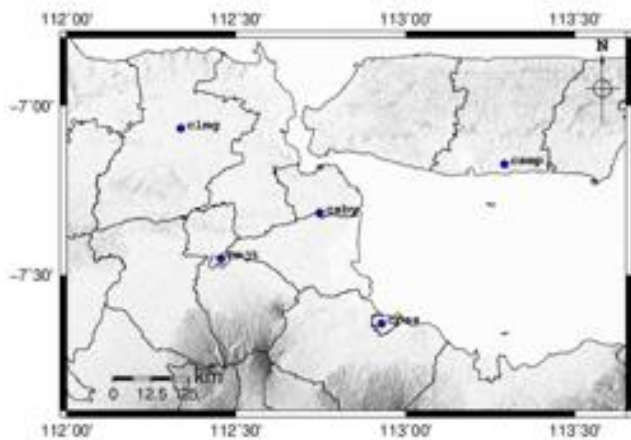
Sebelah Utara : Selat Madura  
 Sebelah Timur : Selat Madura  
 Sebelah Selatan : Kabupaten Gresik  
 Sebelah Barat : Kabupaten Sidoarjo

### B. Data dan Peralatan

Data utama yang dibutuhkan dalam penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan Letak Titik Pengamatan GPS Periodik di Kota Surabaya



Gambar 2. Letak Titik Pengamatan GPS Kontinyu



Gambar 3. Persebaran Titik IGS

- Data RINEX GPS periodik yang diperoleh dari pengamatan sebanyak empat kala yang dapat dilihat pada Tabel 1. Namun titik pengamatan pada setiap kala tidak semua sama. Titik pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah titik yang pernah diukur minimal sebanyak tiga kala yang dapat dilihat pada Gambar 1.
- Data RINEX GPS kontinyu yang diperoleh dari CORS BIG. Lokasi persebaran titik-titik pengamatan GPS kontinyu dapat dilihat pada Gambar 2.
- Titik *International GNSS Service* (IGS) sebagai titik referensi yang dianggap stabil. Titik IGS yang digunakan sebanyak 13 titik yang dibagi menjadi empat kuadran, sehingga dalam satu kuadran memiliki minimal tiga titik IGS. Hal ini dilakukan untuk menghindari kekosongan data di suatu kuadran. Lokasi persebaran titik-titik IGS dapat dilihat dalam Gambar 3.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Translation, Editing, and Quality Checking* (TEQC) untuk mengubah raw data GPS ke format RINEX dan memotong serta menggabungkan data RINEX, GAMIT-GLOBK untuk pengolahan data GPS, MATLAB untuk perhitungan regangan,

dan GMT untuk *plotting* besar dan arah pergeseran serta regangan

### C. Metode Penelitian

Tahapan pengolahan data dari penelitian ini seperti berikut:

1. Persiapan Data  
Data yang digunakan untuk pengolahan adalah data RINEX, sehingga data pengukuran GPS yang didapat harus diubah terlebih dahulu ke format RINEX. Dalam penelitian ini *software* yang digunakan adalah TEQC. Selanjutnya adalah pengecekan data RINEX pengukuran apakah *doy* sudah dalam format satu hari dan interval 30 detik. Jika belum data RINEX dipotong dan diubah intervalnya dengan *software* TEQC.
2. Pengolahan Data dengan GAMIT  
Dalam pengolahan data dengan GAMIT diperlukan pembuatan direktori kerja. Direktori tersebut berisi folder-folder yang menyusun struktur kerja dari pengolahan GAMIT, adapun folder tersebut adalah RINEX, IGS, brdc, tables dan folder tambahan yang dapat diikuti dalam pengolahan yaitu folder ionex dan met [3].

Setelah direktori kerja selesai dibuat, maka dapat dilakukan *editing* pada *file control* seperti *station.info*, *lfile*, *sestbl*,

Tabel 2.

Komponen Kecepatan Pergeseran Titik Pengamatan dan Standar Deviasinya (cm/tahun)

Titik Pengamatan	$V_e$	$\sigma_e$	$V_n$	$\sigma_n$	$V_u$	$\sigma_u$
CSMP	2,202	0,136	-1,016	0,112	-0,607	0,492
CPAS	2,509	0,139	-0,728	0,108	-0,249	0,485
BITS	1,571	0,417	-0,382	0,311	-1,709	4,403
KENJ	2,738	3,102	-1,926	2,916	-2,513	6,578
SB03	4,179	0,353	-0,083	0,288	-0,92	1,473
BM16	0,827	1,644	-0,62	1,168	-3,448	5,049
RGKT	1,635	0,378	-0,68	0,315	-3,418	1,653
WONO	3,61	0,533	-0,984	0,477	-3,402	2,438
WARU	2,323	1,786	-0,936	0,909	-3,002	6,376
CSBY	2,436	0,153	-1,349	0,121	-0,19	0,558
BSBY	4,177	3,759	-1,751	1,347	-3,578	7,89
SB07	3,282	0,387	0,441	0,291	-0,345	2,943
BM08	3,079	0,474	-2,384	0,438	-2,187	2,494
SB15	2,108	0,548	-1,221	0,431	-4,727	2,25
BM33	3,204	0,379	2,502	0,298	-3,076	1,495
BM24	2,762	6,803	-2,678	5,260	3,33	2,028
BM29	4,363	7,009	-2,653	6,377	2,844	2,314
BM23	4,979	4,120	-2,72	3,095	0,234	1,807
BM02	1,806	0,649	-0,655	0,548	-5,769	2,792
CMJT	2,646	0,144	-0,685	0,112	-0,615	0,515
CLMG	2,388	0,154	-0,869	0,120	-0,763	0,565

Tabel 3.

Kecepatan Pergeseran Horizontal Titik Pengamatan (cm/tahun)

Titik Pengamatan	V Horizontal	$\sigma V$ Horizontal
CSMP	2,42509	0,17618
CPAS	2,61248	0,17603
BITS	1,61678	0,52020
KENJ	3,34755	4,25740
SB03	4,17982	0,45558
BM16	1,03360	2,01667
RGKT	1,77077	0,49205
WONO	3,74170	0,71527
WARU	2,50448	2,00402
CSBY	2,78458	0,19506
BSBY	4,52916	3,99306
SB07	3,31150	0,75273
BM08	3,89406	0,64538
SB15	2,43608	0,69718
BM33	4,06517	0,48213
BM24	3,84712	8,59933
BM29	5,10629	9,47588
BM23	5,67352	5,15300
BM02	1,92111	0,84941
CMJT	2,73323	0,18243
CLMG	2,54120	0,19523

sites.default, dan process.default. Hasil akhir dari proses pengolahan data pengamatan GPS dengan *software* GAMIT adalah *Q-file* yang memuat informasi hasil pengolahan, *H-file* yang berisi hasil pengolahan berupa matriks varian kovarian sebagai input pada pengolahan lanjutan dengan GLOBK dan *autcln.summary-file* yang berisi data statistik hasil editing dengan *autcln*. Sebelum masuk ke pengolahan GLOBK perlu dilakukan *checking* ketelitian hasil GAMIT yaitu nilai *ambiguity narrow line*  $\geq 70\%$ , tidak ada *prefit* dan *postfit*, tidak ada *file excluded*, tidak ada *fatal*, tidak ada *xfiles*, dan nilai *postfitnrms*  $\leq 0,25$ .

### 3. Pengolahan Data dengan GLOBK

Pengolahan GLOBK membutuhkan persiapan beberapa folder tambahan yaitu folder */hgmit* dan */hfiles*. Setelah pengaturan *file-file* yang dibutuhkan telah dilakukan, maka dapat dilakukan perhitungan dan *plotting* koordinat *time series* yakni menggunakan perintah *sh\_glred* lalu *glred 6* dan atau *sh\_combine* yang dilakukan di dalam folder kerja. Beberapa hasil dari pengolahan GLOBK adalah:

- *Time series* titik-titik pengamatan
- Koordinat toposentrik dan kartesian 3D beserta simpangan baku untuk setiap stasiunnya
- Panjang baseline beserta ketelitiannya
- Besar dan arah pergeseran titik pengamatan

### 4. Uji Hipotesis

Uji hipotesis dilakukan terhadap nilai pergeseran dari setiap titik pengamatan untuk mengetahui apakah titik pengamatan GPS periodik memiliki pergeseran yang signifikan dengan CSBY yang dianggap stabil dan mewakili deformasi yang terjadi di Surabaya. Uji hipotesis yang digunakan adalah uji hipotesis *t-student* dengan menguji variabel pergeseran titik dari sesi pengamatan x ke sesi pengamatan y dan standar deviasinya.

Analisis deformasi yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan hasil pergeseran titik-titik pengamatan GPS di Kota Surabaya dan keberadaan Sesar Kendeng Segmen Surabaya dan Waru.

### A. Analisis Kecepatan Pergeseran

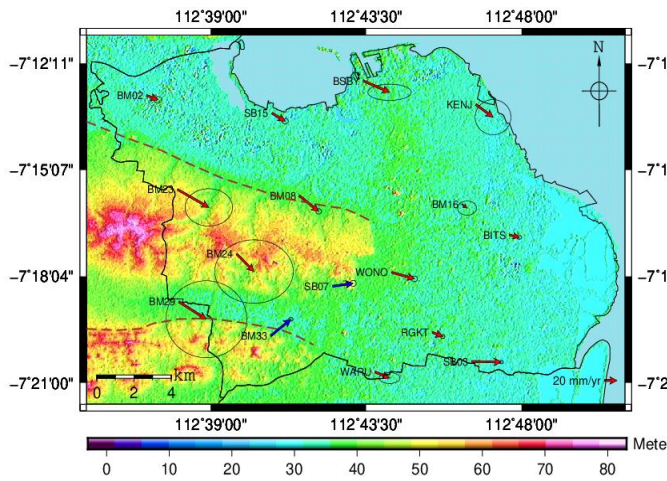
#### 1. Kecepatan Pergeseran Horizontal

Hasil kecepatan pergeseran titik pengamatan diperoleh dari proses pengolahan GAMIT-GLOBK. Kecepatan pergeseran horizontal diperoleh dengan menghitung resultan kecepatan komponen *easting* ( $V_e$ ) dan *northing* ( $V_n$ ). Besar kecepatan pergeseran arah *easting* dan *northing* dari kala 1 hingga kala 4 dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2. dapat diketahui bahwa arah pergeseran semua titik pengamatan, kecuali BM33 dan SB07, mengarah ke tenggara. Hal ini dapat dilihat dari besar komponen *easting* yang bernilai positif dan *northing* yang bernilai negatif. Pada BM 33 besar komponen *easting* dan *northing* bernilai positif sehingga pergeseran ke arah timur laut.

Langkah selanjutnya adalah mencari besar kecepatan pergeseran horizontal dengan menghitung resultan antara komponen *easting* dan *northing*. Hasil yang didapatkan adalah besar kecepatan pergeseran horizontal setiap titik pengamatan dari kala 1 hingga kala 4 yang dapat dilihat pada Tabel 3. Apabila nilai kecepatan horizontal telah diperoleh maka dapat dilakukan *plotting* besar dan arah kecepatan horizontal dengan menggunakan *software* GMT seperti Gambar 4 dan Gambar 5.

Dari Tabel 3 kecepatan pergeseran horizontal titik pengamatan di Kota Surabaya dan sekitarnya berbeda-beda, berkisar antara 1,034 cm/tahun hingga 5,674 cm/tahun. Kecepatan pergeseran horizontal terkecil berada di titik pengamatan BM16 yang berlokasi di Surabaya Timur. Sedangkan kecepatan pergeseran horizontal terbesar dengan



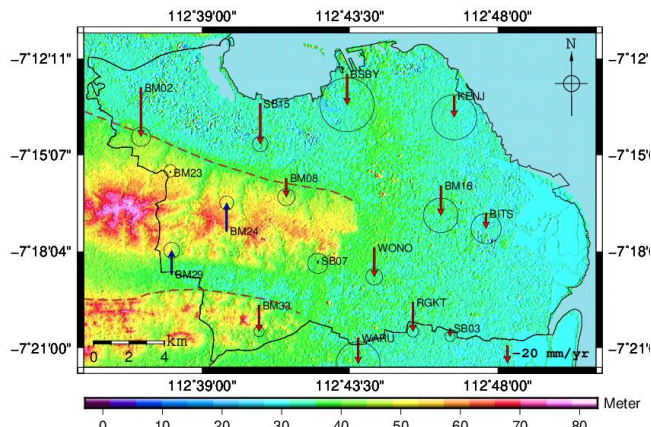
Gambar 4. *Plotting* Kecepatan Pergeseran Horizontal Titik Pengamatan GPS Periodik

nilai 5,674 cm/tahun berada di titik pengamatan BM23 yang berlokasi di Surabaya Barat.

Pada Gambar 4 dan Gambar 5 yang merupakan *plotting* dengan GMT, skala yang digunakan pada panah pergeseran adalah 20 mm/tahun. Arah pergeseran horizontal titik pengamatan di Kota Surabaya dan sekitarnya dominan mengarah ke tenggara. Hal ini sesuai dengan nilai *easting* dan *northing* pada Tabel 2.

2. Kecepatan Pergeseran Vertikal

Kecepatan pergeseran vertikal ( $V_u$ ) dihasilkan bersamaan dengan komponen kecepatan pergeseran horizontal melalui proses pengolahan GAMIT-GLOBK. Kecepatan pergeseran vertikal titik pengamatan di Surabaya dapat dilihat pada Tabel 2. Kecepatan pergeseran vertikal di titik-titik pengamatan di Kota Surabaya dan sekitarnya juga memiliki nilai yang berbeda-beda, berkisar antara -5,769 cm/tahun hingga 3,33 cm/tahun. Nilai positif menunjukkan bahwa pergeseran mengarah ke atas sedangkan nilai negatif mengarah ke bawah.



Gambar 6. *Plotting* Kecepatan Pergeseran Vertikal Titik Pengamatan GPS Periodik

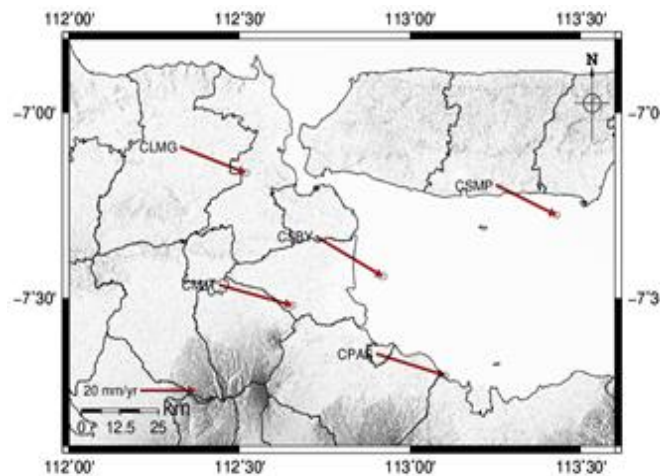
Nilai pergeseran vertikal terbesar berada pada titik pengamatan BM02 yang berlokasi di Surabaya Barat dengan arah ke bawah. Pada Gambar 6 dan 7 yang merupakan *plotting* dengan GMT, skala yang digunakan pada panah pergeseran

adalah 20 mm/tahun dan 4 mm/tahun. Arah pergeseran vertikal titik pengamatan di Kota Surabaya dan sekitarnya dominan mengalami *subsidence*. Hanya BM23, BM24, dan BM29 yang mana ketiganya berlokasi di Surabaya Barat yang memiliki nilai pergeseran positif atau mengalami *uplift*

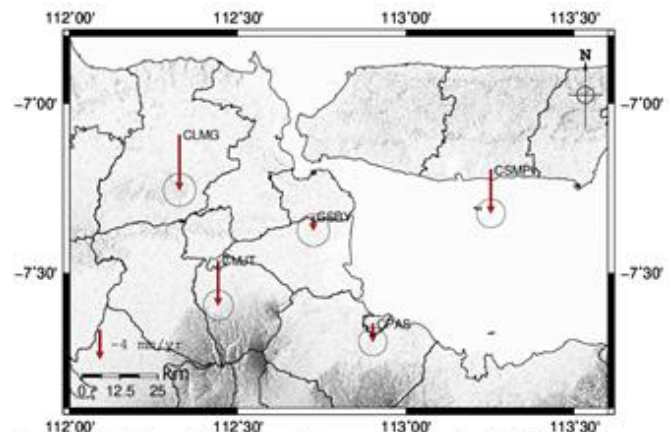
B. Uji Hipotesis

Uji Hipotesis dilakukan terhadap nilai pergeseran dari setiap titik pengamatan untuk mengetahui apakah titik pengamatan GPS periodik memiliki pergeseran yang signifikan dengan CSBY yang dianggap stabil dan mewakili deformasi yang terjadi di Surabaya. Uji hipotesis yang digunakan adalah uji hipotesis *t-student* dengan menguji variabel pergeseran titik dari sesi pengamatan x ke sesi pengamatan y dan standar deviasinya.

Hipotesis nol yang digunakan dalam uji hipotesis ini adalah CSBY telah mewakili deformasi yang terjadi di Kota Surabaya. Sedangkan hipotesis tandingan yang digunakan adalah CSBY belum mewakili deformasi yang terjadi di Kota Surabaya.



Gambar 5. *Plotting* Kecepatan Pergeseran Horizontal Titik Pengamatan GPS Kontinyu



Gambar 7. *Plotting* Kecepatan Pergeseran Vertikal Titik Pengamatan GPS Kontinyu

Kedua hipotesis tersebut ditentukan melalui :  
 Hipotesis nol :  $H_0 : T \leq C$   
 Hipotesis tandingan :  $H_1 : T > C$

Tabel 4.  
Hasil Uji Hipotesis *T-Student* Pergeseran Horizontal

Titik Pengamatan	n	df	t <sub>table</sub>	S	V Periodik	C	T	H <sub>0</sub>
BITS	4	3	2,35	0,00520	0,01617	0,00611	-4,48982	Diterima
KENJ	4	3	2,35	0,04257	0,03348	0,05002	0,26447	Ditolak
SB03	4	3	2,35	0,00456	0,04180	0,00535	6,12513	Ditolak
BM16	4	3	2,35	0,02017	0,01034	0,02370	-1,73651	Diterima
Titik Pengamatan	n	df	t <sub>table</sub>	S	V Periodik	C	T	H <sub>0</sub>
RGKT	4	3	2,35	0,00492	0,01771	0,00578	-4,12081	Diterima
WONO	4	3	2,35	0,00715	0,03742	0,00840	2,67624	Ditolak
WARU	4	3	2,35	0,02004	0,02504	0,02355	-0,27954	Diterima
BSBY	4	3	2,35	0,03993	0,04529	0,04692	0,87381	Ditolak
SB07	4	3	2,35	0,00484	0,03311	0,00569	2,17643	Ditolak
BM08	4	3	2,35	0,00645	0,03894	0,00758	3,43819	Ditolak
SB15	4	3	2,35	0,00697	0,02436	0,00819	-0,99973	Diterima
BM33	4	3	2,35	0,00482	0,04065	0,00566	5,31227	Ditolak
BM24	4	3	2,35	0,08599	0,03847	0,10104	0,24712	Ditolak
BM29	4	3	2,35	0,09476	0,05106	0,11134	0,49002	Ditolak
BM23	4	3	2,35	0,05153	0,05674	0,06055	1,12126	Ditolak
BM02	3	2	2,92	0,00849	0,01921	0,01432	-1,76072	Diterima

Tabel 5.  
Hasil Uji Hipotesis *T-Student* Pergeseran Horizontal

Titik Pengamatan	n	df	t <sub>table</sub>	S	V Periodik	C	T	H <sub>0</sub>
BITS	4	3	2,35	0,04403	0,01709	0,05174	0,68998	Ditolak
KENJ	4	3	2,35	0,06578	0,02513	0,07729	0,70629	Ditolak
SB03	4	3	2,35	0,01473	0,00920	0,01731	0,99117	Ditolak
BM16	4	3	2,35	0,05049	0,03448	0,05933	1,29055	Ditolak
RGKT	4	3	2,35	0,01653	0,03418	0,01942	3,90563	Ditolak
WONO	4	3	2,35	0,02438	0,03402	0,02865	2,63495	Ditolak
WARU	4	3	2,35	0,06376	0,03002	0,07492	0,88206	Ditolak
BSBY	4	3	2,35	0,07890	0,03578	0,09271	0,85881	Ditolak
SB07	4	3	2,35	0,02943	0,00345	0,03458	0,10533	Ditolak
BM08	4	3	2,35	0,02494	0,02187	0,02930	1,60144	Ditolak
SB15	4	3	2,35	0,02250	0,04727	0,02644	4,03289	Ditolak
BM33	4	3	2,35	0,01495	0,03076	0,01757	3,86087	Ditolak
BM24	4	3	2,35	0,02028	0,03330	0,02383	3,09665	Ditolak
BM29	4	3	2,35	0,02314	0,02844	0,02719	2,29386	Ditolak
BM23	4	3	2,35	0,01807	0,00234	0,02123	0,04870	Ditolak
BM02	3	2	2,92	0,02792	0,05769	0,04707	3,46100	Ditolak

C adalah *critical value* sedangkan T adalah statistik uji. Nilai C dan T diperoleh melalui persamaan [4]:

$$C = t_{\alpha,v} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \tag{1}$$

$$T = \frac{V_{\text{periodik}} - V_{\text{CSBY}}}{S/\sqrt{n}} \tag{2}$$

Keterangan:

- $t_{\alpha,v}$  = t<sub>table</sub>
- S = Standar deviasi GPS periodik
- n = Jumlah pengamatan
- $V_{\text{periodik}}$  = Kecepatan GPS periodik

C. Sesar Kendeng

Seperi yang telah dijelaskan sebelumnya, Kota Surabaya dilalui oleh Sesar Kendeng dengan dua segmen aktif, yaitu

$$V_{\text{CSBY}} = \text{Kecepatan CSBY}$$

Hasil uji hipotesis *t-student* titik pengamatan GPS Periodik dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Tabel 4 dan dan Tabel 5. Tingkat kepercayaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 95%. Berdasarkan hasil kecepatan uji hipotesis *t-student* pergeseran horizontal pada Tabel 4, 10 dari 16 titik menunjukkan bahwa H<sub>0</sub> ditolak. Sedangkan pada pergeseran vertikal yang ditunjukkan Tabel 5, semua titik menunjukkan bahwa H<sub>0</sub> ditolak. Dari hasil uji hipotesis ini menunjukkan bahwa CSBY saja belum dapat mewakili deformasi yang terjadi di Kota Surabaya.

Segmen Surabaya dan Waru. Menurut ahli geologi dan geofisika, Sesar Kendeng Segmen Surabaya diperkirakan terletak di antara BM02 hingga SB15 dan BM23 hingga BM08 sedangkan Segmen Waru terletak di antara BM29 hingga SB07

dan BM33. Ilustrasi posisi Sesar Kendeng Segmen Surabaya dan Waru dapat dilihat pada Gambar 4 atau 6.

Berdasarkan hasil kecepatan pergeseran horizontal, arah pergeseran titik-titik pengamatan GPS menuju ke tenggara, hanya BM33 dan SB07 yang mengarah ke timur laut. Sedangkan berdasarkan hasil kecepatan pergeseran vertikal, titik-titik pengamatan GPS selain BM23, BM29, dan BM24 mengalami *subsidence* atau penurunan tanah. Fenomena arah pergeseran yang berbeda semakin membuktikan bahwa terdapat suatu komponen yang menyebabkan arah pergeseran berbeda antar wilayah tersebut. Apabila dikorelasikan dengan keilmuan geodesi, geologi, dan geofisika hal ini disebabkan karena adanya pergerakan dari dalam bumi sehingga mempengaruhi posisi wilayah yang berada di permukaannya. Berdasarkan Gambar 4 atau 6 pergerakan tersebut dapat diasumsikan berasal dari Sesar Kendeng Segmen Surabaya dan Waru karena berada dalam lokasi titik-titik pengamatan GPS yang memiliki perbedaan arah pergeseran. Selanjutnya dilihat dari lokasi BM23, BM29, dan BM24 yang berada di antara dua segmen Sesar Kendeng, yaitu Segmen Surabaya dan Segmen Waru serta arah pergeseran daerah yang mengalami kenaikan tanah atau *uplift* mengindikasikan bahwa Sesar Kendeng Segmen Surabaya dan Waru tergolong ke dalam sesar naik. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Smyth, Hall, dan Nichols (2008) yang menyatakan bahwa Sesar Kendeng terdiri dari kumpulan sesar-sesar naik dan lipatan-lipatan (*blind faults*) yang dapat diamati dari adanya anomali Bouguer di daerah ini [5] serta Marliyani (2016) yang menyatakan bahwa bukti pergerakan sesar ini dapat diamati dengan adanya teras-teras sungai yang terangkat seiring dengan pergerakan sesar-sesar di daerah ini [6].

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan sebagai berikut:

1. Pergeseran horizontal titik-titik pengamatan GPS dominan menuju ke arah tenggara dengan rentang nilai kecepatan pergeseran antara 1,034 cm/tahun hingga 5,674 cm/tahun. Sedangkan pergeseran vertikal titik-titik pengamatan GPS selain BM23, BM29, dan BM24 mengalami *subsidence* dengan rentang nilai kecepatan pergeseran antara 0,19 cm/tahun hingga 5,769 cm/tahun.

2. Kota Surabaya memiliki dua segmen Sesar Kendeng, yaitu segmen Surabaya dan Waru yang terbukti aktif dan bergerak naik ditinjau dari pergeseran titik-titik pengamatan GPS di Kota Surabaya

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) atas bantuan data CORS dan CDDIS serta SOPAC atas penyediaan data titik IGS, MIT dan Wessel *et al* selaku pengembang *software* GAMIT dan GMT yang digunakan dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tim Pusat Studi Gempa Nasional, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat., 2017.
- [2] Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, *Statistik Daerah Kota Surabaya 2018*. Surabaya: Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2018.
- [3] T. A. Herring, R. W. King, and S. C. McClusky, "GAMIT reference manual, release 10.4," *Massachusetts Inst. Technol. Cambridge*, 2010.
- [4] P. R. Ghilani, C. D. & Wolf, *Adjustment Computation : Spatial Data Analysis*. New Jersey: John Wiley And Sons, 2006.
- [5] H. R. Smyth, R. Hall, and G. J. Nichols, "Cenozoic volcanic arc history of East Java, Indonesia: the stratigraphic record of eruptions on an active continental margin," *Spec. Pap. Soc. Am.*, vol. 436, p. 199, 2008.
- [6] G. I. Marliyani, *Neotectonics of Java, Indonesia: Crustal deformation in the overriding plate of an orthogonal subduction system*. Arizona State University, 2016.