



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RM184831

MONITORING AKTIVITAS SESAR KENDENG BERDASARKAN PENGAMATAN GPS TAHUN 2017-2020 (STUDI KASUS: KOTA SURABAYA)

CINDY NANDYA RIASTAMA
NRP 03311640000017

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Akbar Kurniawan, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RM184831

**MONITORING AKTIVITAS SESAR KENDENG
BERDASARKAN PENGAMATAN GPS TAHUN
2017-2020 (STUDI KASUS: KOTA SURABAYA)**

CINDY NANDYA RIASTAMA
NRP 0331164000017

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Akbar Kurniawan, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS - RM184831

**MONITORING KENDENG FAULT'S ACTIVITY BY
UTILIZING GPS CAMPAIGNS DATA FROM 2017
TO 2020 (Case of Study : Surabaya City)**

CINDY NANDYA RIASTAMA
NRP 03311640000017

Supervisor

Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Akbar Kurniawan, S.T., M.T

DEPARTEMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

**MONITORING AKTIVITAS SESAR KENDENG
BERDASARKAN PENGAMATAN GPS TAHUN 2017-2020
(Studi Kasus: Kota Surabaya)**

Nama Mahasiswa : Cindy Nandya Riastama
NRP : 0331164000017
Departemen : Teknik Geomatika FTSPK-ITS
**Pembimbing : Ira Mutiara Anjasmara,S.T.,M.Phil.,Ph.D.
Akbar Kurniawan,S.T.,M.T**

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 $-0,5 \mu\text{strain}$. Dengan demikian, Sesar Kendeng termasuk dalam sesar aktif dengan pergerakan sesar naik.

Kata Kunci : Pergeseran, Regangan, Sesar Kendeng, Surabaya

**MONITORING KENDENG FAULT'S ACTIVITY BY
UTILIZING GPS CAMPAIGNS DATA FROM 2017 TO 2020
(Case of Study : Surabaya City)**

Name : Cindy Nandya Riastama
NRP : 0331164000017
Departement : Teknik Geomatika FTSPK-ITS
Supervisor : Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Akbar Kurniawan, S.T., M.T

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 $-0.5 \mu\text{strain}$, which is reached $-14.92 \mu\text{strain}$. From the results, Kendeng Fault is included in the active fault with an upward movement of the fault.

Keywords : *Displacement, Kendeng Faults, Strain, Surabaya.*

LEMBAR PENGESAHAN

MONITORING AKTIVITAS SESAR KENDENG BERDASARKAN PENGAMATAN GPS TAHUN 2017-2020 (Studi Kasus : Kota Surabaya)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

CINDY NANDYA RIASTAMA
0331164000017

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D
NIP. 19781231 200212 2 002

Akbar Kurniawan, S.T., M.T
NIP. 19860518 201212 1 002



SURABAYA, 2020

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“MONITORING AKTIVITAS SESAR KENDENG BERDASARKAN PENGAMATAN GPS TAHUN 2017-2020 (Studi Kasus : Kota Surabaya)** dengan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan, saran, masukan dan dukungan kepada penulis sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memeberikan rahmat, nikmat dan karunia-Nya.
2. Kedua orang tua dan kedua adik penulis yang telah memberikan doa, dukungan, motivasi, bantuan dan kasih sayang kepada penulis untuk kelancaran mengerjakan penelitian tugas akhir ini.
3. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika ITS.
4. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, saran dan masukan dalam pengolahan dan analisis untuk penelitian tugas akhir ini.
5. Bapak Akbar Kurniawan, S.T., M.T selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, saran dan masukan baik dalam proses pengolahan maupun proses analisis penelitian tugas akhir ini.
6. Seluruh bapak ibu dosen pengajar dan karyawan Departemen Teknik Geomatika ITS yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan.
7. Mas Saiyidinal Fikri (mahasiswa pascasarjana bimbingan Ibu Ira M. A) dan Mbak Emma Vio (alumni Teknik Geomatika) yang telah banyak membantu dalam proses pengolahan GAMIT dan sebagai *partner* diskusi selama proses penelitian tugas akhir ini.

8. Teman-teman Lab. Geodinamika Lingkungan angkatan 2016 (Arifatul Muamalah, Toifatul Ulma, dan Bella Esti) sebagai teman diskusi mengenai topik penelitian dan permasalahan selama proses penelitian.
9. Teman-teman G18, mahasiswa Teknik Geomatika angkatan 2016 yang telah banyak membantu penulis selama proses penelitian.
10. Semua pihak yan telah membantu penulis, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga Tuhan memberikan karunia atas budi baik dari semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam tugas akhir ini, oleh karena itu segala kritik dan saran dapat disampaikan kepada penulis untuk penyempurnaan dikemudian hari. Penulis berharap hasil penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat untuk semua pihak.

Surabaya, 20 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Teori Tektonik Lempeng	7
2.2 Sesar	9
2.3 Sesar Kendeng	10
2.4 Fisiografi Jawa Timur dan Aktivitas Tektonik yang Ada	11
2.5 Geologi Kota Surabaya	14
2.6 Deformasi	15
2.5.1 Analisis Pergeseran	17
2.5.2 Analisis Regangan	18

2.7	GPS (Global Positioning System)	19
2.7.1	Penentuan Posisi dengan GPS	20
2.7.2	Pengolahan Baseline.....	22
2.7.3	Perataan Jaring pada GAMIT	23
2.7.4	Kesalahan dan Bias GPS	25
2.8	<i>International Terrestrial Reference Frame (ITRF)</i>	26
2.9	GAMIT/GLOBK	26
2.10	GMT (<i>Generic Mapping Tools</i>)	28
2.11	Penelitian Terdahulu.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1.	Lokasi Penelitian	31
3.2.	Data dan Peralatan.....	32
3.2.1.	Data.....	32
3.2.2.	Peralatan	37
3.3.	Tahapan Pelaksanaan.....	37
3.3.1.	Pengumpulan Data.....	41
3.3.2.	Kontrol Kualitas Data dengan TEQC	42
3.3.3.	Persiapan Pengolahan Data pada GAMIT	42
3.3.4.	Pengaturan Awal dan <i>Editing File</i> Kontrol ..	44
3.3.5.	Pengolahan Data dengan GAMIT.....	50
3.3.6.	Evaluasi Hasil Pengolahan GAMIT	51
3.3.7.	Persiapan Direktori Kerja untuk Pengolahan GLOBK	52
3.3.8.	Konversi <i>hfiles</i> ASCII menjadi <i>hfiles</i> Biner .	53
3.3.9.	<i>Daily Processing</i> dan <i>Global Processing</i>	54

3.3.10. Perhitungan Kecepatan Pergeseran dan <i>Plotting</i>	55
3.3.11. Perhitungan Regangan.....	56
3.3.12. Analisis Hasil Pengolahan.....	57
3.3.13. Penyusunan Laporan	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
4.1. Hasil dan Analisis Kontrol Kualitas dengan TEQC..	59
4.2. Hasil dan Analisis Pengolahan <i>Baseline</i> dan Perataan dengan GAMIT	70
4.3. Hasil dan Analisis Koordinat Tereferensi	74
4.4. Hasil dan Analisis Kecepatan Pergeseran	78
4.5. Hasil dan Analisis Perhitungan Regangan	84
4.6. Analisis Aktivitas Sesar Kendeng	88
4.7. Analisis dengan Penelitian Sebelumnya.....	95
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	99
5.1 Kesimpulan.....	99
5.2 Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA.....	101
LAMPIRAN	107
BIODATA PENULIS.....	131

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Tatanan Lempeng Tektonik (BMKG 2019)	1
Gambar 1. 2	Sesar Kendeng yang Terletak Memanjang Sepanjang Jawa Timur dan Jawa Tengah Menurut Koulali dkk (2016) (PuSGeN 2017).....	2
Gambar 2. 1	Batas Lempeng (Duarte 2016).....	8
Gambar 2. 2	Estimasi Posisi Sesar Kendeng Segmen Surabaya dan Waru (Anjasmara dkk. 2018)	11
Gambar 2. 3	Stratigrafi Jawa Timur (Smyth dkk. 2008).....	12
Gambar 2. 4	Penentuan Posisi Metode Diferensial	22
Gambar 3. 1	Lokasi Penelitian (Anjasmara dkk 2019)	31
Gambar 3. 2	Persebaran Titik Pengamatan	33
Gambar 3. 3	Persebaran Stasiun IGS yang Digunakan	35
Gambar 3. 4	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	38
Gambar 3. 5	Diagram Alir Pengolahan Menggunakan GAMIT39	
Gambar 3. 6	Diagram Alir Pengolahan dengan GLOBK.....	40
Gambar 3. 7	Diagram Alir Pengolahan dengan GLOBK (Lanjutan).....	41
Gambar 3. 8	Struktur Direktori Data.....	43
Gambar 3. 9	Cuplikan hasil editing lfile	45
Gambar 3. 10	Cuplikan Hasil Editing Station.info.....	47
Gambar 3. 11	Cuplikan Hasil Editing sites.default	47
Gambar 3. 12	Cuplikan File sittbl.	48
Gambar 3. 13	Cuplikan Hasil Editing File sestbl.	49
Gambar 3. 14	Cuplikan Hasil Editing process.default.	50
Gambar 3. 15	Hasil Editing File *.gdl.....	54
Gambar 4. 1	Cuplikan Quality Check pada TEQC	59
Gambar 4. 2	Nilai MP1 Data Pengamatan	60
Gambar 4. 3	Nilai MP2 Data Pengamatan	61
Gambar 4. 4	Plot Kecepatan Pergeseran Horizontal	81
Gambar 4. 5	Plot Kecepatan Pergeseran Vertikal	83
Gambar 4. 6	Segmen Segitiga untuk Regangan	84
Gambar 4. 7	Hasil Plotting Nilai Regangan	87
Gambar 4. 8	Perbedaan Arah Pergeseran BM33 dan BM29.....	89

Gambar 4. 9 Peta Geologi Surabaya dan Estimasi Posisi Sesar Kendeng (Anjasmara 2019).....	90
Gambar 4. 10 Pergeseran Vertikal berdasarkan Kecamatan	91
Gambar 4. 11 Dominasi Regangan di Surabaya.....	93
Gambar 4. 12 Plotting Perbedaan Regangan dengan Penelitian Sebelum.....	97

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Waktu Pelaksanaan Pengamatan	32
Tabel 3. 2	Titik Pengamatan Tiap Kala.....	34
Tabel 3. 3	Receiver dan Antenna yang Digunakan	46
Tabel 4. 1	Tabel Perekaman Data Kala 1	63
Tabel 4. 2	Tabel Perekaman Data Kala 2	64
Tabel 4. 3	Tabel Perekaman Data Kala 3	65
Tabel 4. 4	Tabel Perekaman Data Kala 4	66
Tabel 4. 5	Tabel Perekaman Data Kala 5	67
Tabel 4. 6	Tabel Perekaman Data Kala 6	68
Tabel 4. 7	Nilai Fract Hasil Pengolahan GAMIT.....	70
Tabel 4. 8	Nilai Postfit nrms dan Ambiguity Fixed	72
Tabel 4. 9	Koordinat dan Simpangan Baku Tahun 2017	74
Tabel 4. 10	Koordinat dan Simpangan Baku Tahun 2018	75
Tabel 4. 11	Koordinat dan Simpangan Baku Tahun 2019	76
Tabel 4. 12	Koordinat dan Simpangan Baku Tahun 2020	77
Tabel 4. 13	Nilai Kecepatan Pergeseran Titik selama Tahun 2017-2020 (mm/tahun)	79
Tabel 4. 14	Nilai Kecepatan Horizontal (mm/tahun)	80
Tabel 4. 15	Nilai Parameter Regangan.....	85
Tabel 4. 16	Nilai Regangan Hasil Perhitungan	86
Tabel 4. 17	Perubahan Regangan terhadap Penelitian Sebelumnya.....	96
Tabel 5. 1	Nilai Regangan Delapan Segmen.....	99

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

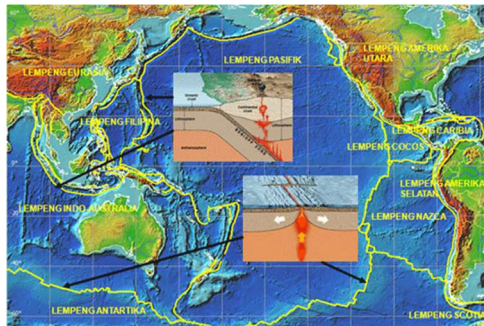
1. Lampiran 1 (<i>File Kontrol GAMIT</i>).....	107
2. Lampiran 2 (<i>Time Series Titik Pengamatan</i>).....	111
3. Lampiran 3 (<i>Script Plotting dengan GMT</i>).....	118
4. Lampiran 4 (Deskripsi Titik Pengamatan).....	119

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia terletak pada kawasan dengan aktivitas tektonik yang relatif tinggi dan kompleks (Gambar 1.1). 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). Pertemuan dari batas-batas lempeng tersebut di Indonesia kebanyakan berupa zona subduksi yang mempunyai arah dan jenis penunjaman yang berbeda (Bock dkk. 2003).

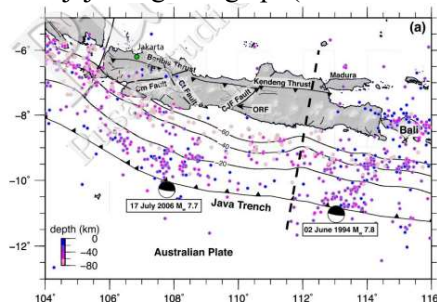


Gambar 1. 1 Tatanan Lempeng Tektonik (BMKG 2019)

Akibatnya Indonesia kaya akan aktivitas tektonik, baik yang berasal dari bidang kontak subduksi maupun berasal dari sesar yang terbentuk akibat aktivitas tektonik tersebut. Pulau Jawa sebagai salah satu jajaran pulau besar di Indonesia kali ini memperoleh dampak dari kondisi tersebut. Pulau Jawa terletak di pertemuan antara Lempeng Sunda dan Lempeng Indo-Australia yang mana terdapat zona subduksi Jawa yang terletak di selatan Pulau Jawa sehingga terbentuk beberapa beberapa sesar di Pulau Jawa. Tercatat oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang dipublikasikan dalam Katalog Gempabumi

Signifikan dan Merusak bahwa selama 10 tahun terakhir banyak aktivitas tektonik yang terjadi baik yang berpusat di laut ataupun di darat. Hal ini dirasakan oleh penduduk di wilayah sekitar khususnya daerah di Jawa Timur berupa gempa. Intensitas gempa yang dirasakan pada setiap daerah pun juga berbeda-beda mulai dari getaran kecil, retakan hingga guncangan yang merusak. Menurut Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi dalam publikasi pada setiap peristiwa yang terjadi menyebutkan bahwa gempa yang terjadi di laut disebabkan oleh aktivitas zona subduksi yang terjadi akibat tumbukan Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia di sebelah selatan pulau Jawa. Adapun kejadian gempa yang berpusat di darat seperti kejadian gempa di Madiun pada tanggal 25 Juni 2015 lalu menunjukkan bahwa adanya aktivitas tektonik pada patahan yang berlokasi di sekitar Gunung Pandan dengan orientasi barat daya-timur laut dan mekanisme patahan geser mengiri (*sinistral*) (PVMBG 2015).

Salah satu sesar yang terbentuk sebagai akibat dari stress subduksi Jawa di bagian timur adalah Sesar Kendeng. Sesar Kendeng membentang dari Kota Semarang hingga Kota Surabaya ditunjukkan oleh ilustrasi Gambar 1.2. Di bagian barat Sesar Kendeng ini terlihat menyambung ke dalam sistem Sesar Semarang dan Baribis. Bagian utara dari Sesar Kendeng merupakan bagian utama dari Lempeng Sunda sedangkan bagian selatan merupakan jajaran gunung api (Kuncoro 2018).



Gambar 1. 2 Sesar Kendeng yang Terletak Memanjang Sepanjang Jawa Timur dan Jawa Tengah Menurut Koulali dkk (2016) (PuSGeN 2017)

Sesar ini terdiri dari kumpulan sesar-sesar naik dan lipatan-lipatan (*blind faults*) yang dapat diamati dari adanya anomali bouguer di daerah ini (Smyth dkk 2008). 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. Diketahui dalam publikasi BPS Kota Surabaya tahun 2020 tercatat bahwa pada tahun 2019 penduduk Kota Surabaya telah mencapai angka 3,15 juta jiwa. Pembangunan infrastruktur dan kawasan industri juga terus mengalami peningkatan. Dengan kondisi demikian, pemantauan akan aktivitas Sesar Kendeng menjadi penting. 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, sehingga dapat dilakukan penafsiran bahaya yang mungkin terjadi dan dapat dilakukan tindakan mitigasi terhadap wilayah yang diduga terancam.

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.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai vektor pergeseran titik-titik pengamatan di sekitar Segmen Waru dan Segmen Surabaya berdasarkan pengamatan GPS tahun 2017-2020?
2. Bagaimana pola regangan di sekitar Segmen Waru dan Segmen Surabaya berdasarkan pengamatan GPS tahun 2017-2020?
3. Bagaimana analisis aktivitas Sesar Kendeng berdasarkan hasil pengolahan data pengamatan GPS tahun 2017-2020?

1.3. Batasan Masalah

1. Lokasi penelitian berada di Kota Surabaya yang terletak pada koordinat $07^{\circ}11'00''-07^{\circ}21'00''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}36'00''-112^{\circ}54'00''$ Bujur Timur, dengan konsentrasi pengamatan pada wilayah sekitar Segmen Waru dan Segmen Surabaya.
2. Stasiun IGS yang digunakan adalah stasiun IGS yang berjarak relatif dekat di sekitar lokasi penelitian berjumlah minimal 7 titik.
3. Menggunakan titik pengamatan yang tersebar di sekitar Segmen Waru dan Segmen Surabaya pada tahun 2017 sampai dengan tahun 2020.
4. Pengolahan data GPS menggunakan software GAMIT/GLOBK.
5. Analisis aktivitas Sesar Kendeng dilakukan berdasarkan pada deformasi yang terjadi di wilayah sekitar Sesar Waru dan Sesar Surabaya.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukan penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai vektor pergeseran titik-titik pengamatan di sekitar Segmen Waru dan Segmen Surabaya berdasarkan pengamatan GPS tahun 2017-2020
2. Menentukan pola regangan di sekitar Segmen Waru dan Segmen Surabaya berdasarkan pengamatan GPS tahun 2017-2020
3. Mengidentifikasi aktivitas Sesar Kendeng Segmen Waru dan Surabaya berdasarkan hasil pengolahan data pengamatan GPS tahun 2017-2020

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah dapat diketahui aktivitas dari Sesar Kendeng yang terkini dan dampaknya terhadap deformasi di wilayah sekitar Segmen Waru dan Segmen Surabaya sehingga dapat dilakukan pengendalian resiko. Hasil yang diperoleh dapat menjadi rujukan bagi pihak-pihak terkait dalam upaya mitigasi bencana, perencanaan pembangunan dan juga pertimbangan dalam menentukan kebijakan selanjutnya.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Tektonik Lempeng

Teori tektonik lempeng adalah teori dalam bidang geologi yang dikembangkan untuk memberi penjelasan terhadap adanya bukti-bukti pergerakan skala besar yang dilakukan oleh litosfer bumi (Sullivan 1991). Lapisan litosfer bumi terbagi menjadi beberapa lempeng besar yang menyusun permukaan bumi. lempeng besar tersebut antara lain Lempeng Afrika, Lempeng Antartika, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan lempeng Amerika Utara (Kios dan Tilling 1996). Menurut teori tektonik lempeng, litosfer bumi bukanlah suatu kesatuan yang terus utuh melainkan terpecah pecah menjadi beberapa bagian yang disebut sebagai lempeng (*plate*) bumi (Kearey dan Frederick 1990). Adanya pecahan tersebut disebabkan oleh adanya aliran panas yang mengalir di astenosfer. Aliran panas tersebut untuk selanjutnya menjadi sumber kekuatan terjadinya pergerakan lempeng. Akibatnya, bila sebagian bergerak maka satu unit lempeng akan bergerak. Perubahan kecil akan terjadi pada bagian tengah dan tentu saja kerusakan besar timbul pada bagian tepi karena bersinggungan langsung dengan lempeng yang lain.

Adanya pergerakan lempeng tektonik menyebabkan munculnya gejala-gejala alam seperti gempa tektonik, letusan gunung api, dan aktivitas lempeng lainnya. Pergerakan lempeng dikategorikan menjadi 3 jenis, yaitu divergen, konvergen, dan transform (Kearey 1990) dengan visualisasi seperti pada Gambar 2.1.

a. Divergen

Terjadi apabila terdapat dua atau lebih lempeng tektonik yang bergerak saling menjauhi. Apabila sebuah lempeng tektonik pecah, lapisan litosfer menipis dan terbelah membentuk batas divergen. Pada lempeng samudera akan menyebabkan pemekaran dasar laut, sedangkan apabila terjadi pada lempeng benua, maka akan menyebabkan terbentuknya sebuah lembah

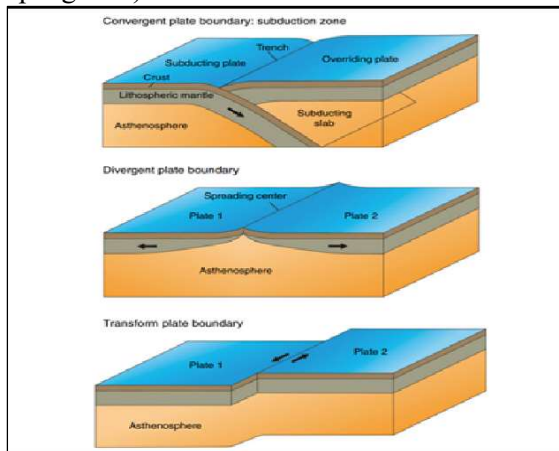
retakan akibat adanya celah antara ke dua lempeng yang saling menjauh.

b. Konvergen

Terjadi apabila lempeng-lempeng saling bertumbukan dan salah satunya menujam (subduksi) ke arah mantel bumi.. wilayah dimana suatu lempeng samudera a terdorong ke bawah lempeng benua atau lempeng samudera lain disebut dengan zona tujaman (*subduction zone*). Pada zona ini akan sering nampak aktivitas tektonik yang ditandai oleh gempa bumi, peningkatan aktivitas gunung api, dan lain sebagainya. Pematang gunung api (*volcanic ridge*) dan parit samudera (*oceanic trenches*) juga terbentuk di daerah ini. Zona inilah yang terdapat subduksi di Bagian Selatan Pulau Jawa.

c. Transform

Terjadi apabila lempeng bergerak dan mengalami gesekan satu sama lain secara menyamping di sepanjang sesar transform (*transform fault*). Gerakan relatif kedua lempeng bisa *sinistral* (ke kiri di sisi yang berlawanan dengan pengamat) ataupun *dekstral* (ke kanan di sisi yang berlawanan dengan pengamat).



Gambar 2. 1 Batas Lempeng (Duarte 2016)

2.2 Sesar

Sesar (patahan) adalah fraktur planar atau diskontinuitas dalam volume batuan, di mana telah ada perpindahan signifikan sebagai akibat dari gerakan massa batuan. Sesar-sesar berukuran besar di kerak bumi merupakan hasil dari aksi gaya lempeng tektonik, dengan yang terbesar membentuk batas-batas antara lempeng, seperti zona subduksi atau sesar *transform*. Energi yang dilepaskan menyebabkan gerakan yang cepat pada sesar aktif yang merupakan penyebab utama gempa bumi. Menurut ilmu geofisika, sesar (patahan) terjadi ketika batuan mengalami tekanan dan suhu yang rendah sehingga sifatnya menjadi rapuh (Asikin 1978).

Adapun jenis-jenis sesar adalah sebagai berikut:

1. Sesar Turun

Patahan atau sesar turun atau disebut juga sesar normal, adalah satu bentuk rekahan pada lapisan bumi yg memungkinkan satu blok batuan bergerak relatif turun terhadap blok lainnya. Blok yang ada di bagian bawah sesar disebut sebagai *foot wall* dan blok yang ada di bagian atas sesar disebut sebagai *hanging wall*. Pada sesar turun, bagian *hanging wall* akan bergerak relatif turun terhadap *foot wall*-nya. Karena ada gaya gravitasi yang mempengaruhinya maka sering disebut sesar turun.

2. Sesar Datar

Pergerakan dari sesar ini horizontal. Sesar mendatar ditentukan dengan menghadap bidang sesar, bila bidang didepan bergerak kekiri seperti diagram disebut mendatar *sinistral*, dan sebaliknya sesar mendatar *dekstral*.

3. Sesar Miring

Pergerakan dari sesar ini gabungan antara horizontal dan vertikal. Gaya-gaya yang bekerja menyebabkan sesar mendatar dan sesar normal.

4. Sesar Translasi

Sesar ini mengalami pergeseran sepanjang garis lurus. Biasanya *hanging wall* relatif naik terhadap *foot wall*, dengan kemiringan bidang sesar besar. Sesar ini biasanya disebut juga sesar naik.

5. Sesar Gunting

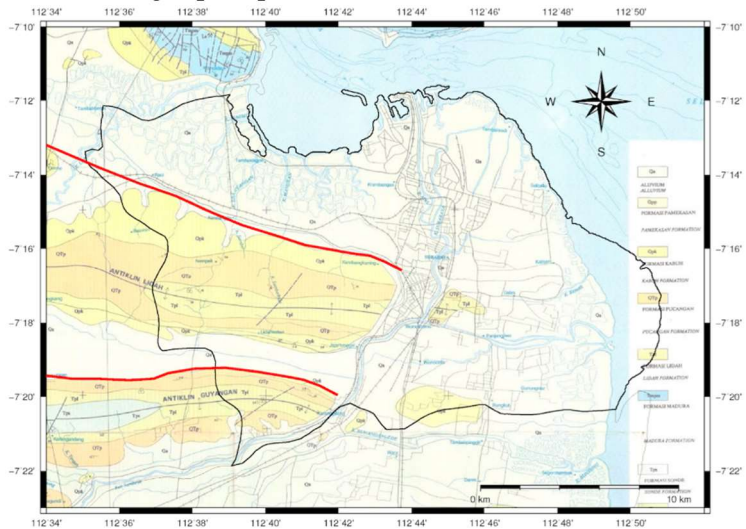
Pergerakan dari sesar ini juga sama dengan sesar miring yaitu horizontal dan vertikal, sesar yang pergeserannya berhenti pada titik tertentu sepanjang jurus sesar. Gaya yang bekerja sama dengan sesar normal.

2.3 Sesar Kendeng

Sesar Kendeng merupakan zona sesar aktif yang memanjang mulai dari bagian timur Jawa Timur hingga bagian barat Jawa Tengah (PuSGeN 2017). Sesar ini terdiri dari kumpulan sesar-sesar naik dan lipatan-lipatan (*blind faults*) yang dapat diamati dari adanya anomali Bouguer di daerah ini (Smyth dkk 2008). Penelitian terbaru yang dipublikasikan di Geophysical Research Letter mengungkapkan bahwa Sesar Kendeng bergerak aktif dengan pergerakan 5 milimeter per tahun dan menjadi sumber gempa di wilayah Jawa Timur. Di bagian barat Sesar Kendeng ini terlihat menyambung ke dalam sistem Sesar Semarang dan Baribis. Gempa-gempa dangkal berukuran sedang (M4-5) terjadi di sepanjang zona sesar ini dalam beberapa tahun terakhir. Bukti pergerakan sesar ini dapat diamati dengan adanya teras-teras sungai yang terangkat seiring dengan pergerakan sesar-sesar di daerah ini (Marliyani 2016).

Hasil penelitian terakhir dan juga hasil diskusi kelompok tim revisi zonasi gempa dari Pusat Studi Gempa Nasional menunjukkan bahwa Sesar Baribis merupakan bagian dari satu kesatuan jalur sesar naik belakang busur, termasuk di dalamnya Sesar Semarang dan sesar-sesar naik di zona Kendeng, Jawa Timur (Natawidjaja dan Daryono 2016). Sesar Kendeng di Surabaya terbagi menjadi dua segmen, yaitu Segmen Surabaya dan Segmen Waru. Berdasarkan pakar geologi dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Amien Widodo, menyebutkan bahwa Sesar Waru memanjang dari sekitar Waru tepatnya mulai dari kawasan Karangpilang, Surabaya hingga ke Jombang, Nganjuk dan sampai ke Saradan, Madiun. Sedangkan Sesar Surabaya memanjang mulai dari kawasan perbukitan Wonokitri, Mayjen

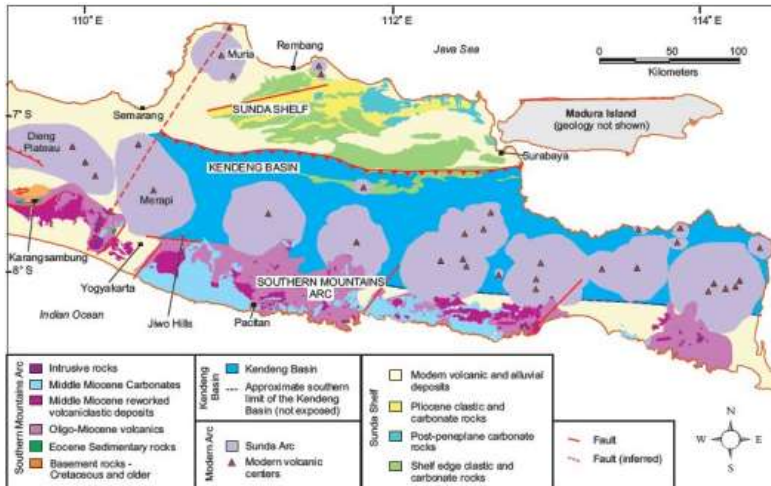
Sungkono hingga ke kawasan Cerme Gresik. Ilustrasi dari posisi Sesar Kendeng seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Estimasi Posisi Sesar Kendeng Segmen Surabaya dan Waru (Anjasmara dkk. 2018)

2.4 Fisiografi Jawa Timur dan Aktivitas Tektonik yang Ada

Jawa Timur merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki beberapa cekungan. Daerah cekungan Laut Jawa Timur lebih merupakan cekungan *epicontinental* (tepi benua), sedangkan cekungan Jawa Timur Utara–Madura merupakan *geosiklin* dengan ketebalan sedimen Tersier mencapai 6000 meter (Koesmadinata 1978). Cekungan Jawa Timur bagian Utara secara fisiografi terletak antara pantai Laut Jawa dan sederetan gunung api yang berarah Barat-Timur pada bagian selatannya. Cekungan ini terdiri dari dua buah pegunungan yang berjalan sejajar dengan arah Barat-Timur dan dipisahkan oleh suatu depresi. Berikut adalah gambaran geologi dan zona penyusun di Jawa Timur.



Gambar 2. 3 Stratigrafi Jawa Timur (Smyth dkk. 2008)

Cekungan Jawa Timur bagian Utara dapat dibagi menjadi tiga satuan fisiografi (Van Bammelen 1949) yang dapat dikaitkan dengan tektonik daerahnya. Adapun pembagian semua fisiografi ini berturut-turut dari selatan ke utara sebagai berikut:

1. Zona Kendeng

Zona Kendeng terletak di utara gunungapi yang terdiri dari endapan berumur *Kenozoikum* Muda yang pada umumnya terlipat kuat disertai sengan sesar-sesar dengan kemiringan ke arah Selatan. Panjang jalur Kendeng adalah 250 km dan lebar maksimum 40 km. Pegunungan Kendeng yang merupakan bagian zona ini terdiri dari daerah-daerah yang berbukit dan terjal. Penggambaran topografi daerah ini banyak dipengaruhi oleh struktur-struktur geologi.

2. Depresi Randublatung

Depresi Randublatung berada diantara Zona Kendeng dan Zona Rembang. Depresi Randublatung pada umumnya merupakan satuan daratan rendah yang berarah Barat-Timur dengan permukaan dasarnya merupakan akibat erosi diantara daerah Cepu

dan Bojonegoro. Dalam depresi tersebut terdapat beberapa antiklin pendek dan kubah-kubah.

3. Zona Rembang

Zona Rembang membentang sejajar dengan Zona Kendeng dan dipisahkan oleh Depresi Randublatung. Pada zona ini terdapat suatu daratan tinggi yang merupakan antiklin Barat-Timur sebagai hasil dari gejala tektonik Tersier Akhir yang dapat ditelusuri hingga Pulau Madura dan Kangean.

Melihat bentangan Sesar Kendeng di Jawa Timur dan formasi penyusun didalamnya, tentunya akan menunjukkan adanya aktivitas tektonik di wilayah sekitar lintasannya. Aktivitas tektonik yang terjadi di daerah ini dapat dirasakan dengan berbagai gejala baik berupa getaran kecil, retakan, ataupun guncangan yang menimbulkan kerusakan. Adapun intensitas dampak aktivitas tektonik yang terjadi telah dikelompokkan oleh BMKG dalam Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak yang dinyatakan dalam Skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI). Beberapa riwayat aktivitas tektonik yang terjadi di wilayah zona kendeng dan diidentifikasi dipicu oleh adanya sesar di daerah tersebut yaitu gempabumi di Kabupaten Madiun yang terjadi pada 25 Juni 2015. Berdasarkan informasi dari situs web Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, gempabumi utama terjadi pada tanggal 25 Juni 2015 pukul 10.35 WIB, berpusat di koordinat $7,73^{\circ}\text{LS}$ dan $111,69^{\circ}\text{BT}$ atau berjarak 12 km sebelah tenggara Kota Madiun, dengan magnitudo 4,2 SR pada kedalaman 10 km. Kemudian pusat gempabumi direlokasi oleh BMKG, menjadi di koordinat $7,64^{\circ}\text{LS}$ dan $111,67^{\circ}\text{BT}$ atau 21 km timur laut Kota Madiun pada kedalaman 1 km. Gempa tersebut mempunyai mekanisme dominan sesar geser dan sedikit komponen sesar turun dengan strike = $245,8^{\circ}$, dip = $74,3^{\circ}$ dan slip = $-2,2^{\circ}$ (PVMBG 2015). Gempabumi ini dirasakan dengan intensitas maksimum di lereng barat daya dan selatan Gunung Pandang yang dicirikan dengan terjadinya retakan tanah. Guncangan gempabumi ini juga dirasakan di Caruban dan

Nganjuk. Kejadian ini tidak menimbulkan korban jiwa namun menyebabkan beberapa kerusakan pada beberapa rumah dan retakan-retakan tanah.

Peristiwa selanjutnya juga berlokasi di Kabupaten Madiun pada tanggal 4 November 2016 pukul 12.08 WIB yang berpusat pada koordinat $7,55^{\circ}\text{LS}$ dan $111,3^{\circ}\text{BT}$ dengan magnitudo 4,9 SR pada kedalaman 19 km dan berjarak 45 km barat laut Madiun. Guncangan ini dirasakan di beberapa daerah yaitu Madiun, Trenggalek, Yogyakarta, Magetan dan Ngawi. Kejadian ini berpusat di wilayah Pegunungan Kendeng, diperkirakan disebabkan oleh interaksi kompleks sesar Kendeng, struktur geologi yang mewakili Jawa Timur (PVMBG 2016). Selain itu, masih banyak pula aktivitas tektonik lain yang dinyatakan sebagai gempa bumi dan juga tercatat oleh BMKG di tahun 2016. Kejadian ini berlokasi di wilayah Jawa Timur yang berpusat di koordinat $7,40^{\circ}\text{LS}$ dan $111,71^{\circ}\text{BT}$ dengan magnitudo 2,6 SR di kedalaman 18 km. Terdapat juga gempa bumi yang terjadi pada 25 Maret 2016 yang berpusat di $7,38^{\circ}\text{LS}$ dan $111,83^{\circ}\text{BT}$ dengan magnitudo 2,8 SR di kedalaman 10 km serta kejadian pada 11 Agustus 2016 yang berpusat di koordinat $7,37^{\circ}\text{LS}$ dan $111,53^{\circ}\text{BT}$ dengan magnitudo 2,5 SR di kedalaman 26 km. Adanya gempa bumi yang terjadi ini menjadi dampak dari aktivitas tektonik yang terjadi akibat tumbukan antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia ataupun aktivitas tektonik dari patahan yang melintas di sekitar lokasi kejadian.

2.5 Geologi Kota Surabaya

Wilayah Surabaya secara umum terbagi menjadi 4 wilayah yaitu Surabaya Pusat, Surabaya Timur, Surabaya Barat, Surabaya Utara, dan Surabaya Selatan. Wilayahnya merupakan daratan rendah dengan ketinggian 3-6 meter di atas permukaan air laut, kecuali di sebelah selatan ketinggian 25-50 meter di atas permukaan air laut. Wilayah Kota Surabaya merupakan dominan

daerah dataran rendah, yang berkisar 80% merupakan endapan alluvial dan sisanya merupakan perbukitan rendah yang dibentuk oleh tanah hasil pelapukan batuan tersier/tua. Dataran rendah meliputi wilayah Surabaya Timur, Utara dan Selatan memiliki kemiringan $<3\%$ dan terletak pada ketinggian $<10\text{m}$ dari permukaan laut. Dataran rendah terbentuk dari endapan alluvial sungai dan endapan pantai. Bagian tengah Kota Surabaya terbentuk oleh endapan Sungai Brantas beserta cabang-cabang sungainya dan endapan Sungai Rowo. Endapan Sungai Brantas berasal dari letusan gunung-gunung berapi yang erada di hulu dan beberapa rombakan sebelumnya. Endapan ini biasanya berupa pasir ($0,075\text{mm} - 0,2\text{ mm}$) dan kerikil ($2\text{ mm} - 75\text{ mm}$). Bagian timur dan utara sampai sepanjang Selat Madura dibentuk oleh pantai yang masuk ke daratan sampai $\pm 5\text{ km}$. Endapan pantainya terdiri dari lempung lanau dan lempung kelanauan, sisipan tipis tipis yang pada umumnya mengandung banyak kepingan kerang di beberapa tempat (Bahri 2012).

Secara geologi Kota Surabaya terbentuk oleh batuan sedimen yang berumur Miosen sampai Plistosen. batuan sedimennya adalah bagian dari lajur kendeng dengan formasi Sonde, Lidah, Pucangan, dan formasi Kabuh. Batuan dasar untuk kota Surabaya merupakan formasi Lidah yang berumur Pliosen (*pre-tertiary*). Formasi ini berada pada kedalaman $250 - 300$ meter. Selain itu daerah Surabaya berupa cekungan endapan aluvial muda hasil endapan laut dan sungai, tuf dan batu pasir (Soekardi 1992).

2.6 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu materi atau perubahan kedudukan (Kuang 1996). Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada sesuatu benda secara absolut maupun relatif. Dikatakan titik bergerak absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri dan

dikatakan relatif apabila gerakan itu dikaji dari titik yang lain. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sistem kerangka referensi absolut atau relatif. Prinsip pengukuran deformasi adalah dengan memantau perubahan jarak, beda tinggi, sudut,, maupun koordinat antara titik-titik yang mewakili suatu daerah. Survei deformasi dilakukan secara berulang pada periode yang berlainan. Data dari survei tersebut selanjutnya diolah dan dilakukan hitung perataan sehingga dihasilkan koordinat hasil pengukuran.

Pada umumnya, deformasi terjadi pada materi bermedium padat. Perubahan bentuk, dimensi, dan posisi dari suatu materi dapat digambarkan secara penuh dalam bentuk tiga dimensi melalui parameter-parameter deformasi, parameter deformasi ini dapat dihitung apabila diketahui fungsi pergeseran benda per satuan waktu. Terdapat beberapa parameter dasar deformasi dalam ruang tiga dimensi, yaitu:

1. Translasi materi yang bersifat kaku, merupakan perpindahan posisi materi sesuai sumbu acuan tanpa mengalami perubahan bentuk.
2. Rotasi, merupakan perubahan posisi materi yang membentuk sudut terhadap sistem koordinat acuan tanpa mengalami perubahan bentuk.
3. Regangan normal, merupakan perbandingan perubahan panjang terhadap panjang awalnya.
4. Regangan geser atau regangan menyilang, merupakan perubahan sudut dalam benda padat ketika terdeformasi.

Dalam pemantauan deformasi suatu objek, diperlukan dilakukan sebuah analisis deformasi untuk menentukan kuantitas pergeseran dan parameter-parameter deformasi yang mempunyai karakteristik dalam ruang dan waktu (Turcotte dan Gerald 2002). Parameter deformasi ini bisa didapatkan melalui hasil pergeseran koordinat dari titik-titik pengamatan secara berkala (Welsch 2003).

Analisis deformasi dapat dilakukan secara geometrik, yaitu hasil yang didapatkan berupa interpretasi secara kuantitatif benda yang terdeformasi tanpa melibatkan efek-efek dan sifat-sifat materi (Turcotte dan Gerald 2002). Melalui penguraian hasil pengamatan secara geodetik yang meliputi pengamatan jarak dan sudut, maka didapatkan parameter-parameter deformasi yang kemudian dapat disusun melalui model matematis yang mewakili jenis deformasi objek terkait (Welsch 2003). Menurut Turcotte dan Gerald (2002) dan Welsch (2003), dan analisis deformasi geometrik dibagi ke dalam dua jenis, yaitu analisis pergeseran dan analisis regangan.

2.5.1 Analisis Pergeseran

Analisis pergeseran merupakan analisis yang menunjukkan perubahan posisi suatu benda dengan menggunakan data perbedaan posisi yang didapat dari perataan data pengamatan pada epok yang berbeda (Welsch 2003). Secara umum, pergeseran dibagi ke dalam dua jenis, yaitu pergeseran vertikal dan pergeseran horizontal (Welsch 2003).

Pada penentuan nilai pergeseran vertikal antarepok dapat ditentukan melalui Persamaan 2.1 di bawah ini.

$$d_u = (u)_{t_2} - (u)_{t_1} \quad (2.1)$$

Keterangan Persamaan 2.1:

d_u : pergeseran tinggi antarepok

$(u)_{t_1}$: nilai komponen u pada epok pertama

$(u)_{t_2}$: nilai komponen u pada epok kedua

Pada penentuan nilai pergeseran horizontal antarepok dapat ditentukan melalui Persamaan 2.2 dan 2.3 di bawah ini.

$$d_e = (e)_{t_2} - (e)_{t_1} \quad (2.2)$$

$$d_n = (n)_{t_2} - (n)_{t_1} \quad (2.3)$$

Keterangan Persamaan 2.2 dan 2.3

d_e : besar pergeseran horizontal arah timur–barat antarepok

d_n : besar pergeseran horizontal arah utara–selatan antarepok

$(e)_{t_1}$: nilai komponen e pada epok pertama

$(n)_{t_1}$: nilai komponen n pada epok pertama

$(e)_{t_2}$: nilai komponen e pada epok kedua

$(n)_{t_2}$: nilai komponen n pada epok kedua

Pergeseran horizontal ditunjukkan dari besar vektor pergeseran komponen horizontal pada bidang horizontal (Welsch 2003). Sehingga diperlukan nilai azimuth untuk menunjukkan arah pergeseran titik deformasi (Welsch 2003). Nilai azimuth dapat dihitung melalui Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.5 berikut.

$$d_s = \sqrt{d_e^2 + d_n^2} \quad (2.4)$$

$$\tan \alpha = \frac{d_e}{d_n} \quad (2.5)$$

Keterangan Persamaan 2.4 dan 2.5:

d_s : besar vektor pergeseran horizontal

α : azimuth pergeseran horizontal

2.5.2 Analisis Regangan

Analisis regangan merupakan analisis yang menunjukkan perubahan posisi, bentuk, dan ukuran suatu benda dengan menggunakan data pengamatan geodetik langsung atau menggunakan data regangan yang diperoleh dari data pengamatan geodetik perubahan posisi (Turcotte dan Gerald 2002). Perhitungan parameter regangan pertama-tama dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.6 dan 2.7 di bawah ini.

$$V_n = (n_0 \varepsilon_{nn}) + (e_0 \varepsilon_{ne}) - (e_0 \Omega) + (t_n) \quad (2.6)$$

$$V_e = (n_0 \varepsilon_{ne}) + (n_0 \Omega) - (e_0 \varepsilon_{ee}) + (t_e) \quad (2.7)$$

Keterangan Persamaan 2.8 dan 2.9:

V_e : kecepatan pergerakan titik ke arah easting

V_n : kecepatan pergerakan titik ke arah northing

e_0 : koordinat easting suatu titik pada awal sebelum terjadinya regangan

n_0 : koordinat northing suatu titik pada awal sebelum terjadinya regangan

t_e : faktor translasi ke arah easting

t_n : faktor translasi ke arah northing

- Ω : faktor rotasi
 ε_{ee} : parameter regangan ke arah easting
 ε_{nn} : parameter regangan ke arah northing
 ε_{ne} : parameter regangan silang

Nilai besaran yang akan digunakan dalam analisis regangan adalah besaran *principal strain* ε_1 (ekstensi) dan ε_2 (kompresi) yang didapatkan dari nilai parameter regangan yang telah dicari sebelumnya. ε_1 merupakan besaran yang menunjukkan nilai ekstensi, sedangkan ε_2 merupakan besaran yang menunjukkan nilai kompresi. Kedua besaran *principal strain* tersebut dapat diperoleh melalui persamaan 2.8, 2.9, dan 2.10 berikut ini (Turcotte dan Gerald 2002).

$$\tan 2\theta = \frac{2 \cdot \varepsilon_{ne}}{\varepsilon_{nn} - \varepsilon_{ee}} \quad (2.8)$$

Setelah nilai θ didapatkan dengan menginverskan persamaan 2.8 diatas, dapat dicari:

$$\varepsilon_1 = (\varepsilon_{nn} \cos^2 \theta) + (\varepsilon_{ee} \sin^2 \theta) + (2 \varepsilon_{ne} \sin \theta) \quad (2.9)$$

$$\varepsilon_2 = (\varepsilon_{nn} \sin^2 \theta) + (\varepsilon_{ee} \cos^2 \theta) - (\varepsilon_{ne} \sin 2\theta) \quad (2.10)$$

Nilai *principal strain* (ε_1 dan ε_2) ini menyatakan perubahan elemen panjang terhadap panjang awal (mm/mm) dan dinyatakan dengan satuan strain.

2.7 GPS (Global Positioning System)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang dimiliki dan dikendalikan oleh Amerika Serikat. GPS terdiri dari 24 satelit yang saling terkonstelasi, sistem satelit GPS didesain untuk menentukan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti dan juga informasi mengenai waktu secara kontinyu di seluruh duni. Pada dasarnya GPS terdiri atas 3 segmen utama (Seeber 2003) yaitu:

1. Segmen Angkasa (*Space Segment*)

Terdiri dari 24 satelit yang terbagi dalam enam orbit dengan inklinasi 55° dan ketinggian 20.200 km dan periode orbit 11 jam 58 menit.

2. Segmen Sistem Kontrol (*Control System Segment*)
Sistem kontrol merupakan bagian yang bertugas dalam memantau kinerja dari sistem GPS agar dapat berfungsi dengan baik dan tepat. Salah satu tugas dari sistem control antara lain adalah prediksi orbit, monitoring kondisi satelit, dan sinkronisasi waktu.
3. Segmen Pemakai (*User Segment*)
Segmen pemakai merupakan pengguna dari sistem GPS baik itu di darat, laut, maupun udara. Secara garis besar segmen pemakai menggunakan *receiver* GPS untuk menangkap sinyal satelit GPS, sehingga didapatkan keluaran berupa posisi, kecepatan, ataupun parameter lainnya.

2.7.1 Penentuan Posisi dengan GPS

Pada prinsipnya penentuan posisi dengan GPS merupakan metode pengikatan ke belakang (*resection*), dengan pengukuran jarak ke beberapa satelit GPS yang telah diketahui koordinatnya. Hasil yang didapatkan dari pengukuran posisi menggunakan GPS adalah koordinat 3 dimensi (X,Y,Z atau L,B,h) yang dinyatakan dalam datum WGS 84 (*World Geodetic System 1984*), sedangkan tinggi yang diperoleh adalah tinggi ellipsoid, sehingga untuk sistem tingginya berbeda dengan tinggi orthometrik yang merupakan tinggi diatas geoid yang diukur sepanjang garis gaya berat melalui titik tersebut.

Pengukuran jarak pada saat pengamatan dan pengukuran menggunakan teknologi GPS dibagi menjadi dua jenis (Rizos 1999) yaitu pengukuran *pseudorange* dan *carrier phase*. Pengukuran *pseudorange* merupakan jarak yang diukur dari waktu perambatan sinyal satelit dari satelit ke *receiver*. Pengukuran dilakukan oleh *receiver* dengan membandingkan kode yang diterima dari satelit dan replika kode yang diformulasikan dalam *receiver*. Sedangkan untuk pengukuran dengan *carrier phase* merupakan pengukuran yang dilakukan dengan mengukur beda fase sinyal GPS.

Proses perhitungan dilakukan dengan mengurangi fase sinyal pembawa dari satelit dengan sinyal yang dibangkitkan dalam *receiver*.

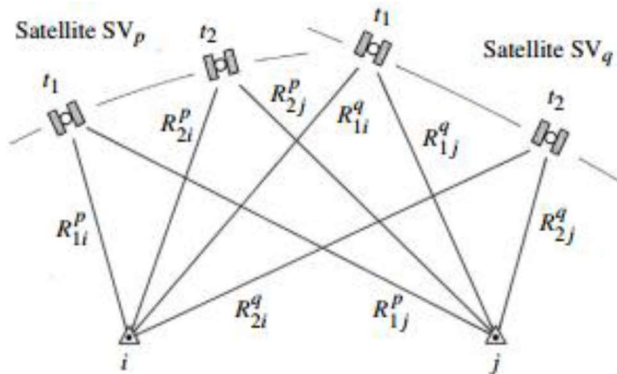
Penentuan posisi dengan teknologi GPS dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode absolut dan metode differensial.

1. Metode Absolut

Metode absolut secara sederhana dapat diartikan sebagai metode penentuan posisi suatu titik tanpa bergantung terhadap titik lain (hanya menggunakan satu *receiver*). Melalui satelit GPS dilakukan pengukuran vektor jarak (p) ke titik yang akan ditentukan posisinya. Dengan catatan posisi satelit (r) telah diketahui relatif terhadap pusat bumi, maka posisi pengamatan akan diperoleh pula relatif terhadap pusat bumi. Pengukuran jarak hanya dilakukan dari satelit GNSS ke titik pengamatan berdasarkan jumlah *ranging* yang terekam oleh antena.

2. Metode Diferensial

Penentuan posisi suatu titik secara differensial menggunakan minimal dua *receiver* GPS (posisi relatif). Prinsipnya yaitu dengan mengurangi data yang diamati oleh dua *receiver* GPS pada waktu yang bersamaan sehingga beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat dieliminasi atau direduksi. Pengeleminasian dan pereduksian ini akan meningkatkan akurasi dan presisi data yang elanjutnya berimplikasi pada posisi yang diperoleh. Gambar 2.4 dibawah merupakan ilustrasi dari penentuan posisi titik.



Gambar 2. 4 Penentuan Posisi Metode Diferensial
(Seeber 2003)

2.7.2 Pengolahan Baseline

Pengolahan baseline bertujuan untuk menghitung vektor baseline (dX , dY , dZ) yang menggunakan data fase sinyal GPS yang diamat pada dua titik baseline yang bersangkutan. Tujuan utama dari proses pengurangan data GPS atau differencing adalah pengeleminasian dan pereduksian efek dari sebagian kesalahan dan bias pada data pengamatan yang dihasilkan. Pada tahap *baseline processing* terdapat beberapa hitungan matemais untuk mengolah data gelombang GPS menjadi sebuah ukuran untuk menghitung panjang *baseline* dan nilai koordinat.

b. *Single Difference*

Merupakan penentuan posisi dengan cara mengurangkan data pengamatan dua persamaan secara satu arah atau pada wahana satelit yang sama.

$$\Delta LABj = LAj - LBj \quad (2.11)$$

c. *Double Difference*

Merupakan cara penentuan posisi dengan menyelisihkan dua persamaan *single difference* pada dua buah *receiver*

yang mengamati dua satelit pada waktu yang sama. Persamaan tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$\nabla\Delta LABjk = \Delta LABj - \Delta LABk \quad (2.12)$$

d. *Triple Difference*

Merupakan cara penentuan posisi dengan cara menyelisihkan dua buah data persamaan *double difference* yang mengamati dua buah satelit pada waktu yang berbeda.

$$\delta(i,i+1)\nabla\Delta LABjk = \nabla\Delta LABjk(i+1) - \nabla\Delta LABjk(i) \quad (2.13)$$

Keterangan:

- $\Delta LABj$: selisih jarak satelit j ke *receiver* A dan *receiver* B
- LAj : jarak satelit j ke *receiver* A
- LBj : jarak satelit j ke *receiver* B
- $\nabla\Delta LABjk$: perbedaan selisih jarak satelit j ke *receiver* A dan *receiver* B dengan jarak satelit k ke *receiver* A dan *receiver* B
- $\Delta LABk$: selisih jarak satelit k ke *receiver* A dan *receiver* B $\delta(i,i+1)$
- $\nabla\Delta LABjk$: perbedaan selisih jarak satelit j ke *receiver* A dan *receiver* B dengan jarak satelit k ke *receiver* A dan *receiver* B pada *epoch* ke i dan i+1
- $\nabla\Delta LABjk(i+1)$: perbedaan selisih jarak satelit j ke *receiver* A dan *receiver* B dengan jarak satelit k ke *receiver* A dan *receiver* B pada *epoch* ke i+1
- $\Delta LABjk(i)$: perbedaan selisih jarak satelit j ke *receiver* A dan *receiver* B dengan jarak satelit k ke *receiver* A dan *receiver* B pada *epoch* ke i

2.7.3 Perataan Jaring pada GAMIT

Perataan jaring menggunakan perangkat lunak GAMIT menggunakan teknik *double difference*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data pengukuran dua titik

pengamatan (A) dan (B) serta dua satelit (i) dan (j). Jarak yang terbentuk dari dua titik pengamatan tersebut ditunjukkan pada persamaan 2.14 dan 2.15.

$$\rho_A^i = \sqrt{[X^i(t) - X_A]^2 + [Y^i(t) - Y_A]^2 + [Z^i(t) - Z_A]^2} \quad (2.14)$$

$$\rho_B^j = \sqrt{[X^j(t) - X_B]^2 + [Y^j(t) - Y_B]^2 + [Z^j(t) - Z_B]^2} \quad (2.15)$$

Dengan koordinat pendekatan titik pengamatan (A) adalah (X_A^0, Y_A^0, Z_A^0) maka koordinat stasiun pengamatan (A) ditentukan dengan persamaan 2.16 berikut:

$$\begin{aligned} X_A &= X_A^0 + dX_A \\ Y_A &= Y_A^0 + dY_A \\ Z_A &= Z_A^0 + dZ_A \end{aligned} \quad (2.16)$$

Selanjutnya dilakukan proses linearisasi persamaan 2.14 dan 2.15 hasilnya seperti persamaan 2.17 dan 2.18 berikut.

$$\rho_A^i(t) = \rho_A^{i0} + cx^i(t) \cdot dX_A + cy^i(t) \cdot dY_A + cz^i(t) \cdot dZ_A \quad (2.17)$$

$$\rho_B^j(t) = \rho_B^{j0} + cx^j(t) \cdot dX_B + cy^j(t) \cdot dY_B + cz^j(t) \cdot dZ_B \quad (2.18)$$

Dalam hal ini,

cx : turunan persamaan terhadap dX

cy : turunan persamaan terhadap dY

cz : turunan persamaan terhadap dZ

dengan melakukan substitusi persamaan 2.17 dan 2.18 ke persamaan *double difference* antara pengamat dan satelit, didapatkan solusi persamaan *double difference* seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.19.

$$\begin{aligned} \Delta \nabla L_{AB}^{ij}(t) &= \Delta \nabla \rho_{AB}^{ij0}(t) + \nabla cx^{ij}(t) \cdot dX_A + \nabla cy^{ij}(t) \cdot dY_A + \\ &\nabla cz^{ij}(t) \cdot dZ_A + \lambda \nabla \Delta N_{AB}^{ij} + \Delta \nabla v C_{AB}^{ij}(t) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Persamaan *double difference* ini menggunakan data beda fase. Selanjutnya, dilakukan hitung kuadrat terkecil parameter berbobot untuk mendapatkan koordinat pengamat (A).

$$V = AX + L \quad (2.20)$$

$$P = \begin{bmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_2 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$$A = [\nabla c x^{ij}(t) \quad \nabla c y^{ij}(t) \quad \nabla c z^{ij}(t) \quad \lambda] \quad (2.22)$$

$$L = [\Delta \nabla L_{AB}^{ij}(t) - \Delta \nabla \rho_{AB}^{ij^0}(t)] \quad (2.23)$$

$$X = \begin{bmatrix} dX_A \\ dY_A \\ dZ_A \\ \nabla \Delta N_A \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Dalam hal ini,

V : matriks residu

P : matriks bobot

A : matriks desain

$\Delta \nabla L_{AB}^{ij}$: matriks ukuran

X : matriks parameter

$\Delta \nabla \rho_{AB}^{ij}$: jarak satelit-pengamat pendekatan

(Ulinuha 2015)

2.7.4 Kesalahan dan Bias GPS

Dalam pengambilan data GPS, sinyal satelit GPS mengalami beberapa kesalahan dan bias. Kesalahan dan bias GPS tersebut harus diperhitungkan secara teliti dan benar, karena besar dari kesalahan dan bias tersebut mempengaruhi ketelitian informasi yang diperoleh serta proses penentuan ambiguitas fase dari sinyal GPS. Terdapat beberapa tipe kesalahan dari sistem GPS yang diantaranya adalah:

1. Kesalahan Jam Satelit dan *Receiver*
2. Kesalahan Orbit
3. Ambiguitas Fase
4. Kesalahan *Multipath*
5. Bias Ionosferik
6. Bias Troposferik
7. *Cycle slip*

2.8 International Terrestrial Reference Frame (ITRF)

ITRF merupakan suatu kerangka koordinat global yang merupakan realisasi dari ITRS. ITRF direpresentasikan dalam suatu koordinat dan kecepatan yang didapatkan dari sejumlah titik yang tersebar yang berada di seluruh permukaan bumi. Stasiun ITRF tersebut diamati dengan menggunakan metode-metode GPS, *Lunar Laser Ranging (LLR)*, *Very Long Baseline Interferometry (VLBI)*, *Solar Laser Ranging (SLR)*, dan DORIS. Jaringan koordinat ITRF dipublikasikan oleh IERS setiap tahunnya. ITRF yang dipublikasikan setiap tahun tersebut diberi nama ITRF-yy. Dalam hal ini yy menunjukkan tahun terakhir data yang digunakan untuk menentukan kerangka tersebut. Sebagai contoh, ITRF94 menunjukkan kerangka koordinat dan kecepatan yang dihitung pada tahun 1995 dengan menggunakan semua data IERS sampai akhir tahun 1994.

Realisasi evolusi ITRF terkini adalah ITRF2014 (Altamimi dkk. 2016). ITRF saat ini merupakan sistem kerangka yang stabil pada tingkat milimeter dan pada evolusi realisasi terkini ITRF2014 epoch 2010.0 yang dalam prosesnya memeperhitungkan suatu inovasi dalam pemodelan sinyal-sinyal periodik (tahunan dan setengah tahunan) dan *post seismic deformations (PSD)* pada wilayah di berbagai belahan dunia yang terdampak oleh gempa bumi kuat, seperti diantaranya dibagian barat Pulau Sumatra (Ibid 2016). Pada evolusinya pergeseran yang terjadi atau *shift geocenter* dari ITRF2008 ke ITRF2014 adalah sebesar 3,5 mm (Altamimi dkk. 2016).

2.9 GAMIT/GLOBK

GAMIT adalah paket analisis GPS komprehensif yang dikembangkan di MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) dan SIO (*Scripps Institution of Oceanography*). Perangkat lunak ini digunakan untuk mengestimasi tiga-dimensi posisi relatif stasiun bumi dan orbit satelit. Perangkat lunak ini dirancang untuk berjalan

di bawah sistem operasi UNIX yang mendukung XWindows; sejauh ini MIT telah menerapkan versi untuk Sun (OS/4 dan Solaris2), HP, IBM / RISC, DEC, dan LINUX berbasis Intel workstation. Jumlah maksimum stasiun dan sesi disesuaikan oleh dimensi yang ditetapkan pada waktu kompilasi dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kemampuan komputasinya. Hasil dari GAMIT adalah solusi parameter estimasi dan covariances yang dapat diolah di GLOBK untuk memperkirakan posisi stasiun, kecepatan, parameter orbital dan rotasi bumi.

GAMIT menggabungkan algoritma kuadrat terkecil gaya berat untuk mengestimasi posisi relatif dari sekumpulan stasiun, orbital dan parameter rotasi bumi, jeda zenith, dan ambiguitas fase dengan mencocokkan ke pengamatan fase diferensiasi dua kali. Sejak model fungsional (matematis) berkaitan pengamatan dan parameter adalah non-linear, GAMIT membuat dua solusi, pertama yakni mendapatkan koordinasi dalam desimeter, dan yang kedua yakni mendapatkan estimasi akhir (Herring 2010 dalam Gienputra 2017).

GLOBK adalah satu paket program yang mengkombinasikan hasil pemrosesan data survei terestris atau data survei ekstra terestris. Kunci dari data input pada GLOBK adalah matriks kovarian dari data koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit, dan hasil pengamatan lapangan (Herring dkk. 2015). Sebagai file input digunakan *H-Files* hasil pengolahan dengan GAMIT. Dalam pengolahan lanjutan menggunakan GLOBK, dilakukan pendefinisian kerangka referensi terhadap hasil pengolahan perataan jaring bebas pada GAMIT. Dalam pengolahan lanjutan ini, perataan melibatkan titik ikat (titik yang dianggap fixed) dalam menentukan posisi dari titik-titik pengamatan jaring yang telah terdefinisi kerangka referensinya. Terdapat tiga moda aplikasi yang dapat dijalankan dengan menggunakan GLOBK, yaitu :

- a. Mengkombinasikan hasil pengolahan individual (misal: harian) untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan yang dilakukan lebih dari satu hari (*multidays*).

- b. Mengkombinasikan hasil pengamatan selama bertahun-tahun untuk menghasilkan koordinat stasiun;
- c. Melakukan estimasi koordinat stasiun dari pengamatan individual, yang digunakan untuk menggeneralisasikan data runtut waktu (*time series*) dari pengamatan teliti harian atau tahunan.

2.10 GMT (Generic Mapping Tools)

Merupakan sebuah perangkat yang dibutuhkan untuk plotting hasil pengolahan dari GAMIT/GLOBK. Karena hasil dari pengolahan merupakan data *post-processing* yang berupa file yang berisi koordinat, kode, dan angka yang masih belum dapat dipahami secara kasat mata, sehingga diperlukan GMT untuk merepresentasikan hasil pengolahan dari GAMIT/GLOBK ke dalam sebuah gambar. GMT dimulai sebagai seperangkat *command-line* perintah UNIX. Berjalan dengan *input* standar dan mengkombinasikan berbagai modul sesuai input untuk menghasilkan *output* yang sesuai. GMT mampu menggambar ilustrasi serta menganalisis dan memfilter data. *PostScript* adalah bahasa grafis GMT yang dapat dieksekusi dengan sintaks tertentu dan disusun dalam urutan yang benar (Wessel dkk. 2019).

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang akan dilakukan oleh penulis kali ini tidak lepas dari hasil studi literatur dari penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya. Penelitian pertama adalah Studi Deformasi dan Aktivitas Sesar Baribis Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2007-2016 oleh Wananda (2018). Pemantauan aktivitas Sesar Baribis pada penelitian ini menggunakan metode pengamatan GPS yang dilakukan di sekitar Sesar Baribis. Kemudian selanjutnya data dari hasil pengamatan diolah dengan perangkat lunak pengolah data GPS ilmiah Bernese 5.2 yang selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai vektor pergeseran, mengkuantifikasi pola regangan, serta menentukan besar laju geser untuk keperluan

analisis deformasi. Berdasarkan analisis deformasi tersebut, dapat diketahui bagaimana aktivitas sesar yang terjadi di Sesar Baribis.

Penelitian kedua adalah Identifikasi Mekanisme Sesar di Bagian Timur Pulau Jawa dengan Menggunakan Data GNSS Kontinyu 2010-2016 yang dilakukan oleh Kuncoro dan Maharani (2018). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi potensi sumber gempa dari Sesar Kendeng dan ekstensinya. Penelitian ini menggunakan data GNSS kontinyu dari jaringan CORS (*Continuously Operating Reference Station*) Indonesia yang dikelola oleh BIG (Badan Informasi Geospasial). Sebanyak 15 GNSS kontinyu di wilayah timur Pulau Jawa dari tahun 2010 hingga 2016 digunakan dalam penelitian ini. Dalam metodanya, area studi dibagi menjadi 3 profil yaitu profil A, profil B dan profil C yang melalui bidang sesar. Data GNSS yang diperoleh tersebut diolah dengan menggunakan perangkat lunak ilmiah GAMIT/GLOBK 10.6. GNSS timeseries hasil pengolahan yang juga telah bersih dari outlier setiap epoknya ditransformasikan ke dalam kerangka referensi ITRF2008 menggunakan kuadrat terkecil dengan mengestimasi 6 parameter transformasi Helmert (3 translasi & 3 rotasi) menggunakan titik sekutu stabil dari stasiun IG.

Penelitian ketiga adalah Deformasi Muka Tanah dan Potensi Gempa di Surabaya berdasarkan Data Kampanye GPS oleh Anjasmara dkk. (2019). Pada penelitian ini bertujuan untuk melihat deformasi yang terjadi di Surabaya dan potensi gempa yang terjadi. Terdapat tiga jenis data GPS yang digunakan, yaitu data pengamatan GPS, data GPS CORS, dan data stasiun IGS. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan software ilmiah berupa GAMIT/GLOBK. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa Surabaya mengalami deformasi dengan pola pergerakan ke arah tenggara dengan kecepatan yang berkisar antara 1,034 cm/tahun hingga 5,674 cm/tahun. Namun, dari pengamatan yang dilakukan terdapat adanya perbedaan pola deformasi pada stasiun di sekitar patahan Waru dan patahan Surabaya, Hal ini diduga dampak gerak

aktif dari patahan yang ada tersebut dan menimbulkan adanya potensi gempa di sekitar wilayah terduga tersebut.

Pada penelitian kali ini, dilakukan penempatan titik-titik pengamatan yang lebih rapat di sekitar Segmen Waru dan Segmen Surabaya. Sehingga konsentrasi dari penelitian ini untuk melihat aktivitas yang terjadi pada Sesar Kendeng, mengingat dari penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa adanya potensi gempa di Surabaya. Rentang waktu yang digunakan pada penelitian ini juga diperbanyak dengan penambahan kala pengukuran sehingga dapat dipantau bagaimana aktivitas yang terjadi dalam rentang waktu 4 tahun terakhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di wilayah Kota Surabaya. Wilayah ini berada pada koordinat pada koordinat $07^{\circ}11'00''$ – $07^{\circ}21'00''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}36'00''$ – $112^{\circ}54'00''$ Bujur Timur. Adapun batas-batas Kota Surabaya di sebelah utara dan timur berbatasan dengan Selat Madura, sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Sidoarjo dan di sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Gresik (BPS Kota Surabaya 2020). Lokasi penelitian digambarkan seperti pada Gambar 3.1. 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). Kota Surabaya sebagai ibukota provinsi Jawa Timur menjadi kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Surabaya tahun 2020, Surabaya memiliki luas 326,81 km² dengan penduduknya berjumlah 3,15 juta jiwa.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian (Anjasmara dkk 2019)

3.2. Data dan Peralatan

3.2.1. Data

Adapun data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

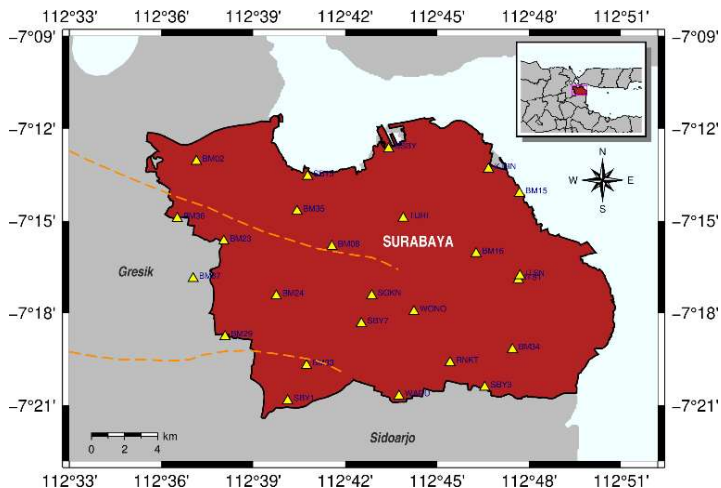
a. Data Pengamatan GPS Periodik tahun 2017 - 2020

Data GPS yang digunakan berupa data hasil pengukuran langsung secara periodik selama 6 kala. Berikut adalah waktu pelaksanaan pengukuran yang dilakukan.

Tabel 3. 1 Waktu Pelaksanaan Pengamatan

KALA	Pelaksanaan	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
5	5–8 Agustus 2019	217 – 220
6	8–12, 16 Februari 2020	039 – 043, 047

Data tahun 2017-2019 tersebut didapatkan dari penelitian sebelumnya, sehingga penulis tidak mengetahui alasan pemilihan pelaksanaan pengukuran pada waktu-waktu tersebut. Untuk tahun 2020, pelaksanaan pengukuran dilakukan pada bulan Februari sebagai bulan awal di tahun 2020. Hal ini untuk mendapatkan data 3 kala dalam setahun secara periodik dengan selisih waktu 3 sampai 4 bulan untuk pengukuran selanjutnya. Pada penelitian kali ini terdapat perapatan titik. Pemilihan titik-titik pengamatan dilakukan berdasarkan lokasi segmen Waru dan segmen Surabaya. Titik-titik pengamatan tersebut tersebar di sekitar Segmen Waru dan Segmen Surabaya yang digambarkan pada Gambar 3.2 dibawah.



Gambar 3. 2 Persebaran Titik Pengamatan (simbol segitiga kuning)

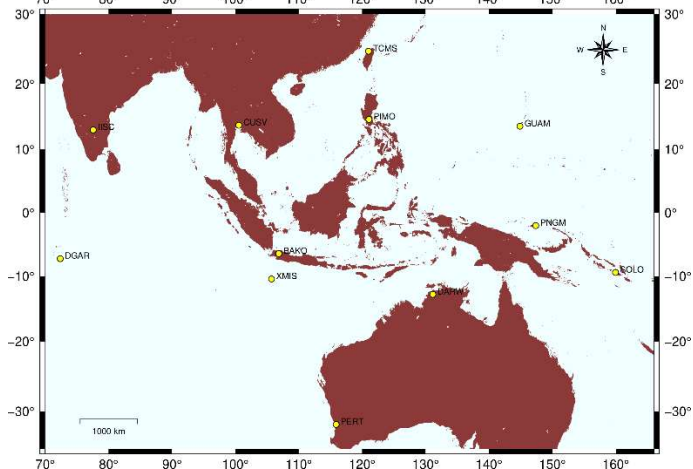
Data ini diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Anjasmara dkk (2019) dengan penambahan pengukuran pada kala di tahun 2020. Titik pengamatan pada setiap kala tidak semua sama. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor saat proses pengambilan data. Pada proses pengambilan data yang dilakukan di tahun 2020 ini mengalami beberapa kendala. Diantaranya proses perizinan yang sulit, adanya patok yang hilang, dan kondisi patok yang rusak. Selain itu, pada kala 6 juga dilakukan penambahan titik baru yang belum pernah diukur sebelumnya, yaitu titik BM34, BM35, BM36, BM37, SBY1, dan SGKN. Beberapa hal ini menjadi faktor penyebab terdapat kekosongan data pada beberapa titik. Adapun titik-titik yang diamati pada setiap kala disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Titik Pengamatan Tiap Kala

NAMA TITIK	KALA						LOKASI (Kecamatan)
	1	2	3	4	5	6	
BM02	-	√	√	√	√	√	Benowo
BM08	√	√	√	√	√	√	Sukomanunggal
BM15	-	-	√	√	√	√	Kenjeran
BM16	√	√	√	√	√	√	Gubeng
BM19	√	-	-	-	-	-	Rungkut
BM23	√	√	√	√	√	√	Benowo
BM24	√	√	√	√	√	√	Lakarsantri
BM29	√	√	√	√	√	√	Lakarsantri
BM33	√	√	√	√	√	√	Lakarsantri
BSBY	√	√	√	√	√	√	Pabean Cantikan
ITS1	√	√	√	√	√	√	Sukolilo
ITSN	-	-	√	√	√	√	Sukolilo
KJRN	√	√	√	√	√	√	Kenjeran
RNKT	√	√	√	√	√	√	Tenggilis Mejoyo
SB15	√	√	√	√	√	√	Asemrowo
SB18	-	√	-	-	-	-	Benowo
SBY3	√	√	√	√	√	√	Gunung Anyar
SBY5	-	√	-	-	-	-	Sukolilo
SBY7	√	√	√	√	√	√	Dukuh Pakis
TURI	√	-	√	√	√	√	Bubutan
WARU	√	√	√	√	√	√	Gayungan
WONO	√	√	√	√	√	√	Wonokromo
PKWN	√	√	-	-	-	-	Sukolilo
BM34	-	-	-	-	-	√	Rungkut
BM35	-	-	-	-	-	√	Tandes
BM36	-	-	-	-	-	√	Pakal
BM37	-	-	-	-	-	√	Menganti, Gresik
SBY1	-	-	-	-	-	√	Karang Pilang
SGKN	-	-	-	-	-	√	Dukuh Pakis

b. Data Stasiun *International GNSS Service* (IGS)

Dalam pengamatan ini diperlukan titik ikat GPS *International GNSS Service* (IGS) yang diperlukan sebagai titik referensi yang dianggap stabil. Titik referensi ini didapatkan dalam format .o (observation data). Adapun titik yang digunakan berjumlah minimal 7 titik pada pengolahan setiap tahunnya menyesuaikan ketersediaan dengan DOY pengamatan yang jaraknya relatif dekat dengan wilayah penelitian. Titik IGS yang digunakan pada setiap tahunnya yaitu BAKO, DARW, GUAM, IISC, PERT, PIMO, SOLO, XMIS. Gambar 3.3 berikut adalah persebaran stasiun IGS yang digunakan pada penelitian kali ini.



Gambar 3. 3 Persebaran Stasiun IGS yang Digunakan (Titik Kuning)

Penggunaan jumlah IGS tersebut berdasarkan penelitian Yosafat (2009) yang menyatakan bahwa penggunaan tujuh titik ikat GPS memberikan ketelitian posisi dalam fraksi 1/10 mm, kemudian meningkat hingga fraksi 1/100 mm pada penggunaan sembilan titik ikat IGS. Data stasiun IGS diperoleh dengan mengunduh di laman <ftp://cdis.nasa.gov/gps/data/daily> atau juga bisa menggunakan perintah `sh_get_rinex` dalam GAMIT.

Data yang di unduh menyesuaikan doy dan stasiun IGS yang akan digunakan.

c. Data Orbit Satelit

Data orbit satelit merupakan *ephemeris file* dengan format .sp3 yang dapat diunduh melalui garner.ucsd.edu/pub/product atau juga bisa di unduh dengan menggunakan perintah *sh_get_orbits* dalam software GAMIT. Data yang diunduh juga menyesuaikan dengan stasiun dan doy yang digunakan dalam penelitian.

d. Data *Broadcast Ephemeris*

Data *Broadcast Ephemeris* merupakan file navigasi RINEX dengan nama brdcDDD0.YYn yang dapat diunduh secara manual melalui [ftp://cddis/.gsfc.nasa.gov/brdc](ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/brdc) atau juga dapat diunduh secara otomatis dengan menggunakan perintah *sh_get_nav* dalam software GAMIT. Data yang diunduh menyesuaikan dengan doy yang digunakan dalam penelitian.

e. Data *H-files Global*

Data ini didapatkan dengan mengunduh melalui situs <http://sopac.ucsd.edu> sesuai dengan doy pengamatan.

f. Data Tambahan

Data tambahan pada penelitian ini merupakan data-data yang berguna sebagai pendukung dalam pengolahan GAMIT/GLOBK, diantaranya yaitu:

1. Data pemodelan atmosfer (atmdisp_cm.YYYY)
2. Data pemodelan pasang-surut laut (otlFES2004.grid)
3. Data pemodelan cuaca (vmfl.grid.YYYY)

Data-data tersebut dapat diunduh melalui <ftp://everest.mit.edu/pub/GRIDS>. Dalam pengolahan GAMIT data-data tersebut akan digunakan dalam folder kontrol pengolahan GAMIT yakni folder /tables.

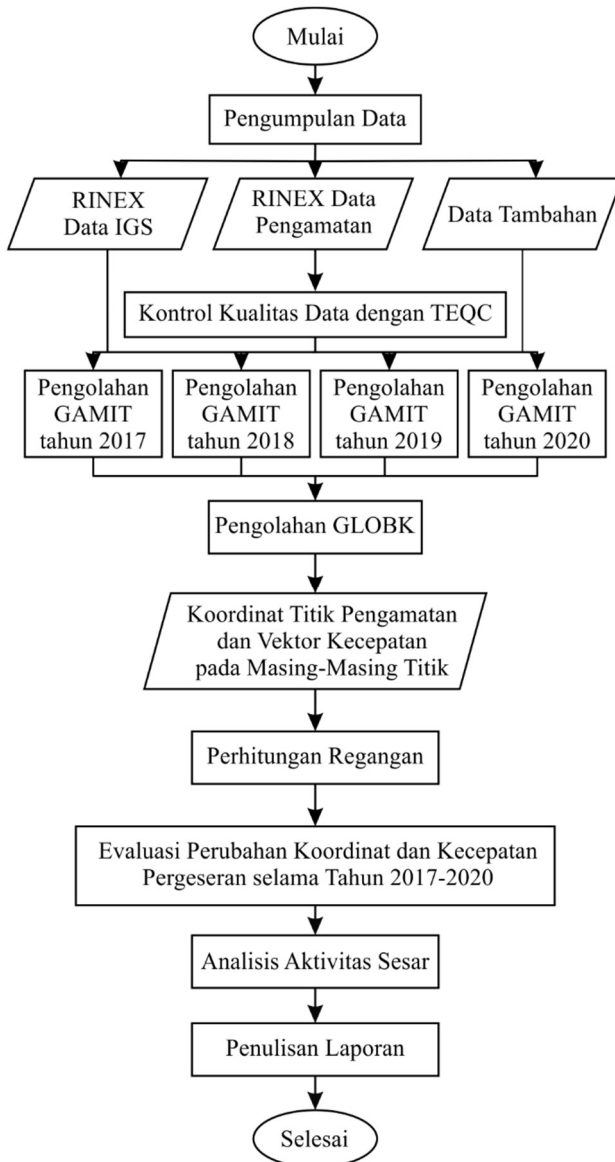
3.2.2. Peralatan

Peralatan yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini berupa perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini adalah komputer dengan sistem operasi *Linux* dan laptop dengan sistem operasi *Windows*. Adapun perangkat lunak yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Perangkat lunak TEQC, untuk mengubah raw data GPS ke format RINEX, melakukan kontrol kualitas data, merubah interval data pengamatan, dan juga untuk proses memotong dan menggabungkan data RINEX (Estey dan Stuart 2014).
2. TPS2RIN untuk mengubah raw data GPS ke format RINEX
3. Perangkat lunak GAMIT-GLOBK versi 10.7 untuk pengolahan data GPS.
4. Perangkat lunak GMT (*Generic Mapping Tools*) versi 6.0.0, untuk perhitungan regangan dan *plotting*, baik *plotting* titik koordinat maupun kecepatan pergeseran.
5. Perangkat lunak *Microsoft Word* dan *Microsoft Excel* untuk pembuatan laporan.

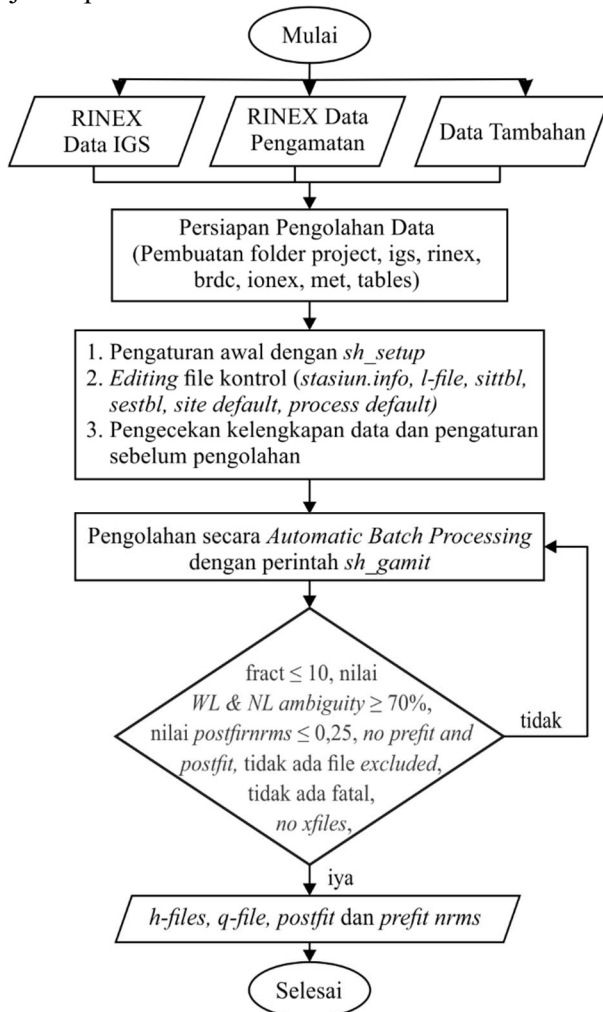
3.3. Tahapan Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, meliputi persiapan, pengumpulan data, pengolahan data dengan GAMIT/GLOBK, perhitungan regangan, evaluasi perubahan koordinat dan kecepatan pergeseran titik, analisis aktivitas sesar, pembuatan laporan. Pelaksanaan penelitian ini sesuai dengan yang ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.4.



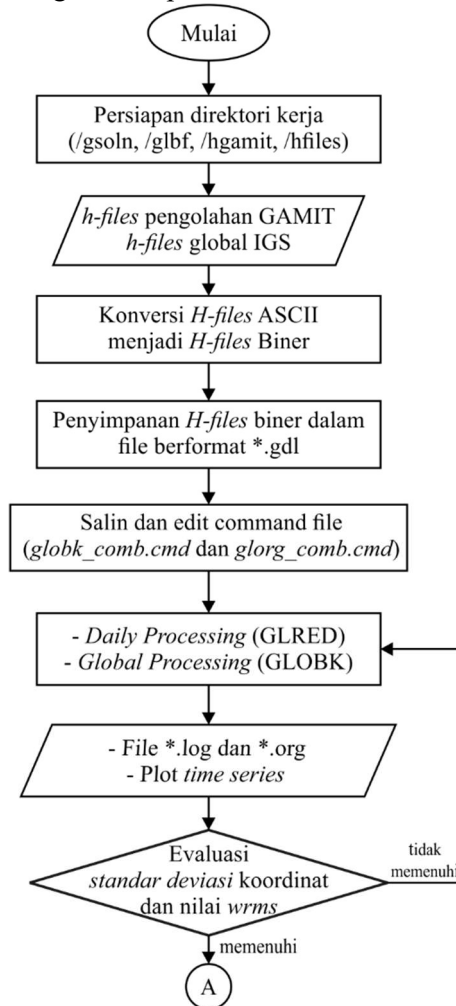
Gambar 3. 4 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Pengolahan data pengamatan GPS menggunakan GAMIT/GLOBK dilakukan dengan beberapa tahapan. Pengolahan yang dilakukan pada software ini sesuai dengan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Pengolahan Menggunakan GAMIT

Hasil dari pengolahan GAMIT yang telah terevaluasi kemudian digunakan dalam mengestimasi koordinat titik dan estimasi kecepatan pergeseran titik dengan GLOBK. Adapun tahapannya sesuai dengan diagram alir pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.



Gambar 3. 6 Diagram Alir Pengolahan dengan GLOBK



Gambar 3. 7 Diagram Alir Pengolahan dengan GLOBK
(Lanjutan)

3.3.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahap awal untuk mempersiapkan data yang akan digunakan untuk pengolahan. Data yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu data pengamatan GPS tahun 2017-2020, data pengamatan 8 stasiun IGS, dan data tambahan lain seperti yang telah disebutkan pada sub bab 3.2.

Data yang digunakan untuk pengolahan adalah data RINEX, sehingga data pengamatan GPS tahun 2017-2020 perlu diubah terlebih dahulu ke format RINEX. Pengubahan data menjadi format RINEX dilakukan dengan *software* TEQC dan TIPS2RIN. Setelah dilakukan pengubahan format maka, didapatkan file data dengan format nama *file* SSSSDDD0.YY0.

SSSS = 4 karakter nama stasiun

DDD = 3 karakter DOY pengamatan

YY = 2 karakter terakhir tahun pengamatan

3.3.2. Kontrol Kualitas Data dengan TEQC

Kontrol kualitas data rinex dilakukan untuk mengetahui kualitas pengamatan dan informasi-informasi yang diperlukan sebelum melakukan pengolahan data. Dalam penelitian ini, kontrol kualitas data dilakukan menggunakan TEQC dengan perintah pada *command prompt*:

teqc +qc <nama_file_observasi>

Perintah kontrol kualitas data ini dilakukan pada *file* dengan ekstensi *.Yyo sebagai *file* observasi. Hasil dari proses ini berupa informasi kondisi ketika perekaman data yang berupa kode-kode tertentu. Selain itu, hasil kontrol kualitas data ini juga menghasilkan informasi-informasi tambahan seperti *receiver type*, *antenna type*, total satelit yang terekam, *moving average MP1*, *Moving average MP2*, *IOD slip*, dan lain-lain.

Data dari hasil pengamatan yang dilakukan dari tiap kala memiliki kualitas dan informasi yang berbeda-beda, seperti halnya interval waktu perekaman data. Oleh karena itu, perlu dilakukan editing interval data rinex dengan perintah sebagai berikut:

teqc -o.dec 30 (nama_file_observasi) > (nama_file_baru)

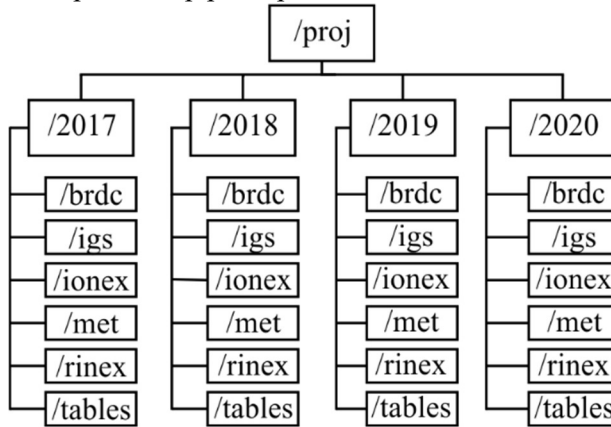
Pada tahap editing data ini juga dilakukan pemotongan data rinex sesuai *doy* pengamatan. Untuk mendapatkan data pengamatan yang terbagi per *doy* dapat dilakukan dengan perintah sebagai berikut:

teqc -st <start time of observation file> +dh <lama data pengamatan> (nama file observasi) > (nama file oservasi baru)

3.3.3. Persiapan Pengolahan Data pada GAMIT

Pada tahap ini dilakukan pembuatan direktori atau *folder* proyek yang akan diolah. *Folder* ini harus diberi nama dengan empat karakter. Pada penelitian ini pengolahan dilakukan berdasarkan tahun pengamatan yaitu 2017, 2018, 2019, dan 2020. Sehingga, dibuat folder proyek sesuai pembagian tersebut yaitu /2017, /2018, /2019, dan /2020. Pada setiap folder proyek yang

dibagi berdasar tahun terdiri atas beberapa direktori yang berisi data-data tambahan sesuai pembagian *doy* yang ada pada setiap tahun. Gambar 3.8 di bawah ini adalah struktur direktori yang perlu dibuat pada tahap persiapan ini.



Gambar 3. 8 Struktur Direktori Data

Setelah dilakukan pembuatan direktori sesuai Gambar 3.8, selanjutnya adalah pengisian data pada masing-masing *sub folder*. Data-data ini dapat diunduh dari situs <http://sopac.ucsd.edu> atau <http://cddis.nasa.gov> dengan cara memasukkan perintah pada terminal Linux.

Pengisian data dapat dimulai dari folder */brdc* yang berisi data navigasi sesuai *doy* pengamatan. File dari data ini berekstensi *.YYn. Perintah yang digunakan adalah sebagai berikut:

```
sh_get_nav -archive <archive> -yr <YYYY> -doy <ddd> -ndays <num> -allnav
```

Selanjutnya adalah pengisian *folder /igs* berupa file data *precise ephemeris*. Data ini memiliki ekstensi file *.sp3 dan sesuai dengan *doy* pengamatan. Perintah yang digunakan adalah:

```
sh_get_orbits -archive <archive> -yr <YYYY> -doy <ddd> -ndays <num> -makeg <no/yes>
```

Berikutnya adalah pengisian *folder* /rinex. Pada *folder* ini berisi data observasi pengamatan dan juga data observasi dari stasiun IGS. File data ini berupa file rinex dengan ekstensi *.YYo. Data titik pengamatan didapat dari hasil observasi secara langsung dan dibagi berdasarkan folder tahun yang telah dibuat serta telah diubah dalam *file* rinex. Untuk data stasiun IGS diunduh dengan perintah sebagai berikut.

```
sh_get_rinex -archive <archive> -yr <YYYY> -doy <ddd> -ndays <num> -sites <sites>
```

Pada folder /ionex dan /met merupakan folder untuk data tambahan yang bisa diikuti juga dalam pengolahan. Untuk folder /met berisi file pemodelan meteorologi yang dapat diunduh dengan perintah:

```
sh_get_met -archive <archive> -yr <YYYY> -doy <ddd> -ndays <num>
```

Sedangkan untuk folder /ionex berisi data pemodelan ionosfer. File ini dapat diunduh dengan perintah sebagai berikut:

```
sh_get_ion -archive <archive> -yr <YYYY> -doy <ddd> -ndays <num> -ions codg
```

3.3.4. Pengaturan Awal dan *Editing File Kontrol*

Setelah semua folder telah terisi sesuai pembagian tahun yang telah dibuat, langkah selanjutnya adalah melakukan pengaturan awal. Langkah ini dilakukan dengan membangun *link* dengan file global GAMIT dan melakukan penyalinan file kontrol yang berada di folder instalasi utama GAMIT yaitu ~/gg/tables. Langkah ini dapat dilakukan dengan perintah **sh_setup -yr <yyyy> -apr <apr_file>**. Perintah ini dilakukan pada masing-masing folder tahun proyek yang telah dibuat. Pada perintah ini <yyyy> berisi 4 karakter tahun dari data yang akan diolah, sedangkan <apr_file> berisi ITRF yang digunakan sebagai kerangka referensi untuk pengikatan. Pada penelitian kali ini digunakan **itr14.apr** sebagai bentuk model dari ITRF 2014 pada GAMIT. Pada

penelitian ini, ITRF 2014 digunakan untuk sebagai referensi terbaru dari ITRF yang ada untuk mendefinisikan titik-titik koordinat di permukaan bumi.

Hasil dari proses ini akan membuat folder /tables yang berisikan file global GAMIT dan file-file kontrol yang nantinya dilakukan *editing* menyesuaikan dengan data dan metode yang digunakan. File kontrol yang perlu diedit antara lain:

1. *Lfile*.

Lfile merupakan file yang berisi koordinat apriori dari stasiun IGS global dan juga titik pengamatan yang diolah. Berikut adalah cuplikan hasil *editing lfile*. Detail *l-file* dapat dilihat pada Lampiran 1.b.

2. *Station.info*.

File ini memuat informasi mengenai keadaan stasiun saat waktu pengukuran. Informasi tersebut antara lain *session start*, *session stop*, *receiver type*, *receiver SN*, *antenna type*, *antenna SN*, *antenna height*, dan *height code*. Untuk mendapatkan informasi ini dapat dilakukan secara otomatis dengan perintah berikut:

sh_upd_stnfo -files *.Yyo

Perintah tersebut dijalankan pada masing-masing direktori tahun yang telah dibuat. Setelah itu, kita perlu melakukan cek ulang apakah informasi yang termuat telah sesuai dengan format *header* dan sesuai dengan yang dijalankan saat pengukuran. Dalam penelitian ini terdapat beberapa jenis *receiver* dan *antenna type* yang digunakan yaitu:

Tabel 3. 3 *Receiver dan Antenna yang Digunakan*

<i>RECEIVER</i>	<i>RECEIVER SN</i>	<i>ANTENNA</i>	<i>ANTENNA SN</i>
TPS HIPER_SR	1064-15874	TPSHIPER_SR	1064-15874
TPS HIPER_PRO	309-0705	TPSHIPER_PLUS	309-0705
TPS HITARGET_V60	-	-	-
TPS HIPER_SR	1064-16240	TPSHIPER_SR	1064-16240
TPS HIPER_PRO	309-0701	TPSHIPER_PLUS	309-0701
TPS HIPER_PRO	309-0681	TPSHIPER_PLUS	309-0681
TRIMBLE BD970	11016142	TRMR8_GNSS	-
TRIMBLE BD971	11016168	TRMR8_GNSS	-
TRIMBLE BD972	10230601	TRMR8_GNSS	-
TPS GB_1000	T224255	TPSPG_A1	308-10353
TPS HIPER_PRO	309-0700	TPSHIPER_PLUS	309-0700
TRIMBLE NETR9	5342K46486	TRM5797.00	50001153532
TRIMBLE NETR9	-	HITAT35101CR	2016110026

Selanjutnya, perlu dilakukan *editing* lagi secara manual tentang informasi tinggi antena, kode tinggi, tipe *receiver* dan tipe antena. Berikut adalah hasil *editing* yang telah dilakukan. Detail *file Station.info* dapat dilihat di Lampiran 1.a.

```

# Station.info written by MSTINF user geodinamika on 2020-04-20 20:11
# Reference file : station.info
#
#
# SITE Station Name Session Start Session Stop Dome Antenna SN Ant Ht HtCod Ant N Ant E Receiver Type
# Power Receiver SN Antenna Type
BAKO bako 2020 39 0 0 0 2020 39 23 59 30 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50
0.00 1870540 LEIAR20 LEIM 21015023 mstinf: bako0396.2007
BAKO bako 2020 40 0 0 0 2020 40 23 59 30 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50
0.00 1870540 LEIAR20 LEIM 21015023 mstinf: bako0400.2007
BAKO bako 2020 41 0 0 0 2020 41 23 59 30 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50
0.00 1870540 LEIAR20 LEIM 21015023 mstinf: bako0410.2007
BAKO bako 2020 42 0 0 0 2020 42 23 59 30 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50
0.00 1870540 LEIAR20 LEIM 21015023 mstinf: bako0420.2007
BAKO bako 2020 43 0 0 0 2020 43 23 59 30 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50
0.00 1870540 LEIAR20 LEIM 21015023 mstinf: bako0430.2007
BAKO bako 2020 47 0 0 0 2020 47 23 59 30 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50
0.00 1870540 LEIAR20 LEIM 21015023 mstinf: bako0470.2007
BM02 BM020390 2020 39 3 43 0 2020 39 16 31 0 1.3177 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR
0.00 1864-15874 TSHIPPER_SR NONE 1064-15874 mstinf: bm020390.2007
BM08 BM080390 2020 39 3 55 30 2020 39 16 33 0 1.1189 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PRO
0.00 309-0681 TSHIPPER_PLUS NONE 309-0681 mstinf: bm080390.2007
BM15 BM150420 2020 42 13 14 0 2020 43 0 1 0 1.1080 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR
0.00 1064-16240 TSHIPPER_SR NONE 1064-16240 mstinf: bm150420.2007
BM16 BM160420 2020 42 13 2 30 2020 43 0 1 9 1.3217 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR
0.00 1864-15874 TSHIPPER_SR NONE 1064-15874 mstinf: bm160420.2007
BM23 BM230390 2020 39 4 3 0 2020 39 16 31 30 1.2481 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PRO
0.00 309-0701 TSHIPPER_PLUS NONE 309-0701 mstinf: bm230390.2007
BM24 BM240430 2020 43 1 44 0 2020 43 15 0 30 1.3778 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR
0.00 1064-15874 TSHIPPER_SR NONE 1064-15874 mstinf: bm240430.2007
BM24 BM240470 2020 47 0 5 0 2020 47 13 43 30 1.1068 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PRO
0.00 309-0681 TSHIPPER_PLUS NONE 309-0681 mstinf: bm240470.2007
BM29 BM290430 2020 43 2 8 0 2020 43 14 51 0 0.8983 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PRO
0.00 309-0681 TSHIPPER_PLUS NONE 309-0681 mstinf: bm290430.2007
BM33 BM330430 2020 43 2 49 0 2020 43 15 0 30 1.0548 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR
0.00 1064-16240 TSHIPPER_SR NONE 1064-16240 mstinf: bm330430.2007
BM34 BM340420 2020 42 13 30 2020 42 12 15 30 1.1231 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR
0.00 1064-16240 TSHIPPER_SR NONE 1064-16240 mstinf: bm340420.2007

```

Gambar 3. 10 Cuplikan Hasil Editing *Station.info*

3. *Sites.default*.

File ini digunakan sebagai kontrol stasiun apa saja yang digunakan dalam pengolahan. Dalam penelitian ini menggunakan pilihan *localrx* yang berarti dalam pengolahan sistem menelusuri *file* RINEX pada direktori lokal. Selain itu, pada pengolahan ini juga menerapkan pilihan *xstinfo* yang berarti tidak dilakukan *updating* pada *station.info*. Contoh hasil *editing* yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.11 berikut. Detail *file sites.default* dapat dilihat di Lampiran 1.c.

```

# File to control the use of stations in the processing
#
# Format: site expt keyword: keyword2 ....
#
# where the first token is the 4- or 8-character site name (GAMIT uses only
# 4 characters, GLOBK allows only 4 unless there are earthquakes or renames),
# the second token is the 4-character experiment name, and the remaining
# tokens, read free-format, indicate how the site is to be used in the processing.
# All sites for which there are RINEX files in the local directory will be used
# automatically and do not need to be listed.
#
# #
# #
# # ftrpx = sites to ftp from rlnex data archives.
# # ftrpw = sites to ftp from raw data archives.
# # localrx = site names used to search for rinex files on your local system.
# # (required in conjunction with rfnrd path variable set in process.defaults).
# # xstinfo = sites to exclude from automatic station.info updating.
# # xsite = sites to exclude from processing, all days or specified days
#
# Replace expt' with your experiment name and edit the following to list sites needed from external archive
all_sites expt xstinfo
bako_gps 2020 localrx xstinfo
darw_gps 2020 localrx xstinfo
guan_gps 2020 localrx xstinfo
lisc_gps 2020 localrx xstinfo
pert_gps 2020 localrx xstinfo
ploa_gps 2020 localrx xstinfo
solo_gps 2020 localrx xstinfo
xmlt_gps 2020 localrx xstinfo
# tomahawk_gps 2020 localrx xstinfo
ttht_gps expt xsite:1999_250-1999_278 xsite:1999_300-1999_365

```

Gambar 3. 11 Cuplikan Hasil Editing *sites.default*

4. *Sittbl*.

Proses editing *file sittbl* ni bertujuan untuk memberikan konstrain pada stasiun pengamatan dan stasiun IGS. Stasiun pengamatan diberikan nilai konstrain yang besar dan stasiun IGS diberikan konstrain yang kecil. Pemberian nilai konstrain yang besar pada stasiun pengamatan mengakibatkan bobot menjadi kecil sehingga perubahan nilai koordinat besar. Sedangkan pemberian nilai konstrain yang kecil pada stasiun IGS mengakibatkan bobot stasiun IGS menjadi besar sehingga perubahan koordinatnya menjadi kecil (Panuntun 2012). Hasil *editing file sittbl*. ditunjukkan oleh Gambar 3.12.

SITE	FIX	--COORD.CONSTR.--
ALL	NNN	100. 100. 100.
<< IGS14 core sites >>		
AREQ	NNN	0.050 0.050 0.050
ARTU	NNN	0.050 0.050 0.050
ASC1	NNN	0.050 0.050 0.050
BADG	NNN	0.050 0.050 0.050
BAHR	NNN	0.050 0.050 0.050
CHAT	NNN	0.050 0.050 0.050
CHPI	NNN	0.050 0.050 0.050
CKIS	NNN	0.050 0.050 0.050
COCO	NNN	0.050 0.050 0.050
CR01	NNN	0.050 0.050 0.050
DAEJ	NNN	0.050 0.050 0.050
DARW	NNN	0.050 0.050 0.050
DAV1	NNN	0.050 0.050 0.050
DRAO	NNN	0.050 0.050 0.050
FAIR	NNN	0.050 0.050 0.050
GLPS	NNN	0.050 0.050 0.050
GODE	NNN	0.050 0.050 0.050
GOUG	NNN	0.050 0.050 0.050
GUAM	NNN	0.050 0.050 0.050

Gambar 3. 12 Cuplikan *File sittbl*.

5. *Sestbl*.

File ini berisi skenario untuk strategi pengolahan yang akan dijalankan oleh GAMIT. Terdapat beberapa pengaturan yang perlu diperhatikan menyesuaikan data pengamatan dan proses pengolahan yang diinginkan. Hasil *editing* yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.13. Detail *file sestbl*. dapat dilihat pada Lampiran 1.d.


```

Choice of Experiment = BASELINE      : BASELINE/RELAX./ORBIT
Type of Analysis = 1-ITER           : 1-ITER(autcln prefit and conditional redo) / 0-ITER (no postfit autcln) / PREFIT
AUTCLN redo = Y                    : Y/N; 1/D solve only if needed, assume 'Y' if Type of analysis = 1-ITER
Choice of Observable = LC_AUTCLN    : LC_AUTCLN (default), LC_HELP (codeless L2), L1_ONLY (L1 sola from dual freq),
                                     LC_HELP (codeless L2), L1_ONLY (L1 sola from dual freq),
                                     LC_HELP (codeless L2), L1_L2_INDEPENDENT (L1 + L2 from dual freq),
                                     L1L2 (same as L1_L2_INDEPENDENT but with ion constraint);
                                     L2 RECEIVER (must add 'lonely' in autcln.cnd);
Station Error = ELEVATION 10.5      : 1-way L1, a**2 + (b**2)/(sin(elev)**2) in mm; default = 10.0;
Satellite Error = UNIFORM 0.        : 3 way L1 in mm (added quadratically to station error); default = 0.;
AUTCLN reweight = Y                : Y/N; reweight data from autcln rms; replaces 'Use N-file' in releases < 10.32
Declination factor = 4              : FOR SOLVE, default = 1
Quick-pre declination factor = 10    : 1st iter or autcln pre, default same as Declination factor
AUTCLN Command file = autcln.cnd    : for 1st soln, defaults same as choice of observable
AUTCLN Postfit = LC_ONLY            : Assume 'Y' if Type of analysis = 1-ITER' (autcln.cnd.postfit file also)
Delete eclipse data = POST          : ALL/NO/POST (default = NO)
SCANDM control = FULL              : BOTH (default) / NONE/FIRST/FULL/IFRAD see manual sec. 5.2
Iteration = MPILES                 : CSILES / MPILES (default)

Ionospheric Constraints = 0.0 mm + 8.00 ppm
ambiguity resolution WL = 0.15 0.15 10000. 99. 15000. ; for LC_HELP, ignored for LC_AUTCLN
ambiguity resolution RL = 0.20 0.15 10000. 99. 15000. ; allow long baselines with LC_AUTCLN

Zenith delay estimation = Y         : yes/no (default No)
interval zen = 2                   : 2 hrs = 13 knots/day (default 1s 1ZD per day)
Zenith Constraints = 0.50          : zenith-delay a priori constraint in meters (default 0.5)
Zenith Variation = 0.02 100.      : zenith-delay variation, low in meters/par(100), hrs (default .02 100.)
Elevation Cutoff = 10              : default 0 to use value in autcln.cnd
Atmospheric gradients = Y         : yes/no (default No)
Number gradients = 2               : number of gradient parameters per day (N5 or E5); default 1
Gradient constraints = 0.03        : gradients at 10 deg elevation in meters; default 0.03 m

update T/ files = LC_ONLY          : T_AND_L (default), T_ONLY, L_ONLY, NONE
update tolerance = .3              : minimum adjustment for updating L-file coordinates, default .3 m

net obs source = GPT 50            : Hierarchical list with humidity value at the end; e.g. RNK UFL GPT 50 ; default GTP 50
                                     1P (humid value) = 0, use RNK_UFL(VND1), or GPT2 1P available

```

Gambar 3. 13 Cuplikan Hasil *Editing File sestbl*.

Pada *editing sestbl*, ini dilakukan untuk mendapatkan pengolahan yang optimal sehingga perlu penentuan parameter-parameter yang tepat. Pengolahan kali ini menggunakan *choice of experiment* = *baseline* karena lokasi dari titik-titik pengamatan kurang dari 100 km. Pengaturan lain pada pemilihan *cut of elevation* = 10° hal ini sesuai dengan standar stasiun IGS. Lalu penentuan pemodelan koreksi dengan pilihan *use otl.grid* = *Y*, *use atml.grid* = *Y*, dan *use atl.grid* = *Y* karena pada penelitian ini memakai data koreksi pasut, atmosfer, dan pemodelan cuaca. Lalu dipakai pilihan *Choice of Observable* = *LC_AUTCLN* dikarenakan kombinasi yang ingin dipakai adalah kombinasi liner gelombang LC atau L3, solusi final *solve* menggunakan parameter ambiguitas, dan resolusi ambiguitas *wideline* (WL) yang dihasilkan oleh *autcln* menggunakan data *pseudorange* (Anggarini 2014).

6. *Process.default*.

File ini berupa kontrol untuk penentuan direktori yang akan digunakan, pengaturan ITRF, *file* navigasi yang digunakan, dan mengenai pengaturan sistem pada komputer. Hasil editing yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.14. Detail *file process.default* dapat dilihat pada Lampiran 1.e.

```

#GAMIT
# Set sampling interval, number of epochs, and start time for processing
set sInt = '30'
set nEpc = '2800'
set stime = '0 0'
# Variables for updating tables
set stInF_unlque = ""
set stInF_nosort = "-nosort"
set stInF_slthgt = "2.00"
# Set "Y" to use RINEX header coordinates not in lfile or apr file
set use_rxc = "N"
# Broadcast orbits
set brdc = 'brdc'
# Minimum x-file size to be processed (Def. 300 blocks; most OS use 1 Kb blocks)
set mIntr = '300'
# Set search window for RINEX files which might contain data for day - default check the previous day
set rx_doy_plus = 0
set rx_doy_minus = 1
# Default globk_apr file
set aprf = 'trf4Apr'
# Set compress (copts), delete (dopts) and archive (aopts) options. (Don't forget to set the archvpth.)
# Possible d, c, and a opts: D, H, ao, ac, as, B, c, d, e, g, h, l, j, k, l, M, O, P, q, t, x, ps, all
set dopts = { }
set copts = { x k ao }
set aopts = { }
# Set the rinex ftp archives (defined in ftp_info) you would like to look for data in.
# (Default archives searched are: sopac, cddis and unavco).
set rInex_ftpSites = {sopac cddis unavco lgnl}
set theIon_ftp_archives
set theIon_ftpSites = {lgnl cddis}

```

Gambar 3. 14 Cuplikan Hasil *Editing process.default*.

Selanjutnya, dilakukan link terhadap file *ocean tide loading (otl.grid)*, *atmospheric loading (atml.grid)*, dan pemodelan cuaca (*map.grid*). Hal ini dilakukan untuk mengganti file bawaan GAMIT yang belum diperbarui. Sebelum dilakukan perintah *link*, file pemodelan yang sebelumnya telah berada di folder */tables* perlu dihapus terlebih dahulu. Selanjutnya, pada folder */tables* dapat dilakukan perintah berikut:

ln -s ~/(lokasi dari file tambahan)/atmdisp_cm_yyyy ./atml.grid

ln -s ~/(lokasi dari file tambahan)/otl_FES2004.grid ./otl.grid

ln -s ~/(lokasi dari file tambahan)/vmf1grd.2016 ./map.grid

Setelah semua file kontrol dilakukan *editing*, langkah selanjutnya adalah memastikan bahwa semua data yang diperlukan telah lengkap dan pengaturan telah sesuai.

3.3.5. Pengolahan Data dengan GAMIT

Pengolahan data dengan GAMIT dapat dilakukan secara otomatis dengan fitur *automatic batch processing* yang berarti memerintahkan GAMIT menjalankan proses *batch* yang terdiri dari beberapa program yaitu ARC, YAWTAB, MODEL, AUTCLN, CFMRG, dan SOLVE. Proses ini dijalankan dengan perintah berikut:

sh_gamit -s <yyy> <d1 dn> -expt <expt> -orbit IGSF -pres ELEV -met -ion

dimana <yyy> merupakan 4 karakter tahun pengamatan, **d1** merupakan doy pertama dan **dn** merupakan doy terakhir dari pengamatan pada tahun tersebut, dan <expt> merupakan direktori tempat data pengamatan yang diolah. Sh_gamit akan melakukan beberapa hal yaitu mengatur struktur direktori untuk GAMIT, mendapatkan tabel dan data dari beberapa arsip di seluruh dunia (jika diatur untuk online), mengkonversi raw menjadi rinex jika diperlukan, menjalankan program GAMIT dan menghasilkan sky-plot data fase untuk mengecek kualitas data (Prasidya 2015).

Pengolahan data pengamatan dengan GAMIT menghasilkan beberapa file berikut:

1. Q-file, memuat semua informasi hasil pengolahan, dua diantaranya adalah nilai *fract* dan *postfit nrms*.
2. H-files, memuat solusi *loosely-constraint* berupa matriks varian-kovarian dari koordinat stasiun, parameter rotasi bumi dan parameter orbit.
3. Sh_gamit<ddd>.summary, berisi ringkasan dari pengolahan dengan GAMIT yang memuat nilai *prefit nrms* dan *postfit nrms* serta nilai *WL and NL ambiguity fixed*.
4. Autcln.summary-files, yang terdiri atas autcln.prefit.sum dan autcln.postfir.sum yang berisi mengenai data statistik dari hasil pengolahan.

3.3.6. Evaluasi Hasil Pengolahan GAMIT

Pada tahap ini *file* hasil pengolahan dievaluasi dengan melihat nilai *postfit nrms* dan nilai *fract* yang terdapat pada Q-files masing-masing doy pada semua proyek. Pengolahan GAMIT diterima apabila nilai *potfit nrms* < 0,25 dan nilai *fract* <10 pada masing-masing *doy* (Prasidya 2015).

Apabila kedua syarat tidak terpenuhi, maka dilakukan pengolahan ulang dengan menerapkan perlakuan tertentu terhadap data. Nilai *fract* >10 bisa dikarenakan oleh adanya kesalahan kasar, nilai apriori koordinat belum benar, atau *constraint* yang diberikan

kurang tepat. Adapun nilai $postfit\ nrms > 0,25$ bisa dikarenakan oleh adanya kesalahan saat pemodelan, masih adanya kesalahan yang belum terdistribusi merata, atau adanya *cycle slips* yang belum tersolusi dengan baik (Herring dkk. 2010). Apabila syarat syarat telah terpenuhi, maka solusi *h-files* bisa dipakai dalam proses selanjutnya yaitu pengolahan dengan GLOBK.

3.3.7. Persiapan Direktori Kerja untuk Pengolahan GLOBK

Pada tahap ini dilakukan pembuatan direktori tambahan yang dibutuhkan untuk menyimpan data dan untuk menyimpan hasil keluaran dari pengolahan GLOBK. Folder yang dibutuhkan pada pengolahan GLOBK adalah folder */hfiles*, */gsoln*, */glbf*, */hgamit* dan */tables*. Karena folder */gsoln* dan folder */glbf* telah ada setelah selesai proses **sh_gamit**, sehingga yang perlu dibuat adalah folder */hfiles* dan */hgamit*. Semua folder ini diletakkan sejajar dengan folder pengolahan GAMIT, dibawah folder */tahun*. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing folder yang digunakan:

1. Folder */hfiles* digunakan untuk menyimpan data *hfiles* global yang telah diunduh dari halaman *website*.
2. Folder */hgamit* digunakan untuk menyimpan *hfiles* semua *doy* hasil pengolahan GAMIT. Data *hfiles* pada folder ini diisi dengan melakukan proses *link* terhadap *hfiles* GAMIT yang ada di setiap folder */doy*. Perintah yang digunakan adalah **ln -s ../???/h<yyyy>a.***.
3. Folder */glbf* digunakan untuk tempat menyimpan hasil konversi dari *hfiles* menjadi data biner dengan format *.glx dan *.glr.
4. Folder */gsoln* berisi file *command globk_comb.cmd* dan *glogr_comb.cmd*. Folder ini menjadi tempat penyimpanan dari hasil pengolahan GLRED dan GLOBK.
5. Folder */tables* digunakan untuk tempat file-file kontrol seperti pada pengolahan GAMIT dan ditambahkan file *pmu.usno*, *stab_site.global*, dan *IGS08_disq.eq* dengan perintah *.cmd.

3.3.8. Konversi *hfiles* ASCII menjadi *hfiles* Biner

Proses konversi ini dilakukan terhadap *hfiles* seri "a" dengan nama *file h<tahun>.<day>* hasil keluaran GAMIT yang memiliki format ASCII. Konversi ini dilakukan karena GLOBK hanya bisa membaca file berformat biner. Proses konversi ini dapat dilakukan dengan perintah sebagai berikut:

htoglb <directory output> <ephemeris file> <input file>

Pada penelitian ini *directory output* yaitu folder */glbf* yang telah dibuat sebelumnya. Sedangkan *ephemeris file* adalah file berekstensi **.svs* yang terdapat pada folder */tables* pada masing-masing proyek pengolahan. Proses ini akan menghasilkan *file* berekstensi **.glx* yang merupakan solusi *bias-fixed* dan *file* berekstensi **.glr* yang merupakan solusi *bias-free*. Selanjutnya, untuk masuk pada proses pengolahan GLOBK, *file* yang digunakan adalah *file* dengan ekstensi **.glx* yang merupakan solusi *bias-fixed*. Namun, perangkat lunak GLOBK tidak bisa membaca *file* dengan ekstensi **.glx*. GLOBK hanya dapat membaca *file* dengan ekstensi **.gdl*. Oleh karena itu, diperlukan konversi data **.glx* menjadi format **.gdl* (Ulinuha 2015). Proses konversi ini dapat dilakukan dengan perintah **ls ../glbf/*.glx > (yyyy).gdl**. Hasil dari konversi ini berupa *file* berformat **.gdl* yang tersimpan pada folder */gsoln* masing-masing proyek pengolahan. Kemudian dilakukan *editing file* **.gdl* tersebut dengan memberikan bobot pada stasiun IGS yang digunakan. Dalam penelitian ini bobot yang diberikan adalah 1,0. Bobot ini menunjukkan skala pada diagonal matriks varian-kovarian dalam *file* **.gdl*. *file* tersebut juga ditambah dengan tanda plus (+) yang menunjukkan hubungan satu sesi/hari (Panuntun 2012). Adapun contoh dari hasil editing yang dilakukan ditunjukkan oleh Gambar 3.15.

```

../glbf/h2002081200_2020.glx 1.0 +
../glbf/h2002081200_igs1.glx 1.0 +
../glbf/h2002081200_igs2.glx 1.0 +
../glbf/h2002081200_igs3.glx 1.0 +
../glbf/h2002081200_igs4.glx 1.0 +
../glbf/h2002081200_igs5.glx 1.0 +|
../glbf/h2002081200_igs6.glx 1.0 +
../glbf/h2002081200_igs7.glx 1.0 +
../glbf/h2002081200_igs8.glx 1.0 +
../glbf/h2002081200_igs9.glx 1.0 +
../glbf/h2002081200_igsa.glx
../glbf/h2002091200_2020.glx 1.0 +
../glbf/h2002091200_igs1.glx 1.0 +
../glbf/h2002091200_igs2.glx 1.0 +
../glbf/h2002091200_igs3.glx 1.0 +
../glbf/h2002091200_igs4.glx 1.0 +
../glbf/h2002091200_igs5.glx 1.0 +
../glbf/h2002091200_igs6.glx 1.0 +
../glbf/h2002091200_igs7.glx 1.0 +

```

Gambar 3. 15 Hasil Editing File *.gdl

3.3.9. *Daily Processing dan Global Processing*

Tahap ini merupakan tahapan pengolahan dengan modul GLOBK. Pengolahan ini dijalankan dengan perintah *glorg_comb.cmd* dan *globk_comb.cmd*. Kedua *file* ini didapatkan dengan menyalin dari *~/gg/tables* ke folder */gsoln*. Sebelum dijalankan, kedua *file* ini perlu dilakukan *editing* beberapa masukan perintah dalam skenarionya menyesuaikan dengan data dan pengolahan yang diinginkan. Selanjutnya, dapat dilakukan pengolahan *hfiles* secara harian untuk mendapatkan koordinat harian dan *coordinate repeatabilities* pada suatu stasiun. Pengolahan ini dilakukan dalam folder */gsoln*. Perintah untuk menjalankan proses ini adalah sebagai berikut:

```
sh_glred -s <yyyy> <d1> <yyyy> <d2> -expt <expt> -opt H G E
```

Hasil keluaran dari proses GLRED ini adalah *file* dengan *.log, *.prt, *.org dan keluaran plot *time series* dengan *software* GMT

(Lampiran 2.) disertai dengan nilai wrms dan nilai simpangan baku setiap hari perulangannya.

Selanjutnya adalah tahap *Global Processing* untuk memperoleh koordinat rerata stasiun dengan ketelitian yang lebih tinggi. Pengolahan ini sebelumnya distabilisasi terlebih dahulu dengan mengikatkannya terhadap kerangka referensi ITRF menggunakan modul GLORG. Kemudian dijalankan GLOBK untuk mengestimasi koordinat rerata. *Global Processing* ini dapat dilakukan dengan perintah sebagai berikut:

```
globk <std out> <print file> <log file> <expt list (*.gdl)>
<command file>
```

Hasil keluaran dari proses ini berupa file dengan ekstensi *.log, *.prt, dan *.org yang berisi nilai koordinat dan simpangan baku dari setiap stasiun. GLRED dan GLOBK adalah dua modul yang hampir sama. Perbedaannya adalah pada GLRED mengkombinasikan menurut sesi atau hariannya, sedangkan GLOBK mengkombinasikan seluruh *hfiles*.

Setelah kedua proses ini selesai dijalankan dan telah mendapatkan *file* keluaran pengolahan, maka dapat dilakukan evaluasi dengan melihat nilai wrms yang merepresentasikan kepresisian solusi. Batasan nilai wrms yang dianggap presisi adalah kurang dari 10 (Panuntun 2012). Selain itu dilakukan evaluasi juga terhadap standar deviasi untuk melihat ketelitian hasil pengolahan setiap stasiun. Dalam Ulinnuha (2015), jika standar deviasi dalam fraksi desimeter, maka perlu dilakukan pengolahan ulang. Standar deviasi yang besar menunjukkan ketelitian yang kurang baik.

3.3.10. Perhitungan Kecepatan Pergeseran dan Plotting

Setelah koordinat dari minimal dua kala didapatkan, maka perhitungan kecepatan dapat dilakukan. Perhitungan kecepatan dengan GLOBK dapat dijalankan dengan *command file* yang berbeda dengan pengolahan global pada tahap sebelumnya. Dalam

tahap ini perlu disiapkan tiga direktori utama, yaitu */vsoln*, */glbf*, dan */tables*. Folder */vsoln* digunakan untuk tempat perhitungan kecepatan, penyimpanan solusi vektor kecepatan, dan untuk menyimpan *command file* yaitu *globk_vel.cmd* dan *glorg_vel.cmd*. Perhitungan kecepatan ini dapat dilakukan dengan menjalankan perintah sebagai berikut:

```
globk <std out> <print file> <log file> <expt-list(*.gdl)>  
globk_vel.cmd
```

Hasil keluaran perintah ini adalah *file *.org* yang diantaranya berisi nilai kecepatan pergeseran stasiun dalam satu tahun (m/tahun) dan simpangan bakunya. Setelah diketahui nilai kecepatan dan simpangan bakunya, maka dapat dilakukan plot kecepatan pergeseran setiap stasiun.

Kecepatan yang telah dihitung sebelumnya, dapat diplotkan pada peta yang tersedia dalam perangkat lunak GMT. *Plotting* ini dapat dijalankan dengan perintah berikut:

```
sh_plotvel -f <nama file>.org -R <min_long/max_long/  
min_lat/max_lat> -arrow_value 10 -arrowcolor1 255/0/0 -ps  
<nama file output>
```

Hasil keluaran dari perintah ini adalah *file* berekstensi **.ps* yang menunjukkan hasil plot vektor kecepatan horizontal stasiun.

3.3.11. Perhitungan Regangan

Perhitungan regangan dilakukan dengan metode *delaunay triangle method*. 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 sesuai dengan persamaan pada subbab 2.5.2 mengenai analisis regangan.

3.3.12. Analisis Hasil Pengolahan

Setelah data-data penelitian selesai diolah, selanjutnyaaa hasil pengolahan tersebut akan dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui aktivitas sesar Kendeng dan deformasi yang terjadi berdasarkan data pengamatan GPS dalam kurun waktu 2017-2020.

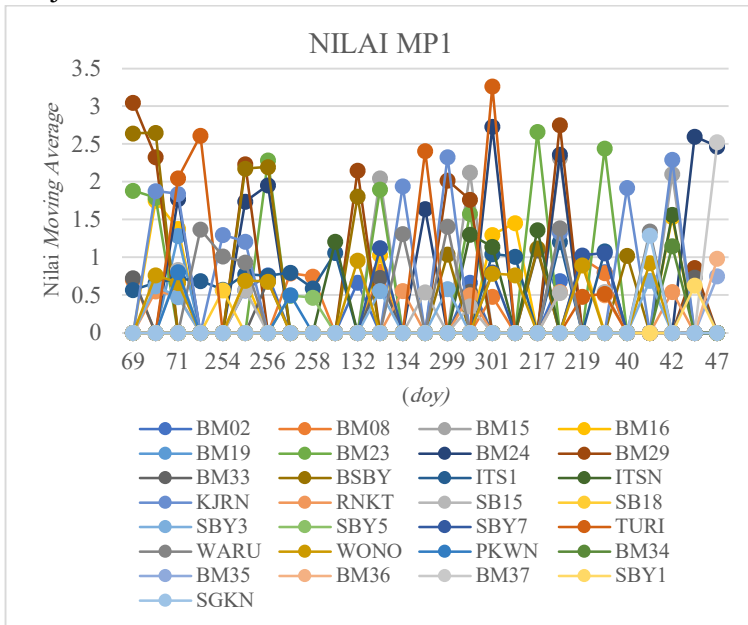
3.3.13. Penyusunan Laporan

Tahapan akhir dari penelitian ini adalah penyajian penelitian dalam bentuk laporan.

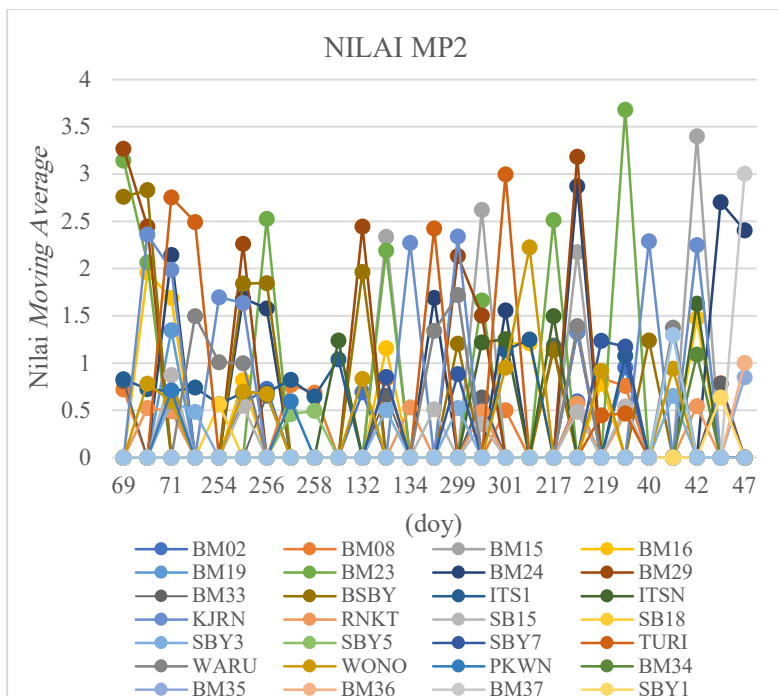
“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Berdasarkan Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dapat diketahui beberapa informasi dari data setiap titik pengamatan. Didapatkan informasi yang bervariasi mengenai kondisi antar titik pengamatan. Simbol-simbol yang ditunjukkan pada gambar di atas menunjukkan kondisi yang berbeda-beda pada setiap data pengamatan, diantaranya simbol “o” yang menunjukkan perekaman data fase dan kode L1, C/A, L2, dan P2. Simbol “I” menunjukkan adanya kesalahan *ionospheric delay*. Simbol “c” menunjukkan adanya kesalahan jam satelit yang terdeteksi oleh semua satelit. Simbol “M” menunjukkan adanya kesalahan efek *multipath* MP1 dan MP2.

Pada proses kontrol kualitas data pengamatan menggunakan TEQC, didapatkan juga nilai MP1 dan MP2 dari setiap stasiun yang digunakan sebagai evaluasi kualitas data pengamatan ini yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



Gambar 4. 2 Nilai MP1 Data Pengamatan



Gambar 4. 3 Nilai MP2 Data Pengamatan

Nilai MP1 menunjukkan efek *multipath* pada sinyal L1, sedangkan nilai MP2 menunjukkan efek *multipath* pada sinyal L2. Efek *multipath* diklasifikasikan baik apabila nilainya kurang dari 0,5 m (Herring dkk. 2006). Rangkuman dari hasil TEQC menunjukkan bahwa sebagian besar data yang digunakan memiliki nilai MP1 dan MP2 yang besar melebihi 0,5. Hal ini menandakan bahwa di sekitar lokasi titik pengamatan masih banyak terdapat gangguan. Kesalahan *multipath* ini dapat disebabkan oleh adanya bidang horisontal dan vertikal, seperti bangunan tinggi, kendaraan, permukaan air, dan pohon (Ulinuha 2015). Melihat kondisi di lapangan memang sebagian besar titik banyak dikelilingi oleh pohon-pohon besar dan juga bangunan-bangunan (Lampiran 4).

Adapun titik pengamatan yang memiliki data yang cukup stabil yaitu BM02, BM08, SBY3, dan SB15. Titik-titik ini memiliki nilai MP1 dan MP2 yang berkisar pada rentang 0,48 sampai dengan 0,73 disetiap kala. Sedangkan titik yang memiliki nilai MP1 dan MP2 yang paling besar yaitu BM23, BM24, BM29 dan TURI. Rentang nilainya rata-rata berada pada 1,5 sampai dengan 2,5. Adapun pada titik TURI mengalami perubahan nilai MP1 dan MP2 yang signifikan menjadi 0,45 pada kala 5 dan kala 6. Penurunan nilai *moving average* ini dikarenakan pada saat pengukuran di kala 5 dan 6 pohon-pohon di sekitar lokasi titik pengamatan telah dilakukan penebangan sehingga meminimalisir efek *multipath*.

Tidak ada model umum untuk menentukan besar efek *multipath*, karena besar efek *multipath* ini dipengaruhi oleh jenis dan posisi gangguan, posisi satelit, panjang gelombang sinyal GPS, kekuatan sinyal, dan lain-lain. Efek *multipath* pada satelit juga tidak berpengaruh secara signifikan terhadap data pengamatan, sehingga efek *multipath* ini dapat diabaikan (Abidin 1995). Oleh karena itu, data pengamatan ini tetap digunakan dalam penelitian ini. Namun, hasil kontrol mengenai *multipath* ini menjadi pertimbangan dalam menganalisis hasil yang diperoleh.

Parameter lain yang dapat dievaluasi yaitu prosentase perekaman penuh, yang mana didapat dari perbandingan antara *complete observation* dengan *possible observation* pada *elevation mask* $> 10^\circ$. Parameter ini dinyatakan dalam persen (%). Perekaman penuh merupakan sinyal yang bisa direkam secara sempurna dan bisa tersimpan menjadi data perekaman biner (Prasidya 2015). Dalam satu hari data pengamatan biasanya terdapat data yang tidak dipakai atau data yang dibuang. Pembuangan data ini dapat disebabkan oleh data pengamatan dibawah *elevation mask*, hilangnya kode *phase*, dan/atau buruknya sinyal L1 dan L2 (Estey dan Stuart 2014 dalam Ulinnuha 2015). Adapun prosentase dari perekaman penuh ditunjukkan oleh Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.6.

Tabel 4. 1 Tabel Perekaman Data Kala 1

Nama Titik	<i>Complete Observation</i>	<i>Deleted Observation</i>	<i>Possible Observation</i>	Prosentase Perekaman Penuh
BM08	14453	409	14862	97%
BM16	6921	820	7741	89%
BM16	7402	989	8391	88%
BM19	18845	1233	20078	94%
BM23	10302	1425	11727	88%
BM23	18650	3243	21893	85%
BM24	10651	4961	15612	68%
BM29	9936	1769	11705	85%
BM29	18907	3355	22262	85%
BM33	9152	5809	14961	61%
BSBY	7833	3851	11684	67%
BSBY	13135	6827	19962	66%
IB3I	5128	3178	8306	62%
ITS1	13541	1913	15454	88%
ITS1	33414	4824	38238	87%
ITS1	28573	3816	32389	88%
ITS1	30944	4414	35358	88%
KJRN	7314	3654	10968	67%
KJRN	3208	1850	5058	63%
PKWN	18004	1286	19290	93%
RNKT	7312	338	7650	96%
RNKT	11879	779	12658	94%
SB15	11648	6996	18644	62%
SBY3	8532	432	8964	95%
SBY3	10316	661	10977	94%
TURI	2113	378	2491	85%
TURI	12465	2084	14549	86%
WARU	15344	1277	16621	92%
WONO	7421	4839	12260	61%
WONO	2930	2159	5089	58%

Tabel 4. 2 Tabel Perekaman Data Kala 2

Nama Titik	<i>Complete Observation</i>	<i>Deleted Observation</i>	<i>Possible Observations</i>	Prosentase Perekaman Penuh
BM02	7963	34	7997	99,6%
BM02	11134	46	11180	99,6%
BM08	12390	164	12554	98,7%
BM08	5712	297	6009	95,1%
BM16	17627	1827	19454	90,6%
BM23	13899	2437	16336	85,1%
BM24	5978	319	6297	94,9%
BM24	10876	743	11619	93,6%
BM29	11165	1614	12779	87,4%
BM33	19106	834	19940	95,8%
BSBY	40109	3233	43342	92,5%
BSBY	38852	3134	41986	92,5%
ITS1	15945	1744	17689	90,1%
ITS1	33787	3652	37439	90,2%
ITS1	33353	3694	37047	90,0%
ITS1	33338	3740	37078	89,9%
ITS1	12068	1960	14028	86,0%
KJRN	32578	2824	35402	92,0%
KJRN	6293	528	6821	92,3%
PKWN	11883	772	12655	93,9%
RGKT	17578	401	17979	97,8%
SB03	16231	628	16859	96,3%
SB03	3313	18	3331	99,5%
SB05	12752	197	12949	98,5%
SB05	5030	182	5212	96,5%
SB07	19029	983	20012	95,1%
SB15	14650	71	14721	99,5%
SB18	15926	706	16632	95,8%
WARU	12544	996	13540	92,6%
WARU	3756	195	3951	95,1%
WONO	10693	250	10943	97,7%
WONO	7629	81	7710	98,9%

Tabel 4. 3 Tabel Perekaman Data Kala 3

Nama Titik	<i>Complete Observation</i>	<i>Deleted Observation</i>	<i>Possible Observations</i>	Prosentase Perekaman Penuh
BM02	34947	2586	37533	93,1%
BM08	37320	1479	38799	96,2%
BM15	31679	2855	34534	91,7%
BM16	35987	3614	39601	90,9%
BM23	25085	5727	30812	81,4%
BM24	30260	2582	32842	92,1%
BM29	16937	4517	21454	78,9%
BM33	39135	2578	41713	93,8%
BSBY	32103	3697	35800	89,7%
ITS1	29397	3664	33061	88,9%
ITSN	55413	2932	58345	95,0%
KJRN	32949	2745	35694	92,3%
RNKT	13395	874	14269	93,9%
SB15	33577	1034	34611	97,0%
SBY3	37948	1185	39133	97,0%
SBY7	35674	1689	37363	95,5%
TURI	25347	5379	30726	82,5%
WARU	30591	3183	33774	90,6%
WONO	31345	2948	34293	91,4%

Tabel 4. 4 Tabel Perekaman Data Kala 4

Nama Titik	<i>Complete Observation</i>	<i>Deleted Observation</i>	<i>Possible Observations</i>	Prosentase Perekaman Penuh
BM02	3602	316	3918	91,9%
BM08	15302	357	15659	97,7%
BM15	19222	3123	22345	86,0%
BM16	15552	1621	17173	90,6%
BM16	6475	432	6907	93,7%
BM23	14052	4247	18299	76,8%
BM24	13961	808	14769	94,5%
BM29	16114	2181	18295	88,1%
BM29	4401	725	5126	85,9%
BM33	29765	1322	31087	95,7%
BSBY	17647	1250	18897	93,4%
ITS1	28584	3452	32036	89,2%
ITS1	5934	511	6445	92,1%
ITSN	21880	1364	23244	94,1%
ITSN	11736	303	12039	97,5%
KJRN	14581	1667	16248	89,7%
RNKT	20043	754	20797	96,4%
SB15	24692	906	25598	96,5%
SBY3	17284	1034	18318	94,4%
SBY7	14903	670	15573	95,7%
TURI	12863	1569	14432	89,1%
WARU	14754	1716	16470	89,6%
WONO	12783	714	13497	94,7%
WONO	8827	230	9057	97,5%

Tabel 4. 5 Tabel Perekaman Data Kala 5

Nama Titik	<i>Complete Observation</i>	<i>Deleted Observation</i>	<i>Possible Observation</i>	Prosentase Perekaman Penuh
BM02	25138	471	25609	98,2%
BM08	20597	17	20614	99,9%
BM15	16576	2459	19035	87,1%
BM16	11799	749	12548	94,0%
BM23	13022	1055	14077	92,5%
BM24	26413	578	26991	97,9%
BM29	12229	470	12699	96,3%
BM33	30417	562	30979	98,2%
BSBY	19182	474	19656	97,6%
ITS1	34770	3563	38333	90,7%
ITSN	32372	2183	34555	93,7%
KJRN	16632	1468	18100	91,9%
RNKT	24154	1035	25189	95,9%
SB03	24862	586	25448	97,7%
SB15	18478	1282	19760	93,5%
SBY7	21729	48	21777	99,8%
TURI	20959	226	21185	98,9%
WARU	14951	1818	16769	89,2%
WONO	19840	486	20326	97,6%

Tabel 4. 6 Tabel Perekaman Data Kala 6

Nama Titik	<i>Complete Observation</i>	<i>Deleted Observation</i>	<i>Possible Observations</i>	Prosentase Perekaman Penuh
BM02	21709	758	22467	96,6%
BM08	19793	702	20495	96,6%
BM15	9110	78	9188	99,2%
BM16	12221	88	12309	99,3%
BM23	12788	3324	16112	79,4%
BM24	17404	1108	18512	94,0%
BM24	19265	1498	20763	92,8%
BM29	20014	870	20884	95,8%
BM33	19307	1593	20900	92,4%
BM34	14578	680	15258	95,5%
BM35	19678	156	19834	99,2%
BM36	18764	604	19368	96,9%
BM37	14162	312	14474	97,8%
BSBY	15380	658	16038	95,9%
ITS1	30724	2200	32924	93,3%
ITSN	24446	1846	26292	93,0%
KJRN	13970	1218	15188	92,0%
KJRN	13712	879	14591	94,0%
RNKT	18312	375	18687	98,0%
RNKT	18255	843	19098	95,6%
SB15	20554	745	21299	96,5%
SBY1	20693	1030	21723	95,3%
SBY3	17635	152	17787	99,1%
SBY7	17655	888	18543	95,2%
SGKN	15211	337	15548	97,8%
TURI	38921	1391	40312	96,5%
WARU	12206	497	12703	96,1%
WONO	33375	1475	34850	95,8%

Dari Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.6 diatas menunjukkan bahwa secara umum prosentase perekaman data penuh mencapai 80%. Memperhatikan hasil evaluasi dari nilai MP1 dan MP2 bahwa terdapat beberapa titik pengamatan yang memiliki nilai diatas 1 bahkan mencapai angka 2. Diantara titik-titik pengamatan tersebut didapatkan bahwa nilai MP1 dan MP2 pada BM23, BM24, BM29, dan TURI adalah titik yang memiliki efek *multipath* yang paling besar. Namun, jika dilihat dari parameter perekaman data keempat titik tersebut memiliki prosentase perekaman data penuh lebih dari 80%, sehingga dapat dikatakan bahwa data pengamatan ini masih memiliki kualitas yang cukup baik, meskipun masih mengandung efek *multipath*.

Selain kedua parameter yang dijelaskan diatas, terdapat parameter lain yang dijadikan evaluasi dari data pengamatan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu kesalahan akibat efek *ionospheric delay*. Kesalahan ini dapat mempengaruhi kecepatan sinyal GPS, sehingga mempengaruhi jarak ukuran. Namun, dalam pengolahan data pengamatan menggunakan GAMIT/GLOBK kesalahan *ionospheric* telah direduksi dengan pemberian koreksi pengamatan, yaitu koreksi atmosfer, koreksi pasut, dan pemodelan cuaca.

Parameter selanjutnya yaitu kesalahan karena jam satelit dan *receiver*, yang mana kesalahan ini sering kali muncul pada data pengamatan yang disimbolkan dengan "c". Kesalahan jam satelit disebabkan oleh jam yang berada di satelit GPS mengalami penyimpangan, seperti terjadinya *offset* waktu dan frekuensi. Sedangkan kesalahan jam *receiver* disebabkan oleh ketelitian jam yang berada pada *receiver* GPS lebih rendah dari pada jam satelit (Abidin 1995). Kedua kesalahan ini dapat mempengaruhi waktu tempuh sinyal GPS sehingga dapat berpengaruh terhadap jarak ukuran. Namun, dalam pengolahan GAMIT/GLOBK kesalahan jam satelit dan *receiver* dihilangkan dengan solusi *double difference*.

Berdasarkan parameter yang terekam pada data pengamatan, diketahui bahwa antar titik pengamatan memiliki kualitas data yang bervariasi. Parameter yang menyebabkan adanya kesalahan pada data telah ditangani dengan pengolahan GAMIT/GLOBK. Sehingga, secara keseluruhan hasil kontrol kualitas data dengan TEQC menunjukkan bahwa data dari penelitian ini dapat digunakan untuk pengolahan selanjutnya, meskipun masih terdapat beberapa data yang mengandung efek *multipath*. Hasil kontrol kualitas data ini dapat menjadi pertimbangan dalam proses analisis hasil yang diperoleh.

4.2. Hasil dan Analisis Pengolahan *Baseline* dan Perataan dengan GAMIT

Pengolahan data pengamatan menggunakan GAMIT menghasilkan beberapa file utama yaitu *q-file*, *h-file*, dan *summary file*. Dari *file* keluaran ini didapatkan mengenai informasi hasil pengolahan yang dapat dijadikan evaluasi. Evaluasi yang pertama yaitu mengenai nilai *fract* yang didapatkan dari *q-files*. Berikut adalah tabulasi nilai *fract* dari hasil pengolahan.

Tabel 4. 7 Nilai Fract Hasil Pengolahan GAMIT

Tahun	DOY	Fract	
		Min	Max
2017	69	-0,9	1,0
	70	-0,7	1,5
	71	-2,5	1,0
	72	-1,8	1,0
	254	-2,7	0,8
	255	-1,9	2,1
	256	-1,0	3,6
	257	-1,2	3,0
	258	-2,5	3,6

Lanjutan Tabel 4. 7

Tahun	DOY	Fract	
		Min	Max
2018	131	-1,8	4,8
	132	-1,7	3,2
	133	-2,1	3,6
	300	-1,6	1,4
	301	-1,5	1,8
	302	-3,8	1,3
2019	217	-1,9	1,2
	218	-1,4	6,0
	219	-3,5	2,1
	220	-1,3	1,2
2020	39	-2,1	1,7
	40	-1,2	1,3
	41	-5,5	5,6
	42	-1,8	1,2
	43	-5,4	1,4
	47	-1,6	4,0

Berdasarkan Tabel 4. 7 menunjukkan bahwa nilai *fract* minimum berada pada *doy* 041 tahun 2020 yaitu -5,5, sedangkan nilai maksimumnya berada pada *doy* 218 tahun 2019 yaitu 6,0. Sehingga, secara keseluruhan nilai *fract* yang dihasilkan pada semua *doy* memiliki nilai kurang dari 10. Hal ini mengindikasikan tidak adanya kesalahan kasar (Herring dkk. 2006). Jadi, pengolahan data pengamatan pada penelitian ini telah memenuhi kriteria nilai *fract*.

Hasil pengolahan GAMIT yang selanjutnya untuk dijadikan evaluasi yaitu nilai *postfit nrms* dan nilai *ambiguity WL fixed* dan *NL fixed*. Nilai *postfit nrms* dan *ambiguity fixed* ini dapat

dilihat pada file **.summary* yang terdapat pada setiap folder *dox*. Berikut tabulasi dari nilai *postfit nrms* dan nilai *ambiguity fixed* hasil dari pengolahan GAMIT.

Tabel 4. 8 Nilai *Postfit nrms* dan *Ambiguity Fixed*

Tahun	DOY	Postfit nrms				WL	NL
2017	69	0,14097	0,15134	0,14086	0,15127	92,80%	76,00%
	70	0,16913	0,17673	0,16908	0,17667	82,50%	53,00%
	71	0,19043	0,19503	0,19021	0,19484	89,20%	58,80%
	72	0,20105	0,20806	0,20083	0,20793	87,90%	70,90%
	254	0,17577	0,18245	0,17574	0,18241	93,00%	74,80%
	255	0,18500	0,19151	0,18474	0,19136	89,50%	80,50%
	256	0,15126	0,15734	0,15103	0,15726	83,40%	65,10%
	257	0,19346	0,20075	0,19327	0,20069	94,50%	85,10%
	258	0,18601	0,19290	0,18548	0,19268	88,50%	80,70%
2018	131	0,19634	0,20313	0,19610	0,20298	95,00%	86,90%
	132	0,24569	0,25035	0,24557	0,25018	94,30%	79,20%
	133	0,17963	0,18591	0,17957	0,18583	89,90%	80,70%
	134	0,19292	0,20005	0,19287	0,19999	92,00%	71,60%
	135	0,19461	0,20167	0,19436	0,20137	93,10%	71,40%
	299	0,19952	0,20459	0,19927	0,20431	95,80%	75,60%
	300	0,19046	0,19569	0,19035	0,19553	87,40%	61,90%
	301	0,19500	0,20159	0,19489	0,20152	85,80%	72,20%
	302	0,19226	0,20082	0,19223	0,20076	89,50%	75,90%
2019	217	0,19142	0,19787	0,19134	0,19780	96,30%	85,40%
	218	0,18696	0,19291	0,18692	0,19284	91,90%	71,60%
	219	0,19716	0,20315	0,19710	0,20307	97,10%	81,10%
	220	0,19209	0,19917	0,19187	0,19901	99,60%	96,10%

Lanjutan Tabel 4. 8

Tahun	DOY	Postfit nrms				WL	NL
2020	39	0,18796	0,19460	0,18752	0,19433	89,70%	77,00%
	40	0,18909	0,19544	0,18894	0,19530	83,90%	76,60%
	41	0,19459	0,19803	0,18718	0,19113	85,40%	61,00%
	42	0,18846	0,19466	0,18830	0,19446	89,60%	59,70%
	43	0,19445	0,20236	0,19408	0,20216	89,90%	74,50%
	47	0,19291	0,19746	0,19255	0,19716	87,00%	65,10%

Berdasarkan Tabel 4. 8 ditunjukkan bahwa *postfit nrms* dan *ambiguity fixed* yang dihasilkan memiliki variasi nilai yang beragam. Standar kualitas *postfit nrms* adalah berkisar $\pm 0,25$, apabila lebih besar dari 0,5 maka terdapat *cycle slips* yang belum dihilangkan atau berkaitan dengan parameter bias ekstra ataupun bisa juga karena terdapat kesalahan dalam melakukan pemodelan (Herring dkk. 2018). Pada penelitian ini, diketahui bahwa pengolahan tahun 2017 memiliki rentang nilai *postfit nrms* antara 0,14 dan 0,20. Adapun pada pengolahan tahun 2018 memiliki rentang nilai antara 0,17 dan 0,25. Tabel 4.8 juga menunjukkan bahwa pengolahan tahun 2019 memiliki rentang nilai *postfit nrms* antara 0,18 dan 0,20. Adapun untuk pengolahan tahun 2020 yang juga memiliki rentang nilai *postfit nrms* antara 0,18 dan 0,20. Sehingga, secara umum proyek pengolahan data pengamatan pada penelitian ini telah memenuhi standar pengolahan GAMIT. Nilai yang dihasilkan menunjukkan bahwa efek *cycle slips* yang ada telah dihilangkan dan tidak terdapat kesalahan dalam pemodelan. Oleh karena pengolahan telah memenuhi standar GAMIT, maka *h-files* keluaran dari pengolahan GAMIT ini dapat dipakai untuk pengolahan lanjutan dengan GLOBK.

4.3. Hasil dan Analisis Koordinat Tereferensi

Proses pengolahan GLOBK menghasilkan solusi koordinat harian dan solusi koordinat rerata yang disajikan dalam koordinat kartesian 3D dan sistem koordinat toposentrik. Keluaran dari proses ini berupa *plot time series* dan *file *.org*. Pada *file *.org* ini terdapat informasi koordinat dan simpangan baku dari setiap stasiun. Adapun nilai koordinat dan simpangan baku titik pengamatan hasil pengolahan GLOBK disajikan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Koordinat dan Simpangan Baku Tahun 2017

Titik	X	σ_x	Y	σ_y	Z	σ_z
	m	m	m	m	m	m
BM02	-2433753,87682	0,01645	5841226,41825	0,03495	-796042,10218	0,00896
BM08	-2441014,47164	0,01169	5837502,05335	0,03337	-801104,81404	0,00901
BM16	-2448981,52571	0,09744	5834103,89299	0,07767	-801523,18822	0,02038
BM19	-2454027,04731	0,05842	5831346,54151	0,09589	-806105,17593	0,02887
BM23	-2435044,12390	0,27449	5840053,67224	0,17952	-800789,81767	0,04468
BM24	-2437795,34408	0,15273	5838462,79389	0,12779	-804046,26526	0,02902
BM29	-2434830,56438	0,56955	5839344,63325	1,05802	-806460,60053	0,13819
BM33	-2439260,79987	0,01120	5837258,40935	0,02235	-808175,58041	0,00595
BSBY	-2444441,97646	0,39931	5836864,71845	0,39167	-795298,61989	0,16548
ITS1	-2451240,70705	0,01247	5832938,80056	0,02945	-803080,89562	0,00618
KJRN	-2449915,21070	0,10415	5834403,92763	0,09921	-796498,96026	0,03761
RNKT	-2447218,86868	0,01127	5833943,08926	0,02428	-808009,08402	0,00659
SB15	-2439874,27714	0,01422	5838549,34442	0,03072	-796935,40560	0,00811
SB18	-2436797,16662	0,00991	5840238,24445	0,02008	-793994,68577	0,00552
SBY3	-2449064,73474	0,00973	5832962,65907	0,01956	-809474,20962	0,00562
SBY5	-2455984,24655	0,01253	5830716,12266	0,02924	-804711,23691	0,00752
SBY7	-2442425,00400	0,01468	5836279,77921	0,03032	-805677,41251	0,00711
TURI	-2445047,75012	3,30426	5836043,43528	1,31099	-799422,13964	0,32639
WARU	-2444291,55648	0,04081	5834894,72760	0,08617	-809998,01356	0,02488
WONO	-2445370,41806	0,01636	5835144,87602	0,04169	-804974,70360	0,01100
PKWN	-2453675,11294	0,01738	5832111,99576	0,03615	-801653,71889	0,01057

Tabel 4. 10 Koordinat dan Simpangan Baku Tahun 2018

Titik	X	σ_x	Y	σ_y	Z	σ_z
	m	m	m	m	m	m
BM02	-2433753,82935	0,01184	5841226,35750	0,02263	-796042,17457	0,01148
BM08	-2441014,37829	0,01520	5837501,85641	0,02945	-801104,87051	0,00998
BM15	-2451565,01488	0,09394	5833512,34186	0,09211	-797941,54811	0,03791
BM16	-2448981,52603	0,04261	5834103,84229	0,06115	-801523,23979	0,03038
BM23	-2435043,97256	0,25551	5840053,60877	0,20361	-800789,96154	0,06456
BM24	-2437796,29512	2,93598	5838461,64767	1,65495	-804045,30568	2,16565
BM29	-2434830,52815	0,89187	5839345,88310	0,82318	-806460,70899	0,14317
BM33	-2439260,81539	0,01367	5837258,46901	0,02588	-808175,63261	0,00924
BSBY	-2444441,88406	0,04455	5836864,72753	0,07636	-795298,66773	0,02046
ITS1	-2451240,83591	0,02598	5832938,94658	0,05635	-803081,05215	0,01269
ITSN	-2451344,02632	0,01815	5832928,19538	0,03717	-802844,03194	0,00976
KJRN	-2449915,35444	0,29118	5834403,84783	0,24283	-796499,02502	0,10489
RNKT	-2447218,80768	0,01407	5833943,04566	0,02684	-808009,15729	0,00872
SB15	-2439874,21815	0,01393	5838549,32266	0,02348	-796935,48273	0,00869
SBY3	-2449064,74131	0,01142	5832962,62133	0,02079	-809474,25762	0,00773
SBY7	-2442424,98537	0,01806	5836279,74304	0,03538	-805677,46361	0,01042
TURI	-2445052,15987	0,59573	5836041,78573	1,10751	-799422,40779	0,11383
WARU	-2444291,54168	0,04744	5834894,72041	0,07867	-809998,07349	0,01636
WONO	-2445370,39195	0,02249	5835144,80591	0,03614	-804974,76230	0,01196

Tabel 4. 11 Koordinat dan Simpangan Baku Tahun 2019

Titik	X	σ_x	Y	σ_y	Z	σ_z
	m	m	m	m	m	m
BM02	-2433753,92208	0,01081	5841226,40882	0,02261	-796042,13524	0,00612
BM08	-2441014,55540	0,00958	5837502,11458	0,01978	-801104,86794	0,00554
BM15	-2451565,05279	0,25403	5833512,33730	0,26440	-797941,50102	0,06230
BM16	-2448981,53060	0,02429	5834103,86000	0,05168	-801523,22816	0,01215
BM23	-2435044,49929	0,67150	5840053,68126	0,37680	-800789,76057	0,10696
BM24	-2437795,29433	0,31168	5838462,77231	0,30234	-804046,29538	0,09488
BM29	-2434830,29082	0,49191	5839345,27863	0,40029	-806460,36585	0,15595
BM33	-2439260,93403	0,01704	5837258,48475	0,03270	-808175,52877	0,00805
BSBY	-2444441,98365	0,03795	5836864,70456	0,07059	-795298,58472	0,01486
ITS1	-2451240,78963	0,02156	5832938,84029	0,05136	-803080,93214	0,01022
ITSN	-2451344,09743	0,01932	5832928,18424	0,04092	-802843,99702	0,00731
KJRN	-2449915,27508	0,02282	5834403,82623	0,04713	-796499,00765	0,00942
RNKT	-2447218,87120	0,01139	5833943,04432	0,02405	-808009,12902	0,00619
SB15	-2439874,32470	0,00911	5838549,35290	0,01820	-796935,43943	0,00494
SBY3	-2449064,75093	0,01199	5832962,60814	0,02383	-809474,24062	0,00613
SBY7	-2442425,08321	0,01131	5836279,78989	0,02186	-805677,43695	0,00549
TURI	-2445052,29311	0,00750	5836041,22370	0,01497	-799422,36255	0,00428
WARU	-2444291,63065	0,02615	5834894,70976	0,05027	-809998,04568	0,01219
WONO	-2445370,44907	0,01546	5835144,82781	0,03108	-804974,73913	0,00861

Tabel 4. 12 Koordinat dan Simpangan Baku Tahun 2020

Titik	X	σ_x	Y	σ_y	Z	σ_z
	m	m	m	m	m	m
BM02	-2433753,19552	0,01094	5841226,67626	0,02203	-796041,78912	0,00588
BM08	-2441014,58331	0,00974	5837502,04367	0,01952	-801104,84758	0,00564
BM15	-2451564,99288	0,24421	5833512,26769	0,26159	-797941,46876	0,04538
BM16	-2448981,49711	0,10243	5834103,82194	0,14935	-801523,20765	0,04508
BM23	-2435044,49258	0,22819	5840054,10488	0,41546	-800789,88430	0,05648
BM24	-2437795,45876	0,24694	5838462,84775	0,19786	-804046,30916	0,05621
BM29	-2434830,65122	0,01420	5839344,97423	0,02929	-806460,52994	0,00803
BM33	-2439260,98331	0,01256	5837258,48765	0,02684	-808175,50695	0,00690
BSBY	-2444441,94011	0,01676	5836864,69377	0,03710	-795298,61867	0,01025
ITS1	-2451240,84735	0,01198	5832938,98319	0,02836	-803080,94467	0,00636
IT SN	-2451344,11985	0,02169	5832928,17530	0,04402	-802844,00728	0,00812
KJRN	-2449915,33640	0,04932	5834403,87288	0,06110	-796499,02900	0,01478
RNKT	-2447218,93733	0,01140	5833943,13933	0,02523	-808009,14736	0,00595
SB15	-2439874,32571	0,01012	5838549,33125	0,02115	-796935,43826	0,00576
SBY3	-2449064,73980	0,01460	5832962,54097	0,02662	-809474,20949	0,00698
SBY7	-2442425,07508	0,01211	5836279,73517	0,02599	-805677,47792	0,00651
TURI	-2445052,32991	0,00571	5836041,26305	0,01109	-799422,33873	0,00331
WARU	-2444291,61069	0,04770	5834894,71214	0,07160	-809998,03312	0,01736
WONO	-2445370,45913	0,01669	5835144,84291	0,03397	-804974,76656	0,01003
BM34	-2450715,24279	0,02138	5832582,95110	0,04186	-807228,77240	0,00983
BM35	-2439185,96471	0,01519	5838551,63528	0,02963	-799008,75074	0,00735
BM36	-2432530,87702	0,02446	5841279,95538	0,04592	-799440,98980	0,01435
BM37	-2433248,63265	0,05450	5840521,77777	0,10598	-803016,31247	0,02993
SBY1	-2438114,50526	0,00938	5837448,73939	0,01970	-810271,72497	0,00563
SGKN	-2443086,75037	0,02660	5836246,42694	0,05855	-804022,16185	0,01338

Berdasarkan tabulasi nilai koordinat dan simpangan baku di atas, secara keseluruhan simpangan baku yang dihasilkan berada pada fraksi cm-mm. Namun, terlihat bahwa BM15, BM23, BM24, dan BM29 memiliki nilai simpangan baku yang rentangnya lebih besar daripada titik pengamatan yang lain. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi sekitar titik pengamatan yang masih banyak *obstruksi* yang mempengaruhi jalannya sinyal. Sehingga berpengaruh dalam proses estimasi koordinat. Begitu pun dengan BM TURI yang juga memiliki nilai simpangan baku yang cukup besar. Namun, pada BM TURI mengalami perbedaan pada tahun 2019 dan 2020 yang mana nilai simpangan baku pada BM TURI memiliki nilai yang kecil daripada tahun sebelumnya. Hal ini sesuai dengan hasil kontrol kualitas data yang telah dilakukan sebelumnya bahwa nilai MP1 dan MP2 pada keempat titik ini memiliki nilai yang kurang baik. Sedangkan untuk nilai BM TURI pada tahun 2019 dan 2020 yang lebih baik daripada tahun sebelumnya juga diikuti dengan menurunnya nilai simpangan baku pada kedua tahun ini.

4.4. Hasil dan Analisis Kecepatan Pergeseran

Perhitungan kecepatan pergeseran titik pengamatan dilakukan dengan GLOBK. Perhitungan ini dilakukan dengan mengikatkan posisi titik pengamatan pada kerangka stabilisasi (*stab_site*) global terlebih dahulu. Data masukan yang digunakan adalah *h-files* pada semua tahun. Hasil yang diperoleh adalah nilai kecepatan pergeseran pada sistem koordinat kartesian dan toposentrik. Nilai kecepatan ini tersimpan dalam *file* keluaran berekstensi *.org.

Salah satu hasil yang didapat adalah kecepatan pergeseran dalam sistem koordinat toposentrik (*North, East, dan Up*). Kecepatan pergeseran yang didapatkan dinyatakan dengan satuan mm/tahun. Berikut adalah tabulasi hasil perhitungan kecepatan pergeseran titik pengamatan dalam sistem koordinat toposentrik. Berikut adalah tabulasi hasil perhitungan kecepatan pergeseran titik pengamatan sistem koordinat toposentrik.

Tabel 4. 13 Nilai Kecepatan Pergeseran Titik selama Tahun 2017-2020 (mm/tahun)

No	Titik	V_N	σv_N	V_E	σv_E	V_U	σv_U
1	BM02	-11,91	2,95	24,42	3,72	10,73	15,11
2	BM08	-22,91	2,42	28,23	2,66	40,28	12,54
3	BM15	-2,62	16,82	-0,51	81,8	-71,49	86,32
4	BM16	-17,81	4,70	26,06	5,79	7,68	29
5	BM23	-20,57	24,38	122,42	121,64	34,88	103,24
6	BM24	-8,21	13,13	71,27	52,4	15,46	49,9
7	BM29	15,22	17,47	20,95	60,61	-7,83	80,41
8	BM33	35,29	1,73	45,38	2,28	23,13	8,73
9	BSBY	-4,73	5,65	31,72	11,24	-13,58	31,47
10	ITS1	-9,67	1,49	25,98	1,98	69,92	8,51
11	ITSN	-9,67	1,49	25,98	1,98	69,92	8,51
12	KJRN	-27,39	7,23	27,55	17,27	-7,99	27,75
13	RNKT	-19,1	1,57	15,71	1,90	10,26	8,27
14	SB15	-11,96	2,68	21,67	3,19	11,41	13,62
15	SBY3	-7,23	1,85	28,21	2,64	-27,78	9,57
16	SBY7	-18,8	2,09	33,16	2,49	-2,09	11,92
17	WARU	-11,57	4,26	33,73	6,79	-10,99	27,12
18	WONO	-21,54	2,21	22,58	2,35	-8,48	11,53

Tabel 4.13 menunjukkan nilai kecepatan pergeseran titik pengamatan pada tahun 2017 sampai dengan 2020. V_N menunjukkan kecepatan pergeseran pada komponen *North*, V_E menunjukkan nilai kecepatan pada komponen *East*, dan V_U menunjukkan kecepatan pada komponen *Up*. Nilai kecepatan pergeseran dari titik-titik pengamatan berkisar antara 2,09 sampai dengan 71,49 mm/tahun, kecuali pada BM23 yang nilai kecepatan pergeserannya mencapai 122 mm/tahun pada komponen *East*. Tanda negatif pada tabel diatas menunjukkan arah pergeseran pada sumbu komponen. Nilai simpangan baku yang diperoleh cukup variatif. Nilai simpangan baku paling besar ada pada titik BM23. Hal ini dapat dipahami karena kondisi titik pengamatan tersebut kurang baik dimana terdapat banyak obstruksi disekelilingnya. Selain itu tanah pijakan BM tersebut juga sudah mulai goyah.

Nilai kecepatan pada sistem koordinat toposentrik yang dihasilkan oleh pengolahan GLOBK 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 4.14 berikut.

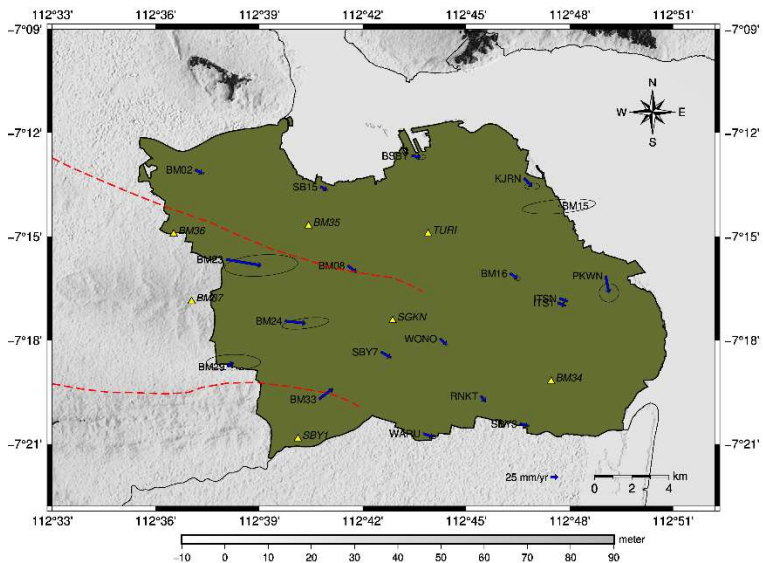
Tabel 4. 14 Nilai Kecepatan Horizontal (mm/tahun)

TITIK	V_r	σv_N	σv_E	θ
BM02	27,17	2,95	3,72	115,99
BM08	36,36	2,42	2,66	129,06
BM15	2,67	16,82	81,8	191,02
BM16	31,56	4,70	5,79	124,35
BM23	124,14	24,38	121,64	99,54
BM24	71,74	13,13	52,4	96,58
BM29	25,90	17,47	60,61	35,99
BM33	57,49	1,73	2,28	37,87
BSBY	32,07	5,65	11,24	98,48
ITS1	27,72	1,49	1,98	110,42
ITSN	27,72	1,49	1,98	110,42

Lanjutan Tabel 4.14

TITIK	V_r	σ_{V_N}	σ_{V_E}	θ
KJRN	38,85	7,23	17,27	134,83
RNKT	24,73	1,57	1,9	140,56
SB15	24,75	2,68	3,19	118,90
SBY3	29,12	1,85	2,64	104,38
SBY7	38,12	2,09	2,49	119,55
WARU	35,66	4,26	6,79	108,93
WONO	31,21	2,21	2,35	133,65

Selanjutnya dilakukan *plotting* dengan *software* GMT (*script plotting* terlampir pada Lampiran 3.) dengan *file* masukan yang berisi nilai kecepatan pada *easting* dan *northing* beserta simpangan bakunya. Hasil *plotting* disajikan pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4. 4 Plot Kecepatan Pergeseran Horizontal

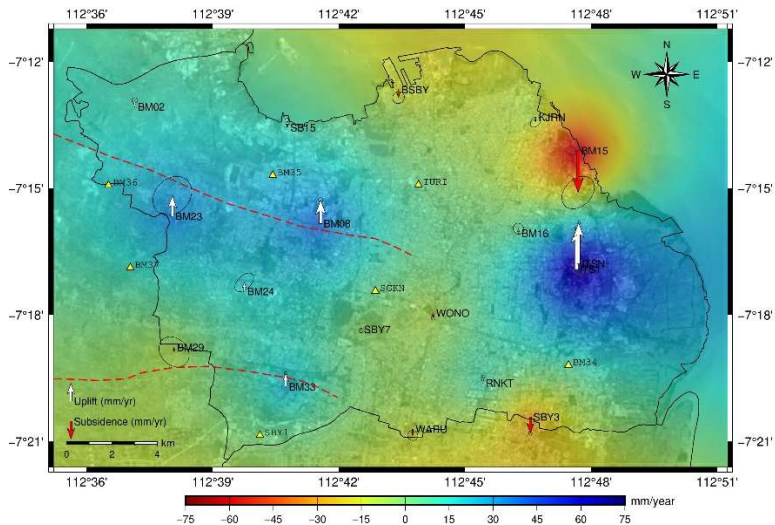
Secara keseluruhan, nilai simpangan baku yang dihasilkan berada pada fraksi milimeter, kecuali pada BM15, BM23, BM24,

dan BM29 yang mencapai fraksi centimeter. 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*. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, besarnya nilai simpangan baku ini dapat dipengaruhi oleh ketidakstabilan posisi BM, kondisi sekitar BM yang menghalangi jalannya sinyal pada receiver GPS seperti yang ditinjau pada pembahasan sebelumnya mengenai hasil kontrol kualitas data.

Dari hasil *plotting* 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 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.

Selain kecepatan horizontal, dihasilkan juga kecepatan vertikal (V_u) yang nilainya telah disajikan pada tabel 4.13. Pada tabel tersebut tanda negatif menunjukkan pergerakan turun atau *subsidence*. Sedangkan tanda positif menunjukkan pergerakan naik atau *uplift*. Nilai kecepatan vertikal tersebut selanjutnya dilakukan *plotting* pada GMT untuk menampilkan visualisasi dari nilai yang didapatkan. Pada proses *plotting* di GMT ini juga dilakukan interpolasi dengan perintah *gmt surface* dengan parameter *tension* 0,25 yang kemudian menghasilkan *file grid* berekstensi .nc yang menggambarkan hasil interpolasi dalam rentang warna merah sampai biru. Dalam hal ini bermaksud untuk melihat estimasi pergeseran yang terjadi di sekitar titik pengamatan, namun nilai

yang didapatkan belum pasti karena hanya berdasarkan pada nilai interpolasi. Gambar 4.5 berikut merupakan hasil dari *plotting* kecepatan pergeseran vertikal dari titik-titik pengamatan selama tahun 2017-2020. (*Script plotting* terlampir pada Lampiran 3.b.)



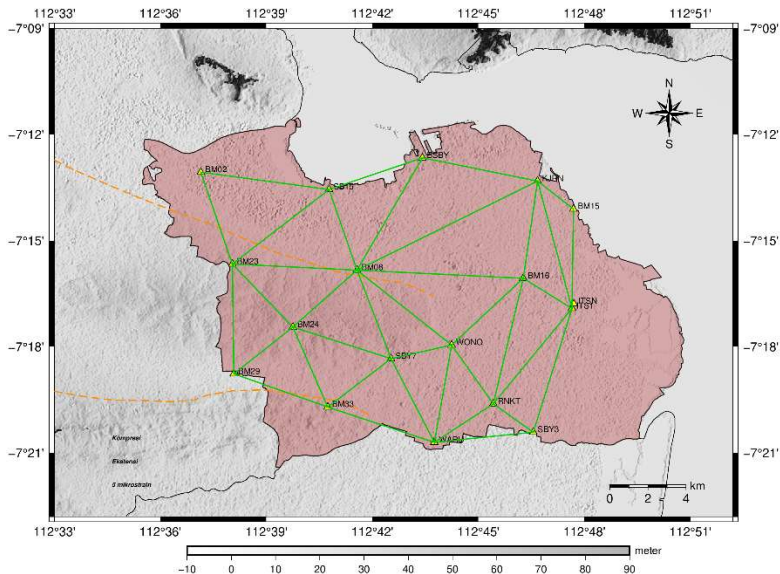
Gambar 4.5 Plot Kecepatan Pergeseran Vertikal

Dari hasil perhitungan, terdapat 10 titik yang mengalami pergerakan positif atau *uplift* yang ditunjukkan oleh panah berwarna putih. 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 ITS2 dan ITS1 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.

4.5. Hasil dan Analisis Perhitungan Regangan

Kecepatan pergeseran horizontal yang didapatkan digunakan untuk menghitung regangan di wilayah Surabaya yang terdampak Sesar Kendeng. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Delaunay Triangle Method*, yaitu dengan menghubungkan titik-titik pengamatan untuk membentuk segmen segitiga. Pada penelitian ini, didapatkan 21 segmen segitiga. Gambar 4.6 berikut adalah visualisasi dari segmen segitiga yang terbentuk.



Gambar 4. 6 Segmen Segitiga untuk Regangan

Setelah dilakukan pembentukan segmen segitiga, dilakukan perhitungan regangan berdasarkan kecepatan pergeseran titik pengamatan. Perhitungan disini digunakan untuk mencari parameter deformasi, berupa parameter regangan normal dan regangan silang sesuai dengan persamaan yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Tabel 4.15 berikut menunjukkan nilai parameter regangan yang dihasilkan.

Tabel 4. 15 Nilai Parameter Regangan

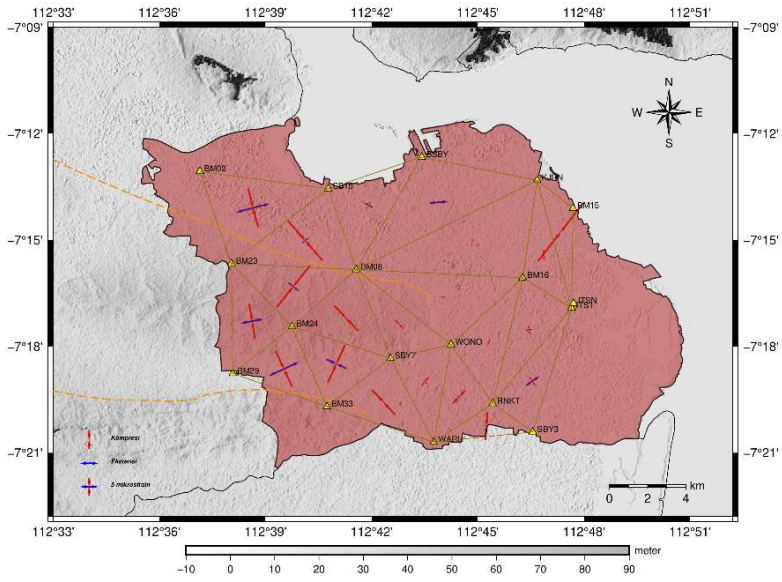
Segmen Segitiga	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{xy}
BM15-KJRN-ITS	-2,400	6,810	-18,200
KJRN-BM16-ITS	-2,618	1,055	0,138
BM16-BM08-KJRN	-2,073	0,438	-0,234
BM08-BSBY-KJRN	5,437	-0,900	-0,515
BM08-BSBY-SB15	2,633	-0,407	2,340
BM08-BM23-SB15	2,570	-1,500	-14,830
BM02--BM23-SB15	1,820	-10,180	-3,330
BM08-BM23-BM24	-4,150	2,310	-14,430
BM23-BM24-BM29	-5,603	7,244	2,260
BM24-BM29-BM33	-10,290	4,110	8,440
BM24-BM33-SBY7	-11,550	-0,650	-6,330
BM08-BM24-SBY7	-1,268	-2,510	-8,902
BM33-SBY7-WARU	-1,268	-2,510	-8,902
SBY7-WARU-WONO	-1,765	-0,677	-2,997
BM08-SBY7-WONO	-0,973	-1,044	-2,876
BM08-BM16-WONO	0,266	0,926	-0,191
RNKT-WARU-WONO	-1,402	-0,691	-4,919
RNKT-SBY3-WARU	-6,341	-3,578	-0,178
BM16-WONO-RNKT	-0,303	1,472	-0,692
BM16-ITS1-RNKT	-1,204	2,046	0,831
ITS1-RNKT-SBY3	-2,887	0,752	4,779

Setelah didapatkan nilai parameter regangan, selanjutnya dapat dihitung nilai regangan untuk mendapatkan nilai ekstensi dan nilai kompresi. Tabel 4.16 berikut menyajikan nilai regangan hasil perhitungan.

Tabel 4. 16 Nilai Regangan Hasil Perhitungan

Segmen Segitiga	ϵ_1 (μstrain)	ϵ_2 (μstrain)	θ ($^\circ$)
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 4.16 diatas menyajikan nilai *principal strain* berupa ϵ_1 yang menyatakan ekstensi dan nilai ϵ_2 yang menyatakan kompresi. Gambar 4.7 berikut merupakan hasil *plotting* dengan GMT yang menyajikan informasi mengenai nilai regangan dari tabel 4.16.



Gambar 4. 7 Hasil Plotting Nilai Regangan

Hasil dari perhitungan dan *plotting* regangan menunjukkan bahwa di lokasi penelitian terjadi ekstensi dan kompresi yang menjadi parameter bahwa daerah tersebut terjadi deformasi. Nilai regangan yang terjadi cukup bervariasi. Pada gambar 4.7 terlihat bahwa regangan dominan terjadi di wilayah bagian barat. 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 μ strain sampai dengan 2,17 μ 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 μ strain sampai dengan 9,75 μ 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).

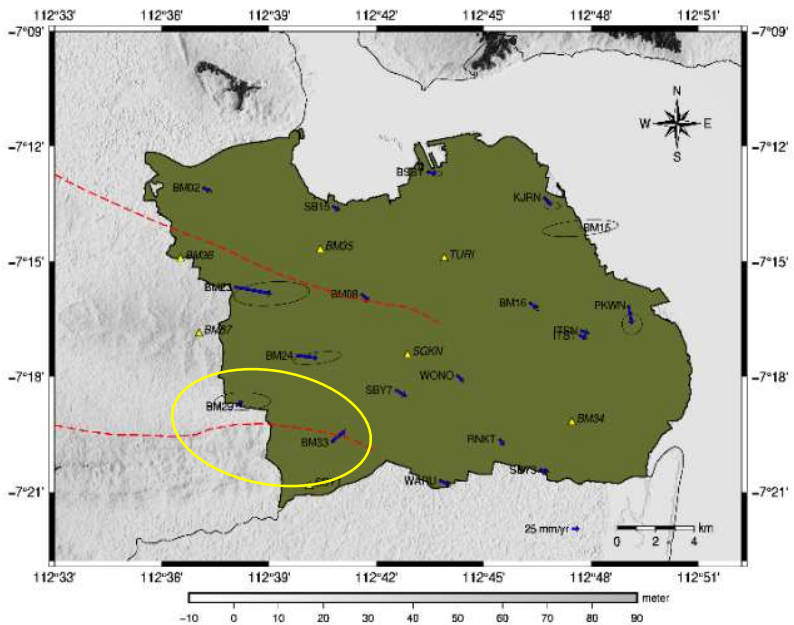
4.6. Analisis Aktivitas Sesar Kendeng

Berdasarkan hasil perhitungan pergeseran dan perhitungan regangan dapat dilakukan analisis lebih lanjut mengenai aktivitas Sesar Kendeng yang terjadi. Pembahasan ini meninjau hasil kecepatan pergeseran dan hasil perhitungan regangan yang telah disajikan pada subbab sebelumnya. Selain itu, dalam memonitoring aktivitas sesar ini juga dikaitkan dengan analisis geologi dan kondisi wilayah penelitian.

Meninjau aktivitas tektonik yang terjadi di lokasi penelitian dengan cakupan wilayah lebih luas yaitu Jawa Tengah hingga Madura selama tahun 2017 hingga 2020, terdapat beberapa kejadian gempa yang tercatat oleh PVMBG dengan dengan magnitudo yang berbeda-beda. Beberapa diantaranya yaitu kejadian gempa di barat daya Pacitan, barat daya Malang, dan baratdaya Kabupaten Blitar. Kejadian ini berpusat di laut dengan magnitudo mencapai 5,4 SR. Adapun kejadian gempa yang berpusat di darat terjadi di daerah Kabupaten Sumenep bagian timur laut pada kedalaman 12 km dengan kekuatan magnitudo 4,8 SR pada 13 Juni 2018. Kejadian-kejadian gempa ini sebagai akibat dari aktivitas penunjaman Lempeng Indo-Australia ke bawah Lempeng Eurasia dan juga akibat dari aktivitas zona sesar yang

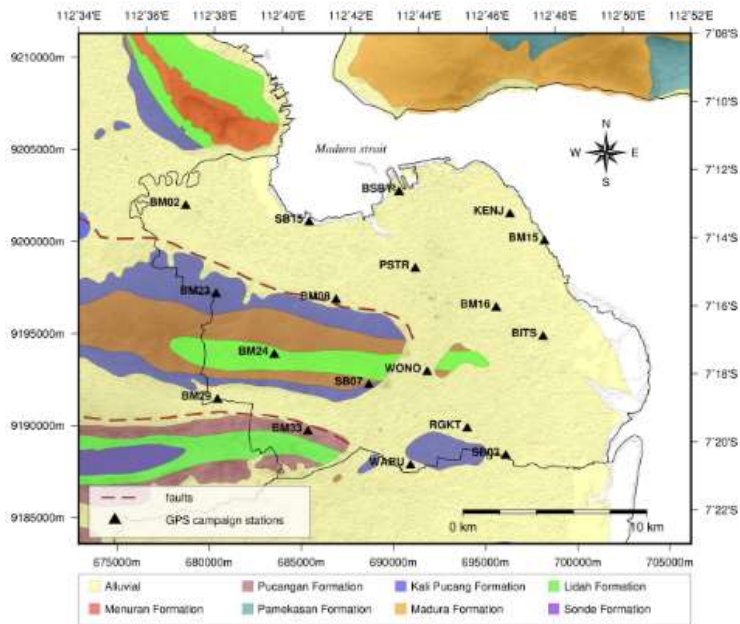
berada di Pulau Madura. Dengan adanya kondisi tersebut, tentunya akan sedikit banyak juga berdampak terhadap lokasi penelitian.

Hasil *plotting* pergeseran horizontal menunjukkan bahwa pergeseran cenderung mengarah ke Tenggara. Arah pergeseran ini sejalan dengan arah pergerakan dari *Sunda Shelf Block* dan Lempeng Eurasia. Namun, pada penelitian ini ditemukan pola yang berbeda dari arah pergeseran yang ditunjukkan oleh BM33 dan BM29 (Gambar 4.8). Kedua titik pengamatan ini memiliki arah pergeseran menuju ke Timur Laut dengan kemiringan 35° .



Gambar 4. 8 Perbedaan Arah Pergeseran BM33 dan BM29

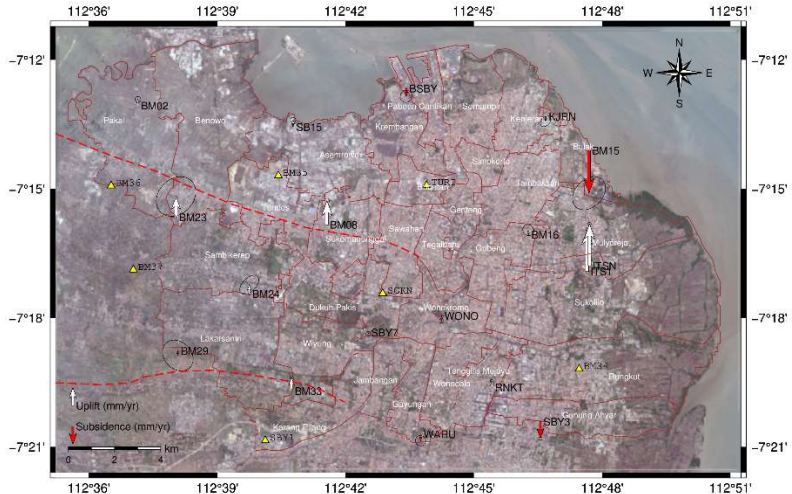
Berdasarkan penelitian dari Anjasmara (2019) yang menyajikan estimasi posisi dari Sesar Kendeng, ditunjukkan oleh gambar 4.9 terlihat bahwa di sekitar lokasi BM33 dan BM29 terlintas Segmen Waru yang merupakan bagian dari Sesar Kendeng.



Gambar 4. 9 Peta Geologi Surabaya dan Estimasi Posisi Sesar Kendeng (Anjasmara 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.

Selanjutnya, pergeseran vertikal yang dihasilkan menunjukkan adanya *subsidence* dan *uplift* di daerah Surabaya. Berikut gambaran pergeseran vertikal dari titik-titik pengamatan jika ditinjau dengan batas kecamatan di Surabaya.



Gambar 4. 10 Pergeseran Vertikal berdasarkan Kecamatan

Terdapat 10 titik yang mengalami kenaikan atau *uplift* dan 8 titik mengalami penurunan atau *subsidence*. Titik-titik yang mengalami *uplift* adalah SB15, BM02, BM23, BM24, BM08, BM33, RNKT, ITS1, ITSN, 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 4.9 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.

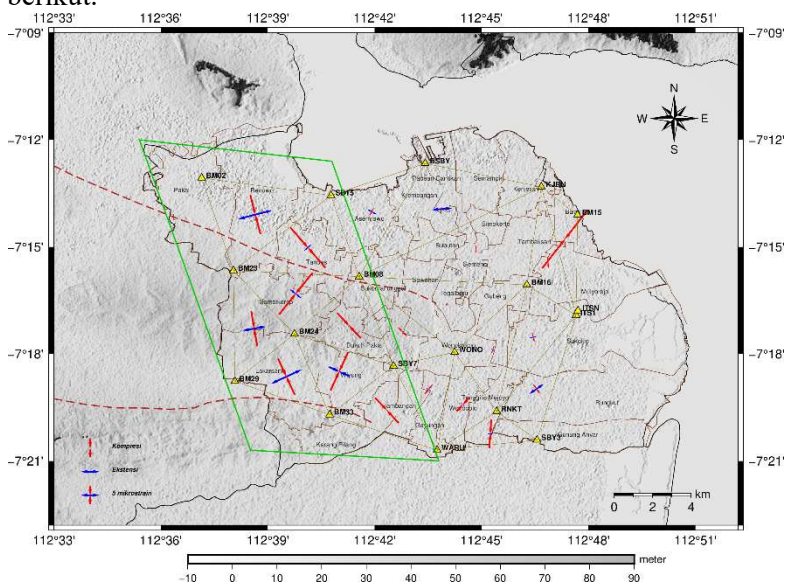
Disekitar segmen waru juga terdapat titik pengamatan yaitu BM29 yang mana pada titik ini terjadi pergeseran vertikal yang cenderung mengalami penurunan. Penurunan yang terjadi sebesar 7,83 mm/tahun. Pergeseran vertikal di BM29 ini berbeda dengan BM33. Hal ini dicurigai karena adanya pengaruh dari lipatan berstruktur *sinklin* yang melewati lokasi BM29.

Kenaikan pada titik di daerah barat ini juga dipengaruhi oleh kondisi tanah. Dalam penelitian Giovanni (2018) menyatakan bahwa daerah Surabaya Barat ini diindikasikan tergolong sebagai tanah ekspansif dan menunjukkan adanya potensi pengembangan yang tinggi. Tanah ekspansif adalah jenis tanah yang mudah mengalami perubahan volume akibat adanya perubahan kadar air dalam pori-pori tanah. Kadar air dalam pori tanah meningkat maka volume tanah akan mengembang sedangkan bila kadar air tanah berkurang muka tanah akan menyusut (Machsus dkk. 2007). Ridwan (2017) juga menyebutkan kondisi yang sama juga terjadi di daerah Wiyung yang juga memiliki potensi pengembangan tanah yang tinggi. Adanya potensi pengembangan tanah ini tentunya dapat mempengaruhi konsistensi dari lingkungan sekitar, dalam hal ini adalah titik-titik pengamatan yang berada di wilayah Surabaya Barat.

Selanjutnya, pergeseran vertikal *uplift* juga terjadi pada titik ITSN dan ITS1 yang berlokasi di Kecamatan Sukolilo, tepatnya di kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Kenaikan pada titik ini mencapai 69,92 mm/tahun. Adanya *uplift* di daerah ini belum

dapat diketahui pasti hal yang mempengaruhi pergeseran vertikal di titik ini. Nilai pergeseran vertikal yang terjadi di titik ini mengalami perbedaan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Anjasmara dkk. (2019) yang menyatakan bahwa daerah tersebut mengalami penurunan dengan kecepatan 1,709 cm/tahun dari hasil pengamatan tahun 2017 dan 2018. Pergeseran yang terjadi selama 2 tahun setelah penelitian tersebut menyatakan adanya kenaikan. Kenaikan yang terjadi dalam kurun waktu 4 tahun ini dapat dipengaruhi oleh adanya dinamika yang terjadi di daerah ITS sendiri (Ludfi 2018).

Berikutnya adalah analisis aktivitas Sesar Kendeng berdasarkan regangan. Nilai regangan telah disajikan pada tabel 4.16 dalam subbab 4.5. Dalam menganalisis regangan yang terjadi dilakukan *plotting* dengan batas kecamatan untuk melihat lokasi secara lebih spesifik. Plotting tersebut disajikan pada Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4. 11 Dominasi Regangan di Surabaya

Dari hasil pengolahan regangan yang dilakukan didapatkan bahwa regangan yang terjadi di Surabaya memiliki nilai yang berbeda-beda pada tiap lokasi segmen segitiga. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa Surabaya didominasi oleh regangan berupa kompresi. Kompresi yang terjadi banyak mendominasi wilayah yang berada di Surabaya Barat. Namun nilai regangan berupa kompresi maksimum berada pada segmen BM15-KJRN-ITS. Segmen ini berada di wilayah timur tepatnya di Kecamatan Bulak. Kompresi yang terjadi mencapai nilai $-20,73 \mu\text{strain}$.

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 $-9,653 \mu\text{strain}$ sampai $-14,960 \mu\text{strain}$. Sedangkan nilai ekstensi yang terjadi berkisar dari $-6,240 \mu\text{strain}$ hingga $9,750 \mu\text{strain}$. Semakin tinggi nilai regangan, maka mengindikasikan semakin tingginya aktivitas tektonik yang terjadi (Hidayat 2012). Secara administratif, wilayah yang terdampak dari adanya aktivitas tektonik ini yaitu sebagian Kecamatan Pakal, Benowo, Tandes, Sambikerep, Sukomanunggal, Dukuh Pakis, Lakarsantri, Wiyung, Karang Pilang, Jambangan, dan Gayungan.

Sebagaimana yang telah dibahas sebelumnya bahwa di daerah ini diidentifikasi dilewati oleh jalur Sesar Kendeng yang terbagi menjadi Segmen Waru dan Segmen Surabaya. 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 $0,5 \mu\text{strain}$ dan nilai komponen kompresionalnya melebihi $-0,5 \mu\text{strain}$ 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 4.11 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 faulted*) yang dapat diamati dari adanya anomali Bouguer di daerah ini.

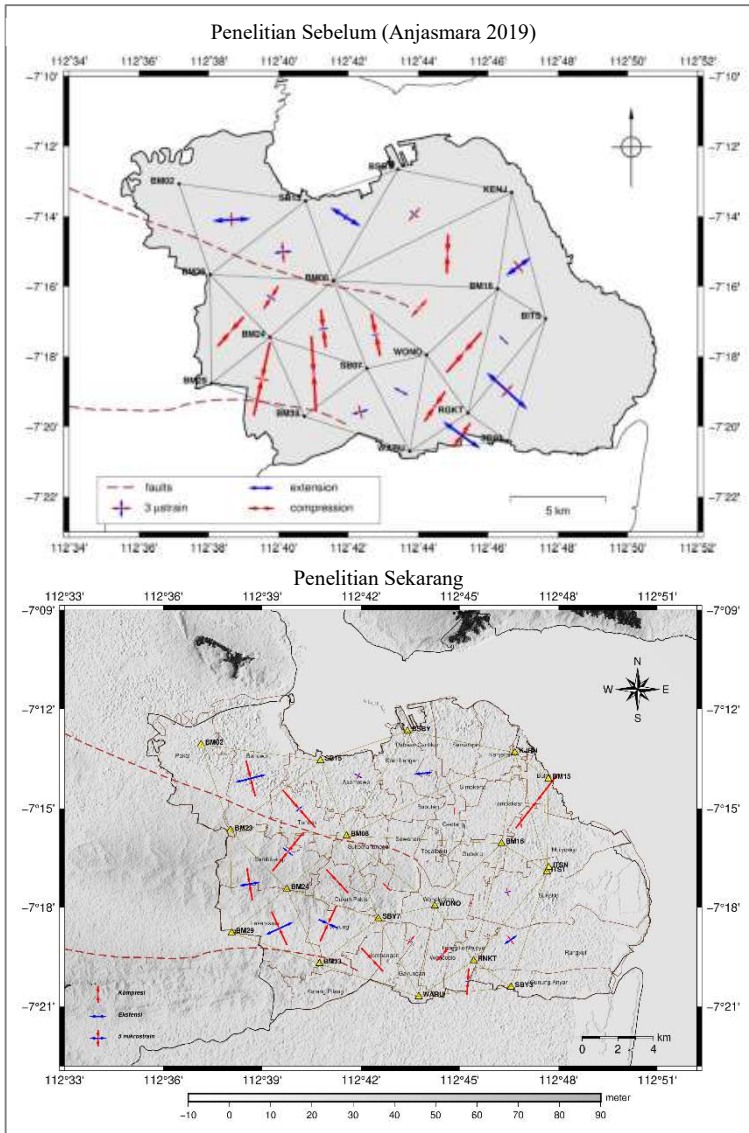
4.7. Analisis dengan Penelitian Sebelumnya

Analisis aktivitas Sesar Kendeng juga dilakukan dengan melihat *trend* yang terjadi dari penelitian sebelumnya. Dalam hal ini penelitian yang digunakan adalah penelitian dari Anjasmara dkk. (2019) yang menggunakan 18 titik pengamatan GPS dalam perhitungan regangan dari data tahun 2017 dan 2018.

Tabel 4. 17 Perubahan Regangan terhadap Penelitian
Sebelumnya

Penelitian Sebelum (Anjasmara 2019)							
Triangle Segment	ϵ_1 μstrain	ϵ_2 μstrain	θ degree	Triangle Segment	ϵ_1 μstrain	ϵ_2 μstrain	θ degree
BM02-BM23-SB15	6.086	-2.283	-3.420	BM08-BSBY-KENJ	1.872	-2.552	40.880
BM23-SB15-BM08	2.951	-3.238	-4.684	KENJ-BM08-BM16	0.474	-6.174	2.073
BM23-BM24-BM08	1.808	-4.276	33.130	BM33-SB07-WARU	2.750	-2.259	-14.706
BM23-BM24-BM29	0.134	-6.196	41.736	WARU-SB07-WONO	2.600	-0.190	26.903
BM29-BM24-BM33	-2.330	-11.900	12.508	WARU-RGKT-WONO	0.867	-5.716	34.849
SB15-BSBY-BM08	5.682	1.458	31.890	KENJ-BM16-BITS	4.895	-2.376	-36.556
BM08-WONO-SB07	1.374	-6.823	-11.604	BM16-WONO-RGKT	-0.012	-8.478	40.869
BM24-BM08-SB07	1.685	-6.105	-7.341	BM16-BITS-RGKT	2.067	-0.495	42.691
BM24-BM33-SB07	0.830	-11.950	-3.512	WARU-RGKT-SB03	7.364	-4.660	36.019
BM08-WONO-BM16	-0.910	-3.486	42.770	BITS-RGKT-SB03	8.697	-2.574	42.270

Penelitian Sekarang							
Segmen Segitiga	ϵ_1 (μstrain)	ϵ_2 (μstrain)	θ degree	Segmen Segitiga	ϵ_1 (μstrain)	ϵ_2 (μstrain)	θ degree
BM02-BM23-SB15	9.750	-11.260	-14.520	BM08-BSBY-KJRN	5.571	-0.648	-4.620
BM08-BM23-SB15	2.700	-14.960	-41.090	BM16-BM08-KJRN	-0.135	-2.172	5.280
BM08-BM23-BM24	-3.660	-14.920	38.690	BM33-SBY7-WARU	-0.517	-9.653	-43.000
BM23-BM24-BM29	6.571	-9.913	-9.690	SBY7-WARU-WONO	-1.466	-3.296	39.860
BM24-BM29-BM33	9.300	-11.150	-24.770	RNKT-WARU-WONO	-1.271	-5.050	42.930
BM08-BSBY-SB15	2.920	2.340	28.500	KJRN-BM16-ITS1	0.496	-2.976	-2.150
BM08-SBY7-WONO	-0.512	-3.337	-44.650	BM16-WONO-RNKT	0.987	-1.982	18.970
BM08-BM24-SBY7	-0.517	-9.653	-43.000	BM16-ITS1-RNKT	2.099	-2.472	-13.540
BM24-BM33-SBY7	-6.240	-11.630	24.640	RNKT-SBY3-WARU	1.462	-7.982	3.670
BM08-BM16-WONO	0.992	-0.917	15.030	ITS1-RNKT-SBY3	4.852	-2.960	-34.580
				BM15-KJRN-ITS1	0.130	-20.730	37.900



Gambar 4. 12 *Plotting* Perbedaan Regangan dengan Penelitian Sebelum

Dari Tabel 4.17 dan Gambar 4.12 menunjukkan bahwa terdapat perubahan regangan yang terjadi di lokasi yang sama. Perubahan ini terjadi dalam kurun waktu selama 2 tahun. Terlihat dari nilai ekstensi dan kompresi yang terjadi mengalami perubahan pada setiap segmen. Besar perubahan yang terjadi berbeda-beda. Terdapat segmen yang mengalami penurunan nilai regangan dan juga terdapat segmen yang mengalami kenaikan nilai regangan. Secara umum, terlihat bahwa pada penelitian sebelumnya dominasi kompresi terjadi di wilayah Surabaya bagian pusat menuju ke barat. Namun, untuk penelitian kali ini terjadi perubahan bahwa dominasi kompresi terjadi hanya di daerah Surabaya Barat yang mana menjadi wilayah terduga adanya lintasan Sesar Kendeng.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. 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.
2. 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.
3. Sesar Kendeng termasuk sesar yang aktif, dibuktikan dengan didapatkan nilai regangan kompresi yang melebihi -0,5 μ strain dan nilai regangan ekstensi yang melebihi 0,5 μ strain. Nilai regangan tersebut terjadi pada 8 segmen segitiga yang berada di sekitar zona Sesar Waru dan Surabaya dengan detail sebagai berikut:

Tabel 5. 1 Nilai Regangan Delapan Segmen

Segmen	Ekstensi	Kompresi
BM08-BM23-SB15	2,7000	-14,9600
BM02--BM23-SB15	9,7500	-11,2600
BM08-BM23-BM24	-3,6600	-14,9200
BM23-BM24-BM29	6,5710	-9,9130
BM24-BM29-BM33	9,3000	-11,1500
BM24-BM33-SBY7	-6,2400	-11,6300
BM08-BM24-SBY7	-0,5170	-9,6530
BM33-SBY7-WARU	-0,5170	-9,6530

4. Sesar Kendeng 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.
5. Pergerakan Sesar Kendeng dapat diidentifikasi dari adanya perubahan yang ditinjau dari analisis geometrik yang mana terjadi perubahan dari waktu ke waktu.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengamatan GPS periodik secara rutin (minimal satu kali dalam setahun) dan lebih panjang pada titik-titik pengamatan yang sudah ada terutama pada zona sesar. Sehingga nantinya dapat menghasilkan nilai kecepatan pergeseran yang lebih akurat karena data yang digunakan lebih rapat.
2. Melakukan evaluasi dan perbaikan terhadap titik-titik pengamatan yang digunakan untuk mengurangi obstruksi yang dapat mempengaruhi kualitas data pengamatan.
3. Penambahan analisis dengan peninjauan terhadap bidang lain agar didapatkan kepastian penyebab dari deformasi yang terjadi, mengingat lokasi penelitian merupakan wilayah urban yang cukup padat penduduk dengan fasilitas terbangun.
4. Melakukan perhitungan regangan dengan metode lain dan desain jaring yang lain, agar dapat memperoleh nilai regangan yang rapat dan mencakup seluruh wilayah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z. 1995. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Altamimi, Z., Rebischung P., Metivier L. Dan Collilieux X. 2016. *ITRF2014: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame Modelling Nonlinear Station Motions*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 121, 6109-6131.
- Anggarini, N.H.M. 2014. *Perhitungan Kecepatan Pergeseran dan Regangan Stasiun Sumatran GPS Array (SuGAR) Tahun 2011 s.d. 2013*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Geodesi FT-UGM, Yogyakarta.
- Anjasmara, I. M., dkk. 2018. *Surface Deformation Monitoring in Surabaya by Using GNSS Survey Campaigns and Time-Series InSAR Analysis*. In *International Symposium On GNSS 2018*. Bali, Indonesia.
- 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.
- Asikin, S. 1978. *Dasar-Dasar Geologi Struktur*. Bandung: Departemen Teknik Geologi ITB.
- Badan Pusat Statistik. 2020. *Kota Surabaya dalam Angka 2020*. BPS Kota Surabaya. ISSN: 0215 – 6202.
- Bahri, S. dan M Madlazim. 2012. *Pemetaan Topografi, Geofisika dan Geologi Kota Surabaya*. Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya. ISSN: 20879946.
- BMKG, Balai Besar Wilayah III Denpasar. 2017. *Gempa Bumi*. (<http://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa>) dikunjungi pada tanggal 24 Desember 2019, pukul 3.28.
- BMKG, Pusat Gempa Bumi dan Tsunami. 2019. *Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak 1821-2018*. Jakarta Pusat. ISSN: 2477 – 0582.
- 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
- Bullen, K. E. 1965. *An Introduction to the Theory of Seismology*. 4th. Cambridge: Cambridge University Press.
- Duarte., dkk. 2016. *Introduction to Plate Boundaries and Natural Hazards*. USA : John Wiley & Sons, Inc.
- Estey, L dan Stuart, W. 2014. *TEQC Tutorial: Basic of TEQC Use and TEQC Products*. UNAVCO Inc. Colorado, USA.
- Gienputra, Rega Hangasta. 2017. *Evaluasi Penurunan Tanah Wilayah Kota Surabaya dan Percepatannya menggunakan GPS Geodetik dan Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK*. Surabaya: Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Giovanni, S. 2018. *Usulan Penyelesaian Masalah Rekayasa Tanah untuk Jalan dan Gedung di atas Tanah Ekspansif (Studi Kasus: Surabaya Barat)*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Sipil FTSLK. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Herring, T.A., King, R.W., dan McClusky, S.C. 2006. *Introduction to GAMIT/GLOBK*. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Science. Massachusetts Institute of Technology.
- Herring, T.A., King, R.W., dan McClusky, S.C. 2010. *Introduction to GAMIT/GLOBK*. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences. Massachusetts Institute of Technology.
- Herring, T.A., King, R.W., Floyd, M.A., McClusky, S.C. 2015. *GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program Release 10.6*. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences. Massachusetts Institute of Technology.
- 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.
- Kearey, P., dan J.V Frederick. 1990. *Global Tectonic*. Blackwell Scientific Publications Oxford I.
- Kious, J.W., dan Tilling, R.I. 1996. *The Dynamic of Earth : The Story of Plates Tectonics*. Online Edition, USGS.
- 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.
- Kuang, S. 1996. *Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Conept and Application*. Chelsea,, Michigan: Ann Arbor Press, Inc.
- Kuncoro, Henri dan Monica 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.
- Koesmadinata, R.P. 1978. *Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Bandung: ITB.
- Ludfi, R.I dan M. Taufik. 2018. *Analisis Penurunan Vertikal Bangunan Bertingkat di Kampus ITS Sukolilo Menggunakan Metode Terrestrial*. Geoid Vol.14, No. 1: 29-36.
- Machsus, M., M. Khoiri dan C. Chomaedhi. 2007. *Kajian Tanah Ekspansif, Jalan Akses Jembatan Suramadu Sisi Madura*. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil Vol. 3 No.1
- Marliyani, G. I. 2016. *Neotectonics of Java, Indonesia: Crustal Deformation in the Overriding Plate of an Orthogonal Subduction System*. Tempe: Arizona State University.
- Natawidjaja, D. H., dan M. R. Daryono. 2016. *Present-Day Tectonics and Earthquake History of Java, Indonesia*. In

Proceedings GEOSEA XIV Congress and 45th IAGI Annual Convention 2016.

- 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.
- Prasidya, A. S. 2015. *Analisis Regangan 2D Lempeng Tektonik Patahan Sumatra Berdasarkan Data Pengamatan GNSS Tahun 2010 sampai 2013*. Tesis. Program Studi Teknik Geomatika FT-UGM. Yogyakarta.
- PVMBG. 2015. *Laporan Singkat Tim Tanggap Darurat Gempabumi Madiun – 25 Juni 2015*. Bandung, Jawa Barat. (<https://vsi.esdm.go.id/index.php/gempabumi-a-tsunami/kejadian-gempabumi-a-tsunami/888-laporan-singkat-tim-tanggap-darurat-gempabumi-madiun-25-juni-2015->) dikunjungi pada tanggal 2 Agustus 2020, pukul 02.57 WIB.
- PVMBG. 2016. *Tanggapan Gempa Madiun, Jawa Timur 4,9 SR – 4 November 2016*. Bandung, Jawa Barat. (<https://vsi.esdm.go.id/index.php/gempabumi-a-tsunami/kejadian-gempabumi-a-tsunami/1340--tangapan-gempa-madiun-jawa-timur-49-sr-4-november-2016>) dikunjungi pada tanggal 2 Agustus 2020, pukul 03.17 WIB.
- Ridwan, M dan T. Afiffurokhim. 2017. *Pengaruh Penambahan Kapur Gamping Madura pada Tanah Ekspansif di Daerah Wiyung Surabaya terhadap Nilai Pengembangan Tanah*. *Rekayasa Teknik Sipil* Vol. 02 No. 02 : 228-236.
- Rizos, C. 1997. *Principles and Practice of GPS Surveying*. The School of Geomatics Engineering. The University of New South Wales. Sidney, Australia.
- Seeber, G. 2003. *Satellite Geodesy*. Hannover: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG.
- 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.*
- Soekardi, 1992. *Geologi Lembar Pacitan, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia.
- Sullivan, W. 1991. *Continents in Motion the New Earth Debate-2 Edition*. American Institute of Physics. New York.
- Turcotte, D., dan S. Gerald. 2002. *Geodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ulinuha, H. 2015. *Analisis Deformasi Aspek Geometrik Segmen Mentawai Akibat Gempa Tektonik 10 Juli 2013*. Tesis. Program Studi Teknik Geomatika FT-UGM. Yogyakarta.
- Van Bemmelen, R, W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Government Printing Office.
- Wananda, Bintang Rahmat. 2016. *Studi Deformasi dan Aktivitas Sesar Baribis berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2007-2016*. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung.
- Welsch, W. 2003. *Advanced Deformation Analys*. New York: Springer.
- 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.
- Yosafat, R.L. 2009. *Pengaruh Jumlah Titik Ikat pada Proses Perataan Jaring terhadap Ketelitian Koordinat Titik dalam Jaring GPS Setingkat Orde 0*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. (File Kontrol GAMIT)

a. Station.Info

```
# Station.Info written by MGTINF user geodnamlka on 2020-04-20 20:11
# reference file : station.info
#
#SITE Station Name Sesson Start Sesson Stop Ant Ht HtCod Ant N Ant E Receiver Type Vers
$wfer Receiver SN Antenna Type Done Antenna SN
0.00 1870540 LEIAR20 LEIM 21015023 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50 4.11/7.102
    mstlnf: bak00390.2007
BAKO bako 2020 40 0 0 0 2020 40 23 59 30 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50 4.11/7.102
    LEIAR20 LEIM 21015023
0.00 1870540 LEIAR20 LEIM 21015023 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50 4.11/7.102
    mstlnf: bak00410.2007
BAKO bako 2020 42 0 0 0 2020 42 23 59 30 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50 4.11/7.102
    LEIAR20 LEIM 21015023
0.00 1870540 LEIAR20 LEIM 21015023 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50 4.11/7.102
    mstlnf: bak00420.2007
BAKO bako 2020 43 0 0 0 2020 43 23 59 30 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50 4.11/7.102
    LEIAR20 LEIM 21015023
0.00 1870540 LEIAR20 LEIM 21015023 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50 4.11/7.102
    mstlnf: bak00430.2007
BAKO bako 2020 47 0 0 0 2020 47 23 59 30 1.6480 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR50 4.11/7.102
    LEIAR20 LEIM 21015023
0.00 1870540 BMO2 BMO230390 2020 39 3 43 0 2020 39 16 31 0 1.3177 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR 4.7 HSR Feb,21,2019
    TPSHIPER_SR NONE 1064-15874 mstlnf: bmo20390.2007
BMO2 BMO230390 2020 39 3 55 30 2020 39 16 31 0 1.1189 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PR 3.5 Feb,01,2019 p5
    TPSHIPER_PLUS NONE 309-0681 mstlnf: bmo00390.2007
BMO2 BMO230390 2020 42 13 14 0 2020 43 0 1 0 1.1080 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR 4.7 HSR Feb,21,2019
    TPSHIPER_SR NONE 1064-16240 mstlnf: bmo10420.2007
0.00 1064-16240 BMO2 BMO230390 2020 39 4 3 0 2020 39 16 31 30 1.2481 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PRO 4.7 HSR Feb,21,2019
    TPSHIPER_PLUS NONE 309-0701 mstlnf: bmo230390.2007
0.00 1064-15874 BMO2 BMO24630 2020 43 1 44 0 2020 43 15 0 30 1.3778 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR 4.7 HSR Feb,21,2019
    TPSHIPER_SR NONE 1064-15874 mstlnf: bmo24630.2007
0.00 1064-15874 BMO2 BMO246470 2020 47 0 5 0 2020 47 13 43 30 1.1068 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PRO 3.5 Feb,01,2019 p5
    TPSHIPER_PLUS NONE 309-0681 mstlnf: bmo246470.2007
0.00 309-0681 BMO2 BMO296430 2020 43 2 8 0 2020 43 14 51 0 0.8983 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PRO 3.5 Feb,01,2019 p5
    TPSHIPER_PLUS NONE 309-0681 mstlnf: bmo296430.2007
0.00 309-0681 BMO3 BMO30430 2020 43 2 49 0 2020 43 15 0 30 1.0548 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR 4.7 HSR Feb,21,2019
    TPSHIPER_SR NONE 1064-16240 mstlnf: bmo30430.2007
0.00 1064-16240 BMO3 BMO30430 2020 42 1 33 30 2020 42 12 15 30 1.1231 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR 4.7 HSR Feb,21,2019
    TPSHIPER_SR NONE 1064-16240 mstlnf: bmo340420.2007
RNKT RNKT0400 2020 40 0 0 0 2020 40 11 29 0 1.1271 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR 4.7 HSR Feb,21,2019
    mstlnf: rnk04000.2007
0.00 1064-15874 RNKT RNKT0420 2020 42 0 35 30 2020 42 12 14 30 1.1712 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR 4.7 HSR Feb,21,2019
    TPSHIPER_SR NONE 1064-15874 mstlnf: rnk10426.2007
0.00 1064-15874
SB15 SB150390 2020 39 4 5 0 2020 39 16 33 30 1.2043 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR 4.7 HSR Feb,21,2019
    TPSHIPER_SR NONE 1064-16240 mstlnf: sb150390.2007
0.00 1064-16240 SBV1 SBV10430 2020 43 1 48 0 2020 43 15 4 30 1.1058 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PRO 3.5 Feb,01,2019 p5
    TPSHIPER_PLUS NONE 309-0701 mstlnf: sbv10430.2007
0.00 309-0701 SBV2 SBV30410 2020 41 11 54 30 2020 41 13 46 0 1.4354 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PRO 3.5 Feb,01,2019 p5
    TPSHIPER_PLUS NONE 309-0701 mstlnf: sbv30410.2007
0.00 309-0701 SBV7 SBV70400 2020 40 0 0 0 2020 40 11 29 0 1.4505 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PRO 3.5 Feb,01,2019 p5
    TPSHIPER_PLUS NONE 309-0681 mstlnf: sbv70400.2007
0.00 309-0681 SKGN SKGN0410 2020 41 11 50 30 2020 41 23 30 0 1.0548 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR 4.7 HSR Feb,21,2019
    TPSHIPER_SR NONE 1064-15874 mstlnf: skgn0410.2007
0.00 1064-15874 SOLO SOLO 2020 39 0 0 0 2020 39 23 59 30 0.0010 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NET9 5.37
    JAVRINGANT_DM NONE 954 mstlnf: sol00390.200
SOLO SOLO 2020 40 0 0 0 2020 40 23 59 30 0.0010 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NET9 5.37
    JAVRINGANT_DM NONE 954 mstlnf: sol00400.200
5.37 5041K71018 SOLO SOLO 2020 41 0 0 0 2020 41 23 59 30 0.0010 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NET9 5.37
    JAVRINGANT_DM NONE 954 mstlnf: sol00470.200
5.37 5041K71018 SOLO SOLO 2020 42 0 0 0 2020 42 23 59 30 0.0010 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NET9 5.37
    JAVRINGANT_DM NONE 954 mstlnf: sol00470.200
5.37 5041K71018 SOLO SOLO 2020 43 0 0 0 2020 43 23 59 30 0.0010 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NET9 5.37
    JAVRINGANT_DM NONE 954 mstlnf: sol00470.200
5.37 5041K71018 SOLO SOLO 2020 47 0 0 0 2020 47 23 59 30 0.0010 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NET9 5.37
    JAVRINGANT_DM NONE 954 mstlnf: sol00470.200
TURI TURI0400 2020 40 0 0 0 2020 40 23 59 30 1.1753 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR 4.7 HSR Feb,21,2019
    TPSHIPER_SR NONE 1064-16240 mstlnf: tur10400.2007
0.00 1064-16240
HARU HARU0410 2020 41 12 10 0 2020 41 23 33 0 0.9424 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_SR 4.7 HSR Feb,21,2019
    TPSHIPER_SR NONE 1064-16240 mstlnf: haru0410.2007
0.00 1064-16240 HONO HONO0410 2020 41 12 29 0 2020 42 12 13 30 1.1890 DHARP 0.0000 0.0000 TPS HIPER_PRO 3.5 Feb,01,2019 p5
    TPSHIPER_PLUS NONE 309-0681 mstlnf: wono0410.2007
0.00 309-0681
XM15 XM15 2020 39 0 0 0 0 2020 39 23 59 30 0.0005 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NET9 5.37
    JAVRINGANT_DM NONE 00955 mstlnf: xm150390.200
5.37 5211K83159 XM15 XM15 2020 40 0 0 0 0 2020 40 23 59 30 0.0005 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NET9 5.37
    JAVRINGANT_DM NONE 00955 mstlnf: xm150390.200
5.37 5211K83159
```

b. *L-File*

ZTL4_GPS	529840.28510	-5305248.41391	3489342.59095	-0.01289	-0.00015	0.00018	2020.0519	!	From	lgs14_comb.apr	Mapped from
Z005_0000											
ZTL4_GPS	529840.27779	-5305248.43505	3489342.06497	-0.01289	-0.00015	0.00018	2020.0519	!	From	lgs14_comb.apr	Mapped from
Z005_0000											
ZTL4_GPS	529840.29200	-5305248.44451	3489342.60329	-0.01289	-0.00015	0.00018	2020.0519	!	From	lgs14_comb.apr	Mapped from
Z005_0000											
ZYNI_GPS	3904632.72054	1360192.34354	4840631.12129	-0.01783	0.01621	0.00969	2020.0519	!	From	lgs14_comb.apr	Mapped from
Z010_0000											
ZYNI_GPS	3904632.71184	1360192.34169	4840631.11598	-0.01783	0.01621	0.00969	2020.0519	!	From	lgs14_comb.apr	Mapped from
Z010_0000											
ZYNI_GPS	3904632.71907	1360192.34441	4840631.12394	-0.01783	0.01621	0.00969	2020.0519	!	From	lgs14_comb.apr	Mapped from
Z010_0000											
bako_GPS	-1839609.2810	6065617.0086	-716257.8580	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
bm02_GPS	-2533752.2980	5841226.6197	-796042.1637	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
bm08_GPS	-2441814.1009	5837503.3388	-801104.9795	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
bm15_GPS	-2451565.07412	5833512.45992	-797941.46342	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1134	Updated from	L20200_042		
bm16_GPS	-2448081.02553	5834104.80235	-801523.25531	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1134	Updated from	L20200_042		
bm23_GPS	-2435045.8568	5840059.6698	-800787.6632	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
bm24_GPS	-2437795.1154	5838464.2432	-804845.9638	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
bm29_GPS	-2434830.1033	5839342.4179	-806461.4567	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
bm33_GPS	-2439261.4275	5837258.4993	-808176.2708	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
bm34_GPS	-2450715.19098	5832582.89766	-807230.76636	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1134	Updated from	L20200_042		
bm35_GPS	-2439187.0583	5838551.2269	-799009.5229	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
bm36_GPS	-2432531.0107	5841279.1680	-799441.9391	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
bm37_GPS	-2433240.0631	5840524.9007	-803017.8416	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
bsby_GPS	-2444442.4283	5836865.8295	-795299.7643	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
lts1_GPS	-2451240.5187	5832937.6941	-803000.9132	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
ltsn_GPS	-2451344.09595	5832928.10325	-802843.98598	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1134	Updated from	L20200_042		
kjrn_GPS	-2449915.28898	5834403.83024	-790499.00464	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1134	Updated from	L20200_042		
rmt_GPS	-2447218.95985	5833963.11169	-800009.13951	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1134	Updated from	L20200_042		
sb15_GPS	-2439874.1344	5838551.5431	-796936.4389	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
sbv1_GPS	-2438114.0367	5837447.2653	-810272.2947	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
sbv3_GPS	-2449064.7033	5832962.22417	-809474.2042	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1107	Updated from	L20200_041		
sbv7_GPS	-2442425.0411	5836279.0936	-805078.0702	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1107	Updated from	L20200_041		
sgln_GPS	-2443886.77478	5836246.45120	-804022.5202	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1107	Updated from	L20200_041		
solo_GPS	-5911340.1240	2156087.2990	-1038664.0050	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
tur1_GPS	-2445052.8097	5836041.3915	-799422.9176	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
waru_GPS	-2444291.7666	5834896.4741	-809098.1645	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1068				
wono_GPS	-2445370.48285	5835144.81302	-804974.75804	0.00000	0.00000	0.00000	2020.1107	Updated from	L20200_041		

c. *Sites.default*

```

# File to control the use of stations in the processing
#
#
# Format: site expt keyword1 keyword2 ...
#
# where the first token is the 4- or 8-character site name (GAMIT uses only
# 4 characters, GLOBK allows only 4 unless there are earthquakes or renames),
# the second token is the 4-character experiment name, and the remaining
# tokens, read free-format, indicate how the site is to be used in the processing.
# All sites for which there are RINEX files in the local directory will be used
# automatically and do not need to be listed.
#
#
# ftrpx = sites to ftp from rinex data archives.
# ftrpw = sites to ftp from raw data archives.
# localrx = site names used to search for rinex files on your local system.
#           (required in conjunction with rxindr path variable set in process.defaults).
# xstinfo = sites to exclude from automatic station info updating.
# xsite = sites to exclude from processing, all days or specified days
#
# Replace "expt" with your experiment name and edit the following to list sites needed from external archive
all_sites expt xstinfo
bako_gps 2020 localrx xstinfo
darw_gps 2020 localrx xstinfo
guam_gps 2020 localrx xstinfo
lisc_gps 2020 localrx xstinfo
per1_gps 2020 localrx xstinfo
plno_gps 2020 localrx xstinfo
solo_gps 2020 localrx xstinfo
xms1_gps 2020 localrx xstinfo
# templates for removing sites
ttth_gps expt xstsite:1999_256-1999_278 xstsite:1999_300-1999_365

```

d. Sestbl.

Session Table															
Processing Agency = MIT															
Satellite Constraint = Y ; Y/N (next two lines are free-format but 'all' must be present)															
all	g	e	t	n	w	M	rad1	rad2	rad3	rad4	rad5	rad6	rad7	rad8	rad9;
	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
<< Controls must begin in column 1 >>															
Choice of Experiment = BASELINE ; BASELINE/RELAX./ORBIT															
Type of Analysis = 1-ITER ; 1-ITER(outcln prefit and conditional redo) / 0-ITER (no postfit outcln) / PREFIT															
AUTCLN redo = Y ; Y/N; 3rd soln only if needed, assume 'Y' if 'Type of analysis = 1-ITER'															
Choice of Observable = LC_AUTCLN ; LC_AUTCLN (default), LC_HELP (codeless L2), L1_ONLY (L1 soln from dual freq),															
L2_ONLY (L2 soln from dual freq), L1,L2_INDEPENDENT (L1 + L2 from dual freq)															
L1&L2 (same as L1,L2_INDEPENDENT but with lon constraint);															
L1_RECEIVER (must add 'L1only' in outcln.cnd)															
Station Error = ELEVATION 10 5 ; 1-way L1, a**2 + (b**2)/(sin(elev)**2) in mm. default = 10. 0.															
Satellite Error = UNIFORM 0. ; 1-way L1 in mm (added quadratically to station error) default = 0.;															
AUTCLN reweight = Y ; Y/N; reweight data from outcln rms; replaces 'Use N-file' in releases < 10.32															
AUTCLN Command File = outcln.cnd ; filename; default none (use default options)															
Declination Factor = 4 ; FOR SOLVE, default = 1															
Quick-pre declination Factor = 10 ; 1st iter or outcln pre, default same as Declination Factor															
Quick-pre observable = LC_ONLY ; for 1st soln, default same as Choice of Observable															
AUTCLN Postfit = Y ; Assume 'Y' if 'Type of analysis = 1-ITER' (outcln.cnd.postfit file also)															
Delete eclipse data = POST ; ALL/NO/POST (default = NO)															
SCANDD control = FULL ; BOTH (default) /NONE/FIRST/FULL/IFBAD see manual sec. 5.2															
Iteration = XFILES ; CFILES / XFILES (default)															
Ionospheric Constraints = 0.0 mm + 6.00 ppm															
Ambiguity resolution NL = 0.15 0.15 1000. 99. 15000. ; for LC_HELP, ignored for LC_AUTCLN															
Ambiguity resolution NL = 0.20 0.15 1000. 99. 15000. ; allow long baselines with LC_AUTCLN															
Zenith Delay Estimation = Y ; Yes/No (default No)															
Interval zen = 2 ; 2 hrs = 13 knots/day (default is 1 ZD per day)															
Zenith Constraints = 0.50 ; zenith-delay a priori constraint in meters (default 0.5)															
Zenith Variation = 0.02 100. ; zenith-delay variation, tau in meters/sqrt(hr), hrs (default .02 100.)															
Elevation Cutoff = 10 ; default 0 to use value in outcln.cnd															
Atmospheric gradients = Y ; Yes/No (default No)															
Gradient Constraints = 0.03 ; number of gradient parameters per day (NS or ES); default 1															
Gradient Constraints = 0.03 ; gradient at 10 deg elevation in meters; default 0.03 m															
Update T/L files = L_ONLY ; T_AND_L (default), T_ONLY, L_ONLY, NONE															
Update tolerance = .3 ; minimum adjustment for updating L-file coordinates, default .3 m															
Met obs source = GPT 50 ; hierarchical list with humidity value at the end; e.g. RNK UFL GPT 50 ; default GTP 50															
Output met = N ; if [humid value] < 0, use RNK, UFL(VWF1), or GPT2 if available															
Use met.list = N ; not yet supported															
OWAP = VWF1 ; GPF(default)/VWF1/ANFH; GPF now invokes GPT2 if gpt.grd is available (default)															
WMAP = VWF1 ; GPF(default)/VWF1/ANFH; GPF now invokes GPT2 if gpt.grd is available (default)															
Use map.list = N ; VWF1 list file with mapping functions, ZHD, ZWD, P, Pw, T, HT															
Use map.grd = Y ; VWF1 grd file with mapping functions and ZHD															
Yaw Model = Y ; Y/N default = Y															
Radiation Model for ARC = BERNE ; BERNE/BERNO/UCLR1/UCLR2/NONE default = BERNE															
Earth radiation model = NCL1 ; NCL1/NCL2/TUPE1/TUPE2/NONE default = NONE; MIT repro2 = NCL1															
Antenna thrust model = ANTBK ; ANTBK/NONE default = NONE; MIT repro2 = ANTBK															
Inertial Frame = J2000 ; J2000/B1950 default = J2000															
Reference System for ARC = EGM98 ; WGS84/EGM96/EGM98/EGRS8 default = EGM98; MIT repro2 = EGR88 (relativity)															
Tides applied = 31 ; Binary coded: 1 earth 2 freq-dep 4 pole 8 ocean 10 remove mean for pole tide															
Use ot1.list = N ; 32 atmosphere ; default = 31															
Use ot1.grd = Y ; Ocean tidal loading list file from OSO															
Ectide model = IERS93 ; Ocean tidal loading grid file, GAMIT-format converted from OSO															
Earth Rotation = 11 ; Diurnal/Semidiurnal terms: Binary coded: 1=pole 2=UT1 4=Ray model; 8=IERS2010 16=include libration terms;															
default=11															
Apply atm loading = Y ; Y/N for atmospheric loading															
Use atm.list = N ; Atmospheric (non-tidal) loading list file from LU															
Use atm.grd = Y ; Atmospheric (non-tidal) loading grid file from LU, converted to GAMIT format															
Use atl.list = N ; Atmospheric tides, list file, not yet available															
Use atl.grd = Y ; Atmospheric tides, grid file															
Antenna Model = AZEL ; NONE/ELEV/AZEL default = ELEV Use AZEL for IGS absolute ANTEX files															
SV antenna model = ELEV ; NONE/ELEV default = NONE Use ELEV for IGS ANTEX files															
SV antenna off = N ; Y/N to estimate satellite antenna offsets (default N)															
Ion model = GRAP ; NONE/GRAP (default NONE) use 2nd/3rd order ionospheric corrections															

5. *Process.defaults*

```

# process.defaults
#
# Do not remove any of these entries. To by-pass a function, set the value to null: ""

## LOCAL DIRECTORIES
# Directory for translation of raw data
set rawpth = "Sprocdir/raw"
# Directory path for raw archives (search all levels); e.g. /data18/simon
set rawafd = ""
# Input files for RINEX translators
set mpth = "Sprocdir/mkrinex"
# RINEX files directory
set rpth = "Sprocdir/rinex"
# Directory path for RINEX archives (search all levels); e.g. /data18/simon
set rnaafd = ""
# Broadcast orbit directory
set both = "Sprocdir/brdc"
# IGS files directory
set lpth = "Sprocdir/igs"
# cfiles directory
set gpth = "Sprocdir/gfiles"
# GAMIT and GLOBK tables directory
set tpth = "Sprocdir/tables"
# Output directory for skyplots
set glfpth = "Sprocdir/flgs"
# Globk solution directory
set glbpth = "Sprocdir/gsoln"
# Globk binary h-file directory
set glfpth = "Sprocdir/glbf"
# Directory path for other h-files (LA, LB, LC options; search all levels)
# e.g. "/raid1/tah/SIO_GLL"; ( /raid6/ftp/pub/MIT_GLL/H07 /raid2/simon/gps_analysis/cpps_hfiles )
set hafd = ""
# Template files
set templatepth = "Sprocdir/templates"
# Place to store temporary control files
set cpth = "Sprocdir/control"
# Archive root directory (cannot be null)
set archlwevth = "Sprocdir/archive"

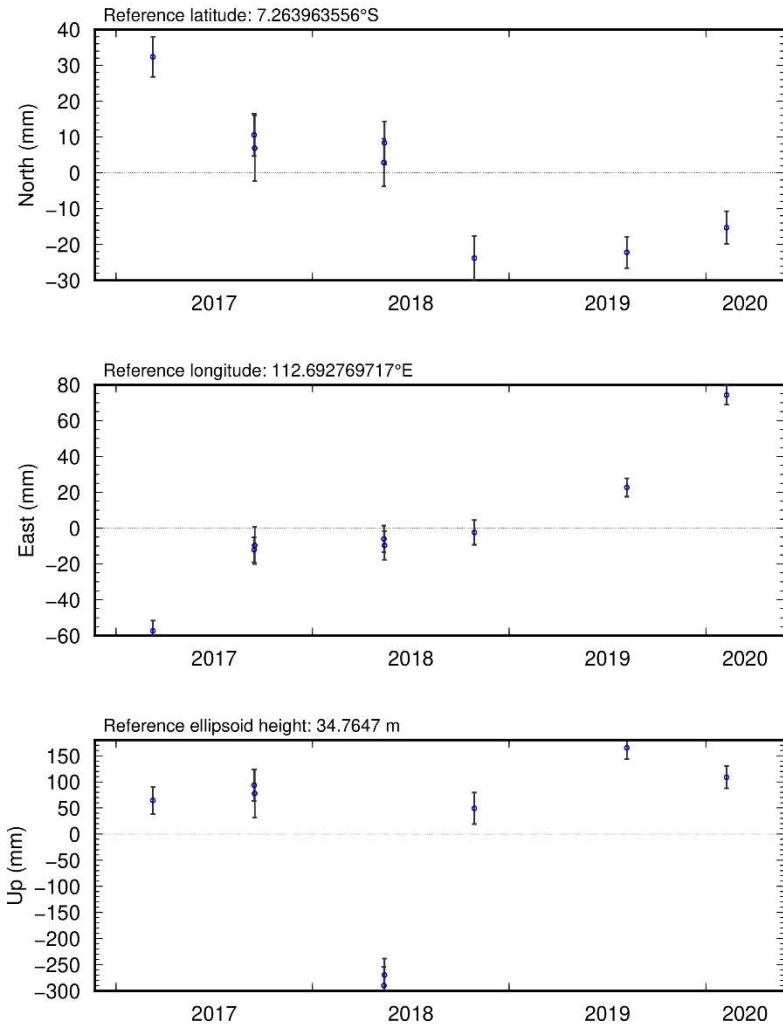
## FTP INFO FOR REMOTE FILES
# Raw data archive
# set rawarchive = 'chandler.mt.edu'
# set rawdir = 'pub/continuous/mitnet'
# set rawlogin = 'anonymous@simonchandler.mt.edu'
# Addresses for CDDIS, SOPAC, IGSGB, UNAVCO, BKG, IGN, USNO are given in template/ftp_info

##GAMIT
# Set sampling interval, number of epochs, and start time for processing
set slint = '300'
set nepc = '2880'
set stime = '0 0'
# Variables for updating tables
set stinf_unique = ".u"
set stinf_nosort = ".nosort"
set stinf_slthgt = "2.00"
# Set "v" to use RINEX header coordinates not in lf file or apr file
set use_fac = "n"
# Broadcast orbits
set brdc = 'brdc'
# Minimum x-file size to be processed (Def. 300 blocks; most 05 use 1 kb blocks)
set mlnxf = '300'
# Set search window for RINEX files which might contain data for day - default check the previous day
set rx_doy_plus = 0
set rx_doy_minus = 1
# Default globk apr file
set aprf = 'ltrimid.apr'
# Set compress (copts), delete (dopts) and archive (aopts) options. (Don't forget to set the archivepth.)
# Possible d-, c-, and a- opts: D, H, ao, ac, as, b, c, d, e, g, h, l, j, k, l, m, o, p, q, r, x, ps, all
set copts = { c }
set dopts = { x k ao }
set aopts = ''
# Set the rinex ftp archives (defined in ftp_info) you would like to look for data in.
# (Default archives searched are: sopac, cddis and unavco).
set rinex_ftpsites = (sopac cddis unavco ignl)
#set the lon ftp archives
set lon_ftpsites = (ignl cddis)

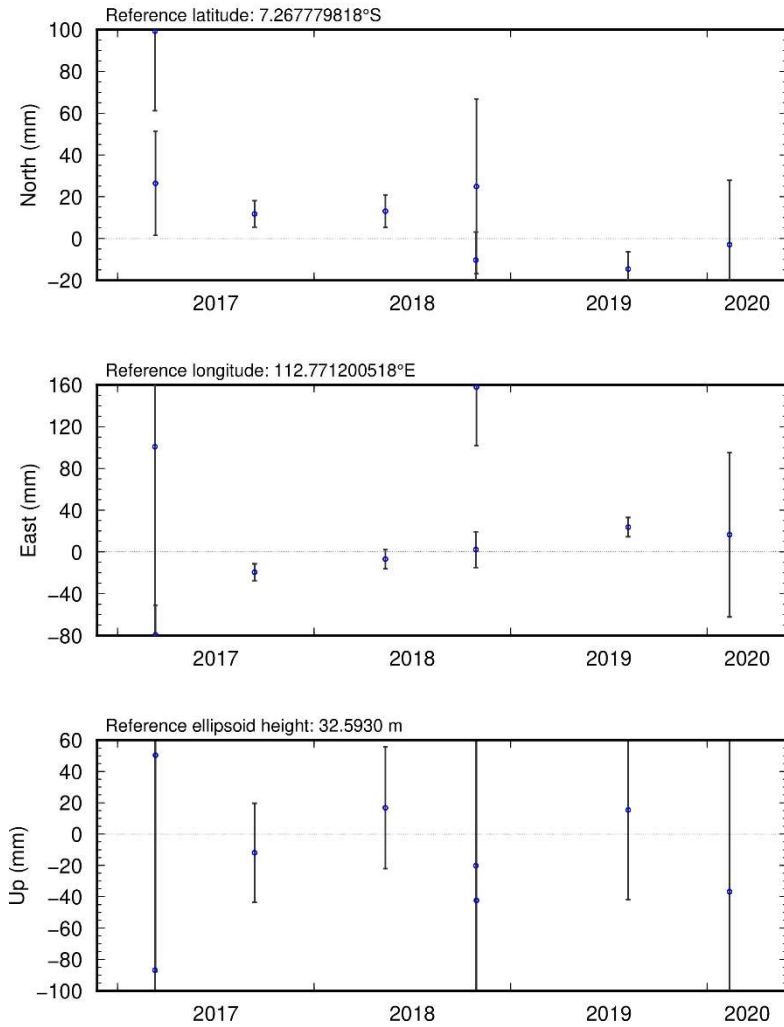
```

Lampiran 2. (Time Series Titik Pengamatan)

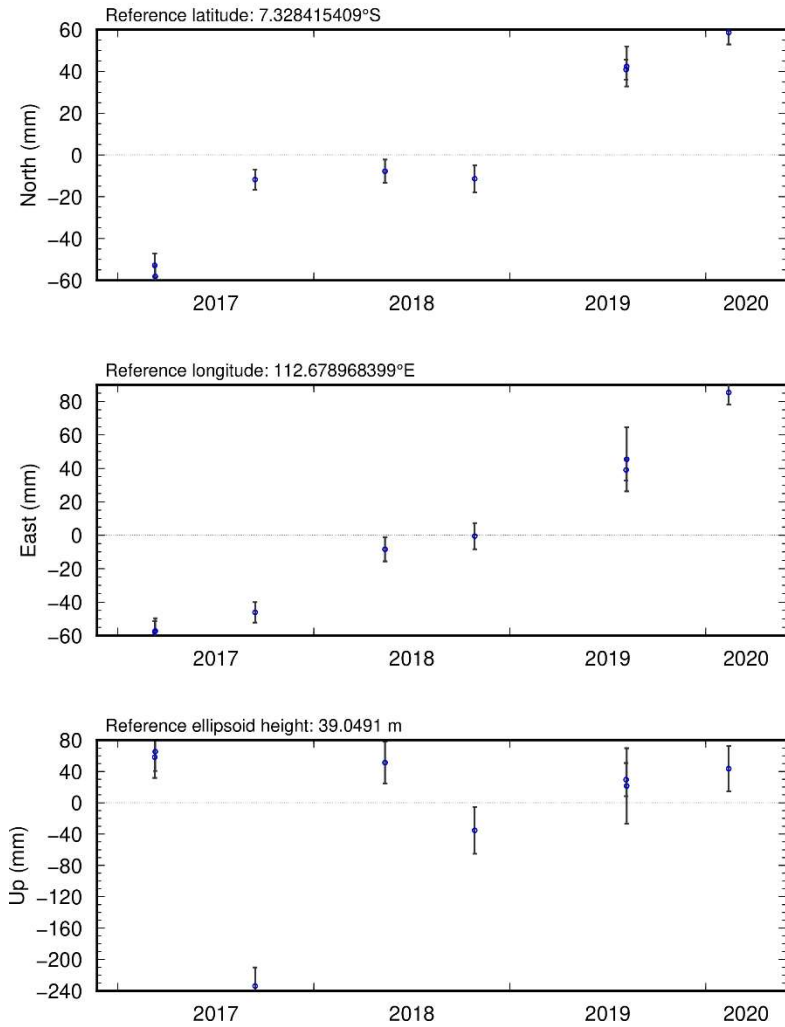
BM08



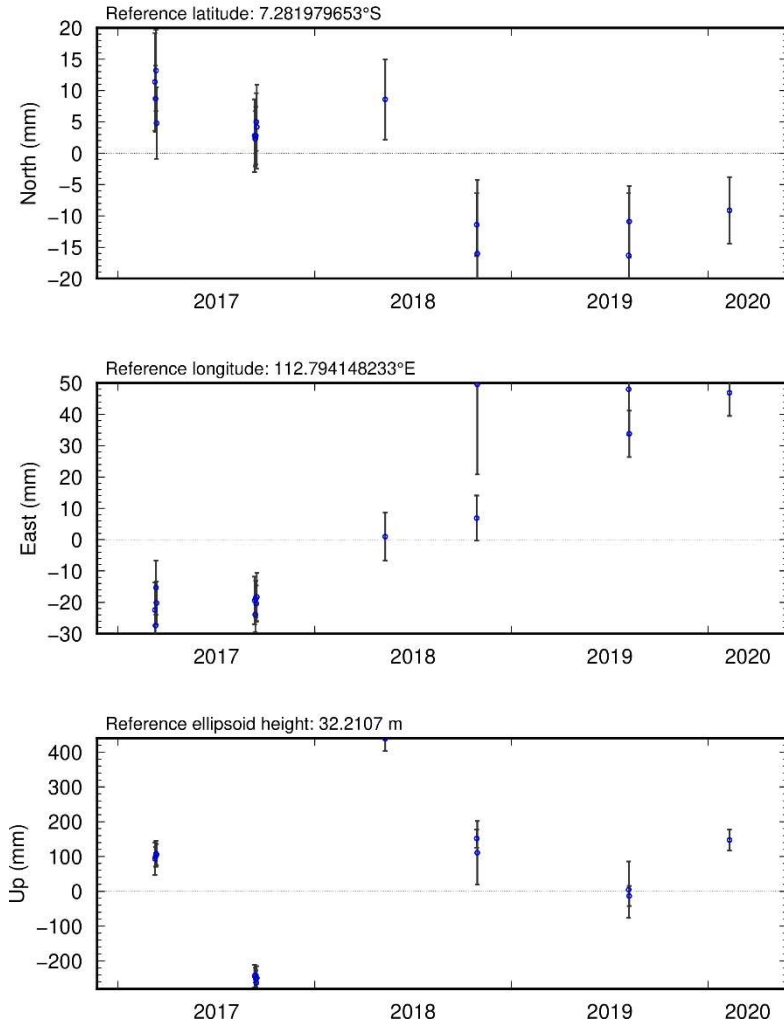
BM16



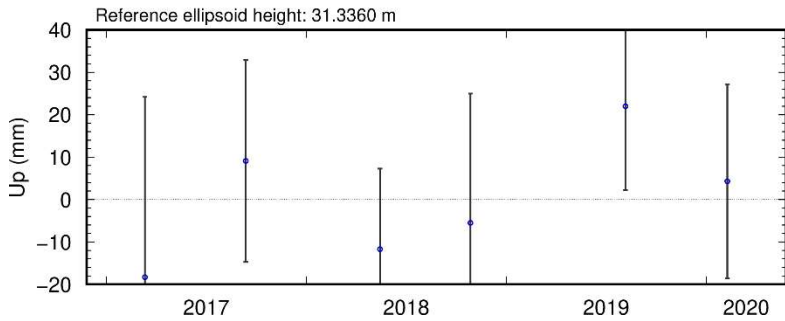
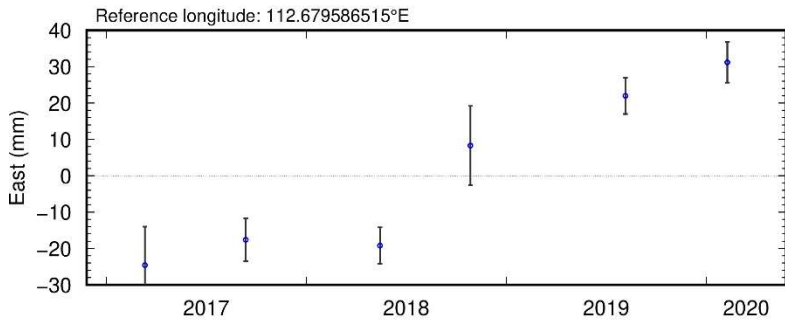
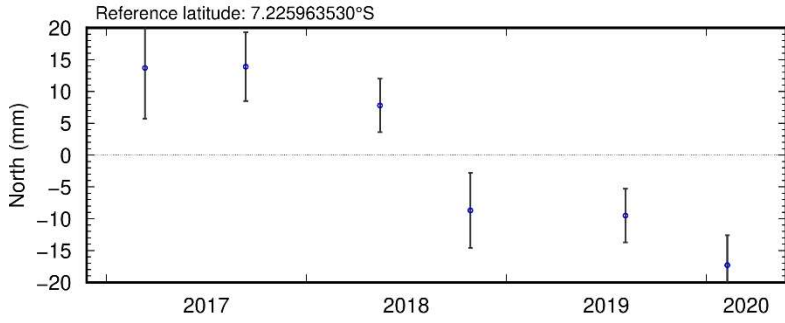
BM33



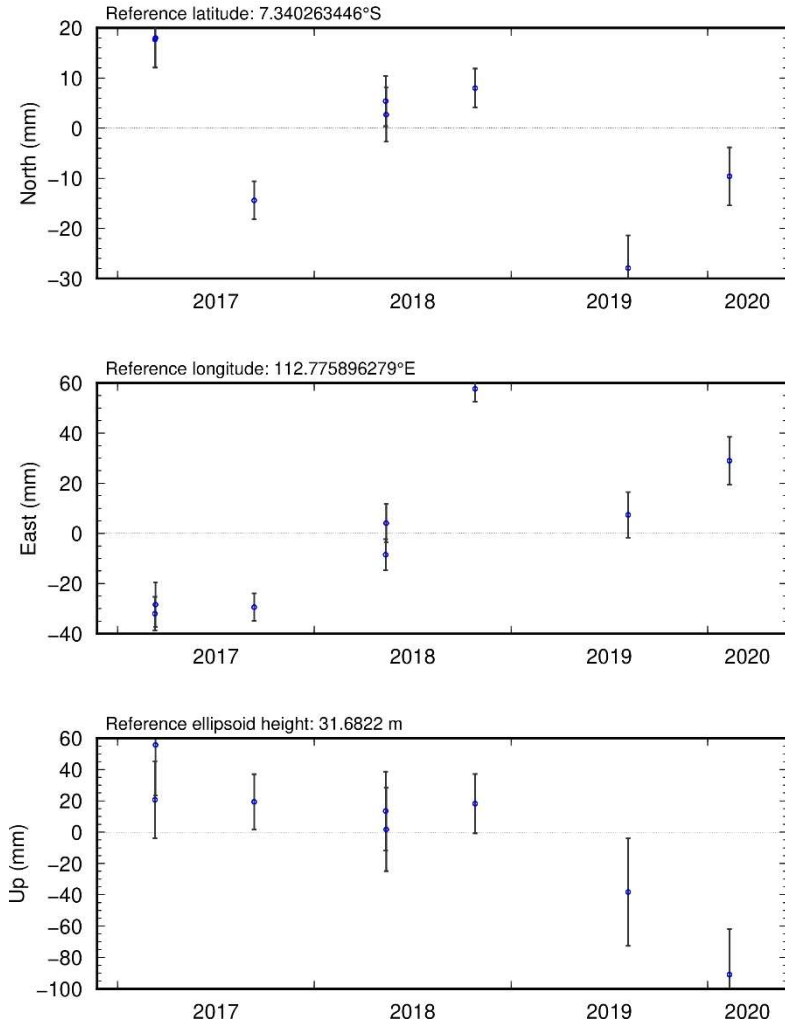
ITS1



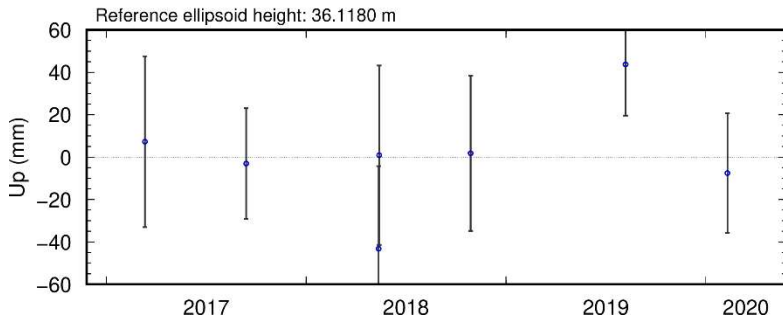
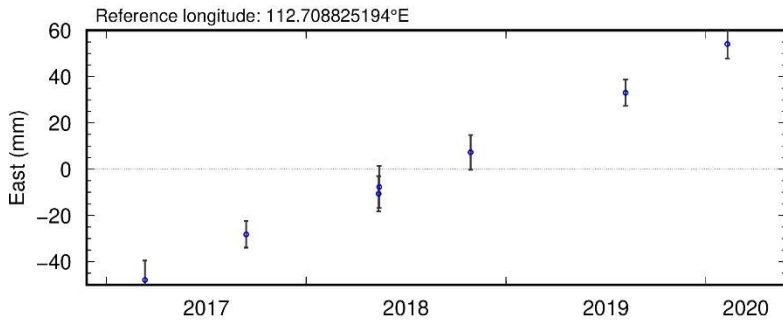
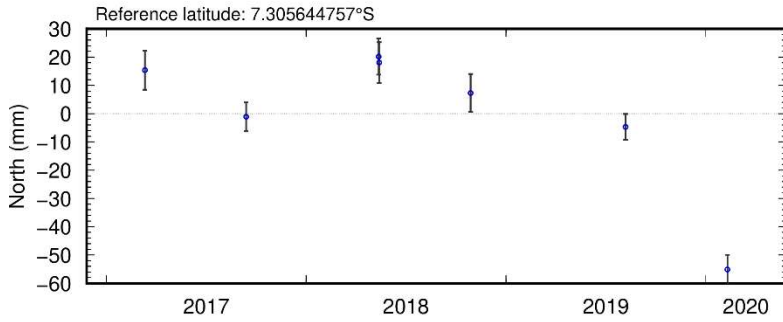
SB15



SBY3



SBY7



Lampiran 3. (Script Plotting dengan GMT)

a. Script Plotting Pergeseran Horizontal

```

1 set A=Horizontal.plt
2
3 gmt grdimage dem.grd -Gdem_sp.grd -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -Iq -V
4 gmt grdgradient dem.grd -A100 -N1 -Gdem_sp_int.grd -V
5 gmt grdimage dem.grd -Iidem_sp_int.grd -M23c -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -Cctanah.opt -K -Yc -Yc -V >> %A%
6 gmt pbasesmap -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23c -B0.05/0.05 -K -L112.83/-7.365/0/4+H+J -FONT_LABEL=11p -FT112.84/-7.19/0/6/2 -FONT_TITLE=11p -MAP_TITLE_OFFSET=0.05i >> %A%
7
8 rem gmt grdimage dem_by.grd -Iidem_sp_int.grd -R -M -Cctanah.opt -O -K -V >> %A%
9
10 rem gmt pscoast -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23 -Df -Svan -Wthinest -O -K >> %A%
11
12 gmt psyscale -D12/-1/15/0.2h -Cctanah.opt -B: -O -K -FONT_LABEL=10p -FONT_ANNOT_PRIMARY=10p -V >> %A%
13 rem gmt psyscale -D12/-1/15/0.2h -Cctanah.opt -B: -O -K -FONT_LABEL=11p -FONT_ANNOT_PRIMARY=11p -V >> %A%
14
15 rem pscoast -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23 -Df -Svan -Wthinest -O -K >> %A%
16
17 psvelo plothorz.dat -J -R -P -B -S6.0/1.0/7/10 -Gblue -A0.075/0.1/0.1 -D1 -L0.5/black -O -K >> %A%
18 gmt psxy -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23c -O -H -W0.5/black kabkot_fusion.txt -K -V >> %A%
19 gmt psxy -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23c -O -H -Wthickred_sesar_surabaya.txt -K -V >> %A%
20 gmt pstext -R -J -O -K -D0.0/15/0 -F#11p,Helvetica,black -N ket.txt -K >> %A%
21 gmt psxy -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23c -O -H -S0.3 -W0.3/black -Oyellow -K tek_pangamatan_barut.txt >> %A%
22 gmt pstext -R -J -O -K -D0.0/15/0 -F#10p,Courier,black -N tek_pangamatan_barut.txt >> %A%
23
24 gmt psconvert %A% -A -Tg

```

b. Script Plotting Pergeseran Vertikal

```

1 set A=Cobavert.ps
2
3 gmt grdimage dem.grd -Gdem_sp.grd -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -Iq -V
4 gmt grdgradient dem.grd -A100 -N1 -Gdem_sp_int.grd -V
5 gmt grdimage dem.grd -Iidem_sp_int.grd -M23c -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -Csurface.opt -K -Yc -Yc -V >> %A%
6 rem gmt grdimage sbv.jpg -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23c -A50 -Yc -Yc -O -K >> %A%
7 gmt pbasesmap -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23c -B0.05/0.05 -K -L112.83/-7.365/0/4+H+J -FONT_LABEL=11p -FT112.84/-7.19/0/6/2 -FONT_TITLE=11p -MAP_TITLE_OFFSET=0.05i >> %A%
8
9 rem gmt pscoast -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23 -Df -Svan -Wthinest -O -K -V >> %A%
10 rem gmt psyscale -D12/-1/15/0.2h -Csurface.opt -B: -O -K -FONT_LABEL=9p -FONT_ANNOT_PRIMARY=9p -V >> %A%
11 rem gmt psyscale -D12/-1/15/0.2h -Csurface.opt -B: -O -K -FONT_LABEL=9p -FONT_ANNOT_PRIMARY=9p -V >> %A%
12
13 psvelo vert_subs.dat -J -R -B -S6.0/1.0/9/10 -Gred -A0.075/0.1/0.1 -D1 -L0.6/black -O -K >> %A%
14 psvelo vert_up.dat -J -R -B -S6.0/1.0/9/10 -Gblue -A0.075/0.1/0.1 -D1 -L0.6/black -O -K >> %A%
15 gmt psxy -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23c -O -H -W0.5/black kabkot_fusion.txt -K -V >> %A%
16 gmt psxy -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23c -O -H -Wthickred_sesar_surabaya.txt -K -V >> %A%
17 gmt pstext -R -J -O -K -D0.0/15/0 -F#11p,Helvetica,black -N ket.txt >> %A%
18 gmt psxy -R112.55/112.87/-7.38/-7.15 -M23c -O -H -S0.3 -W0.3/black -Oyellow -K tek_pangamatan_barut.txt >> %A%
19 gmt pstext -R -J -O -K -D0.0/15/0 -F#10p,Courier,black -N tek_pangamatan_barut.txt >> %A%
20
21 gmt psconvert %A% -A +t10c -Tg
22
23 rem gmt inset begin -D1R+w5/2.35c+0.4/0.25c -F#qwhet+plp+0.0/1c+ >> %A%
24 rem gmt coast -R111/113.8/-8.5/-6 -M7 -Da -Gbrown -B0 -EES+gisque
25 rem gmt inset end

```

Lampiran 4. (Deskripsi Titik Pengamatan)

Foto Titik Pengamatan	Deskripsi
	<p>Titik : BM02 Lokasi : Ds. Sumberejo, Kec. Pakal Deskripsi : Di pinggir jalan raya. Dekat Gelora Bung Karno dan TPA Benowo.</p>
	<p>Titik : BM08 Lokasi : Jl. Satelit Utara, Kec. Sukomanunggal Deskripsi : Berada di taman tengah pembagi jalan. Berada di lingkungan perumahan.</p>
	Titik : BM15

Foto Titik Pengamatan	Deskripsi
	<p>Lokasi : Kec. Bulak Deskripsi : Titik berada di dekat Jembatan Suroboyo. Di pinggir jalan raya dan dipinggir aliran sungai kecil.</p>
	<p>Titik : BM16 Lokasi : Ds. Mojo, Kec. Gubeng Deskripsi : Titik berada di pinggir jalan raya. Dekat Supermarket dan bangunan hotel.</p>
	<p>Titik : BM23</p>

Foto Titik Pengamatan	Deskripsi
	<p>Lokasi : Kec. Benowo Deskripsi : Titik berada di warung yang berlokasi di perempatan jalan raya. Kondisi banyak pepohonan besar dan bangunan. Pijakan titik sudah rentan goyang.</p>
	<p>Titik : BM24 Lokasi : Kelurahan Lontar, Kec. Sambikerep Deskripsi : Titik berada di pinggir jalan dan berada di bawah pohon asem besar. Berlokasi di dekat jembatan.</p>

Foto Titik Pengamatan	Deskripsi
	<p>Titik : BM29 Lokasi : Kec. Deskripsi : titik berada di bawah pohon, kondisi pohon saat pengukuran kala 6 telah ditebang sebagian. Titik berada di pinggir jembatan, sungai dan jalan raya.</p>
	<p>Titik : BM33 Lokasi : Kelurahan Balas Lumpruk. Kecamatan Wiyung. Deskripsi : Titik berada di sebelah barat tikungan, berada di sebelah tugu batas desa.</p>

Foto Titik Pengamatan	Deskripsi
	<p>Titik : BSBY Lokasi : Kec. Pabean Cantikan Deskripsi :</p>
	<p>Titik : ITS1 Lokasi : Kec. Sukolilo Deskripsi : Titik berada di taman Rektorat ITS.</p>

Foto Titik Pengamatan	Deskripsi
	<p>Titik : ITSN Lokasi : Kec. Sukolilo Deskripsi : Titik berada di taman dekat gedung Teknik Geomatika.</p>
	<p>Titik : KJRN Lokasi : Kel. Tanah Kali Kedinding, Kec. Kenjeran Deskripsi : Berada di Polsek Kenjeran. Pohon di sekitar titik tidak begitu besar. Bangunan disekitar titik cukup banyak.</p>

Foto Titik Pengamatan	Deskripsi
	<p>Titik : RNKT Lokasi : Kec. Tenggilis Mejoyo Deskripsi : Berada di kawasan SIER (Bundaran). Berada di dekat Tugu BPJS.</p>
	<p>Titik : SBY3 Lokasi : Kec. Gunung Anyar Deskripsi : Di sebelah utara terdapat sungai. Titik berada di wilayah perumahan.</p>

Foto Titik Pengamatan	Deskripsi
	<p>Titik : SBY7 Lokasi : Kec. Dukuh Pakis Deskripsi : Berada di halaman Masjid Al Kautsar.</p>
	<p>Titik : SB15 Lokasi : Kelurahan Greges, Kecamatan Asemrowo. Deskripsi : Berada di semak-semak dan tempat pembuangan sampah.</p>

Foto Titik Pengamatan	Deskripsi
	<p>Titik : TURI Lokasi : Kec. Bubutan Deskripsi : Titik berada di taman parkir Stasiun Pasar Turi.</p>
	<p>Titik : WARU Lokasi : Kecamatan Gayungan Deskripsi : Titik berada di Jalan Ahmad Yani. Di taman tengah pemisah jalur jalan. Di seberang titik terdapat Cito Mall dan Korem.</p>

Foto Titik Pengamatan	Deskripsi
	<p>Titik : WONO Lokasi : Kecamatan Wonokromo Deskripsi :</p>
	<p>Titik : SGKN Lokasi : Kelurahan Pakis, Kecamatan Sawahan. Deskripsi : Titik berada di taman depan kantor TVRI, berada di pinggir jalan raya.</p>

Foto Titik Pengamatan	Deskripsi
	<p>Titik : BM34 Lokasi : Kelurahan Wonorejo, Kec. Rungkut Deskripsi : Titik berada di sebelah barat dari pertigaan Jl. Wonorejo Permai Selatan VII. Titik berada di bawah pohon dekat selokan.</p>
	<p>Titik : BM35 Lokasi : Kelurahan Buntaran, Kecamatan Tandes. Deskripsi : Titik berada di tepi sungai.</p>

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”



BIODATA PENULIS

Penulis bernama Cindy Nandya Riastama yang merupakan putri pertama dari Bapak Mahfud Effendi dan Ibu Susanti. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis lahir di Madiun pada tanggal 27 Desember 1997. Penulis telah menempuh pendidikan di TK Garon 02, SDN Garon 02, SMPN 1 Mejayan, dan SMAN 1 Mejayan. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan di program studi S1 Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut

Teknologi Sepuluh Nopember melalui seleksi jalur SNMPTN. Penulis pernah aktif pada kegiatan Organisasi Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE-ITS) periode 2017/2019 sebagai Sekretaris II dan periode 2019/2020 sebagai Sekretaris I. Pada semester 5 penulis mendapat Beasiswa KSE dan juga aktif di Paguyuban KSE ITS sebagai Staff Departemen Eksternal tahun 2018/2019 dan diamanahi sebagai Wakil Ketua pada periode 2019/2020. Penulis aktif dalam berbagai pelatihan dan kegiatan kepanitiaan di lingkup Departemen, Fakultas, Institut maupun eksternal, diantaranya Geolympic 2018 dan 2019, Geoicon 2019, Gerigi ITS 2017 dan 2018, LKMM Pra TD 2018, LKMM TD 2019, LKMM TM 2019, dan *Leadership Camp* di AKMIL Magelang. Penulis pernah magang mandiri di Badan Pertanahan Nasional Kota Madiun pada tahun 2018. Penulis telah melaksanakan Kerja Praktik di PT. Pertamina EP, Jakarta Selatan pada tahun 2019. Dalam penyelesaian syarat S-1 penulis memilih bidang keahlian Geodinamika, dengan judul Tugas Akhir "*Monitoring* Aktivitas Sesar Kendeng Berdasarkan Pengamatan GPS Tahun 2017-2020 (Studi Kasus: Kota Surabaya)". Penulis dapat dihubungi melalui email dengan alamat cindynandya27@gmail.com.