

**TUGAS AKHIR - CM224835**

# **ANALISIS DEFORMASI PULAU JAWA BAGIAN TIMUR MENGUNAKAN DATA PENGAMATAN GPS TAHUN 2017 - 2022**

**MUHAMMAD RAFIQ**

**NRP 0331194000022**

Dosen Pembimbing

**Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D**

**NIP. 197812312002122001**

**Putra Maulida, S.T., M.T., Ph.D**

**NIP. 199109202019031015**

**Program Studi S1 Teknik Geomatika**

Departemen Teknik Geomatika

Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2023

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



**TUGAS AKHIR - CM224835**

**ANALISIS DEFORMASI PULAU JAWA BAGIAN TIMUR  
MENGUNAKAN DATA PENGAMATAN GPS TAHUN  
2017 - 2022**

**MUHAMMAD RAFIQ**

**NRP 0331194000022**

Dosen Pembimbing

**Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D**

**NIP. 197812312002122001**

**Putra Maulida, S.T., M.T., Ph.D**

**NIP. 199109202019031015**

**Program Studi S1 Teknik Geomatika**

Departemen Teknik Geomatika

Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2023

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



**FINAL PROJECT - CM224835**

# **DEFORMATION ANALYSIS IN EASTERN JAVA USING GPS OBSERVATION DATA FROM 2017 TO 2022**

**MUHAMMAD RAFIQ**

**NRP 0331194000022**

Supervisor

**Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D**

**NIP. 197812312002122001**

**Putra Maulida, S.T., M.T., Ph.D**

**NIP. 199109202019031015**

**Study Program Bachelor of Geomatics Engineering**

Department of Geomatics Engineering

Faculty of Civil Planning and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2023

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## LEMBAH PENGESAHAN

### ANALISIS DEFORMASI PULAU JAWA BAGIAN TIMUR MEGGUNAKAN DATA PENGAMATAN GPS TAHUN 2017 – 2022

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarja Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Geomatika  
Departemen Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **MUHAMMAD RAFIQ**

NRP. 0331194000022

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D  
NIP. 197812312002122001

Pembimbing

2. Putra Maulida, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 199109202019031015

Ko-Pembimbing

3. Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T.  
NIP. 197407272000031001

Penguji

4. Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D  
NIP. 198112232005011002

Penguji

5. Akbar Kurniawan, S.T., M.T.  
NIP. 198605182012121002

Penguji



Juli, 2023

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# APPROVAL SHEET

## DEFORMATION ANALYSIS IN EASTERN JAVA USING GPS OBSERVATION DATA FROM 2017 TO 2022

### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree bachelor of engineering at  
Undergraduate Study Program of Geomatics Engineering  
Departement of Geomatics Engineering  
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **MUHAMMAD RAFIQ**

NRP. 0331194000022

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D  
NIP. 197812312002122001

Advisor



2. Putra Maulida, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 199109202019031015

Co-Advisor



3. Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T.  
NIP. 197407272000031001

Examiner



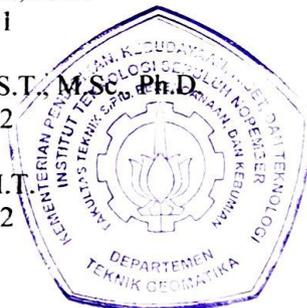
4. Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D  
NIP. 198112232005011002

Examiner



5. Akbar Kurniawan, S.T., M.T.  
NIP. 198605182012121002

Examiner



**SURABAYA**

**July, 2023**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Muhammad Rafiq / 0331194000022  
Program studi : Teknik Geomatika  
Dosen Pembimbing / NIP : Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D /  
197812122005012001  
Putra Maulida, S.T., M.T., Ph.D / 199109202019031015

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Deformasi Pulau Jawa Bagian Timur Menggunakan Data Pengamatan GPS Tahun 2017 – 2022” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 31 Juli 2023

Mengetahui  
Dosen Pembimbing I



(Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D)  
NIP. 197812312002122001

Mengetahui  
Dosen Pembimbing II



(Putra Maulida, S.T., M.T., Ph.D)  
NIP. 199109202019031015

Mahasiswa



(Muhammad Rafiq)  
NRP. 0331194000022

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Student Name / NRP : Muhammad Rafiq / 0331194000022  
Department : Geomatics Engineering  
Advisor / NIP : Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D /  
197812122005012001  
Putra Maulida, S.T., M.T., Ph.D / 199109202019031015

hereby declare that the Final Project with the title of “Deformation Analysis in Eastern Java Using GPS Observation Data From 2017 to 2022” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 31 July 2023

Acknowledged  
Advisor I



(Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D)  
NIP. 197812312002122001

Acknowledged  
Advisor II



(Putra Maulida, S.T., M.T., Ph.D)  
NIP. 199109202019031015

Student



(Muhammad Rafiq)  
NRP. 0331194000022

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## ABSTRAK

### ANALISIS DEFORMASI PULAU JAWA BAGIAN TIMUR MENGUNAKAN DATA PENGAMATAN GPS TAHUN 2017 – 2022

**Nama Mahasiswa / NRP** : **Muhammad Rafiq / 0331194000022**  
**Departemen** : **Teknik Geomatika FTSPK - ITS**  
**Dosen Pembimbing** : **Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D**  
**Putra Maulida, S.T., M.T., Ph.D**

#### Abstrak

Pulau Jawa merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi gempa bumi yang tinggi. Kegempaan di Pulau Jawa didominasi oleh gempa yang berkaitan dengan subduksi dan sesar-sesar di darat, dimana secara umum struktur geologi aktif berupa sesar geser, sesar naik, dan sesar normal. Pada area Jawa bagian tengah dan timur, struktur yang dominan adalah struktur sesar naik (zona Sesar Kendeng dan Sesar Semarang), sedangkan di bagian timur Jawa didominasi oleh struktur sesar normal (Sesar Pasuruan, Probolinggo, dan Baluran). Beberapa penelitian mengindikasikan bahwa terdapat aktivitas seismisik serta vulkanik yang berpengaruh terhadap deformasi di wilayah Pulau Jawa bagian timur. Oleh karena itu, penting untuk memantau dan menganalisis pergerakan deformasi tanah secara berkelanjutan. Dalam penelitian ini memanfaatkan data pengamatan GPS dari *Continuously Operating Reference Station* Badan Informasi Geospasial (CORS BIG) dan melakukan pengolahan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Pada studi ini, juga melibatkan data stasiun *International GNSS Service* (IGS) yang mengelilingi seluruh wilayah penelitian, serta menggunakan data orbit satelit (*precise ephemeris*) dan data koreksi ionosfer. Hasil pengolahan didapatkan nilai kecepatan pergeseran dalam kerangka referensi ITRF2014, yang memperlihatkan pola pergeseran kearah tenggara hingga yang mencapai 29 mm/tahun, dimana sebagian besar dipengaruhi oleh pergerakan lempeng blok Sunda. Nilai kecepatan berdasar pergerakan blok Sunda menunjukkan pola yang berbeda antara Jawa bagian selatan dan Jawa bagian utara. Pola kecepatan di Jawa bagian selatan cenderung bergerak ke timur laut dengan variasi kecepatan 3-6 mm/tahun, sedangkan beberapa stasiun utara menunjukkan pola pergerakan ke tenggara dengan variasi 2-4 mm/tahun. Analisis regangan memperlihatkan pola yang berbeda antara wilayah timur dan barat serta karakteristik yang berbeda dari wilayah selatan dan utara. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan karakteristik dari sumber deformasi di Pulau Jawa bagian timur. Hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam analisis bahaya seismik serta berkontribusi untuk mitigasi bencana di masa depan.

**Kata kunci:** *Deformasi, GAMIT/GLOBK, GPS, Pulau Jawa Bagian Timur*

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## ABSTRACT

### DEFORMATION ANALYSIS IN EASTERN JAVA USING GPS OBSERVATION DATA FTOM 2017 TO 2022

**Student Name / NRP** : **Muhammad Rafiq / 0331194000022**  
**Department** : **Geomatics Engineering FTSPK - ITS**  
**Advisor** : **Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D**  
**Putra Maulida, S.T., M.T., Ph.D**

#### Abstract

Java Island is one of the areas that has a high earthquake potential. Seismicity in Java Island is dominated by earthquakes related to subduction and faults on land, where in general the geological structure is active in the form of sliding faults, ascending faults, and normal faults. In the central and eastern parts of Java, the dominant structure is the ascending fault structure (Kendeng Fault zone and Semarang Fault), while in the eastern part of Java it is dominated by normal fault structures (Pasuruan, Probolinggo, and Baluran Faults). Several studies indicate that there are seismic and volcanic activities that affect deformation in the eastern part of Java. Therefore, it is important to monitor and analyze the movement of soil deformation on an ongoing basis. In this study utilizing GPS observation data from the Geospatial Information Agency Continuously Operating Reference Station (CORS BIG) and processing using GAMIT/GLOBK software. This study also involved data from International GNSS Service (IGS) stations that surround the entire study area, as well as using satellite orbit data (precise ephemeris) and ionospheric correction data. The processing results obtained the value of the shift speed in the ITRF2014 reference frame, which shows a shift pattern towards the southeast to reach 29 mm / year, which is mostly influenced by the movement of the Sunda block plate. The speed value based on the movement of the Sunda block shows a different pattern between southern Java and northern Java. The speed pattern in southern Java tends to move northeast with speed variations of 3-6 mm / year, while some northern stations show movement patterns to the southeast with variations of 2-4 mm / year. Strain analysis shows different patterns between the eastern and western regions and different characteristics of the southern and northern regions. This shows that there are different characteristics of deformation sources in eastern Java. The results obtained can be used as consideration in seismic hazard analysis and contribute to disaster mitigation in the future.

**Keywords:** *Deformation, GAMIT/GLOBK, GPS, Eastern Java*

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Deformasi Pulau Jawa Menggunakan Data Pengamatan GPS Tahun 2017 - 2022” dengan lancar. Buku tugas akhir ini disusun sebagai syarat tugas akhir bagi setiap mahasiswa Teknik Geomatika ITS dan juga sebagai sebuah bukti bahwa mahasiswa telah mampu menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan benar.

Dalam menyelesaikan penyusunan buku tugas akhir ini banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis. Oleh karena itu, penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis yang telah memberikan kasih sayang, doa, semangat dan seluruh dukungan baik secara moral maupun material.
2. Bapak Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil, Ph.D. dan Bapak Putra Maulida, ST, MT, Ph.D selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, masukan dan arahan selama pelaksanaan penelitian hingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Badan Informasi Geospasial (BIG) yang sudah memberikan keseluruhan data yang digunakan pada penelitian ini kepada penulis.
5. Teman – teman Departemen Teknik Geomatika FTSPK-ITS Angkatan 2019 atas bantuan, dukungan dan semangat yang telah diberikan.
6. Teman -teman penghuni Lab Geodinamika yang sudah mengajarkan banyak ilmu tentang pengolahan data terkait topik penulis.
7. Segenap dosen, tenaga kependidikan, serta karyawan Departemen Teknik Geomatika ITS yang telah memberikan banyak ilmu, saran, bantuan, dukungan, serta keramahan selama pelaksanaan penelitian Tugas Akhir di Departemen Teknik Geomatika ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini tidak terlepas dari kekurangan. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2023

Penulis

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR ISI

LEMBAH PENGESAHAN .....	i
APPROVAL SHEET .....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	v
STATEMENT OF ORIGINALITY.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
DAFTAR SINGKATAN DAN AKRONIM.....	xxiii
DAFTAR SIMBOL .....	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu .....	3
2.2 Kondisi Tektonik di Indonesia .....	5
2.3 Sunda Blok .....	7
2.4 Siklus Gempa.....	8
2.5 Deformasi .....	10
2.5.1 Kecepatan dan Regangan .....	11
2.6 <i>Global Positioning System (GPS)</i> .....	12
2.7 Pemantauan Deformasi dengan GPS.....	14
2.8 <i>Internastional GNSS Service (IGS)</i> .....	15
2.9 <i>Software GAMIT/GLOBK</i> .....	15
BAB 3 METODOLOGI .....	17
3.1 Lokasi Penelitian .....	17
3.2 Data dan Peralatan.....	17
3.2.1 Data .....	17

3.2.2	Peralatan .....	19
3.3	Tahapan Penelitian .....	20
3.3.1	Tahap Pelaksanaan Penelitian.....	21
3.3.2	Tahap Pengolahan Data .....	21
3.3.3	Tahap Akhir .....	23
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	25
4.1	Hasil Koordinat Tereferensi.....	25
4.2	Analisis <i>Time Series</i> .....	26
4.3	Hasil Perhitungan Kecepatan Pergerakan Titik Pengamatan.....	27
4.3.1	Analisis Pergerakan Horizontal .....	27
4.3.2	Analisis Pergerakan Vertikal .....	30
4.4	Hasil Perhitungan Kecepatan Pergerakan Lokal Titik Pengamatan .....	32
4.5	Hasil Perhitungan Regangan .....	38
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN .....	43
5.1	Kesimpulan .....	43
5.2	Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	.....	45
LAMPIRAN	.....	49
BIODATA PENULIS	.....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kegempaan di Jawa Tahun 2017-2022 dengan magnitude $\geq 4,5$ .....	1
Gambar 2.1 Peta Tektonik Wilayah Indonesia dari Data Geodetik hingga Tahun 2016, .....	5
Gambar 2.2 Gempa di Indonesia Hasil Relokasi dari 1907-2016 .....	6
Gambar 2.3 Mekanisme Kejadian Gempa di Pulau Jawa Bagian Timur Tahun 2017-2022.....	7
Gambar 2.4 Wilayah Cakupan Sunda Blok.....	7
Gambar 2.5 Ilustrasi Pegerakan Lempeng.....	8
Gambar 2.6 Mekanisme Fase Gempa: (a) Interseismic, (b) Coseismic, (c) Post-seismic.....	9
Gambar 2.7 Time Series Kejadian Gempa .....	9
Gambar 2.8 Time Series Mekanisme Fase Gempa Pada Stasiun GPS J216 .....	10
Gambar 2.9 Pola dan Penyebab Fenomena Deformasi .....	11
Gambar 2.10 Segmen Utama GPS .....	13
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian dan Sebaran Titik Stasiun Pengamatan CORS .....	17
Gambar 3.2 Persebaran Stasiun IGS.....	19
Gambar 3.3 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian .....	20
Gambar 3.4 Contoh Hasil Plotting Regangan .....	23
Gambar 4.1 Plotting Time Series Stasiun Pengamatan: (a) CLMG, (b) CNGA.....	26
Gambar 4.2 Hasil Plotting Kecepatan Pergeseran Horizontal Stasiun Pengamatan CORS .....	29
Gambar 4.3 Hasil Plotting Nilai Kecepatan Vertikal Setiap Stasiun Pengamatan .....	31
Gambar 4.4 Hasil Plotting Kecepatan Pergerakan Blok Sunda dengan Kecepatan Pergerakan Setiap Stasun Pengamatan Hasil Pengolahan .....	34
Gambar 4.5 Hasil Plotting Nilai Pereseran Lokal Setiap Stasiun Pengamatan .....	36
Gambar 4.6 Perbandingan Arah Pergeseran Stasiun CORS: .....	37
Gambar 4.7 Hasil Plotting Regangan menggunakan Metode Strain Interpolation .....	38
Gambar 4.8 Dilatation Rate .....	40
Gambar 4.9 Maximum Shear Strain Rate.....	41

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	3
Tabel 3.1 Data Koordinat Stasiun Pengamatan .....	18
Tabel 4.1 Hasil Koordinat Tereferensi Setiap Stasiun Pengamatan .....	25
Tabel 4.2 Nilai Kecepatan Komponen Pergerakan Horizontal Setiap Stasiun Pengamatan ....	27
Tabel 4.3 Nilai Kecepatan Vertikal Setiap Stasiun Pengamatan.....	30
Tabel 4.4 Nilai Kecepatan Komponen Easting dan Northing Setiap Stasiun Pengamatan .....	32
Tabel 4.5 Kecepatan Pergeseran Lokal Setiap Stasiun Pengamatan .....	35
Tabel 4.6 Hasil Nilai Regangan Metode Strain Interpolation .....	39

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. <i>File</i> Kontrol GAMIT/GLOBK.....	49
Lampiran B. <i>Time Series</i> .....	52
Lampiran C. <i>File Script</i> GMT .....	66

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR SINGKATAN DAN AKRONIM

BIG	: Badan Informasi Geospasial
CMT	: <i>Centroid Moment Tensor</i>
CORS	: <i>Continuously Operating Reference System</i>
DOY	: <i>Day of Year</i>
EOP	: <i>Earth Orientation Parameter</i>
EPC	: <i>Euler Pole Calculator</i>
GAMIT	: <i>GNSS at MIT</i>
GLOBK	: <i>Global Kalman Filter</i>
GMT	: <i>Generic Mapping Tools</i>
GNSS	: <i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	: <i>Global Positioning System</i>
IAG	: <i>International Association of Geodesy</i>
IGS	: <i>International GNSS Service</i>
ITRF	: <i>International Terrestrial Reference Frame</i>
MAGNET GPS	: <i>Mobile Array of GPS for Nevada Transtention</i>
MIT	: <i>Massachusetts Institute of Technology</i>
PJKGG	: Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika
RINEX	: <i>The Receiver Independent Exchange Format</i>
SIO	: <i>Scripps Institution of Oceanography</i>
USGS	: <i>United States Geological Survey</i>
VISR	: <i>Velocity Interpolation for Strain Rate</i>

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR SIMBOL

$M_w$	: Magnitudo Momen
$\varphi$	: Lintang
$\lambda$	: Bujur
$\omega$	: Rotasi angular
$\theta$	: Sudut Kutub rotasi
$V_e$	: Kecepatan arah <i>easting</i>
$V_n$	: Kecepatan arah <i>northing</i>
$\sigma_e$	: Standar deviasi kecepatan arah <i>easting</i>
$\sigma_n$	: Standar deviasi kecepatan arah <i>northing</i>
$e$	: Koordinat <i>easting</i>
$n$	: Koordinat <i>northing</i>
$\varepsilon_{ee}$	: Parameter regangan kontrol <i>easting</i>
$\varepsilon_{nn}$	: Parameter regangan kontrol <i>northing</i>
$\varepsilon_{ne}$	: Parameter regangan silang
$t_e$	: Faktor translasi arah <i>easting</i>
$t_n$	: Faktor translasi arah <i>northing</i>
$V_h$	: Kecepatan pergeseran horizontal
$\sigma_h$	: Standar deviasi kecepatan pergeseran horizontal
$V_u$	: Kecepatan pergeseran vertikal
$\sigma_u$	: Standar deviasi kecepatan pergeseran vertikal
$\varepsilon_1$	: Nilai principal strain
$\varepsilon_2$	: Nilai principal strain
$\alpha$	: Azimuth

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# BAB 1

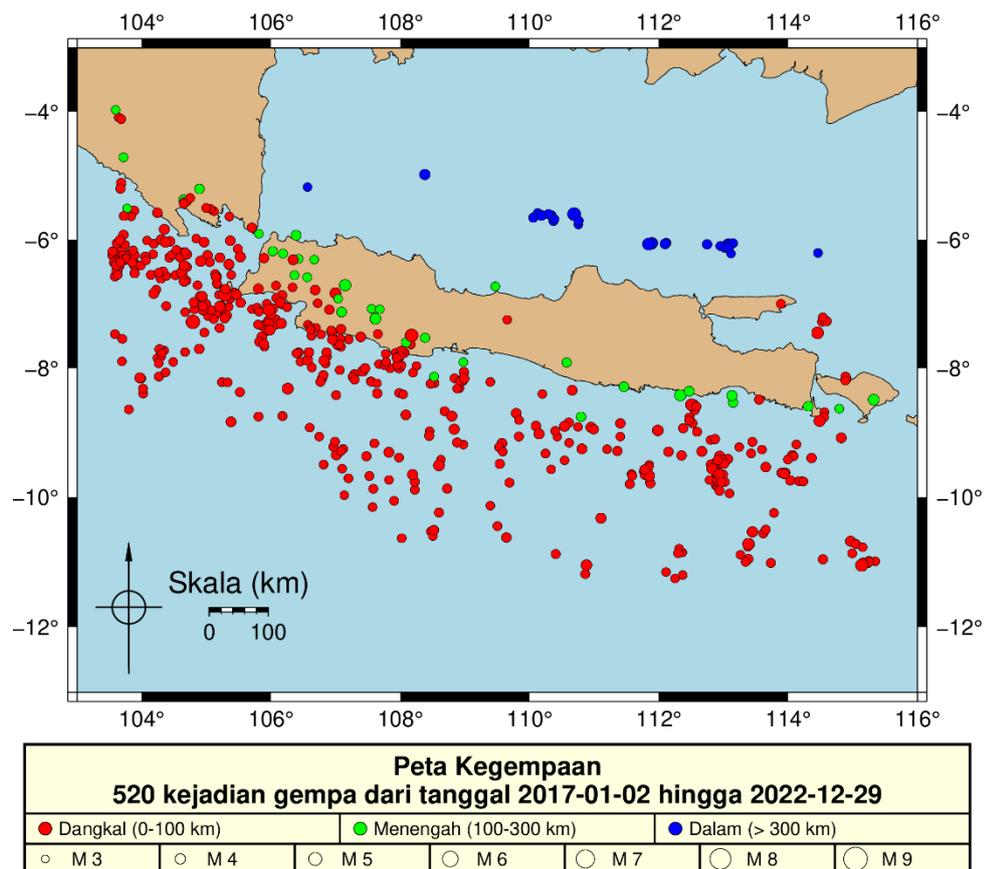
## PENDAHULUAN

Pada Bab 1 berisi mengenai pendahuluan penelitian yang mencakup latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, serta manfaat penelitian.

### 1.1 Latar Belakang

Secara geologis Indonesia terletak di zona tektonik aktif yang berada pada pertemuan lempeng tektonik kompleks antara lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil atau mikroblok sehingga membuat wilayah Indonesia rawan akan banyaknya peristiwa gempa bumi (Bird, 2003). Indonesia dikelilingi oleh empat lempeng utama yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik dimana mengakibatkan wilayah Indonesia memiliki tingkat seismisitas dan vulkanisme yang tinggi. Data sejarah gempa yang pernah terjadi di Indonesia dan sekitarnya tahun 1907 sampai Agustus 2016 dengan magnitudo ( $M_w$ )  $\geq 4,5$  telah dikumpulkan dari berbagai sumber, dengan jumlah keseluruhan data gempa mencapai 51.855 (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Kegempaan di Pulau Jawa didominasi oleh gempa yang berkaitan dengan subduksi dan sesar-sesar di darat, dimana secara umum struktur geologi aktif di Pulau Jawa berupa sesar geser dan sesar naik dengan sesar turun sebagai struktur minor. Kedalaman gempa yang terjadi di Pulau Jawa dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Kegempaan di Jawa Tahun 2017-2022 dengan magnitudo  $\geq 4,5$   
(Sumber: USGS, 2023)

Penelitian tentang pemetaan sumber gempa di Jawa terutama sesar aktif yang berada di darat saat ini mulai menjadi perhatian. Marliyani dkk. (2016) misalnya menggunakan berbagai

metode geologi yang meliputi pemetaan, analisis kualitatif dan kuantitatif geomorfologi tektonik, dan paleoseismologi dalam memetakan sesar-sesar aktif di Jawa (*on shore*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa deformasi aktif di Jawa terakomodasi oleh struktur-struktur berskala kecil (km hingga puluhan km) dengan penyebaran yang cukup luas.

Pada area Jawa bagian tengah dan timur, struktur yang dominan adalah struktur sesar naik (zona Sesar Kendeng dan Sesar Semarang), sedangkan di bagian timur Pulau Jawa didominasi oleh struktur sesar normal (Sesar Pasuruan, Probolinggo, dan Baluran). Adanya fenomena ini merupakan indikasi dari terdapatnya aktivitas seismisik serta vulkanik yang berpengaruh terhadap deformasi di wilayah Pulau Jawa bagian timur. Oleh karena itu diperlukan sebuah penelitian dan kajian yang dapat dimanfaatkan sebagai referensi untuk meminimalisasi dampak deformasi yang diakibatkan oleh gerak aktif dari zona sesar terkait. Penelitian ini memanfaatkan data stasiun GPS CORS BIG di wilayah Pulau Jawa bagian timur, yang menghasilkan data deformasi dalam bentuk kecepatan, vektor pergeseran, serta nilai pergeseran titik yang diamati. Data dari stasiun GPS CORS tersebut diolah menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK untuk mengetahui posisi, arah, dan besar pergeseran suatu titik pengamatan dari waktu ke waktu.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai kecepatan pergeseran pada stasiun pengamatan?
2. Bagaimana arah pergeseran pada stasiun pengamatan?
3. Bagaimana besar deformasi pada wilayah Pulau Jawa bagian timur berdasarkan data stasiun pengamatan GPS CORS BIG tahun 2017-2022?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Data pengamatan GPS dari stasiun CORS wilayah Pulau Jawa bagian timur.
2. Proses pengolahan data GPS menggunakan Software GAMIT/GLOBK

## **1.4 Tujuan**

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai kecepatan pergeseran pada stasiun pengamatan
2. Mengetahui arah pergeseran pada stasiun pengamatan
3. Mengetahui besar nilai deformasi di wilayah Pulau Jawa bagian timur berdasarkan data stasiun pengamatan GPS CORS BIG tahun 2017 - 2022

## **1.5 Manfaat**

Dari penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi salah satu sumber informasi mengenai adanya deformasi di wilayah Pulau Jawa bagian timur yang diperoleh dari pengamatan GPS. Informasi tersebut diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mitigasi bencana maupun penelitian lain yang terkait.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam Bab 2, beberapa konsep dasar mengenai kondisi tektonik Indonesia, siklus gempa, deformasi tanah, hingga gambaran terkait pemantauan deformasi menggunakan GPS dijelaskan.

### 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian Tugas Akhir ini dilaksanakan setelah melakukan studi literatur terhadap tiga penelitian terkait sebelumnya. Pertama, penelitian yang dilakukan oleh Johannes Maria Vianney Laksmantyo pada tahun 2014 dengan judul penelitian “Analisis Deformasi di Wilayah Jawa Tengah Akibat Pengaruh Subduksi Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2009-2012”. Kedua, penelitian yang dilakukan oleh Emma Vio Nisa Barunawati pada tahun 2019 dengan judul “Analisis Hubungan Deformasi di Jawa Timur Bagian Selatan dengan Aktivitas Zona Subduksi Java Trench Menggunakan Data GPS CORS Tahun 2015-2018” serta penelitian yang dilakukan oleh Arya Cahyadi pada tahun 2021 dengan judul “Analisis Hubungan Deformasi di Pulau Jawa Dengan Aktivitas Zona Subduksi *Java Trench* Menggunakan Data GPS CORS Tahun 2016”. Perbedaan ketiga penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penulis	Johanes Maria Vianney Laksmantyo, (2014)	Emma Vio Nisa Barunawati, (2019)	Arya Cahyadi, (2021)
Judul	Analisis Deformasi di Wilayah Jawa Tengah Akibat Pengaruh Subduksi Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2009-2012	Analisis Hubungan Deformasi di Jawa Timur Bagian Selatan dengan Aktivitas Zona Subduksi Java Trench Menggunakan Data GPS CORS Tahun 2015-2018	Analisis Hubungan Deformasi di Pulau Jawa dengan Aktivitas Zona Subduksi Java Trench Menggunakan Data GPS CORS Tahun 2016
Data	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Data titik-titik pengamatan GPS kontinu yang tersebar di wilayah Jawa Tengah (CMGL, CJPR, CPBL, CPKL, CSEM, dan JOGS)</li> <li>2. Data pengamatan 11 stasiun IGS di sekeliling wilayah pengamatan (ASPA, CNMR, COCO, DARW, DGAR, GUAM, KARR, KOUC, PIMO, TOW2, dan YAR2)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Data stasiun pengamatan tugas akhir ini merupakan data RINEX sebelas stasiun Ina-CORS yang tersebar di Jawa Timur Bagian Selatan (CMAG, CNGA, CTUL, CMLG, CPAS, CLUM, CPAI, CJEM, CPES, CBRN, dan CNYU) untuk bulan Januari 2015 sampai dengan Bulan Desember 2018.</li> <li>2. Data 17 titik ikat IGS yang digunakan dalam penelitian yaitu XMIS, DARW, DGAR, PIMO, COCO, SOLO, BAKO, BAUR, GUAM IISC.</li> <li>3. Data orbit satelit</li> <li>4. Nilai jam satelit</li> <li>5. Data pendukung dalam pengolahan GAMIT/GLOBK (data pemodelan atmosfer, pemodelan pasang-surut laut, pemodelan cuaca)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Data RINEX stasiun pengamatan CORS BIG yang tersebar di seluruh Pulau Jawa dengan tahun pengamatan tahun 2016.</li> <li>2. Data pengamatan 12 titik ikat stasiun IGS yaitu REUN, DARW, DGAR, CEDU, COCO, PNGM, ALIC, NAUR, GUAM IISC, TOW2, TWTF</li> <li>3. Data orbit satelit</li> <li>4. Data file navigasi</li> <li>5. File kontrol dan data tambahan.</li> </ol>

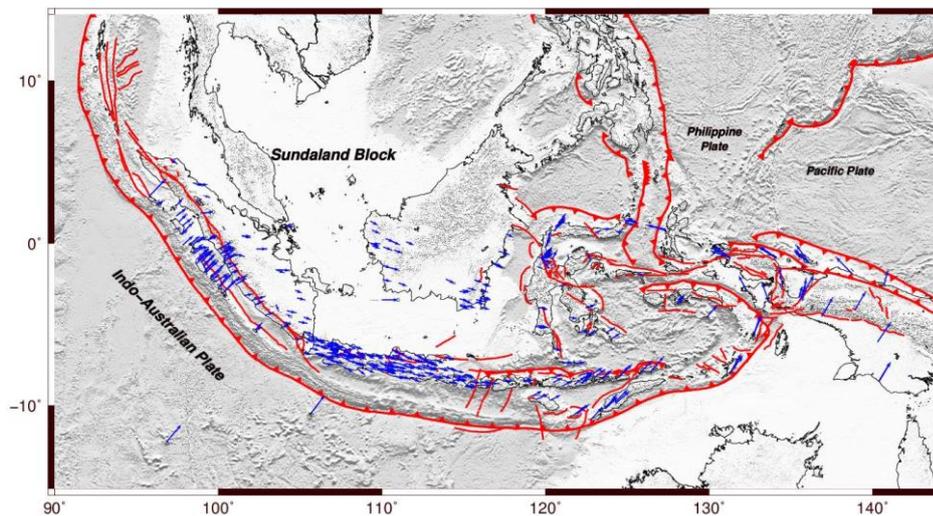
Metode	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengolahan data menggunakan perangkat lunak Bernese 5.0 yang melibatkan titik-titik pengamatan di wilayah Jawa Tengah yang diikatkan dengan stasiun-stasiun IGS</li> <li>- Melakukan pengeplotan hasil koordinat toposentrik ke dalam <i>time series</i> menggunakan Matlab</li> <li>- Setelah pengeplotan untuk melihat pola pergeserannya, maka dilakukan <i>linear-fitting</i> untuk memprediksi pola pergeseran serta pola regangan titik-titik pengamatan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengolahan data Rinex GPS stasiun CORS dan IGS menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK</li> <li>- Plotting pergeseran titik-titik menggunakan GMT</li> <li>- Analisis karakteristik deformasi yang terjadi pada titik-titik pengamatan</li> <li>- Uji statistik membandingkan hasil penelitian data sampel dengan data populasi yang digunakan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengolahan data GPS dengan metode differensial secara radial, dari titik-titik IGS ke titik pengamatan CORS</li> <li>- Pengolahan data Rinex GPS stasiun CORS dan IGS menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK untuk mengetahui posisi, arah, dan besar pergeseran suatu titik pengamatan dari waktu ke waktu</li> </ul>
Hasil	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kecepatan pergeseran titik-titik pengamatan di wilayah Jawa Tengah antara tahun 2010 hingga 2012 bervariasi mulai dari 0,019634 m/tahun hingga 0,034607 m/tahun</li> <li>2. Pola pergeseran dari keseluruhan titik pengamatan bergerak kearah tenggara sebelum efek regional dihilangkan. Setelah efek regional dihilangkan kecepatan pergeseran titik-titik pengamatan mempunyai besar yang variative mulai dari 0,0067 m/tahun hingga 0,0163 m/tahun.</li> <li>3. Pola regangan yang dominan di wilayah Jawa Tengah adalah kompresi. Nilai ekstensi terbesar terdapat di wilayah segitiga CPKL-CSEM-CMGL yakni sebesar 0,13 <math>\mu</math>strain, sedangkan</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nilai Kecepatan Horizontal stasiun Pengamatan Ina-CORS memiliki nilai yang bervariasi. Nilai Kecepatan terbesar terdapat pada stasiun CMAG yang berada di Magetan dengan nilai kecepatan 0,02928 m/tahun, sedangkan stasiun yang memiliki kecepatan horizontal terkecil adalah CPAS yang berada di Pasuruan dengan nilai kecepatan 0,02658 m/tahun.</li> <li>2. Nilai Kecepatan vertikal seluruhnya memiliki nilai negatif. Nilai kecepatan terbesar adalah stasiun CMLG dengan kecepatan vertikal sebesar -0,01405 m/tahun.</li> <li>3. Arah pergeseran 11 stasiun memiliki vektor arah yang sama yaitu menuju ke tenggara.</li> <li>4. Nilai ekstensi terbesar di antara segmen segitiga stasiun pengamatan terdapat pada segmen 3 yaitu CNGA-CMLG-CPAS dengan nilai -0.90 <math>\mu</math>strain sedangkan kompresi</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sebagian besar arah pergerakan horizontal dari Stasiun CORS di Pulau Jawa mengarah ke Arah Tenggara</li> <li>2. Di wilayah sekitar CMLP - CRKS – CPTU terdapat nilai ekstensi paling besar yaitu <math>8,692 \times 10^{-1}</math> <math>\mu</math>strain dan CTGL - CPKL – CKBM nilai ekstensi paling kecil yaitu <math>-1,39 \times 10^{-2}</math> <math>\mu</math>strain</li> <li>3. Di wilayah sekitar CMJT - CMLG – CTUL terdapat nilai kompresi paling kecil yaitu <math>-5,116 \times 10^{-1}</math> <math>\mu</math>strain dan yang paling besar di sekitar CSLO - CMAG – CPWD yaitu <math>2,31 \times 10^{-2}</math> <math>\mu</math>strain.</li> </ol>

	<p>wilayah yang mengalami kompresi adalah wilayah segitiga CJPR-CSEM-CPKL yakni sebesar 0,27 <math>\mu</math>strain.</p>	<p>terbesar terdapat pada segmen 1 yaitu CMAG-CNGA-CTUL dengan nilai -0.19 <math>\mu</math>strain. Segmen 7 yaitu CPAS-CJEM-CPAI memiliki nilai ekstensi paling kecil yaitu -0.0175 <math>\mu</math>strain, dan segmen 8 yaitu CPAI-CJEM-CBRN memiliki nilai komprei paling kecil dengan 0.0015 <math>\mu</math>strain.</p>	
--	--	---	--

Berdasarkan ketiga penelitian sebelumnya yang membedakan dengan tugas akhir ini yaitu pada lokasi penelitian, rentang waktu, serta data yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan. Pada penelitian tugas akhir ini, dilakukan analisis deformasi menggunakan data stasiun GPS CORS di Pulau Jawa bagian timur dengan data pengamatan dari tahun 2017 hingga 2022. Pengolahan data stasiun pengamatan GPS dilakukan dengan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Kemudian dilakukan pengeplotan koordinat pengamatan yang diperoleh menggunakan perangkat lunak GMT.

## 2.2 Kondisi Tektonik di Indonesia

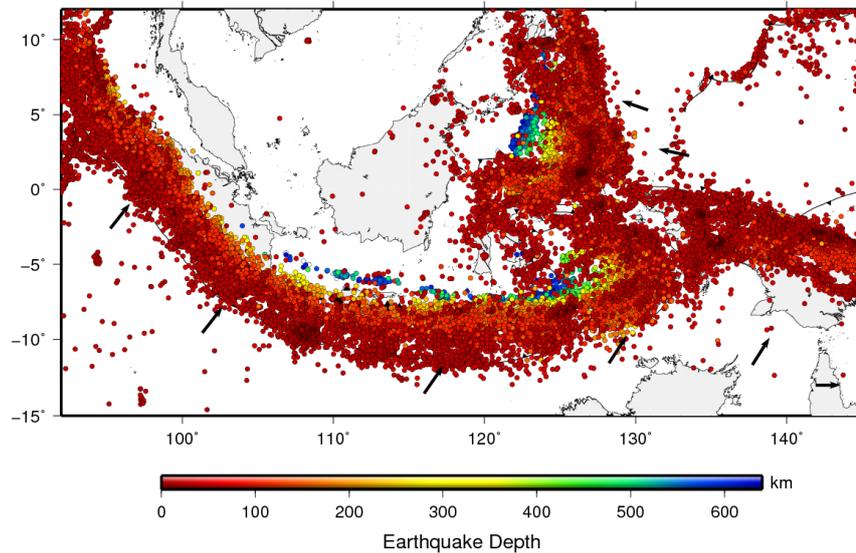
Indonesia berada pada pertemuan antara lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil atau mikroblok, membuat kawasan Indonesia rawan terhadap banyaknya kejadian gempa bumi (Bird, 2003). Indonesia dikelilingi oleh empat lempeng utama yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta Tektonik Wilayah Indonesia dari Data Geodetik hingga Tahun 2016, (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Adanya proses tektonik yang terjadi, membuat sering terjadinya peristiwa gempa di sebagian besar wilayah Indonesia. Salah satu sumber gempa yang telah jelas teridentifikasi adalah zona subduksi aktif di bagian barat hingga bagian timur Indonesia seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Terjadinya proses penunjaman Lempeng Indo-Australia kedalam Lempeng Eurasia di bagian barat Sumatra mengakibatkan kejadian gempa dengan nilai magnitudo 8 atau 9, seperti yang terjadi pada gempa tahun 2004 di Aceh ( $M_w = 9,2$ ), di Nias tahun 2005 ( $M_w =$

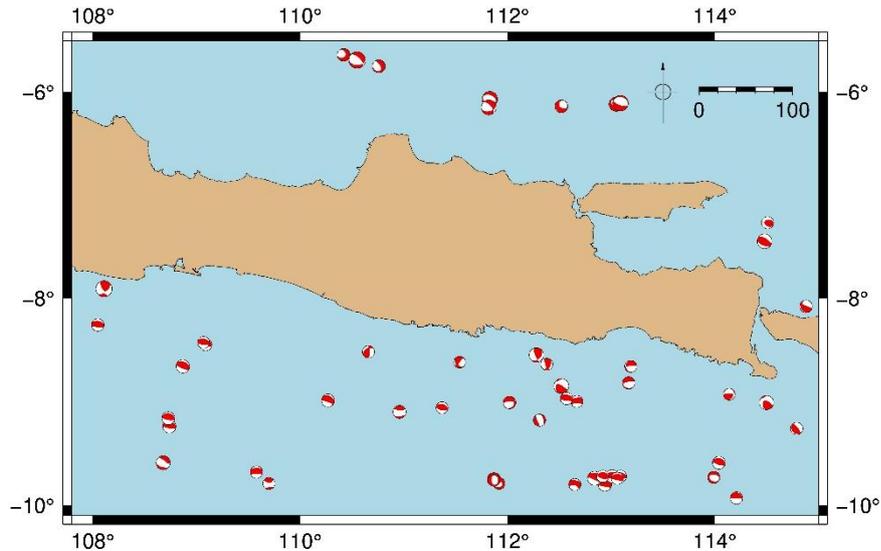
8,7), di Bengkulu tahun 2007 ( $M_w = 8,5$ ), dan di Mentawai tahun 2010 ( $M_w = 7,8$ ). Gempa di Aceh tahun 2004 dinilai oleh *National Geographic* sebagai bencana alam terburuk urutan nomor 2 sepanjang masa, berdampak pada 14 negara, menyebabkan kematian lebih dari 220.000 jiwa, dan 1.5 juta penduduk kehilangan tempat tinggal. Ada pun di Selatan Jawa, gempa yang terjadi di Pacitan tahun 1994 ( $M_w = 7,8$ ) dan Pangandaran tahun 2006 ( $M_w = 7,8$ ) mengakibatkan gelombang tsunami mencapai ketinggian  $\sim 20\text{m}$  (Mori dkk., 2007).



Gambar 2.2 Gempa di Indonesia Hasil Relokasi dari 1907-2016 (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Selain di barat Sumatra dan selatan Jawa, zona subduksi juga telah teridentifikasi di sekitar Halmahera dan utara Sulawesi. Pada tahun 2014, gempa dengan magnitudo 7,1 telah terjadi di zona subduksi Sangihe. Selain itu, gempa *swarm* juga telah terdeteksi kejadiannya pada tahun 2015 di daerah tersebut (Gunawan dkk., 2016). Gempa *swarm* merupakan sebuah peristiwa dimana suatu area lokal mengalami rangkaian aktivitas gempa yang memiliki magnitudo kecil ( $M_w < 5$ ) tanpa diikuti gempa kuat sebagai gempa utama. Durasi terjadinya gempa *swarm* bervariasi antara harian, minggu atau bulan.

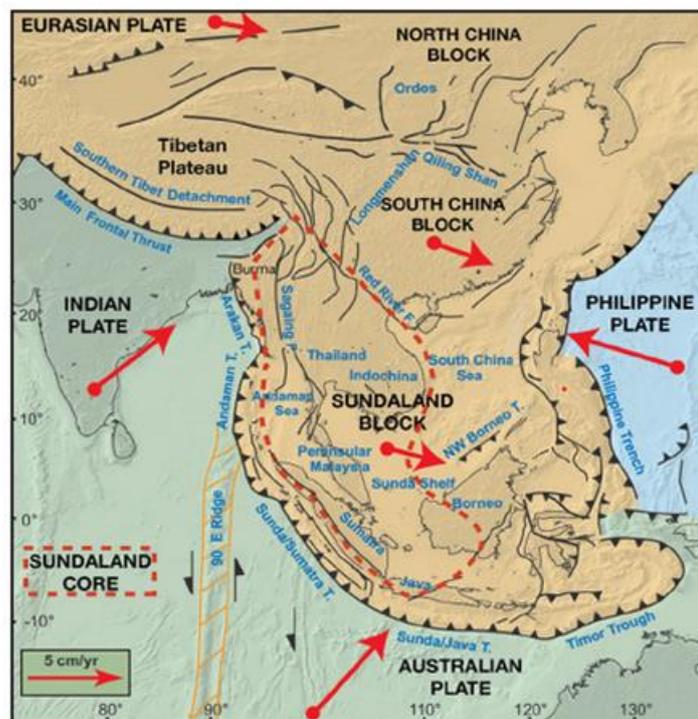
Beberapa gempa yang terjadi dalam kurun waktu 2017 hingga 2022 antara lain, Gempa Bumi Malang pada tanggal 10 April 2021 dengan magnitudo 6,1 mengakibatkan kerusakan bangunan dan menewaskan 8 orang; Gempa Bumi Banyuwangi pada tanggal 19 Oktober 2017, dengan magnitudo 6,4 menyebabkan kerusakan bangunan dan menewaskan 3 orang; Gempa Bumi Pekalongan pada tanggal 15 Desember 2017, dengan magnitudo 5,5 mengakibatkan beberapa bangunan rusak dan beberapa orang mengalami luka-luka, serta Gempa Bumi Lumajang pada tanggal 29 Oktober 2018, dengan magnitudo 6,4 yang mengakibatkan kerusakan bangunan dan menewaskan 17 orang. Berikut merupakan *plotting* beberapa mekanisme gempa yang terjadi dalam kurun waktu 2017 hingga 2022 di wilayah penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mekanisme Kejadian Gempa di Pulau Jawa Bagian Timur Tahun 2017-2022 (Sumber: CMT, 2023)

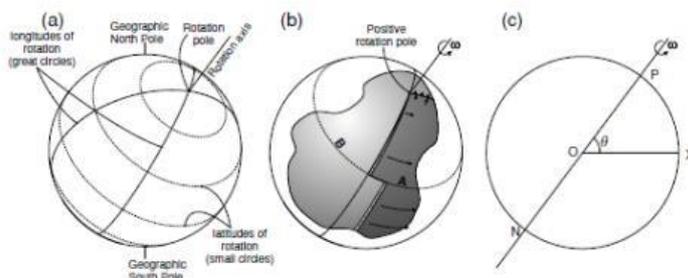
### 2.3 Sunda Blok

Blok Sunda adalah blok lempeng tektonik yang meliputi hampir seluruh bagian Indonesia mulai dari semenanjung Malaya, paparan Sunda, bagian tenggara Pulau Sumatra, bagian barat dan utara Pulau Jawa serta Pulau Kalimantan. Berdasarkan hasil penelitian Yovenia, dkk. (2021), bahwa batas Blok Sunda di Pulau Jawa tersebut berhubungan dengan sesar-sesar yang tersebar di Pulau Jawa. Sehingga, didapatkanlah suatu batasan Blok Sunda di Pulau Jawa berada di sekitar sesar Baribis-Kendeng. Wilayah cakupan blok sunda dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Wilayah Cakupan Sunda Blok (Metcalf, 2017)

Konsep dasar dari lempeng tektonik adalah litosphere yang terbagi menjadi bagian kecil yang kaku dan bergerak diatas asthenosphere. Untuk menjelaskan pergerakan di permukaan bumi bola digunakan Teorema Euler yang menyatakan bahwa hal mendasar dari pergerakan benda kaku adalah rotasi benda tersebut melalui pusat bola. Ilustrasi pergerakan lempeng ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Ilustrasi Pergerakan Lempeng (Fowler, 2005)

Berdasarkan Gambar 2.5 (a) Garis lintang (*latitude*) dari rotasi pusat bumi ditunjukkan dengan garis putus-putus yang merupakan lingkaran kecil, sedangkan garis bujur (*longitude*) merupakan lingkaran besar. Garis lintang dan bujur bukan merupakan garis geografi yang mana pusatnya adalah kutub utara dan selatan, bukan kutub rotasi. (b) Diasumsikan lempeng B tetap, jadi pergerakan lempeng A relatif terhadap lempeng B. Peningkatan laju dari penyebaran (*spreading*) dan subduksi berbanding lurus dengan jarak terhadap kutub rotasi. (c) Tampilan *cross-section* melalui pusat bumi dengan O, P dan N adalah kutub rotasi dengan nilai positif dan negatif, serta X merupakan titik yang berada pada batas lempeng. Dimana teta ( $\theta$ ) adalah sudut antara kutub rotasi (P) dan titik X, serta R adalah jari-jari bumi (Fowler, 2005).

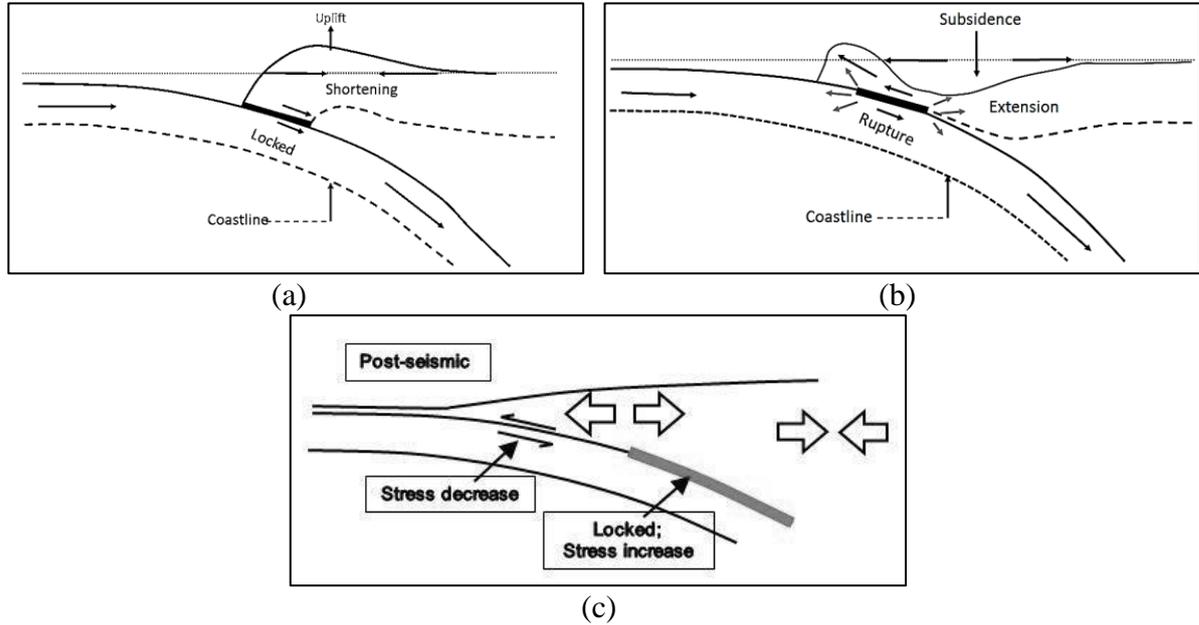
Dalam penelitian ini menggunakan parameter Kutub Euler (KE) blok sunda dengan nilai lintang ( $\phi$ ) Blok Sunda  $46,2^{\circ}\text{N}$ , bujur ( $\lambda$ ) Blok Sunda  $89,4^{\circ}\text{W}$ , dan kecepatan rotasi angular ( $\omega$ ) sebesar  $0.327^{\circ}/\text{Myr}$  (Kuncoro dkk, 2019). Parameter tersebut menggunakan ITRF 2014, sehingga tidak perlu melakukan transformasi koordinat karena kerangka referensi yang sama dengan pengolahan GAMIT/GLOBK pada penelitian ini. Perhitungan kecepatan stasiun GNSS relatif terhadap Blok Sunda menggunakan perangkat lunak *Euler Pole Calculator* (EPC) (Goudarzi dkk. 2014).

## 2.4 Siklus Gempa

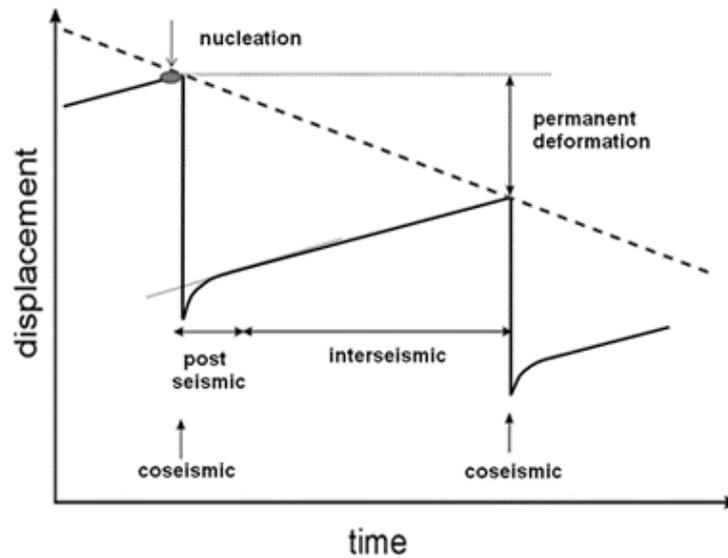
Gempa bumi terjadi karena adanya kontak antar lempeng yang terkunci, sehingga menimbulkan tekanan dan regangan secara sementara dan spasial. Akumulasi energi kompresi dan ekspansi yang melebihi batas elastisitas batuan akan terlepas sebagai gelombang gempa, baik dalam arah horizontal maupun vertikal. Gempa bumi memiliki sifat berulang, gempa yang terjadi pada suatu waktu bisa terulang lagi di masa depan dalam periode waktu tertentu. Fenomena ini disebut siklus gempa bumi dan berlangsung dalam rentang waktu puluhan hingga ribuan tahun.

Setiap siklus gempa bumi memiliki beberapa tahap mekanisme, yaitu tahap *interseismic*, *coseismic*, dan *post-seismic*. Tahap *interseismic* adalah tahap awal dari siklus gempa bumi, dimana energi dari dalam bumi memicu lempeng untuk bergerak dan mengakumulasi energi pada bagian-bagian tertentu lempeng di mana gempa bumi biasanya terjadi (batas antar lempeng dan sesar). Tahap *coseismic* adalah tahap saat terjadinya gempa bumi, yaitu saat akumulasi energi telah melebihi batas kemampuan destruktif dari area *locking*, sehingga terjadi pelepasan energi dalam bentuk gempa. Tahap *post-seismic* merupakan tahapan ketika sisa-sisa

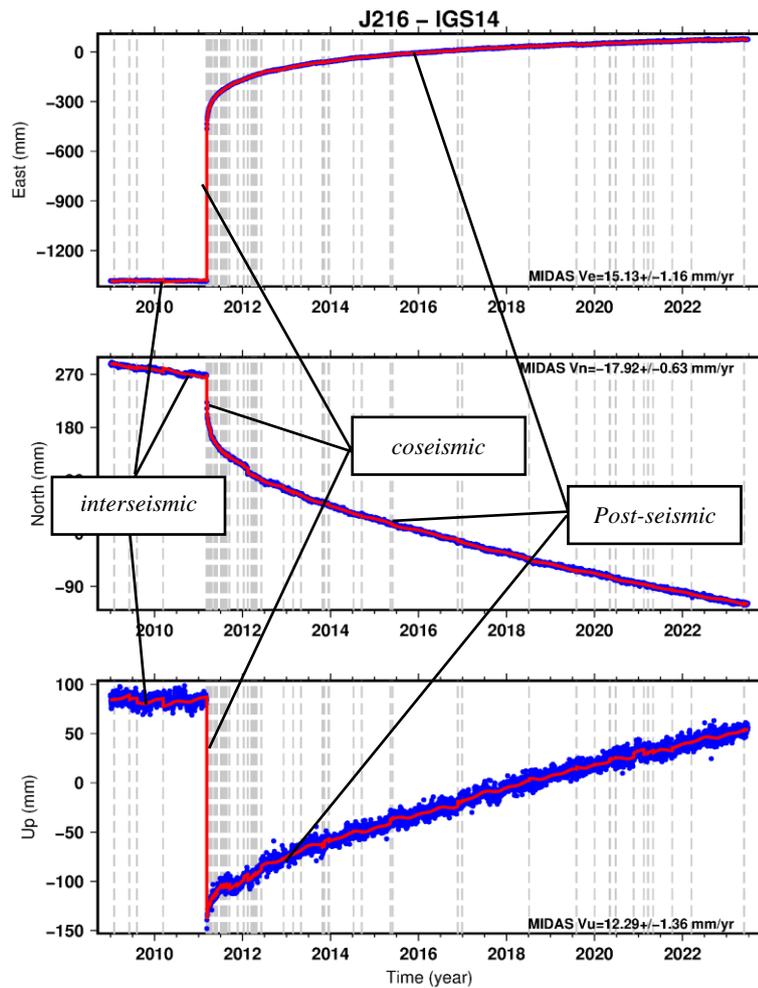
energi gempa dilepaskan secara perlahan hingga kondisi kembali ke kesetimbangan awal yang baru (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Ilustrasi mekanisme gempa bumi dan *time series* serta contoh grafik *time series* dari stasiun GPS J216 yang berada di Kota Mito, Ibaraki, Jepang dapat dilihat pada Gambar 2.6 sampai Gambar 2. 8 berikut.



Gambar 2.6 Mekanisme Fase Gempa: (a) *Interseismic*, (b) *Coseismic*, (c) *Post-seismic* (Savage, 1983)



Gambar 2.7 *Time Series* Kejadian Gempa (Reddy, 2011)



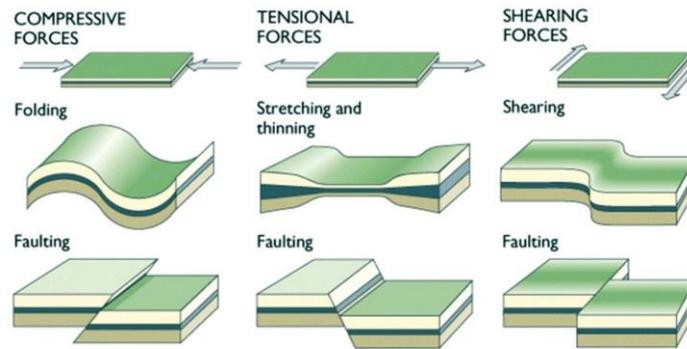
Gambar 2. 8 *Time Series* Mekanisme Fase Gempa Pada Stasiun GPS J216  
(Sumber: MAGNET GPS, 2023)

Faktor gempa yang terjadi di Pulau Jawa bagian timur sama dengan faktor gempa pada umumnya, yaitu karena adanya pergerakan lempeng tektonik di bawah permukaan bumi. Pulau Jawa berada di zona subduksi, dimana lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia bertemu dan menimbulkan gempa bumi. Selain itu, Jawa Timur juga memiliki aktivitas gunung berapi yang cukup tinggi, sehingga dapat menyebabkan terjadinya gempa vulkanik.

## 2.5 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, dimensi, dan posisi dari suatu materi baik secara absolut maupun relatif dalam suatu kerangka referensi tertentu akibat suatu gaya yang bekerja pada materi tersebut (Kuang, 1996). Setiap objek yang dikenai gaya akan memberikan sebuah reaksi yang menyebabkan objek tersebut mengalami deformasi. Untuk melakukan pemantauan deformasi suatu objek, diperlukan analisis deformasi guna menentukan kuantitas pergeseran beserta parameternya yang mempunyai karakteristik dalam ruang dan waktu (Chrzanowski dkk, 1986). Ilustrasi mengenai pola fenomena deformasi dapat dilihat pada Gambar 2.9. Analisis deformasi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

- a. Analisis pergeseran, merupakan analisis yang menunjukkan perubahan posisi suatu benda dengan menggunakan data perbedaan posisi yang didapat dari perataan data pengamatan pada waktu yang berbeda.
- b. 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.



Gambar 2.9 Pola dan Penyebab Fenomena Deformasi (Grotzinger dan Jordan, 2020)

Dalam melaksanakan survei deformasi, terdapat beberapa metode seperti dengan menggunakan alat ukur *total station* ataupun bisa juga dengan metode sipat datar. Seiring perkembangan teknologi, survei deformasi dan geodinamika juga dapat dilakukan dengan menggunakan satelit, seperti dengan menggunakan GPS.

### 2.5.1 Kecepatan dan Regangan

Kecepatan pergeseran adalah besaran yang menggambarkan perubahan posisi dari suatu titik pengamatan dalam waktu tertentu, sehingga dapat menjadi indikator adanya deformasi di suatu wilayah. Nilai kecepatan pergeseran selanjutnya dapat digunakan untuk mengestimasi besar regangan yang terjadi. Salah satu cara untuk menentukan besar kecepatan pergeseran setiap titik adalah melalui metode pendekatan fungsi *annual* dan *semi-annual* (Nikolaidis, 2002) yang dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1 berikut:

$$y(t) = a + bt + c \sin(2\pi t) + d \cos(2\pi t) + e \sin(4\pi t) + f \cos(4\pi t) \quad (2.1)$$

dimana  $a$  adalah offset dari urutan waktu,  $b$  adalah kecepatan linier,  $c$  dan  $d$  adalah variasi amplitudo *annual*,  $e$  dan  $f$  adalah variasi amplitudo *semi-annual*,  $t$  adalah waktu dalam tahun desimal, dan  $y(t)$  adalah perkiraan posisi harian.

Besaran regangan merupakan nilai 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 dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.2 berikut.

$$\begin{bmatrix} Ve_1 \\ Vn_1 \\ Ve_2 \\ Vn_2 \\ Ve_3 \\ Vn_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -n_1 & e_1 & n_1 & 0 \\ 0 & 1 & e_1 & 0 & e_1 & n_1 \\ 1 & 0 & -n_2 & e_2 & n_2 & 0 \\ 0 & 1 & e_2 & 0 & e_2 & n_2 \\ 1 & 0 & -n_3 & e_3 & n_3 & 0 \\ 0 & 1 & e_3 & 0 & e_3 & n_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_e \\ t_n \\ \omega \\ \varepsilon_{ee} \\ \varepsilon_{en} \\ \varepsilon_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Dimana:

$V_e$  : Vektor kecepatan pergerakan titik kontrol easting (m/tahun)

$V_n$  : Vektor kecepatan pergerakan titik kontrol northing (m/tahun)

$e_{1,2,3}$  : Koordinat easting titik 1,2,3

$n_{1,2,3}$  : Koordinat northing titik 1,2,3

$\varepsilon_{ee}, \varepsilon_{nn}$  : Parameter regangan kontrol easting dan kontrol northing

$\varepsilon_{ne}$  : Parameter regangan silang

$t_n, t_e$  : Faktor translasi arah northing dan arah easting

Nilai besaran yang akan digunakan dalam analisis regangan adalah besaran principal strain  $\varepsilon_1$  (ekstensi) dan  $\varepsilon_2$  (kompresi) yang didapatkan dari nilai parameter regangan yang telah dicari sebelumnya.  $\varepsilon_1$  merupakan besaran yang menunjukkan nilai ekstensi, sedangkan  $\varepsilon_2$  merupakan besaran yang menunjukkan nilai kompresi. Kedua besaran principal strain tersebut dapat diperoleh melalui persamaan 2.3, 2.4, dan 2.5 berikut ini (Turcotte dan Gerald 2002).

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_{ee} + \varepsilon_{nn}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{ee} - \varepsilon_{nn}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{en}^2} \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_{ee} + \varepsilon_{nn}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{ee} - \varepsilon_{nn}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{en}^2} \quad (2.4)$$

$$\tan 2\theta = \frac{2 \varepsilon_{ne}}{(\varepsilon_{ee} - \varepsilon_{nn})} \quad (2.5)$$

Nilai principal strain ( $\varepsilon_1$  dan  $\varepsilon_2$ ) ini menyatakan perubahan elemen panjang terhadap panjang awal (mm/mm) dan dinyatakan dengan satuan strain.

Parameter regangan lain yang perlu dihitung adalah nilai *dilatation rate* dan *maximum shear strain*. Nilai *maximum shear strain rate* digunakan untuk melakukan identifikasi sesar geser, sedangkan nilai *dilatation rate* digunakan untuk identifikasi sesar naik/sesar turun. Nilai *maximum shear strain rate* dan *dilatation rate* dihitung menggunakan persamaan 2.6 dan 2.7 berikut (Yang, 2005).

$$\varepsilon_{dilatation} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_{maxshear} = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \quad (2.7)$$

## 2.6 Global Positioning System (GPS)

GPS (*Global Positioning System*) merupakan sistem satelit radio navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikembangkan oleh Amerika Serikat. Metode penentuan posisi ini dirancang untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu secara kontinyu di seluruh dunia, tanpa bergantung waktu dan cuaca, kepada banyak orang secara simultan (Abidin, 2007). 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 dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Seeber, 2003) yaitu:

1. Segmen angkasa (*satellite 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 adalah bagian yang mengontrol pengoperasian sistem GPS agar bekerja dengan benar dan akurat. Salah satu tugas dari sistem kontrol antara lain adalah prediksi orbit, monitoring kondisi satelit, dan sinkronisasi waktu.

3. Segmen pemakai (*user segment*)

Segmen pemakai merupakan pengguna sistem GPS baik di darat, di laut maupun di udara. Umumnya suatu segmen pengguna menggunakan penerima GPS untuk menangkap sinyal satelit GPS, sehingga keluarannya berupa posisi, kecepatan atau parameter lainnya.



Gambar 2.10 Segmen Utama GPS (Abidin, 2007)

Saat proses pengumpulan data, terdapat kemungkinan adanya kesalahan dan bias dalam sinyal satelit GPS yang mempengaruhi tingkat ketelitian informasi yang diperoleh serta proses penentuan ambiguitas fase GPS. Oleh karena itu perlu diketahui dan dilakukan perhitungan secara teliti dan benar terhadap kesalahan dan bias. Beberapa jenis kesalahan yang dimiliki oleh sistem GPS, antara lain:

1. Kesalahan Jam Satelit dan *Receiver*

Dalam sebuah satelit GPS dilengkapi dengan beberapa jam atom yang digunakan untuk menentukan sistem waktu. Jam-jam atom tersebut akan mengalami penyimpangan. Pada umumnya, penerima GPS dilengkapi dengan jam kristal kuarsa yang relatif lebih kecil, lebih murah, dan membutuhkan daya yang lebih kecil dibandingkan dengan jam atom yang dibawa oleh satelit. Ketidaksinkronan antara jam satelit GPS dan jam penerima GPS inilah yang akan memberikan informasi waktu yang berbeda dan sehingga menjadi sumber kesalahan jam.

2. Kesalahan Orbit

Kesalahan orbit adalah kesalahan dari posisi orbit satelit GPS dimana posisi yang diinformasikan tidak sesuai dengan posisi satelit sebenarnya.

3. Kesalahan *Multipath*

Multipath adalah fenomena dimana sinyal satelit GPS mencapai penerima melalui dua lintasan sinyal yang berbeda. Lintasan pertama merupakan lintasan sinyal yang langsung dari satelit GPS ke penerima GPS sedangkan lintasan sinyal lainnya merupakan lintasan sinyal tidak langsung yang dipantulkan dari objek disekitar antena receiver GPS. Kesalahan multipath mempengaruhi hasil ukuran *pseudorange* dan *phase*.

4. Ambiguitas Fase

Ambiguitas fase adalah jumlah gelombang penuh yang tidak terukur oleh penerima GPS. Ambiguitas fase berupa bilangan bulat kelipatan dari panjang gelombang. Setiap ketidaktepatan dalam mendefinisikan jumlah besarnya ambiguitas fase akan menyebabkan kesalahan dalam penentuan jarak dari satelit GPS ke pengamat.

#### 5. Bias Ionosfer

Keberadaan lapisan Ionosfer pada atmosfer mempengaruhi kecepatan, arah, kekuatan, dan polarisasi dari sinyal GPS yang melewatinya. Dampak terbesar yang diakibatkan oleh bias ionosfer adalah kecepatan sinyal GPS, yang berpengaruh pada jarak dan ukuran.

#### 6. Bias Troposfer

Lapisan troposfer yang terdapat dalam atmosfer memunculkan efek refraksi (pembiasan) yang berakibat adanya perubahan kecepatan dan arah dari sinyal GPS.

#### 7. Cycle Slip

Cycle Slip adalah kesalahan yang menunjukkan diskontinuitas dalam fase gelombang pembawa yang diamati dalam jumlah gelombang penuh, karena sinyal pada penerima GPS terganggu atau terputus pada saat pengamatan sinyal GPS.

### 2.7 Pemantauan Deformasi dengan GPS

Pemantauan deformasi bumi menggunakan metode GPS merupakan salah satu metode yang paling efektif. Sistem GPS memiliki dua metode penentuan posisi, yaitu metode absolut dan metode differensial. Kedua metode penentuan posisi tersebut dapat diterapkan secara statik dan kinematik. Dalam metode absolut, penentuan posisi dapat dilakukan per titik tanpa bergantung pada titik yang lain (*point positioning*) dan data yang digunakan hanya data *pseudorange*, sehingga ketelitian posisi yang diperoleh tidak terlalu tinggi. Sedangkan dalam metode penentuan posisi differensial dilakukan penentuan posisi relatif dengan mengurangi data (*differencing*) yang diterima oleh dua *receiver* GPS pada waktu yang bersamaan, sehingga beberapa jenis kesalahan dan bias dari data dapat dieliminasi maupun direduksi (Abidin, 2007).

Prinsip pemantauan deformasi menggunakan GPS adalah dengan menempatkan titik-titik pantau di beberapa lokasi yang dipilih, yang dilakukan secara kontinu agar koordinat titik pantau dapat ditentukan secara teliti. Informasi yang diperoleh dari pengamatan GPS berupa koordinat titik pantau dan waktu. Dengan pengamatan secara berkala, perubahan posisi suatu titik pantau dapat diketahui dengan mengamati perubahan nilai koordinat titik pantau dari waktu ke waktu. Selain itu pemantauan deformasi menggunakan metode GPS memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut:

1. GPS memberikan nilai vektor deformasi dalam tiga dimensi (dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal). Dalam kasus penurunan tanah, komponen vertikal memiliki peran penting untuk diperhatikan.
2. GPS memberikan nilai vektor deformasi dan penurunan muka tanah dalam sistem koordinat referensi tunggal. Dengan demikian, GPS dapat digunakan dalam pemantauan deformasi dan penurunan muka tanah suatu kawasan secara efektif dan efisien.
3. GPS dapat memberikan nilai vektor deformasi dan penurunan muka tanah dengan akurasi hingga beberapa milimeter, dengan konsistensi yang tinggi baik secara spasial maupun temporal. Dengan tingkat akurasi yang tinggi serta konsisten ini, diharapkan besarnya deformasi dan penurunan muka tanah yang kecil sekalipun akan dapat terdeteksi dengan baik.
4. GPS dapat digunakan secara kontinu tanpa tergantung waktu dan cuaca. Dengan kemampuan tersebut, maka pengukuran GPS untuk studi deformasi dan penurunan muka tanah dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

## 2.8 *Internasional GNSS Service (IGS)*

IGS (*International GNSS Service*) adalah sebuah layanan dari *International Association of Geodesy (IAG)* yang didirikan pada tahun 1993 dan secara resmi beroperasi pada tahun 1994 terutama menunjang penelitian ilmiah yang berdasar pada pengamatan bumi yang berpresisi dan berakurasi tinggi menggunakan teknologi GNSS, terutama GPS. IGS disusun dari 200 lokasi permanen yang tersebar secara global, tiga pusat data global, lima pusat data operasional atau regional, tujuh pusat analisis, satu koordinator pusat analisis, dan satu biro sentral (Witchayangkoon, 2000). Setiap stasiun IGS pada jaringan global terdapat sebuah *receiver GPS dual frequency* yang melakukan pengukuran dengan interval perekaman data 30 detik.

Keakuratan produk IGS telah meningkat dari sekitar 1 meter (orbit) dan 1 mas (EOP) menjadi sekitar 5 cm (orbit) dan sekitar 0,1 s.d 0,2 mas (EOP). Peningkatan ini menunjukkan data orbit yang direkam oleh stasiun IGS menjadi lebih akurat, stabil, dan dapat diandalkan (Witchayangkoon, 2000)

## 2.9 *Software GAMIT/GLOBK*

GAMIT merupakan perangkat lunak analisis GPS komprehensif yang dikembangkan di MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) dan SIO (*Scripps Institution of Oceanography*). Pengolahan dengan *software GAMIT* menghasilkan posisi relatif tiga dimensi dengan ketelitian tinggi karena menggunakan data *broadcast ephemeris* dan *precise ephemeris* yang akurat. GAMIT menggabungkan algoritma kuadrat terkecil gaya berat untuk memperkirakan posisi relatif dari sekumpulan stasiun, parameter orbit dan rotasi Bumi, jeda zenith, dan ambiguitas fase dengan mencocokkan ke pengamatan fase diferensiasi dua kali. Dikarenakan model fungsional (matematis) terkait pengamatan dan parameter adalah non-linear, GAMIT membuat dua solusi, yang pertama mendapatkan koordinasi dalam desimeter, dan yang kedua mendapatkan estimasi akhir (Herring, 2010).

Konsep perataan jaring pada GAMIT yaitu untuk pengecekan konsistensi terhadap data ukuran lainnya. GAMIT menggunakan perhitungan kuadrat terkecil parameter berbobot (*weighted least squares*) menggunakan teknik *double difference* dari pengamatan data fase untuk mengestimasi posisi dan orbit dari titik pengamatan. Pengolahan didasarkan pada koordinat stasiun pengamatan, koordinat stasiun titik ikat dan parameter orbit (King dan Bock, 2002). Hasil perataan pada GAMIT berupa *loose constrained network* dengan menggunakan *free-network quasi-observation*. Pendekatan yang dilakukan menggunakan perataan baseline dengan menggunakan matriks varian kovarian sebagai persamaan untuk menghitung kuadrat terkecil parameter berbobot.

GLOBK (*Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program*) adalah perangkat lunak pemfilteran/penyaringan data berdasarkan metode filter Kalman, yang bertujuan untuk menggabungkan hasil pengolahan data primer dalam geodesi satelit atau pengukuran terestrial. Pengolahan menghasilkan data yang terkait dengan matriks kovarian berisi koordinat titik, parameter orbit, parameter rotasi bumi dan posisi titik-titik yang diperoleh dari hasil analisis pengamatan (kuasi observasi). Data input berupa h-file hasil pemrosesan dari GAMIT. GLOBK tidak dapat digunakan untuk menghasilkan model linier, tidak dapat menghilangkan cycles slips, kesalahan pemodelan atmosferic delay, data yang buruk, dan tidak dapat resolving ambiguitas fase. Pada proses pengolahan menggunakan GLOBK, dilakukan pendefinisian kerangka referensi terhadap hasil pengolahan perataan jaring bebas pada GAMIT. Dengan pengolahan ini, perataan jaring melibatkan titik ikat (titik yang dianggap *fixed*) untuk menentukan posisi titik-titik pengamatan jaring yang telah terdefinisi kerangka referensinya.

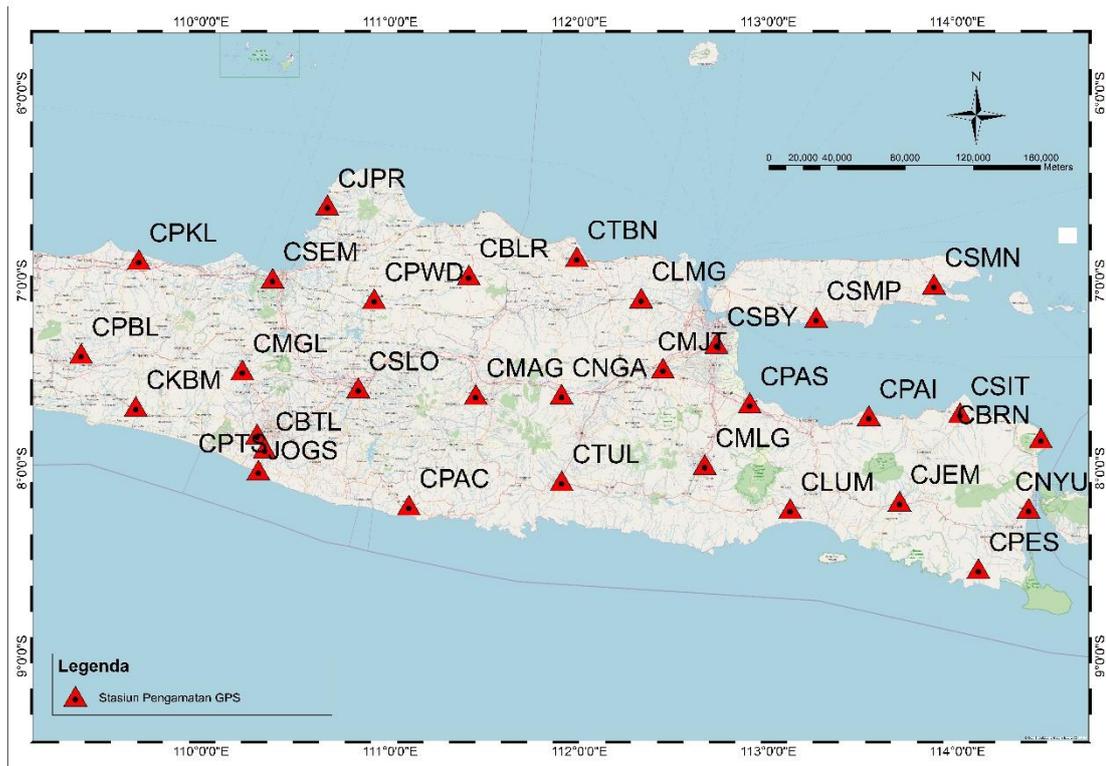
***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB 3 METODOLOGI

Bab ini menjelaskan mengenai profil lokasi penelitian sesuai dengan cakupan batasan penelitian yang telah ditentukan, yaitu Pulau Jawa bagian timur. Selain itu, juga dibahas mengenai penjelasan tahapan penelitian beserta data-data dan peralatan yang digunakan.

### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di wilayah Pulau Jawa bagian timur dengan sebaran titik-titik stasiun pengamatan yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian dan Sebaran Titik Stasiun Pengamatan CORS

### 3.2 Data dan Peralatan

#### 3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder sebagai berikut:

##### 1. Data stasiun pengamatan CORS

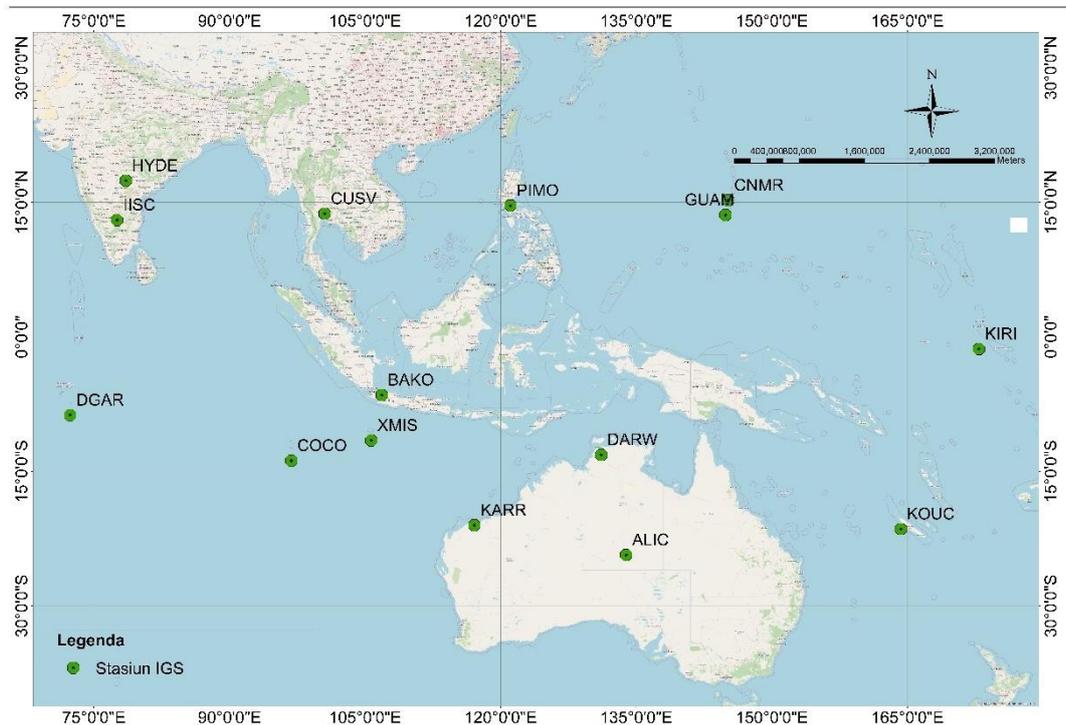
Data stasiun pengamatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini merupakan data RINEX stasiun CORS BIG yang diperoleh dengan melakukan permohonan permintaan data kepada BIG pada divisi PJKGG (Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika). Stasiun pengamatan yang digunakan berjumlah 31 stasiun yang tersebar di wilayah Pulau Jawa bagian timur dalam rentang waktu pada Januari 2017 hingga Desember 2022, dengan menggunakan keseluruhan doy per tahunnya supaya didapatkan kerapatan data yang tinggi. Data koordinat setiap stasiun pengamatan, dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Data Koordinat Stasiun Pengamatan

No	Kode Titik	Lintang	Bujur
1	CPBL	7 ° 23' 18,602" S	109 ° 21' 51,242" E
2	CPKL	6 ° 53' 13,247" S	109 ° 40' 9,9896" E
3	CKBM	7 ° 40' 12,270" S	109 ° 39' 11,474" E
4	CSEM	6 ° 59' 14,168" S	110 ° 22' 36,974" E
5	CMGL	7 ° 28' 32,787" S	110 ° 13' 1,1950" E
6	JOGS	7 ° 48' 59,943" S	110 ° 17' 41,316" E
7	CBTL	7 ° 53' 33,102" S	110 ° 20' 7,7420" E
8	CPTS	8 ° 0' 31,9634" S	110 ° 18' 6,9913" E
9	CJPR	6 ° 35' 46,323" S	110 ° 40' 0,3136" E
10	CPWD	7 ° 5' 45,8847" S	110 ° 54' 51,141" E
11	CSLO	7 ° 34' 14,134" S	110 ° 49' 49,061" E
12	CBLR	6 ° 58' 9,2139" S	111 ° 24' 53,159" E
13	CBRN	7 ° 50' 17,875" S	114 ° 26' 25,239" E
14	CJEM	8 ° 10' 29,517" S	113 ° 41' 35,594" E
15	CLMG	7 ° 5' 33,3454" S	112 ° 19' 35,478" E
16	CLUM	8 ° 12' 49,491" S	113 ° 6' 52,9153" E
17	CMAG	7 ° 36' 23,090" S	111 ° 27' 5,1636" E
18	CMJT	7 ° 27' 56,083" S	112 ° 26' 29,808" E
19	CMLG	7 ° 58' 46,582" S	112 ° 39' 45,644" E
20	CNGA	7 ° 36' 16,933" S	111 ° 54' 19,086" E
21	CNYU	8 ° 12' 43,915" S	114 ° 22' 31,340" E
22	CPAC	8 ° 11' 45,618" S	111 ° 5' 52,0298" E
23	CPAI	7 ° 43' 7,5109" S	113 ° 31' 49,506" E
24	CPAS	7 ° 39' 5,0662" S	112 ° 54' 3,7263" E
25	CPES	8 ° 32' 2,1180" S	114 ° 6' 36,3153" E
26	CSBY	7 ° 20' 3,6042" S	112 ° 43' 27,714" E
27	CSIT	7 ° 42' 11,945" S	114 ° 0' 46,3717" E
28	CSMN	7 ° 1' 5,94754" S	113 ° 52' 30,669" E
29	CSMP	7 ° 11' 43,610" S	113 ° 15' 7,0069" E
30	CTBN	6 ° 52' 20,114" S	111 ° 59' 11,162" E
31	CTUL	8 ° 3' 55,8658" S	111 ° 54' 21,867" E

## 2. Data stasiun IGS

Pada penelitian ini, diperlukan data titik ikat GPS *International GNSS Service* (IGS) sebagai titik kontrol pengamatan dalam format .o (data observasi). Semua stasiun IGS berada di sekitar wilayah penelitian yaitu Pulau Jawa bagian timur. Penelitian ini menggunakan 15 titik ikat IGS, yaitu ALIC, BAKO, CNMR, COCO, CUSV, DARW, DGAR, GUAM, HYDE, IISC, KARR, KOUC, KIRI, PIMO, dan XMIS. Data stasiun IGS dapat diunduh pada laman <https://cddis.nasa.gov/> atau dengan menggunakan perintah `sh_get_rinex` dalam GAMIT, dengan menyesuaikan doy serta sebaran stasiun pengamatan CORS yang digunakan. Persebaran titik stasiun IGS dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Persebaran Stasiun IGS

### 3. Data Orbit Satelit

Pada penelitian ini, diperlukan data orbit satelit berupa *precise ephemeris* (.sp3). Data dapat diunduh melalui <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily> secara manual atau menggunakan perintah `sh_get_orbits` dalam *software* GAMIT. Data yang diunduh sesuai dengan `do` yang digunakan dalam penelitian.

### 4. Data pendukung dalam pengolahan GAMIT/GLOBK

Pada proses pengolahan menggunakan GAMIT/GLOBK diperlukan beberapa data pendukung yang akan digunakan dalam folder kontrol dalam pengolahan GAMIT, antara lain :

- Data pemodelan atmosfer (*atmdisp\_cm.YYYY*)
- Data pemodelan pasang surut laut (*otlFES2004.grid*)
- Data pemodelan cuaca (*vmf1grid.YYYY*)

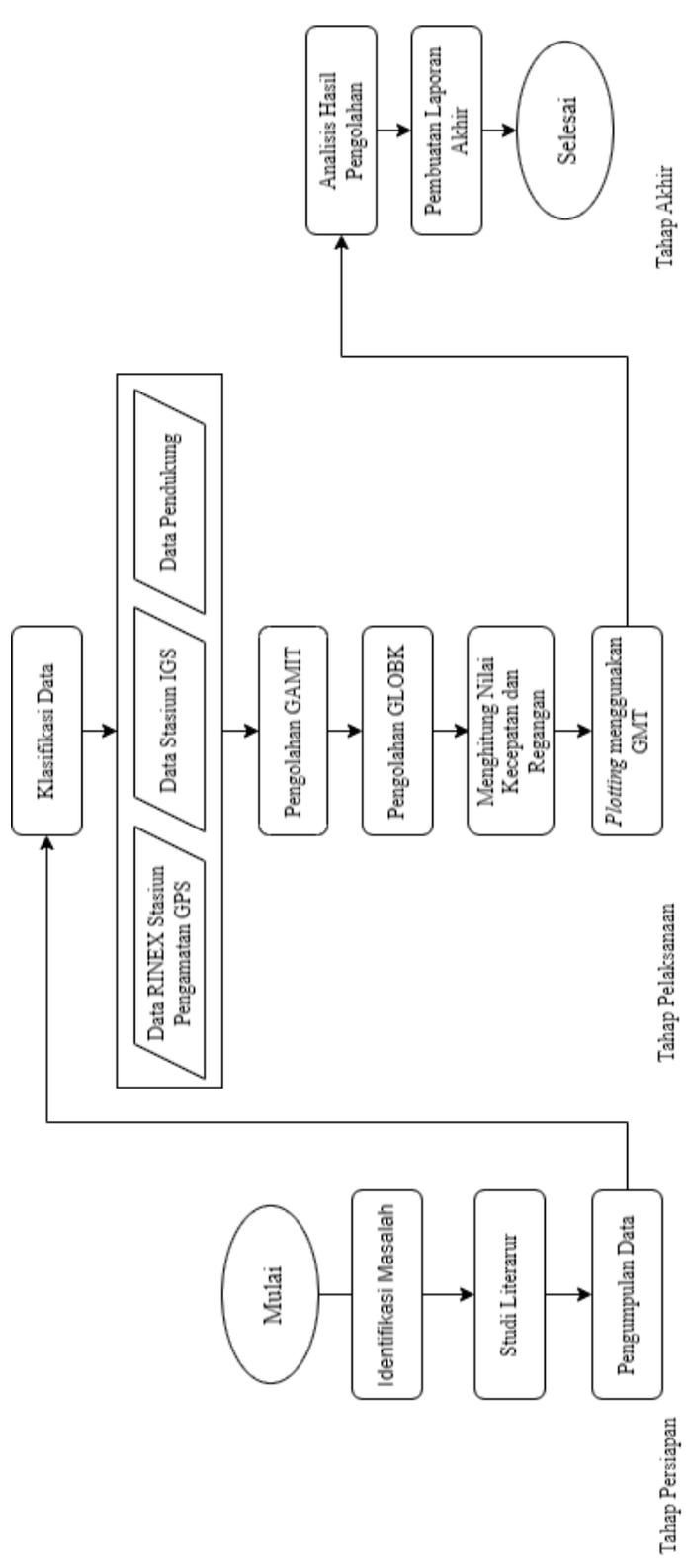
#### 3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. GAMIT/GLOBK, digunakan untuk melakukan proses perhitungan posisi 3D data RINEX stasiun pengamatan GPS serta diperoleh simpangan baku dan ketelitian hasil olah data.
2. GMT, digunakan untuk melakukan *plotting* koordinat 3D dari hasil pengolahan menggunakan GAMIT/GLOBK.
3. Matlab, digunakan untuk melakukan perhitungan dengan *Euler Pole Calculator*.
4. *Microsoft Office 365*, digunakan dalam proses pembuatan laporan Tugas Akhir.

### 3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan meliputi tahap persiapan, tahap pelaksanaan, dan tahap akhir. Alur pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

### 3.3.1 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Identifikasi Masalah  
Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana menganalisa pergerakan deformasi pada titik-titik pengamatan di wilayah Pulau Jawa bagian timur.
- b. Studi Literatur  
Tahap ini bertujuan untuk memperoleh referensi terkait penelitian yang akan dilaksanakan, seperti literatur mengenai analisa deformasi, metode yang digunakan, serta literatur lain yang berhubungan.
- c. Pengumpulan Data  
Tahapan ini mencakup kegiatan pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian meliputi data stasiun pengamatan CORS GPS di wilayah Pulau Jawa bagian timur serta data stasiun IGS di sekitar wilayah penelitian sebagai titik ikatnya.
- d. Pengolahan Data  
Tahap pengolahan data dilakukan pengolahan data berformat RINEX dengan menggunakan software GAMIT serta software GMT untuk menampilkan hasil pengolahan
- e. Analisa Hasil Pengolahan  
Pada tahap ini, hasil pengolahan yang diperoleh akan dianalisa sedemikian rupa untuk memenuhi tujuan penelitian. Pengolahan data pengamatan GPS akan menghasilkan nilai pergeseran pada setiap titik pengamatan, yang kemudian dilakukan analisa dengan *overlay* terhadap data sebaran sesar disekitar wilayah penelitian.
- f. Pembuatan Laporan Akhir  
Tahapan ini merupakan tahap akhir dalam proses penelitian ini. Pembuatan laporan akhir merupakan cara penyajian hasil penelitian yang dilakukan dalam bentuk laporan.

### 3.3.2 Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK untuk mengolah data GPS, dan perangkat lunak GMT (*Generic Mapping Tools*) untuk melakukan plotting hasil perhitungan besar dan arah kecepatan serta regangan.

- a. Pengumpulan data  
Data yang digunakan adalah data Rinex dari stasiun CORS dan stasiun IGS, file navigasi *precise ephemeris* (.sp3) serta data tambahan yang diambil sesuai kebutuhan. Data Rinex yang digunakan mengacu pada periode tahun 2017-2022. Dalam setahun, 365 doy diamati pada tahun non kabisat dan 366 doy pada tahun kabisat.
- b. Pengolahan data dengan GAMIT  
Pengolahan GAMIT bertujuan untuk mendapatkan koordinat perhari di setiap stasiun pengamatan dalam bentuk h-file yang berisikan matriks kovarian dan parameter perataannya sebagai data input pengolahan GLOBK, q-file berisikan informasi koordinat apriori untuk setiap stasiun pengamatan dalam satuan meter dan file \*.summary yang berisi informasi ringkasan hasil pengolahan GAMIT di setiap doy-nya.  
Langkah pertama yang dilakukan adalah melengkapi *file-file* pendukung yang diperlukan untuk pengolahan. Kemudian dilakukan *Editing File Control* untuk menyesuaikan skema pengolahan dengan data yang tersedia. Setelah seluruh data telah siap dan sesuai dengan skema pengolahan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan

*Automatic Batch Processing* yang merupakan perintah yang memudahkan untuk melakukan pengolahan secara *loose-constraint* dengan sekali perintah.

c. Pengolahan menggunakan GLOBK

Pengolahan GLOBK memerlukan persiapan beberapa folder tambahan yaitu */hgamit* dan */hfiles*. Adapun file yang akan dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan penelitian adalah file kontrol pengolahan GLOBK yaitu *globk\_comb.cmd* dan *glorg\_comb.cmd* yang dalam folder test. Setelah pengaturan file-file yang diperlukan, selanjutnya dilakukan proses perhitungan dan *plotting* koordinat time series. Proses ini dilakukan di folder yang di dalamnya terdapat hasil pengolahan GAMIT untuk dilakukan penggabungan data dari tahun 2017-2022.

Keluaran pengolahan *sh\_combine* ini akan diperoleh *file* dengan format *\*.org* tiap *doy* yang berisi *summary* hasil pengolahan di folder *gsoln*. Dalam *file \*.org* akan didapatkan Koordinat toposentrik dan kartesian 3D beserta simpangan baku untuk setiap stasiunnya dan panjang *baseline* beserta ketelitiannya. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan koordinat toposentrik dalam pengolahan GAMIT/GLOBK dapat dilihat pada Persamaan 3.1 hingga 3.3 sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} np \\ ep \\ up \end{bmatrix} = R(\varphi_Q, \lambda_Q) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

dengan,

$$R(\varphi_Q, \lambda_Q) = \begin{bmatrix} -\sin\varphi_Q \cos\lambda_Q & -\sin\varphi_Q \sin\lambda_Q & \cos\varphi_Q \\ -\sin\lambda_Q & \cos\lambda_Q & 0 \\ \cos\varphi_Q \cos\lambda_Q & \cos\varphi_Q \sin\lambda_Q & \sin\varphi_Q \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

dan

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} XP - XQ \\ YP - YQ \\ ZP - ZQ \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Dimana *np, ep, up* merupakan koordinat toposentrik,  $\varphi_Q, \lambda_Q$  adalah lintang dan bujur geodetik,  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  merupakan selisih antara koordinat titik pantau dan titik ikat, serta *R* merupakan matriks rotasinya.

d. Perhitungan kecepatan dan regangan

Setelah memperoleh informasi koordinat serta ketelitian setiap stasiun pengamatan, data akan dilakukan perhitungan kecepatan dan regangan pada setiap stasiun pengamatan. Perhitungan kecepatan dilakukan menggunakan *software* MATLAB dengan menjalankan *plugin tsview*. Dalam tahap ini perlu disiapkan *file \*.pos* dari setiap titik stasiun pengamatan yang berisi koordinat kartesian, koordinat toposentrik, simpangan baku dan lain-lain, yang didapatkan dari hasil konversi *file \*.org* dari pengolahan GLOBK. Hasil perhitungan dari *tsview* berupa nilai kecepatan pergerakan pada komponen horizontal dan vertikal (*Ve, Vn, Vu*) beserta standar deviasinya dalam satuan *mm/yr*.

Selain *plugin tsview*, dalam penelitian ini juga digunakan *plugin EPC (Euler Pole Calculator)* untuk melakukan perhitungan kecepatan pergerakan stasiun pengamatan berdasarkan pergerakan kutub lempeng blok sunda, supaya diperoleh nilai kecepatan pergerakan lokal yang dialami setiap titik stasiun pengamatan.

Perhitungan regangan dilakukan dengan metode *strain interpolation*. Metode ini menggunakan algoritma VISR pada *software straintools*. Algoritma tersebut mengacu kepada interpolasi Shen dkk. (2015). Dengan *strain interpolation method*, dapat

dilakukan perhitungan regangan pada keseluruhan titik stasiun pengamatan CORS yang digunakan dalam penelitian.

e. *Plotting* menggunakan GMT

Setelah didapatkan nilai kecepatan, regangan, dan arah pergeseran, kemudian dilakukan *plotting* dengan menggunakan GMT untuk mengetahui visualisasi arah yang dihasilkan. *Plotting* dengan GMT dilakukan menggunakan *GMT for windows* dengan memasukkan file data-data yang akan ditampilkan. Data yang dibutuhkan yaitu data lintang dan bujur stasiun GPS, besar kecepatan dan standar deviasi (sigma) yang di dapatkan dari hasil keluaran *plugin tsview* pada matlab, serta data-data pendukung lainnya yang akan digunakan untuk *plotting*.

### 3.3.3 Tahap Akhir

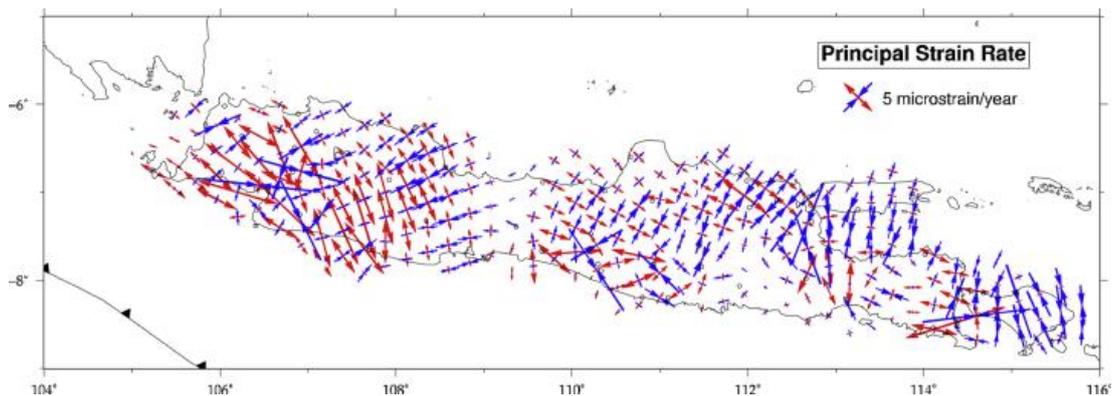
Pada tahap akhir akan dilakukan analisis hasil pengolahan data meliputi:

a. Analisis Pergeseran

Analisis pergeseran dilakukan berdasarkan titik-titik yang mengalami perbedaan kondisi muka tanah, menentukan besar nilai dan arah komponen pergeseran setiap titik pengamatan yang kemudian melakukan overlay terhadap data sebaran sesar disekitar wilayah penelitian.

b. Analisis Regangan

Analisis regangan dilakukan menggunakan metode *strain interpolation* berdasarkan data parameter-parameter regangan yang diperoleh dari nilai kecepatan pergerakan stasiun pengamatan CORS yang telah dikurangkan dengan kecepatan pergerakan blok sunda. Jenis regangan yang terjadi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu kompresi dan ekstensi. Kompresi terjadi ketika suatu benda atau wilayah mengalami perubahan dimensi yang menyebabkan jarak antar titik pada benda atau wilayah tersebut menjadi lebih pendek. Sedangkan ekstensi terjadi ketika suatu benda atau wilayah mengalami perubahan dimensi yang menyebabkan jarak antar titik pada benda atau wilayah tersebut menjadi lebih panjang. Berikut merupakan contoh *plotting* hasil regangan yang dapat dilihat pada Gambar 3.4. Dimana peristiwa kompresi ditandai oleh *cross arrow* berwarna biru dan ekstensi ditandai *cross arrow* berwarna merah.



Gambar 3.4 Contoh Hasil Plotting Regangan (Gunawan, 2019)

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab 4 menyajikan hasil pengolahan data stasiun pengamatan GPS CORS di wilayah Pulau Jawa bagian timur menggunakan *software* GAMIT/GLOBK. Hasil pengolahan yang diperoleh berupa koordinat harian, dan nilai kecepatan serta arah pergeseran setiap stasiun pengamatan. Selain itu dijelaskan juga hasil perhitungan regangan untuk dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian.

### 4.1 Hasil Koordinat Tereferensi

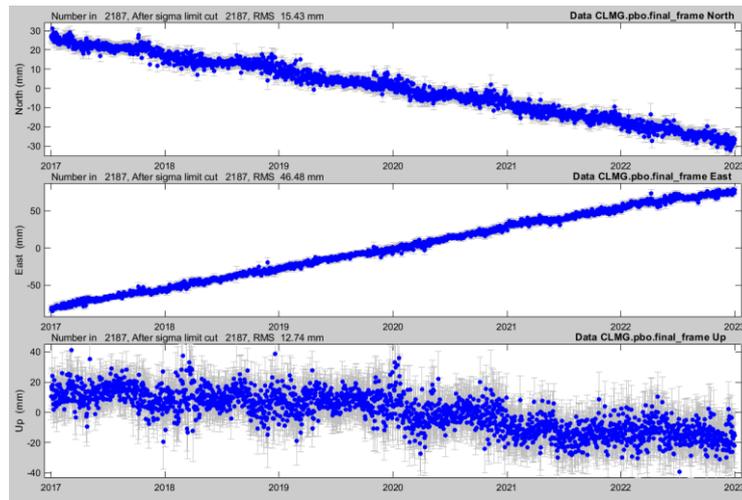
Proses pengolahan data dalam penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak GAMIT/GLOBK dengan menggunakan konsep perataan jaring yang diikatkan terhadap kerangka referensi tertentu untuk memperoleh informasi nilai koordinat setiap titik pengamatan. Adapun nilai koordinat setiap stasiun pengamatan dari tahun 2017 hingga 2022 hasil pengolahan GAMIT/GLOBK dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Koordinat Tereferensi Setiap Stasiun Pengamatan

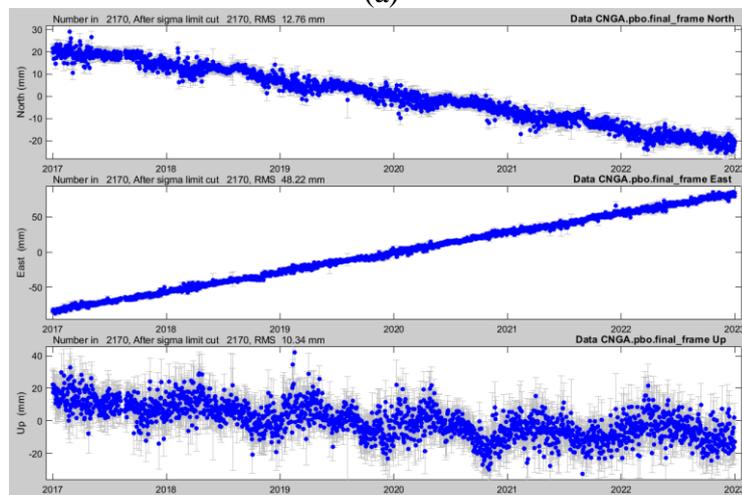
Stasiun	Lintang (°)	Bujur (°)	Tinggi (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
CBLR	-6.9692285	111.4147686	118.923	-2311715.579	5894330.160	-768770.863
CBRN	-7.8382993	114.4403468	99.897	-2614474.181	5752804.818	-864080.740
CBTL	-7.8925290	110.3354858	72.591	-2195675.025	5924401.727	-870018.197
CJEM	-8.1748663	113.6932226	121.870	-2537164.047	5781679.129	-900944.449
CJPR	-6.5962017	110.6667555	32.915	-2236257.974	5928485.881	-727796.057
CKBM	-7.6700757	109.6531891	50.661	-2126084.302	5953244.325	-845639.391
CLMG	-7.0925966	112.3265237	39.550	-2404551.819	5855181.085	-782302.110
CLUM	-8.2137482	113.1147007	195.072	-2478445.273	5806504.915	-905211.295
CMAG	-7.6064145	111.4514364	127.219	-2312221.145	5884537.181	-838671.403
CMGL	-7.4757749	110.2170006	422.765	-2185668.676	5935038.653	-824386.655
CMJT	-7.4655793	112.4416156	53.744	-2414318.694	5845521.611	-823220.646
CMLG	-7.9796068	112.6626810	474.715	-2434071.783	5829498.271	-879612.301
CNGA	-7.6047046	111.9053040	86.601	-2358756.691	5866022.394	-838478.583
CNYU	-8.2121991	114.3753743	52.277	-2605546.801	5750464.389	-905021.327
CPAC	-8.1960057	111.0977881	37.626	-2272597.534	5890251.195	-903246.615
CPAI	-7.7187535	113.5304206	44.139	-2523479.189	5795188.607	-850973.571
CPAS	-7.6514077	112.9010371	43.334	-2460056.429	5823475.141	-843592.261
CPBL	-7.3885012	109.3642359	84.448	-2097398.143	5967772.020	-814771.754
CPES	-8.5339221	114.1100896	71.545	-2576785.019	5757754.642	-940227.023
CPKL	-6.8870139	109.6694433	38.572	-2131462.037	5962961.135	-759735.293
CPTS	-8.0088795	110.3019441	47.360	-2191580.181	5923993.318	-882758.977
CPWD	-7.0960798	110.9142077	54.911	-2259496.756	5912637.322	-782686.270
CSBY	-7.3343353	112.7243671	51.236	-2443857.700	5835257.965	-808826.467
CSEM	-6.9872698	110.3769392	37.704	-2204462.527	5934931.477	-770741.437
CSIT	-7.7033187	114.0128830	72.287	-2572292.423	5773969.002	-849285.765
CSLO	-7.5705936	110.8302970	128.989	-2248479.339	5909748.135	-834744.685
CSMN	-7.0183195	113.8751878	40.741	-2562324.469	5788980.683	-774150.020
CSMP	-7.1954481	113.2519483	46.093	-2498249.346	5814287.710	-793589.190
CTBN	-6.8722547	111.9864358	36.162	-2370863.114	5872094.169	-758114.529
CTUL	-8.0655189	111.9060763	123.734	-2356257.427	5859578.762	-888972.293
JOGS	-7.8166516	110.2948121	156.337	-2191895.343	5927112.361	-861716.560

## 4.2 Analisis Time Series

Selain diperoleh nilai koordinat yang tereferensi pada setiap stasiun pengamatan, salah satu hasil dari pengolahan menggunakan GAMIT/GLOBK adalah grafik *time series* setiap stasiun pengamatan yang didapatkan dari *file* berformat *.pos* dimana berisi informasi mengenai perubahan nilai koordinat titik pengamatan. Dari hasil perubahan nilai koordinat tersebut akan diolah dan dianalisis, sehingga diketahui nilai pergeseran serta besar deformasi yang terjadi pada wilayah penelitian. Beberapa contoh hasil *plotting time series* dapat dilihat pada Gambar 4.1



(a)



(b)

Gambar 4.1 *Plotting Time Series* Stasiun Pengamatan: (a) CLMG, (b) CNGA

Data yang dihasilkan mengandung nilai ekstrem (*outliers*) dimana merupakan sebaran data pada *time series* dengan kesalahan yang disebabkan oleh kualitas data pengamatan yang kurang baik ataupun faktor lainnya. Untuk menghilangkan data *outliers* ini, digunakan *plugin tsview* untuk melakukan *editing* satu persatu menggunakan perintah *tsview* pada Matlab. Selain adanya data *outliers*, *time series* juga dipengaruhi efek musiman sehingga perlu direduksi yang dapat dihitung dengan persamaan sinusoidal pada persamaan (2.1 pada bab sebelumnya).

Data yang sudah terbebas *outliers* dan pengaruh efek musiman, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai kecepatan pergeseran titik stasiun pengamatan. Dari hasil

*plotting time series* pada Gambar 4.1 dapat dilihat adanya tren menurun (-) pada komponen *northing* dan tren naik (+) pada komponen *easting* menunjukkan bahwa pergerakan titik pengamatan menuju ke arah tenggara. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Gunawan dan Widiyantoro (2019) yang menyatakan pergerakan CORS di Pulau Jawa bagian timur cenderung bergerak ke arah tenggara.

### 4.3 Hasil Perhitungan Kecepatan Pergerakan Titik Pengamatan

#### 4.3.1 Analisis Pergerakan Horizontal

Nilai kecepatan pergerakan titik stasiun pengamatan CORS dihasilkan dari proses pengolahan menggunakan *plugin tsview* pada Matlab dengan data *outliers* yang sudah di eliminasi. Besar nilai kecepatan komponen pergerakan horizontal (*easting* dan *northing*) dalam rentang tahun 2017 hingga 2022 pada 31 stasiun pengamatan beserta nilai standar deviasinya dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Nilai Kecepatan Komponen Pergerakan Horizontal Setiap Stasiun Pengamatan

Stasiun	Ve (mm/tahu n)	Vn (mm/tahu n)	$\sigma_e$ (mm/tahu n)	$\sigma_n$ (mm/tahu n)	Vh (mm/tahu n)	$\sigma_h$ (mm/tahu n)	$\alpha$ (derajat)
CBLR	26,38	-8,83	0,06	0,05	27,82	0,08	108,5066
CBRN	27,34	-7,55	0,03	0,03	28,36	0,04	105,4376
CBTL	27,15	-7,84	0,02	0,02	28,26	0,03	106,1069
CJEM	27,14	-5,85	0,02	0,02	27,76	0,03	102,1639
CJPR	23,48	-9,3	0,03	0,03	25,25	0,04	111,6076
CKBM	26,74	-7,29	0,02	0,02	27,72	0,03	105,2497
CLMG	26,82	-8,83	0,02	0,02	28,24	0,03	108,2232
CLUM	27,28	-6,91	0,02	0,02	28,14	0,03	104,214
CMAG	28,14	-6,78	0,02	0,02	28,95	0,03	103,5465
CMGL	27,67	-8,01	0,03	0,02	28,81	0,04	106,1448
CMJT	26,58	-6,6	0,02	0,02	27,39	0,03	103,9449
CMLG	28,36	-7,81	0,03	0,03	29,42	0,04	105,3969
CNGA	27,93	-7,35	0,02	0,02	28,88	0,03	104,7436
CNYU	27,36	-5,72	0,02	0,02	27,95	0,03	101,8084
CPAC	28,67	-8,16	0,02	0,02	29,81	0,03	105,8873
CPAI	27,13	-6,19	0,02	0,02	27,83	0,03	102,8526
CPAS	27,83	-6,47	0,02	0,02	28,57	0,03	103,0878
CPBL	26,19	-9,72	0,02	0,02	27,94	0,03	110,3616
CPES	27,42	-6,22	0,02	0,02	28,12	0,03	102,7808
CPKL	22,93	-10,35	0,02	0,02	25,16	0,03	114,2932
CPTS	28,4	-8,04	0,03	0,02	29,52	0,04	105,8067
CPWD	25,5	-9,28	0,02	0,02	27,14	0,03	109,9975
CSBY	27,15	-10,23	0,02	0,02	29,01	0,03	110,6462
CSEM	25,66	-9,32	0,03	0,02	27,30	0,04	109,9616
CSIT	26,54	-5,8	0,02	0,02	27,17	0,03	102,3275
CSLO	27,78	-7,61	0,02	0,02	28,80	0,03	105,3197
CSMN	26,43	-10,13	0,02	0,02	28,30	0,03	110,9707
CSMP	27,14	-10,19	0,02	0,02	28,99	0,03	110,5792
CTBN	25,22	-9,34	0,02	0,02	26,89	0,03	110,3217
CTUL	28,36	-7,4	0,03	0,02	29,31	0,04	104,6242
JOGS	27,65	-7,99	0,02	0,02	28,78	0,03	106,1177

Pada Tabel 4.2 juga disajikan besar nilai serta arah pergeseran horizontal titik pengamatan yang dihitung dari komponen *easting* dan *northing* menggunakan Persamaan 4.1 dan 4.2 berikut (Welsch, 2003).

$$v_h = \sqrt{v_e^2 + v_n^2} \quad (4.1)$$

$$\tan \alpha = \frac{v_e}{v_n} \quad (4.2)$$

Tabel 4.2 mengindikasikan bahwa semua titik CORS BIG menghasilkan nilai kecepatan serta standar deviasi dalam satuan milimeter. Secara umum, titik stasiun pengamatan CORS mengalami pergerakan ke arah tenggara. Kecepatan pergeseran horizontal keseluruhan titik berada dalam rentang 25 hingga 30 mm/tahun. Pergerakan terbesar terjadi pada stasiun CPAC dengan kecepatan sebesar 29,81 mm/tahun. Sedangkan nilai standar deviasi pada komponen *easting* dan *northing* yang paling tinggi terjadi pada stasiun CBLR. Besarnya standar deviasi ini dapat dipengaruhi oleh adanya ketidakstabilan posisi stasiun dan kondisi sekitar stasiun pengamatan yang dikelilingi objek-objek tertentu, sehingga dapat menghalangi penerimaan sinyal pada penerima GPS.

Pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa seluruh stasiun CORS mengalami pergerakan horizontal yang cenderung mengarah ke arah tenggara, dengan besar kecepatan pergeseran yang paling tinggi terletak pada stasiun CPAC. Tingginya nilai pergeseran tidak terlepas dari aktivitas tektonik yang terjadi di wilayah pesisir selatan Pulau Jawa, dimana berkaitan erat dengan adanya aktivitas subduksi lempeng di bawah Laut Jawa. Pergerakan ini sejalan dengan pergerakan Sunda Blok dan Lempeng Eurasia (Bock dkk, 2003).



### 4.3.2 Analisis Pergerakan Vertikal

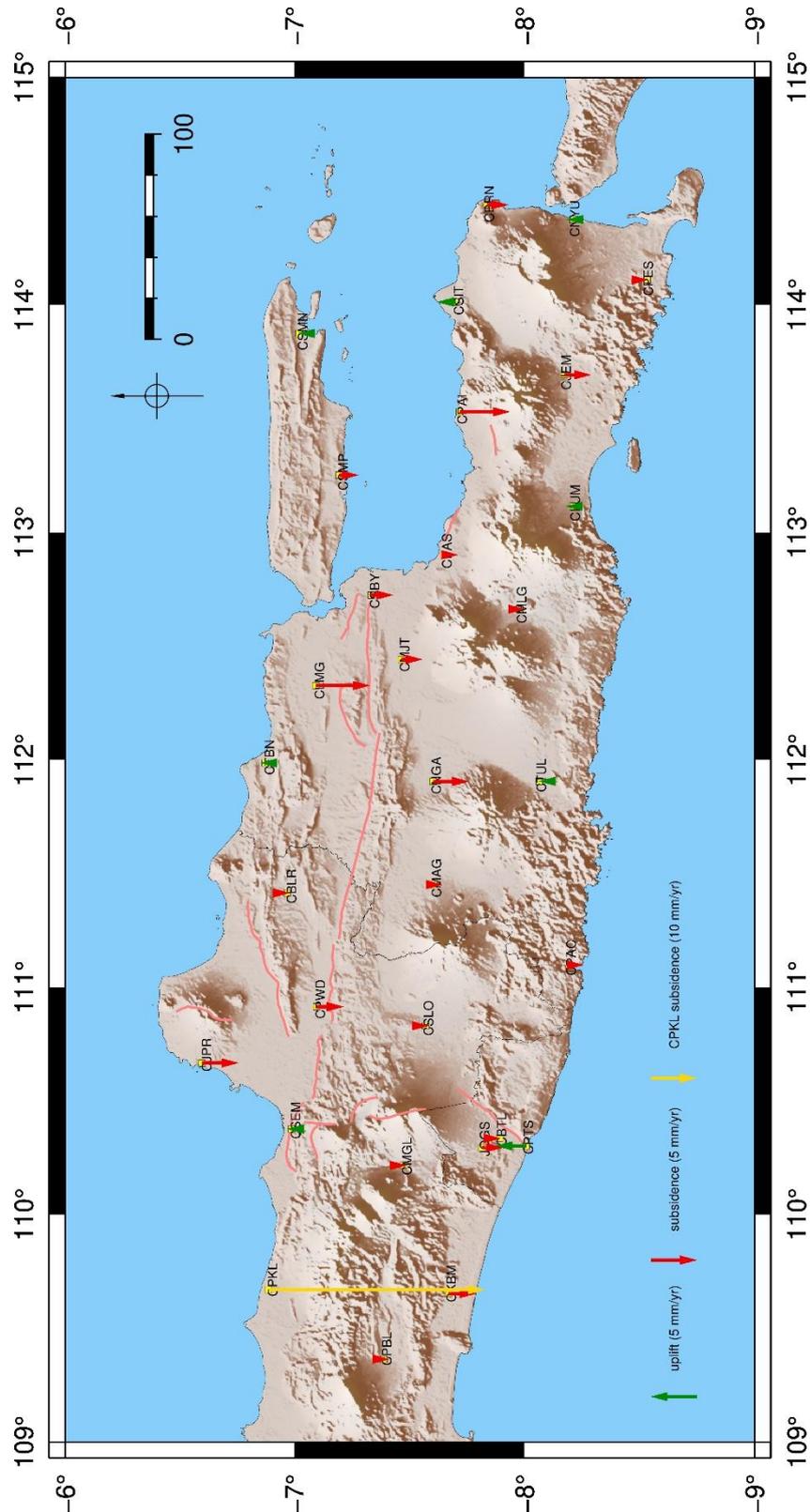
Selain kecepatan horizontal, dihasilkan juga kecepatan vertikal ( $V_u$ ) yang nilainya dapat dilihat pada Tabel 4.3. Kecepatan vertikal didapatkan melalui pengolahan *plugin tsview* pada *software* Matlab bersamaan dengan kecepatan arah *northing* ( $V_n$ ) dan arah *easting* ( $V_e$ ). Nilai negatif (-) menandakan adanya penurunan muka tanah atau *subsidence*. Sedangkan nilai positif (+) menandakan adanya kenaikan muka tanah atau *uplift*. Besar nilai kecepatan vertikal pada tiap stasiun selanjutnya akan dilakukan *plotting* menggunakan GMT untuk mendapatkan visualisasi dari nilai kecepatan vertikal yang telah diperoleh dari hasil perhitungan.

Tabel 4.3 Nilai Kecepatan Vertikal Setiap Stasiun Pengamatan

Stasiun	$V_u$ (mm/tahun)	$\sigma_u$ (mm/tahun)
CBLR	-0,25	0,26
CBRN	-2,29	0,14
CBTL	-0,09	0,08
CJEM	-2,89	0,08
CJPR	-3,99	0,12
CKBM	-3	0,08
CLMG	-5,87	0,08
CLUM	0,83	0,08
CMAG	-0,95	0,07
CMGL	-0,33	0,08
CMJT	-2,27	0,07
CMLG	-0,56	0,1
CNGA	-3,85	0,07
CNYU	0,71	0,08
CPAC	-1,52	0,08
CPAI	-5,48	0,07
CPAS	-1,5	0,07
CPBL	-0,59	0,08
CPES	-0,12	0,07
CPKL	-117,79	0,14
CPTS	3,33	0,12
CPWD	-2,93	0,09
CSBY	-2,37	0,09
CSEM	0,46	0,1
CSIT	2,04	0,08
CSLO	-0,35	0,08
CSMN	0,05	0,08
CSMP	-2,07	0,08
CTBN	0,53	0,1
CTUL	0,03	0,09
JOGS	-2,21	0,09

Dari Tabel 4.3 diketahui besar nilai kecepatan vertikal stasiun CORS. Dimana terdapat 23 stasiun CORS yang mengalami penurunan tanah (*subsidence*) yaitu CBLR, CBRN, CBTL, CJEM, CJPR, CKBM, CLMG, CMAG, CMGL, CMJT, CMLG, CNGA, CPAC, CPAI, CPAS, CPBL, CPES, CPKL, CPWD, CSBY, CSLO, CSMP, dan JOGS dengan nilai penurunan tertinggi 117,79 mm/tahun pada stasiun CPKL. Stasiun CORS yang mengalami kenaikan muka tanah (*uplift*) sebanyak 8 stasiun yaitu CPTS, CSEM, CSIT, CSMN, CTBN,

CTUL, CLUM, dan CNYU dengan nilai kenaikan tertinggi adalah stasiun CPTS dengan kenaikan 3,33 mm/tahun. Berikut hasil *plotting* nilai kecepatan vertikal setiap stasiun pengamatan menggunakan GMT yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil *Plotting* Nilai Kecepatan Vertikal Setiap Stasiun Pengamatan

Gambar 4.3 menunjukkan plot hasil kecepatan vertikal titik stasiun pengamatan CORS BIG. Hasil Pergerakan vertikal titik stasiun pengamatan memberikan hasil yang menarik. Dalam gambar terlihat bahwa stasiun CPKL mengalami penurunan muka tanah yang ekstrem. Hal tersebut dapat terjadi tidak terlepas dari fenomena yang terjadi di wilayah Pekalongan, dimana terjadi eksploitasi kandungan air tanah yang berlebihan oleh masyarakat sekitar. Penggunaan air tanah yang berlebihan itu dikarenakan adanya pemenuhan kebutuhan pasokan air untuk proses produksi pada industri garmen yang marak di wilayah tersebut (Suryantini, 2014).

#### 4.4 Hasil Perhitungan Kecepatan Pergerakan Lokal Titik Pengamatan

Nilai pergeseran yang terjadi setiap titik pengamatan tidak terlepas dari pergerakan yang diakibatkan oleh rotasi blok, dimana di wilayah Pulau Jawa bagian timur sangat dipengaruhi oleh pergerakan dari rotasi Blok Sunda. Dapat diketahui pergerakan suatu titik apakah terpengaruh dari rotasi suatu blok atau tidak dengan dilakukannya perhitungan dari pergerakan rotasi blok tersebut. Software yang digunakan untuk mengestimasi kecepatan suatu titik yang terpengaruh oleh rotasi Blok Sunda adalah *Euler Pole Calculator*.

Hasil penelitian Kuncoro, dkk. (2019) menunjukkan adanya pergerakan Blok Sunda dengan nilai parameter kutub lintang ( $\phi$ ) Blok Sunda pada  $46,2^{\circ}\text{N}$  dan bujur ( $\lambda$ ) Blok Sunda pada  $89,4^{\circ}\text{W}$  dengan nilai kecepatan rotasi angular ( $\omega$ ) sebesar  $0,327^{\circ}/\text{Myr}$ . Berdasarkan parameter tersebut dilakukan perhitungan kecepatan lokal setiap titik/stasiun pengamatan terhadap blok sunda. Berikut hasil perhitungan kecepatan pergerakan lokal terhadap Blok Sunda yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut

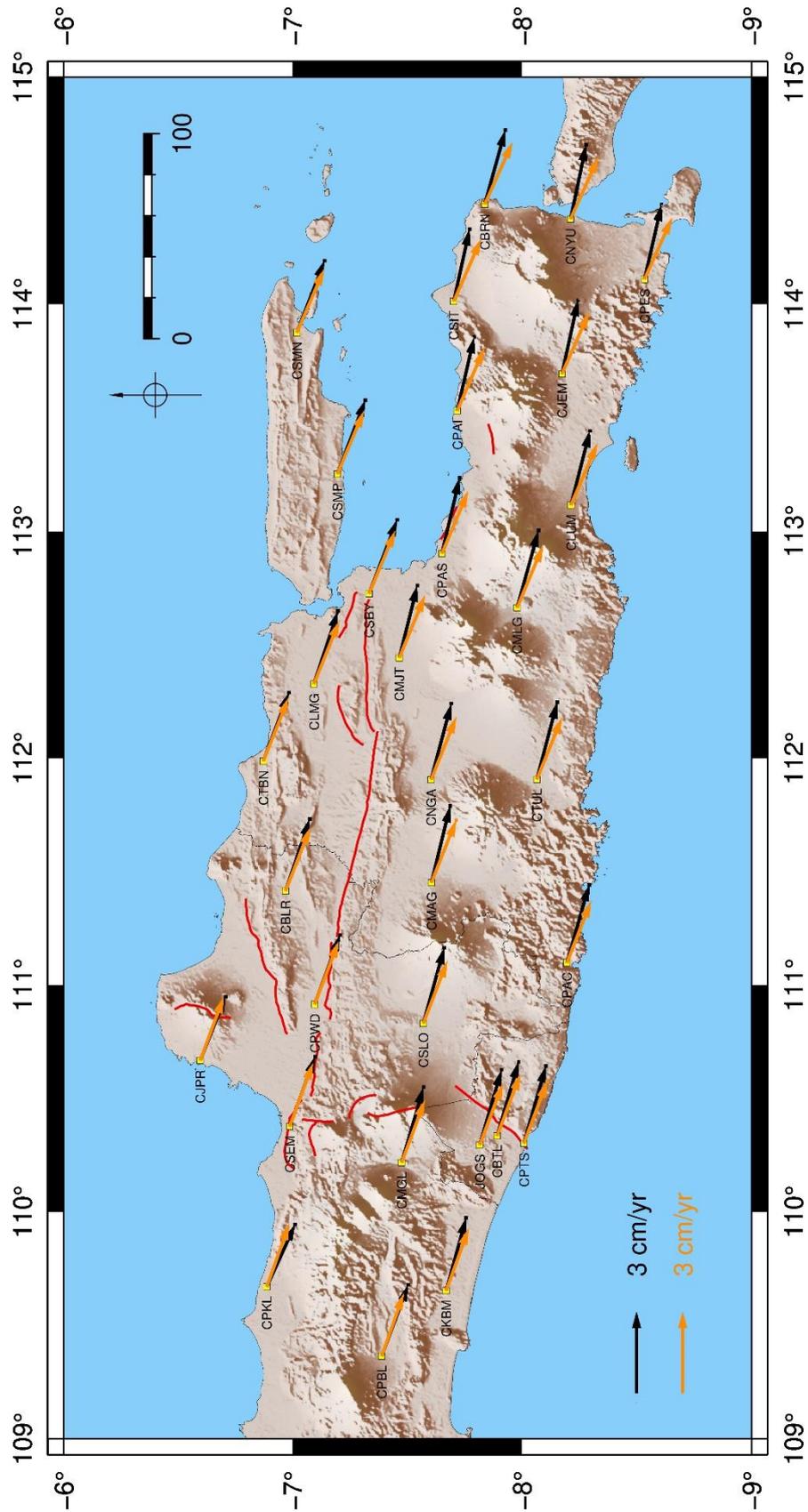
Tabel 4.4 Nilai Kecepatan Komponen *Easting* dan *Northing* Setiap Stasiun Pengamatan

Stasiun	Hasil Kecepatan Pada Penelitian		Hasil Kecepatan Blok Sunda		Hasil Kecepatan Lokal	
	Ve (mm/tahun)	Vn (mm/tahun)	Ve (mm/tahun)	Vn (mm/tahun)	Ve (mm/tahun)	Vn (mm/tahun)
CBLR	26,38	-8,83	23,22	-8,95	3,16	0,12
CBRN	27,34	-7,55	22,88	-10,18	4,46	2,63
CBTL	27,15	-7,84	22,77	-8,51	4,38	0,67
CJEM	27,14	-5,85	22,71	-9,88	4,43	4,03
CJPR	23,48	-9,3	23,38	-8,64	0,10	-0,66
CKBM	26,74	-7,29	22,86	-8,22	3,88	0,93
CLMG	26,82	-8,83	23,18	-9,33	3,64	0,50
CLUM	27,28	-6,91	22,68	-9,65	4,60	2,74
CMAG	28,14	-6,78	22,92	-8,97	5,22	2,19
CMGL	27,67	-8,01	22,96	-8,46	4,71	0,45
CMJT	26,58	-6,6	23,01	-9,37	3,57	2,77
CMLG	28,36	-7,81	22,78	-9,46	5,58	1,65
CNGA	27,93	-7,35	22,94	-9,15	4,99	1,80
CNYU	27,36	-5,72	22,71	-10,16	4,65	4,44
CPAC	28,67	-8,16	22,64	-8,82	6,03	0,66
CPAI	27,13	-6,19	22,92	-9,82	4,21	3,63
CPAS	27,83	-6,47	22,94	-9,56	4,89	3,09
CPBL	26,19	-9,72	22,99	-8,10	3,20	-1,62
CPES	27,42	-6,22	22,55	-10,05	4,87	3,83
CPKL	22,93	-10,35	23,23	-8,23	-0,30	-2,12
CPTS	28,4	-8,04	22,71	-8,49	5,69	0,45

Stasiun	Hasil Kecepatan Pada Penelitian		Hasil Kecepatan Blok Sunda		Hasil Kecepatan Lokal	
	Ve (mm/tahun)	Vn (mm/tahun)	Ve (mm/tahun)	Vn (mm/tahun)	Ve (mm/tahun)	Vn (mm/tahun)
CPWD	25,5	-9,28	23,15	-8,75	2,35	-0,53
CSBY	27,15	-10,23	23,08	-9,49	4,07	-0,74
CSEM	25,66	-9,32	23,19	-8,52	2,47	-0,80
CSIT	26,54	-5,8	22,94	-10,01	3,60	4,21
CSLO	27,78	-7,61	22,93	-8,71	4,85	1,10
CSMN	26,43	-10,13	23,25	-9,96	3,18	-0,17
CSMP	27,14	-10,19	23,15	-9,70	3,99	-0,49
CTBN	25,22	-9,34	23,28	-9,19	1,94	-0,15
CTUL	28,36	-7,4	22,72	-9,15	5,64	1,75
JOGS	27,65	-7,99	22,80	-8,49	4,85	0,50

Dapat diamati pada tabel di atas, hasil perhitungan kecepatan pergerakan blok Sunda menunjukkan pola yang sama dengan hasil pengolahan kecepatan pergerakan stasiun pengamatan pada penelitian. Pada komponen *east-west*, semua nilai kecepatan berada dalam nilai negatif, sementara pada komponen *north-south*, semua nilai kecepatan berada dalam nilai positif. Hal tersebut menandakan pergerakan horizontal blok sunda yang juga mengarah ke tenggara, sama seperti pergerakan stasiun pengamatan hasil olahan pada penelitian ini. Berikut hasil *plotting* kecepatan pergerakan blok sunda dengan kecepatan pergerakan setiap stasiun pengamatan hasil pengolahan yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Setelah mendapatkan kecepatan pergerakan blok Sunda, dilakukan perhitungan pergerakan lokal untuk setiap titik stasiun pengamatan. Pergerakan lokal merupakan pergerakan titik atau stasiun pengamatan yang telah dikurangi dengan pergerakan blok Sunda. Pada hasil perhitungan pergerakan lokal terjadi penurunan nilai kecepatan pada setiap titik stasiun pengamatan. Besar nilai serta arah pergeseran horizontal lokal setiap stasiun pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

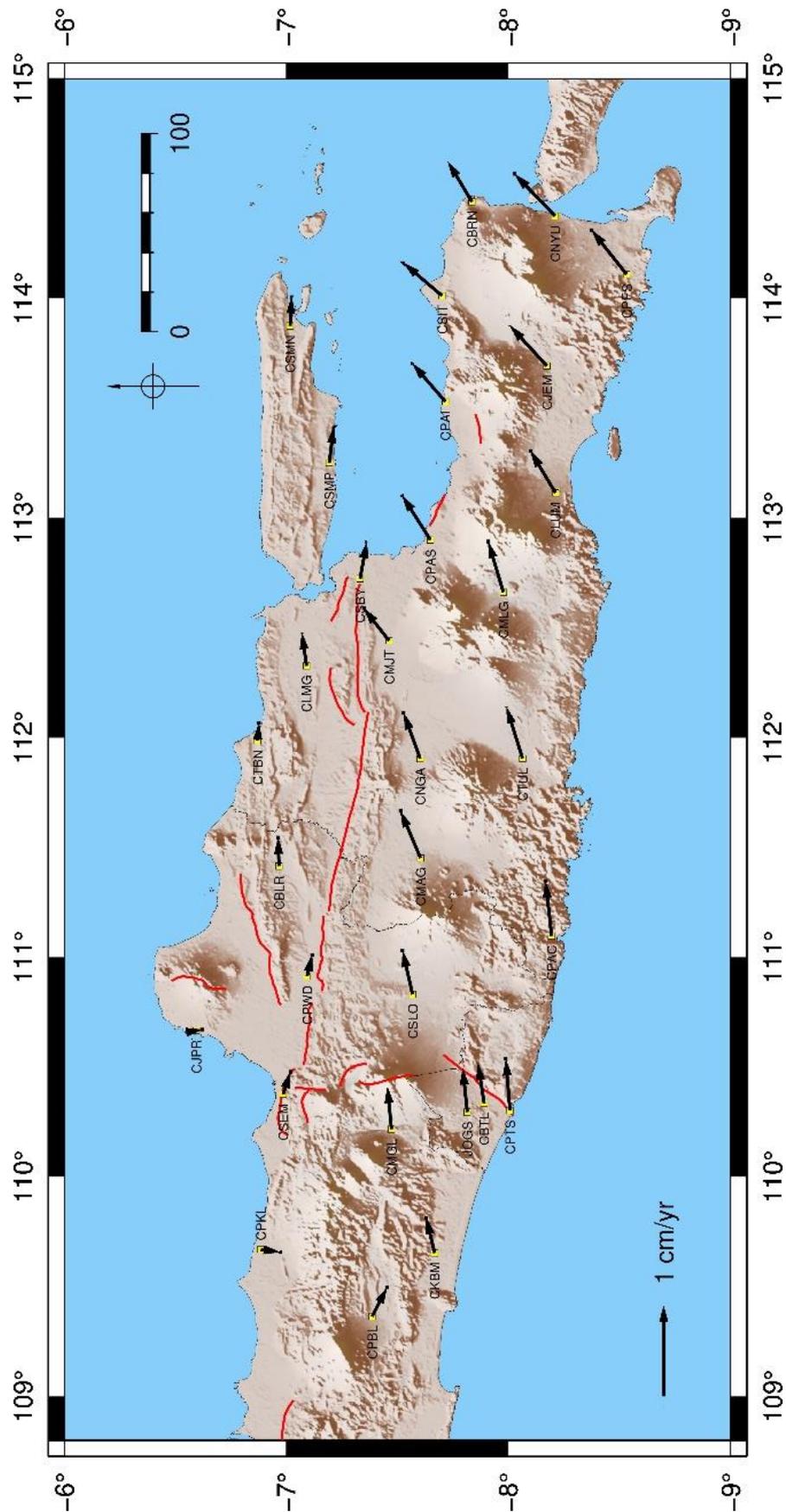


Gambar 4.4 Hasil *Plotting* Kecepatan Pergerakan Blok Sunda dengan Kecepatan Pergerakan Setiap Stasun Pengamatan Hasil Pengolahan

Tabel 4.5 Kecepatan Pergeseran Lokal Setiap Stasiun Pengamatan

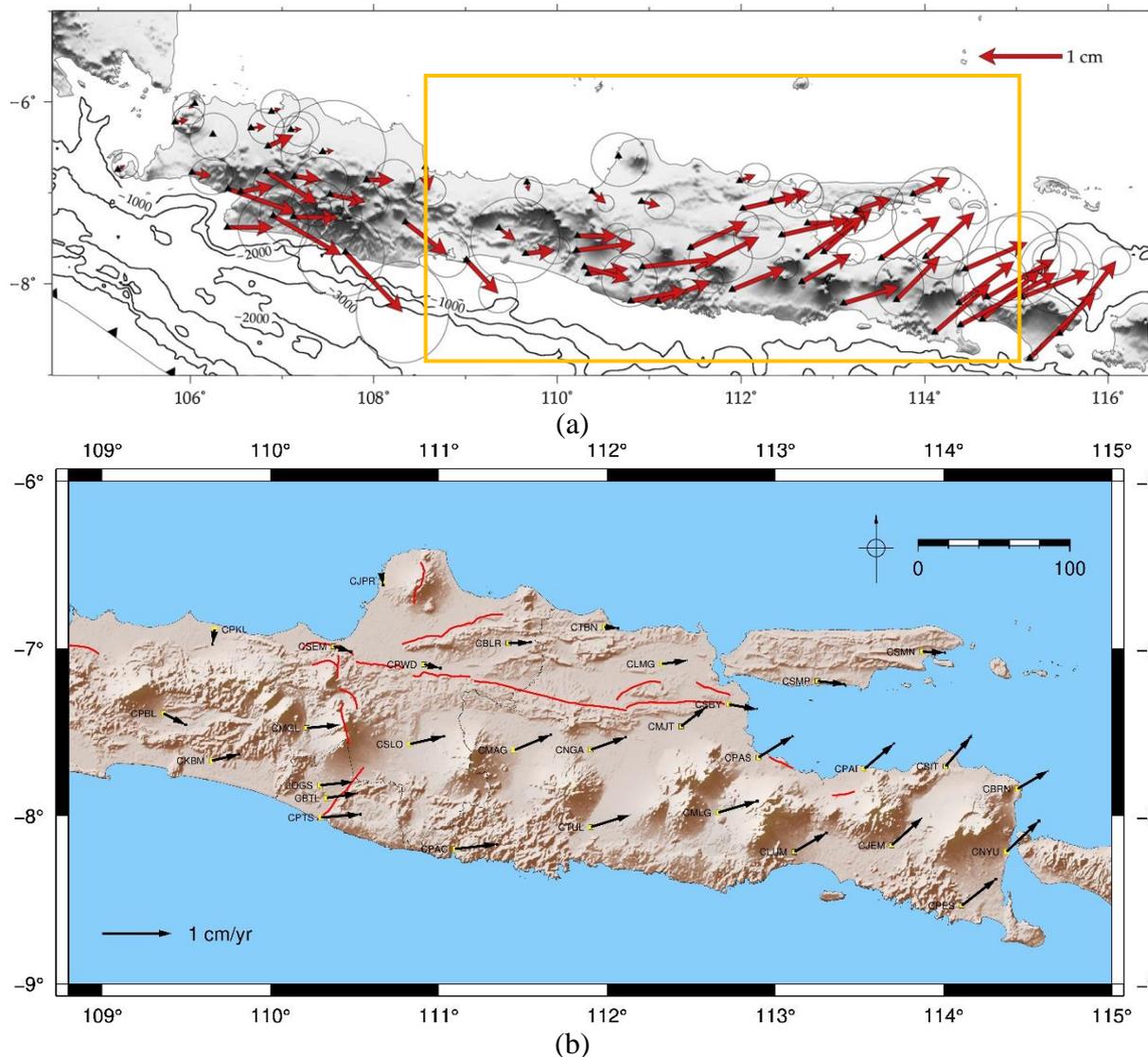
Stasiun	V <sub>h</sub> (mm/tahun)	$\sigma_h$ (mm/tahun)	$\alpha$ (derajat)
CBLR	3,16	0,01	87,77
CBRN	5,18	0,01	59,42
CBTL	4,43	0,01	81,34
CJEM	5,99	0,01	47,69
CJPR	0,66	0,01	171,34
CKBM	3,99	0,01	76,46
CLMG	3,67	0,01	82,23
CLUM	5,35	0,01	59,25
CMAG	5,66	0,01	67,24
CMGL	4,73	0,01	84,56
CMJT	4,52	0,01	52,15
CMLG	5,82	0,01	73,50
CNGA	5,31	0,01	70,14
CNYU	6,43	0,01	46,34
CPAC	6,07	0,01	83,73
CPAI	5,56	0,01	49,27
CPAS	5,79	0,01	57,73
CPBL	3,59	0,01	116,76
CPES	6,19	0,01	51,80
CPKL	2,14	0,01	8,00
CPTS	5,71	0,01	85,44
CPWD	2,41	0,01	102,80
CSBY	4,14	0,01	100,32
CSEM	2,59	0,01	107,87
CSIT	5,54	0,01	40,55
CSLO	4,97	0,01	77,20
CSMN	3,19	0,01	93,14
CSMP	4,02	0,01	96,96
CTBN	1,95	0,01	94,49
CTUL	5,91	0,01	72,72
JOGS	4,87	0,01	84,10

Berdasarkan Tabel 4.5, diketahui nilai vektor kecepatan horizontal setelah dikurangkan dengan kecepatan blok sunda yang menghasilkan kecepatan pergeseran horizontal lokal dalam rentang dari 0,66 mm/tahun hingga 6,43 mm/tahun. Terjadinya perubahan nilai kecepatan secara signifikan tersebut menunjukkan bahwa seluruh titik stasiun pengamatan banyak dipengaruhi oleh kecepatan Blok Sunda. Berikut pada Gambar 4.5 menunjukkan hasil *plotting* pergerakan lokal dari seluruh stasiun pengamatan CORS.



Gambar 4.5 Hasil *Plotting* Nilai Pergeseran Lokal Setiap Stasiun Pengamatan

Berdasarkan Gambar 4.5 terlihat bahwa stasiun pengamatan CORS yang berada di bawah sesar kendeng cenderung mengalami pergeseran ke arah timur laut, dengan besar nilai pergeseran yang terbesar pada stasiun CNYU. Perubahan arah pergeseran yang cenderung mengarah ke timur laut pada area di bawah sesar kendeng tersebut, dipengaruhi oleh adanya aktivitas di zona subduksi yang mendesak lapisan lempeng di atasnya ke arah utara. Sedangkan pergerakan stasiun pengamatan yang berada di atas zona sesar kendeng cenderung mengarah ke timur. Hal itu dikarenakan adanya pengaruh aktivitas sesar kendeng sendiri yang memiliki arah *dipping* mengarah ke selatan (Tim Pusat Studi Gempa Nasional, 2017), sehingga arah pergeseran memiliki dorongan ke arah selatan. Berikut merupakan perbandingan arah pergeseran stasiun CORS di wilayah Pulau Jawa bagian timur dari penelitian oleh Gunawan (2019), dengan arah pergeseran yang diperoleh dari hasil pengolahan pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.

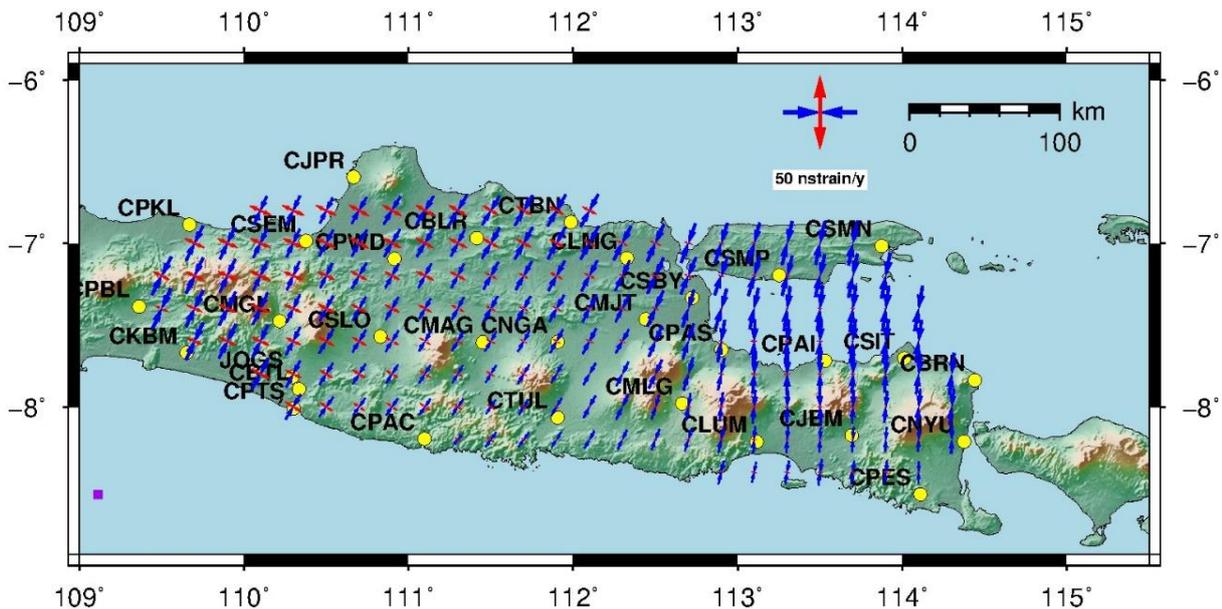


Gambar 4.6 Perbandingan Arah Pergeseran Stasiun CORS:  
 (a) Hasil Gunawan, 2019 dan (b) Hasil Pengolahan

Bedasarkan Gambar 4.6 diperoleh informasi bahwa arah pergeseran yang terjadi di Pulau Jawa bagian timur, baik pada gambar (a) yang ditandai dengan kotak berwarna oranye maupun pada gambar (b) cenderung memiliki pola arah yang sama. Namun masih terdapat juga perbedaan kecil di beberapa titik. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya perbedaan dalam data yang digunakan, serta juga dalam penggunaan kerangka referensi yang berbeda. Dimana pada penelitian Gunawan (2019) menggunakan kerangka ITRF 2008, sedangkan pada penelitian ini digunakan kerangka ITRF 2014.

#### 4.5 Hasil Perhitungan Regangan

Perhitungan nilai regangan dilakukan menggunakan metode *strain interpolation*. Hasil dari komponen kecepatan horizontal pada setiap stasiun pengamatan CORS yang sudah dilakukan reduksi dengan Blok Sunda digunakan sebagai data masukan untuk menghitung parameter regangan. Berikut hasil perhitungan regangan menggunakan metode *strain interpolation* yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil *Plotting* Regangan menggunakan Metode *Strain Interpolation*

Pada Gambar 4.7 menunjukkan hasil *plotting* dengan GMT yang berisi informasi mengenai nilai regangan. Nilai ekstensi dan kompresi yang dihasilkan bervariasi. Aktivitas regangan yang terjadi didominasi oleh peristiwa kompresi yang ditunjukkan dengan *cross arrow* berwarna biru berada pada wilayah Selat Madura. Hal ini mengindikasikan bahwa di daerah tersebut sedang terjadi akumulasi energi yang suatu saat akan dilepaskan dalam bentuk gempa tektonik. Sedangkan fenomena ekstensi terjadi di wilayah Jawa Tengah yang ditandai dengan *cross arrow* berwarna merah, dimana menandakan bahwa di wilayah tersebut telah terjadi pelepasan energi akibat adanya aktivitas tektonik pada sekitar area. Data hasil perhitungan regangan menggunakan metode *strain interpolation* disajikan dalam Tabel 4.6.

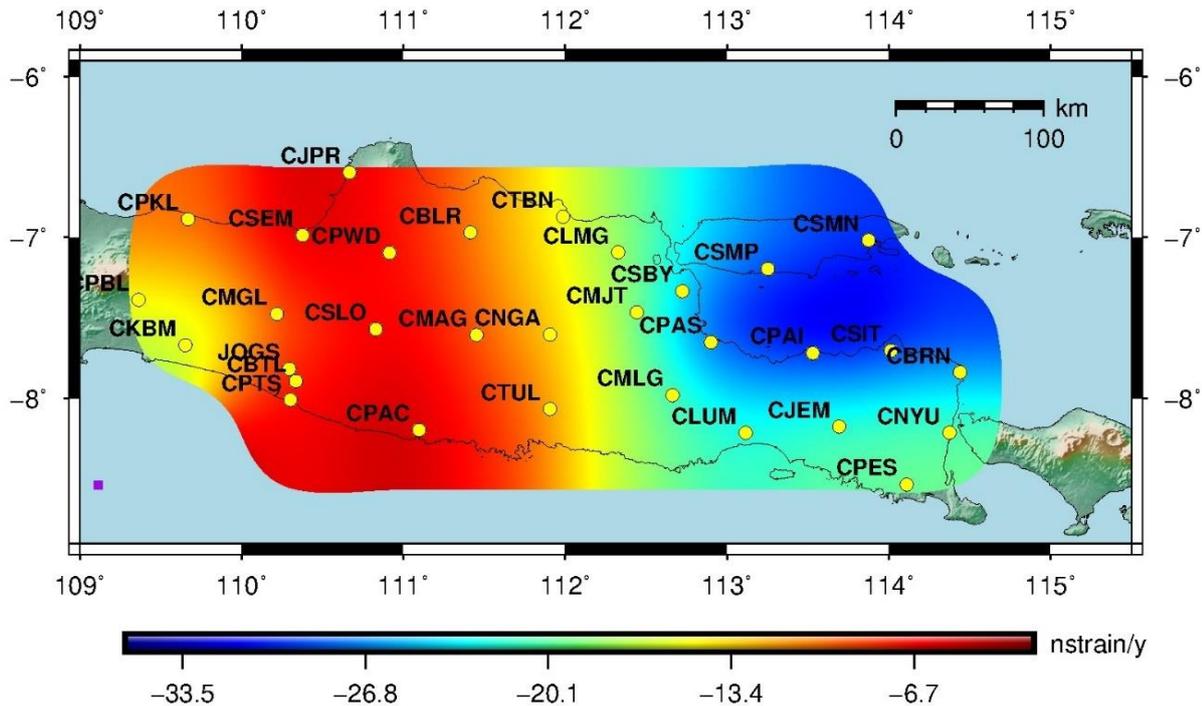
Tabel 4.6 Hasil Nilai Regangan Metode *Strain Interpolation*

Lintang (derajat)	Bujur (derajat)	$\varepsilon_1$ (nstrain)	$\varepsilon_2$ (nstrain)	$\alpha$ (derajat)
-8,3	112,2	-0,8	-13,6	118
-8,3	112,6	-2,3	-14,4	111,2
-8,3	113,0	-3,6	-17,2	100,7
-8,3	113,4	-3,7	-17,5	97,5
-8,3	113,8	-2,6	-15,9	98,7
-8,3	114,2	-0,7	-16,9	91,1
-7,9	110,2	13,9	-21,8	119,5
-7,9	110,6	9,6	-15,8	123,3
-7,9	111,0	8,5	-14,1	123,6
-7,9	111,4	6,6	-12,4	122,7
-7,9	111,8	3,1	-13,6	121,5
-7,9	112,2	-0,8	-17,3	118,7
-7,9	112,6	-0,3	-22,2	110,6
-7,9	113,0	-4,9	-20,9	98
-7,9	113,4	-3,1	-25,5	88,9
-7,9	113,8	-2,3	-24,2	93,8
-7,9	114,2	0,2	-26,4	96,8
-7,5	109,8	12,2	-26,6	115,5
-7,5	110,2	12,9	-22,9	115,6
-7,5	110,6	11,9	-18,6	119,4
-7,5	111,0	9,8	-16,1	119,6
-7,5	111,4	8,3	-16,9	118,6
-7,5	111,8	5,8	-17,6	117,7
-7,5	112,2	5,3	-20,5	117,4
-7,5	112,6	1	-24	111,1
-7,5	113,0	0,1	-28,2	101,7
-7,5	113,4	-2,3	-29,5	96,9
-7,5	113,8	-1,9	-30,5	97,1
-7,5	114,2	0	-30,2	98,6
-7,1	109,8	14,5	-25,2	114,8
-7,1	110,2	15,1	-22,7	114,9
-7,1	110,6	12,3	-20	120,3
-7,1	111,0	13,6	-19,1	118,3
-7,1	111,4	11,1	-20,2	118
-7,1	111,8	10,3	-23,4	119,3
-7,1	112,2	8,3	-24,3	115,9
-7,1	112,6	6,5	-27,6	112,6
-7,1	113,0	4	-28,5	107,4
-7,1	113,4	0,8	-29,2	102,2
-7,1	113,8	1,7	-31,2	101,3
-6,7	110,6	16	-19,5	117,3
-6,7	111,0	14,7	-22,2	121,2
-6,7	111,4	12,7	-22,1	121,3

Adapun nilai regangan dapat dilihat pada Tabel 4.6, dimana hasil nilai kompresi yang dihasilkan berkisar antara -0,3 nstrain hingga -31,2 nstrain. Sedangkan nilai ekstensi berkisar diantara 0,1 nstrain hingga 15,1 nstrain. Nilai regangan ini dapat menjadi indikator awal mengenai aktivitas tektonik yang terjadi pada suatu daerah. Semakin tinggi nilai regangan,

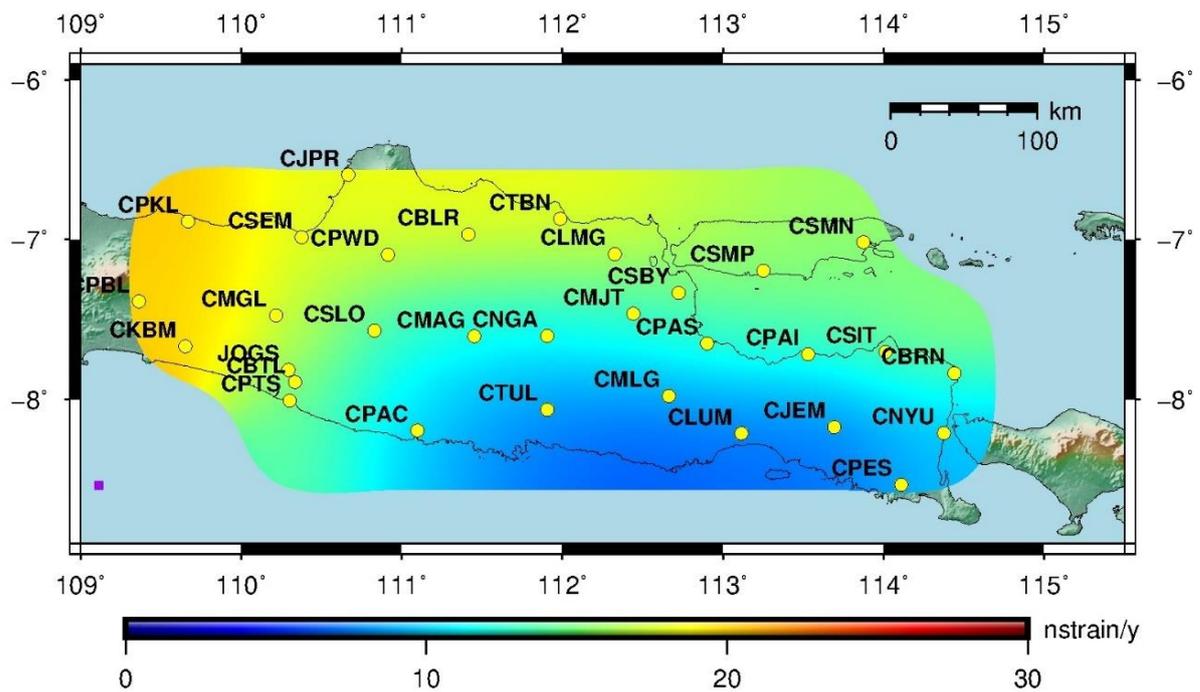
maka mengindikasikan semakin tingginya aktivitas tektonik yang terjadi. Jika dilihat dari sebaran hasil metode *strain interpolation* diperoleh informasi bahwa deformasi yang terjadi di wilayah Pulau Jawa bagian timur cenderung mengalami kompresi dengan tingkat yang cukup bervariasi di setiap daerahnya.

Selain dilakukan *plotting* hasil regangan menggunakan metode *strain interpolation*, juga dihasilkan *plotting* nilai *dilatation rate* untuk merepresentasikan deformasi horizontal yang berkaitan dengan mekanisme *dip-slip*, serta *plotting* nilai *maximum shear strain rate* yang berkaitan dengan mekanisme *strike-slip*. Hasil *plotting dilatation rate* serta *maximum shear strain rate* yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4.8 *Dilatation Rate*

Plot *dilatation rate* digunakan untuk memvisualisasikan tingkat perluasan atau penyusutan dari suatu daerah dalam jangka waktu tertentu. Plot ini dapat memberikan informasi tentang perubahan volume atau ukuran daerah tersebut seiring waktu. Berdasarkan Gambar 4.8 diperoleh informasi bahwa wilayah penelitian Pulau Jawa bagian timur memiliki tingkat dilatasi yang cukup bervariasi, dimana wilayah Selat Madura dominan berwarna biru yang menandakan terjadinya fenomena kompresi. Sedangkan pada area Jawa bagian tengah, cenderung memiliki warna merah yang dominan yang menandakan terjadinya fenomena ekstensi.



Gambar 4.9 *Maximum Shear Strain Rate*

Plot *maximum strain rate* digunakan untuk memvisualisasikan tingkat maksimum dari laju regangan atau deformasi di suatu daerah dalam jangka waktu tertentu. Plot ini memberikan informasi tentang daerah dengan tingkat deformasi yang paling tinggi dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi zona-zona yang mengalami tekanan atau tegangan tinggi. Pada Gambar 4.9 terlihat bahwa tingkat *maximum shear strain* yang tinggi berada di sepanjang zona sesar kendeng dari bagian Jawa Tengah hingga ke timur sampai Selat Madura. Sedangkan warna biru pada area selatan wilayah penelitian menggambarkan bahwa pada daerah tersebut memiliki tingkat regangan yang minimum. Hasil tingkat *maximum shear strain* ini berkaitan dengan mekanisme patahan *strike-slip*.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada Bab 5 berisikan kesimpulan serta saran atau rekomendasi untuk pelaksanaan penelitian selanjutnya yang serupa.

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pergerakan horizontal hasil pengolahan GAMIT/GLOBK cenderung mengarah ke arah tenggara dengan rentang besar nilai kecepatan pergeseran antara 25,16 mm/tahun hingga 39,81 mm/tahun. Setelah dilakukan reduksi dengan Blok Sunda menghasilkan nilai kecepatan pergeseran horizontal diantara 0,66 mm/tahun hingga 6,43 mm/tahun serta arah pergeseran yang cukup berbeda.
2. Pergerakan vertikal hasil pengolahan GAMIT/GLOBK terdapat 23 stasiun CORS yang mengalami penurunan tanah (*subsidence*), dengan nilai penurunan tertinggi 117,79 mm/tahun pada stasiun CPKL. Stasiun CORS yang mengalami kenaikan muka tanah (*uplift*) sebanyak 8 stasiun, dengan nilai kenaikan tertinggi adalah stasiun CPTS dengan kenaikan 3,33 mm/tahun.
3. Perhitungan regangan yang dilakukan menggunakan metode *strain interpolation* didapatkan hasil yang menunjukkan dominan pada peristiwa kompresi, dimana nilai kompresi yang dihasilkan berkisar antara -0,3 nstrain hingga -31,2 nstrain. Sedangkan nilai ekstensi berkisar diantara 0,1 nstrain hingga 15,1 nstrain.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Dalam proses pengolahan GAMIT dianjurkan menggunakan komputer dengan spesifikasi yang tinggi supaya pengolahan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan lancar.
2. Memastikan data titik ikat stasiun IGS memiliki data yang baik dan tersebar merata yang disesuaikan dengan wilayah penelitian.
3. Diperlukan ketelitian saat *editing* file-file kontrol yang digunakan dalam pengolahan GAMIT/GLOBK untuk menghindari terjadinya *error* ketika proses pengolahan.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.
- Barunawati, E.V.N. (2021). *Analisis Hubungan Deformasi di Jawa Timur Bagian Selatan dengan Aktiitas Zona Subduksi Java Trench Menggunakan Data GPS CORS Tahun 2015-2018*. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bird, Peter. (2003). *An Updated Digital Model of Plate Boundaries*. ISSN: 1525-2027.
- 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
- Cahyadi, Arya. (2021). *Analisis Hubungan Deformasi di Pulau Jawa dengan Aktivitas Zona Subduksi Java Trench Menggunakan Data GPS CORS Tahun 2016*. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Chrzanowski, A., Chen, Y.Q., Romero, P., Secord, J.M. (1986). Integration of geodetic and geotechnical deformation surveys in the gesciences. *Tectonophysics*. 130. pp. 369-383.
- Fowler, C. M. R. (2005). *The Solid Earth An Introduction to Global Geophysics (2nded.)*. London: Press Syndicate of The University Of Cambridge
- Ghilani, D. C., & Wolf, R. P. (2006). *Adjustment Computations Spatial Analysis*. Madison : John Wiley & Sons Inc.
- Global CMT web page. Global Centroid Moment Tensor Project. (n.d.). <https://www.globalcmt.org/>
- Goudarzi, M. A., Cocard, M., & Santerre, R. (2014). EPC: Matlab software to estimate Euler pole parameters. *SpringerVerlag Berlin Heidelberg* 2013, 18(1), 153–162. <https://doi.org/10.1007/s10291-013-0354-4>
- Grotzinger, John P., & Jordan, T. H. (2020). *Understanding earth*. Macmillan Learning.
- Gunawan, E., Kholil, M., & Meilano, I. (2016). Splay-fault rupture during the 2014 Mw7. 1 Molucca Sea, Indonesia, earthquake determined from GPS measurements. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 259, 29-33.
- Gunawan, E., & Widiyantoro, S. (2019). Active tectonic deformation in Java, Indonesia inferred from a GPS-derived strain rate. *Journal of Geodynamics*, 123, 49-53.
- Herring, T. A., King, R. W., & McClusky, S. C. (2010). *Introduction to GAMIT/GLOBK*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts
- King, R., & Y. Bock. (2002). *The GAMIT GPS Analysis Software v10.0 Internal Memorandum*. Cambridge: MI.
- Kuang, S. (1996). *Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Conept and Application*. Chelsea, Michigan: Ann Arbor Press, Inc

- Kuncoro, H., Kartini, G. A. J., Meilano, I., & Susilo, S. (2019). Identifikasi Mekanisme Sesar Di Bagian Timur Pulau Jawa Dengan Menggunakan Data Gns Kontinu 2010-2016. In Seminar Nasional Geomatika (Vol. 3, pp. 805-812).
- Laksmantyo, J.M.V. (2014). Analisis Deformasi di Wilayah Jawa Tengah Akibat Pengaruh Subduksi Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2009-2012. Bandung: Tugas Akhir Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung.
- Latest earthquakes. (n.d.). <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>
- Marliyani, G. I. (2016). Neotectonics of Java, Indonesia: Crustal deformation in the overriding plate of an orthogonal subduction system. Doctoral dissertation, Arizona State University.
- Metcalf, I. (2017). Tectonic evolution of Sundaland. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 63, 27-60. 10.7186/bgsm63201702
- Mori, J., Mooney, W. D., Kurniawan, S., Anaya, A. I., & Widiyantoro, S. (2007). The 17 July 2006 tsunami earthquake in west Java, Indonesia. *Seismological Research Letters*, 78(2), 201-207.
- Nikolaidis, R. (2002). Observation of geodetic and seismic deformation with the Global Positioning System. University of California, San Diego
- R. E. Myers, R. H. & Walpole. (1995). Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Reddy, C. D., Arora, S. K., Sunil, P. S., & Prajapati, S. K. (2011). Earthquake Related Deformation Cycle: Perspectives from 2004 Sumatra and 2010 Chile Mega-Earthquakes, 4.
- Savage, J.C. (1983). "A dislocation model of strain accumulation and release at a subduction zone". *J. Geophys. Res.* 88(B6), 4984-1996.
- S. C. King, R. W., Herring, T. A., McClusky. (2010). GAMIT Reference Manual, Release. Massachusetts Institute of Technology.
- Shen, Z.-K., Wang, M., Zeng, Y., & Wang, F. (2015). Optimal Interpolation of Spatially Discretized Geodetic Data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 105, No. 4, pp. 2117–2127, August 2015, doi: 10.1785/0120140247.
- Seeber, G. (2003). *Satellite Geodesy*. Hannover: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG.
- The Magnet GPS Network. Nevada Geodetic Laboratory - The MAGNET GPS Network. (n.d.). <http://geodesy.unr.edu/magnet.php>
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan rakyat.
- Turcotte, D., dan S. Gerald. (2002). *Geodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press
- Welsch, W. (2003). *Advanced Deformation Analys*. New York: Springer
- Wicaksono, P., Daryono, M. R., & Rachman, A. F. (2018). Land subsidence phenomena in Pekalongan City, Central Java, Indonesia: A preliminary study. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 200, No. 1, p. 012004). IOP Publishing

- Witchayangkoon, B. (2000). Elements of GPS Precise Point Positioning. Ph.D. Thesis, University of Maine, USA. DOI: 10.13140/RG.2.1.3282.6402
- Yang, B. (2005). Stress Analysis in Two-Dimensional Problems. *Stress, Strain, and Structural Dynamics*, (ii), 135–156. <https://doi.org/10.1016/b978-012787767-9/50006-4>.
- Yovenia, D. (2021). Analisis Batas Blok Sunda Di Pulau Jawa Berdasarkan Pengamatan GPS. Thesis. Institut Teknologi Bandung. Bandung

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# LAMPIRAN

## Lampiran A. File Kontrol GAMIT/GLOBK

### lfile.

```
lfile - Notepad
File Edit Format View Help

* Coordinates copied from lfile.
CBLR_GPS -2153453.07600 5952611.63900 -794934.08600 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CBLR_GPS -2311715.17200 5894329.79100 -768770.53000 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CBRR_GPS -2614473.89200 5752804.83000 -864080.66200 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CBTL_GPS -2195674.83100 5924401.81100 -870018.13500 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CJEM_GPS -2537163.85000 5781679.23100 -900944.39900 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CJPR_GPS -2236257.80800 5928485.97300 -727795.97900 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CKBH_GPS -2126084.11500 5953244.43700 -845639.32900 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CLMG_GPS -2484551.63100 5855181.21800 -782302.04100 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CLUM_GPS -2478445.06900 5806504.99700 -905211.23600 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CMAG_GPS -2312220.93400 5884537.27900 -838671.35200 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CMGL_GPS -2185668.47000 5935038.73400 -824386.58700 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CMJT_GPS -2414318.47400 5845521.71000 -823220.56800 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CMLG_GPS -2434071.55100 5829498.32500 -879612.23100 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CNGA_GPS -2358756.47200 5866022.51400 -838478.50600 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CNYU_GPS -2695546.60200 5759464.48500 -905021.28200 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CPAL_GPS -2523479.00200 5795188.73800 -850973.52700 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CPAC_GPS -2272597.32200 5890251.28100 -903246.55300 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CPAS_GPS -2460056.23000 5823475.23700 -843592.21700 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CPBL_GPS -2097398.95500 5967772.09900 -814771.67300 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CPBO_GPS -2491631.34000 5809006.80000 -850554.30000 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CPCR_GPS -2410000.99900 5856253.47100 -757257.34500 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CPES_GPS -2576784.81400 5757754.72800 -940226.97500 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CPKL_GPS -2131452.17900 5962962.06700 -757735.32100 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CPML_GPS -2881489.99100 5977668.87300 -798269.29200 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CPTS_GPS -2191579.96300 5923993.38300 -882758.88700 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CPMD_GPS -2259496.57700 5912637.40700 -782686.19300 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CSBV_GPS -2443857.50500 5835258.87700 -808826.37900 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CSBR_GPS -2433265.96600 5821583.90300 -929318.56400 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CSDG_GPS -2241912.27700 5902048.20300 -902643.90400 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CSEH_GPS -2284462.38400 5934931.58100 -770741.35700 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CSID_GPS -2440489.44700 5832357.89900 -813238.28800 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CSIT_GPS -2572292.22100 5773969.08400 -849285.71000 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CSLO_GPS -2248479.13500 5909748.22400 -834744.61600 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CSMG_GPS -2213351.81900 5932055.00300 -767378.98000 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CSMN_GPS -2562324.27600 5788980.77700 -774149.94100 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CSMP_GPS -2498249.15600 5814287.80300 -793589.11100 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CTBH_GPS -2378862.93000 5872094.25100 -758114.45100 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
CTUL_GPS -2356257.21400 5859578.84400 -808972.22700 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.002
XOGS_GPS -2191895.13200 5927112.41300 -861716.49200 0.00000 0.00000 0.00000 2017.0041 Updated from lmrt7.201

Ln 1, Col 1 100% Unix (LF) UTF-8
```

### Process.defaults

```
process.defaults - Notepad
File Edit Format View Help

set templatepth = "$procdir/templates"
# Place to store temporary control files
set cpth = "$procdir/control"
# Archive root directory (cannot be null)
set archivepth = "$procdir/archive"

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

##GAMIT
# Set sampling interval, number of epochs, and start time for processing
set sint = '30'
set nepc = '2880'
set stime = '0 0'
# Variables for updating tables
set stinf_unique = "-u"
set stinf_nosort = "-nosort"
set stinf_slhgt = "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 minxf = '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 = 'igb14_comb.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, i, j, k, l, m, o, p, q, t, x, ps, all"
set dopts = { D H ao ac as c d e g i j m o p t x }
set copts = ''
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_ftp sites = (cddis sopac unavco)

Ln 1, Col 1 100% Unix (LF) UTF-8
```

## Sestbl.

```
sestbl - Notepad
File Edit Format View Help
Session Table

Processing Agency = MIT

Add space at start of lines below if not ECOMC model.
Satellite Constraint = Y ; Y/N (next two lines are read and free-format. only all needed on next line)
all a e i n w M D Y B 1UDC 1UDS 1UYC 1UYC 1UBC 1UBS 2UC 2US 4UC 4US SX SY SZ
0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.001 0.001 0.001
Radiation Model for ARC = ECOMC ; BERNE (= ECOM1), ECOM2, ECOMC

Remove space at start of lines below when ECOM1 (= BERNE) selected.
Satellite Constraint = Y ; Y/N (next two lines are free-format but 'all' must be present)
all a e i n w M D Y B 1UDC 1UDS 1UYC 1UYC 1UBC 1UBS SX SY SZ
0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.001 0.001 0.001
Radiation Model for ARC = ECOM1 ; BERNE (= ECOM1), ECOM2, ECOMC

Choice of Experiment = BASELINE ; BASELINE/RELAX./ORBIT
Type of Analysis = 1-ITER ; 1-ITER/0-ITER (no postfit autcln)/PREFIT
Delete AUTCLN input C-files = Y ; Y/N ; default Y to force rerun of MODEL between autcln runs (slower/less disk used).
Choice of Observable = LC_AUTCLN ; L1_SINGLE/L1&L2/L1_ONLY/L2_ONLY/LC_ONLY/
; L1,L2_INDEPEND./LC_HELP/LC_AUTCLN
Station Error = ELEVATION 10 5 ; 1-way L1, a**2 + (b**2)(l**2) in mm, ppm, default = 10. 0.
AUTCLN reweight = Y ; Release 10.31 equivalent of Use N-file
AUTCLN Command File = autcln.cmd ; Filename; default none (use default options)
Decimation Factor = 4 ; FOR SOLVE, default = 1
Quick-pre decimation factor = 10 ; 1st iter or autcln pre, default same as Decimation Factor
Quick-pre observable = LC_ONLY ; for 1st soln, default same as Choice of observable

Ionospheric Constraints = 0.0 mm + 8.00 ppm
Ambiguity resolution ML = 0.15 0.15 1000. 99. 15000. ; used for LC_HELP only
Ambiguity resolution NL = 0.15 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 = 0 ; default 0 to use value in autcln.cmd
Atmospheric gradients = Y ; Yes/No (default No)
Number gradients = 2 ; 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

Ln 1, Col 1 100% Unix (LF) UTF-8
```

## Sites.defaults

```
sites.defaults - Notepad
File Edit Format View Help
# 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.
#
# ftpnrx = sites to ftp from rinex data archives.
# ftpraw = sites to ftp from raw data archives.
# localrx = site names used to search for rinex files on your local system.
#
# (required in conjunction with rnxrfd 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 mrta localrx xstinfo
coco_gps mrta localrx xstinfo
xm1s_gps mrta localrx xstinfo
cusv_gps mrta localrx xstinfo
pimo_gps mrta localrx xstinfo
darw_gps mrta localrx xstinfo
alic_gps mrta localrx xstinfo
karr_gps mrta localrx xstinfo
dgar_gps mrta localrx xstinfo
liisc_gps mrta localrx xstinfo
hyde_gps mrta localrx xstinfo
guam_gps mrta localrx xstinfo
kiri_gps mrta localrx xstinfo
kouc_gps mrta localrx xstinfo
cnmr_gps mrta localrx xstinfo
# templates for removing sites
tthh_gps expt xsite:1999_256-1999_278 xsite:1999_300-1999_365

Ln 1, Col 1 100% Unix (LF) UTF-8
```

# Station.info

station.info - Notepad

File Edit Format View Help

Station.info written by MSTIN user also on 2023-04-05 13:03

Reference file : station.info

```

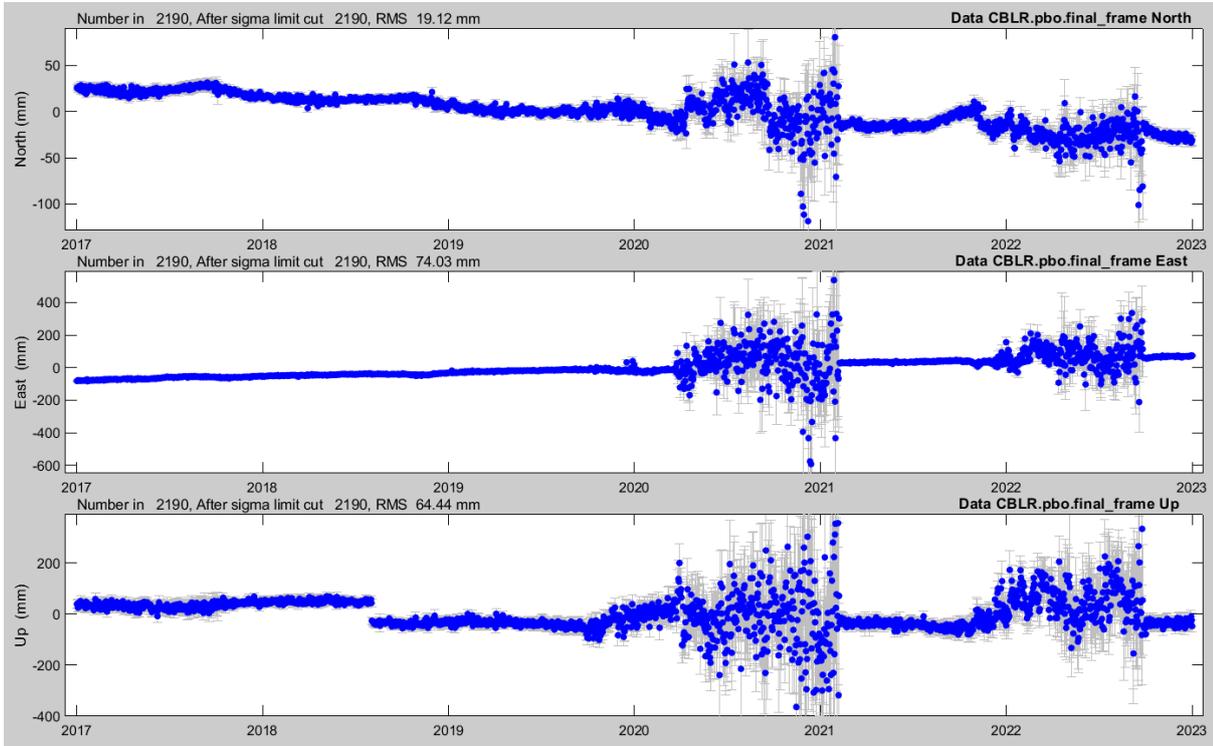
*
*SITE Station Name Session Start Session Stop Ant Ht HtCod Ant N Ant E Receiver Type Vers SwVer Receiver SN Antenna Type Dome Antenna SN
ALIC Alice Springs AU 1994 135 0 0 1999 212 1 0 0 0.0070 DHARP 0.0000 0.0000 ADA IC5-4000Z 3.2.33.1 0.00 C128 AOAD/PL_T AUST 318
ALIC Alice Springs AU 1999 212 1 0 0 2000 14 1 50 0 0.0070 DHARP 0.0000 0.0000 ADA IC5-4000Z 3.2.32.9 0.00 C128 AOAD/PL_T AUST 318
ALIC Alice Springs AU 2000 14 2 0 0 2000 24 1 0 0 0.0070 DHARP 0.0000 0.0000 ADA SHR-12 ACT 3.3.32.3 0.00 C102U AOAD/PL_T AUST 318
ALIC Alice Springs AU 2000 24 2 15 0 2003 166 3 30 0 0.0070 DHARP 0.0000 0.0000 ADA IC5-4000Z ACT 3.3.32.3 0.00 C126U AOAD/PL_T AUST 318
ALIC Alice Springs AU 2003 166 3 30 0 2003 295 23 59 0 0.0070 DHARP 0.0000 0.0000 ADA IC5-4000Z ACT 3.3.32.3 0.00 C126U AOAD/PL_T NONE 318
ALIC Alice Springs AU 2003 295 0 0 0 2008 106 23 59 0 0.0070 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH IJZ-12 2C00 9.52 UC22003020 AOAD/PL_T NONE 318
ALIC Alice Springs AU 2008 107 0 0 0 2008 260 23 59 0 0.0070 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GRX1200GGPRO 6.00 5.62 355318 AOAD/PL_T NONE 318
ALIC Alice Springs AU 2008 261 0 0 0 2009 205 0 0 0 0.0070 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GRX1200GGPRO 6.00 6.00 355318 AOAD/PL_T NONE 318
ALIC Alice Springs AU 2009 205 0 0 0 2010 126 0 0 0 0.0070 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GRX1200GGPRO 7.50 7.50 355318 AOAD/PL_T NONE 318
ALIC Alice Springs AU 2010 126 0 0 0 2011 177 23 59 0 0.0070 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GRX1200GGPRO 7.50/3.019 0.00 355318 AOAD/PL_T NONE 318
ALIC Alice Springs AU 2011 178 0 0 0 2011 201 0 0 0 0.0070 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GRX1200GGPRO 8.20/3.019 0.00 355318 AOAD/PL_T NONE 318
ALIC Alice Springs AU 2011 201 0 0 0 2013 67 0 0 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GRX1200GGPRO 8.20/3.019 0.00 355318 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2013 67 0 0 0 2013 189 0 45 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GRX1200GGPRO 8.51/3.019 0.00 355318 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2013 189 0 45 0 2016 35 0 0 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GRX1200GGPRO 8.71/3.822 0.00 355318 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2016 35 0 0 0 2016 105 0 48 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR25 6.521 6.52 1830439 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2016 105 0 48 0 2016 266 0 0 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR25 3.22.1818/6.522 0.00 1830439 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2016 266 0 0 0 2016 348 0 0 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR25 4.00.335/6.522 0.00 1830439 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2016 348 0 0 0 2017 31 0 0 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR25 4.01.386/6.522 0.00 1830439 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2017 31 0 0 0 2017 54 0 0 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR25 4.10.598/6.523 0.00 1830439 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2017 54 0 0 0 2018 141 0 35 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR25 4.11.606/6.523 0.00 1830439 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2018 141 0 35 0 2018 183 23 59 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR25 4.20.232/6.524 0.00 1830439 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2018 184 0 0 0 2019 77 0 0 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR25 4.20.232/7.300 0.00 1830439 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2019 77 0 0 0 2019 295 3 13 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR25 4.30.063/6.525 0.00 1830439 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2019 295 3 13 0 2020 274 23 59 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR25 4.31.101 0.00 1830439 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2020 275 0 0 0 2020 345 0 0 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 LEICA GR25 4.31/6.525 0.00 1830439 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2020 345 0 0 0 2021 56 23 43 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 SEPT POLARXS 5.3.2 0.00 3061704 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2021 56 23 43 0 2022 305 0 1 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 SEPT POLARXS 5.4.0 0.00 3061704 LEIAR25.R3 NONE 09370001
ALIC Alice Springs AU 2022 305 0 1 0 9999 999 0 0 0 0.0015 DHARP 0.0000 0.0000 SEPT POLARXS 5.5.0 0.00 3061704 LEIAR25.R3 NONE 09370001
,
BAKO BAKOSURTANAL 1990 196 0 0 0 1990 199 0 0 0 0.9888 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE 4000SST 4.10 4.10 n/a TRM14532.00 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1990 199 0 0 0 1991 157 0 0 0 0.9637 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE 4000SST 4.10 4.10 n/a TRM14532.00 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1991 157 0 0 0 1991 190 0 0 0 0.8880 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE 4000SST 4.30 4.30 n/a TRM14532.00 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1991 190 0 0 0 1991 190 0 0 0 0.8844 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE 4000SST 4.30 4.30 n/a TRM14532.00 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1991 198 0 0 0 1993 228 0 0 0 0.8891 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE 4000SST 4.30 4.30 n/a TRM14532.00 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1993 228 0 0 0 1993 238 0 0 0 1.2483 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE 4000SST 4.64 4.64 n/a TRM14532.00 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1993 238 0 0 0 1993 245 0 0 0 1.2660 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH P-XII3 2.0 2.00 n/a ASH7002280 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1993 245 0 0 0 1993 246 0 0 0 1.2990 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH P-XII3 2.0 2.00 n/a ASH7002280 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1993 246 0 0 0 1993 247 0 0 0 1.2660 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH P-XII3 2.0 2.00 n/a ASH7002280 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1993 247 0 0 0 1993 248 0 0 0 1.2990 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH P-XII3 2.0 2.00 n/a ASH7002280 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1993 248 0 0 0 1993 251 0 0 0 1.2660 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH P-XII3 2.0 2.00 n/a ASH7002280 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1993 251 0 0 0 1993 252 0 0 0 1.2990 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH P-XII3 2.0 2.00 n/a ASH7002280 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1993 252 0 0 0 1993 258 0 0 0 1.2660 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH P-XII3 2.0 2.00 n/a ASH7002280 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1993 258 0 0 0 1993 261 0 0 0 1.2990 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH P-XII3 2.0 2.00 n/a ASH7002280 NONE n/a
BAKO BAKOSURTANAL 1993 261 0 0 0 1993 265 0 0 0 1.2660 DHARP 0.0000 0.0000 ASHTECH P-XII3 2.0 2.00 n/a ASH7002280 NONE n/a

```

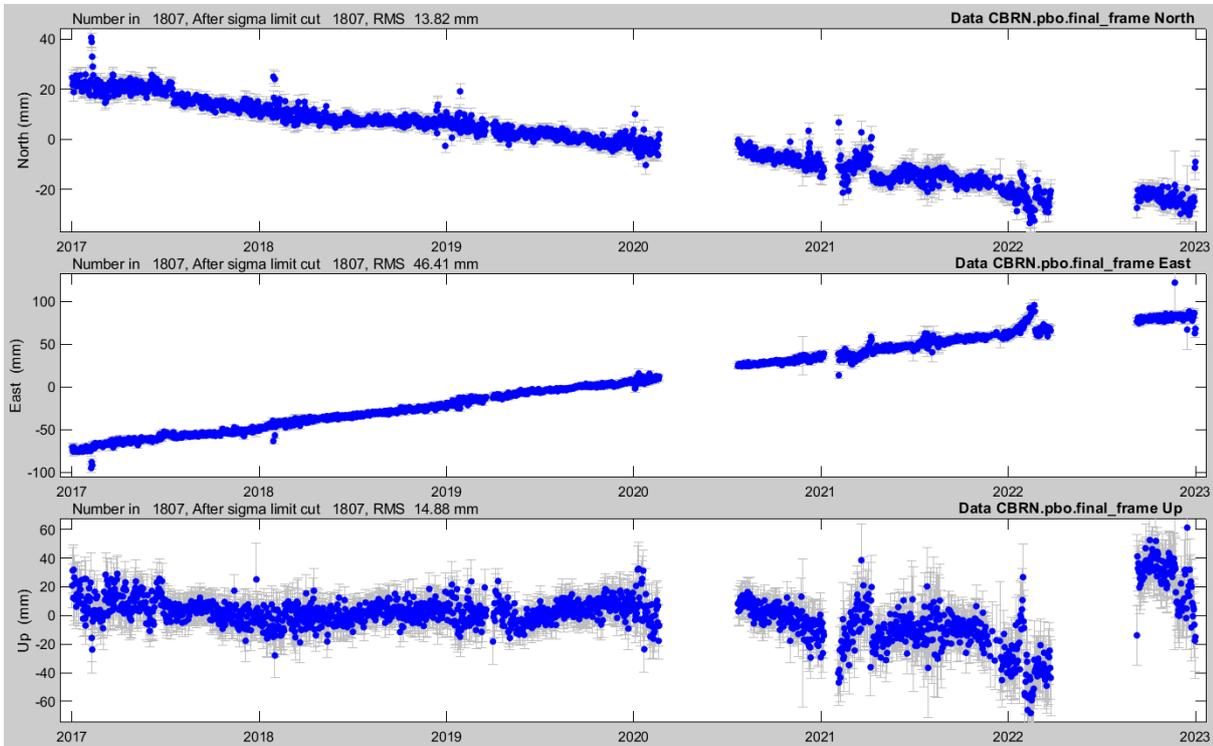
Ln 1, Col 1 90% Unix (LF) UTF-8

Lampiran B. *Time Series*

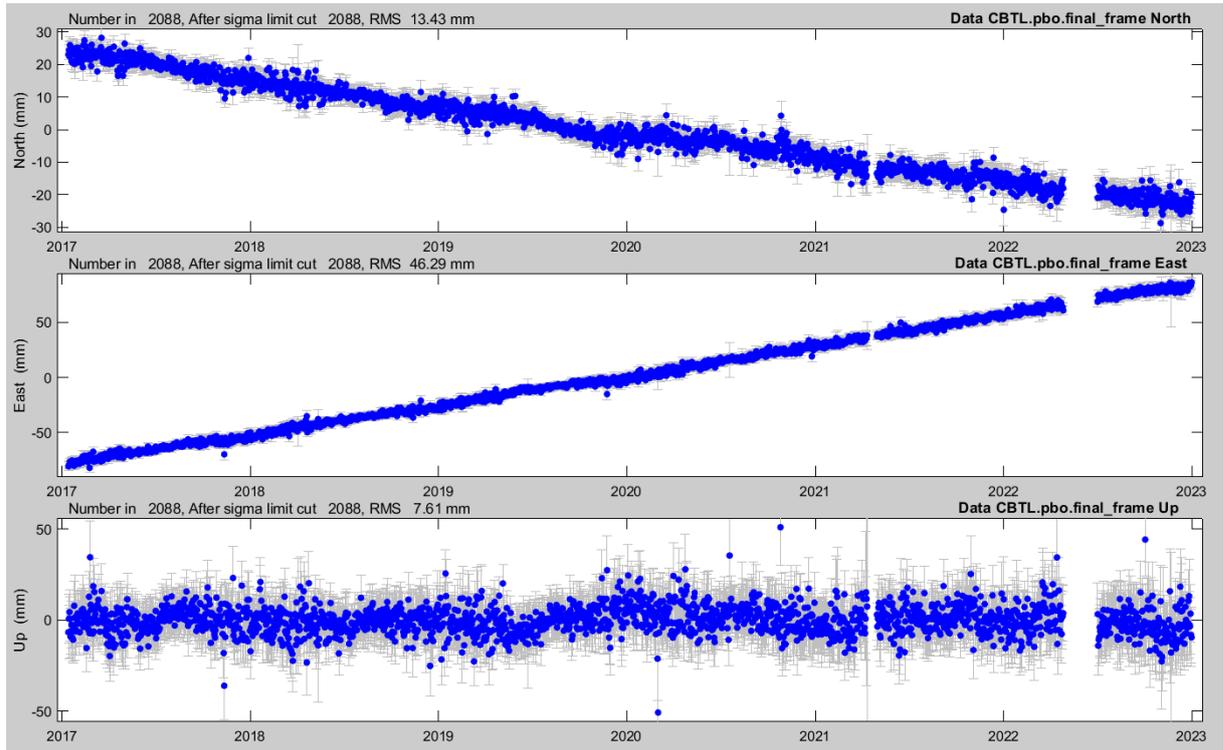
CBLR



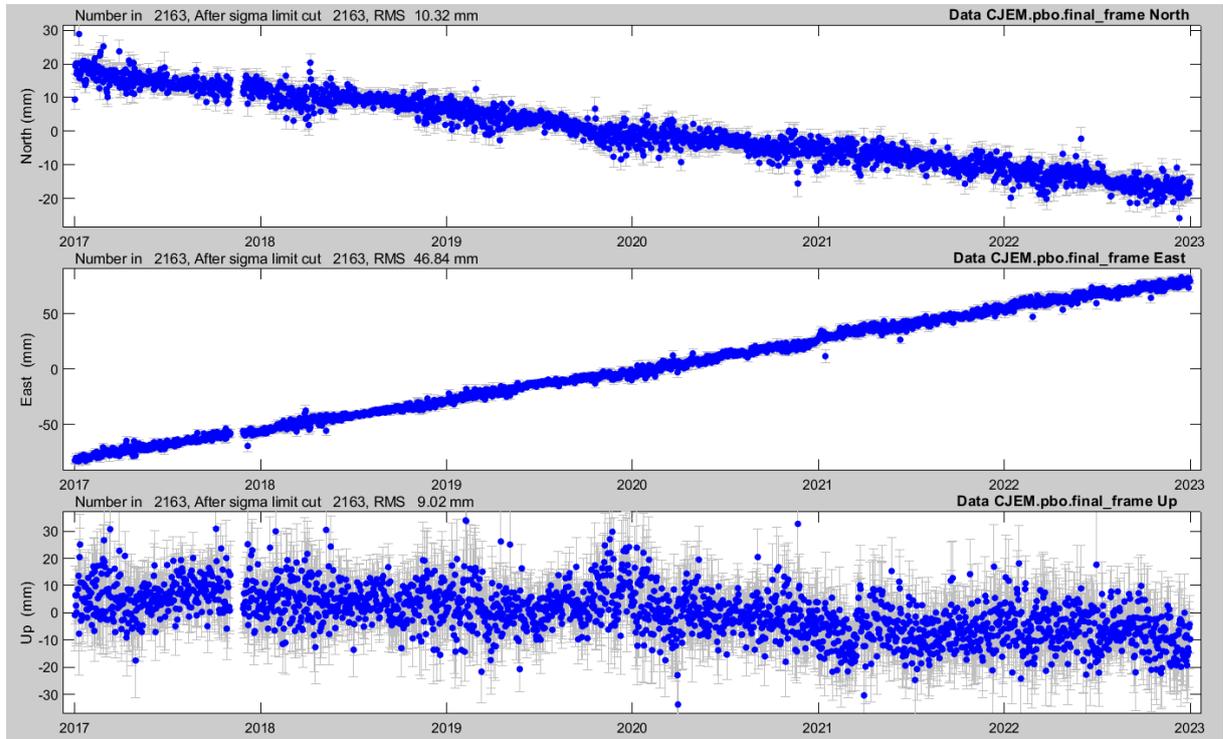
CBRN



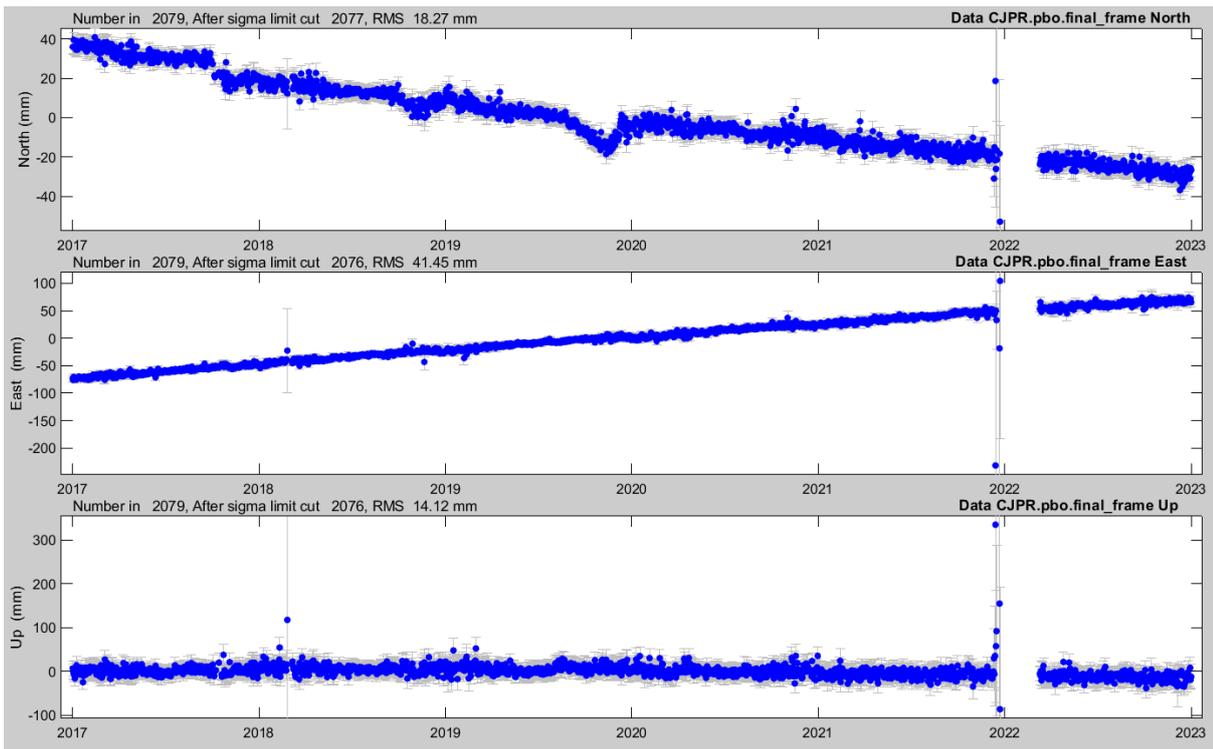
## CBTL



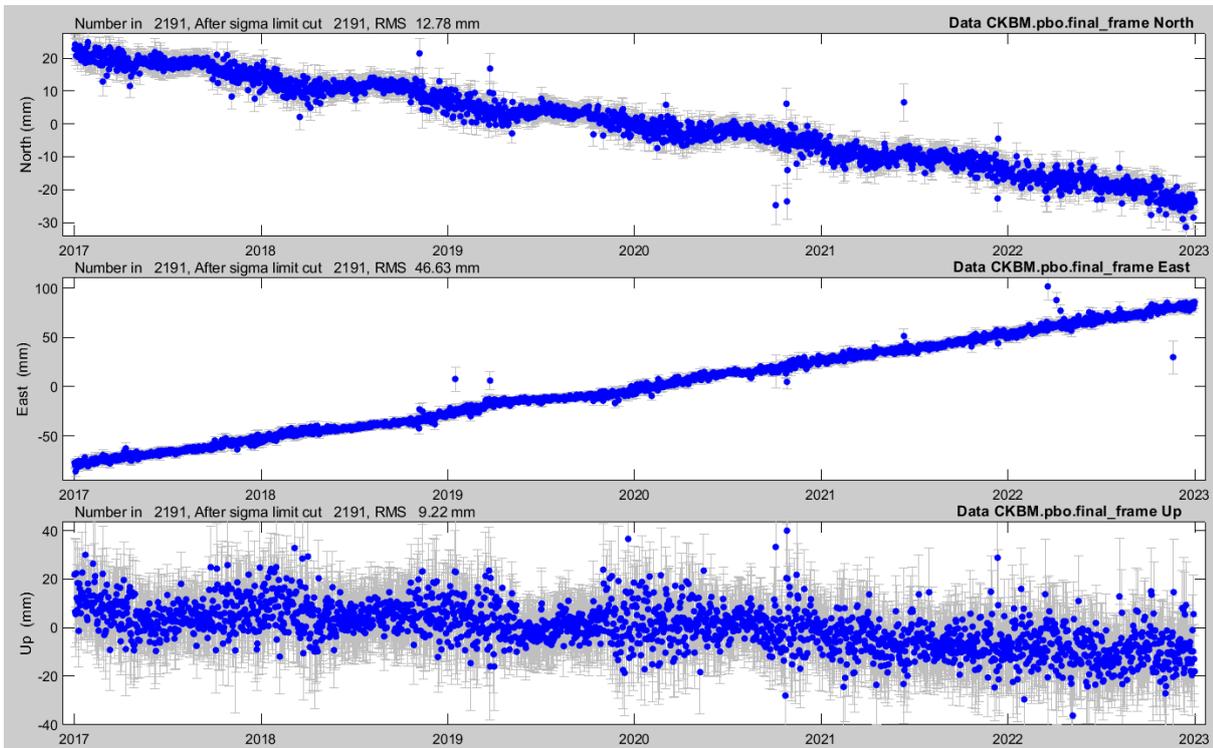
## CJEM



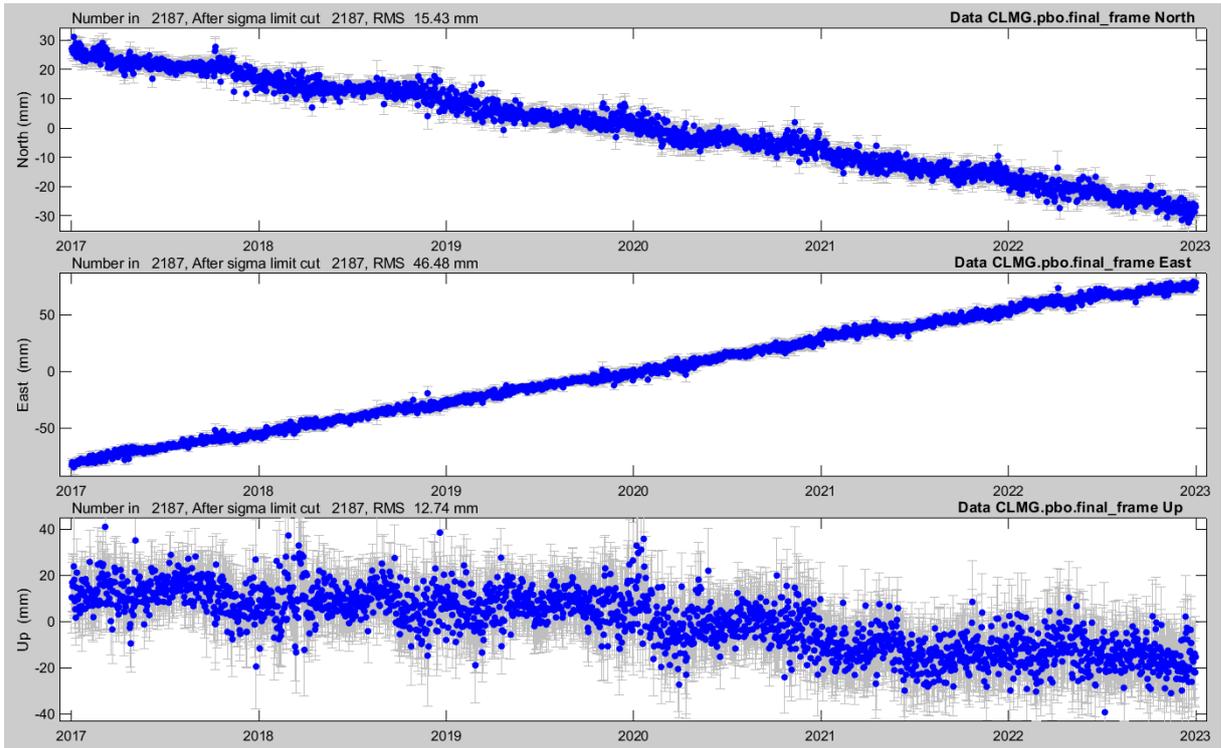
# CJPR



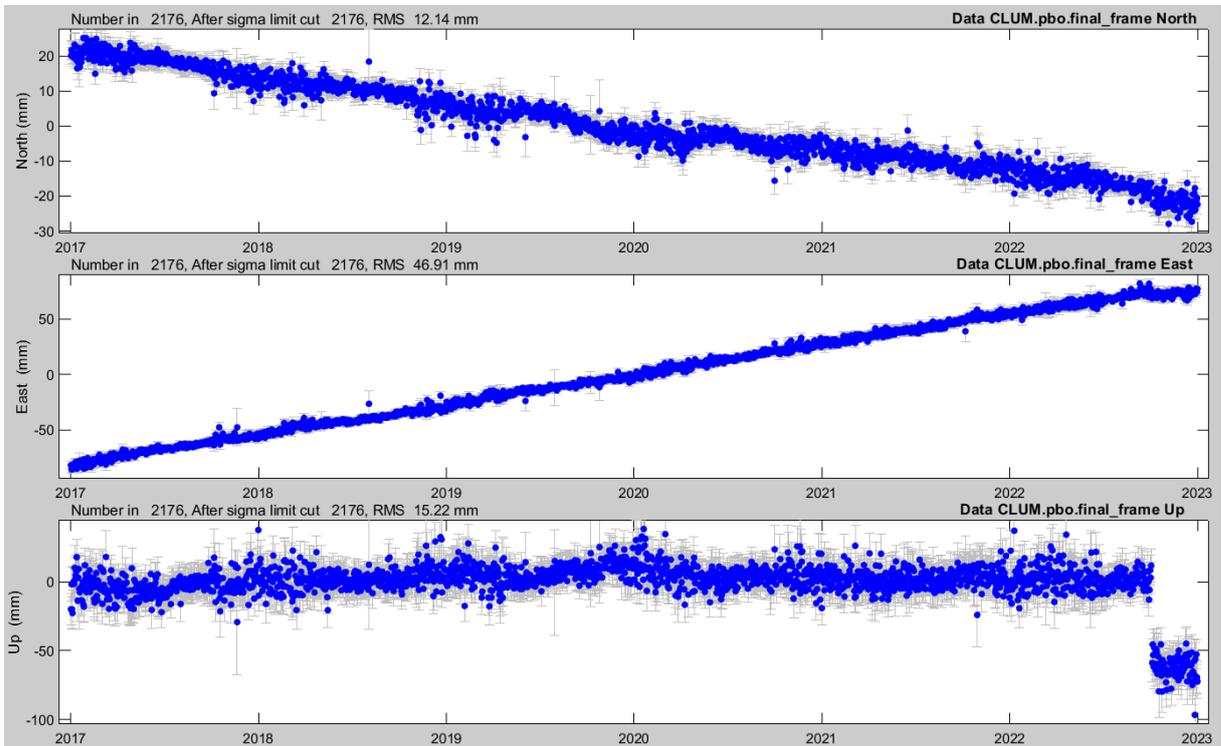
# CKBM



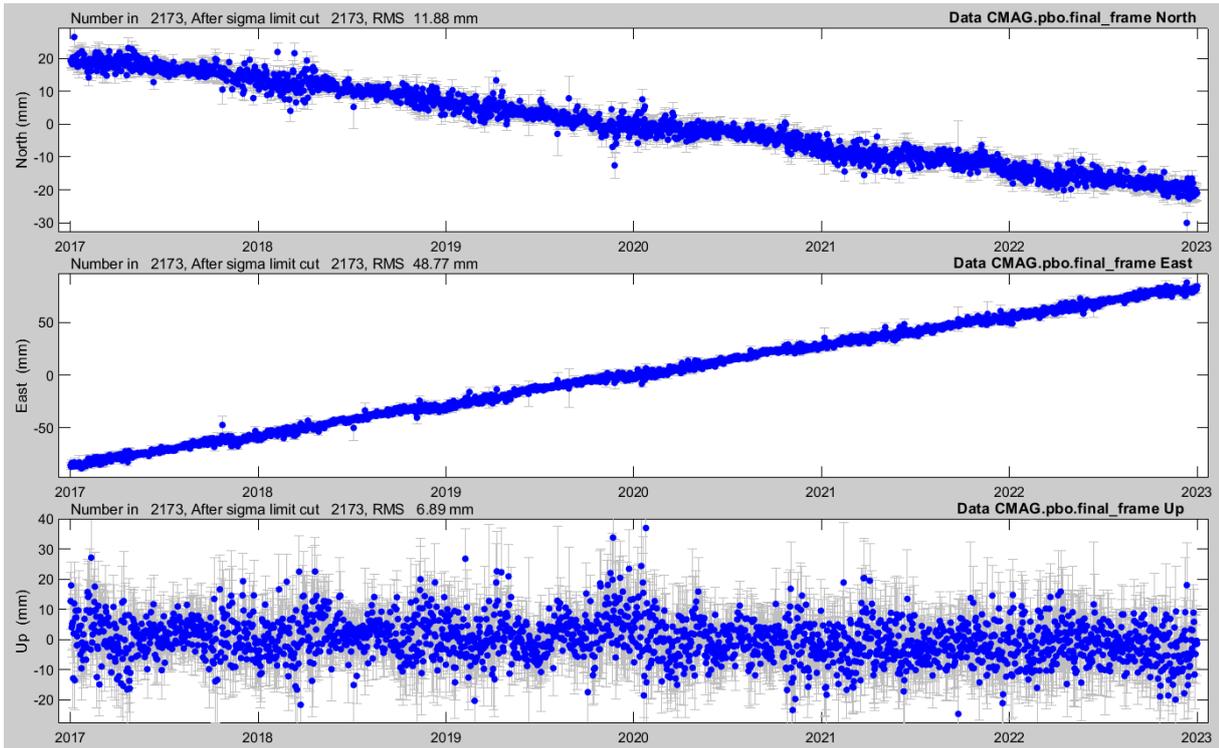
## CLMG



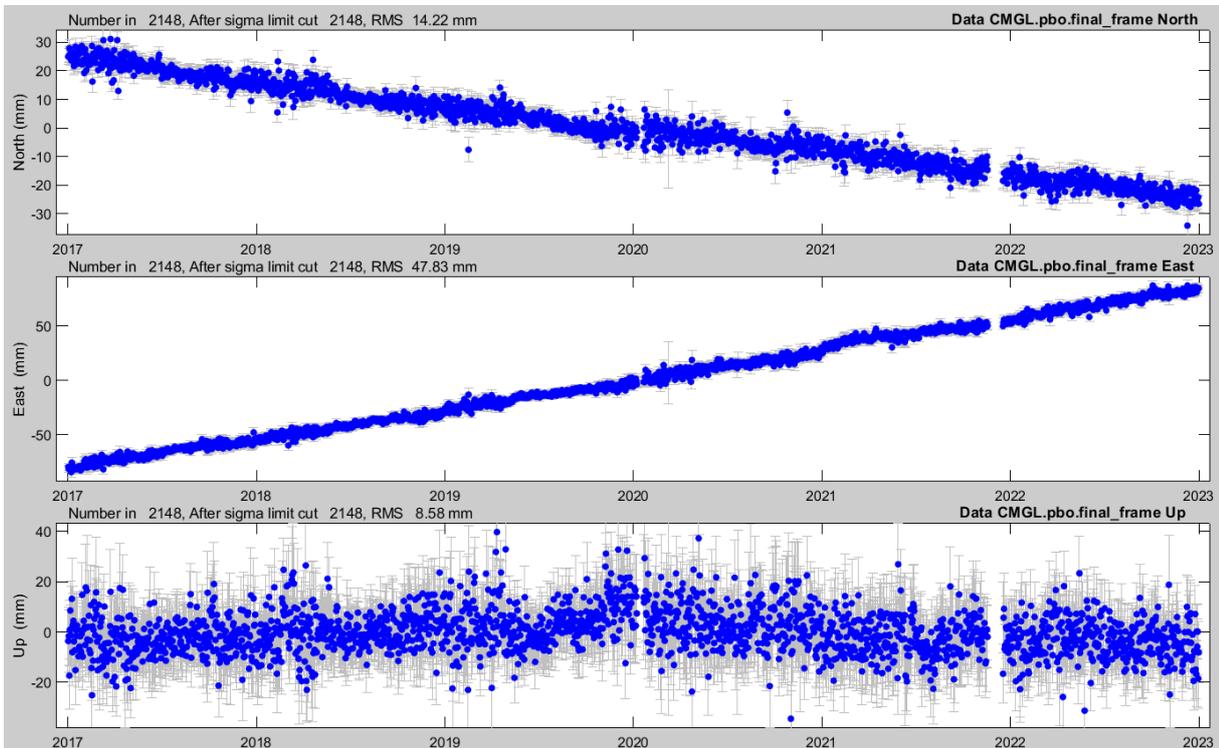
## CLUM



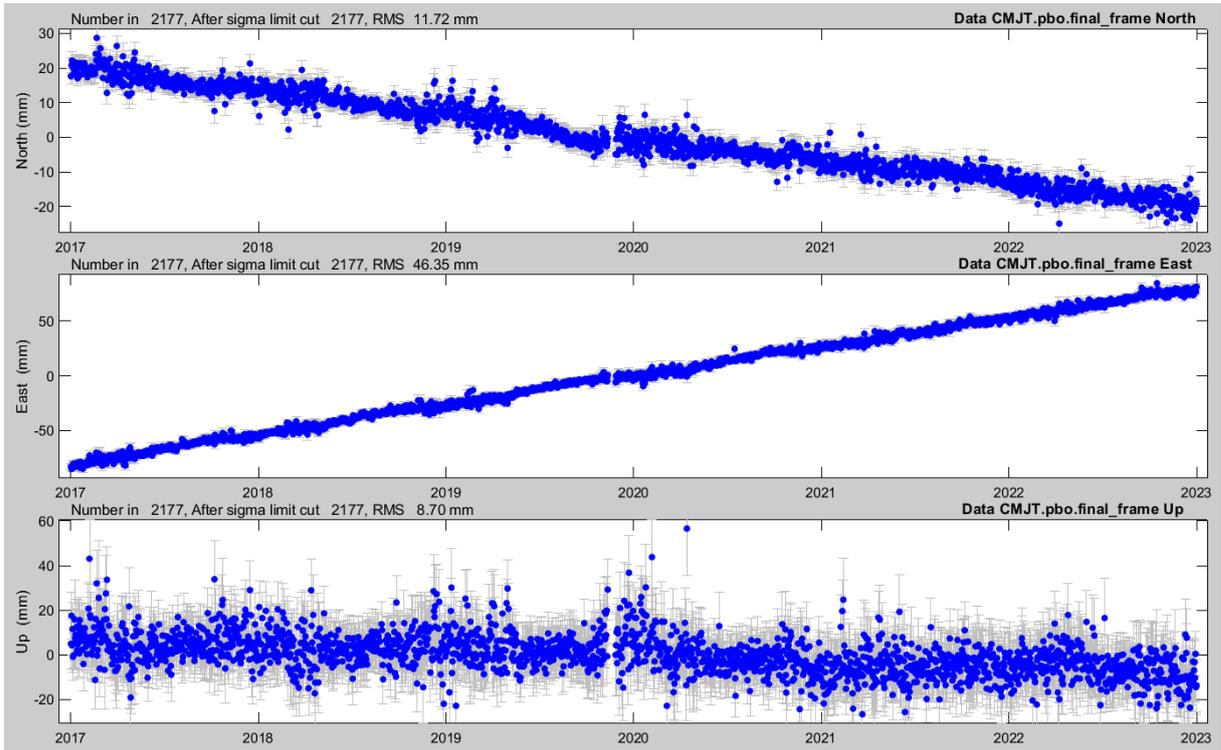
## CMAG



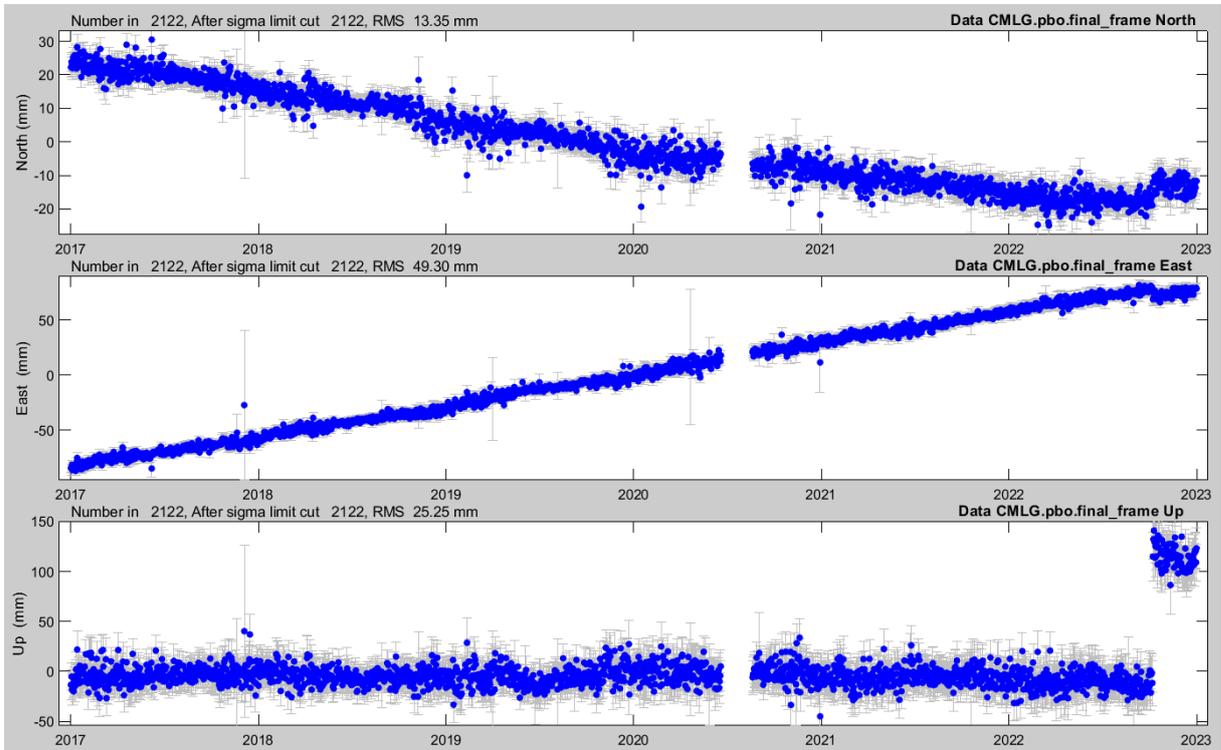
## CMGL



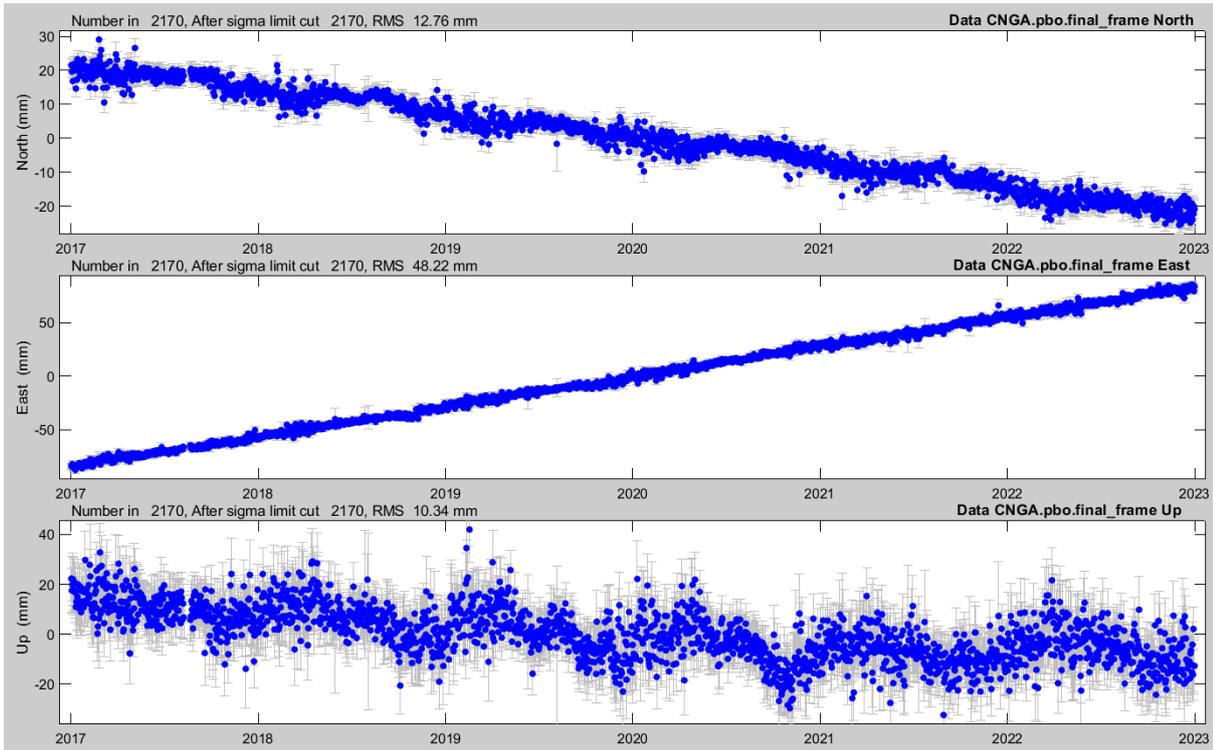
## CMJT



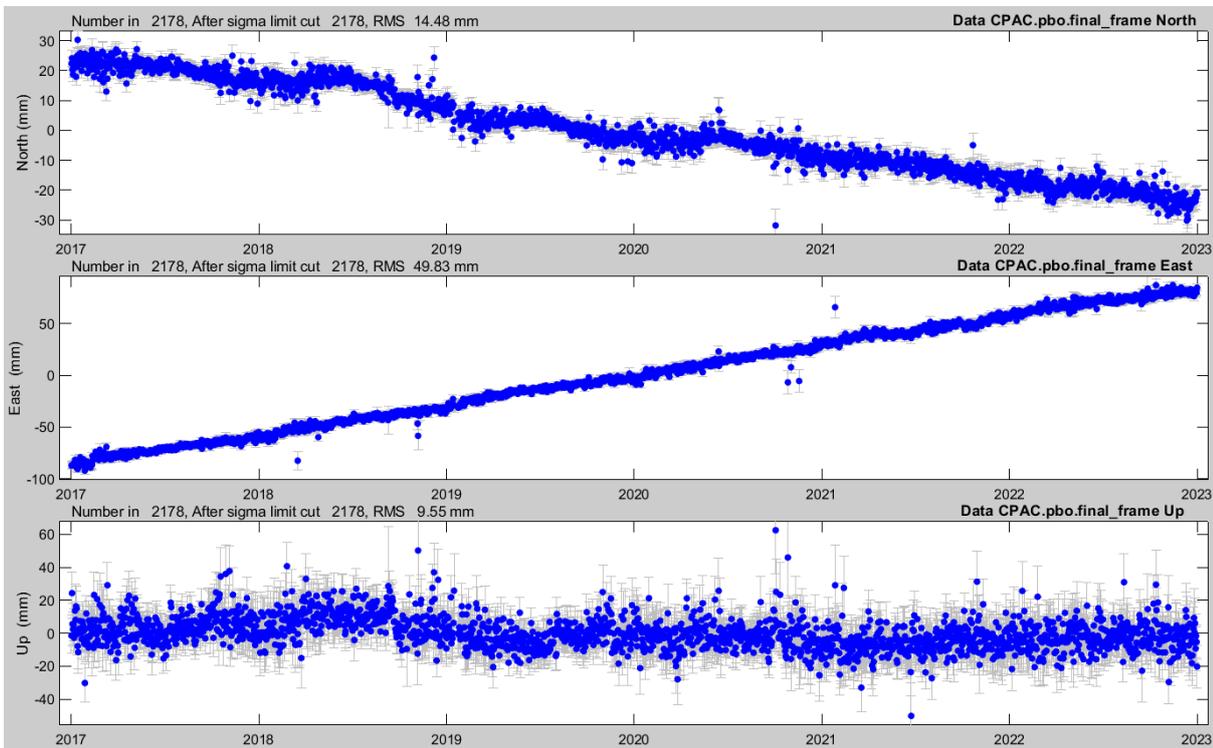
## CLMG



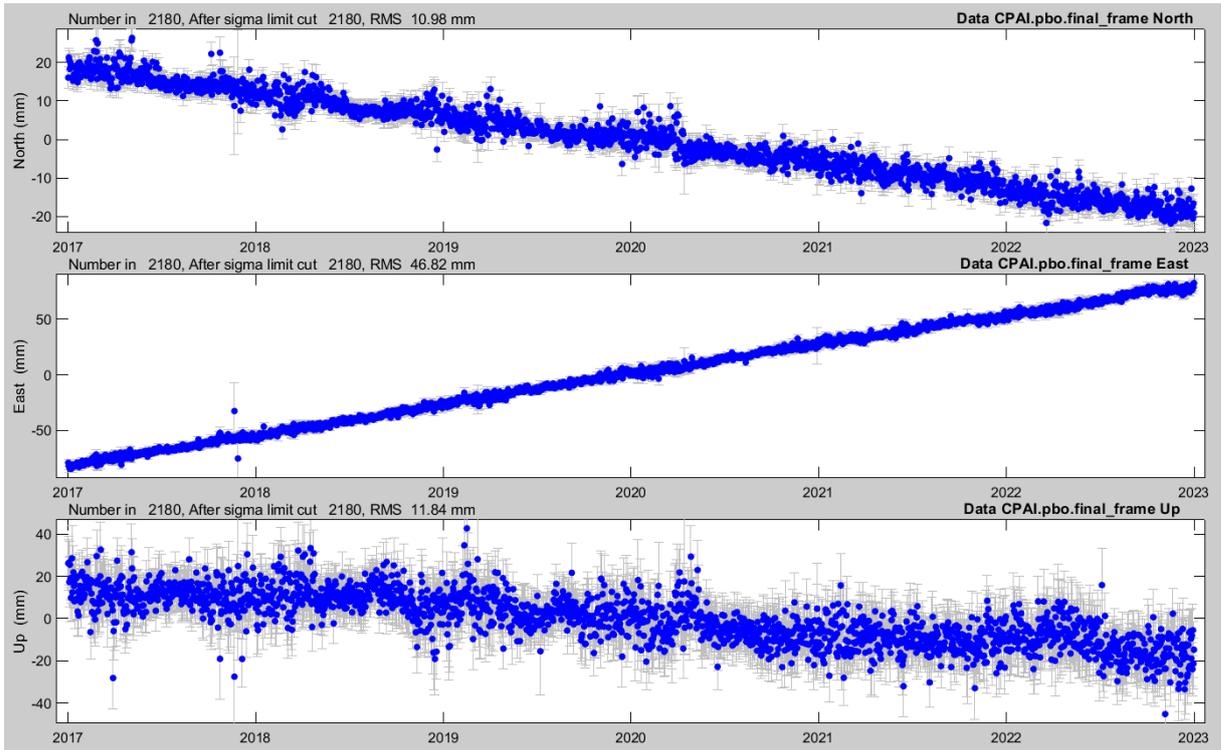
# CNGA



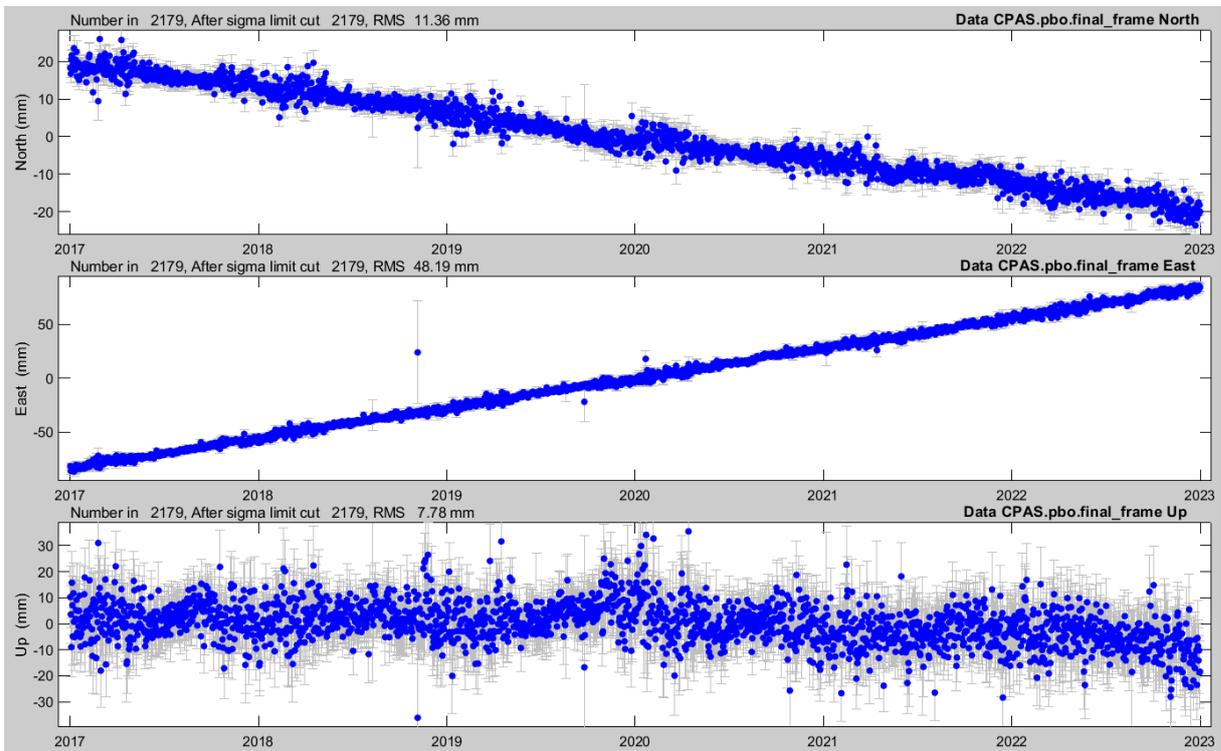
# CPAC



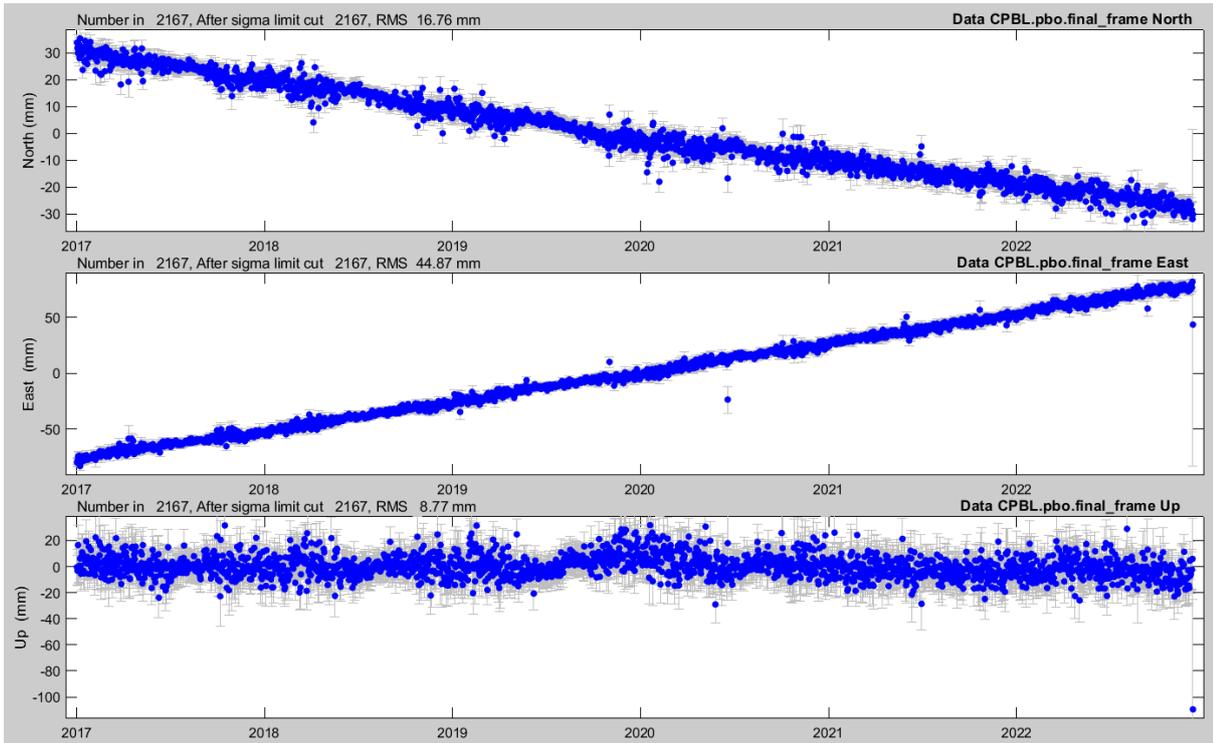
# CPAI



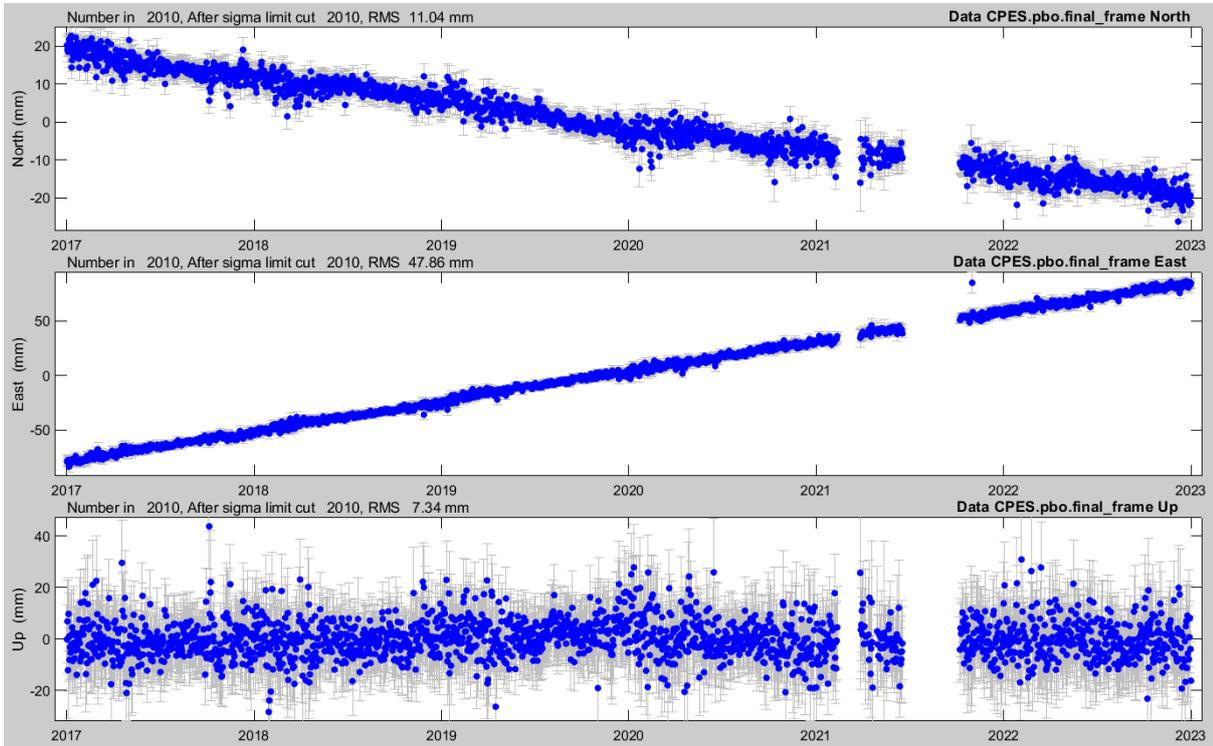
# CPAS



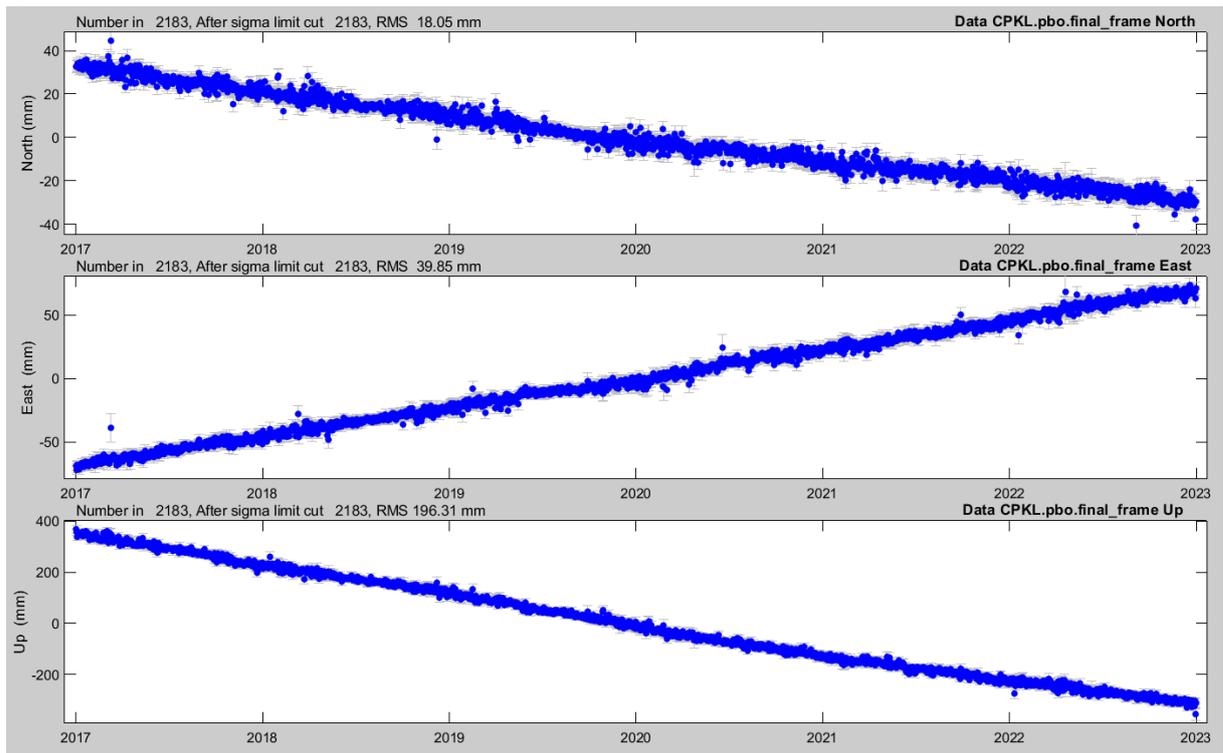
# CPBL



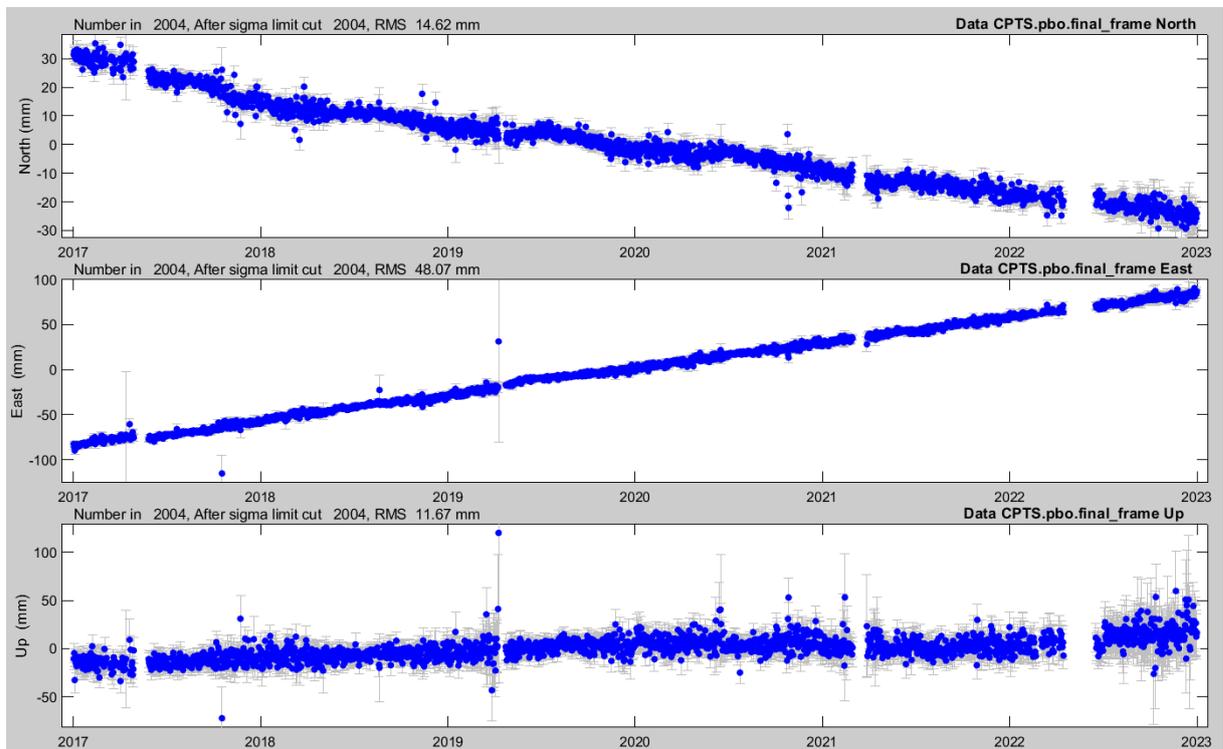
# CPES



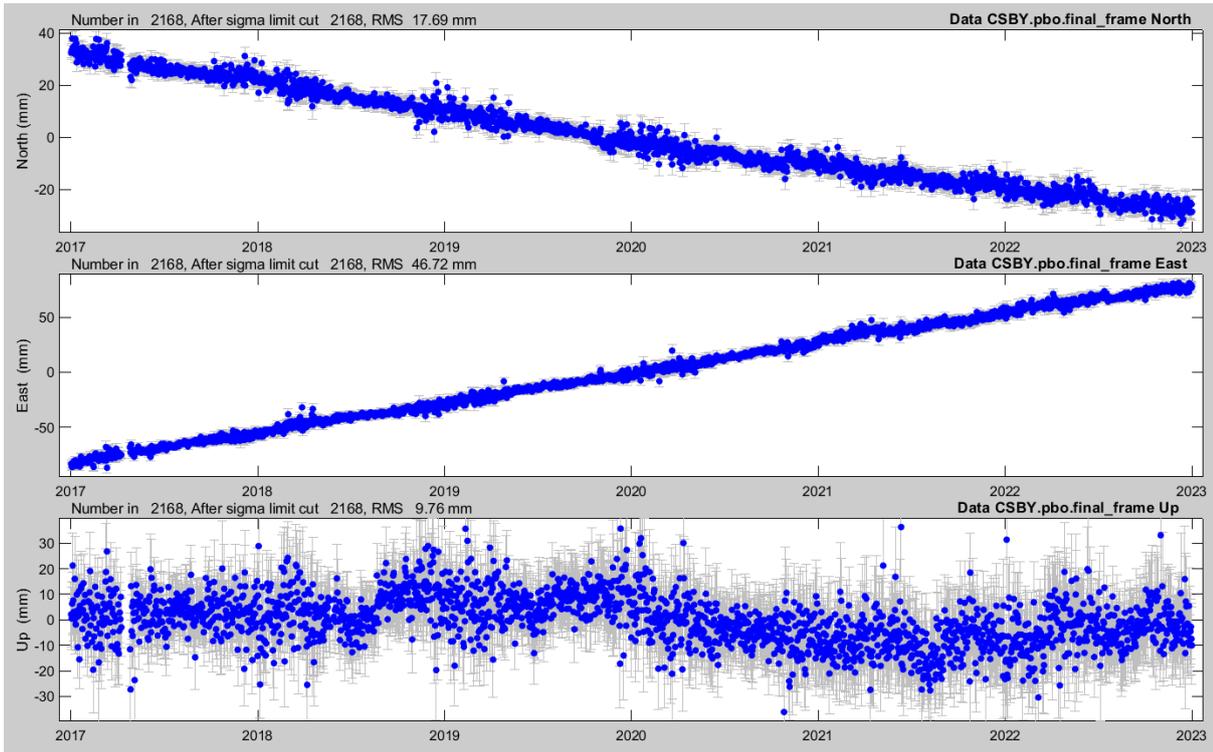
## CPKL



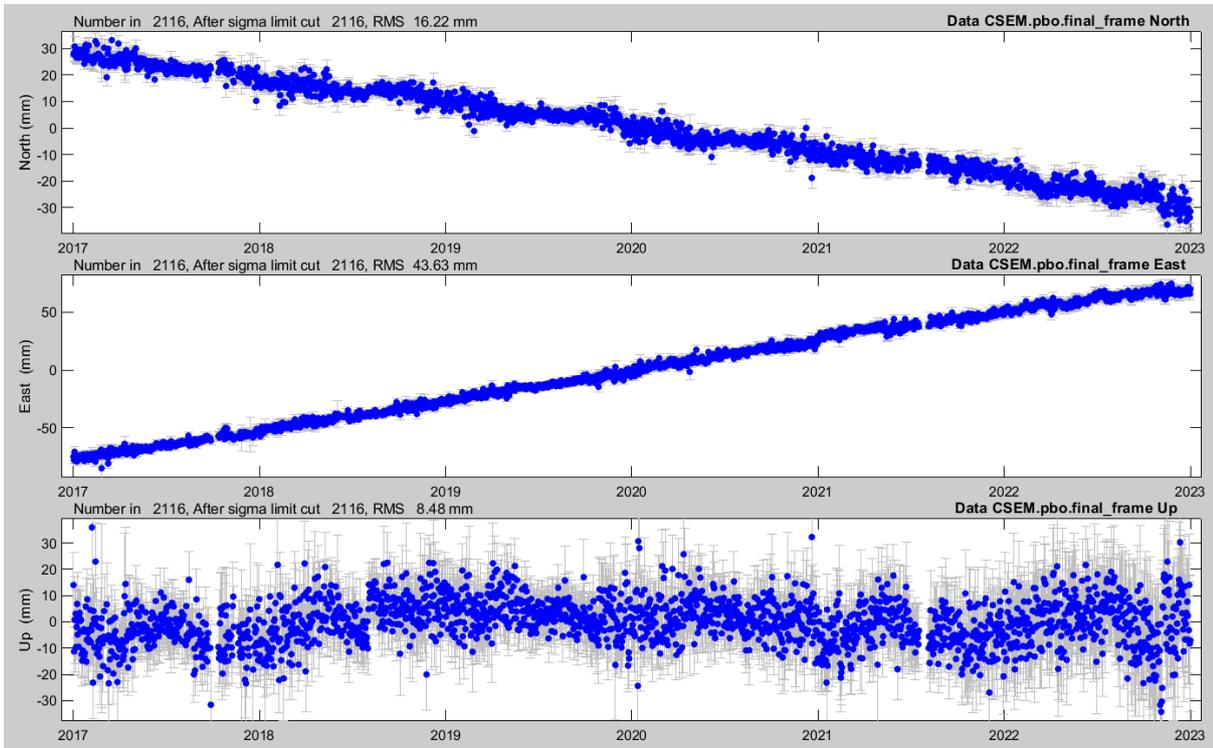
## CPTS



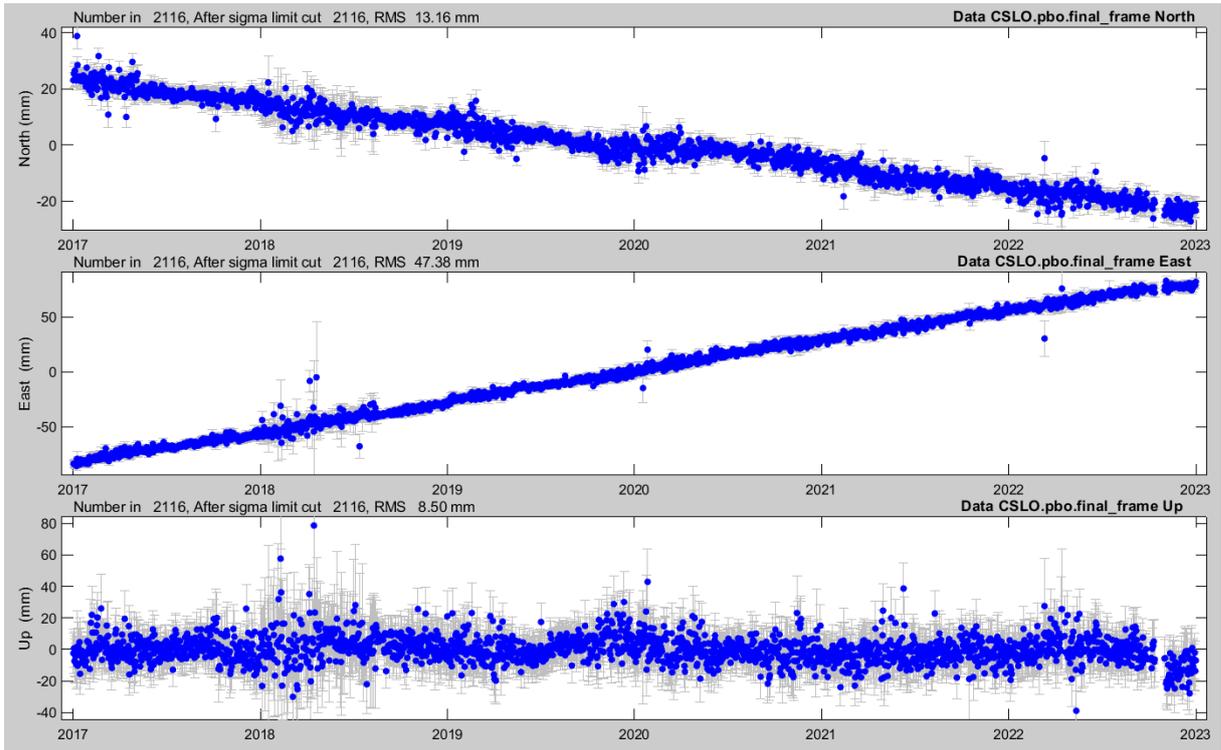
# CSBY



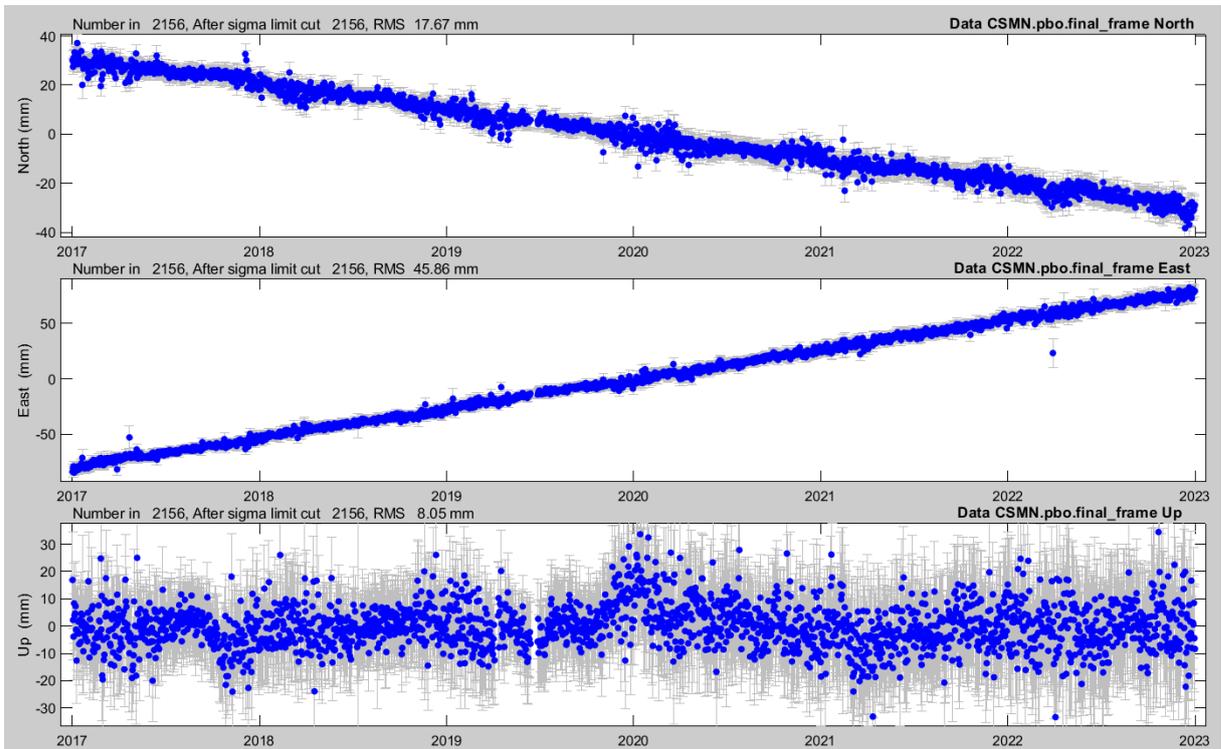
# CSEM



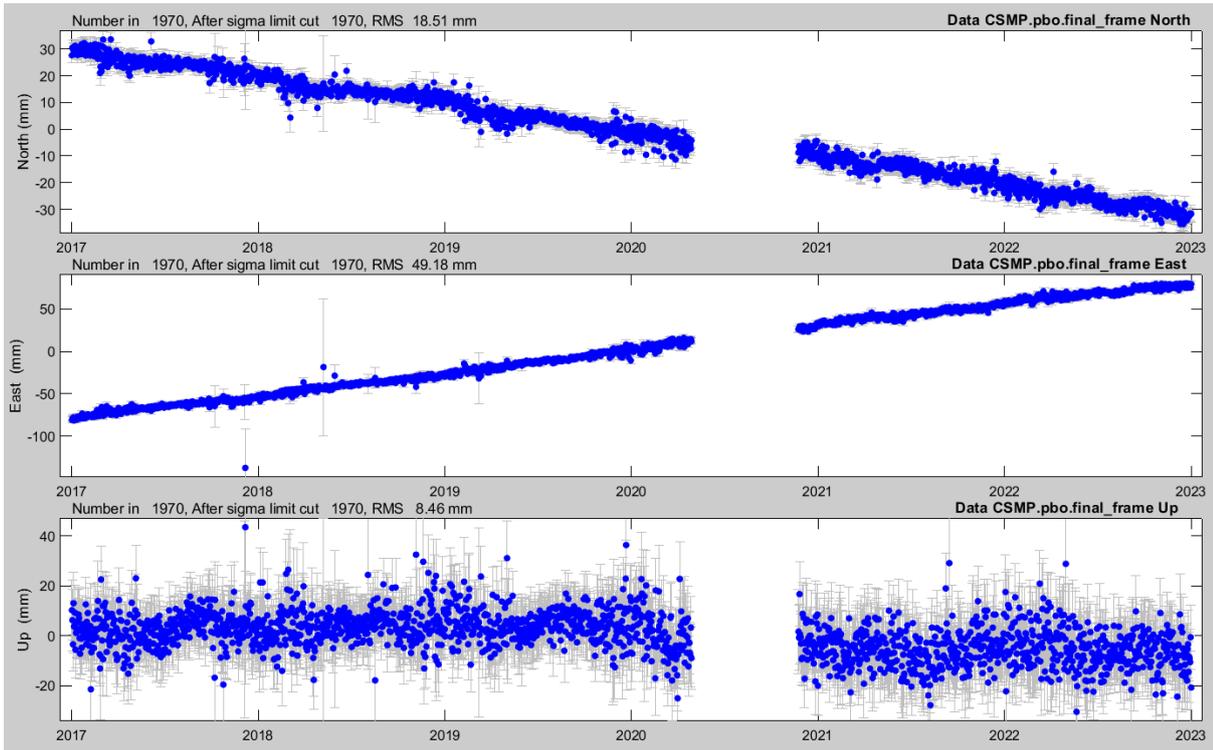
# CSLO



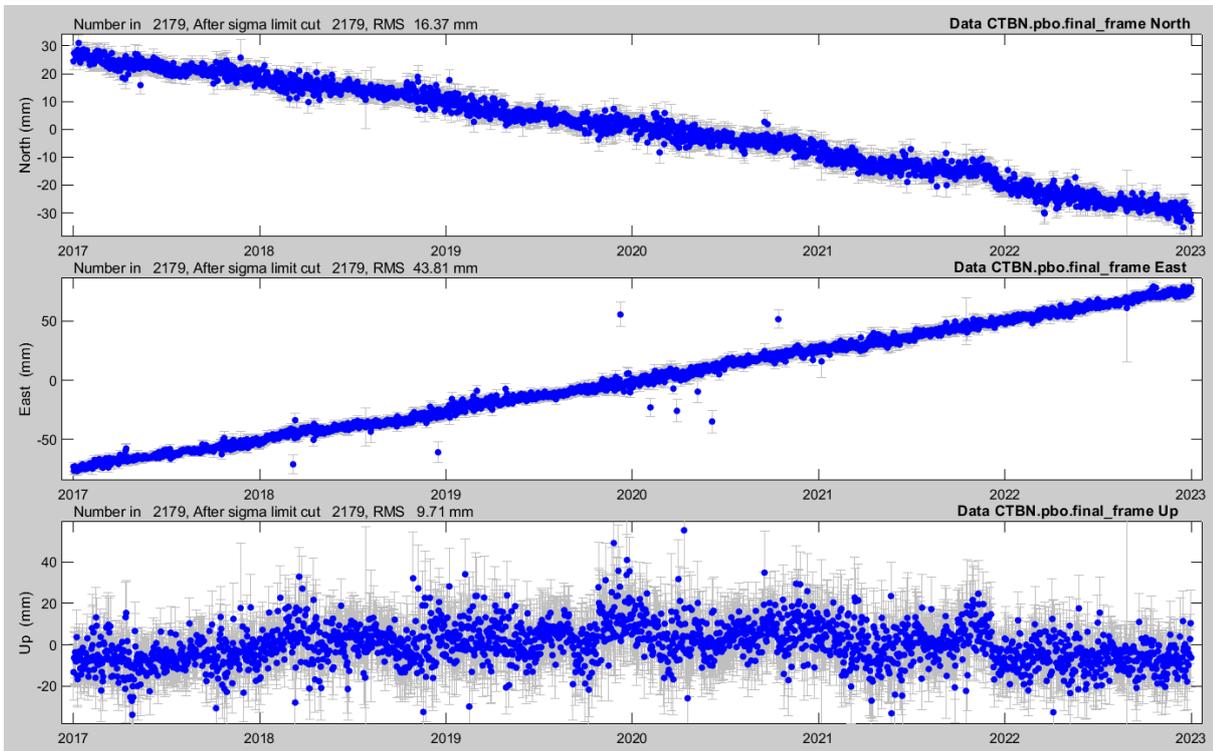
# CSMN



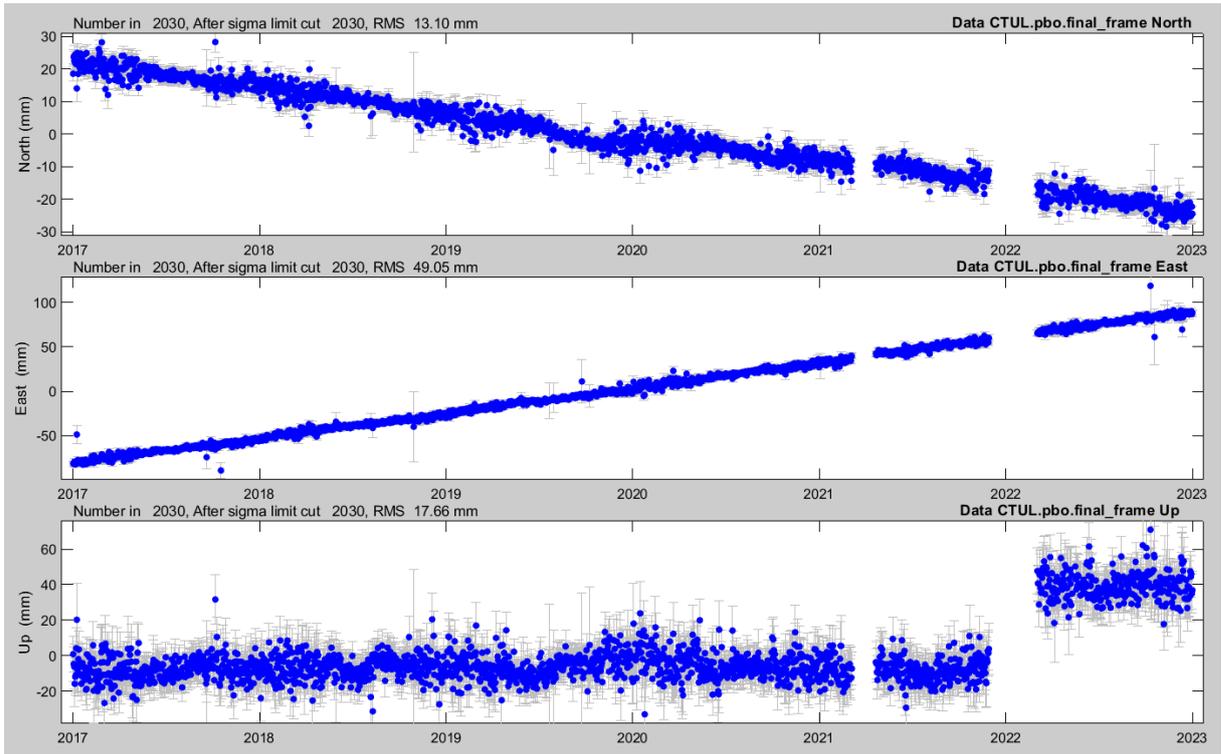
# CSMP



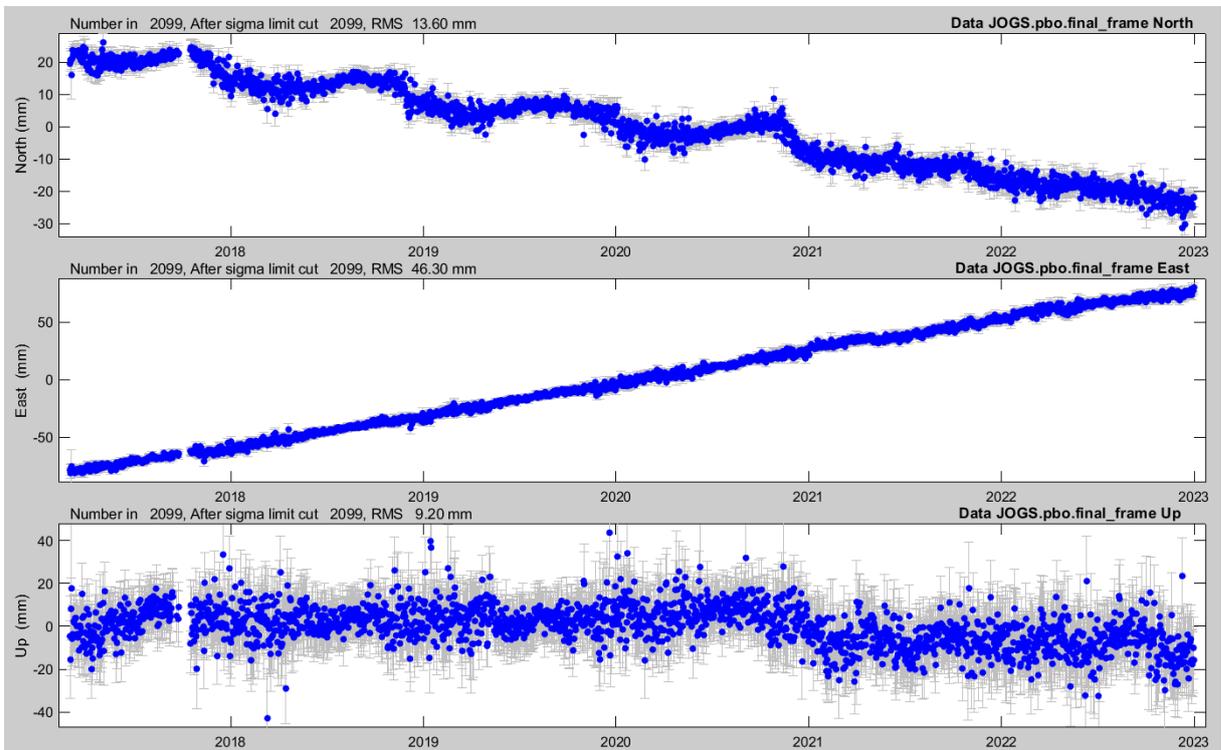
# CTBN



# CTUL



# JOGS



## Lampiran C. File Script GMT

### Script horizontal velocity

```
framebefore.sh - Notepad
File Edit Format View Help
#!/usr/bin/env bash
gmt begin veloplotfix1 ps
gmt set MAP_FRAME_TYPE fancy
gmt set FONT_ANNOT_PRIMARY 8p
gmt grdimage srtmcombine_15.grd -Igradients.grd -JM15c -R108.8/115/-9/-6 -B1 -Celevation
#gmt coast -JM15c -R108.8/115/-9/-6 -B1 -BWESN -Tdg113.6/-6.4+w0.5i+jCM -Lf108.7/-8.8/5/100 -Slightskyblue -Dh -N1 -W0
gmt psxy -JM15c -R108.8/115/-9/-6 lautjawa.shp -Glightskyblue
gmt psxy -JM15c -R108.8/115/-9/-6 gadm36_IDN_1.shp -W0.05p,black
gmt basemap -JM15c -R108.8/115/-9/-6 -B1 -BWESN -Tdg113.6/-6.4+w0.4i+jCM -Lf114.3/-6.35/5/100
gmt plot -JM15c -R108.8/115/-9/-6 sesar_Jawa.txt -W0.7p,red
awk '{print $1,$2}' velofix.txt | gmt plot -R108.8/115/-9/-6 -Ss0.1 -W0.1p -Gyellow
gmt velo velofix.txt -JM -R108.8/115/-9/-6 -Se0.03/0.95/4 -W1p -Gblack -A0.18c+e
echo "109 -8.7 30 0 0 0 0" | gmt psvelo -JM15c -R108.8/115/-9/-6 -Se0.03/0.95/0.3 -W1p -Gblack -A0.18c+e
echo "109.7 -8.7 3 cm/yr" | gmt pstext -R108.8/115/-9/-6 -JM15c
#echo "110.25 -7.768 jogs" | gmt pstext -R108.8/115/-9/-6 -JM15c -F+f4p
gmt end
convert -trim -quality 200 -density 900 veloplotfix1.ps veloplotfix1.jpg
```

### Script vertikal velocity

```
slip_geodin_02.sh - Notepad
File Edit Format View Help
#!/usr/bin/env bash
gmt begin vertical ps
gmt set MAP_FRAME_TYPE fancy
gmt set FONT_ANNOT_PRIMARY 8p
gmt grdimage srtmcombine_15.grd -Igradients.grd -JM15c -R109/115/-9/-6 -B1 -Celevation
#data
gmt psxy -JM15c -R109/115/-9/-6 lautjawa.shp -Glightskyblue
gmt psxy -JM15c -R109/115/-9/-6 gadm36_IDN_1.shp -W0.05p,black
gmt basemap -JM15c -R109/115/-9/-6 -B1 -BWESN -Tdg113.6/-6.4+w0.4i+jCM -Lf114.3/-6.35/5/100
gmt plot -JM15c -R109/115/-9/-6 sesar_Jawa.txt -W0.7p,lightred
awk '{print $1,$2,$8}' velofixcpc.txt | gmt plot -R109/115/-9/-6 -Ss0.1 -W0.1p -Gyellow
awk '{print $1,$2,$8}' velofixcpc.txt | gmt text -R108.95/115/-9/-5.9 -JM15c --FONT_ANNOT_PRIMARY=4p,Helvetica,black -V
gmt velo uplift.txt -JM -R109/115/-9/-6 -Se0.1/0.95/0 -W1.1p,red2 -Gred2 -A0.18c+e
gmt velo subsidence.txt -JM -R109/115/-9/-6 -Se0.1/0.95/0 -W1.1p,forestgreen -Gforestgreen -A0.18c+e
gmt velo subsidencecpl.txt -JM -R109/115/-9/-6 -Se0.025/0.95/0 -W1.1p,gold -Ggold -A0.18c+e
echo "109.2 -8.75 0 0.5" | gmt psxy -JM15c -R109/115/-9/-6 -SV0.18c+e -Gred2 -W1.1p,red2 -V
echo "109.5 -8.65 uplift" | gmt pstext -R109/115/-9/-6 -JM15c
echo "109.9 -8.55 180 0.5" | gmt psxy -JM15c -R109/115/-9/-6 -SV0.18c+e -Gforestgreen -W1.1p,forestgreen -V
echo "110.4 -8.65 subsidence" | gmt pstext -R109/115/-9/-6 -JM15c
#echo "110.9 -8.55 180 0.5" | gmt psxy -JM15c -R109/115/-9/-6 -SV0.18c+e -Gdarkblue -W1.1p,darkblue -V
echo "111 -8.55 0 -50 0 0 0" | gmt psvelo -JM15c -R109/115/-9/-6 -Se0.01/0.95/1 -W1p,gold -Ggold -A0.18c+e
echo "111.6 -8.65 CPKL subsidence" | gmt pstext -R109/115/-9/-6 -JM15c
gmt end
convert -trim -quality 200 -density 900 vertical.ps vertical.jpg
```

## Script strain plot

```
gmtstrainplot.sh - Notepad
File Edit Format View Help
### PLOT STRAIN RATES parameters
if [ "$STRAIN" -eq 1 ]
then
echo "...plot principal axes of strain rates..."
# plot delaunay
if [ "${DELTR}" -eq 1 ]
then
gmt psxy ${pth2deltr} -R -J -Wthinner -O -K -V${VRBLEVM} >> $outfile
fi
# plot stations
if [ "$SPSTA" -eq 1 ]
then
awk 'NR > 2 {print $2,$3}' $pth2sta \
| gmt psxy -R -J -W1 -Sc.15c -gyellow -O -K -V${VRBLEVM} >> $outfile
if [ "$LABELS" -eq 1 ]
then
awk 'NR > 2 {print $2,$3, "7,1,black", 0, "RB", $1}' $pth2sta \
| gmt pstext -R -J -Dj0.1c/0.1c -F+f+a+j -O -K -V${VRBLEVM} >> $outfile
fi
fi
# plot strain rates
awk 'NR > 2 {print $2,$1,0,$17,$21+90}' $pth2strinfo \
| gmt psvelo -Jm $range -Sx${STRSC} -L -A5p+e -Gblue -W1p,blue -O -K -V${VRBLEVM} >> $outfile
awk 'NR > 2 {print $2,$1,$15,0,$21+90}' $pth2strinfo \
| gmt psvelo -Jm $range -Sx${STRSC} -L -A5p+e -Gred -W1p,red -O -K -V${VRBLEVM} >> $outfile
# plot scale of strain rates
tmp_scrate=$(pythonc "print((${projscale}/150000000.)*20.)")
strscrat=$(pythonc "print(${sclat} + ${tmp_scrate})")
strscron=${sclon}
echo "113.5 -6.2 0 -${strscmagn} 90" \
| gmt psvelo -Jm $range -Sx${STRSC} -L -A10p+e -Gblue -W1.5p,blue \
-O -K -V${VRBLEVM} >> $outfile
echo "113.5 -6.2 ${strscmagn} 0 90" \
| gmt psvelo -Jm $range -Sx${STRSC} -L -A10p+e -Gred -W1.5p,red \
-O -K -V${VRBLEVM} >> $outfile
echo "113.5 -7.15 5 0 1 CB ${strscmagn} nstrain/y" \

```

Ln 1, Col 1 100% Unix (LF) UTF-8

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Blitar, 17 Februari 2001, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Ta'at Ben Alim Blitar, SDI KARDINA MASSA Blitar, SMPN 1 Blitar dan SMAN 1 Blitar. Setelah lulus dari SMAN tahun 2019, Penulis mengikuti jalur pendaftaran SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Geomatika FTSPK - ITS pada tahun 2019 dan terdaftar dengan NRP 03311940000022.

Di Departemen Teknik Geomatika Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Departemen, Himpunan Mahasiswa Teknik Geomatika ITS (Himage ITS) dan aktif mengikuti kegiatan mahasiswa baik sebagai panitia maupun peserta di lingkup jurusan dan institut. Penulis pernah mengikuti kegiatan kerja praktek/magang di Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I di Lombok selama satu bulan. Dalam penyelesaian syarat Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Geodinamika dan Deformasi, dengan Judul Tugas Akhir “Analisis Deformasi Pulau Jawa Bagian Timur Menggunakan Data Pengamatan GPS Tahun 2017 - 2022”. Untuk menghubungi penulis dapat mengirim email pada [rafiqmuhammad686@gmail.com](mailto:rafiqmuhammad686@gmail.com)