

SURVEI DEFORMASI SESAR KALIGARANG DENGAN METODE SURVEI GNSS TAHUN 2019

Bagas Yanna Aulia Fattaah*) Laode M Sabri, Moehammad Awaluddin

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email: bagasfattaah@gmail.com*

ABSTRAK

Kota Semarang dilalui oleh Sesar Kaligarang yang membelah antara Semarang Timur dan Semarang Barat. Sesar Kaligarang terdapat pada lembah Sungai Kaligarang yang membelah wilayah Semarang pada arah utara sampai selatan. Lembah dari sungai ini diduga merupakan sesar yang aktif sejak zaman tersier hingga kuarter. Sesar aktif dapat bergerak relatif kecil maupun besar. Pergeseran dari sesar ini dapat berdampak pada infrastruktur di sekeliling sesar seperti jalan, jembatan, dan lain lain. Permasalahan tersebut yang mendasari penelitian ini untuk melakukan pemantauan terhadap Sesar Kaligarang. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kondisi deformasi di daerah sekitar Sesar Kaligarang pada 2 periode yaitu tahun 2018 dan 2019. Titik pengamatan pada penelitian ini tersebar di 12 titik di Kota Semarang. Penentuan deformasi Sesar Kaligarang dapat ditentukan dengan pengamatan GNSS secara berkala. Pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan GNSS *dual frekuensi*. Data sekunder yang digunakan adalah data GNSS yang diukur pada tahun 2018 bulan Juni. Pengolahan data GNSS dilakukan dengan *software* GAMIT 10.7. Hasil dari penelitian ini yaitu kondisi deformasi di daerah sekitar Sesar Kaligarang dari tahun 2018 hingga 2019 mengalami pergeseran pada bagian barat sesar sebesar 0,017 m/tahun sampai 0,103 m/tahun dan pada bagian timur sebesar 0,009 m/tahun sampai 0,0115 m/tahun. Bagian barat sesar utama mengalami pergerakan yang lebih dinamis dibandingkan dengan pergerakan pada bagian timur sesar utama. Pengolahan menggunakan 1 titik ikat yang berbeda beda menunjukkan hasil dengan selisih yang cukup sedikit setiap titiknya.

Kata Kunci : GNSS, Deformasi, Sesar, Sesar Kaligarang.

ABSTRACT

The city of Semarang is crossed by the Kaligarang Fault which divides East Semarang with West Semarang. The Kaligarang Fault is found in the Kaligarang River valley which divides the Semarang area from north to south. River valleys are considered as active faults from the tertiary to the quarter. Active fault can move relative slowly or faster. This movement can be effected into the infrastructur in arround of its fault. This problem that underlines this research to monitor Kaligarang Fault movement. The purpose of this research is to knowing the deformation condition at the area arround the Kaligarang Fault in 2 periods of time. Observation points of this research is spread at 12 points in Semarang City. The determination of Kaligarang fault deformation can be calculated by periodic GNSS observations. GNSS data processing is using GAMIT 10.7 software. The results of this study are the deformation conditions in the area around the Kaligarang fault from 2018 to 2019 there was a shift in the western fault of 0.017 m / year to 0.103 m / year and in the east by 0.009 m / year for 0.0115 m / year. The western part of the main fault is more dynamic than the eastern part of the main fault. Processing data using 1 different control point shows the results with slight difference in value.

Key Word: GNSS, Deformation, Fault, Kaligarang Fault.

*)Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Indonesia terletak pada pertemuan antara tiga lempeng besar yakni lempeng Eurasia, Hindia-Australia, dan Pasifik yang menjadikan Indonesia memiliki tatanan tektonik yang kompleks. Hal itu berdampak pada wilayah Indonesia yang memiliki banyak patahan- patahan yang bergerak relatif naik turun ataupun bergerak ke kiri atau ke kanan atau biasa disebut sesar akibat adanya aktivitas tektonik. Kontak bidang sesar biasanya akan terjadi mekanisme saling mengunci atau menahan satu sama lain pada dua blok sesar.

Pulau Jawa berada pada tujaman Lempeng Eurasia di utara dan Lempeng Indo-Australia di selatan. Lempeng Eurasia bergerak ke tenggara sedangkan Lempeng Indo-Australia yang berada di selatan bergerak ke utara dan menunjam ke bawah sistem busur kepulauan Sumatra dan Jawa (Trenggoning, 1994). Akibat tujaman tersebut terbentuk struktur-struktur geologi regional di wilayah daratan Jawa. Struktur tersebut dapat diamati di daratan Jawa bagian barat hingga Jawa bagian timur, di antaranya Sesar Banten, Sesar Cimandiri, Sesar Citarik, Sesar Baribis, Sesar Citanduy, Sesar Bumiayu, Sesar Kebumen - Semarang - Jepara, Sesar Lasem, Sesar Rawapening, Sesar Opak, Sesar Pacitan, Sesar Wonogiri, Sesar Pasuruan, dan Sesar Jember (Soehaimi, 2008).

Sesar Kaligarang merupakan salah satu sesar yang berada di pulau Jawa tepatnya di Kota Semarang Jawa Tengah. Sesar Kaligarang merupakan sesar yang aktif sejak zaman Tersier hingga Kuarter. Pengukuran dan analisis yang dilakukan menghasilkan data lapangan yang menunjukkan bukti-bukti adanya sesar aktif di sekitar Kota Semarang (Poedjoprajitno, 2008). Struktur undak beserta gawir-gawir sesar dan alur sungai ter potong (*offset*) merupakan bagian dari bukti bahwa tektonika masih berlangsung di wilayah ini. Zona utama sesar Kaligarang atau *Kaligarang Main Fault Zone* (KGMFZ) mempunyai kinematik pergerakan sesar geser mengiri (Fahrudin, 2011).

Sesar aktif dapat bergerak relatif kecil maupun besar. Pergeseran dari sesar ini dapat berdampak pada infrastruktur di sekeliling sesar seperti jalan, jembatan, dan lain - lain. Permasalahan tersebut yang mendasari penelitian ini untuk melakukan pemantauan terhadap Sesar Kaligarang secara berkala. Penelitian ini mengkaji deformasi yang terjadi pada tahun 2018 – 2019. Permasalahan yang ditampilkan adalah monitoring deformasi dari sesar Kaligarang serta mengetahui pengaruh titik ikat dalam pengolahan data GNSS.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kondisi deformasi yang terjadi pada lingkungan sesar Kaligarang tahun 2018 dan tahun 2019?

2. Bagaimana pengaruh titik ikat terhadap perhitungan deformasi?

I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui besarnya nilai deformasi dan arah pergeseran daerah sekitar Sesar Kaligarang secara teliti dengan melakukan dua kali periode pengukuran statik.
2. Mengetahui pengaruh titik ikat terhadap perhitungan deformasi.

I.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada daerah Sesar Kaligarang yang berada di kota Semarang.
2. Pengukuran GNSS di 12 titik pengamatan Sesar Kaligarang di tahun 2019
3. Pengolahan menggunakan 4 titik ikat *Cors* BIG 2018 dan 2019
4. Pengolahan data pengamatan menggunakan *scientific software* GAMIT untuk menghasilkan koordinat titik pengamatan

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Sesar

Patahan sesar adalah struktur rekahan yang telah mengalami pergeseran (Noor,2014). Sesar mempunyai bentuk dan dimensi yang bervariasi. Ukuran dimensi sesar mungkin dapat mencapai ratusan kilometer panjangnya atau hanya beberapa sentimeter saja. Arah singkapan suatu sesar dapat lurus atau berliku-liku. Pengenalan sesar dilapangan dapat dilihat melalui kelurusan bentang alam (gawir, lembah, jalur vegetasi, rona), ketidak selarasan bentang alam (pembelokan sungai yang tajam), bidang atau jalur sesar, sumber air, penyimpangan pada struktur (hilangnya lapisan, berhenti secara mendadak dan adanya perulangan dan sebagainya). Sesar dapat berupa bidang sesar (*fault plane*), atau rekahan tunggal, jalur sesar (*fault zone*) yang terdiri dari lebih dari satu sesar, jalur sesar atau jalur penggerusan (*shear zone*), mempunyai dimensi panjang dan lebar yang beragam, dari skala minor sampai puluhan kilometer (Kusuma, 2017).

Metode simple *screw dislocation* (Savage dan Burford, 1973) merupakan metode yang paling sederhana untuk menggambarkan gerak sesar geser baik pada fase *interseismik* maupun *coseismic* yang terjadi pada wilayah sesar tersebut. Estimasi laju geser (*slip rate*) dan kedalaman sumber sesar yang terkunci (*locking depth*) dapat dihitung dengan adanya pemodelan tingkat aktivitas sesar. Pemodelan tingkat aktivitas sesar secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut (Meilano, 2012) :

$$S(y) = \frac{D}{\pi} \text{Atan} \left(\frac{y}{W} \right) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

S (y) : Pergeseran dari permukaan sebagai fungsi dari jarak

D : Laju geser (*slip rate*)

W : Kedalaman sumber gempa (*locking depth*)

Y : Jarak yang tegak lurus terhadap garis patahan.

II.2 Sesar Kaligarang

Sesar Kaligarang yang membelah Kota Semarang pada arah utara - selatan merupakan sesar yang aktif sejak zaman Tersier hingga Kuartar. Zona Sesar Kaligarang merupakan reaktifasi dari pergerakan sesar geser mengiri pada Tersier menjadi sesar geser menganan pada Plio-Plistosen (Fahrudin, 2012) Pengukuran dan analisis yang dilakukan oleh Poedjoprajitno pada tahun 2008 menghasilkan data lapangan yang menunjukkan bukti-bukti adanya sesar aktif di sekitar Kota Semarang. Struktur undak beserta gawir-gawir sesar dan alur sungai terpotong (*offset*) merupakan bagian dari bukti bahwa tektonika masih berlangsung di wilayah ini. Zona utama Sesar Kaligarang mempunyai kinematik pergerakan sesar geser mengiri (Fahrudin, 2011).

II.3 Deformasi

Deformasi merupakan perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari suatu materi atau perubahan kedudukan (pergerakan) suatu materi baik secara absolut maupun relatif dalam suatu kerangka referensi tertentu akibat suatu gaya yang bekerja pada materi tersebut. (Kuang, 1996). Perubahan absolut adalah perubahan suatu titik dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri. Perubahan relatif adalah perubahan suatu titik dikaji berdasarkan titik lainnya. Sifat deformasi yang terjadi dapat diketahui dari informasi mengenai status geometrik dari materi berupa posisi, bentuk, dan dimensi yang dapat diperoleh melalui analisis geometrik menggunakan data hasil pengamatan geodetik terhadap gaya respon suatu benda terhadap gaya deformasi.

II.4 GNSS

GNSS merupakan suatu sistem satelit yang terdiri dari konstelasi satelit yang menyediakan informasi waktu dan lokasi, memancarkan macam-macam sinyal dalam berbagai frekuensi secara terus menerus, yang tersedia di semua lokasi di atas permukaan bumi (Prasetyaningsih, 2012). GNSS mencakup tentang satelit navigasi GPS (*Global Positioning System*), GLONASS (*Global System Navigation Satellite System*), GALILEO, serta sistem navigasi satelit lainnya. Sistem ini dapat memberikan informasi mengenai posisi tiga dimensi dan ditambah dengan informasi waktu. Satelit di desain untuk memberikan informasi tentang posisi dan kecepatan tiga dimensi, serta waktu mencakup seluruh bumi dan beroperasi secara kontinyu dan tidak bergantung cuaca. Konsep dasar penentuan posisi dengan GNSS adalah reseksi (pengikatan ke belakang) dengan jarak, yaitu

pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS (Abidin, 2000)

II.5 International GNSS Services (IGS)

Layanan GNSS Internasional (IGS), didirikan oleh Asosiasi Geodesi Internasional (IAG) pada bulan Juni 1994, pada awalnya dikenal sebagai Layanan GPS Internasional. Nama IGS dari GPS ke GNSS telah berubah pada bulan Maret 2005, ketika itu tersedia secara bebas untuk pengguna satelit GNSS presisi tinggi. IGS memperluas jumlah stasiun secara signifikan untuk membuat kerangka referensi tersedia saat pengakuan ITRF (Ansari, dkk., 2017).

II.6 Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013

Indonesia telah mendefinisikan beberapa sistem referensi geospasial atau datum geodesi untuk keperluan survei pemetaan atau penyelenggaraan informasi geospasial. Datum Indonesia atau Indonesian Datum (ID 74) yang selanjutnya diganti dengan DGN95 seiring dengan perkembangan teknologi GNSS pada tahun 1996. DGN95 merupakan sistem referensi geospasial yang bersifat statis, dimana perubahan nilai koordinat terhadap waktu sebagai akibat dari pergerakan lempeng tektonik dan deformasi kerak bumi tidak diperhitungkan. DGN95 digunakan sebelum adanya SRGI 2013 di Indonesia.

II.7 Gamit dan GLOBK

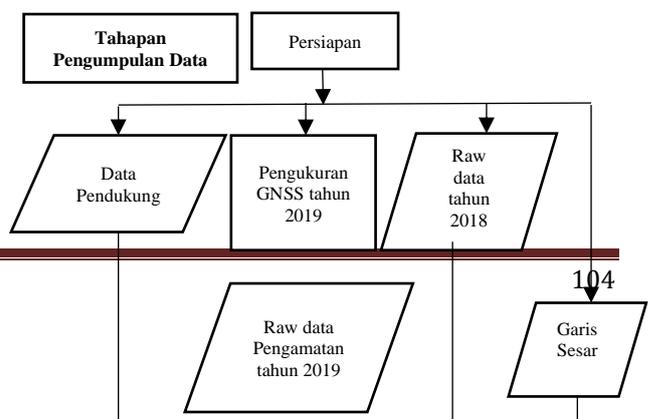
GAMIT adalah perangkat lunak buatan para ahli di MIT untuk memproses data GNSS geodesi. Program ini dirancang untuk digunakan dengan sistem operasi Unix dan variannya. GAMIT (GNSS at MIT) adalah kumpulan program untuk memproses data fase untuk memperkirakan posisi relatif tiga dimensi stasiun bumi dan orbit satelit, keterlambatan zenith atmosfer, dan parameter orientasi Bumi. Perangkat lunak ini dirancang untuk berjalan di bawah sistem operasi LINUX.

GLOBK merupakan program yang berguna untuk menggabungkan berbagai solusi geodetik dari pengukuran menggunakan GPS, VLBI, SLR. GLOBK merupakan singkatan dari Global Kalman filter. Kunci dari data input pada GLOBK adalah matriks varian kovarian dari koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit, dan koordinat hasil pengamatan lapangan.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Diagram alir

Diagram alir proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



pada tiap titik pengamatan, interval perekaman data, total satelit, dan informasi lainnya pada saat perekaman data.

III.4.2 Pengolahan dengan GAMIT

Data GNSS yang sudah dilakukan pengecekan kualitas data selanjutnya diolah dengan software GAMIT. Pengolahan dengan GAMIT dimulai dengan pembuatan direktori kerja GAMIT yang berisi file Rinex pengamatan serta data-data pendukung. Tahapan dalam pengolahan dengan GAMIT antara lain :

1. Pembuatan Direktori Kerja GAMIT

Manajemen folder merupakan tahap awal dari pengolahan dengan GAMIT agar software dapat membaca file – file yang akan diolah secara otomatis. Persiapan direktori kerja GAMIT dilakukan sebelum melakukan proses dengan melakukan pembuatan folder yang dibedakan per titik pengamatan. Nama dari project ini adalah /tk01, /tk02, /tk03, /tk04, /tk05, /tk06, /tk07, /tk08, /tk09, /tk10, /tk11, /tk12 yang dibedakan dari titik dilakukan pengamatan GNSS. Pembuatan direktori kerja selanjutnya yaitu dengan menambahkan beberapa folder di dalam folder project. Folder folder tersebut antara lain rinex, igs, brdc, dan hfile. Hal ini dilakukan untuk memisahkan file pendukung dan pengamatan sesuai dengan standar pengolah dengan automatic batch processing.

2. Pembuatan folder Tables dan Pengeditan File

Proses menjalankan GAMIT diawali dengan pembuatan Sub-Folder Tables dan pengeditan file. Sub-folder Tables dibuat secara otomatis yang bersumber pada direktori penginstallan GAMIT. Sub-Folder Tables adalah folder yang dibuat secara otomatis di tempat project file. Sub Folder tersebut dapat dibuat melalui perintah:

```
sh_setup -yr <YYYY>
```

3. Automatic Batch Processing dengan GAMIT

Proses Automatic Batch Processing dengan GAMIT dilakukan setelah pembuatan direktori kerja dan pengeditan file. Proses ini dilakukan pada folder direktori kerja dan menggunakan perintah:

```
sh_gamit -expt <expt> -noftp -d <yyyy> <doy> -pres ELEV -orbit IGSF.
```

III.4.3 Pengolahan dengan GLOBK

Hasil dari pengolahan dengan GAMIT yang akan di olah dalam GLOBK yaitu h-files. H-files yang dihasilkan GAMIT merupakan Data ASCII. GLOBK dapat dijalankan apabila file tersebut dalam bentuk *.gdl sehingga diperlukan konversi ke dalam data biner serta *.gdl. Tahapan dalam pengolahan dengan GLOBK antara lain:

1. Konversi Data ASCII h-files ke Data Biner

H-files dari hasil pengolahan dengan GAMIT berupa file ASCII. Tetapi untuk melakukan perhitungan dengan GLOBK, h-files tersebut harus berupa data biner. Untuk itu perlu dilakukan konversi ke data biner. Cara konversi data dilakukan dengan perintah sebagai berikut:

```
htoglb <directory output><ephemeris file ><inputfile >
```

2. Konversi Data Biner ke File *.gdl

Data biner harus dikonversi menjadi file *.gdl. karena GLOBK hanya bisa membaca file berekstensi *.gdl. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menuliskan perintah dibawah ini dan dilakukan pada folder /gsoln.

```
ls ../glbf/*glx ><nama_project>.gdl
```

3. Pengolahan GLRED dan GLOBK

Pengolahan data dengan GLOBK dapat dilakukan dengan perintah glorg_com.cmd dan globk_comb.cmd. Perintah ini dapat dicopy dari ~/gg/tables ke folder /gsoln dan dapat dijalankan dengan dua cara, yaitu dengan melakukan kedua proses tersebut atau dengan melakukan perintah globk_comb.cmd dan mengaktifkan glred secara otomatis. Hasil dari perhitungan ini adalah file dengan ekstensi *.prt dan *.org. hasil dari proses GLRED dapat dilihat dalam file glred.prt, sedangkan hasil koordinat pengolahan data GLOBK dapat dilihat dalam file globk.org. Dalam pekerjaan ini, dilakukan perintah glred dan globk secara terpisah. Perintah yang digunakan adalah sebagai berikut :

```
glred <std out><print file ><log file ><expt list><command file >
```

```
globk <std out><print file ><log file ><expt list><command file >
```

III.5 Tahapan Transformasi Koordinat

Perhitungan pergeseran dilakukan dengan mentransformasi koordinat menjadi toposentrik. Transformasi ke dalam sistem toposentrik lokal dilakukan untuk merubah sumbu pusat sistem koordinat berada di permukaan bumi dan bersifat lokal sehingga dapat dilakukan perhitungan pergeseran di permukaan bumi. Berikut rumus yang digunakan untuk transformasi koordinat (Abidin, 2009):

$$\begin{pmatrix} n_A \\ e_A \\ u_A \end{pmatrix} = R(\varphi_0, \lambda_0) \dots\dots\dots (2)$$

$$R(\varphi_0, \lambda_0) \begin{pmatrix} -\sin \varphi_0 \cos \lambda_0 & -\sin \varphi_0 \sin \lambda_0 & \cos \varphi_0 \\ -\sin \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 & \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 & -\sin \varphi_0 \end{pmatrix} \dots\dots (3)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ \Delta_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_A - X_0 \\ Y_A - Y_0 \\ Z_A - Z_0 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

- Keterangan :
- (n_A, e_A, u_A) = koordinat toposentrik titik A
 - (φ_0, λ_0) = koordinat geodetik titik 0 (origin sistem koordinat toposentrik)
 - (X_A, Y_A, Z_A) = koordinat geosentrik titik A
 - (X_0, Y_0, Z_0) = koordinat geosentrik titik 0 (origin sistem koordinat toposentrik)

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil Pengecekan Kualitas Data

Tabel 1 Menampilkan hasil dari efek *multipath* pada titik pengamatan tahun 2018 dan 2019.

Tabel 1. Hasil uji kualitas pada periode 2018 dan 2019

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai *multipath* terbesar pada tahun 2019 terdapat di TK09 yaitu dengan nilai MP1 sebesar 2475,425 mm dan MP2 sebesar 2326,080 mm. Nilai *multipath* terkecil terdapat di TK07 yaitu dengan nilai MP1 sebesar 825,984 mm dan MP2 sebesar 797,524 mm. Rata-rata dari nilai MP1 sebesar 1426,614 mm dan nilai MP2 sebesar 1398,666 mm. Hasil uji kualitas pada pengamatan tahun 2018 nilai *multipath* terbesar terdapat pada TK09 dengan nilai MP1 sebesar 1969,71 mm dan MP2 sebesar 2261,80 mm. Nilai *multipath* terkecil terdapat di TK07 yaitu dengan nilai MP1 sebesar 658,36 mm dan MP2 sebesar 695,08 mm. Tabel 2 menampilkan hasil dari efek *multipath* pada titik ikat yang digunakan untuk penelitian ini.

Tabel 2. Hasil uji kualitas titik ikat

Titik Ikat	2018		2019	
	MP1 (m)	MP2 (m)	MP1 (m)	MP2 (m)
cjpr	2,012	1,737	2,144	1,681
cpkl	0,207	0,250	0,222	0,273
cmgl	0,238	0,276	0,221	0,240
cpwd	1,024	1,052	1,045	1,108

IV.2 Hasil Reduksi Baseline

Pengolahan jaring pada Survei GNSS pada dasarnya memiliki 2 tahapan yaitu reduksi *baseline* dan perataan jaring. Reduksi *baseline* pada pengolahan menggunakan GNSS menghasilkan komponen vektor *baseline* (ΔX , ΔY , dan ΔZ) beserta simpangan bakunya. Hasil reduksi *baseline* dan simpangan baku pada *software* GAMIT ditampilkan dalam *qfile*. Contoh hasil reduksi *baseline* pada jaring dengan doy 176 tahun 2019 ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Reduksi Baseline

Baseline		Titik Awal	Titik Akhir	delta x (m)	Std dev (m)	delta y (m)	Std dev (m)	delta z (m)	Std dev (m)
Cjpr	tk04								
Cjpr	tk06	27928,403	0,024	4449,007	0,062	-48296,755	0,012		
Cmgl	tk04	-19001,82	0,012	-762,222	0,031	48996,968	0,007		
Cmgl	tk06	-22660,89	0,024	-2103,772	0,062	48293,846	0,011		
Cpkl	tk04	-73208,34	0,011	-28685,004	0,030	-15654,363	0,007		
Cpkl	tk06	-76867,42	0,024	-30026,554	0,062	-16357,485	0,012		
Cpwd	tk04	54826,242	0,011	21639,154	0,030	7296,576	0,007		
Cpwd	tk06	51167,166	0,024	20297,604	0,062	6593,454	0,012		
Tk04	tk06	-3659,076	0,026	-1341,550	0,065	-703,122	0,013		

Hasil reduksi *baseline* pada jaring dengan doy 176 menghasilkan standar deviasi dengan rata-rata $x = 0,01867$, $y = 0,0482$, $z = 0,01822$. *Baseline* dengan standar deviasi terkecil yaitu *baseline* CPWD – TK04 dengan nilai $X = 0,011$, $Y = 0,030$, $Z = 0,0071$. *Baseline* dengan standar deviasi terbesar yaitu *baseline* TK04 – TK06 dengan nilai $X = 0,026$, $Y = 0,065$, $Z = 0,0128$.

IV.3 Hasil Perataan Jaring

Perataan jaring pada survei GNSS pada umumnya dilakukan setelah reduksi *baseline*. *Software* GAMIT melakukan perataan secara *loose constrain*

yang hasilnya ditampilkan dalam *qfile*, *hfile*, dan *sh_gamit_summary*. Penentuan koordinat akhir dari pengolahan dilakukan pada GLOBK. *File* yang selanjutnya diproses dalam GLOBK yaitu *hfile* yang berisi hasil pengolahan yang berupa parameter

Titik	2018		2019	
	MP1 (m)	MP2 (m)	MP1 (m)	MP2 (m)
TK01	0,998	1,085	1,448	1,412
TK02	1,135	1,469	1,347	1,354
TK03	0,910	1,031	1,436	1,069
TK04	0,775	0,725	1,149	1,160
TK05	0,661	0,689	1,329	1,439
TK06	0,969	0,873	1,199	1,378
TK07	0,658	0,695	0,826	0,797
TK08	0,758	0,739	1,418	1,194
TK09	1,969	2,262	2,475	2,326
TK10	0,885	1,028	0,983	1,062
TK11	1,398	1,779	1,412	1,414
TK12	0,680	0,724	1,298	1,377

parameter yang digunakan serta matriks varian kovarian. Informasi yang terdapat dalam *hfile* diantaranya yaitu nilai *adjustment* dan matriks varian kovarian. Koordinat yang dihasilkan dalam pengolahan GLOBK adalah koordinat kartesian geosentrik (X, Y, Z), koordinat toposentrik global (n,e,u), dan koordinat UTM (X, Y, Z). Hasil perataan dengan menggunakan 4 titik ikat ditampilkan dalam Tabel 4 dan Tabel 5 dan standar deviasi pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 4. Hasil Perataan Koordinat Geosentrik 4 titik ikat tahun 2018

Titik	KARTESIAN		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
TK01	-2200082,595	5936233,829	-774610,377
TK02	-2202282,419	5935435,284	-774074,008
TK03	-2203715,071	5934715,643	-775122,588
TK04	-2204670,473	5934276,926	-775389,672
TK05	-2205751,428	5933925,554	-775954,199
TK06	-2208329,456	5932935,132	-776092,754
TK07	-2209521,074	5932469,404	-776161,700
TK08	-2211003,898	5931838,063	-776693,767
TK09	-2212932,860	5931111,871	-776002,164
TK10	-2214453,779	5930502,648	-776248,351
TK11	-2197365,220	5937259,223	-774341,532
TK12	-2215414,825	5930123,758	-776392,649

Tabel 5. Hasil Perataan Koordinat Geosentrik 4 Titik Ikat Tahun 2019

Titik	KARTESIAN		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
TK01	-2200082,711	5936233,960	-774610,416
TK02	-2202282,621	5935435,471	-774074,040
TK03	-2203715,111	5934715,877	-775122,627
TK04	-2204670,358	5934276,652	-775389,625
TK05	-2205751,502	5933925,633	-775954,182
TK06	-2208329,417	5932935,079	-776092,742
TK07	-2209521,210	5932469,753	-776161,756
TK08	-2211003,947	5931838,154	-776693,761
TK09	-2212932,865	5931111,881	-776002,164
TK10	-2214453,820	5930502,646	-776248,350
TK11	-2197365,009	5937258,322	-774341,430
TK12	-2215414,838	5930123,930	-776392,652

Tabel 6. Standar Deviasi Tahun 2018

Titik	Standar Deviasi		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
TK01	0,009	0,010	0,009
TK02	0,013	0,012	0,014
TK03	0,013	0,016	0,014
TK04	0,009	0,012	0,008
TK05	0,009	0,013	0,008

TK06	0,006	0,005	0,008
TK07	0,008	0,011	0,008
TK08	0,009	0,014	0,008
TK09	0,019	0,018	0,017
TK10	0,008	0,010	0,008
TK11	0,009	0,010	0,009
TK12	0,009	0,009	0,006

Tabel 7. Standar Deviasi Tahun 2019

Titik	Standar Deviasi		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
TK01	0,011	0,012	0,009
TK02	0,010	0,012	0,009
TK03	0,013	0,012	0,014
TK04	0,008	0,011	0,008
TK05	0,009	0,009	0,009
TK06	0,008	0,010	0,008
TK07	0,009	0,009	0,008
TK08	0,009	0,009	0,008
TK09	0,019	0,018	0,019
TK10	0,009	0,010	0,008
TK11	0,014	0,015	0,017
TK12	0,011	0,011	0,012

Titik pengamatan dengan nilai standar deviasi paling tinggi pada pengolahan menggunakan 4 titik ikat adalah titik TK09. Nilai standar deviasi pada TK09 tahun 2018 adalah X 0,019 m, Y 0,018 m, dan Z 0,017 m dan tahun 2019 sebesar X 0,019 m, Y 0,018 m, dan Z 0,019 m.

IV.4 Analisis Perbandingan Titik Ikat

Hasil perataan jaring diuji kekonsistennannya dengan membandingkan pengolahan dengan menggunakan satu titik ikat dalam satu tahun yang sama. Titik ikat yang digunakan antara lain CJPR (Jepara), CMGL (Magelang), CPKL (Pekalongan), dan CPWD (Purwodadi). Titik dengan perbedaan paling signifikan yaitu titik TK09 tahun 2019. Tabel perbandingan hasil perataan ditampilkan dalam Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Perbandingan Hasil Perataan Tahun 2018

Titik	Koordinat	4 Titik Ikat	Selisih dengan 4 Titik Ikat			
			CJPR	CMGL	CPKL	CPWD
TK01	x	-2200082,595	0,028	-0,002	-0,002	-0,003
	y	5936233,829	0,015	0,000	-0,001	0,001
	z	-774610,377	-0,002	-0,001	-0,001	-0,003
TK02	x	-2202282,419	0,005	0,002	0,001	0,006
	y	5935435,284	0,003	0,000	0,000	0,001
	z	-774074,008	0,008	0,003	0,023	0,009
TK03	x	-2203715,071	-0,009	0,013	0,013	0,000
	y	5934715,643	-0,002	0,005	0,006	0,000
	z	-775122,588	-0,007	0,001	-0,001	-0,001
TK04	x	-2204670,473	-0,005	-0,002	-0,003	-0,005
	y	5934276,926	0,003	0,000	-0,001	0,001
	z	-775389,672	-0,001	0,000	0,000	-0,001
TK05	x	-2205751,428	0,003	0,001	0,002	0,004
	y	5933925,554	-0,002	0,000	0,000	0,000
	z	-775954,199	-0,002	0,000	0,000	0,000
TK06	x	-2208329,456	-0,001	0,000	0,000	-0,002
	y	5932935,132	0,004	0,001	0,001	0,003
	z	-776092,754	0,002	0,001	0,001	0,002

TK07	x	-2209521,074	0,003	0,001	0,001	0,003
	y	5932469,404	-0,005	-0,001	-0,001	-0,003
	z	-776161,700	0,001	-0,001	-0,001	-0,001
TK08	x	-2211003,898	-0,007	-0,004	-0,003	-0,005
	y	5931838,063	0,000	-0,001	0,000	-0,001
	z	-776693,767	0,000	0,000	-0,001	0,000
TK09	x	-2212932,860	0,001	0,000	-0,001	0,001
	y	5931111,871	0,001	-0,001	-0,001	-0,002
	z	-776002,164	0,002	0,002	0,002	0,004
TK10	x	-2214453,779	0,007	0,004	0,003	0,005
	y	5930502,648	0,000	0,001	0,000	0,001
	z	-776248,351	0,000	0,000	0,001	0,000
TK11	x	-2197365,220	-0,024	-0,013	-0,012	-0,003
	y	5937259,223	-0,016	-0,005	-0,005	-0,002
	z	-774341,532	0,001	-0,003	-0,001	-0,005
TK12	x	-2215414,825	-0,001	0,000	0,001	-0,001
	y	5930123,758	-0,001	0,001	0,001	0,002
	z	-776392,649	-0,002	-0,002	-0,002	-0,004

Tabel 9. Perbandingan Hasil Perataan Tahun 2019

Titik	Koordinat	4 Titik Ikat	Selisih dengan 4 Titik Ikat			
			CJPR	CMGL	CPKL	CPWD
TK01	x	-2200082,711	0,026	0,001	0,002	0,002
	y	5936233,960	0,001	-0,002	-0,007	0,000
	z	-774610,416	-0,002	-0,002	0,007	-0,006
TK02	x	-2202282,621	0,000	-0,001	0,002	0,000
	y	5935435,471	0,000	0,000	-0,001	-0,001
	z	-774074,040	-0,002	0,000	-0,009	-0,003
TK03	x	-2203715,111	0,000	0,000	0,011	0,000
	y	5934715,877	0,000	0,000	0,004	0,001
	z	-775122,627	0,002	0,002	-0,003	0,003
TK04	x	-2204670,358	-0,002	-0,002	-0,003	-0,003
	y	5934276,652	-0,002	-0,002	-0,001	-0,002
	z	-775389,625	-0,002	-0,002	-0,001	-0,002
TK05	x	-2205751,5	-0,005	-0,005	-0,012	-0,013
	y	5933925,633	0,000	0,000	-0,001	0,003
	z	-775954,182	0,005	0,005	0,002	0,003
TK06	x	-2208329,42	0,002	0,002	0,003	0,003
	y	5932935,079	0,002	0,002	0,001	0,002
	z	-776092,742	0,002	0,002	0,001	0,002
TK07	x	-2209521,21	0,005	0,005	0,012	0,013
	y	5932469,753	0,000	0,000	0,001	-0,003
	z	-776161,756	-0,005	-0,005	-0,002	-0,003
TK08	x	-2211003,95	-0,007	-0,007	-0,005	-0,004
	y	5931838,154	-0,004	-0,004	-0,002	0,001
	z	-776693,761	-0,007	-0,007	0,000	-0,007
TK09	x	-2212932,86	-0,005	-0,005	0,005	0,000
	y	5931111,881	0,015	0,015	0,040	0,000

TK10	z	-776002,164	0,000	0,000	0,000	0,000
	x	-2214453,82	0,007	0,007	0,005	0,004
	y	5930502,646	0,004	0,004	0,002	-0,001
TK11	z	-776248,35	0,007	0,007	0,001	0,007
	x	-2197365,01	0,000	0,000	0,000	-0,002
	y	5937258,322	0,000	0,000	0,001	0,000
TK12	z	-774341,43	0,000	0,000	-0,003	0,006
	x	-2215414,84	0,000	0,000	0,000	0,000
	y	5930123,93	0,001	0,001	0,000	0,002
	z	-776392,652	0,002	0,002	0,005	0,008

IV.5 Analisis Deformasi Horizontal

Deformasi dari titik pengamatan dapat diketahui dengan melakukan transformasi koordinat dari geosentrik kartesian hasil olahan GAMIT dan GLOBK ke koordinat toposentrik (n,e,u). Titik origin (pusat sumbu) yang digunakan dalam transformasi yaitu pengamatan pada tahun 2018 periode Juni. Hasil dari transformasi menampilkan nilai pergeseran selama periode tersebut. Tabel 10 menunjukkan hasil Pergeseran koordinat toposentrik menggunakan 4 titik ikat

Tabel 10. Vektor Pergeseran koordinat toposentrik menggunakan 4 titik ikat

Nama Titik	Vektor Pergeseran (m)		Resultan (m)	Azimuth (0)
	n	e		
TK01	-0,018	0,063	0,066	106
TK02	-0,002	0,125	0,125	91
TK03	-0,010	-0,044	0,045	257
TK04	0,010	-0,013	0,017	308
TK05	0,029	0,042	0,051	55
TK06	0,004	-0,018	0,018	281
TK07	-0,009	0,006	0,011	149
TK08	0,019	0,014	0,023	37
TK09	0,001	0,001	0,002	90
TK10	0,002	0,039	0,039	86
TK11	-0,011	0,115	0,116	95
TK12	0,018	-0,048	0,052	290

Hasil diatas merupakan pergeseran antara pengukuran doy pada tahun 2018 hingga pengukuran doy pada tahun 2019. Tabel 11 menunjukkan kecepatan pergeseran per tahun menggunakan 4 titik ikat. Pergeseran yang terjadi menggunakan 4 titik ikat dihitung kecepatan pergeseran per tahunnya. Tabel 11 menunjukkan hasil kecepatan pergeseran titik pertahun. Kecepatan pergeseran pertahun dihitung dengan rumus:

$$V = \frac{720}{doy\ 2 - doy\ 1} * d \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

V : Kecepatan pergeseran pertahun

doy 2 : 2019 + (doy/365)

doy 1 : 2018 + (doy/365)

d : Pergeseran antara doy 1 dan doy 2

Tabel 11. Kecepatan pergeseran per tahun (4 Titik Ikat)

	Vektor Pergeseran		
--	-------------------	--	--

Nama Titik	VN	VE	Resultan (m)	Azimut (0)
TK01	-0,018	0,063	0,066	106
TK02	-0,001	0,103	0,103	91
TK03	-0,008	-0,036	0,037	257
TK04	0,010	-0,013	0,017	308
TK05	0,024	0,035	0,042	55
TK06	0,004	-0,018	0,018	281
TK07	-0,008	0,005	0,009	148
TK08	0,019	0,014	0,024	37
TK09	0,001	0,001	0,001	41
TK10	0,002	0,039	0,039	86
TK11	-0,011	0,115	0,115	95
TK12	0,015	-0,040	0,043	290

IV.6 Analisis Deformasi Vertikal

Deformasi vertikal dari titik pengamatan dapat diketahui dengan melakukan transformasi koordinat dari geosentrik kartesian hasil olahan GAMIT dan GLOBK ke koordinat toposentrik (n,e,u) menggunakan. Hasil dari transformasi pada nilai U menampilkan nilai penurunan atau kenaikan selama periode tersebut. Tabel 12 Menunjukkan hasil deformasi vertikal.

Tabel 12. Nilai deformasi vertikal pada setiap pengukuran

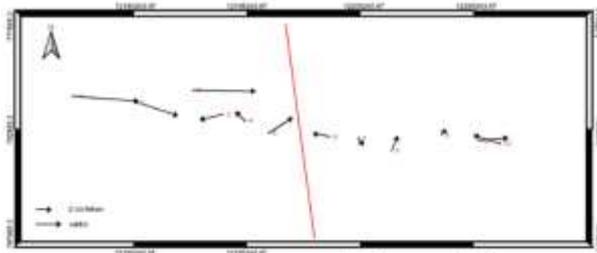
Titik	4 titik ikat (m)	Titik Ikat CJPR (m)	Titik Ikat CMGL (m)	Titik Ikat CPKL (m)	Titik Ikat CPWD (m)
TK01	-0,010	-0,016	-0,009	-0,012	-0,008
TK02	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000
TK03	-0,072	-0,069	-0,078	-0,075	-0,072
TK04	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
TK05	0,000	-0,003	-0,003	-0,005	-0,005
TK06	0,006	0,007	0,007	0,007	0,008
TK07	-0,008	-0,007	-0,007	-0,007	-0,007
TK08	-0,014	-0,015	-0,008	-0,015	-0,012
TK09	0,005	0,002	0,001	0,015	-0,001
TK10	0,015	0,016	0,009	0,016	0,013
TK11	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,002
TK12	-0,056	-0,055	-0,056	-0,057	-0,057

Hasil pengolahan deformasi vertikal menunjukkan bahwa terdapat titik yang mengalami penurunan dan kenaikan. Titik yang mengalami penurunan yaitu TK01, TK03, TK07, TK08, TK09, TK 11, dan TK12. Titik yang tidak mengalami perubahan yaitu TK02. Serta titik yang mengalami kenaikan yaitu TK02, TK04, TK05, TK06 dan TK10. Titik yang mengalami penurunan terbesar terdapat pada titik TK03. Titik yang mengalami kenaikan terbesar terdapat pada titik TK10.

IV.7 Analisis Pergerakan Sesar

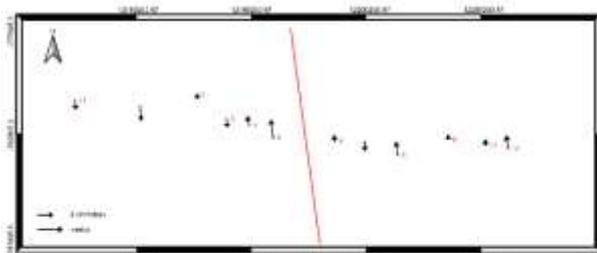
Pergerakan sesar dianalisis dengan menggunakan hasil dari deformasi horizontal. Vektor yang ditampilkan merupakan vektor kecepatan per

tahun menggunakan 4 titik ikat. Gambar 3 menunjukkan vektor kecepatan pertahun menggunakan 4 titik ikat.



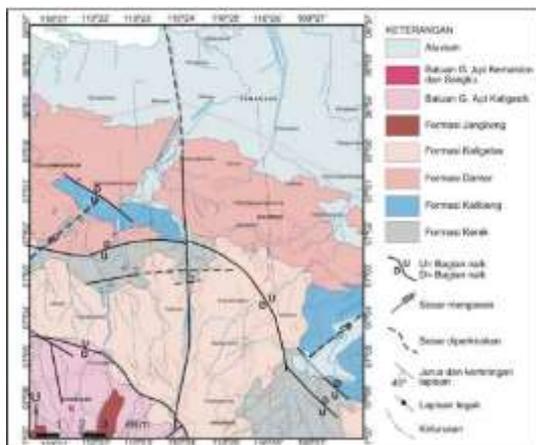
Gambar 3 Vektor Kecepatan Pertahun (4 Titik Ikat)

Pergeseran yang terjadi dimungkinkan tidak hanya dipengaruhi oleh sesar sehingga dilakukan pendekatan untuk mendapatkan pergeseran yang hanya diakibatkan oleh sesar. Pendekatan tersebut dilakukan dengan cara memproyeksikan pergeseran agar searah dengan arah sesar. Gambar 4 menampilkan pergeseran yang hanya diakibatkan oleh sesar utama.



Gambar 4. Pergeseran Akibat Sesar

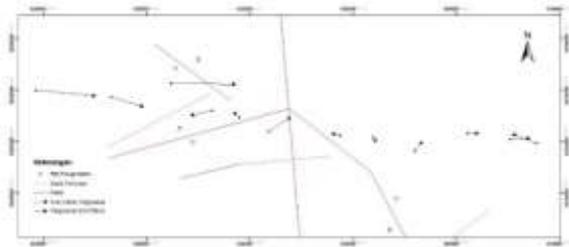
Peta geologi menunjukkan di sebelah barat sesar utama masih terdapat sesar sesar lainnya. Hal ini juga yang menyebabkan pergerakan di sebelah barat sesar lebih dinamis dibandingkan dengan di sebelah timur sesar. Gambar 4 menunjukkan peta geologi yang berlokasi di sekitar sesar Kaligarang. Peta geologi disederhanakan oleh (Poedjoprajitno. S, 2008) dari peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang (Thanden dr.,1996).



Gambar 5. Peta geologi daerah Semarang (Poedjoprajitno. S, 2008)

Gambar 5 yang merupakan peta geologi disekitar sesar Kaligarang kemudian di lakukan digitasi

pada garis sesar dan dilakukan *overlay* dengan titik pengamatan serta vektor pergeseran untuk mengetahui letak titik pengamatan dan sesar berdasarkan peta geologi. Gambar 6 menampilkan peta yang telah di *overlay* dengan titik pengamatan serta vektor pergeseran.



Gambar 6. Vektor Pergeseran Berdasarkan Peta Geologi

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kondisi deformasi di daerah sekitar Sesar Kaligarang dari tahun 2018 hingga 2019 mengalami pergeseran pada bagian barat sesar sebesar 0,017 m/tahun sampai 0,103 m/tahun dan pada bagian timur sebesar 0,009 m/tahun sampai 0,0115 m/tahun. Bagian barat sesar utama mengalami pergerakan yang lebih dinamis dibandingkan dengan pergerakan pada bagian timur sesar utama dikarenakan terdapat sesar sesar lainnya.
2. Secara keseluruhan hasil perataan dari seluruh titik ikat apabila dibandingkan dengan 4 titik ikat rata rata memiliki selisih dibawah 1 cm. Titik dengan perbedaan paling signifikan yaitu titik TK09 tahun 2019. Titik ikat dengan standar defiasi paling tinggi diantara yang lainnya adalah CJPR (Jepara). Hal ini dikarenakan Kualitas data dari kedua titik tersebut paling besar diantara yang lainnya sehingga berpengaruh terhadap standar deviasi dan hasil perataannya.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Perlu penambahan titik ikat agar mendapat nilai pergeseran yang lebih representative
2. Perlu dilakukan pengukuran ulang untuk mendapat nilai deformasi dari tahun ke tahun untuk pemantauan sesar.

Daftar Pustaka

- Abidin, H. Z. (2000). Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Abidin, H.Z., Andreas, H., Meilano, I., Gamal, M., Gumilar, I., dan Abdullah, C.I. (2009). Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 4 No.4 Desember 2009:

275-284

- Ansari, K., Corumluoglu, O., Verma, P., dan Pavelyev, V. S. (2017). *An Overview of the International GNSS Service (IGS)*. Grenze International Journal of Computer Theory and Engineering.
- Fahrudin, Sadisun I.A, dan Agus H.(2011). Studi Sesar Aktif, Kinematik, dan Dinamik Zona Sesar Kaligarang (KGFZ) di Semarang. Jurnal Proceedings JCM Makassar 2011.
- Fahrudin., dan Winarno, T. (2012). Model Deformasi Getas Di Zona Sesar Kaligarang Semarang. Jurnal Geologi UNDIP Volume 33, Nomor 1, Tahun 2012
- Kuang, S. (1996). *Geodetic Network Analysis And Optimal Design : Concept And Application*. ANN HARBOUR PRESS, INC, Chelsea, Michigan.
- Kusuma, B. D., Awaluddin, M., dan Yuwono, B. D. (2017). Survey Deformasi Sesar Kaligarang dengan Metode Pengamatan GPS Tahun 2016.
- Meilano, I., Abidin, H.Z., Andreas, H., Gumilar, I., Sarsito, D., Hanifa, R. Rino, Harjono, H., Kato, T., Kimata, F., dan Fukuda, Y. (2012). *Slip Rate Estimation of the Lembang Fault West Java from Geodetic Observation*. Journal of Disaster Research Vol.7 No.1, 2012.
- Noor, D. (2014). Pengantar Geologi. Yogyakarta: Deepublish.
- Poedjoprajitno, S. 2008. Reaktivitas Sesar Kaligarang, Semarang. Pusat Survei Geologi. Jurnal Geologi Indonesia, Vol.3 No.3 September 2008 : Bandung.
- Prasetyaningsih, D. (2012). Partisipasi Indonesia dalam Pembahasan Sistem Satelit Navigasi Global (Global Navigation Satellite System) dalam Sidang UNCOPUOS . 13.
- Savage, J. C. dan Burford, R. O., (1973). Geodetic Determination of Relative Plate Motion in Central California. Journal of Geophysical Research, 78, 832-854. <http://dx.doi.org/10.1029/JB078i005p00832>
- Soehaimi, A. (2008). Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. vol3no4.20085.
- Trenggoning, P., F. K. Brunner, Y. Bock, dan S. McCaffrey, J. F. (1994). *First geodetic measurement of convergence across the Java trench*. Geophys, Res. lett.,21,2135-2138