

PENGAMATAN DEFORMASI SESAR KALIGARANG DENGAN METODE SURVEI GNSS TAHUN 2018

Laurentius Immanuel Yudit Prabowo^{*)}, M. Awaluddin, Fauzi Janu Amarrohman

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

ABSTRAK

Sesar Kaligarang merupakan sesar yang membelah kota Semarang dari utara hingga selatan. Identifikasi sesar dan struktur dapat membantu mengenali karakteristik dan tipe dari sesar Kaligarang. Berdasarkan hal tersebut diperlukan penelitian yang tepat untuk mempelajari tipe dan laju geser Sesar Kaligarang. Hal ini diperlukan sebagai kebutuhan pemetaan gempa dan mitigasi bencana. Pada pengukuran Sesar Kaligarang diperlukan ketelitian yang tinggi sampai dengan milimeter untuk mengetahui pergeseran posisi yang terjadi. Pada penelitian ini pengukuran dilakukan dengan menggunakan GNSS *dual frequency*. Penelitian tugas akhir ini menggunakan data hasil pengukuran survei GNSS yang dilakukan pada dua periode yaitu Maret dan Juni tahun 2018 menggunakan metode statik serta dengan data sekunder yaitu hasil pengukuran GNSS pada bulan Oktober tahun 2016. Pengukuran dilakukan pada titik titik yang sudah dibentuk pada penelitian sebelumnya serta titik tambahan. Data pengukuran GNSS diolah dengan menggunakan *software scientific GAMIT 10.7*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kondisi deformasi yang terjadi di daerah Sesar Kaligarang serta mengetahui nilai *slip rate* dan *locking depth* dari Sesar Kaligarang. Hasil dari penelitian ini adalah terjadi pergeseran sebesar 2,6 mm/tahun hingga 10,23 mm/tahun pada bagian barat sesar dan sebesar 2,89 mm/tahun hingga 10,35 mm/tahun pada bagian timur sesar. Nilai *slip rate* serta *locking depth* dari Sesar Kaligarang belum dapat ditentukan karena hasil koordinat titik pengamatan tidak konvergen pada permodelan dengan grafik *slip rate*.

Kata Kunci : GNSS, Sesar Kaligarang, deformasi, GAMIT, *slip rate*, *locking depth*

ABSTRACT

The Kaligarang Fault is a fault that divides the city of Semarang from north to south. Fault identification and structure can help identify the characteristics and types of the Kaligarang fault. Based on that proper research is needed to study the type and shear rate of the Kaligarang Fault. This is needed as a need for earthquake mapping and disaster mitigation. In the Kaligarang Fault measurement requires high accuracy up to mm to determine the shift in position that occurs. This research measurement were performed using GNSS dual frequency. This research uses data GNSS survey conducted in two periods, March and June 2018 using static method and secondary data that is result of GNSS survey in October 2016. Survey are conducted at the point that has been formed in the last research and additional points. GNSS survey data is processed using the scientific GAMIT 10.7 software. The purpose of this research was to determine the deformation conditions that occur in the Kaligarang Fault area and to determine the value of the slip rate and locking depth of the Kaligarang Fault. The results of this research is there are a shift in the range from 2.6 mm / year to 10.23 mm / year in the western part of the fault and from 2.89 mm / year to 10.35 mm / year in the eastern part of the fault. The slip rate and locking depth of the Kaligarang Fault cannot be determined because the results of the coordinates of the observation point do not converge on the model using the slip rate chart.

Key Word : GNSS, Kaligarang Fault, Deformation, GAMIT, *slip rate*, *locking depth*

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Kota Semarang berada di posisi astronomi $6^{\circ}50' - 7^{\circ}10'$ LS dan $109^{\circ}35' - 110^{\circ}50'$ BT. Secara topografi, Kota Semarang memiliki bentuk yang cukup unik karena terdapat pantai sampai pegunungan. Untuk itulah daerah Semarang memiliki berbagai kemiringan dan tonjolan, sehingga besar kemungkinan terjadi kegiatan lempeng tektonik yang bisa bergeser sewaktu-waktu. Kegiatan tektonik di Kota Semarang menyebabkan terbentuknya sesar. Salah satu sesar yang ada di Semarang adalah Sesar Kaligarang. Identifikasi sesar dan struktur penyerta yang tepat akan memberikan pemahaman kinematika dan dinamika dari zona Sesar Kaligarang.

Sungai Kaligarang membelah wilayah Semarang pada bagian utara sampai selatan. Lembah dari sungai ini diduga merupakan sesar yang aktif sejak zaman tersier hingga kuartar. Hal ini didukung dari penelitian yang dilakukan oleh Thanden (1996) yang menyatakan bahwa kegiatan tektonik paling akhir di Semarang terjadi pada masa Plio-Plistosen. Simanjutak (2003) menyatakan bahwa di selatan Semarang terdapat sesar naik (trust fault). Selanjutnya sesar ini dipotong oleh sesar mendatar yang berarah barat laut-tenggara atau timur laut-barat daya, diantara Sesar Kaligarang. Helmy (2008) menyatakan Sesar Kaligarang merupakan sesar geser yang memiliki arah relatif utara selatan ($N5^{\circ}E-N185^{\circ}E$).

Pemantauan pergerakan sesar dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu, sipat datar, survei GNSS, gravimetri, radar, hidrogeologi dan lain sebagainya. Metode yang cukup baik dan mudah digunakan adalah dengan menggunakan survei GNSS karena memiliki akurasi yang cukup tinggi dalam pemantauan berbasis titik. GNSS adalah sistem penentuan posisi yang memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi dan informasi mengenai waktu, secara kontinu di seluruh dunia tanpa tergantung waktu dan cuaca. Pada penelitian ini kemudian digunakan metode Survei GNSS sebagai cara pemantauan pergerakan sesar.

Pada penelitian sebelumnya, Setyabudi di tahun 2014 melakukan survei pendahuluan pada Sesar Kaligarang dengan desain titik kontrol pada segmen Tinjomoyo dan Kradenan Lama. Kemudian pada tahun 2015, Fathullah melakukan monitoring deformasi Sesar Kaligarang, namun tidak dapat mendapatkan nilai *slip rate* dan *locking depth* karena pemasangan titik kontrol kurang jauh dari lokasi sesar. Pada penelitian selanjutnya Kusuma di tahun 2016 melakukan desain titik kontrol baru pengamatan Sesar Kaligarang.

Maka dari itu diperlukan penelitian yang tepat untuk mempelajari tipe Sesar Kaligarang. Hal ini diperlukan sebagai kebutuhan pemetaan gempa dan mitigasi bencana. Pada pengukuran Sesar Kaligarang diperlukan ketelitian yang tinggi sampai dengan tingkat milimeter untuk mengetahui pergeseran posisi yang terjadi. Karena ini diperlukan pengukuran dengan GNSS *dual frequency* dengan pengamatan yang panjang. Permasalahan yang ditampilkan adalah

monitoring deformasi dari Sesar Kaligarang dan mencari nilai laju geser serta kedalaman dari sesar sesuai dengan desain titik kontrol yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya. Hasil dari pemantauan pergerakan sesar diharapkan dapat menggambarkan keadaan langsung yang terjadi pada Sesar Kaligarang dan menggambarkan gejala-gejala yang dapat diketahui secara dini.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kondisi deformasi yang terjadi pada lingkungan Sesar Kaligarang dari tahun 2016 hingga tahun 2018?
2. Berapa nilai *slip rate* dan *locking depth* dari Sesar Kaligarang?

I.3 Maksud dan Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui besarnya perubahan deformasi Sesar Kaligarang secara teliti dengan melakukan dua kali periode pengukuran dengan metode statik.
2. Mengetahui laju geser dan kedalaman dari Sesar Kaligarang.

I.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini ialah:

1. Pada penelitian ini dilakukan pada daerah Sesar Kaligarang yang berada di Kota Semarang.
2. Pengukuran GNSS dilakukan pada 12 titik pengamatan Sesar Kaligarang dengan pengukuran GNSS secara statik dan episodik.
3. Pengolahan data pengamatan GNSS menggunakan *Scientific Software GAMIT 10.6* sehingga dihasilkan koordinat titik pengamatan

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Sesar

Sesar didefinisikan sebagai bidang rekahan yang disertai oleh adanya pergeseran relatif (*displacement*) satu blok terhadap blok batuan lainnya. Jarak pergeseran tersebut dapat hanya beberapa milimeter hingga puluhan kilometer, sedangkan bidang sesarnya mulai dari yang berukuran beberapa centimeter hingga puluhan kilometer. Sedangkan secara harfiah sesar atau patahan adalah rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran yang berarti, melalui bidang rekahnya. Suatu sesar dapat berupa bidang sesar (*fault plane*) atau rekahan tunggal, tetapi lebih sering berupa jalur sesar (*fault zone*) yang terdiri dari lebih dari satu sesar. Jalur sesar atau jalur penggeseran (*shear zone*) mempunyai dimensi panjang dan lebar yang beragam, dari skala minor sampai puluhan kilometer. Kekar yang

memperlihatkan pergeseran dapat pula dikatakan sebagai sesar minor (Billing, 1959).

Suatu wilayah dikatakan mengalami deformasi apabila terjadi perubahan atau pergeseran koordinat pada titik-titik pengamatan yang dilakukan secara berkala. Pergeseran yang digunakan di sini adalah pergeseran dalam koordinat toposentrik, dimana titik acuan yang digunakan merupakan pengamatan awal di setiap titik. Pergeseran koordinat ini kemudian digunakan untuk menghitung vektor kecepatan pergeseran di suatu titik. Salah satu cara untuk menghitung vektor kecepatan ini adalah dengan *linear-fitting*. Dengan *linear-fitting* dapat diketahui nilai vektor kecepatan pergeseran setiap titik pengamatan per tahun. Selain itu, dengan *linear-fitting* juga dapat diprediksi nilai kecepatan pergeseran untuk waktu yang akan datang (Nurfarida, 2010).

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 pada Rumus 1 (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 telah mengalami sejarah yang panjang. Pada zaman Tersier, Sesar Kaligarang merupakan sesar jurus mendarat manganan. Pergeseran sesar ini diakibatkan oleh tektonika pada zaman itu yang mempunyai tegasan utama terbesar berarah timur laut-barat daya. Pada zaman Kuarter sesar ini teraktifkan kembali sebagai sesar jurus mendarat mengiri. Pengaktifan kembali sesar ini diakibatkan oleh tegasan utama terbesar yang berarah relatif barat laut-tenggara (Poedjoprajitno S.dkk, 2008).

Pada penelitian Fahrudin dkk. (2011) mengenai studi sesar Kaligarang menyebutkan bahwa analisis kinematik menentukan jenis sesar dari masing masing lokasi. Ada tujuh lokasi sesar yang ada di zona sesar utama Kaligarang KGMFZ dan tiga lokasi yang berada di sekitar zona sesar kaligarang utama. Data yang digunakan dalam analisis ini meliputi kekar tarik, lapisan batuan, dan bidang sesar. Berikut contoh analisis kinematik yang berada di pucung. Kekar tarik dengan bidang kekar pada N220°E/85°, N221°E/80°, N210°E/75°, N215°E/75°, N230°E/86°, N210°E/75°, N210E/85°, N230°E/85° dan N225°E/75°. Pada bagian lapisan di sayap utara: N305°E/68° dan lapisan di sayap selatan: N95°E/29° dengan bidang sesar: N345°E/85°. Analisis terhadap 7 lokasi dapat disimpulkan bahwa

zona sesar utama Kaligarang mempunyai kinematik pergerakan sesar geser mengiri dengan kemiringan sekitar 5°-36°.

II.3 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang,1996). Berdasarkan definisi tersebut maka dapat dijelaskan bahwa deformasi adalah perubahan bentuk dari suatu objek yang dikaji dalam sumbu X, Y maupun Z. Perubahan bentuk objek ini dapat perubahan secara absolut maupun relatif. Perubahan secara absolut merupakan perubahan yang terjadi menurut dari objek itu sendiri, sedangkan perubahan secara relatif adalah perubahan bentuk yang terjadi dan dikaji dari posisi titik lainnya.

II.4 GNSS

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) merupakan sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dikembangkan oleh beberapa negara, seperti GPS (*Global Positioning System*) dari Amerika Serikat, GLONASS dari Rusia, BeiDou dari China dan GALILEO dari Eropa. Sistem ini dapat memberikan informasi mengenai posisi tiga dimensi dan ditambah dengan informasi waktu. Penggunaan teknologi GNSS dapat digunakan untuk mengetahui keadaan meteorologi (troposfer dan ionosfer), deformasi, dan banyak hal turunan lainnya.

Ketelitian dari GPS dapat mencapai beberapa milimeter untuk ketelitian posisinya, beberapa cm/s untuk ketelitian kecepatannya dan beberapa nanodetik untuk ketelitian waktunya. Ketelitian posisi yang diperoleh akan tergantung pada beberapa faktor yaitu metode penentuan posisi, geometri satelit, tingkat ketelitian data, metode pengolahan datanya, serta spesifikasi alat yang digunakan

II.5 GAMIT

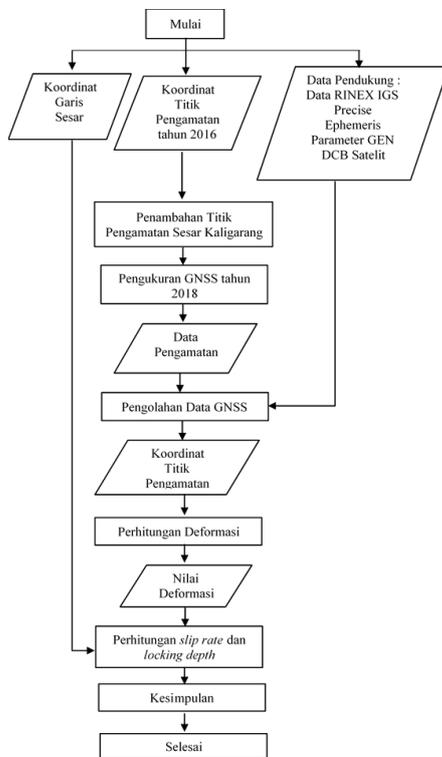
GAMIT/GLOBK adalah sebuah paket software komprehensif untuk analisis data GPS yang dikembangkan oleh MIT, Harvard-Simthsonian Center for Astrophysics (CfA) dan Scripps Institution of Oceanography (SIO) untuk mengestimasi koordinat dan kecepatan stasiun, representasi fungsional dan stokastik dari pasca kejadian deformasi, delay atmosfer, orbit satelit dan parameter orientasi bumi. GAMIT adalah singkatan dari GPS Analysis Software of Masshachusstes Institute of Technology and Scripps Institution of Oceanography, sedangkan GLOBK adalah singkatan dari Global Kalman Filter. *Software* ini didesain untuk *running* pada Sistem Operasi berbasis UNIX, dan telah diimplementasikan jauh pada versi LINUX, Mac-OS-X, HP-UX, Solaris, IBM/RISC dan DEC. Untuk mengontrol proses dari *software* memakai *C-Shell scripts* (disimpan di /com dan sebagian besar *script* dimulai dengan sh) yang mana melibatkan bahasa Fortran atau C untuk proses *compile* di direktori /libraries, /GAMIT dan /kf . Jumlah stasiun maksimal dan pemberian parameter atmosfer

ditentukan oleh kumpulan dimensi saat waktu *compile* dan dapat menyesuaikan persyaratan serta kemampuan perhitungan analisis. GLOBK ini dapat mengkombinasikan data survei terestris ataupun data survei ekstra terestris. Kunci dari *data input* pada GLOBK adalah matriks kovarian dari koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit dan koordinat hasil pengamatan lapangan. GLOBK sendiri merupakan kalman filter yang tujuan utamanya untuk mengkombinasikan solusi dari data yang telah diproses di GAMIT dengan pengamatan *space geodesy*, sehingga didapat estimasi posisi dan kecepatannya.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Diagram Alir

Secara garis besar tahapan penelitian dilakukan sesuai dengan Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

III.2 Peralatan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Perangkat Keras (*hardware*)
 - a. Laptop LENOVO IdeaPad 310 dengan spesifikasi Processor Intel(R) Core(TM) i5-7200U @2.50GHz 2.70GHz, RAM 4GB 64 bit Operating Sistem
 - b. Receiver GNSS Topcon Hiper Gb
 - c. Receiver GNSS Topcon Hiper SR
 - d. GPS Handheld
 - e. Patok Peralon
 - f. Statif
 - g. Meteran
 - h. Alat Tulis

2. Perangkat Lunak (*Software*)
 - a. Sistem Operasi Ubuntu LTS dan Windows 10
 - b. GAMIT 10.7
 - c. GLOBK
 - d. Matlab 2007
 - e. AutoCAD Land Desktop 2009
 - f. ArcGIS 10.6
 - g. Topcon Receiver Utility
 - h. TEQC untuk pengecekan kualitas data dan penggabungan data
 - i. Microsoft Word 2016
 - j. Microsoft Excel 2016
 - k. Topcon Link v.7.5

III.3 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari

- a. Data pengamatan

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder dan primer diantaranya ialah data pengamatan GNSS yang dilakukan pada penelitian sebelumnya pada bulan Oktober 2016. Kemudian menggunakan data pengamatan GNSS yang dilakukan pada bulan April 2018 dan bulan Juni 2018. Penelitian ini menggunakan data penelitian bulan Oktober tahun 2016 sebagai acuan dari pergerakan deformasi yang diamati pada pengukuran bulan April dan Juni tahun 2018. Pengamatan deformasi dilakukan pada 12 titik pengamatan di sekitar Sesar Kaligarang, yang terdiri dari 8 titik penelitian bulan Oktober tahun 2016 dan empat titik baru. Titik ini akan dianggap sebagai titik pantau dalam pergeseran deformasi, dan untuk titik kontrol yang digunakan sebagai titik ikat pada titik pengamatan adalah titik IGS yaitu CORS BAKO, PIMO, DARW, IISC, GUAM, HYDE, KAT1, XMIS, CUSV dan PIMO.
- b. Data pendukung

Data pendukung adalah data-data sekunder yang dilakukan saat pengolahan data. Software GAMIT menyediakan fasilitas dimana *user* secara otomatis dapat melakukan *download* data-data sekunder yang dibutuhkan apabila tersambung dengan internet. Adapun jika melakukan *download* secara manual adalah sebagai berikut:

 1. *File IGS ephemeris final orbit*. *File* ini dalam bentuk *.sp3 dan dapat diunduh dari <http://garner.ucsd.edu/pub/products/>. *file* tersebut diletakkan ke dalam *folder* *igs*.
 2. *File navigasi*. *File* navigasi ini yang digunakan adalah yang bertipe *brdcDDD0.YYn* (DDD: DOY, YY: tahun) dan dapat diunduh dari <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily>. *File* tersebut diletakkan ke dalam *folder* *brdc*.
 3. Ada 3 *file* tambahan yaitu: *file* gelombang pasang surut (*otl_FES2004.grd*), *file* atmosfer (*atmdisp_YYYY*), *file* pemodelan cuaca (*vmflgrdYYYY*), yang dapat diunduh dari <ftp://everest.mit.edu/pub/GRIDS>. *File* tersebut diletakkan ke dalam *folder* *tables*.

4. H-file global diunduh pada `ftp://garner.ucsd.edu/pub/hfiles` dengan DOY yang sama dengan DOY pada saat pengamatan. Terdapat tujuh jenis untuk setiap DOY yaitu `igs1`, `igs2`, `igs3`, `igs4`, `igs5`, `igs6`, dan `igs7`. File tersebut diletakkan ke dalam folder `hfiles`, file ini diperlukan saat pengolahan GLOBK.

III.4 Pengolahan Data

Dalam pengolahan data penelitian ini terdapat beberapa tahapan yaitu

1. Pengecekan Kualitas Data

Dalam pelaksanaan pengolahan data perlu dilakukan pengecekan data menggunakan software TEQC. Pengecekan data dilakukan guna mengetahui waktu mulai dan berakhirnya pengamatan dalam satu sesi, nilai *multipath* yang terjadi pada tiap titik pengamatan, interval perekaman data, total satelit, dan informasi lainnya pada saat perekaman data. Pengecekan data dilakukan pada seluruh data pengamatan yang ada.

2. Pengolahan Data GNSS dengan GAMIT

Sebelum melakukan pengolahan dengan software GAMIT terdapat beberapa hal yang harus dilakukan diantaranya adalah persiapan direktori kerja GAMIT, dalam persiapan ini diperlukan pembuatan folder tiap project yang akan diolah. Pemberian nama folder dapat ditentukan sendiri, lalu dilakukan pembuatan folder `/igs`, `/brdc`, `/rinex`, agar sesuai dengan standar pengolahan *automatic batch processing*. Kemudian hal lain yang perlu dilakukan adalah pengeditan file. Pengeditan file dilakukan pada folder `/tables`. Pengeditan dilakukan secara manual pada file `station.info`, `sittbl`, `sestbl`, dan `sites.default` pada masing masing project.

Pengolahan data pengamatan GNSS dengan GAMIT dilaksanakan melalui 4 tahapan pengolahan, yaitu *makexp*, *makex*, *fixdrv* dan *batch processing*. Hasil akhir dari pengolahan data pengamatan GPS dengan GAMIT berupa file Q, file H dan file L. File H digunakan untuk proses selanjutnya yaitu pengolahan dengan perangkat lunak GLOBK. File H hasil pengolahan dengan GAMIT dan file H global hasil download dari internet (IGS H-files) selanjutnya diolah dengan GLOBK. Hasil akhir pengolahan dengan GLOBK berupa file *.prt yang merupakan perhitungan akhir terhadap koordinat dan ketelitian tiap stasiun, panjang *baseline*, ketelitian dan matrik *baseline*-nya

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Pengecekan Data Pengamatan

Kualitas dari data observasi dapat ditunjukkan dengan melihat besar kecilnya nilai *moving average* dari *multipath* untuk sinyal L1 (MP1) dan nilai *moving average* dari *multipath* untuk sinyal L2 (MP2). Untuk

mengetahui nilai tersebut dijalankan perintah TEQC (*Translating, Editing and Quality Check*). MP1 dan MP2 adalah nilai RMS dari kombinasi data *multipath* yang terekam. Data pengamatan yang telah diperoleh kemudian dicek terlebih dahulu untuk mengetahui kualitas data yang digunakan. Kualitas data pengamatan ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Kualitas data pengamatan tahun 2018

Titik	April		Juni	
	MP1 (m)	MP2 (m)	MP1 (m)	MP2 (m)
TK01	1,19564	1,33843	0,99800	1,08488
TK02	1,18053	1,44384	1,13533	1,46904
TK03	0,85980	0,98377	0,91043	1,03105
TK04	0,96312	0,91167	0,77477	0,72453
TK05	0,70990	0,77969	0,66111	0,68928
TK06	0,78116	0,84963	0,96868	0,87273
TK07	0,52283	0,53130	0,65836	0,69508
TK08	0,81971	0,82989	0,75815	0,73891
TK09	1,75736	2,16844	1,96971	2,26180
TK10	0,63602	1,07155	0,88516	1,02775
TK11	1,32936	1,40262	1,39842	1,77961
TK12	0,66591	0,62221	0,68013	0,72409
RATA2	0,95178	1,07775	0,98319	1,09156
RANGE	0,52283	2,16844	0,65836	2,26180

Berdasarkan Tabel 1 terdapat efek *multipath* pada semua titik pengamatan dari 12 titik pengamatan yang ada. Nilai *multipath* berada pada nilai rata rata 0,951778583 m untuk MP1 dan 1,077751417 m untuk MP2 pada pengamatan bulan April 2018, sedangkan untuk bulan Juni 2018 nilai *multipath* rata rata berada pada nilai 0,983186417 m untuk MP1 dan 1,091562667 m untuk MP2. Nilai *multipath* terkecil terdapat pada TK07 yaitu 0,522831 m untuk MP1 dan 0,5313 m untuk MP2 pada pengukuran bulan April 2018 DOY 096. Nilai *multipath* terbesar terjadi pada TK09 yaitu 1,969712 m untuk MP1 dan 2,261797 m untuk MP2 pada periode pengukuran bulan Juni 2018 DOY 178. Pada semua periode pengukuran terjadi *multipath* paling besar pada TK09. Pada pengukuran ini kondisi lapangan memang sangat tertutup akibat rimbunnya pohon dan terdapat tiang listrik di sekitar titik. Pada pengamatan ini nilai *multipath* cukup tinggi di tiap titik sehingga data pengamatan menjadi kurang baik.

IV.2 Hasil Pengolahan Data dengan GAMIT

Pada pengolahan GAMIT terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan. Dalam pengolahan GAMIT dihasilkan 3 files yaitu *q-files*, *h-files* dan *sh_gamit_summary*. Pada *q-files* terdapat hasil analisis program *solve* dari pengolahan data. File ini biasanya berisi nilai *fract*. *Fract* adalah nilai adjust per nilai formal. Dalam pengolahan dengan GLOBK nilai *fract* haruslah berada dibawah 10. Pada penelitian ini tidak ditemukan nilai *fract* diatas dari 10 maka dapat dikatakan bahwa tidak terdapat kesalahan kasar dan sistematis pada saat pengolahan.

Hal lain yang perlu diperhatikan parameter evaluasi pada *summary file* nilai WL (*Wide Lane*) dan NL (*Narrow Lane*). Nilai *wide lane* diatas 90% menunjukkan bahwa pada pengolahan tersebut tidak

ada noise pada pseudorange. Sedangkan nilai narrow lane diatas 80% menunjukkan bahwa pada pengolahan tersebut tidak terdapat kesalahan pada ukuran, konfigurasi jaringan, kualitas orbit, kordinat apriori dan kondisi atmosfer. Hasil summary file pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel summary files

DOY	Phase Ambhiguities	
	WL (%)	NL (%)
279 (2016)	87,0	80,3
280 (2016)	83,3	74,3
285 (2016)	85,7	82,9
286 (2016)	86,1	78,5
287 (2016)	87,8	79,9
95 (2018)	91,6	68,6
96 (2018)	95,0	82,8
97 (2018)	93,8	79,8
176 (2018)	89,9	71,0
177 (2018)	93,4	86,2
178 (2018)	94,0	83,4
179 (2018)	93,8	86,2

Pada penelitian dapat dilihat bahwa nilai NL pada DOY 279, 280, 285, 286, dan 287 berada di bawah 90%. Nilai NL yang berada diatas 80% adalah DOY 279 dan 285 pada periode Oktober tahun 2016 serta DOY 96, 177, 178, dan 179 pada periode April dan Juni tahun 2018.

IV.3 Hasil Pengolahan dengan GLOBK

Dalam pengolahan ini dihasilkan koordinat kartesian geosentrik dan toposentrik global dari masing-masing periode pengukuran yaitu Oktober 2016, April 2018, dan Juni 2018 ditunjukkan pada Tabel 3 sampai Tabel 8.

Tabel 3. Koordinat kartesian dan geografis periode Oktober 2016

Nama	Kartesian (m)			Geografis (°)	
	X	Y	Z	lintang	bujur
TK01	-2200082,7179	5936233,6403	-774610,4264	-7,022327	110,335678
TK02	-2202282,5566	5935435,5499	-774074,2237	-7,017495	110,356858
TK03	-2203715,2480	5934715,6738	-775122,6546	-7,027100	110,371279
TK04	-2204670,5179	5934276,5597	-775389,6945	-7,029584	110,380768
TK05	-2205751,5044	5933925,3669	-775954,2353	-7,034598	110,391046
TK07	-2209521,1496	5932469,4811	-776161,7885	-7,036516	110,427617
TK08	-2211003,9177	5931838,0159	-776693,9234	-7,041373	110,442188
TK09	-2212932,4874	5931110,6226	-776002,0720	-7,035173	110,460843

Tabel 4. Koordinat kartesian dan geografis periode April 2018

Nama	Kartesian (m)			Geografis (°)	
	X	Y	Z	Lintang	Bujur
TK01	-2200082,7521	5936233,5595	-774610,4204	-7,022327	110,335678
TK02	-2202282,7859	5935435,3803	-774074,1178	-7,017495	110,356858
TK03	-2203715,2638	5934715,6713	-775122,6578	-7,027100	110,371279
TK04	-2204670,4577	5934276,4256	-775389,6782	-7,029584	110,380768
TK05	-2205751,5433	5933925,4451	-775954,2600	-7,034598	110,391046
TK06	-2208329,5552	5932934,9263	-776092,7987	-7,035874	110,416040
TK07	-2209521,2848	5932469,5135	-776161,7869	-7,036516	110,427618
TK08	-2211004,0331	5931837,9454	-776693,8255	-7,041372	110,442189
TK09	-2212932,5588	5931110,5363	-776002,0526	-7,035173	110,460844
TK10	-2214453,9179	5930502,5170	-776248,4028	-7,037425	110,475668
TK11	-2197365,2591	5937259,1551	-774341,5911	-7,019894	110,309391
TK12	-2215414,9525	5930123,6774	-776392,7149	-7,038741	110,485016

Tabel 5. Koordinat kartesian dan geografis periode Juni 2018

Nama	Kartesian (m)			Geografis (°)	
	X	Y	Z	Lintang	Bujur
TK01	-2200082,7163	5936233,5959	-774610,4248	-7,022327	110,335678
TK02	-2202282,8027	5935435,3716	-774074,1078	-7,017495	110,356859
TK03	-2203715,2881	5934715,6667	-775122,6634	-7,027100	110,371280
TK04	-2204670,4775	5934276,4733	-775389,6867	-7,029584	110,380768
TK05	-2205751,5424	5933925,3901	-775954,2497	-7,034598	110,391046
TK06	-2208329,5585	5932934,9316	-776092,8024	-7,035874	110,416040
TK07	-2209521,2919	5932469,5140	-776161,7866	-7,036516	110,427618
TK08	-2211004,0410	5931837,9783	-776693,8335	-7,041372	110,442189
TK09	-2212932,4864	5931110,5849	-776002,0868	-7,035173	110,460843
TK10	-2214453,9169	5930502,5211	-776248,4102	-7,037425	110,475668
TK11	-2197365,3339	5937259,1442	-774341,5882	-7,019894	110,309392
TK12	-2215414,9411	5930123,6565	-776392,7065	-7,038741	110,485016

Tabel 6. Koordinat toposentrik periode Oktober 2016

Nama	Toposentrik (m)			Standar Deviasi (m)		
	n	e	u	n	e	u
TK01	-781721,8144	12190388,8469	209,0880	0,0118	0,0296	0,0433
TK02	-781184,1019	12192878,8484	160,0041	0,0167	0,0260	0,0441
TK03	-782253,2002	12194172,0129	113,1733	0,0147	0,0412	0,0453
TK04	-782529,7097	12195145,1526	67,4101	0,0113	0,0154	0,0457
TK05	-783087,8483	12196205,4747	183,5236	0,0072	0,0088	0,0311
TK07	-783301,3453	12200170,6182	159,3972	0,0064	0,0091	0,0273
TK08	-783842,0670	12201629,7750	151,1363	0,0067	0,0089	0,0287
TK09	-783151,8635	12203841,4785	58,7460	0,0116	0,0157	0,0418

Tabel 7. Koordinat toposentrik periode April 2018

Nama	Toposentrik (m)			Standar Deviasi (m)		
	n	e	u	n	e	u
TK01	-781721,8163	12190388,9070	209,0239	0,0161	0,0399	0,0437
TK02	-781184,0059	12192879,1224	159,9126	0,0165	0,0374	0,0431
TK03	-782253,2030	12194172,0286	113,1768	0,0091	0,0139	0,0378
TK04	-782529,7115	12195145,1428	67,2625	0,0070	0,0082	0,0341
TK05	-783087,8623	12196205,4839	183,6128	0,0061	0,0082	0,0267
TK06	-783229,9093	12198891,6063	171,2020	0,0072	0,0080	0,0382
TK07	-783301,3341	12200170,7335	159,4739	0,0052	0,0065	0,0245
TK08	-783841,9723	12201629,9077	151,0987	0,0065	0,0078	0,0310
TK09	-783151,8510	12203841,5755	58,6881	0,0142	0,0147	0,0432
TK10	-783402,5945	12205479,4067	51,5179	0,0058	0,0070	0,0236
TK11	-781451,0441	12187559,6607	193,9861	0,0103	0,0306	0,0433
TK12	-783549,0607	12206436,8468	50,6993	0,0063	0,0071	0,0295

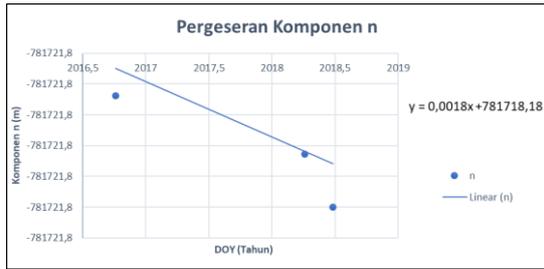
Tabel 8. Koordinat toposentrik periode Juni 2018

Nama	Toposentrik (m)			Standar Deviasi (m)		
	n	e	u	n	e	u
TK01	-781721,8180	12190388,8608	209,0459	0,0116	0,0348	0,0417
TK02	-781183,9961	12192879,1411	159,9091	0,0210	0,0462	0,0430
TK03	-782253,2080	12194172,0529	113,1815	0,0086	0,0129	0,0358
TK04	-782529,7136	12195145,1448	67,3147	0,0069	0,0087	0,0292
TK05	-783087,8584	12196205,5022	183,5601	0,0057	0,0076	0,0257
TK06	-783229,9123	12198891,6076	171,2086	0,0069	0,0079	0,0335
TK07	-783301,3335	12200170,7399	159,4768	0,0054	0,0067	0,0245
TK08	-783841,9761	12201629,9036	151,1330	0,0051	0,0069	0,0224
TK09	-783151,8827	12203841,4907	58,7124	0,0147	0,0144	0,0429
TK10	-783402,6015	12205479,4044	51,5223	0,0053	0,0072	0,0235
TK11	-781451,0393	12187559,7347	194,0013	0,0105	0,0268	0,0419
TK12	-783549,0552	12206436,8435	50,6750	0,0056	0,0072	0,0280

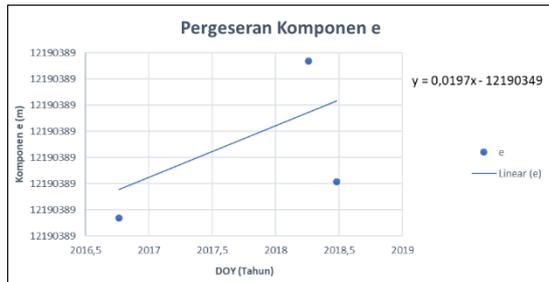
IV.4 Analisis Pergeseran Sesar

Hasil koordinat toposentrik titik-titik pengamatan yang telah dihitung, dapat dilakukan analisis pergeseran sesar. Pada prinsipnya analisis pergeseran hanya melihat perubahan koordinat dari masing-masing titik pada bulan Oktober tahun 2016, April tahun 2018 dan bulan Juni tahun 2018. Salah satu cara untuk mengetahui dan memprediksi pola pergeseran yaitu dengan metode linier fit.

Linier fit dilakukan dengan memanfaatkan informasi data yang sudah diketahui sebelumnya untuk memperkirakan dan menghasilkan data lain yang berkaitan dan tidak diketahui sebelumnya dengan menggunakan pendekatan fungsi linier. Pada penelitian grafik pergeseran dari komponen n, e dan u ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 2. Grafik pergeseran komponen n TK01



Gambar 3. Grafik pergeseran komponen e TK01



Gambar 4. Grafik pergeseran komponen u TK01

Gambar 2, 3, dan 4 menunjukkan pola linier yang terbentuk pada vektor pergeseran untuk komponen n, e, dan u titik TK01. Nilai a di atas menunjukkan nilai vektor pergeseran dari komponen n, e dan u pada grafik linier TK01. Dan nilai b menunjukkan konstanta. Pada TK01 vektor pergeseran n adalah 0,0018 m/tahun, untuk vektor pergeseran e adalah 0,0197 m/tahun, dan nilai vektor pergeseran u adalah 0,031 m/tahun.

Pola linierisasi ditunjukkan dengan garis yang memiliki kecenderungan sesuai dengan persebaran koordinat toposentriknya. Bulatan berwarna biru menunjukkan nilai sebaran koordinat sesuai dengan DOY pengamatan. Absis dari grafik diwakili dengan waktu pengamatan yang dilakukan dan ordinat diwakili dengan nilai koordinat toposentrik tiap komponen.

Hasil nilai vektor pergeseran menandakan adanya perubahan koordinat pengamatan dalam selang waktu tertentu sehingga dapat menandakan terjadinya deformasi pada titik tersebut. Nilai vektor pergeseran dari titik pengamatan masing masing titik pengamatan dapat dilihat dari Tabel 9.

Tabel 9. Tabel vektor pergeseran titik pengamatan

Titik	Vektor pergeseran (m)		Resultan (m)
	e	n	
TK01	0,0197	-0,0018	0,0198
TK02	0,1748	0,0625	0,1856
TK03	0,0187	-0,0036	0,0190
TK04	-0,0052	-0,0019	0,0056
TK05	0,0126	-0,0072	0,0145
TK07	0,0291	0,0028	0,0292
TK08	-0,0183	-0,0169	0,0249
TK09	0,0283	-0,0041	0,0286

Hasil perhitungan vektor pergeseran dihasilkan nilai komponen n, e, dan u pada masing masing titik pengamatan. Pada penelitian ini hanya digunakan komponen horizontal yaitu n dan e sebagai nilai deformasi yang terdampak oleh sesar. Dari hasil pengolahan nilai vektor pergeseran dapat dilihat bahwa nilai vektor terbesar adalah komponen e dari TK02 yaitu sebesar 0.17 m/tahun dan nilai komponen n terbesar adalah TK02 yaitu sebesar 0.06 m/tahun.

Dalam pengolahan ini nilai koordinat dari hasil pengolahan GAMIT masih terpengaruh dari nilai rotasi blok sunda. Untuk dapat menghitung nilai vektor pergeseran titik pengamatan yang hanya dipengaruhi oleh sesar maka perlu dicari nilai vektor pergerakan rotasi blok sunda dari masing-masing titik pengamatan. Vektor kecepatan pergeseran blok sunda dapat dihitung dengan model *euler pole* dalam ITRF 2008 yang memiliki pusat rotasi lintang euler pole = 46,202° dan bujur euler pole = -85,899° dengan kecepatan rotasi sebesar 0,370 deg/Myr (Kuncoro, H. 2013). Hasil perhitungan rotasi blok sunda dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Tabel nilai rotasi blok sunda

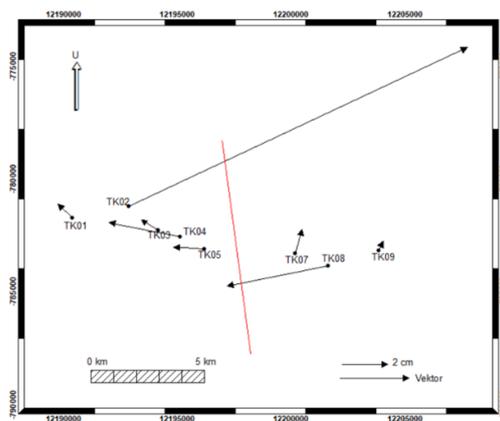
Nama titik	Kecepatan rotasi (m/tahun)		Koordinat (°)	
	e (m)	n (m)	Lat	Long
TK01	0,02613	-0,007961	-7,022327	110,335678
TK02	0,02613	-0,007971	-7,017496	110,356856
TK03	0,02613	-0,007978	-7,027100	110,371279
TK04	0,02613	-0,007982	-7,029584	110,380768
TK05	0,02612	-0,007987	-7,034598	110,391046
TK07	0,02612	-0,008005	-7,036516	110,427617
TK08	0,02612	-0,008011	-7,041373	110,442188
TK09	0,02613	-0,008020	-7,035173	110,460843

Selanjutnya dengan mengurangi nilai vektor kecepatan pergeseran titik pengamatan pertahun dengan kecepatan pergerakan titik pengamatan akibat rotasi dari blok sunda, maka didapatkan nilai kecepatan pergerakan titik pengamatan akibat proses deformasi Sesar Kaligarang. Nilai vektor ini yang kemudian digunakan dalam tahapan selanjutnya dalam analisis pergeseran sesar. Nilai vektor kecepatan setelah dikurangi oleh rotasi blok sunda ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Vektor kecepatan setelah dikurangi blok sunda

Titik	e (m)	n (m)	Resultan (m)
TK01	-0,0064	0,0062	0,0089
TK02	0,1487	0,0704	0,1645
TK03	-0,0075	0,0044	0,0087
TK04	-0,0314	0,0061	0,0320
TK05	-0,0136	0,0008	0,0136
TK07	0,0030	0,0108	0,0112
TK08	-0,0444	-0,0089	0,0453
TK09	0,0021	0,0039	0,0045

Dengan dikurangi rotasi blok sunda maka dapat diketahui nilai vektor kecepatan Sesar Kaligarang yang sebenarnya. Hasil penggambaran dengan software AutoCAD ditunjukkan pada Gambar 5.



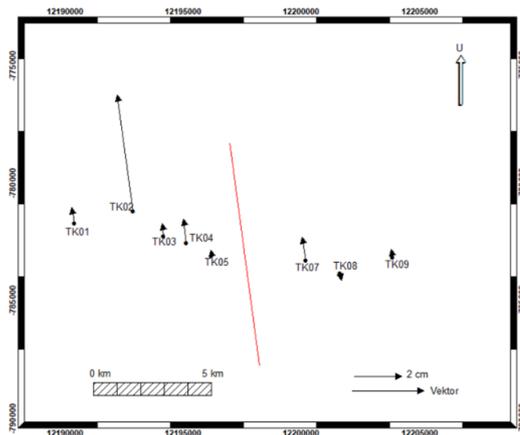
Gambar 5. Gambar vektor pergeseran tanpa dipengaruhi blok sunda

Untuk mengetahui pergeseran titik yang sejajar sesar maka dilakukan linierisasi vektor kecepatan pergeseran sehingga sejajar dengan arah Sesar Kaligarang. Hasil dari linierisasi vektor kecepatan yang searah bidang sesar atau $S(y)$ disajikan dalam Tabel 12.

Tabel 12. Nilai pergeseran berdasarkan arah bidang sesar

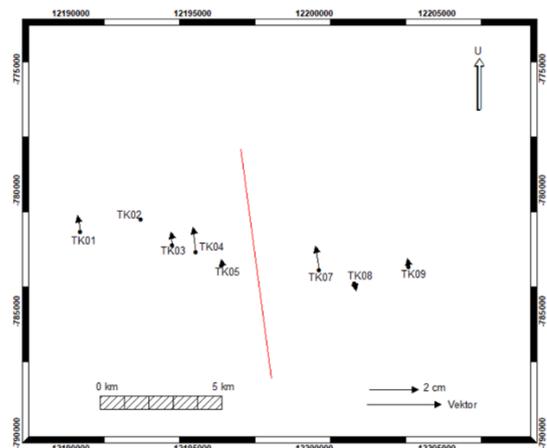
Titik	Jarak ke bidang sesar (km)	$S(y)$ (mm)
TK01	7,15	6,96
TK02	4,90	49,93
TK03	3,44	5,37
TK04	2,44	10,23
TK05	1,39	2,60
TK07	2,49	10,35
TK08	4,11	-2,89
TK09	6,20	3,58

Berdasarkan Tabel 12 dapat terlihat bahwa nilai terbesar dari pergeseran searah sesar dialami oleh TK02 sebesar 49,93 mm/tahun. Hasil dari linierisasi vektor kecepatan yang sesuai arah bidang sesar digambarkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Gambar vektor pergeseran searah sesar

Berdasarkan hasil pergeseran tersebut dapat dilihat bahwa TK02 memiliki nilai yang sangat besar dan besar kemungkinan data tersebut tidak sesuai dengan teori pergerakan sesar. Sehingga nilai vektor pergeseran TK02 tidak digunakan dalam persamaan dalam mencari nilai *slip rate* dan *locking depth*. Linierisasi vektor kecepatan dengan menghilangkan TK02 pada perhitungan *slip rate* dan *locking depth* digambarkan pada Gambar 7.



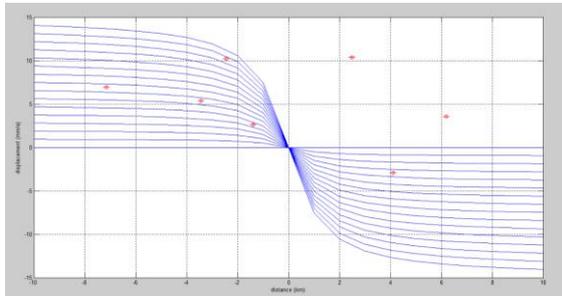
Gambar 7. Gambar vektor pergeseran sejajar arah sesar tanpa TK02

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat dilihat bahwa Sesar Kaligarang mengalami pergeseran sebanyak 2,6 mm sampai 10,23 mm pertahun pada bagian barat sesar, sedangkan untuk bagian timur sesar mengalami pergeseran -2,89 mm sampai dengan 10,35 mm pertahunnya.

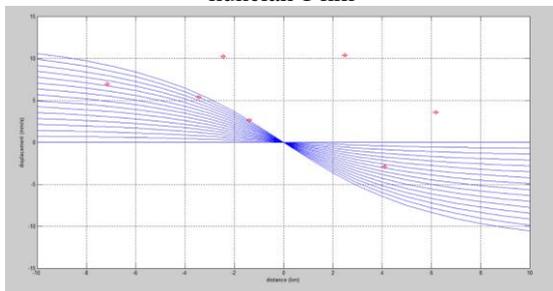
IV.5 Model Estimasi Laju Geser dan Kedalaman Sumber

Dengan adanya model tingkat aktivitas sesar, maka bisa menghitung estimasi laju geser dan kedalaman sumber sesar yang terkunci dengan menggunakan rumus II-1. Estimasi laju geser (*slip rate*) dan kedalaman sumber sesar yang terkunci (*locking depth*) dapat dihitung dengan adanya pemodelan

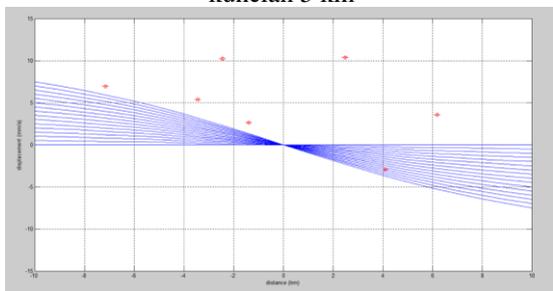
tingkat aktivitas sesar. Pada penelitian ini digunakan model grafik *slip rate* dengan asumsi kedalaman sebesar 1 km, 5 km, 10 km dan 15 km dan menggunakan rentang *slip rate* 0 mm/tahun sampai 30 mm/tahun sehingga terdapat 15 garis *slip rate*. Untuk hasil grafik *slip rate* ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 8. Grafik *slip rate* dengan asumsi kedalaman kuncian 1 km



Gambar 9. Grafik *slip rate* dengan asumsi kedalaman kuncian 5 km



Gambar 10. Grafik *slip rate* dengan asumsi kedalaman kuncian 10 km

Pada grafik *slip rate* di atas sumbu absis (x) menunjukkan jarak titik pengamatan ke bidang sesar, sedangkan sumbu ordinat (y) menunjukkan kecepatan pergeseran setelah dipararelkan dari setiap titik pengamatan. Garis biru diatas menunjukkan nilai rentang *slip rate* dengan interval 2 mm/tahun sampai dengan 30 mm/tahun dengan jumlah 15 garis, Apabila titik berada di atas bidang sesar maka jarak bernilai positif, sedangkan bila di bawah sesar maka bernilai negatif.

Untuk mengetahui nilai *slip rate* dari grafik seharusnya titik-titik pengamatan atau titik-titik merah berada diantara garis *slip rate*, sehingga didapatkan satu garis *slip rate* dengan sebaran titik merah terbanyak. Namun pada 3 grafik diatas belum

menunjukkan titik-titik merah yang konvergen berada di satu garis *slip rate*, ini menunjukkan bahwa dari data pengamatan pada penelitian ini tidak dapat menunjukkan nilai *slip rate* Sesar Kaligarang.

Hasil ini dapat dianalisa bahwa data dari nilai pengamatan tidak konvergen satu sama lain menuju garis *slip rate* yang sama dalam grafik di atas. Hal ini bisa disebabkan oleh kurang banyaknya data pengamatan dalam perhitungan kecepatan pergerakan, serta kualitas data yang kurang baik dari masing masing titik pengamatan saat dilakukan pengukuran secara langsung yang dapat dilihat dari nilai *multipath* tiap titik yang masih cukup besar.

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi Deformasi yang terjadi di daerah Sesar Kaligarang dari tahun 2016 hingga tahun 2018 mengalami pergeseran sebesar 0,008 m/tahun hingga 0,164 m/tahun. Pergeseran yang diakibatkan oleh pengaruh sesar sebesar 2,60 mm/tahun hingga 10,23 mm/tahun pada bagian barat sesar dan sebesar -2,89 mm/tahun hingga 10,35 mm/tahun pada bagian timur sesar.
2. Pada permodelan grafik *slip rate* nilai koordinat titik pengamatan tidak konvergen pada satu garis *slip rate* pada persamaan grafik *slip rate*. Sehingga pada penelitian ini belum menunjukkan nilai *slip rate* serta *locking depth* dari Sesar Kaligarang.

V.2 Saran

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

1. Perlu adanya standar mengenai pemilihan titik pengamatan sebagai titik pemantauan Sesar Kaligarang, agar dapat mendapatkan hasil pengamatan dengan kualitas data yang baik.
2. Disarankan menggunakan stasiun kontinu pada titik pemantauan Sesar Kaligarang agar tidak mengalami kesalahan dalam *centering* menggunakan alat.
3. Penelitian ini sebaiknya dapat dilakukan ditahun selanjutnya dengan memperbanyak data pengamatan agar dapat mengurangi kesalahan akibat banyaknya data yang *outlier*.
4. Untuk memperoleh data yang lebih baik perlu memperhatikan saat *centering* alat, menjaga agar alat selalu dalam keadaan *center* dan mencermati saat pengukuran tinggi alat.

Daftar Pustaka

- Abidin, H.Z., 2001, Geodesi Satelit. Jakarta : PT. Pradnya Paramitha.
 Billing, M. P ., 1959. *Structural Geology*, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey

- Fahrudin, dkk. 2011. Studi Sesar Aktif, Kinematik, dan Dinamik Zona Sesar Kaligarang (KGFZ) di Semarang. Jurnal Proceedings JCM Makassar 2011.
- Helmy, M. 2008. Kajian Geologi dan Neotektonik untuk Melaraskan Program Pembangunan Di Wilayah Kota Semarang, Jawa Tengah. Laporan Penelitian Hibah Bersaing, UPN Veteran Yogyakarta.
- Kuang, S. 1996. Geodetic Network Analysis And Optimal Design : Concept And Application. ANN HARBOUR PRESS, INC, Chelsea, Michigan.
- Kuncoro, H., Meilano, I., Sarsito, DA. 2013. Estimasi Parameter Rotasi Euler Blok Sunda Berdasarkan Data Pengamatan GPS Kontinyu Dan Episodik Di Regional Asia Tenggara. Tesis Program Studi Teknik Geodesi Dan Geomatika Institut Teknologi Bandung
- Meilano, I., Abidin, H.Z., Andreas, H., Gumilar, I., Sarsito, D., Hanifa, R. Rino, Harjono, H., Kato, T., Kimata, F., Fukuda, Y. 2012. *Slip rate* Estimation of the Lembang Fault West Java from Geodetic Observation. Journal of Disaster Research Vol.7 No.1, 2012.
- Nurfarida, N. 2010. Analisis Laju Geser dan Potensi Bahaya Gempa Sesar Cimandiri Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2006-2010. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi Dan Geomatika Institut Teknologi Bandung.
- Poedjoprajitno, S. dkk.2008. Reaktivitas Sesar Kaligarang, Semarang. Pusat Survei Geologi. Jurnal Geologi Indonesia, Vol.3 No.3 September 2008 : Bandung.
- Thanden, R.E, dkk. 1996. Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa. Skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.