

**PENGAMATAN DEFORMASI SESAR KALIGARANG
DENGAN GPS TAHUN 2015**

Amal Fathullah, Moehammad Awaluddin, Haniah^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang Semarang Telp.(024) 76480785, 76480788
email : geodesi@undip.ac.id

ABSTRAK

Kegiatan tektonik di Kota Semarang menyebabkan terbentuknya sesar. Di selatan Semarang terdapat sesar naik (*thrust fault*). Sesar ini dipotong oleh sesar mendatar yang berarah barat laut- tenggara atau timur laut - barat daya, diantaranya sesar Kaligarang. Sesar Kaligarang berada di lembah sungai kaligarang. Sungai Kaligarang membelah wilayah Semarang pada arah hampir utara – selatan.

Untuk mengetahui kondisi deformasi dari Sesar Kaligarang maka dilakukan pengamatan secara berkala. Pengamatan dilakukan pada titik- titik kontrol yang telah ada dengan menggunakan GPS *Dual Frequency*. Pengukuran titik-titik kontrol dilakukan dengan metode statik, dan pengamatan dilakukan selama 7-8 jam. Data pengamatan diolah dengan *scientific software*, yaitu GAMIT 10.5. Hasil dari pengolahan data dengan GAMIT 10.5. adalah koordinat geosentris, kemudian koordinat ditransformasikan ke koordinat toposentrik dengan koordinat origin data koordinat tahun 2014 untuk titik kontrol lama dan untuk titik baru menggunakan koordinat pengamatan Maret 2015 sebagai origin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tipe sesar dan laju geser dari Sesar Kaligarang.

Hasil dari penelitian ini adalah terjadinya pergeseran yang signifikan dari masing – masing titik pengamatan dengan pergeseran terbesar mencapai 0,132 m/tahun, sehingga dapat disimpulkan bahwa pada Sesar Kaligarang terjadi deformasi. Menurut hasil dari penelitian ini tipe Sesar Kaligarang adalah sesar geser menganan. Nilai dari *slip rate* dan *locking depth* dari Sesar Kaligarang belum bisa ditentukan karena nilai pergeseran terlalu besar dengan kecepatan pergeseran sesar antara 1,1 mm/tahun hingga 26,5 mm/tahun pada bidang di sebelah barat sesar, sedangkan untuk bagian timur sesar memiliki kisaran kecepatan pergeseran antara 7,9 mm/tahun hingga 10 mm/tahun.

Kata Kunci : GAMIT 10.5, GPS, *Locking depth*, Sesar Kaligarang, , *Slip rate*

ABSTRACT

Tectonic activity in Semarang led to the formation of the fault. In the South of Semarang, there is sesar (thrust fault). These faults are cut by flattening the west trending fault sea- southeast or northeast - southwest, including Kaligarang fault . Kaligarang river divides the area of Semarang on North - South direction virtually.

To determine the condition of deformation of Fault Kaligarang then conducted observations periodically. The observation is done at existing control point using GPS Dual Frequency. Measurement of control points is done with static methods, and observations made during the 7-8 hours. Observation data processed with scientific software, namely GAMIT 10.5. The results of data processing by Gamit 10.5. is a geocentric coordinates, and the coordinates are transformed into coordinates with the coordinates origin toposentrik coordinate data in 2014 for the old control point and for a new point using the coordinate observations in March 2015 as the origin. The purpose of this research is to know the fault type and Fault rate slide from Kaligarang.

The results of this research is the occurrence of a significant displacement from each observation point with the greatest displacement reaches 0,132 m/year, so it can be concluded that at Fault Kaligarang occurred deformation. According to the results of this research type of Fault Kaligarang is right-lateral strike slip fault. The value of the slip rate and locking depth of Sesar Kaligarang can not be determined because of a displacement in values large to speed displacement fault between 1,1 mm/year to 26.5 mm/year in the field of fault to the West, while the eastern part of the fault to have a range of speeds displacement between 7.9 mm/year up to 10 mm/year.

Keywords: GAMIT 10.5, GPS, *Kaligarang Faul*, *Locking depth t*, *Slip rate*

^{*)}Penulis, Penanggungjawab

I. Pendahuluan

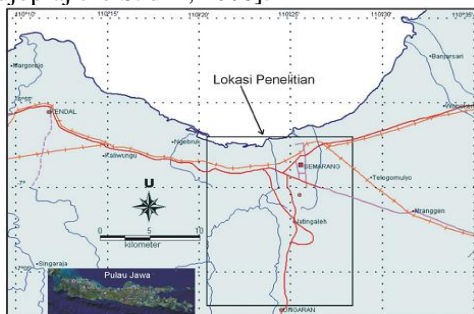
I.1. Latar Belakang

Semarang terletak di bagian utara Jawa, sehingga besar kemungkinan terjadi kegiatan lempeng tektonik yang bisa bergeser sewaktu-waktu. Kegiatan tektonik di Kota Semarang menyebabkan terbentuknya sesar. Identifikasi sesar dan struktur penyerta yang tepat akan memberikan pemahaman kinematika dan dinamika dari zona Sesar Kaligarang. Sesar Kaligarang merupakan salah satu sesar yang masih aktif.

Penelitian mengenai aktivitas tektonik di Semarang yang dilakukan oleh [Thanden R.E. dkk, 1996] menyatakan bahwa kegiatan tektonik paling akhir di Semarang terjadi pada *Plio-Plistosen*. Di selatan Semarang terdapat sesar naik (*thrust fault*). Sesar ini dipotong oleh sesar mendatar yang berarah barat laut- tenggara atau timur laut - barat daya, diantaranya sesar Kaligarang [Simandjuntak T.O, 2003].

Sesar Kaligarang yang membelah Kota Semarang pada arah utara - selatan mengalami sejarah kegiatan yang panjang. Pada zaman Tersier, Sesar Kaligarang merupakan sesar jurus mendatar manganan. Pergeseran sesar ini diakibatkan oleh tektonika pada zaman itu yang mempunyai tegasan utama terbesar berarah timur laut - barat daya. Pada zaman kuartar sesar ini teraktifkan kembali sebagai sesar jurus mendatar mengiri. Pengaktifan kembali sesar ini diakibatkan oleh tegasan utama terbesar yang berarah relatif barat laut - tenggara. Sesar Kaligarang merupakan sesar geser yang memiliki arah relatif utara - selatan ($N5^{\circ}E - N185^{\circ}E$) [Helmy M, 2008].

Lembah sungai ini diduga merupakan sesar yang aktif sejak zaman tersier hingga kuartar. Lokasi penelitian terletak di sekitar Kota Semarang, yang dibatasi oleh koordinat $110^{\circ} 20' 25''$ BT - $110^{\circ} 28' 25''$ BT dan $06^{\circ} 57' 00''$ LS - $07^{\circ} 07' 00''$ LS [Poedjoprajitno S. dkk, 2008].



Gambar I.1. Lokasi Penelitian [Poedjoprajitno S. dkk, 2008]

Pemantauan Sesar Kaligarang dengan metode geodetik dilakukan dengan menggunakan survei GPS. GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi dan informasi mengenai waktu, secara kontinu diseluruh dunia tanpa

tergantung waktu dan cuaca, kepada banyak orang secara simultan.

Aktivitas sesar yang dinyatakan dengan *slip rate* atau laju geser akan mengakibatkan pergeseran juga di permukaan bumi. Besarnya *slip rate* tidak bisa diukur secara langsung, tetapi dengan adanya data pergeseran di permukaan bumi yang bisa didapat dari pengukuran GPS, pergeseran di bidang gempa (sesar) bisa dihitung dengan teknik inversi dari data-data pergeseran di permukaan [Awaluddin M, 2012].

I.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi deformasi yang dialami lingkungan Sesar Kaligarang?
2. Berapa nilai *slip rate* dan *locking depth* yang dialami oleh Sesar Kaligarang?

I.3. Batasan Masalah

Untuk menjelaskan permasalahan yang akan dibahas dan agar tidak terlalu jauh dari kajian masalah, maka penelitian ini akan dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Daerah penelitian Tugas Akhir adalah di lingkungan sesar Solorejo, Kaligarang Kota Semarang, Jawa Tengah yang dibatasi oleh koordinat $110^{\circ} 28' 25''$ BT dan $07^{\circ} 07' 00''$ LS.
2. Pengumpulan data 9 titik kontrol di sekitar sesar Kaligarang dengan melakukan pengukuran GPS *Geodetic Dual Frequency* secara statik dan episodik.
3. Penelitian berfokus pada deformasi pada Lingkungan Sesar Kaligarang yang terjadi pada bulan Maret - Juni 2015 dengan melakukan dua kali pengambilan data dengan selang waktu tiga bulan yaitu pada bulan Maret dan Juni 2015.

I.4. Maksud dan Tujuan Penelitian

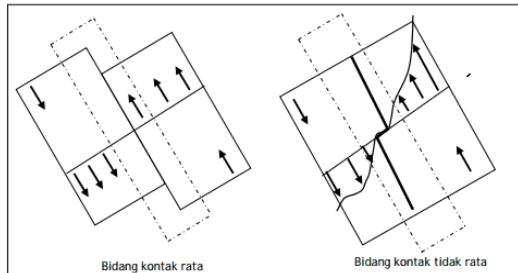
Adapun tujuan Penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini, adalah:

1. Mengetahui tipe sesar kaligarang.
2. Melakukan pengukuran titik kontrol pengamatan deformasi sesar kaligarang secara teliti menggunakan alat ukur GPS *Geodetic Dual Frequency* sebanyak 2 kali pengukuran.
3. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menghitung laju geser Sesar Kaligarang dengan pengukuran GPS

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Sesar (Fault)

Sesar merupakan salah satu bentuk patahan dari lapisan batuan yang mengakibatkan suatu lapisan bergerak relatif turun atau naik, ataupun bergerak kekanan atau kekiri terhadap lapisan batuan yang lainnya.



Gambar II.1. Karakteristik Bidang Sesar [Setiadi A, 2008]

Apabila bidang kontak dari sesar rata, maka tidak akan terjadi akumulasi energi, kemungkinan tidak akan terjadi gempa, karena blok-blok yang berbatasan saling melewati begitu saja. Energi yang terjadi kecil dan masih dapat diimbangi oleh sifat elastik dari lempeng. Tetapi, bidang kontak sesar biasanya tidak rata sehingga pada waktu terjadi kontak, blok-blok tektonik yang bertemu pada suatu saat akan mengalami mekanisme saling menahan atau mengunci sehingga kedua blok tertahan dan tidak dapat bergerak. Pada saat itu akan terjadi akumulasi energi akibat adanya dua gaya yang berlawanan arah, energi yang terkumpul semakin lama semakin besar sampai pada suatu saat akumulasi energi tersebut tidak dapat diimbangi oleh elastisitas dari bidang kontak. Blok-blok lempeng yang tadi saling mengunci akan terlepas disertai pelepasan energi yang menjadi gelombang gempa. Setelah pelepasan energi tersebut, kedua blok lempeng akan mulai bergerak kembali sampai pada suatu saat blok-blok lempeng itu akan menemukan keadaan stabil lagi.

Suatu wilayah dikatakan mengalami deformasi apabila terjadi perubahan atau pergeseran koordinat pada titik-titik pengamatan yang dilakukan secara berkala. Pergeseran yang digunakan disini adalah pergeseran dalam koordinat toposentrik, dimana titik acuan yang digunakan merupakan pengamatan awal disetiap 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 A, 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 sebagai berikut [Meilano I, 2012] :

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

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 merupakan sesar aktif yang membelah Kota Semarang pada arah utara - selatan telah mengalami sejarah kegiatan yang panjang. Pada zaman Tersier, Sesar Kaligarang merupakan sesar jurus mendatar menganan. Pergeseran sesar ini diakibatkan oleh tektonika pada zaman itu yang mempunyai tegasan utama terbesar berarah timur laut - barat daya. Pada zaman Kuartar sesar ini teraktifkan kembali sebagai sesar jurus mendatar mengiri. Pengaktifan kembali sesar ini diakibatkan oleh tegasan utama terbesar yang berarah relatif barat laut - tenggara [Poedjoprajitno S. dkk, 2008].

II.3. Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda [Kuang S, 1996]. Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Dikatakan titik bergerak absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri dan dikatakan relatif apabila gerakan itu dikaji dari titik yang lain. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sistem kerangka referensi (absolut atau relatif).

Untuk mengetahui sifat deformasi yang terjadi dibutuhkan 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. GPS (Global Positioning System)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga-

dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, dan bagi banyak orang secara simultan. Saat ini GPS sudah banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi, kecepatan, percepatan ataupun waktu yang teliti. GPS dapat memberikan informasi posisi dengan ketelitian bervariasi dari beberapa millimeter (orde nol) sampai dengan uluhan meter [Abidin H.Z, 2001].

Beberapa kemampuan GPS antara lain dapat memberikan informasi tentang posisi, kecepatan, dan waktu secara cepat, akurat, murah, dimana saja di bumi ini tanpa tergantung cuaca. Hal yang perlu dicatat bahwa GPS adalah satu-satunya sistem navigasi ataupun sistem penentuan posisi dalam beberapa abad ini yang memiliki kemampuan handal seperti itu [Abidin H.Z, 2007].

III. Metodologi Penelitian

III.1. Alat Yang Digunakan

Peralatan yang dibutuhkan untuk penelitian dibagi menjadi dua komponen yaitu :

- a. *Hardware*
 - 1) Laptop dengan spesifikasi *Processor Intel(R) Core(TM) i3 CPU, 2328M @2.20 GHz, RAM 2 GB 32-bit Operating System,*
 - 2) Alat Tulis,
 - 3) Patok Peralon,
 - 4) GPS Topcon Hiper Gb,
 - 5) Statif,
 - 6) Meteran.
- b. *Software*
 - 1) Sistem Operasi Ubuntu 14.10 LTS.
 - 2) Perangkat lunak GAMIT versi 10.5.
 - 3) TEQC untuk cek kualitas data obsevasi GPS dan menggabungkan data observasi.
 - 4) *Software Topcon Link*
 - 5) *Software Microsoft Word 2007.*
 - 6) *Software Microsoft Excel 2007*
 - 7) *Software Microsoft Visio 2007*

III.2. Data Penelitian

Data yang akan digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

- a. *Data Pengamatan*
 Data pengamatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data pengamatan GPS yang dilakukan di segmen Tinjomoyo pada penelitian sebelumnya yaitu pada tahun 2014 di bulan Juni dan Juli, kemudian data pengamatan di tahun 2015 yang dilakukan dalam dua periode pada bulan Maret dan Juni di Sesar Kaligarang, Semarang. Titik yang digunakan adalah titik

T01k, T02k, T03k, T04k, T05k, T06k, T07k, T08k, T09k yang terpasang di lokasi Sesar Kaligarang.

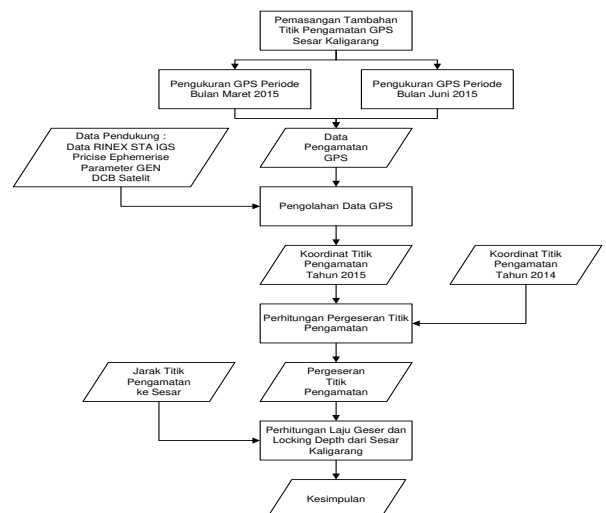
b. *Data Pendukung*

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/>
- 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>.
- 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>.
- 4) *H-file* global diunduh pada <ftp://garner.ucsd.edu/pub/hfiles> dengan DOY yang sama dengan DOY pada saat pengamatan.

III.3. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode GPS secara statik selama 7-8 jam dengan pengikatan ke 4 titik IGS yaitu BAKO, COCO, DARW, PIMO. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada *Gambar III.1. :*



Gambar III.1. Diagram Alir Penelitian

III.4. Pengolahan Data

Proses yang dilakukan untuk melakukan pengolahan data adalah :

- a. Pengecekan Dengan TEQC
Data pengamatan terlebih dahulu dilakukan cek kualitas sebelum diolah dengan *software* GAMIT. Pengecekan data dilakukan untuk mengetahui waktu mulai dan berakhirnya sebuah pengamatan, nilai *multipath* yang terjadi, interval perekaman, total satelit, dan informasi lainnya yang mana dapat menggunakan *software* TEQC.
- b. Pengolahan Data Dengan GAMIT
GAMIT/GLOBK adalah sebuah paket *software* komprehensif untuk analisis data GPS yang dikembangkan oleh MIT, *Harvard-Smithsonian 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.

Pengolahan data pengamatan GPS 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. Hasil Pengecekan Data dengan TEQC

Hasil cek kualitas data pengamatan GPS Sesar Kaligarang dapat dilihat pada *Tabel IV.1.* dan *Tabel IV.2.* :

Tabel IV. 1. Hasil uji kualitas pada periode Maret 2015

Titik (DOY)	MP1 (m)	MP2 (m)
T01k (070)	1,62871	1,698712
T02k (068)	1,24496	1,777287
T03k (066)	0,78408	0,850550
T04k (068)	0,38980	0,361962
T05k (067)	0,87760	1,051265
T06k (067)	1,19297	1,389846
T07k (065)	1,11373	1,235119
T08k (065)	1,07364	1,082789
T09k (070)	0,69923	0,712248
Rata-rata	1,00052	1,128864

Tabel 2. Hasil uji kualitas pada periode Juni 2015

Titik (DOY)	MP1 (m)	MP2 (m)
T01k (162)	1,59376	1,672481
T02k (158)	1,29042	1,584714
T03k (158)	0,67607	0,670048
T04k (163)	0,42649	0,397110
T05k (157)	0,96190	1,019502
T06k (157)	1,23753	1,391364
T07k (161)	1,15096	1,288225
T08k (161)	1,20043	1,285762
T09k (162)	0,63104	0,619799
Rata-rata	1,01873	1,103223

Pada *Tabel IV.1.* dan *Tabel IV.2.* menunjukkan efek *multipath* terjadi pada 8 titik pengamatan dari total 9 titik pengamatan. Dimana nilai *multipath* atau *moving average* pada MP1 yang paling besar adalah pada titik T01k yaitu 1,62871 m di periode Maret dan 1,59376 m di periode Juni, sedangkan *multipath* terkecil ada pada titik T04k yaitu sebesar 0,38980 m di periode Maret dan 0,42649 m di periode Juni. Nilai MP2 yang paling besar ada pada titik T02k yaitu sebesar 1,777287 m di periode Maret dan di periode Juni di titik T01k yaitu sebesar 1,672481 m. Sedangkan nilai MP2 terkecil ada pada titik T04k yaitu sebesar 0,361962 m di periode Maret dan 0,397110 m di periode Juni. Rata-rata nilai MP1 adalah sebesar 1,00052 m di periode Maret dan 1,01873 m di periode Juni. Rata-rata nilai MP2 sebesar 1,128864 m di periode Maret dan 1,103223 m di periode Juni. Secara keseluruhan nilai MP1 dan MP2 pada data pengamatan periode Maret dan Juni lebih dari 0,5 m yang artinya terjadi efek *multipath* yang besar pada titik-titik pengamatan.

IV.2. Hasil Pengolahan dengan GAMIT/GLOBK

Hasil dari pengolahan GAMIT dan GLOBK adalah nilai koordinat beserta simpangan bakunya. Nilai koordinat dari masing-masing titik setiap periode pengukuran ditampilkan dalam *Tabel IV. 3.* *Tabel IV. 4.* *Tabel IV. 5* dan *Tabel IV. 6.* :

Tabel IV.3. Koordinat kartesian titik pengamatan periode Maret 2015

Nama Titik	Koordinat (m)			Simpangan Baku (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
T01k	-2.206.937,52856	5.933.331,37783	-776.546,45355	0,10579	0,11500	0,01980
T02k	-2.207.017,63943	5.933.283,15235	-776.440,27400	0,01943	0,02923	0,00837
T03k	-2.207.054,18434	5.933.266,45142	-776.412,73793	0,03525	0,04823	0,01312
T04k	-2.207.064,78796	5.933.268,43946	-776.338,36002	0,14416	0,15668	0,02123
T05k	-2.207.200,16650	5.933.222,53850	-776.342,31265	0,04900	0,05972	0,01529
T06k	-2.207.260,61138	5.933.210,21155	-776.262,13619	0,06273	0,13336	0,02272
T07k	-2.207.699,02130	5.933.118,16289	-776.034,10734	0,06755	0,09941	0,02159
T08k	-2.207.506,62931	5.933.196,89688	-775.934,18962	0,06321	0,07710	0,02387
T09k	-2.206.607,35812	5.933.474,73512	-776.718,46010	0,02373	0,03827	0,00993

Tabel IV.4. Koordinat kartesian titik pengamatan periode Juni 2015

Nama Titik	Koordinat (m)			Simpangan Baku (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
T01k	-2.206.937,52956	5.933.331,41284	-776.546,45713	0,03539	0,06287	0,01223
T02k	-2.207.017,60238	5.933.283,25649	-776.440,28467	0,03105	0,06316	0,01306
T03k	-2.207.054,15854	5.933.266,41179	-776.412,73034	0,01901	0,03484	0,00868
T04k	-2.207.064,76942	5.933.268,41087	-776.338,34777	0,01632	0,02667	0,00767
T05k	-2.207.200,12380	5.933.222,45407	-776.342,31595	0,02185	0,03949	0,00873
T06k	-2.207.260,61728	5.933.210,20735	-776.262,12661	0,03622	0,08811	0,01514
T07k	-2.207.698,56014	5.933.119,24289	-776.034,20094	0,02704	0,06311	0,0153
T08k	-2.207.505,93341	5.933.198,57585	-775.934,38613	0,02658	0,06132	0,0146
T09k	-2.206.607,36278	5.933.474,62518	-776.718,37313	0,0167	0,02974	0,00807

Tabel IV.5. Koordinat geodetik titik pengamatan periode Maret 2015

Nama Titik	Koordinat		
	Lintang	Bujur	Tinggi (m)
T01k	7° 57' 35,74350" S	110° 24' 10,7306" E	113,766
T02k	7° 57' 39,10490" S	110° 24' 13,7248" E	83,614
T03k	7° 57' 39,98288" S	110° 24' 15,0306" E	77,349
T04k	7° 57' 42,40796" S	110° 24' 15,3318" E	73,754
T05k	7° 57' 42,29693" S	110° 24' 19,9875" E	78,385
T06k	7° 57' 44,92515" S	110° 24' 21,9734" E	78,012
T07k	7° 57' 52,55760" S	110° 24' 36,4072" E	116,179
T08k	7° 57' 55,81233" S	110° 24' 29,6375" E	110,592
T09k	7° 57' 30,26353" S	110° 23' 59,0192" E	153,979

Tabel IV.6. Koordinat geodetik titik pengamatan periode Juni 2015

Nama Titik	Koordinat		
	Lintang	Bujur	Tinggi (m)
T01k	7° 57' 35,74352" S	110° 24' 10,7302" E	113,799
T02k	7° 57' 39,10489" S	110° 24' 13,7225" E	83,699
T03k	7° 57' 39,98294" S	110° 24' 15,0302" E	77,303
T04k	7° 57' 42,40822" S	110° 24' 15,3316" E	73,719
T05k	7° 57' 42,29645" S	110° 24' 19,9871" E	78,293
T06k	7° 57' 44,92545" S	110° 24' 21,9763" E	78,009
T07k	7° 57' 52,55797" S	110° 24' 36,3808" E	116,179
T08k	7° 57' 55,81129" S	110° 24' 29,5972" E	111,937
T09k	7° 57' 30,26593" S	110° 23' 59,0206" E	153,868

IV.3. Deformasi Titik Pengamatan Sesar

Untuk mengetahui besarnya nilai pergeseran titik pengamatan sesar maka dilakukan transformasi koordinat geodetis menjadi koordinat toposentrik.

Menggunakan rumus perhitungan transformasi koordinat toposentrik, maka dilakukan dua kali perhitungan dengan dua koordinat origin yang berbeda. Perhitungan pertama adalah dengan menggunakan koordinat pengamatan tahun 2014 sebagai koordinat origin, sedangkan perhitungan kedua menggunakan koordinat periode Maret 2015 sebagai origin. Perhitungan dilakukan dua kali dikarenakan ada perbedaan titik pengamatan di tahun 2015 dibandingkan dengan tahun 2014. Hasil dari perhitungan ditampilkan pada Tabel IV.7. Tabel IV.8. dan Tabel IV.9. :

Tabel IV.7. Koordinat Toposentrik periode Maret 2015 dengan koordinat origin 2014

Nama Titik	Koordinat (m)		
	n	e	u
T01k	0,018573	-0,008315	0,0340711
T02k	0,03199	-0,01493	0,0415096
T03k	-0,01926	-0,085458	-0,042993
T05k	-0,02588	-0,11109	-0,058528
T07k	-0,02507	-0,071098	-0,056416

Tabel IV.8. Koordinat Toposentrik periode Juni 2015 dengan koordinat origin tahun 2014

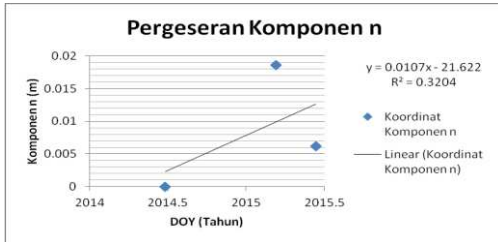
Nama Titik	Koordinat (m)		
	n	e	u
T01k	0,006193	-0,040314	0,009320
T02k	-0,029629	-0,092739	-0,058401
T03k	-0,017898	-0,038561	-0,028718
T05k	-0,029481	-0,016493	-0,033423
T07k	-0,700406	-0,839117	-1,131510

Tabel IV.9. Koordinat Toposentrik periode Juni dengan origin koordinat Maret 2015

Nama Titik	Koordinat (m)		
	n	e	u
T01k	-0,012380	-0,031999	-0,024751
T02k	-0,061619	-0,077809	-0,099911
T03k	0,001363	0,046897	0,014275
T04k	0,005968	0,033802	0,014990
T05k	-0,003598	0,094597	0,025105
T06k	0,011871	0,001213	0,013187
T07k	-0,671889	-0,768019	-1,075095
T08k	-1,071888	-1,205749	-1,695016
T09k	0,098507	0,097279	0,134941

IV.4. Analisis Pergeseran Sesar

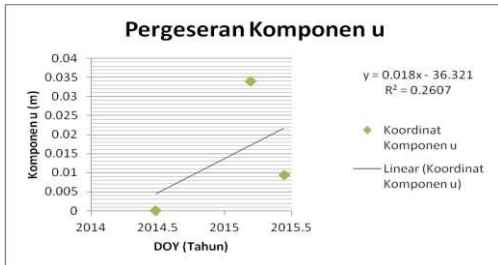
Salah satu cara untuk mengetahui dan memprediksi pola pergeseran yaitu dengan metode linier fit. Linier fit dilakukan dengan memanfaatkan informasi data yang sudah diketahui sebelumnya untuk memperkirakan dan menghasilkan data lain yang berkaitan dan tidak diketahui sebelumnya dengan menggunakan pendekatan fungsi linier [Pesik A.S, 2010]. Gambar IV.1. Gambar IV.2. dan Gambar IV.3. menunjukkan pola linier yang terbentuk pada vektor pergeseran untuk komponen n, e, dan u titik T01k.



Gambar IV.1. Kecepatan pergeseran komponen n



Gambar IV.2. Kecepatan pergeseran komponen e



Gambar IV.3. Kecepatan pergeseran komponen u

Proses *linier fit* dapat menentukan kecepatan pergeseran setiap titik per tahun, dan menentukan nilai vektor pergeserannya pada waktu tertentu. Terkait dengan pengamatan deformasi yang dilakukan, vektor pergeseran menunjukkan adanya pergerakan titik pengamatan dalam selang waktu pengukuran sehingga vektor pergeseran dapat mengindikasikan terjadinya deformasi. Hasil dari nilai vektor pergeseran masing-masing titik dapat dilihat di Tabel IV.10.

Tabel IV.10. Nilai vektor pergeseran titik pada pengamatan deformasi Sesar Kaligarang

TITIK	de (m)	dn (m)	std e (m)	std n (m)	Resultan (m)
T01K	-0,035300	0,010700	0,013620	0,073220	0,036886
T02K	-0,080400	-0,014200	0,009950	0,018535	0,081644
T03K	-0,058000	-0,020600	0,008995	0,022275	0,061550
T04K	0,129900	0,022900	0,014215	0,089840	0,131903
T05K	-0,048700	-0,032900	0,010655	0,031820	0,058772
T06K	0,004900	0,048100	0,013220	0,033455	0,048349
T07K	-0,104700	-0,036500	0,012735	0,038590	0,110880

Nilai resultan vektor pergeseran terbesar ada pada titik T04k yaitu 0,131903 m, sedangkan nilai resultan dengan nilai terkecil adalah T01k yaitu 0,036886 m.

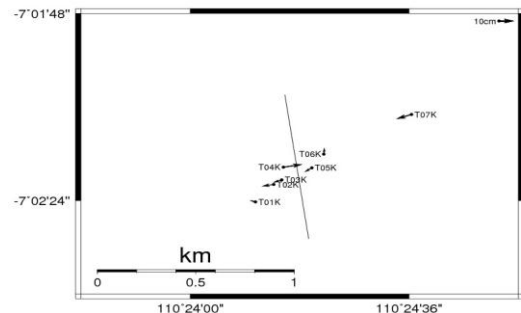
Vektor pergeseran titik pengamatan tidak hanya dipengaruhi oleh pergerakan sesar, namun dipengaruhi oleh gerakan Blok Sunda karena pulau jawa merupakan bagian dari Blok Sunda. Blok Sunda berotasi berlawanan arah dengan putaran jarum jam

pada kecepatan 25-35 mm/tahun [Kuncoro H, 2013]. Untuk menghilangkan pengaruh Blok Sunda maka hasil perhitungan dikurangi dengan kecepatan Blok Sunda, dalam hal ini diasumsikan bahwa nilai pergeseran dari Blok Sunda diwakili oleh stasiun pengamatan kontinu terdekat, yaitu CORS Semarang atau CSEM. Nilai pergeseran CSEM adalah 0,0229 m untuk arah e dan -0,0106 m untuk arah u Data hasil pengurangan oleh stasiun CSEM dapat dilihat pada Tabel IV.11.

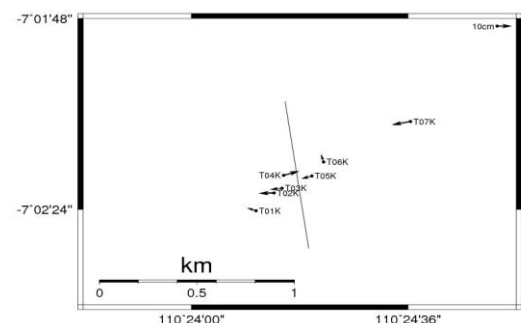
Tabel IV.11. Nilai vektor pergeseran titik pada pengamatan setelah dikurangi CSEM

TITIK	de (m/tahun)	dn (m/tahun)	std e (m)	std n (m)	Resultan (m/tahun)
T01K	-0,05820	0,02130	0,01362	0,07322	0,06198
T02K	-0,10330	-0,00360	0,00995	0,01854	0,10336
T03K	-0,08090	-0,01000	0,00900	0,02228	0,08152
T04K	0,10700	0,03350	0,01422	0,08984	0,11212
T05K	-0,07160	-0,02230	0,01066	0,03182	0,07499
T06K	-0,01800	0,05870	0,01322	0,03346	0,06140
T07K	-0,12760	-0,02590	0,01274	0,03859	0,13020

Setelah dikurangi oleh nilai pergerakan CSEM, maka diperoleh nilai pergerakan Sesar kaligarang yang sebenarnya. Dengan *software* GMT (*Generic Mapping Tool*) dapat digambarkan arah dari vektor pergeseran titik pengamatan Sesar Kaligarang. Gambar hasil GMT dapat dilihat pada Gambar IV.4. dan Gambar IV.5.



Gambar IV.4. Vektor pergeseran titik pengamatan Sesar Kaligarang



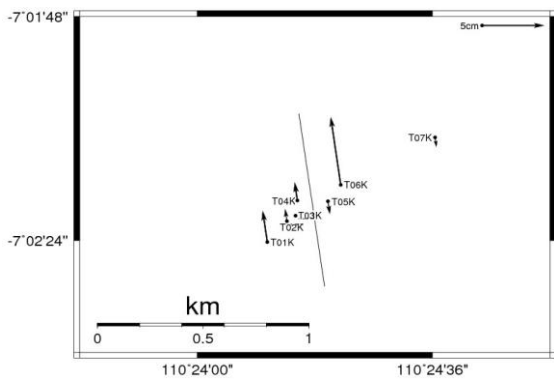
Gambar IV.5. Vektor pergeseran titik pengamatan setelah dikurangi oleh CSEM

Untuk mengetahui pergeseran titik yang sejajar sesar maka dilakukan linierisasi vektor

kecepatan pergeseran sehingga sejajar dengan arah Sesar Kaligarang. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar IV.6. dan tabel nilai pergeseran dapat dilihat pada Tabel IV.12.

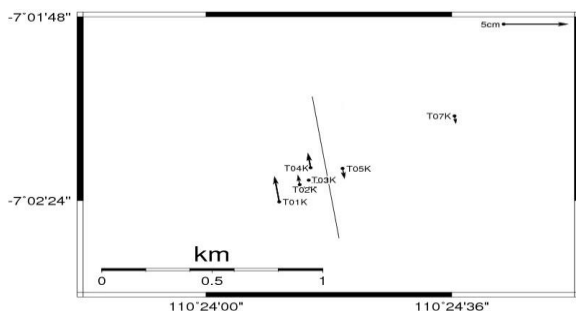
Tabel IV.12. Nilai vektor pergeseran titik yang sejajar dengan sesar

TITIK	de (m/tahun)	dn (m/tahun)	std e (m)	std n (m)	Resultan (m/tahun)
T01K	0,02624	-0,00368	0,01362	0,07322	0,02650
T02K	0,00992	-0,00140	0,00995	0,01854	0,01002
T03K	-0,00112	-0,00016	0,00900	0,02228	0,00113
T04K	0,01508	-0,00212	0,01422	0,08984	0,01523
T05K	-0,01052	0,00148	0,01066	0,03182	0,01062
T06K	0,05724	-0,00804	0,01322	0,03346	0,05780
T07K	-0,00780	0,00108	0,01274	0,03859	0,00787



Gambar IV.6. Vektor pergeseran titik pengamatan sejajar sesar

Dari gambar vektor pergeseran titik pengamatan sejajar sesar terdapat data yang mengalami pergeseran yang terlalu besar dan memiliki arah yang tidak sesuai dengan teori pergeseran sesar. Titik pengamatan tersebut adalah titik T06k. Karena hal tersebut maka titik T06k tidak dimasukkan dalam perhitungan permodelan slip rate dan locking depth. Gambar vektor pergeseran titik pengamatan sejajar sesar setelah menghilangkan titik T06k dapat dilihat pada Gambar IV.7.



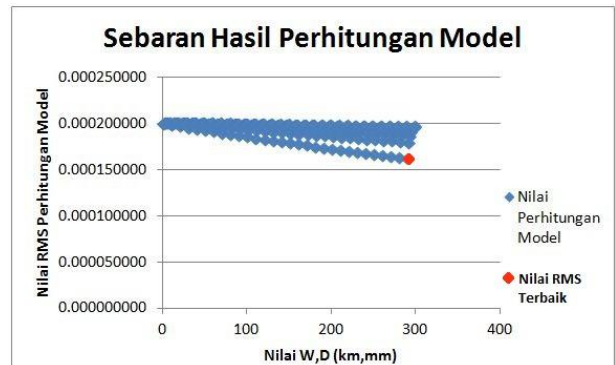
Gambar IV.7. Vektor pergeseran titik pengamatan sejajar sesar tanpa titik T06k

Dari Gambar IV.7. maka analisis yang dapat diberikan adalah tipe Sesar Kaligarang berdasarkan data pada penelitian ini adalah sesar geser manganan atau right-lateral slip fault dengan kisaran kecepatan pergeseran sesar antara 1,1 mm/tahun hingga 26,5

mm/tahun pada bidang bagian atas sesar atau sebelah barat sesar, sedangkan untuk bagian bawah sesar atau sebelah timur sesar memiliki kisaran kecepatan pergeseran antara 7,9 mm/tahun hingga 10 mm/tahun.

IV.5. Model Estimasi Laju Geser (Slip rate) dan Kedalaman Sumber (Locking Depth)

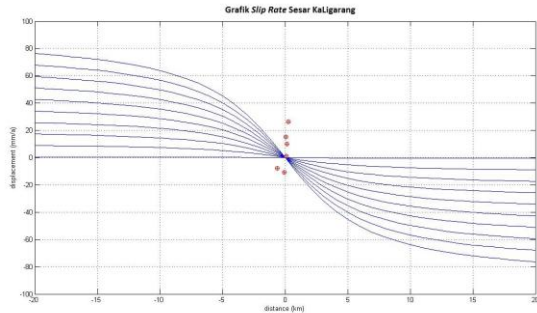
Dengan adanya model tingkat aktivitas sesar, maka bisa menghitung estimasi laju geser dan kedalaman sumber sesar yang terkunci dengan menggunakan rumus 1. Perhitungan dilakukan sebanyak jumlah kombinasi yang terbentuk dari masing-masing nilai D dan W. Jumlah kombinasi yang terbentuk dari nilai D dan W adalah 300 kombinasi. Dari 300 kombinasi, maka didapatkan 300 nilai RMS. Untuk nilai RMS yang terkecil (mendekati nol), maka didapatkan nilai pendekatan D dan W yang terbaik. Nilai RMS yang mendekati nol menunjukkan kesesuaian dari data hasil pengukuran dan data hasil perhitungan model, sehingga nilai D dan W dari perhitungan model dapat dianggap sebagai nilai slip rate dan locking depth dari Sesar Kaligarang. Grafik untuk mendapatkan nilai D dan W pada perhitungan model dapat dilihat pada Gambar IV.8.



Gambar IV.8. Grafik nilai RMS dari hasil perhitungan model Sesar Kaligarang

Dari hasil perhitungan model dan gambar grafik yang ditampilkan pada Gambar 11. maka hasil yang didapat adalah sebaran titik RMS memiliki kecenderungan menuju ke nilai D yang terbesar dan menuju ke nilai W yang terkecil, sehingga hasil perhitungan model ini tidak dapat mewakili nilai slip rate dan locking depth yang sebenarnya pada Sesar Kaligarang.

Selain dengan perhitungan model, nilai slip rate dapat diketahui dengan menggunakan grafik slip rate. Gambar IV.9. menunjukkan Grafik slip rate dengan titik-titik pengamatan ditunjukkan oleh titik merah.



Gambar IV.9. Grafik slip rate Sesar Kaligarang

Grafik slip rate pada Gambar 12. diperoleh dengan memberikan input kedalaman kuncian (W) yang diasumsikan 5 km. Pada sumbu absis (x) menunjukkan jarak titik pengamatan ke bidang sesar, sedangkan sumbu ordinat (y) menunjukkan kecepatan pergeseran setelah dipararelkan dari setiap titik pengamatan. Apabila titik berada di atas bidang sesar maka jarak bernilai positif, sedangkan bila dibawah sesar maka bernilai negatif.

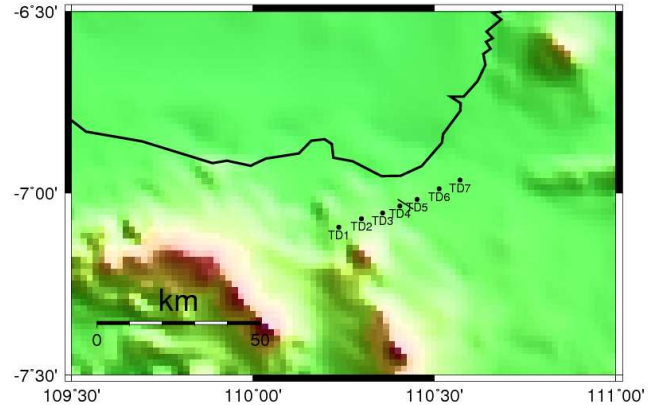
Untuk mengetahui nilai slip rate dari grafik pada Gambar IV.9. seharusnya titik-titik pengamatan atau titik-titik merah berada diantara garis biru, sehingga didapatkan satu garis biru dengan sebaran titik merah terbanyak. Namun pada Gambar IV.9. tidak menunjukkan titik-titik merah yang berada diantara garis biru, ini menunjukkan bahwa dari data pengamatan pada penelitian ini tidak dapat menunjukkan nilai slip rate Sesar Kaligarang.

Dari hasil penggambaran dengan grafik slip rate maka dapat dianalisis bahwa titik-titik pengamatan pada penelitian ini memiliki jarak yang tidak cukup jauh dari sesar, sehingga tidak bisa menunjukkan karakteristik dari Sesar Kaligarang. Maka diperlukan penambahan titik-titik pengamatan yang berjarak lebih jauh dari bidang sesar, agar dapat menunjukkan karakteristik sesar. Rentang pergeseran dari grafik slip rate pada Gambar IV.9. menunjukkan nilai yang terlalu besar, yaitu mencapai 26,5 mm/tahun. Dengan rentang pergeseran yang besar namun dengan jarak yang pendek maka data pengamatan dari penelitian ini tidak dapat menunjukkan nilai slip rate dan locking depth dari Sesar Kaligarang.

IV.6. Alternatif Desain Titik Pengamatan

Pada penelitian ini hasil dari pengamatan titik kontrol tidak dapat menunjukkan karakteristik Sesar Kaligarang karena titik kontrol pengamatan memiliki jarak yang tidak cukup jauh dari bidang sesar. Maka diperlukan desain titik kontrol pengamatan yang memiliki jarak yang lebih jauh sehingga diharapkan dapat menunjukkan karakteristik Sesar Kaligarang. Pada Gambar IV.10. menunjukkan desain titik kontrol pengamatan yang diharapkan

dapat menunjukkan karakteristik Sesar Kaligarang. Pembuatan titik kontrol tambahan bisa diletakkan diantara titik-titik desain yang ada pada Gambar IV.10. namun diharapkan peletakan titik kontrol tambahan tidak melenceng jauh dari desain yang telah dibuat atau masih tegak lurus dengan bidang pusat sesar sehingga diharapkan dapat menunjukkan karakteristik Sesar Kaligarang.



Gambar IV.10. Rencana Desain Titik Kontrol Pengamatan Sesar Kaligarang

V. Penutup
V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis hasil data penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan data tahun 2014 dan data pengamatan GPS bulan Maret dan Juni 2015, titik - titik yang teramati mengalami perubahan nilai koordinat yang besar pergeseran terbesar mencapai 0,132 m/tahun, sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi deformasi. Kondisi deformasi yang dialami di lingkungan sesar Kaligarang memiliki sifat sesar geser manganan berdasarkan hasil linierisasi vektor pergeseran sesar dengan kisaran kecepatan pergeseran sesar antara 1,1 mm/tahun hingga 26,5 mm/tahun pada bidang bagian atas sesar atau sebelah barat sesar, sedangkan untuk bagian bawah sesar atau sebelah timur sesar memiliki kisaran kecepatan pergeseran antara 7,9 mm/tahun hingga 10 mm/tahun.
2. Menurut hasil perhitungan model maka dapat disimpulkan bahwa pada hasil nilai RMS menunjukkan kecenderungan untuk menuju ke nilai D terbesar dan nilai W terkecil, sehingga data penelitian ini belum bisa menunjukkan nilai slip rate dan locking depth dari Sesar Kaligarang.

V.2. Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan jaringan titik kontrol pengamatan Sesar Kaligarang sebaiknya memperhatikan jarak titik kontrol pengamatan ke bidang sesar. Diharapkan pada penelitian selanjutnya melakukan pengamatan titik kontrol sesuai dengan desain titik kontrol pengamatan yang disarankan pada akhir penelitian ini.
2. Pembuatan titik kontrol pengamatan atau monitoring sebaiknya sangat memperhatikan lingkungan sekitar yang akan ditentukan dalam penentuan titik-titik pengamatan. Karena pada pengukuran GPS dual frequency besarnya multipath berpengaruh pada ketelitian koordinat titik.
3. Pengamatan sesar dilakukan lebih lama dan dilakukan pengamatan secara berkala ataupun secara periodik, agar mendapatkan besar dan arah pergerakan karakteristik sesarnya.
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
5. Untuk mengurangi kesalahan saat centering alat maka perlu dibuat titik pengamatan semi permanen yang sudah memiliki tempat untuk dipasang alat, sehingga tidak perlu dilakukan centering lagi pada saat pengamatan titik kontrol pengamatan.
6. Sebelum melakukan pengolahan data dengan software GAMIT, sebaiknya membaca manual book serta referensi-referensi yang berhubungan sehingga kesulitan saat proses pengolahan dapat cepat diatasi.
7. Saat editing file pengolahan data, perlu ketelitian dan kecermatan agar tidak terjadi kesalahan saat proses pengolahan

VI. Daftar Pustaka

Abidin, H.Z., 2001. Geodesi Satelit. Jakarta : PT. Pradnya Paramitha.

Abidin, H.Z., 2007. Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya. Jakarta : Pradnya Paramita.

Awaluddin, M., Meilano, I. & Widiyantoro, S. 2012. *Estimation of Slip Distribution of the 2007 Bengkulu Earthquake from GPS Observation Using Least Squares Inversion Method*. ITB J. Eng. Sci., Vol. 44, No. 2, 2012, 186-205

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

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.

Pesik, A.S. 2010. Penelitian Karakteristik (Laju Geser) Sesar Aktif Menggunakan Permodelan Data Deformasi Permukaan (Studi Kasus : Segmen Aceh dari Sesar Sumatra). 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.

Simandjuntak, T.O. 2003. Atlas Geologi Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Thanden R.E, dkk. 1996. Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa. Skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.