

**PERHITUNGAN DEFORMASI GEMPA MALANG 16 NOVEMBER 2016  
MENGUNAKAN DATA CORS GNSS WILAYAH JAWA TIMUR**

**Mohammad Yusup Lutfi<sup>\*)</sup>, Moehammad Awaluddin, Bambang Sudarsono**

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email : [yusup.lutfi17@gmail.com](mailto:yusup.lutfi17@gmail.com)

**ABSTRAK**

Pada tanggal 16 November 2016 telah terjadi Gempa Tektonik dengan *magnitude* 5,7 di Malang, Jawa Timur. Menurut data USGS Gempa terjadi pukul 22:10:11 WIB. Lokasi episentrum gempa berada pada koordinat 9°0'10.8" LS, 113°14'42" BT, atau 127 kilometer arah tenggara Kabupaten Malang Jawa Timur dengan kedalaman gempa adalah 85 kilometer. Guncangan terasa hampir di seluruh wilayah Jawa Timur. Atas dasar tersebut dilakukan penelitian perhitungan deformasi gempa Malang 16 November 2016 dengan data CORS wilayah Jawa Timur bagian selatan untuk mengetahui arah vektor pergeseran akibat gempa. Penelitian ini menggunakan data pengamatan enam stasium CORS diantaranya CJEM, CLUM, CMLG, CNYU, CPES, dan CTUL dengan data pengamatan dari mulai Juli 2016 sampai dengan Maret 2017. Titik ikat yang digunakan adalah Titik IGS berjumlah enam diantaranya ALIC, BAKO, COCO, KARR, PIMO, dan PBRI. Pengolahan ini menggunakan *scientific software* GAMIT 10.6. Penelitian ini menghasilkan nilai *velocity rate* sebelum gempa, setelah gempa dan nilai akibat gempa beserta arah vektornya. Nilai *velocity rate* sebelum gempa rata – rata  $V_{hor} = 0,0344 \pm 0,0090$  m mengarah ke tenggara. Vektor kecepatan pergeseran horizontal setelah gempa rata – rata  $V_{hor} = 0,0474 \pm 0,0088$  m mengarah ke tenggara. Vektor pergeseran akibat gempa mengarah ke tenggara dengan nilai rata – rata  $d_{hor} = 0,0039 \pm 0,0053$  m.

**Kata Kunci** : CORS, Deformasi, IGS, Gempa , GAMIT

**ABSTRACT**

*On November 16, 2016 there has been a earthquake with a moment magnitude 5.7 in Malang, East Java. According to USGS Earthquake data occurred at 22:10:11 pm. The epicenter coordinates of the earthquake at 9°0'10.8" S, 113°14'42" E, or 127 kilometers southeast of Malang Regency East Java with the depth of the quake is 85 kilometers. The shock was felt in almost all areas of East Java. On the basis of the research conducted the calculation of earthquake deformation Malang November 16, 2016 with CORS data region of southern East Java to determine the direction of vector shifts due to earthquake. This study uses observation data of six CORS station such as CJEM, CLUM, CMLG, CNYU, CPES, and CTUL with observation data from July 2016 until March 2017. The point IGS used are ALIC, BAKO, COCO, KARR, PIMO, and PBRI. The processing data using the scientific software GAMIT 10.6. From this research resulted the value of velocity rate before earthquake, after earthquake, because of earthquake and its vector direction. The velocity rate before the average earthquake  $V_{hor} = 0.0344 \pm 0.0092$  m towards to the southeast. The velocity of the horizontal shift velocity after the average earthquake  $V_{hor} = 0.0474 \pm 0.0088$  m towards to the southeast. Vector shift due to earthquake towards southeast with average value  $d_{hor} = 0.0039 \pm 0.0053$  m.*

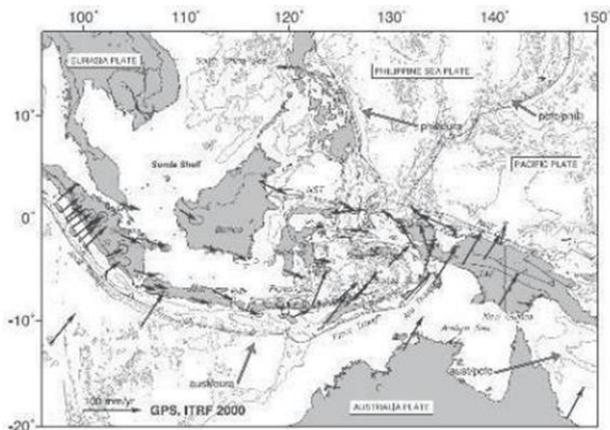
**Key Words** : CORS, Deformation, IGS, Earthquake, GAMIT

<sup>\*)</sup>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, di bagian barat Indonesia terdiri dari *Sunda Shelf* (landas kontinen Asia Tenggara), yang meliputi pulau-pulau Sumatera, Jawa, Bali, Kalimantan, dan barat daya bagian dari Sulawesi. *Sunda Shelf* adalah bagian dari lempeng Eurasia yang luas, tetapi tabrakan dari India dengan Asia Tengah memungkinkan terjadinya gerakan yang signifikan dari Asia Tenggara dan *Sunda Shelf* relatif terhadap Eurasia.



Gambar 1 Zona subduksi lempeng Eurasia dengan lempeng Indo Australia (Bock, et al, 2003)

Metode penentuan posisi dengan GPS (*Global Positioning System*) saat ini telah banyak digunakan untuk berbagai kepentingan, yaitu baik yang sifatnya ilmiah maupun praktis. Adapun keunggulan yang menyebabkan metode GPS sering digunakan yaitu: akurasi/ketelitian, kecepatan dan kesederhanaan, dan masalah biaya (Sunantyo, 2009).

Untuk memperoleh posisi ketelitian yang bagus maka perlu diterapkan strategi pengamatan yang bertumpu pada metode pengamatan, waktu pengamatan, lama pengamatan dan pengikatan ke titik tetap yang digunakan, sedangkan strategi pengolahan data bergantung pada proses perataan jaring dengan menggunakan perangkat lunak ilmiah (Abidin, 2004).

Berdasarkan data Gempa Bumi di USGS dengan alamat [earthquake.usgs.gov/earthquakes](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes) pada tanggal 16 November 2016 telah terjadi Gempa Tektonik dengan *magnitude* 5.7. Gempa terjadi pukul 22:10:11 WIB. Lokasi episentrum gempa berada pada koordinat 9°0'10.8" LS, 113°14'42" BT, atau 127 kilometer arah tenggara Kabupaten Malang Jawa Timur dengan kedalaman gempa 85 kilometer.

Dengan adanya kejadian tersebut peneliti akan melakukan penelitian berupa menghitung perhitungan deformasi yang terjadi di Selatan Jawa Timur akibat gempa 16 November 2016 dengan menggunakan 6 data CORS GNSS. Pemilihan titik CORS karena gempa terasa di daerah tersebut dengan skala

intensitas II SIG-BMKG. Titik ikat yang digunakan yaitu IGS 6 titik dari 4 kuadran yang berbeda diantaranya BAKO, COCO, PIMO, PBRI, KARR dan ALIC. Data GNSS dari stasiun pengamatan CORS dan stasiun IGS diolah dengan menggunakan perangkat lunak ilmiah yaitu GAMIT/GLOBK 10.6 dan GMT (*Generic Mapping Tools*) untuk *plotting* hasil perhitungan berupa peta pergeseran.

**I.2. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai *velocity rate* stasiun CORS GNSS di Selatan Jawa Timur sebelum dan sesudah gempa 16 November 2016 ?
2. Bagaimana pergeseran stasiun CORS GNSS akibat gempa 16 November 2016 ?

**I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

Adapun maksud dan tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai *velocity rate* stasiun CORS GNSS di Selatan Jawa Timur sebelum dan sesudah gempa 16 November 2016
2. Mengetahui arah pergeseran stasiun CORS GNSS di Selatan Jawa Timur akibat gempa 16 November 2016

**I.4. Ruang Lingkup Penelitian**

Adapun pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Wilayah penelitian ini dilakukan di bagian selatan Provinsi Jawa Timur
2. Stasiun CORS GNSS Jawa Timur bagian Selatan yang digunakan berjumlah 6 titik diantaranya : CORS Jember (CJEM), CORS Lumajang (CLUM), CORS Malang (CMLG), CORS Tulungagung (CTUL), CORS Pesanggrahan (CPES), dan CORS Banyuwangi (CNYU)
3. Stasiun IGS yang digunakan berjumlah 6 titik diantaranya BAKO (Indonesia), COCO (Australia), PIMO (Filipina), PBRI (India), KARR (Australia), dan ALIC (Australia)
4. Data waktu pengamatan yang digunakan 4 bulan sebelum dan sesudah gempa terjadi yakni bulan Juli 2016 hingga Maret 2017 dengan masing – masing data IGS dan CORS 5 DOY (*Day Of Year*) tiap bulan
5. Pengolahan data menggunakan *Scientific Software* GAMIT 10.6.
6. Penelitian ini berfokus kepada deformasi arah horizontal dan vertikal

**II. Tinjauan Pustaka**

**II.1. Studi Literatur**

Dalam melakukan penelitian tentang deformasi dan *velocity rate*, beberapa kajian sebelumnya dijadikan sebagai referensi. Ringkasan kajian tersebut disajikan pada tabel berikut :

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu

No	Nama	Tahun	Judul	Metode
1	Abidin, Z. Hasanudin	2009	Defomasi koesismik dan pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari hasil survey GPS	menghitung nilai pergeseran interseismik dan pascaseismik menggunakan data sebelum gempa, beberapa hari setelah gempa terjadi, dan dua tahun setelah gempa terjadi.
2	Abidin, Z. Hasanudin	2010	Pergerakan koesismik dari Gempa Bumi Jawa Barat 2009	Menghitung pergeseran akibat gempa bumi diamati secara teliti melalui perubahan koordinat beberapa titik yang terletak pada lempeng - lempeng tersebut dari waktu ke waktu dengan selang waktu tertentu
3	Yusfania, Meiriska.	2014	Analisis pergeseran akibat gempa bumi Sumatera 11 April 2012 menggunakan metode <i>gps continue</i>	menghitung nilai pergeseran interseismik dan poseismik menggunakan data sebelum gempa dan beberapa hari setelah gempa terjadi
4	Prayitno, Budi	2015	Perhitungan deformasi gempa kebumen 2014 dengan data CORS di wilayah pantai selatan Jawa Tengah	Metode yang digunakan dengan menggunakan titik ikat CORS dan IGS untuk mengetahui deformasi gempa kebumen pada tahun 2014 di wilayah panantai selatan Jawa Tengah
5	Saputra, Rizky	2015	Perhitungan <i>velocity rate</i> CORS GNSS di wilayah Pantai Utara Jawa Tengah	Menghitung nilai <i>velocity rate</i> dari stasiun CORS GNSS pantai utara Jawa Tengah dan analisis pergeseran serta regangan ( <i>strain</i> ) yang terjadi di daerah pantai tara Jawa Tengah
6	Sajagat, Much. Jibriel	2016	Hitungan Kecepatan pergerakan Stasiun SuGAR akibat proses interseismik gempa Mentawai 2007	Menghitung vektor kecepatan pergeseran stasiun SuGAR periode 2006 s.d. 2007 dan Menghitung vektor kecepatan pergeseran stasiun SuGAR akibat proses Interseismik gempa Mentawai 2007.

## II.2. Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu materi atau perubahan kedudukan (Kuang 1996 dalam Gina, 2012). 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 sitem kerangka referensi (absolut atau relatif). Salah satu contohnya adalah gerakan tanah. Prinsip pengukuran deformasi adalah dengan memantau perubahan jarak, beda tinggi, sudut maupun koordinat antara titik-titik yang mewakili daerah tersebut (Abidin, 2007).

## II.3. CORS

CORS (*Continuously Operating Reference Station*) merupakan suatu teknologi berbasis GNSS yang berwujud sebagai suatu jaring kerangka geodetik yang pada setiap titiknya dilengkapi dengan *receiver* yang mampu menangkap sinyal dari satelit-satelit GNSS yang beroperasi secara penuh dan kontinyu (Abidin, 2001). Untuk dapat mengakses GNSS-CORS, *receiver* klien harus dilengkapi dengan sambungan internet sebagai komunikasi data dari stasiun GNSS-CORS ke *receiver* klien. Dalam hal ini data GNSS-

CORS tersedia melalui web dalam format RINEX (*Receiver Independent Exchange*) maupun *streaming* NTRIP (*Network Transport RTCM via 9 Internet Protocol*). NTRIP adalah sebuah metode untuk mengirim koreksi data GPS/GLONASS melalui internet. Data format RINEX disediakan untuk pengolahan data secara *post-processing*, sedangkan data NTRIP untuk pengamatan posisi secara *real-time*.

Sistem CORS memungkinkan mendapatkan akurasi posisi mendekati beberapa sentimeter relatif terhadap *National Spatial Reference System*, baik secara horizontal maupun vertikal. *Continuously Operating Reference Station*(CORS) dari *receiver* GNSS mendukung banyak aplikasi akurasi tinggi dalam survei, pemetaan, navigasi dan geodesi. Pembentukan jaringan CORS semakin meningkat di seluruh dunia, dan infrastruktur ini akan digunakan untuk jangka panjang untuk studi *geoscientific* serta memberikan dasar *positioning* GNSS-RTK (Real-Time Kinematic) dan pembesaran (termasuk Assisted-GNSS atau A-GNSS).

## II.4. Perangkat Lunak GAMIT

GAMIT adalah paket program analisis data GPS yang komprehensif yang dikembangkan oleh MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) untuk melakukan perhitungan tiga dimensi dan satelit orbit. GAMIT adalah singkatan dari *GPS Analysis Software of Massachusetts Institute of Technology and Scripps Institution of Oceanography*. *Software* ini didesain untuk *running* di Sistem Operasi yang UNIX dan telah diimplementasikan pada versi LINUX, Mac-OS-X, HP-UX, Solaris, IBM/RISC dan DEC.

GAMIT adalah program yang memasukan algoritma hitung kuadrat terkecil dengan parameter berbobot untuk mengestimasi posisi relatif dari sekumoulan stasiun, parameter orbit, rotasi bumi, *zenith delay* dan ambiguitas fase melalui pengamatan *double difference* tetapi pada saat editing GAMIT menggunakan *triple difference*. Kelebihan *Software* ini adalah bisa melakukan data koreksi atmosfer, pasang surut air laut, dan pemodelan cuaca. Pembobotan stasiun pengamatan, informasi stasiun, koordinat pendekatan, edit sesi pengamatan bisa dimasukan dalam pengolahan data dengan *Software* ilmiah ini. Hasil keluaran dari *Software* GAMIT berupa estimasi dan matrik kovarian dari posisi stasiun dan parameter orbit dan rotasi bumi yang kemudian dimasukan pada GBLOK. (Herring, 2010)

## II.5. Perangkat Lunak GLOBK

GLOBK adalah satu paket program yang mengkombinasikan hasil pemrosesan data survei terestris atau data survei ekstra terestris. Kunci dari data input pada GLOBK adalah matriks kovarian dari data koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit, dan hasil pengamatan lapangan (Herring, dkk., 2006). GLOBK adalah singkatan dari *Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program*. Sama seperti GAMIT program ini didesain

untuk running di Sistem Operasi berbasis UNIX. Tujuan utama dari GBLOK adalah untuk mengkombinasikan solusi data dari hasil pengolahan GAMIT dengan pengamatan *space geodesy* yaitu dengan sistem *Very Long Baseline Interferometry* (VLBI) sehingga estimasi penentuan posisi jika terjadi pergeseran titik sedikit saja dapat diketahui dikehui pergeserannya dan kecepatannya. Terdapat tiga *mode* aplikasi yang dapat dijalankan dengan menggunakan GLOBK (Herring, dkk., 2010) :

1. Menkombinasikan hasil pengolahan individual (misal: harian) untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan yang dilakukan lebih dari satu hari.
2. Mengkombinasikan hasil pengamatan selama bertahun-tahun untuk menghasilkan koordinat stasiun.
3. Melakukan estimasi koordinat stasiun dari pengamatan individual, yang digunakan untuk menggeneralisasikan data runut waktu dari pengamatan teliti harian atau tahunan.

## II.6. Velocity

*Velocity* adalah sebuah laju perpindahan dari sebuah kerangka acuan dan merupakan fungsi dari waktu. Sebuah objek yang bergerak cepat memiliki kecepatan tinggi dan mencakup jarak yang relatif besar dalam waktu singkat. Dengan begitu untuk objek yang bergerak lambat memiliki kecepatan rendah. Hal tersebut meliputi jarak yang relatif kecil dalam jumlah waktu yang sama. Sebuah objek yang tidak ada gerakan sama sekali memiliki kecepatan nol. (Saputra, 2015)

*Velocity* mengacu pada tingkat dimana sebuah objek berubah posisi dari posisi awal. Dalam hal ini dapat diartikan bahwa perpindahan posisi adalah perpindahan dari posisi awal menuju posisi berikutnya *velocity* ini merupakan besaran vektor dimana besaran vektor mempunyai arah sedangkan besaran skalar tidak mempunyai arah. Dengan begitu dengan adanya *velocity* kita dapat menentukan arah sebuah perpindahan yang ditunjukkan oleh sebuah vektor. Penggunaan besaran vektor dan besaran skalar diantaranya besaran vektor berupa perpindahan, impuls, kecepatan, momentum, percepatan, momen gaya, kuat medan listrik, kuat medan magnet, dan gaya. Sedangkan besaran skalar berupa jarak, waktu, tekanan, suhu, muatan listrik, volume, masa jenis, kapasitas, dan potensial listrik. (Saputra, 2015)

## III. Metodologi Penelitian

### III.1. Alat dan Bahan

#### III.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan diantaranya:

1. ASUS Intel(R) Core(TM) i3-3217U CPU @ 1.80GHz (4 CPUs), ~1.8GHz
2. Sistem Operasi Linux Ubuntu 14.04
3. Hard disk 1 TB untuk pemindahan data
4. *Scientific Software* GAMIT versi 10.6
5. Gfortran, perangkat lunak (*Software*) yang digunakan sebagai compiler untuk bahasa fortran pada perangkat lunak GAMIT yang diperlukan pada saat melakukan instalasi
6. GMT (*Generic Mapping Tools*), digunakan untuk *plotting* data hasil pengolahan dengan perangkat lunak GAMIT/GLOBK.
7. Microsoft Excel 2013, sebagai pengolah angka dalam perhitungan.
8. Microsoft Visio 2013, sebagai pengolah diagram alir
9. Microsoft Word 2013, sebagai pengolah kata.

#### III.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ada dua yaitu bahan utama dan bahan pendukung. Bahan utama adalah bahan yang harus ada dalam penelitian agar penelitian dapat dilakukan. Bahan utama dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data pengamatan dari 6 stasiun CORS GNSS milik BIG (Badan Informasi Geospasial) yang ada di wilayah selatan Jawa Timur selama 24 jam pada masing-masing DOY (*Day of Year*) pada tahun 2016 dengan interval data 30 detik. Data pengamatan dimulai pada Juli 2016 dengan DOY tiap bulannya berjumlah lima. Khusus untuk bulan November 2016 diperlukan data tujuh hari sebelum dan sesudah gempa karena pada tanggal 16 November 2016 terjadi gempa sehingga data diperbanyak agar memperoleh hasil yang akurat. Untuk bulan berikutnya tetap sama yakni 5 DOY per bulan.



Gambar 2. Stasiun CORS Jawa Timur (<http://inacors.big.go.id/>)

- b. Data pengamatan dari 6 stasiun IGS selama 24 jam pada masing-masing DOY (*Day of Year*) dengan interval 30 detik data pengamatan tersebut dapat diunduh melalui website <http://igsceb.jpl.nasa.gov/>. Data yang diunduh harus sesuai dengan hari pengamatan yang digunakan pada titik pengamatan.



Gambar 3. Stasiun IGS yang digunakan (<http://igs.org/network>)

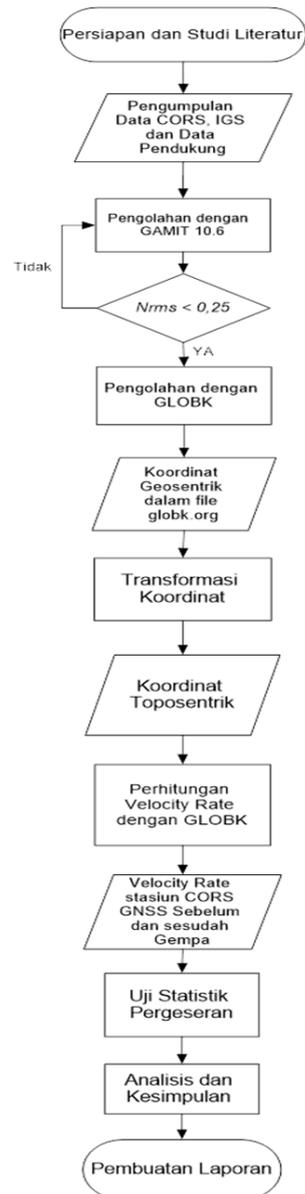
- c. Data *broadcast ephemeris* dengan tipe *brdcDDD0.YYn* (DDD: DOY, YY: tahun) dapat diunduh di alamat <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily> sesuai dengan tanggal pengamatan.
- d. Data *precise ephemeris File* IGS ephemeris final orbit. *File* ini dalam bentuk \*.sp3 dan dapat diunduh dari <http://garner.ucsd.edu/pub/products/>.
- e. *H-file* s global, data *h-file* global dapat diunduh dari <ftp://garner.ucsd.edu/pub/hfile/s/>

Bahan pendukung yaitu data yang digunakan untuk mendukung jalannya penelitian ini. Bahan pendukung tersebut adalah sebagai berikut:

- a. *File* gelombang laut (pasang-surut) dari tahun 2016 dan 2017, diunduh dari situs <ftp://garner.uscd.edu> dalam bentuk (*otl\_FES2004.grid*) merupakan pencerminan dinamika pasang-surut air laut di seluruh dunia.
- b. *File* pemodelan cuaca dari tahun 2016 dan 2017, dalam bentuk (*vmflgrid.yyy*) yang merupakan fungsi pemetaan cuaca hitungan. Berfungsi untuk mengestimasi nilai ZTD (*Zenith Tropospheric Delay*) sebagai faktor koreksi untuk melakukan jarak satelit ke receiver yang bebas pengaruh troposfer dan dapat digunakan menganalisis kondisi troposfer di sekitar daerah pengamatan.
- c. *File* atmosfer dari tahun 2016 dan 2017 dalam bentuk (*atmdisp\_cm.yyyy*). Berfungsi untuk menganalisis kandungan atmosfer di sekitar daerah pengamatan.

### III.2 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan diagram alir yang terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

## IV. Hasil dan Analisis

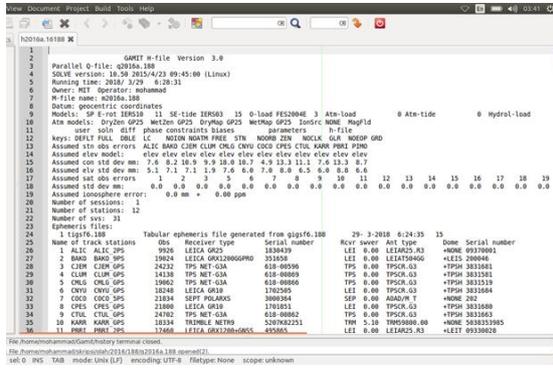
### IV.1. Hasil Pengolahan GAMIT

Pada pengolahan menggunakan GAMIT menghasilkan beberapa *file* hasil pengolahan data yang digunakan untuk mengetahui informasi penting dan proses pengolahan menghasilkan diantaranya *sh\_gamit.summary*, *h-files*, dan *q-files*. Semua *file* tersebut berada dalam *folder* *doy*. Proses pengolahan dan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *project* per tahun.

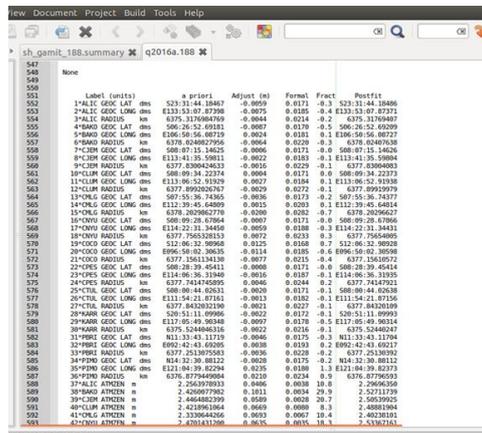
*H-files* versi "a" dengan format file *h<nama projek>a.(yy)(doy)* adalah hasil dari pengolahan GAMIT untuk masing-masing *doy*, misalnya pada penelitian ini *h2016a.16188*.

Dalam *q-files* memuat analisis hasil dari program *solve* yang berisi dari pengolahan data. Format *file* pada *q-files* ini adalah *q<nama\_project>a.doy*, dalam penelitian ini misalkan *q2016a.188*.

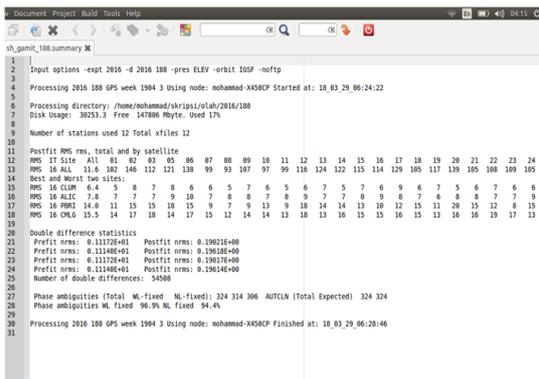
Hasil dari *sh\_gamit\_doy.summary* adalah file yang merupakan rangkuman hasil pengolahan GAMIT. Dari hasil tersebut dapat dilakukan pengecekan terhadap nilai *posfit* serta *phase ambhiguities* data pengamatan. Misalnya pada penelitian ini *sh\_gamit\_188.summary*



Gambar 5. Tampilan h-files pada GAMIT



Gambar 6. Tampilan q-files pada GAMIT



Gambar 7. Tampilan sh\_summary pada GAMIT

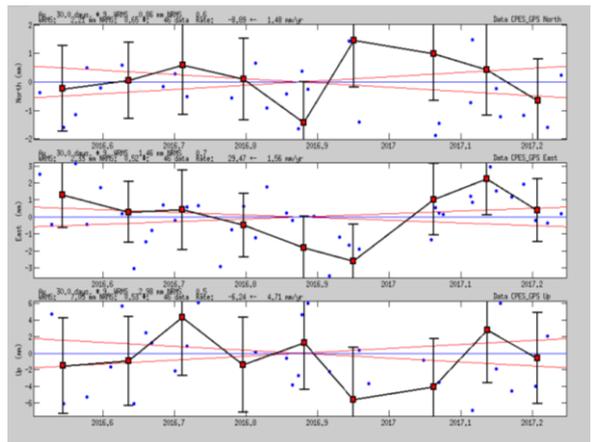
IV.2 Hasil Pengolahan GLOBK

Untuk mendapatkan koordinat hasil pengolahan GNSS yang harus dilakukan adalah pengolahan menggunakan GLOBK. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada file dengan ekstensi \*.org yang berisikan koordinat beserta simpangan bakunya. dalam file yang berekstensi \*.org dengan format *globk\_expt(yy)(doy).org*. dan ditampilkan solusi

koordinat harian sesuai nama file. Contoh nama file pada penelitian ini misalnya *globk\_2016\_16188.org*.

IV.2.1 Hasil Pengolahan gred

Gred merupakan proses yang dilakukan sebelum pengolahan GLOBK. Proses gred menghasilkan data harian, dengan pengolahan data stokastik per harinya. Hasil dari gred adalah hasil data stokastik harian, yang dapat diplot menjadi *time series*. Dalam penelitian ini hasil dari gred diubah menjadi format \*.mb dan selanjutnya diplot menggunakan matlab dengan cara menjalankan *tsview*. Berikut adalah hasil *plotting time series* seluruh pengamatan masing – masing titik CORS yang diamati.



Gambar 8. Plotting time series CORS sebelum dihilangkan outlier

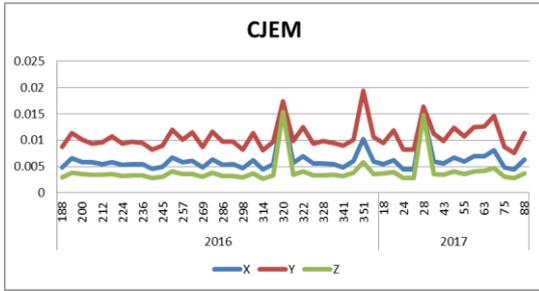
Dari hasil *plotting time series* ke 6 titik pengamatan menghasilkan pada data tersebut terdapat outlier atau tidak pada masing – masing pengamatan dijelaskan pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Jumlah Outlier pengamatan CORS

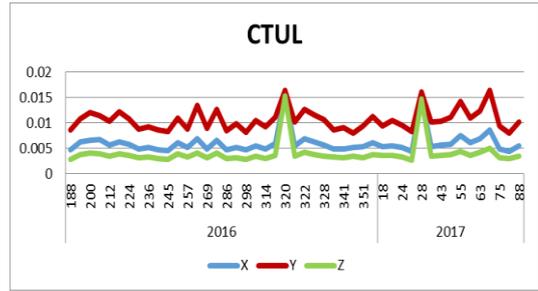
CORS	Komponen		
	North	East	Up
CJEM	0	1	1
CLUM	1	1	4
CMLG	0	0	1
CNYU	1	1	1
CPES	0	0	0
CTUL	1	1	1

IV.2.2 Hasil pengolahan koordinat harian

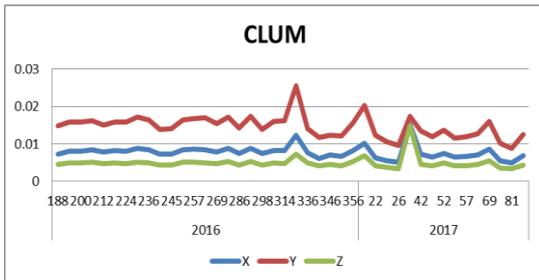
Dari hasil pengolahan menggunakan GLOBK juga didapatkan hasil pengolahan koordinat dengan ekstensi \*.org. Pada file ini hasil koordinat adalah koordinat geosentrik (X,Y,Z) beserta simpangan baku. Berikut ini adalah besaran dari masing –masing simpangan baku setiap pengamatan CORS hasil dari pengolahan menggunakan GAMIT 10.6 yang ditampilkan pada grafik simpangan baku berikut :



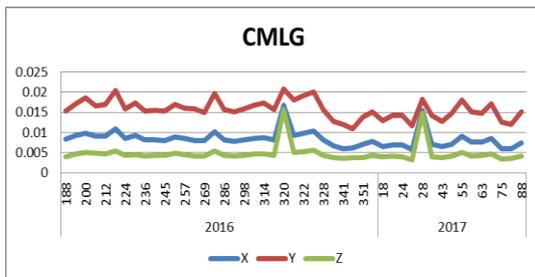
Gambar 9. Grafik simpangan baku CJEM



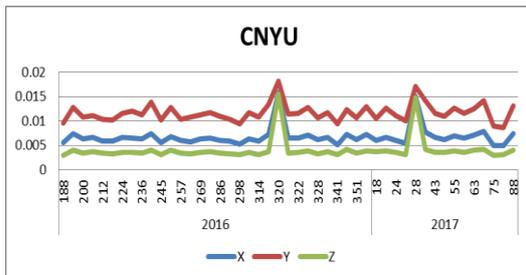
Gambar 14. Grafik simpangan baku CTUL



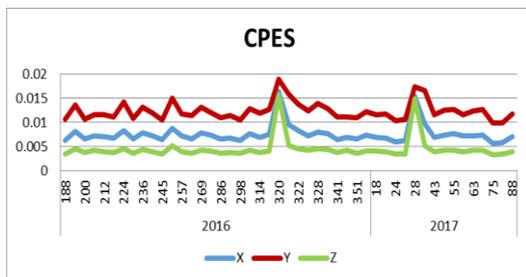
Gambar 10. Grafik simpangan baku CLUM



Gambar 11. Grafik simpangan baku CMLG



Gambar 12. Grafik simpangan baku CNYU



Gambar 13. Grafik simpangan baku CPES

Secara keseluruhan simpangan baku untuk semua komponen sumbu X, Sumbu Y, dan sumbu Z pada setiap pengamatan simpangan baku terkecil pada sumbu Z dan terbesar lebih dominan pada sumbu Y.

### IV.3 Hasil Perhitungan Velocity Rate dengan GAMIT

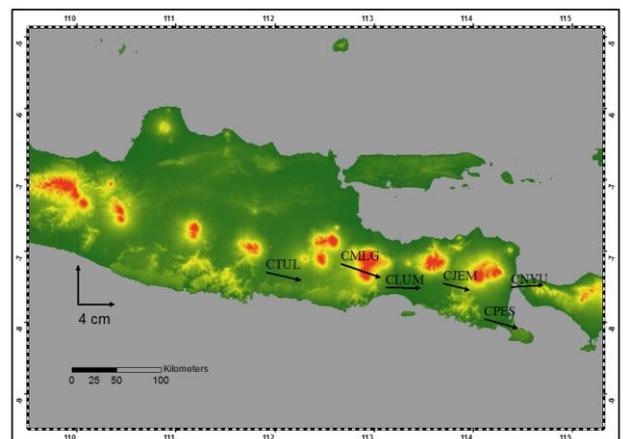
Hasil perhitungan kecepatan pergeseran pada pengolahan GLOBK beserta simpangan baku di setiap stasiun dibagi 2 yaitu sebelum dan sesudah Gempa. Pada tabel 3 dan 4 dijelaskan besarnya *Velocity rate* dan arah pergeseran dapat dilihat pada gambar 15 sampai gambar 18. Nilai  $V_n$  dan  $V_e$  adalah pergerakan horizontal,  $V_{hor}$  besarnya horizontal, dan  $V_u$  adalah pergerakan Vertikal.

Tabel 3. Pergerakan Stasiun CORS sebelum gempa

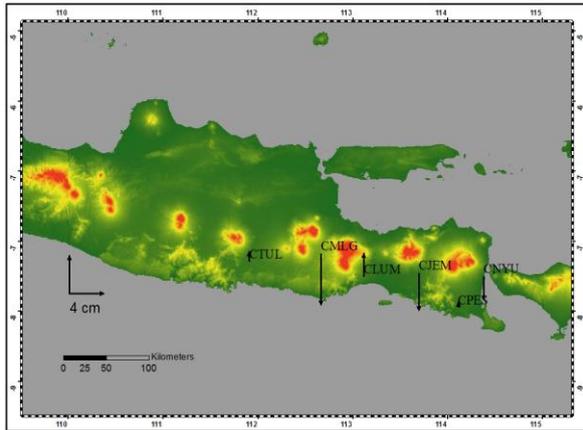
CORS	Kecepatan (m/tahun)				Simpangan Baku (m)		
	$V_n$	$V_e$	$V_{hor}$	$V_u$	$S_{dn}$	$S_{de}$	$S_{du}$
CJEM	-0.0067	0.0267	0.0275	-0.0385	0.0048	0.0059	0.0163
CLUM	-0.0011	0.0349	0.0349	0.0241	0.0069	0.0077	0.0272
CMLG	-0.0136	0.0396	0.0419	-0.0524	0.0072	0.0085	0.0248
CNYU	0.0018	0.0320	0.0321	-0.0240	0.0052	0.0066	0.0185
CPES	-0.0086	0.0336	0.0347	0.0062	0.0056	0.0071	0.0200
CTUL	-0.0075	0.0347	0.0355	0.0107	0.0049	0.0059	0.0162

Tabel 4. Pergerakan Stasiun CORS sesudah gempa

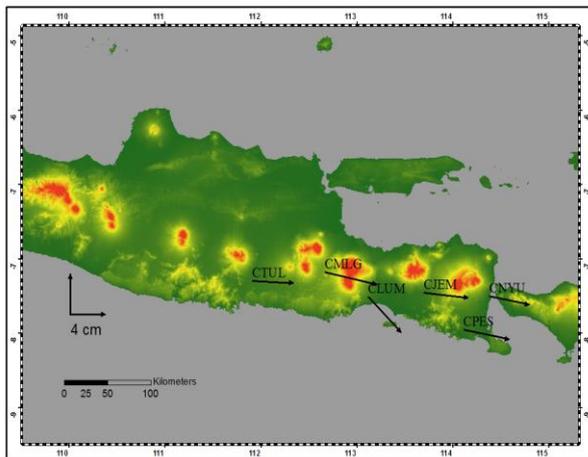
CORS	Kecepatan (m/tahun)				Simpangan Baku (m)		
	$V_n$	$V_e$	$V_{hor}$	$V_u$	$S_{dn}$	$S_{de}$	$S_{du}$
CJEM	-0.0053	0.0456	0.0459	-0.0115	0.0049	0.0061	0.0166
CLUM	-0.0344	0.0337	0.0481	-0.0779	0.0068	0.0080	0.0199
CMLG	-0.0120	0.0536	0.0549	-0.0101	0.0062	0.0080	0.0216
CNYU	-0.0080	0.0414	0.0422	-0.0062	0.0051	0.0065	0.0179
CPES	-0.0092	0.0473	0.0481	0.0081	0.0055	0.0070	0.0190
CTUL	-0.0019	0.0420	0.0421	0.0015	0.0049	0.0062	0.0165



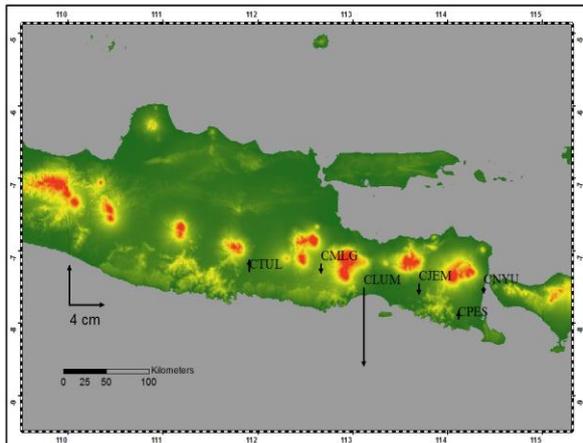
Gambar 15. Arah horizontal *Velocity Rate* sebelum terjadi gempa



Gambar 16. Arah vertikal *Velocity Rate* sebelum terjadi gempa



Gambar 17 Arah Horizontal *Velocity Rate* setelah terjadi gempa



Gambar 18. Arah vertikal *Velocity Rate* setelah terjadi gempa

Dari hasil penelitian tersebut digambarkan bahwa arah horizontal titik CORS sebelum terkena gempa dominan ke arah tenggara, sedangkan CLUM dan CNYU ke arah timur dan timur laut. Setelah terjadinya gempa arah pergeseran horizontalnya seluruh titik CORS mengarah ke tenggara. Arah vertikal digambarkan sebelum gempa titik yang mengarah ke atas adalah CLUM, CPES dan CTUL sedangkan yang mengarah ke bawah adalah CJEM, CMLG dan CNYU.

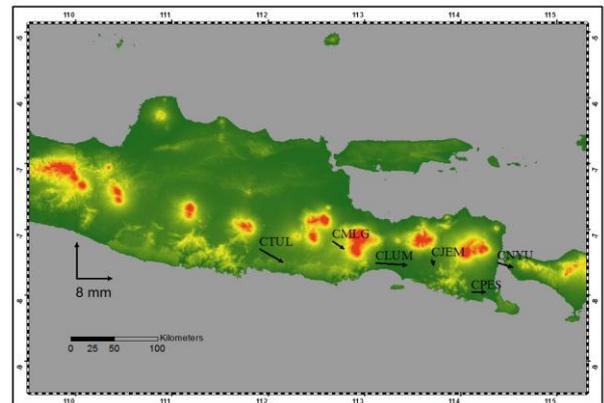
Arah vertikal sesudah gempa menunjukkan yang mengarah ke atas adalah CPES dan CTUL. Sedangkan vertikal yang mengarah ke bawah adalah CJEM, CLUM, CMLG, dan CNYU.

#### IV.4 Hasil perhitungan pergeseran akibat gempa

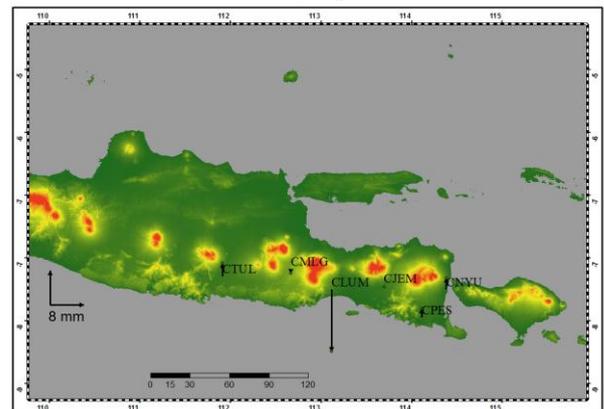
Pada penelitian ini untuk menghitung pergeseran akibat terjadinya gempa dengan menggunakan data 10 DOY data penelitian setelah gempa kemudian dikurangkan dengan data 10 DOY data penelitian sebelum gempa yang terjadi pada 16 November 2016. Berikut adalah Hasil dari perhitungan tersebut yang dijelaskan pada tabel 5 dan arah pergeserannya terdapat pada gambar 19 dan 20 :

Tabel 5. Pergerakan Stasiun CORS akibat gempa

CORS	Pergeseran (m)				Simpangan Baku (m)		
	dn	de	dhor	du	Sdn	Sde	Sdu
CJEM	-0.0014	0.0005	0.0015	-0.0002	0.0028	0.0056	0.0036
CLUM	-0.0005	0.0065	0.0066	-0.0140	0.0037	0.0051	0.0127
CMLG	-0.0017	0.0025	0.0030	-0.0010	0.0027	0.0042	0.0015
CNYU	-0.0011	0.0032	0.0034	0.0026	0.0026	0.0038	0.0028
CPES	0.0001	0.0030	0.0030	0.0020	0.0025	0.0037	0.0026
CTUL	-0.0029	0.0049	0.0057	0.0030	0.0027	0.0042	0.0029



Gambar 19. Arah horizontal *Velocity Rate* akibat gempa



Gambar 20. Arah vertikal *Velocity Rate* akibat gempa

Dari gambar 19 dan 20 dijelaskan bahwa arah horizontal pergeseran akibat gempa dominan mengarah ke tenggara, sedangkan stasiun CORS Pesanggerahan (CPES) condong mengarah ke selatan. dan pergeseran vertikal akibat gempa Malang 16 November 2016 4 titik mengarah ke bawah yaitu titik CORS CLUM, CJEM, CMLG, dan CTUL. Sedangkan

2 titik CORS pengamatan lainnya yaitu CPES dan CNYU mengarah ke atas.

**IV.5 Analisis**

**IV.5.1 Analisis Uji pergeseran (Uji T)**

Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan uji T untuk mengetahui apakah pada saat terjadi gempa mengalami pergeseran secara signifikan atau tidak. Uji statistik ini dilakukan dengan cara menguji variabel pergeseran titik ( $P_{ij}$ ) dari sesi pengamatan  $i$  ke sesi  $j$  yang nilainya dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Wolf and Ghilani, 1997 dalam Andriyani, 2012):

$$P_{ij} = (dN_{ij}^2 + dE_{ij}^2)^{0.5} \dots\dots\dots(1)$$

Standar deviasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$StdP_{ij} = (sddN_{ij}^2 + sddE_{ij}^2)^{0.5} \dots\dots\dots(2)$$

Hipotesis nol yang digunakan pada uji stastistik ini adalah titik pengamatan tidak bergeser dalam selang  $i$  dan  $j$ , sehingga:

Hipotesis nol  $H_0 : P_{ij} = 0$

Hipotesis alternatif  $H_a : P_{ij} \neq 0$

Statistik yang digunakan dalam menguji pergeseran titik-titik pengamatan adalah:

$$T = \frac{P_{ij}}{StdP_{ij}} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% maka nilai T-tabel adalah 1,960. Apabila T-hitungan lebih besar dari nilai T-tabel (nilai  $t$   $df, \alpha/2$ ) maka menunjukkan bahwa parameter mempunyai perbedaan yang signifikan. Akan tetapi apabila nilai T-hitungan lebih kecil dari T-tabel (nilai  $t$   $df, \alpha/2$ ) berarti parameter yang diuji tidak mempunyai perbedaan yang signifikan. menunjukkan apakah pada fenomena gempa yang terjadi mengalami pergeseran secara signifikan baik horizontal maupun vertikal. Maka dengan analisis tersebut menghasilkan nilai sebagai berikut :

Tabel 6. Analisis uji pergeseran horizontal Stasiun CORS akibat gempa

KOMPONEN HORIZONTAL									
CORS	Vn	Ve	Sdn	Sde	P	Std P	T hitungan	T-tabel	Pergeseran
CJEM	-0.0014	0.0005	0.0028	0.0056	0.0015	0.0063	0.2320	1.960	Tidak
CLUM	-0.0005	0.0065	0.0037	0.0051	0.0066	0.0063	1.0359	1.960	Tidak
CMLG	-0.0017	0.0025	0.0027	0.0042	0.0030	0.0049	0.6108	1.960	Tidak
CNYU	-0.0011	0.0032	0.0026	0.0038	0.0034	0.0046	0.7435	1.960	Tidak
CPES	0.0001	0.0030	0.0025	0.0037	0.0030	0.0045	0.6732	1.960	Tidak
CTUL	-0.0029	0.0049	0.0027	0.0042	0.0057	0.0050	1.1420	1.960	Tidak

Tabel 7. Analisis uji pergeseran vertikal Stasiun CORS akibat gempa

KOMPONEN VERTIKAL					
CORS	Vu	Sdu	T hitungan	T-tabel	Pergeseran
CJEM	-0.0002	0.0036	0.0611	1.960	Tidak
CLUM	-0.0140	0.0127	1.1015	1.960	Tidak
CMLG	-0.0010	0.0015	0.6343	1.960	Tidak
CNYU	0.0026	0.0028	0.9129	1.960	Tidak
CPES	0.0020	0.0026	0.7767	1.960	Tidak
CTUL	0.0030	0.0029	1.0348	1.960	Tidak

Dari tabel 6 dan 7 dijelaskan bahwa hasil analisis uji pergeseran komponen horizontal dan vertikal akibat gempa 16 November 2016 menunjukkan bahwa titik CORS seluruh pengamatan tidak memiliki nilai pergeseran yang signifikan. Hal itu dibuktikan bahwa nilai T maksimal pada uji ini yaitu sebesar 1.142030 untuk komponen horizontal dan nilai T maksimal vertikal sebesar 1.10152 dimana hal tersebut kurang dari nilai uji statistik pergeseran yaitu sebesar 1.960.

**V. Kesimpulan dan Saran**

**V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan analisis dari penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan, diantaranya:

1. *Velocity rate* sebelum dan sesudah gempa pada 16 November 2016 beserta arah vektornya adalah sebagai berikut :
  - a. Vektor kecepatan pergeseran (*velocity rate*) horizontal stasiun GNSS CORS sebelum gempa maupun sesudah gempa dominan mengarah ke tenggara.
  - b. Vektor kecepatan pergeseran (*velocity rate*) vertikal stasiun GNSS CORS sebelum gempa dan sesudah gempa terdapat nilai positif maupun negatif
  - c. Uji statistik (uji T) *velocity rate* (kecepatan pergeseran) sebelum gempa 16 November 2016 pada tiap titik penelitian menunjukkan terjadi pergeseran yang signifikan, begitupun dengan *velocity rate* setelah terjadinya gempa.
2. Nilai pergeseran akibat gempa pada 16 November 2016 beserta arah vektornya adalah sebagai berikut:
  - a. Vektor pergeseran horizontal stasiun GNSS CORS saat terjadinya gempa mengarah ke tenggara. Nilai pergeseran relatif kecil yakni sebesar  $dhor = 0,0014$  meter sampai  $0,0065$  meter.
  - b. Vektor pergeseran vertikal stasiun GNSS CORS terdapat nilai positif maupun negatif dengan nilai relatif kecil dengan nilai  $- 0,014$  meter sampai  $0,003$  meter.
  - c. Uji statistik (uji T) pergeseran akibat gempa 16 November 2016 pada tiap titik penelitian menunjukkan tidak terjadi pergeseran yang signifikan.

**V.2 Saran**

Dari penelitian kali ini terdapat saran yang dapat diberikan untuk kemajuan penelitian selanjutnya diantaranya :

1. Titik pengamatan sebaiknya mengambil seluruh wilayah di Jawa timur agar mengetahui pergeseran di titik lainnya dan kekuatan jaring semakin baik
2. Menggunakan perangkat keras (hardware) dengan spesifikasi yang lebih baik, untuk memudahkan dalam proses pengolahan.
3. Penelitian selanjutnya melakukan uji distribusi normal data agar bisa mengetahui apakah data tersebut terdistribusi normal atau tidak.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abidin, H.Z.,2001. *Geodesi Satelit*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Abidin, H. Z., 2007. *Materi ajar survei satelit-modul 4: differencing dan pengkombinasian data gps*. Teknik Geodesi, ITB.
- Abidin, H. Z. 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Andriyani, Gina. 2012. *Kajian Regangan Selat Bali Berdasarkan Data GNSS Kontinu Tahun 2009 – 2011*. Semarang : Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro
- Bock, Y., Prawirodirdjo, L.,Genrich, J.F., Stevens, C.W., McCaffrey, R., Subarya, C.,Puntodewo, SSO., and Calais, E. 2003. *Crustal Motion in Indonesia from Global Positioning System Measurements*. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No. B8. 2367.
- Herring, T.A., King, R.W., & McClusky, S.C. 2010. *GAMIT Reference Manual*.Departement of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences. Massachussets Institute of Technology.
- Saputra, Rizky.2015. *Perhitungan velocity rate CORS GNSS di wlayah pantai utara Jawa Tengah*. *Jurnal Geodesi UNDIP*. Volume 4 nomor 4 tahun 2015.
- Sunantyo, A. 2009. *GNSS CORS Infrastructure and Standard in Indonesia*. Paper presented at the 7th FIG Regional Conference 2009, Hanoi, Vietnam, 19 – 22 Oktober.
- Wibowo, E.Y. 2014. *Mengenal Teknologi GPS*. <http://ekowibowo78.blogspot.com/2014/04/mengenal-teknologi-gps.html>

Akses internet :

- <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/> diakses pada tanggal 10 Desember 2017
- <http://igs.org/network> di akses pada tanggal 11 Desember 2017
- <http://inacors.big.go.id/spiderweb/frmIndex.aspx> diakses pada tanggal 3 November 2017
- <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/skala-intensitas-gempabumi.bmkg> diakses pada tanggal 3 Desember 2017
- <https://sopac.ucsd.edu/> diakses pada 5 Desember 2017