

Analisis Pengaruh Regangan Tektonik Pada Sesar Cimandiri Terhadap Aktivitas Vulkanik Gunungapi Gede Berdasarkan Data GPS Tahun 2016-2019

FARHAN RIZKY HIDAYAT¹, HENRI KUNCORO², ESTU KRISWATI³

1. Institut Teknologi Nasional, Bandung
2. Institut Teknologi Nasional, Bandung
3. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana (PVMBG)
Email : farhanrizkyhidayat85@gmail.com

ABSTRAK

Tektonik Pulau Jawa sangat dipengaruhi oleh gerak konvergen antara Lempeng Sunda dengan Lempeng Indo-Australia dimana terdapat zona subduksi di Selatan Jawa. Beberapa Sesar terbentuk di wilayah Jawa Barat sebagai hasil dari akomodasi stress (Fitri, dkk., 2018). Salah satu sesar yang terbentuk di Jawa Barat adalah Sesar Cimandiri. Wilayah Jawa Barat juga memiliki Gunungapi aktif yaitu Gunung Gede yang termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Bogor, Kabupaten Cianjur, dan Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Gunungapi Gede walaupun tidak ditemukan adanya sesar (fault) namun berpotensi terjadinya bencana geologi akibat pergeseran batuan/formasi dan patahan/sesar yang terdapat di sebelah Selatan Sukabumi dan Cibadak (Iskandar, dkk., 2012). Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gejala deformasi yang terjadi di Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede menggunakan 15 data stasiun pengamatan GPS tahun 2016-2019 dengan menggunakan metode Grid Strain. Vektor kecepatan atau velocity di Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede dari tahun 2016-2019 memiliki kecepatan rata-rata untuk sumbu East 27,29 mm/tahun, sumbu North -7,06 mm/tahun, dan sumbu Up 4,54 mm/tahun. Dari hasil vektor kecepatan dapat disimpulkan bahwa arah pergeseran seluruh stasiun pengamatan bergerak seragam menuju arah tenggara. Pola regangan yang dihasilkan pada perhitungan Grid Strain menunjukkan nilai principal positif yang relatif lebih sedikit daripada nilai principal negative. Hal ini menunjukkan gejala deformasi yang terjadi di Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede berupa inflasi.

Kata kunci: Regangan, Grid Strain, Sesar Cimandiri, Gunungapi Gede

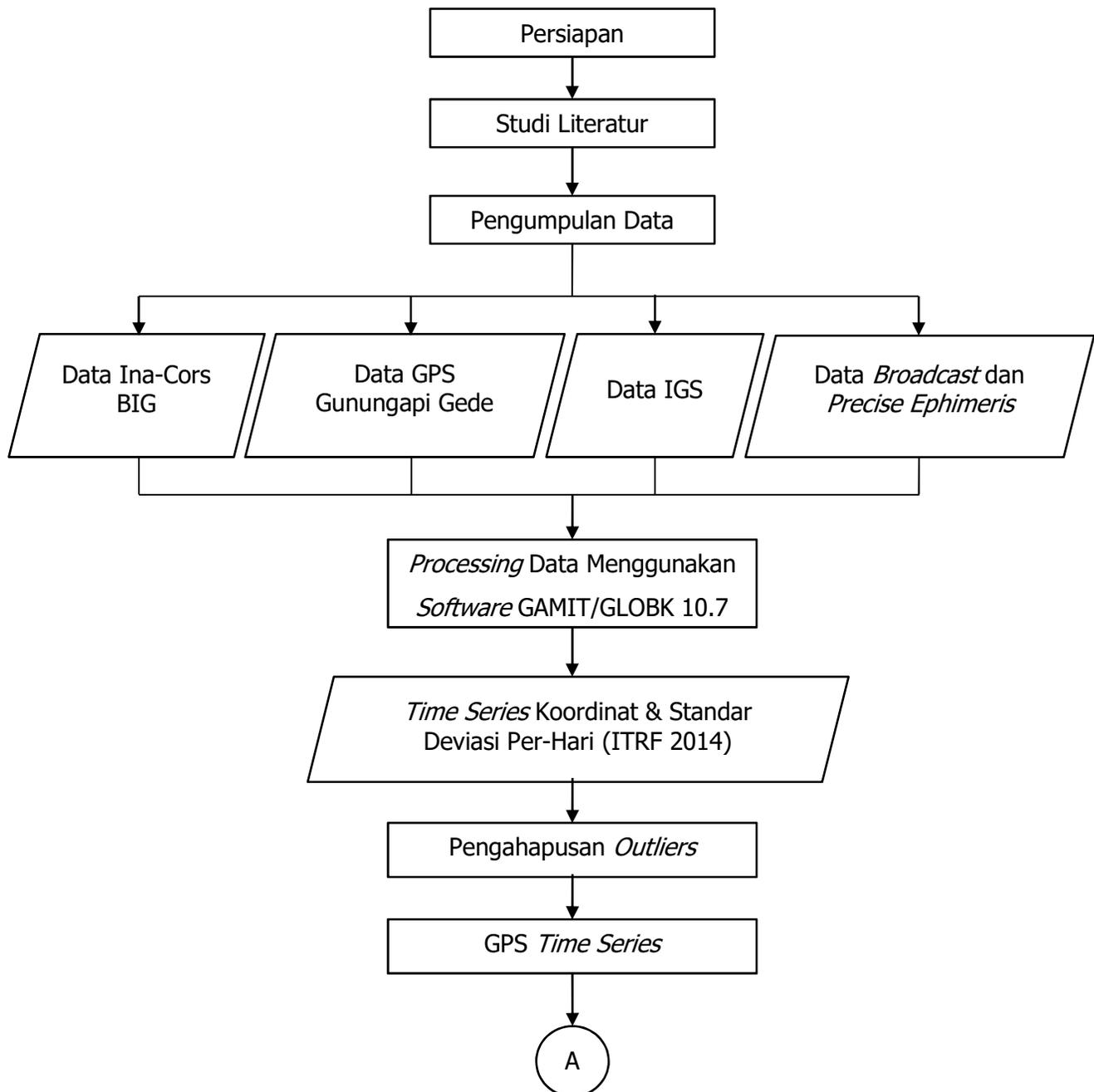
1. PENDAHULUAN

Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif karena adanya tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu di wilayah Indonesia. Tiga lempeng tektonik besar dunia tersebut adalah Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Keberadaan interaksi antar lempeng ini menempatkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi (Hartadi, dkk., 2015). Tektonik pulau jawa sangat dipengaruhi oleh gerak konvergen antara Lempeng Sunda dengan Lempeng Indo-Australia. Pergerakan ini menciptakan zona subduksi di Selatan Jawa. Zona subduksi menciptakan beberapa patahan atau sesar tektonik aktif di wilayah Pulau Jawa bagian barat sebagai hasil dari akomodasi stres (Fitri, dkk., 2018). Salah satu sesar aktif di Pulau Jawa bagian barat adalah Sesar Cimandiri. Sesar Cimandiri berada di Selatan Sukabumi terbentuk sebagai akibat aktivitas subduksi lempeng Indo-Australia di bawah lempeng Sunda. Sesar Cimandiri tersegmentasi

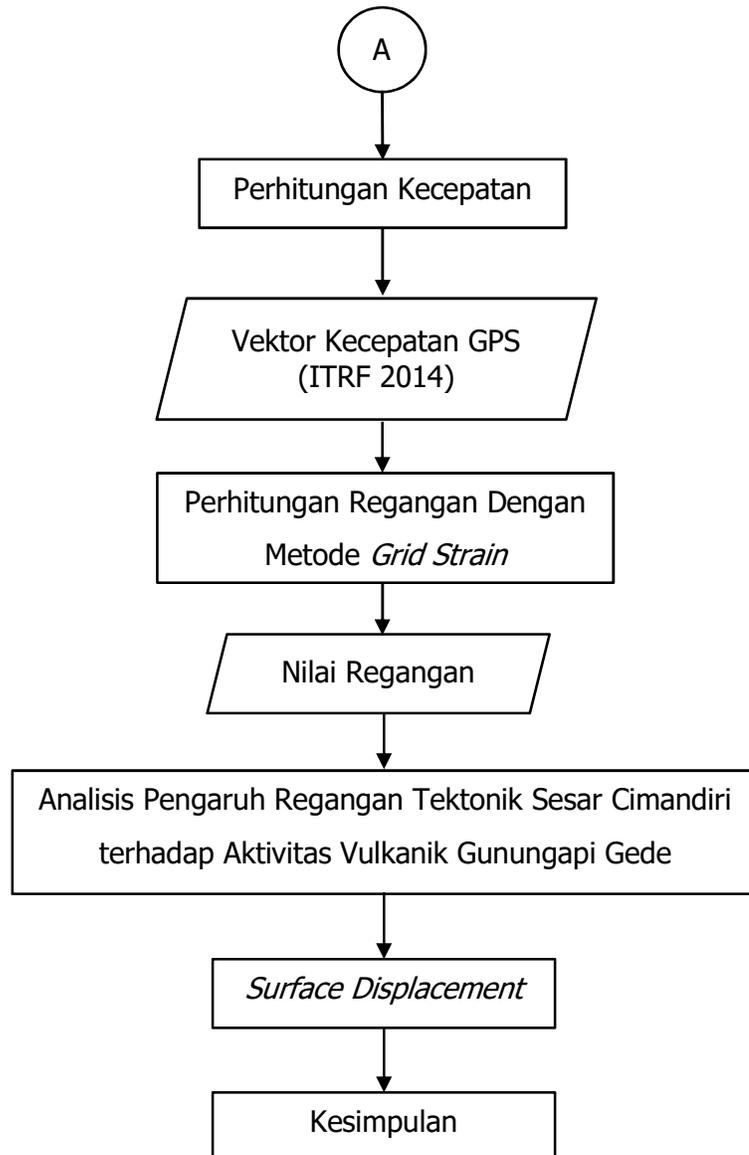
menjadi tiga segmen yaitu Segmen I Cimandiri, Segmen II Cibeber-Nyalindung, dan Segmen III Rajamandala (Pusgen, 2017). Menurut Darji dkk. (1993), Sesar Cimandiri adalah sesar geser mengiri (*sinistral strike-slip fault*). Sesar Cimandiri merupakan sesar aktif, yang ditandai dengan hadirnya gempa bumi dangkal disekitar sesar dan terjadi pergerakan horizontal berdasarkan pengamatan menggunakan metode *Global Positioning System*. Gempa bumi yang diakibatkan oleh aktivitas Sesar Cimandiri jarang melebihi magnitudo 6 Mw. Gempa bumi yang pernah terjadi diantaranya pada tanggal 23 Maret 1879, gempa ini mengakibatkan hampir semua bangunan di Cianjur hancur dan kerusakan juga terjadi di Kota Sukabumi dan Bogor. Gempa selanjutnya terjadi pada tanggal 14 Januari 1900, yang terjadi di Kota Sukabumi dan terasa di seluruh Jawa bagian barat. Akibat gempa ini, terjadi kerusakan besar di Kota Sukabumi dan sekitarnya dan muncul rekahan dari Karang Tengah hingga Cibeber, Gunungapi Gede juga dilaporkan meningkat aktifitasnya setelah gempa terjadi (Visser, 1922). Wilayah Jawa Barat Selain terdapat Sesar aktif yang berada di selatan sukabumi, secara administratif juga memiliki Gunungapi yang aktif yaitu Gunung Gede yang termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Bogor, Kabupaten Cianjur, dan Kabupaten Sukabumi, Propinsi Jawa Barat. Gunungapi Gede walaupun tidak ditemukan adanya sesar (*fault*) namun berpotensi terjadinya bencana geologi akibat pergeseran batuan/formasi dan patahan/sesar yang terdapat di sebelah Selatan Sukabumi dan Cibadak (Iskandar, dkk., 2012). Gunungapi Gede tercatat mempunyai aktivitas cukup tinggi terletak 20 km sebelah utara Sesar Cimandiri. Gempa bumi dangkal sering terjadi di sekitar Gunung Gede dan bersumber pada lokasi yang cukup dekat bahkan beberapa diantaranya berada di sekitar lembah cimandiri. Gempa bumi terasa yang berpusat di sekitar lembah cimandiri terjadi pada 2007, 2010, 2012, dan 2014 diikuti oleh Swarm gempa bumi volkano-tektonic (VT) di Gunung Gede. Hal ini kemungkinan menunjukkan ada keterkaitan tektonik dan aktivitas Gunung Gede meskipun swarm tersebut tidak diikuti oleh perubahan signifikan di permukaan (Hidayati, dkk, 2018). Pemodelan berdasarkan data GPS yang dilakukan tahun 2006-2015 di sekitar Gunungapi Gede menunjukkan adanya sesar dengan tegasan utama berarah barat-laut-tenggara. Sesar Cimandiri mempunyai mekanisme sesar mendatar mengiri dan sesar naik dengan komponen mengiri, sedangkan mekanisme kegempaan swarm di Gunungapi Gede didominasi oleh sesar naik dan sesar normal (Hidayati, dkk., 2018). Deformasi Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede yang berupa inflasi atau deflasi dapat diidentifikasi dari besarnya kompresi dan ekstensi pada pola regangan dengan menggunakan metode *Grid Strain* untuk mengestimasi nilai regangan pada Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede. Metode *Grid Strain* ini mengonversi data kecepatan GPS dari 15 stasiun GPS kontinyu yang tersebar di sekitar Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede menghasilkan nilai regangan tektonik dalam bentuk *grid* pada Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede. Hal ini ditujukan agar hasil estimasi regangan tektonik menjadi lebih rapat, sehingga pola regangan semakin realistis (Riyadi, dkk., 2016). Pengamatan deformasi menggunakan data pengamatan GPS merupakan salah satu metode yang efektif karena dapat mengamati perubahan bentuk permukaan secara kontinyu (Wismaya, dkk., 2016). Data pengamatan GPS yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Seluruh data pengamatan GPS dari tahun 2016 hingga 2019 diolah secara statik differensial menggunakan *software* GAMIT/GLOBK 10.7 untuk mengetahui posisi, arah, dan besar pergeseran suatu titik pengamatan dari waktu ke waktu serta dapat diidentifikasi besarnya kompresi dan ekstensi pada pola regangan dengan menggunakan metode *Grid Strain* untuk menentukan regangan pada Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede (Wismaya, dkk., 2016).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melakukan pelaksanaan ini memiliki beberapa tahapan diantaranya, studi literatur, pengumpulan data, pemilihan stasiun referensi, pengolahan data. Metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dengan uraian sebagai berikut.



Gambar 1. Metodologi Penelitian



Gambar 1. Metodologi Penelitian (Lanjutan)

2.1 Studi Literatur

Pada pengumpulan literatur berkaitan dan dapat menunjang dalam penelitian yang di lakukan sebagai referensi. Referensi yang digunakan harus memiliki permasalahan yang dapat dikaitkan dengan tema penelitian yang sedang diteliti seperti, karakteristik Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede, metode deformasi yang akan digunakan, perhitungan untuk mendapatkan nilai kecepatan pergeseran dan regangan. Referensi yang di gunakan dapat berupa jurnal penelitian, tugas akhir, dan buku.

Dalam studi literatur ini juga memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh Sesar Cimandiri terhadap Aktivitas Vulkanik Gunungapi Gede dengan cara melakukan pengamatan pergerakan pada Sesar dan Gunungapi tersebut melalui pemantauan deformasi.

2.2 Pegumpulan Data

Kajian deformasi dilakukan dengan mengambil data pengamatan GPS di Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede yang diperoleh dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana (PVMBG) dan stasiun InaCORS milik Badan Informasi Geospasial (BIG). Data deformasi yang diolah merupakan data rinex dari GPS secara kontinyu yang diperoleh dari masing-masing stasiun pemantau aktivitas Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede seperti MKRJ, MKRW, PSBL, PUTR, CTAN, CUJG, CTVI, CPTU, CPTN, CLDO, CJUR, CPWK, CBTU, CJKT, dan CTGR. Dan data kegempaan yang terjadi di sekitar Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede yang didapatkan dari PVMBG dan <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>. Periode data yang digunakan yakni dari tahun 2016 sampai 2019. Data GPS di sekitar Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Stasiun pengamatan GPS di sekitar Gunungapi Gede dan Sesar Cimandiri

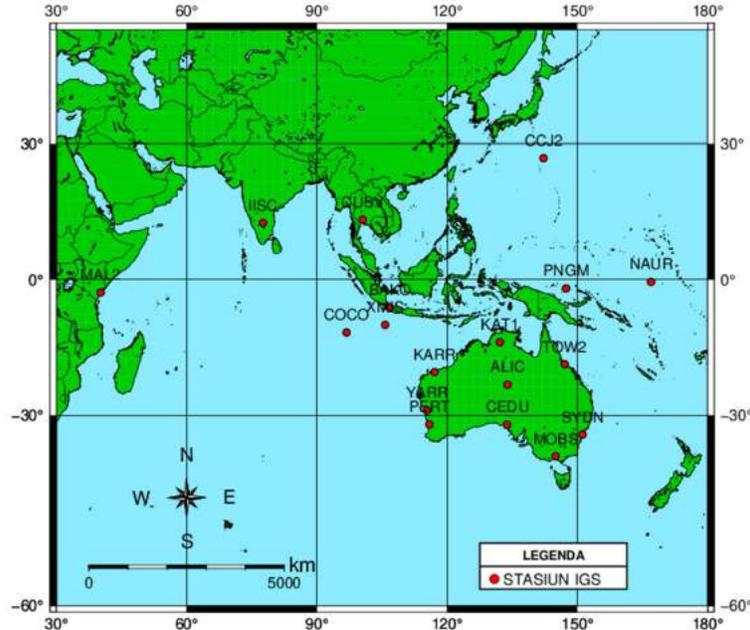
No	Stasiun	Koordinat		Lokasi	Sumber	Format Data
		Long (°)	Lat (°)			
1	MKRJ	106,992	-6,842	Sukabumi, Jawa Barat	PVMBG	RINEX
2	PUTR	106,998	-6,766	Cianjur, Jawa Barat		RINEX
3	PSBL	106,991	-6,710	Bogor, Jawa Barat		RINEX
4	MKRW	107,047	-6,851	Kabupaten Cianjur, Jawa Barat		RINEX
5	CLDO	106,830	-6,767	Bogor, Jawa Barat	BIG	RINEX
6	CPWK	107,443	-6,551	Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat		RINEX
7	CBTU	107,096	-6,308	Bekasi, Jawa Barat		RINEX
8	CTGR	106,664	-6,291	Tangerang Selatan, Banten		RINEX
9	CJKT	106,885	-6,110	Jakarta Utara, Jakarta		RINEX
10	CJUR	107,138	-6,822	Kabupaten Cianjur, Jawa Barat		RINEX
11	CTAN	107,124	-7,268	Kabupaten Cianjur, Jawa Barat		RINEX
12	CUJG	106,406	-7,382	Sukabumi, Jawa Barat		RINEX
13	CTVI	106,597	-7,121	Sukabumi, Jawa Barat		RINEX
14	CPTU	106,551	-6,989	Sukabumi, Jawa Barat		RINEX
15	CPTN	106,411	-6,961	Sukabumi, Jawa Barat		RINEX

Selain itu juga diperlukan penggunaan stasiun referensi IGS (*International GNSS Service*) yang meliputi XMIS, COCO, BAKO, KARR, KAT1, ALIC, YARR, PERT, CEDU, MOBS, SYDN, TOW2, PNGM, NAUR, CCJ2, CUSV, IISC, dan MAL2. Data Stasiun referensi yang digunakan ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Stasiun referensi IGS yang digunakan

No	Stasiun	Koordinat		Lokasi	Sumber	Format Data
		Long (°)	Lat (°)			
1	ALIC	133,886	-23,670	Alice Springs , Australia	IGS (<i>International GNSS Service</i>)	RINEX
2	BAKO	106,850	-6,490	Cibinong , Indonesia		RINEX
3	CEDU	133,810	-31,867	Ceduna , Australia		RINEX
4	COCO	96,834	-12,188	Cocos (Keeling) Island , Australia		RINEX
5	CUSV	100,534	13,736	Patumwan, Thailand		RINEX
6	IISC	77,570	13,021	Bangalore , India		RINEX
7	KARR	117,097	-20,981	Karratha , Australia		RINEX
8	KAT1	132,153	-14,376	Katherine , Australia		RINEX
9	MOBS	144,975	-37,829	Melbourne , Australia		RINEX
10	PERT	115,885	-31,802	Perth , Australia		RINEX
11	PNGM	147,366	-2,043	Lombrum , Papua New Guinea		RINEX
12	TOW2	147,056	-19,269	Cape Ferguson , Australia		RINEX
13	XMIS	105,688	-10,450	Christmas Island , Australia		RINEX
14	SYDN	151,150	-33,781	Sydney , Australia		RINEX
15	YARR	115,347	-29,047	Yarragadee , Australia		RINEX
16	NAUR	166,926	-0,552	Nauru , Yaren District		RINEX
17	CCJ2	142,195	27,068	Ogasawara , Japan		RINEX
18	MAL2	40,194	-2,996	Malindi , Kenya		RINEX

2.3 Pemilihan Stasiun Referensi



Gambar 2. Peta Sebaran Stasiun IGS

Pada gambar 2 data pengamatan delapan belas stasiun IGS yang terdiri dari XMIS, COCO, BAKO, KARR, KAT1, ALIC, YARR, PERT, CEDU, MOBS, SYDN, TOW2, PNGM, NAUR, CCJ2, CUSV, IISC, dan MAL2. Stasiun pengamatan tersebut di pilih berdasarkan jarak terdekat dari lokasi pengamatan deformasi di Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede, serta delapan belas stasiun IGS tersebut memiliki perekaman yang cukup stabil dalam pengambilan datanya, untuk mengetahui apakah stasiun pengamatan IGS yang dipilih tersebut stabil maka dari itu dilakukannya pengecekan histori perekaman data dari setiap stasiun pengamatan IGS yang bisa dicek dalam situs resmi IGS. Penggunaan stasiun IGS berjumlah delapan belas ini pun berdasarkan pengamatan Ulinuha (2015) yang menyatakan bahwa penggunaan tujuh titik ikat IGS memberikan ketelitian posisi dalam fraksi 1/10 mm. Dalam hal ini dapat meningkatkan ketelitian posisi yang di hasilkan.

2.4 Pengolahan Data

2.4.1 Pengolahan Data dengan Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK 10.7

Tahapan ini mencakup proses mengestimasi tiga dimensi posisi relatif stasiun bumi dan orbit satelit menggunakan *software* GAMIT/GLOBK 10.7. Masing-masing data rinex yang di dapatkan dari hasil rekaman GPS, nantinya akan di proses dalam *software* sehingga menghasilkan grafik *velocity* atau kecepatan pergeseran dari setiap stasiun pengamatan yang terdapat di Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede. Tahap selanjutnya yakni merepresentasikan hasil deformasi tersebut setelah terjadinya aktifitas di Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede. Sebagai contoh, untuk melakukan *processing* pada perangkat lunak GAMIT yang harus dilakukan adalah:

Langkah pertama yaitu membuat folder kerja baru dengan menggunakan *command sh_setup -yr 2016* di terminal, sehingga nantinya secara otomatis akan ada pada folder *aaaa* yang berupa folder *tables*. Folder ini berisi *file* sebagai pengaturan pada saat proses pengolahan seperti *lfile*, *process.default*, *sestbl*, *sittbl*, *sites.default*, dan *station.info*. Langkah berikutnya

yaitu membuat folder RINEX di folder kerja yang akan digunakan dan isi dengan data-data RINEX yang telah diperoleh dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) dan stasiun InaCors milik Badan Informasi Geospasial (BIG).

Apabila folder kerja sudah selesai maka aktifkan terminal lalu lakukan proses **sh_gamit -s 2016 001 365 -expt aaaa** data yang diolah adalah data dari hari ke-1 sampai hari ke-365. Jika sudah melakukan proses **sh_gamit** maka akan muncul *folder doy* lalu akan dilakukan pengecekan kualitas hasil pengolahan dengan cara melakukan pengecekan *sh_gamit.summary* di setiap *folder doy*, jika *postfit nrms* antara 0.25 sampai dengan 0.5 maka akan menghasilkan *normalized rms*.

2.4.2 Transformasi Koordinat Ke Dalam ITRF 2014 Menggunakan GLOBK

Pengolahan *software* GLOBK memerlukan data hasil dari pengolahan *software* GAMIT. Hasil dari pengolahan GLOBK menghasilkan *folder gsoln* yang di dalamnya terdapat *folder plots* dan *res* yang berisikan hasil grafik dari *plotting time series* di masing-masing stasiun pengamatan yang terdapat pada Gunung Semeru maupun pada stasiun referensi. Pada *folder res* didalamnya terdapat *file* yang memiliki nilai koordinat akhir dari masing-masing stasiun dan juga terdapat nilai standar deviasi. Sebagai contoh untuk melakukan *processing* pada perangkat lunak GLOBK yang harus dilakukan adalah : Apabila data yang diolah telah lengkap maka perintah dasar yang kedua bisa dilakukan yaitu **glred 6 globk_rep.org aaaa.gdl globk.cmd** proses ini sekaligus melakukan *plot time series*. Apabila *running sh_glred* telah selesai maka dilakukan pengecekan folder *gsoln*, seperti pada Gambar 3. Apabila di dalam folder *gsoln* telah terbentuk folder *plots* dan *pos* maka pengolahan data deformasi menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK 10.7 telah selesai dilakukan.

2.4.3 Transformasi Koordinat Ke Dalam ITRF 2014 Menggunakan GLOBK

Untuk mengetahui seberapa besar nilai vektor dan kecepatan pergeseran (*velocity*), maka perlu di lakukan *Plotting time series* dan *dtrend* menggunakan *software* Matlab *plugin tsview*. Namun sebelumnya, lakukan perubahan data (.org) menjadi (.pos) terlebih dahulu dengan menggunakan *script* pada terminal GAMIT/GLOBK 10.7 seperti berikut :

Tssum . aaaa.final_pos *org

Sebelum melakukan tahapan pengolahan, terlebih dahulu harus membuat data (.pos) dan *plugin tsview* ke dalam satu *folder* lalu dilanjutkan dengan langkah-langkah berikut ini :

- ❖ Menghubungkan *folder* yang terdapat data (.pos) dan *plugin tsview*.
- ❖ *Run plugin tsview*
- ❖ Pilih *load* untuk menjalankan *plotting time series*
- ❖ Penghapusan *outliers* pada stasiun pengamatan yang berada di Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede terjadi karena buruknya data saat perekaman pengambilan data tersebut oleh GPS di DOY (*day of year*) tertentu. Serta stasiun referensi IGS yang digunakan tidak menghasilkan data yang bagus maka di lakukanlah *edit* dan *block edit*. *Edit* digunakan untuk menghapus *outliers* di DOY (*day of year*) tertentu, sedangkan *block edit* digunakan untuk menghapus *outliers* dalam jangka waktu yang panjang misalkan 1 bulan.

Dtrend untuk mendapatkan nilai vektor dan kecepatan pergeseran. Hasil dari *dtrend* yakni berupa nilai vektor kecepatan pada sumbu *East, North, Up*, dan juga berupa nilai standar deviasi dari setiap sumbunya.

2.4.4 Perhitungan Regangan Menggunakan Metode *Grid Strain*

Dalam menghitung nilai regangan, perlu digunakan metode perhitungan *Grid Strain*, dimana data yang digunakan untuk melakukan perhitungan tersebut adalah koordinat setiap titik pengamatan, standar deviasi dan data pergeseran yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data yang di gunakan untuk perhitungan regangan

Nama Stasiun	Koordinat		E velocity (mm/year)	N velocity (mm/year)	U velocity (mm/year)	Standar Deviasi E (mm)	Standar Deviasi N (mm)	Standar Deviasi U (mm)
	LONG (° ' ")	LAT (° ' ")						
CBTU	107°5'46.93"	-6°18'29.95"	24,44	-6,85	0,70	0,32	0,38	2,27
CJKT	106°53'04.31"	-6°6'36.39"	25,24	-8,18	14,76	0,32	0,16	4,32
CJUR	107°8'17.31"	-6°49'19.53"	27,54	-8,06	2,98	0,55	0,59	1,58
CLDO	106°49'49.09"	-6°46'2.39"	26,83	-4,96	-1,57	0,62	0,86	3,36
CPTN	106°24'41"	-6°57'39.06"	25,92	-6,05	6,48	0,69	0,31	2,07
CPTU	106°33'4.96"	-6°59'21.09"	26,63	-6,09	-0,24	0,31	0,37	1,42
CPWK	107°26'35"	-6°33'4.02"	25,31	-9,29	5,26	0,29	0,22	0,70
CTAN	107°7'25.66"	-7°16'4.25"	25,61	-6,97	-0,32	0,68	0,40	4,40
CTRG	106°39'49.69"	-6°17'27"	25,71	-7,07	-0,93	0,34	0,21	0,64
CTVI	106°35'48.31"	-7°7'15"	37,71	-6,65	19,58	1,77	0,39	4,16
CUJG	106°24'20.03"	-7°22'55.09"	28,35	-5,66	-3,84	0,51	0,35	2,10
MKRJ	106°59'32"	-6°50'32"	28,86	-8,32	25,17	0,62	0,4	4,13
MKRW	107°59'49"	-6°51'4"	27,85	-7,39	0,98	1,27	0,38	1,13
PSBL	106°59'26"	-6°42'37"	26,05	-7,12	1,1	0,4	0,28	0,75
PUTR	106°59'54"	-6°45'57"	27,31	-7,34	-1,91	0,46	2,58	6,18

2.4.5 Memodelkan *Surface Displacement* menggunakan Okada

Pada penelitian ini nilai regangan dihitung menggunakan metode *Grid Strain*, setelah itu untuk memperkuat analisis dalam penelitian ini dilakukan lah pemodelan *surface displacement* menggunakan okada. Metode ini memerlukan data koordinat tiap Segmen yang ada di Sesar Cimandiri dan data kegempaan yang pernah terjadi disekitar wilayah tersebut. Dalam formula Okada, untuk memperoleh nilai *displacement* titik-titik pengamatan di permukaan bumi, diperlukan data parameter sumber gempa sebagai data input. Parameter sumber gempa yang dimaksud yaitu: koordinat toposentrik (*east, north*) titik pengamatan relatif terhadap pusat gempa (*fault centroid*), kedalaman gempa (*depth*), sudut *strike*, sudut *dip*, panjang bidang gempa (*length*), lebar bidang gempa (*width*), sudut *rake*, dislokasi dalam arah *rake (slip)*, dan dislokasi dalam komponen tensile (*open*).

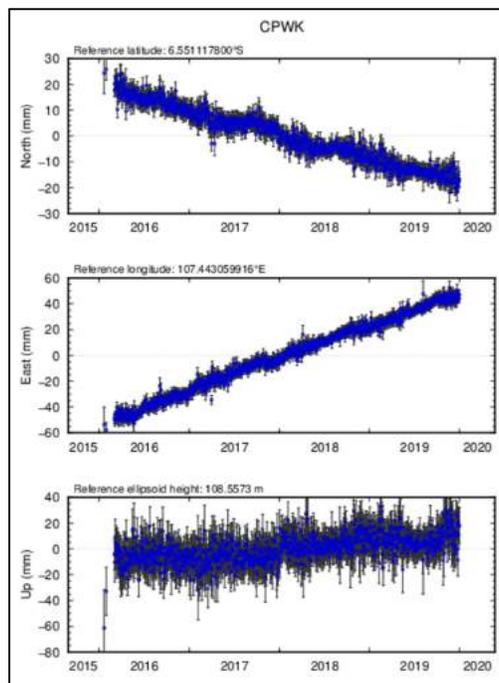
2.4.6 Memodelkan *Surface Displacement* menggunakan Okada

Pada *software Generic Mapping Tools* ini di gunakan untuk untuk proses pengeplotan hasil pengolahan *software plugin tsview* dan Matlab di *plot* dan menghasilkan visualisasi berupa vektor pergeseran mm/year dan regangan dari setiap titik pengamatan dalam satuan $\mu\text{strain}/\text{yr}$. Hasil yang akan di tampilan berupa peta yang berisikan vektor arah pergeseran dan regangan dari setiap titik pengamatan.

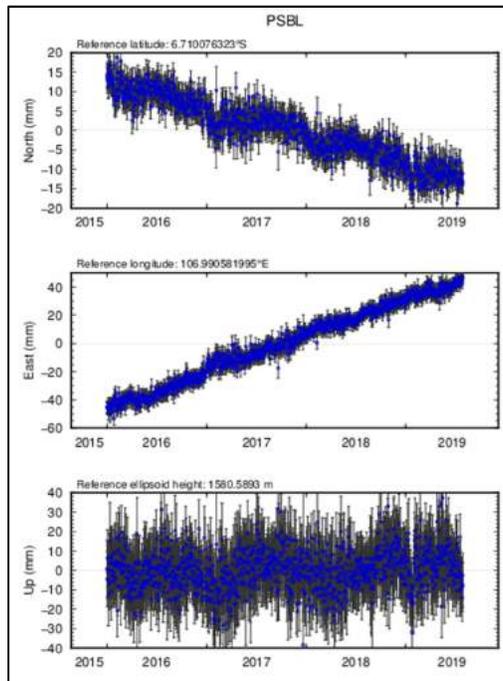
3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Hasil *Time Series* Pada Setiap Titik Pengamatan

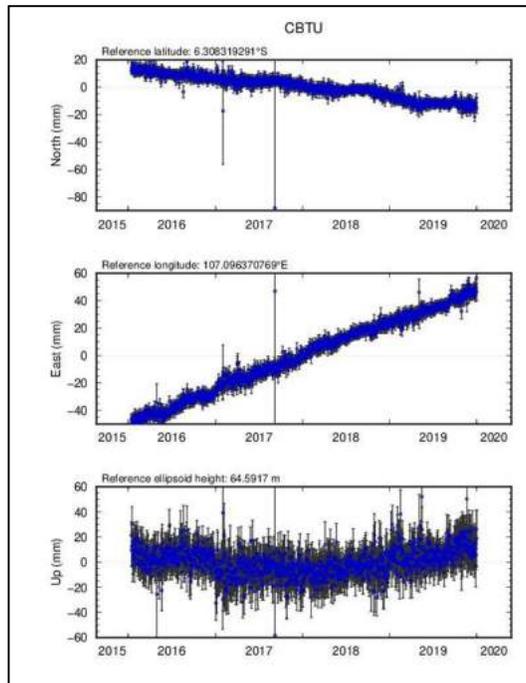
Untuk melakukan proses *plotting* semua data pengamatan setiap stasiun dari tahun 2016-2019, dibutuhkan proses *plotting time series* dengan menggunakan *plugin tsview* pada *software* Matlab. Hasil dari *plotting time series* dari setiap stasiun pengamatan memiliki ketelitian yang beragam disetiap sumbunya sehingga *plotting time series* inipun berguna untuk mengetahui jika terdapat *outliers* didalamnya sehingga *plotting time series* inipun bisa digunakan sebagai langkah sebelum membersihkan data (jika terdapat *outliers*). Untuk hasil *plotting time series* dari stasiun MKRJ, MKRW, PSBL, PUTR, CTAN, CUJG, CTVI, CPTU, CPTN, CLDO, CJUR, CPWK, CBTU, CJKT, dan CTGR. Pada Gambar 3 sampai 6 merupakan salah satu hasil *time series* pada stasiun pengamatan CPWK, PSBL, CBTU, dan MKRW tahun 2016-2019 untuk mengetahui vektor kecepatan pergeseran pada stasiun tersebut terhadap aktivitas Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede.



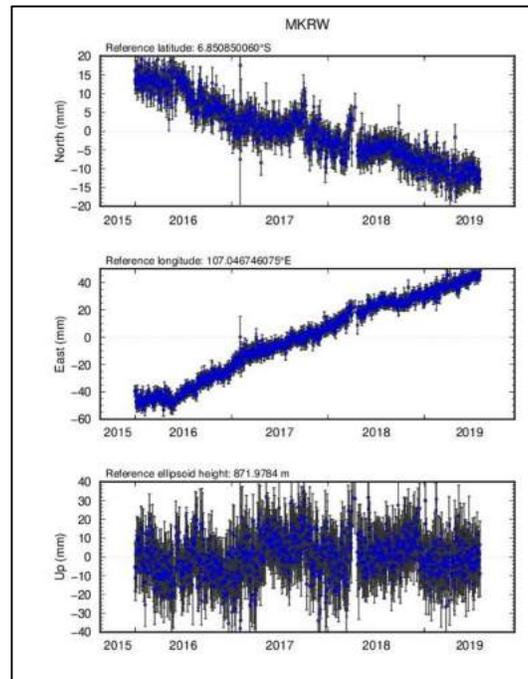
Gambar 3. *Plotting Time Series* CPWK



Gambar 4. Plotting Time Series PSBL



Gambar 5. Plotting Time Series CBTU



Gambar 6. Plotting Time Series MKRW

3.2 Hasil Vektor Kecepatan Pergeseran GPS

Data dari hasil pengolahan perangkat lunak GAMIT/GLOBK 10.7 dengan menggunakan koordinat toposentrik pada empat stasiun pengamatan yang terdiri dari MKRJ, MKRW, PSBL, PUTR, CTAN, CUJG, CTVI, CPTU, CPTN, CLDO, CJUR, CPWK, CBTU, CJKT, dan CTGR. Untuk nilai koordinat, kecepatan pergeseran, dan nilai standar deviasi merupakan nilai ketelitian dari suatu koordinat di Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede dari tahun 2016-2019 bisa di lihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Koordinat, Kecepatan Pergeseran, dan Standar Deviasi tahun 2016-2019

Nama Stasiun	Koordinat		E velocity (mm/year)	N velocity (mm/year)	U velocity (mm/year)	Standar Deviasi E (mm)	Standar Deviasi N (mm)	Standar Deviasi U (mm)
	LONG (° ' ")	LAT (° ' ")						
CBTU	107°5'46.93"	-6°18'29.95"	24,44	-6,85	0,70	0,32	0,38	2,27
CJKT	106°53'04.31"	-6°6'36.39"	25,24	-8,18	14,76	0,32	0,16	4,32
CJUR	107°8'17.31"	-6°49'19.53"	27,54	-8,06	2,98	0,55	0,59	1,58
CLDO	106°49'49.09"	-6°46'2.39"	26,83	-4,96	-1,57	0,62	0,86	3,36
CPTN	106°24'41"	-6°57'39.06"	25,92	-6,05	6,48	0,69	0,31	2,07
CPTU	106°33'4.96"	-6°59'21.09"	26,63	-6,09	-0,24	0,31	0,37	1,42
CPWK	107°26'35"	-6°33'4.02"	25,31	-9,29	5,26	0,29	0,22	0,70
CTAN	107°7'25.66"	-7°16'4.25"	25,61	-6,97	-0,32	0,68	0,40	4,40

Tabel 4. Nilai Koordinat, Kecepatan Pergeseran, dan Standar Deviasi tahun 2016-2019 (Lanjutan)

Nama Stasiun	Koordinat		E velocity (mm/year)	N velocity (mm/year)	U velocity (mm/year)	Standar Deviasi E (mm)	Standar Deviasi N (mm)	Standar Deviasi U (mm)
	LONG ($^{\circ}$ '")	LAT ($^{\circ}$ '")						
CTRG	106°39'49.69"	-6°17'27"	25,71	-7,07	-0,93	0,34	0,21	0,64
CTVI	106°35'48.31"	-7°7'15"	37,71	-6,65	19,58	1,77	0,39	4,16
CUJG	106°24'20.03"	-7°22'55.09"	28,35	-5,66	-3,84	0,51	0,35	2,10
MKRJ	106°59'32"	-6°50'32"	28,86	-8,32	25,17	0,62	0,4	4,13
MKRW	107°59'49"	-6°51'4"	27,85	-7,39	0,98	1,27	0,38	1,13
PSBL	106°59'26"	-6°42'37"	26,05	-7,12	1,1	0,4	0,28	0,75
PUTR	106°59'54"	-6°45'57"	27,31	-7,34	-1,91	0,46	2,58	6,18

Dalam penelitian ini untuk mengetahui deformasi Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede konsep uji *t-student* yaitu membandingkan antara resultan pergeseran horizontal titik pengamatan dengan standar deviasi resultan pergeseran horizontalnya.

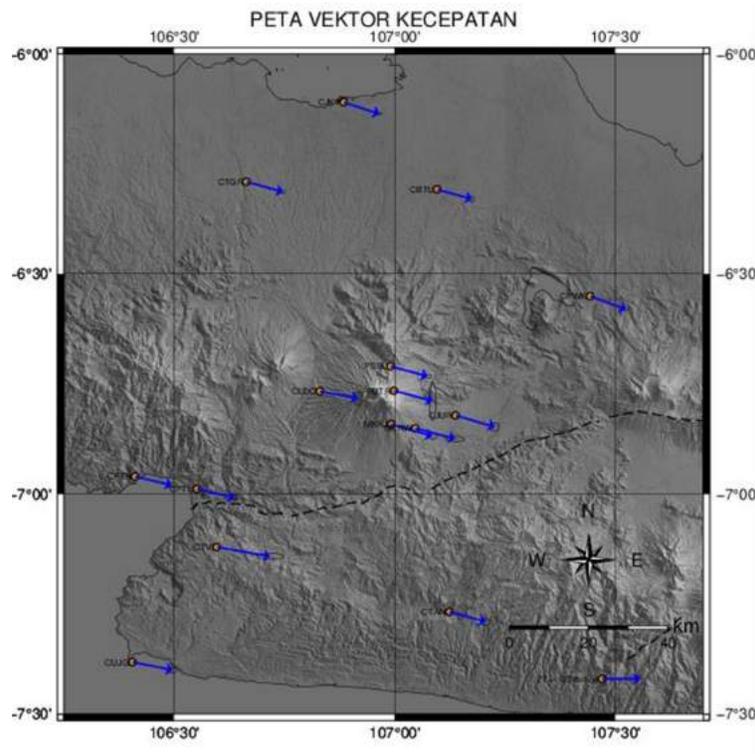
Tabel 5. Hasil uji *t-student* titik pengamatan GPS

Nama Stasiun	de	dn	σ_e	σ_n	Vr	StdVr	t	t syarat	Uji Statistik t
CBTU	24,44	-6,85	0,32	0,38	25,38	0,50	51,09	1,96	Lolos
CJKT	25,24	-8,18	0,32	0,16	26,53	0,36	74,16	1,96	Lolos
CJUR	27,54	-8,06	0,55	0,59	28,70	0,81	35,58	1,96	Lolos
CLDO	26,83	-4,96	0,62	0,86	27,28	1,06	25,74	1,96	Lolos
CPTN	25,92	-6,05	0,69	0,31	26,62	0,76	35,19	1,96	Lolos
CPTU	26,63	-6,09	0,31	0,37	27,32	0,48	56,59	1,96	Lolos
CPWK	25,31	-9,29	0,29	0,22	26,96	0,36	74,07	1,96	Lolos
CTAN	25,61	-6,97	0,68	0,40	26,54	0,79	33,64	1,96	Lolos
CTRG	25,71	-7,07	0,34	0,21	26,66	0,40	66,72	1,96	Lolos
CTVI	37,71	-6,65	1,77	0,39	38,29	1,81	21,13	1,96	Lolos
CUJG	28,35	-5,66	0,51	0,35	28,91	0,62	46,74	1,96	Lolos
MKRJ	28,86	-8,32	0,62	0,4	30,04	0,74	40,71	1,96	Lolos
MKRW	27,85	-7,39	1,27	0,38	28,81	1,33	21,74	1,96	Lolos
PSBL	26,05	-7,12	0,4	0,28	27,01	0,49	55,31	1,96	Lolos
PUTR	27,31	-7,34	0,46	2,58	28,28	2,62	10,79	1,96	Lolos

Dari tabel uji *t-student* Tabel 4 dari semua stasiun pengamatan yang terdapat di Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede semuanya dinyatakan lolos uji statistik , dimana titik yang lolos artinya hipotesa nol ditolak yang mengindikasikan titik tersebut mengalami pergeseran signifikan.

3.3 Hasil *Plotting* Vektor Kecepatan GPS

Hasil *plotting* vektor kecepatan pada *software* GMT (*Generic Mapping Tools*) menghasilkan peta vektor kecepatan dari sumbu horizontal dan vertikal untuk seluruh stasiun pengamatan yang tersebar pada Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede. Untuk hasil *plotting* vektor kecepatan dapat di lihat pada gambar 7.



Gambar 7. Hasil Vektor Kecepatan pada Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede

3.4 Hasil Dan Analisis Perhitungan Dan *Plotting* Regangan

Regangan merupakan salah satu bentuk dari adanya deformasi. Pada penelitian ini nilai regangan diperoleh dengan menggunakan perhitungan metode *Grid Strain* yang terdiri atas regangan ekstensi disimbolkan dengan panah biru mengarah keluar, kompresi disimbolkan dengan panah merah mengarah kedalam, dan arah pada setiap grid. Hasil nilai regangan Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede pada tahun 2016-2019 ditunjukkan pada Tabel 6, pada periode ini besar regangan pada Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede dapat dikategorikan besar karena hasil dari perhitungan *Grid Strain* menunjukkan nilai *principal positif* yang relatif lebih sedikit dari pada nilai *principal negative*.

Tabel 6. Sampel Nilai Regangan pada Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede

No	Lat (° ' ")	Long (° ' ")	E _{max} (μ strain/yr)	E _{min} (μ strain/yr)	Arah (° ' ")
1	106°20'26,41"	-6°04'48,00"	0.007900888	-0.033730017	42.02224056
2	106°20'26,41"	-6°10'13,57"	0.009828344	-0.031922722	42.25850210
3	106°20'26,41"	-6°15'39,15"	0.011484671	-0.029117384	41.61256256

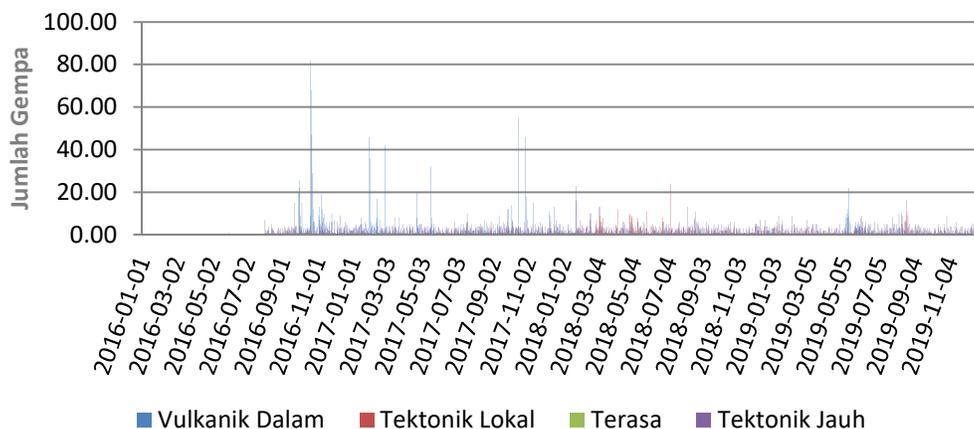
Tabel 6. Sampel Nilai Regangan pada Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede (Lanjutan)

No	Lat (° ' ")	Long (° ' ")	E _{max} (μ strain/yr)	E _{min} (μ strain/yr)	Arah (° ' ")
4	106°20'26,41"	-6°21'04,73"	0.013187747	-0.025539333	39.53627638
5	106°20'26,41"	-6°26'30,30"	0.015575402	-0.022110619	36.05352664
6	106°42'07,21"	-6°04'48,00"	-0.002906230	-0.037790388	37.43012019
7	106°47'32,28"	-6°04'48,00"	-0.007251426	-0.038189244	36.78582401
8	106°47'32,28"	-6°10'13,58"	-0.003687722	-0.038519791	39.06233314
9	106°47'32,28"	-7°20'45,96"	-0.002090256	-0.026142388	53.34194885
10	106°47'32,28"	-7°26'11,54"	-0.004308509	-0.028289236	57.17887761

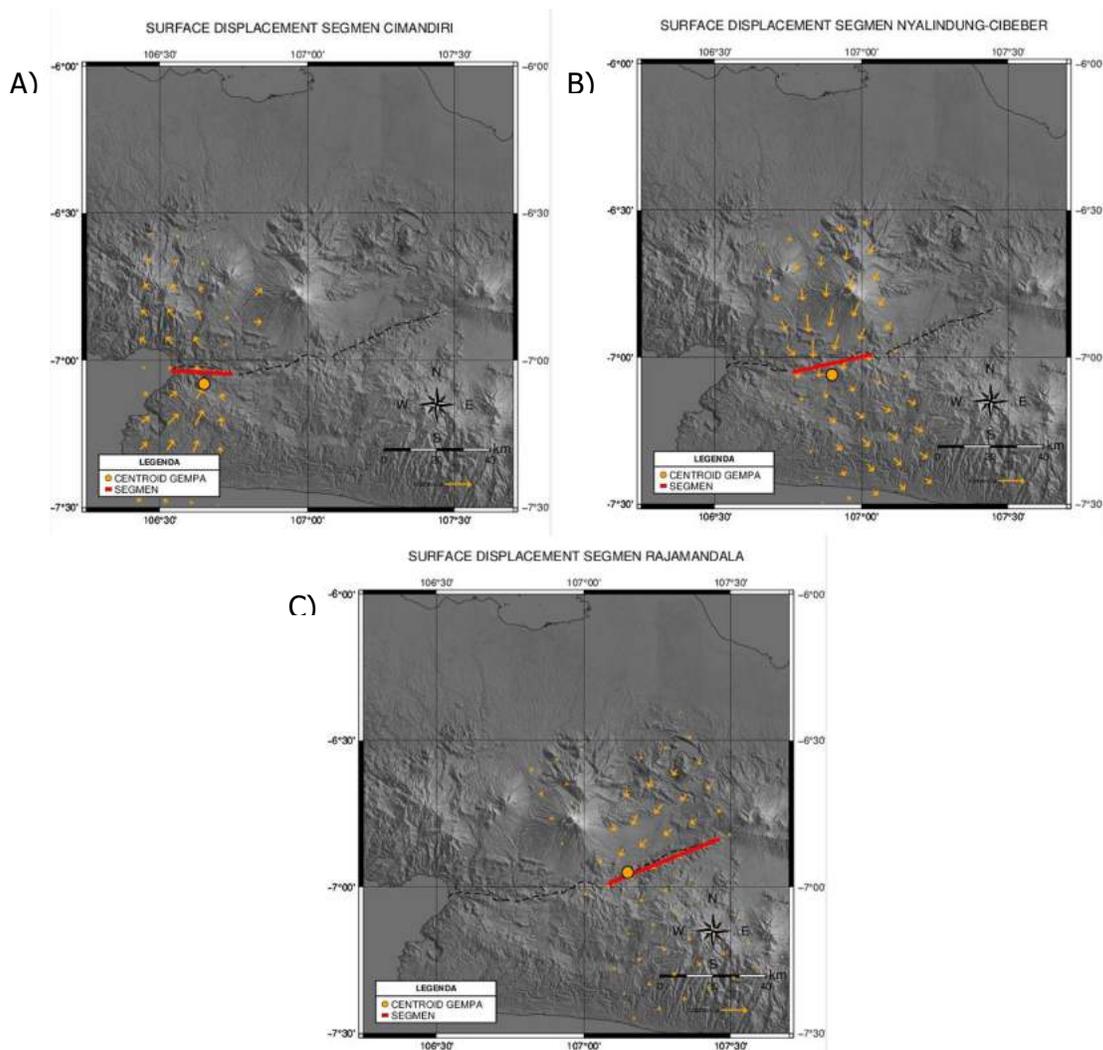
Hasil dari *plotting* nilai regangan di sekitar Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede tahun 2016-2019 dapat dilihat pada Gambar 10, pada sekitar stasiun pengamatan Gunungapi Gede memiliki pola regangan kompresi yang berorientasi timur laut – barat daya dan ekstensi berorientasi barat laut – tenggara sedangkan pada daerah sekitar stasiun pengamatan CORS milik BIG yang berada di bagian selatan terdapat regangan kompresi yang berorientasi timur laut – barat daya dan ekstensi berorientasi barat laut – tenggara. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede mengalami penggembungan (inflasi) dan pemodelan deformasi dengan data GPS di wilayah sekitar Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede menghasilkan Sesar naik, hal ini menunjukkan bahwa memungkinkan adanya keterkaitan antara Sesar Cimandiri dengan Gunungapi Gede, meskipun pada kurun waktu 2016 sampai 2019 tidak banyak kegempaan tektonik pada Sesar Cimandiri dengan magnitude ≤ 5 Mw yang tidak cukup kuat untuk mempengaruhi aktivitas vulkanik Gunungapi Gede seperti pada grafik gambar 8.

Grafik Kegempaan Gunungapi Gede

Periode 2016-01-01 hingga 2019-12-31



Gambar 8. Grafik kegempaan Gunungapi Gede



Gambar 11. Hasil *Plotting Surface Displacement* Segmen Cimandiri (A), Segmen Nyalindung-Cibeber (B), dan Segmen Rajamandala (C) menggunakan GMT

Hasil model *surface displacement* bertujuan untuk memperkuat analisis dalam penelitian ini, maka dilakukan lah pemodelan *surface displacement* menggunakan okada. Metode ini memerlukan data koordinat tiap Segmen yang ada di Sesar Cimandiri dan data kegempaan yang pernah terjadi disekitar wilayah tersebut. Tipe - tipe sesar dari hasil *surface displacement* ini dianalisis dari (Cronin, 2004) yang mempresentasikan jenis – jenis sesar untuk kejadian gempa bumi berdasarkan nilai sudut *slip*. Berikut merupakan tabel tipe sesar berdasarkan nilai dari sudut slip seperti pada tabel 7.

Tabel 7. Jenis – jenis sesar berdasarkan nilai sudut *slip* (Cronin, 2004)

Jenis Sesar	<i>Rake of slip</i>
<i>Pure strike-slip</i>	0° atau 180°
<i>Pure dip-slip reverse</i>	90°
<i>Pure dip-slip normal</i>	-90°
<i>Left lateral strike-slip</i>	-20° sampai 20°
<i>Reverse left-lateral oblique</i>	20° sampai 70°
<i>Reverse</i>	70° sampai 110°
<i>Reverse right-lateral oblique</i>	110° sampai 160°
<i>Right lateral strike-slip</i>	-160° sampai 160°
<i>Normal right-lateral oblique</i>	-110° sampai -160°
<i>Normal</i>	-70° sampai -110°
<i>Normal left-lateral oblique</i>	-20° sampai -70°

Model *surface displacement* pada gambar (A) titik *centroid* gempa menggunakan data gempa pada tanggal 13 Desember 2016 dengan *focal mechanism* berupa nilai $M_w = 4.72$, *strike* = 185, *dip* = 51, *depth* = 20 km dan *rake* = 18 memiliki tipe sesar *left lateral strike-slip*. Pada gambar (B) titik *centroid* gempa menggunakan data gempa pada tanggal 07 Juli 2018 dengan *focal mechanism* berupa nilai $M_w = 5.3$, *strike* = 350, *dip* = 42, *depth* = 25.2 km dan *rake* = 30 memiliki tipe sesar *reverse left-lateral oblique*. Pada gambar (C) titik *centroid* gempa menggunakan data gempa pada tanggal 12 Desember 2017 dengan *focal mechanism* berupa nilai $M_w = 4.96$, *strike* = 19, *dip* = 48, *depth* = 22 km dan *rake* = 50 memiliki tipe sesar *reverse left-lateral oblique*. Dari model *surface displacement* menunjukkan adanya pergeseran di sekitaran Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede diwakili oleh vektor berwarna *orange*, hal tersebut diakibatkan oleh adanya aktivitas Sesar Cimandiri. Hasil *surface displacement* menunjukkan aktivitas Sesar yang terjadi belum mempengaruhi aktivitas vulkanik Gunungapi Gede dilihat dari *surface displacement*nya yang kecil dengan nilai sekitar 0.04 mm/tahun. Adapun keadaan yang terjadi setelah adanya gempa tektonik pada tanggal 13 Desember 2016 Gunungapi Gede mengalami gempa vulkanik dalam (VA) yang mengindikasikan adanya pengaruh terhadap Gunungapi Gede meskipun tidak diikuti aktivitas vulkanik yang signifikan. Pada tanggal 07 Juli 2018 gempa tektonik yang terjadi cukup besar tetapi Gunungapi Gede tidak mengalami peningkatan aktivitas vulkanik. Pada tanggal 12 Desember 2017 gempa tektonik yang terjadi Gunungapi Gede mengalami gempa vulkanik dalam (VA) cukup kecil dan tidak diikuti peningkatan aktivitas vulkanik Gunungapi Gede.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian analisis deformasi Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede dengan menggunakan metode *Grid Strain* berdasarkan data pengamatan GPS tahun 2016-2019, dapat di ambil kesimpulan bahwa :

1. Dari hasil vektor kecepatan, pola pergeseran 15 stasiun pengamatan pada Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede tahun 2016-2019 dominan bergerak secara seragam ke arah tenggara, hal ini menunjukkan adanya efek subduksi dengan lempeng Indo-Australia.
2. Pada kurun waktu 2016 sampai 2019 nilai regangan yang dihasilkan menggunakan metode *Grid Strain* memiliki pola regangan kompresi berorientasi timur laut – barat daya dan ekstensi berorientasi barat laut – tenggara pada sekitar stasiun pengamatan Gunungapi Gede sedangkan pada daerah sekitar stasiun pengamatan CORS milik BIG yang berada di bagian selatan terdapat regangan kompresi yang berorientasi timur laut – barat daya dan ekstensi berorientasi barat laut – tenggara.
3. Hasil model *surface displacement* pada Segmen Cimandiri dengan data gempa pada tanggal 13 Desember 2016 memiliki tipe sesar *left lateral strike-slip*, Segmen Cibeber – Nyalindung dengan data gempa pada tanggal 07 Juli 2018 memiliki tipe sesar *reverse left-lateral oblique*, dan Segmen Rajamandala dengan data gempa pada tanggal 12 Desember 2017 memiliki tipe sesar *reverse left-lateral oblique*.
4. Dari hasil model *surface displacement* pergeseran yang terjadi diakibatkan oleh adanya aktivitas Sesar Cimandiri belum mempengaruhi aktivitas vulkanik Gunungapi Gede dilihat dari *surface displacement*nya yang kecil dengan nilai sekitar 0.04 mm/tahun dan tidak adanya peningkatan aktivitas vulkanik yang signifikan setelah terjadinya gempa tektonik.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk kemajuan penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Dalam penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan dan melakukan pengamatan GPS di sekitar Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede untuk lebih mempresentasikan pergerakan yang terjadi di wilayah tersebut.
2. Perlunya penelitian yang berkelanjutan agar aktivitas Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede agar dapat terus terpantau serta mempermudah kegiatan upaya mitigasi bencana.
3. Perlunya melakukan penelitian analisis regangan Sesar Cimandiri dan Gunungapi Gede dengan menggunakan metode yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi) dan BIG (Badan Informasi Geospasial) yang telah menunjang bantuan berupa pemberian data dan membantu dalam proses pengolahan data selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2000). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z., Yolanda, O., Meilano, I., Suganda, O. K., Kusuma, M. A., Muhandi, D., Setyadji, B., Sukhyar, R., Kahar, J., Tanaka, T. (1998). *Efek Bias Troposfer pada Pemantauan Deformasi G. Guntur Dengan Metode Survei GPS*. PROC. Institut Teknologi Bandung.
- Abidin, Hasanuddin. Z. (2007). *Penentuan Posisi Dengan GPS Dan Aplikasinya*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita
- Andreas, Heri. (2001). *Analisis deformasi Gunung api Papandayan Memanfaatkan Parameter Baseline Hasil Survei GPS*. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika
- Cronin, V., (2004). *A Draft Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists*. http://serc.carleton.edu/files/NAGTWorkshops/structure04/Focal_mechanism_primer.pdf (Vince_Cronin@baylor.edu)
- Dardji, N., Villemin, T., Rampnoux, J. P. (1993). *Paleostresses and strike-slip movement: the Cimandiri Fault zone*. West Java, Indonesia. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, Vol. 9, No. 1/2, pp. 3-1 I, 1994.
- Fitri, I.H., Meilano, I., Setyadji, A.B., Susilo. (2018). *Analysis of Cimandiri Fault Mechanism Type Based on Strain Pattern from GPS Observations in the Year 2010 - 2017*. Institut Teknologi Bandung.
- Hartadi, J., Raharjo, S., Alfiani, O.D. (2015). *Pemodelan Tingkat Aktivitas Sesar Berdasarkan Analisis Deformasi Menggunakan Pengamatan GPS*. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran", Yogyakarta. ISBN 978-602-8206-67-9.
- Haryanto, I. (2006). *Struktur Geologi Paleogen dan Neogen di Jawa Barat*. Bulletin of Scientific Contribution, 4(1), 88–95.
- Haryanto, I., Hutabarat, J., Sudrajat, A., Ilmi, N.N., Sunardi, E. (2017). *Tektonik Sesar Cimandiri, Provinsi Jawa Barat*. Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Fakultas Teknik Geologi, Bandung. Jurnal Bulletin of Scientific Contribution, Volume 15, Nomor 3, Desember 2017: 255 – 274.
- Herring, T. A. (2014). *GAMIT/GLOBK MATLAB TOOLS*. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology.
- Herring, T. A. (2015). *Introduction to GAMIT/GLOBK*. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology.
- Herring, T. A., King, R.W., Floyd, M.A., McClusky, S.C. (2018). *GAMIT Reference Manual Release 10.7*. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science, Massachusetts Institute of Technology.
- Herring, T. A., King, R.W., Floyd, M.A., McClusky, S.C. (2018). *Introduction to GAMIT / GLOBK Release 10.7*. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science, Massachusetts Institutes of Technology.
- Hidayati, S., Sulaeman, C., Supartoyo., Kriswati, E. (2018). *Pengaruh Gempabumi Tektonik Terhadap Aktivitas G. Gede Influence of Tectonic Earthquakes to Gede Volcano Activity*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral Vol.19. No.4 November 2018 hal 213 – 220.
- Hill, D.P., Pollitz, F., and Newhall, C., (2002). *Earthquake-volcano interactions, Physic Today 55(11): 41-47*.
- IGS (2004). *About the IGS 2004 Version for Historical Purposes*. Diakses pada 09 Desember 2020, dari <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202102256-boutthe-IGS-2004-version-for-historical-purposes>.

- Irsyam, M., Hendriyawan, Asrurifak, M., Mikail, R., Sabaruddin, A., Faisal, L., Meilano, I., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Triyoso, W., Hidayati, S., Rudyanto, A., Imran, I., Sakti, L. M. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*,1-377. ISBN: 978-602-5489-01-3.
- Iskandar, M., Santojo, T.B., Sutardji. (2012). *Analisis Kerapatan Vegetasimenggunakan Teknik Penginderaan Jauh Sebagai Basis Evaluasi Kerusakan Hutan Di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango*. Jurusan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Semarang, Indonesia. ISSN 2252-6285.
- Kaplan, E. D. dan Hegarty, C. J. (2017). *Understanding GPS/GNSS Principles and Applications third edition*. Artec House Boston. London
- Kuncoro. (2013). *Estimasi parameter rotasi Euler blok Sunda berdasarkan data pengamatan GPS kontinyu dan episodik di regional asia tenggara*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Leick, A., Rapoport, L., Tatarnikov, D., (2015). *GPS Satellite Surveying*. 4th edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Meilano, I., Kriswati, E., Iguchi, M., Abidin, H. Z., Surono. (2018). *An evaluation of the possibility of tectonic triggering of the Sinabung Eruption*. Journal of Volcanology and Geothermal Research.
- Mulyana, I., dan Basuki, A. (2013) : *Laporan Penelitian dan Pengamatan Gunung Gede 2013*.
- Nikolaidis, Rosane. 2002. *Observation of Geodetic and Seismic Deformation with The Global Positioning System*. University of California, San Diego.
- Okada, Y., (1985). *Surface Deformation Due To Shear And Tensile Faults In A Half-Space*. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 75, No. 4, pp. 1135-1154.
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. (2016). *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Bandung: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Pusgen. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. ISBN-602-5489-01-3.
- Riyadi, G., Prasidya A.S. (2016). *Pemanfaatan Data Pengamatan Gnss Stasiun Sugar (Sumatran Gps Array) Dan Ina-Cors (Indonesian Continously Operating Reference Station) Untuk Estimasi Nilai Dan Pola Regangan Tektonik Dalam Bentuk Grid Di Patahan Sumatra Tahun 2012-2013*. Universitas Gadjah Mada, Prodi Teknik Geomatika. Yogyakarta.
- Saputra, R., Awaluddin, M., Amarrhohman, J, F. (2015). *Perhitungan Velocity Rate CORS GNSS Di Wilayah Pantai Utara Jawa Tengah*. Jurnal Geodesi Undip Volume 4, Nomor 4, Tahun 2015,(ISSN : 2337-845X)
- Savage, J.C., (2018). *Algorithm for computing infinitesimal strain*. Jurusan Teknik Version of 12 July 2018.
- Shen, Z. K., Jackson, D. D. and Ge, B. X. (1996). *Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements*. Journal of Geophysical Research, 101, 27957–27980.
- Teza, G., Pesci, A., Galgaro, A. (2007). *Grid_strain and Grid_strain3 : Software Packages for Strain Field Computation in 2D and 3D Environments*. Computer & Geosciences, 34(9), pp.1142-1153.
- UNOOSA (2011) *10 Years of Achievement of the United Nations on Global Navigation Satellite Systems*, New York 2011.

- Van der Laat, R. (1996), *Ground-Deformation Methods and Results, In Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards by R. Scarpa and R.I. Tilling (eds.)*, Springer Verlag, Berlin, pp. 147-168.
- Visser, S. W. (1922): *Inland and Submarine Epicentra of Sumatra and Java Earthquakes*. Verhandelingen no. 9 (Complement to Ver Verhandelingen no. 7), Javasche Boekhandel En Drukkerij, Batavia, 7-13
- Wessel, P. , Smith, W. H. F., Scharroo, R. , Luis, J. and Wobbe, F. (2013): *Generic Mapping Tools: Improved version released* , EOS Transactions, 94 (45), pp. 409-420 . doi: 10.1002/2013EO450001.
- Wismaya, Y.G., Anjasmara, I.M., Sulistiyani. (2016). *Analisis Deformasi Gunung Merapi Berdasarkan Data Pengamatan GPS FebruariJuli 2015*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Surabaya. Jurnal Teknik ITS Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539 (2301-9271)
- Wolf, Paul. R dan Charles D. Ghilani. (1997). *Adjustment Computations : statistics and Least Squares in Surveying and GIS*. Toronto : John Wiley & Sons,Inc