

## STUDI SESAR LEMBANG MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-1A UNTUK PEMANTAUAN POTENSI BENCANA GEMPA BUMI

Rifki Purnama Aji\*), Yudo Prasetyo, Moehammad Awaluddin

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

### ABSTRAK

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat sebanyak 8.693 gempa bumi terjadi dan mengguncang wilayah Indonesia ditahun 2017. Tempat terjadinya gempa bumi alamiah hampir 95 persen terjadi di daerah sesar dan daerah batas antar lempeng. Pada wilayah Kota Bandung terdapat struktur sesar Lembang dengan panjang jalur sesar yang mencapai 30 km. Hasil monitoring BMKG menunjukkan adanya beberapa aktivitas seismik dengan kekuatan kecil. Sesar Lembang digolongkan sebagai sesar normal.

Pada dasarnya penelitian ini menggunakan data citra SAR Sentinel-1A pada tahun 2015 sampai tahun 2017 yang diproses dengan menggunakan metode DInSAR untuk mendapatkan informasi nilai deformasi. Informasi nilai deformasi hasil pengolahan DInSAR digunakan sebagai dasar perhitungan potensi gempa bumi akibat aktivasi sesar menggunakan perhitungan besar laju geser dan *locking depth*.

Hasil deformasi sesar Lembang berdasarkan metode DInSAR dengan citra Sentinel-1A diperoleh deformasi vertikal disisi utara sesar Lembang sebesar -0,0538 m/tahun hingga -0,1591 m/tahun, sedangkan deformasi di sisi selatan sesar Lembang sebesar -0,0538 m/tahun hingga 0,0066 m/tahun. Setelah dilakukan koreksi deformasi terhadap titik kunci sesar diperoleh deformasi vertikal disisi utara sesar Lembang sebesar 0 m/tahun hingga -0,0909 m/tahun, sedangkan deformasi di sisi selatan sesar Lembang sebesar 0 m/tahun hingga 0,0339 m/tahun. Berdasarkan hasil deformasi tersebut dapat diperoleh laju geser (*slip rate*) dan *locking depth* setiap segmen dari sesar Lembang dimana segmen satu memiliki laju geser 3,5 mm/tahun dengan *locking depth* 5 km, segmen dua memiliki laju geser 4,5 mm/tahun dengan *locking depth* 5 km dan segmen tiga memiliki laju geser 2 mm/tahun dengan *locking depth* 10 km. Sehingga bisa diperkirakan dapat menghasilkan gempa bumi dengan kekuatan *magnitude* sebesar  $\pm 6,630$ .

**Kata Kunci** : Deformasi, DInSAR, Gempa Bumi, Sesar Lembang

### ABSTRACT

*The National Agency for Disaster Management (BNPB) recorded 8,693 earthquakes and shook the Indonesian territory in 2017. The site of the natural earthquake of almost 95 percent occurred in the fault zone and the boundary between the plates. In the Bandung area, there is a fault structure Lembang with the length of the fault line reaches 30 km. BMKG monitoring results show some seismic activity with small strength. Lembang fault is classified as normal faults.*

*Basically, this research uses Sentinel-1A SAR image data in 2015 until 2017 which processed by using a DInSAR method to get information of deformation value. Information on deformation value of DInSAR processing result is used as the basis for calculating earthquake potential due to fault activation using the calculation of slip rate and locking depth.*

*Lembang fault deformation results based on the DInSAR method with Sentinel-1A image have vertical deformation on the north side of the Lembang fault is -0.0538 m / year until -0.1591 m / year, while the deformation on the south side of the Lembang fault is -0.0538 m / year until 0.0066 m / year. After deformation correction with the fault locking point, vertical deformation on the north side of the Lembang fault was obtained from 0 m / year until -0.0909 m / year, while the deformation on the south side of the Lembang fault was 0 m / year until 0.0339 m / year. Based on the results of the deformation can be obtained the slip rate and locking depth of each segment of the Lembang fault where segment one has a slip rate 3.5 mm / year with locking depth 5 km, segment two has a slip rate 4.5 mm/year with locking depth 5 km and segment three have a slip rate 2 mm / year with locking depth 10 km. So that it can be expected to produce earthquakes with magnitude strength of  $\pm 6.630$ .*

**Keywords** : Deformation, DInSAR, Earthquake, Lembang Fault

\*)Penulis Utama, Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### I.1. Latar Belakang

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat sebanyak 8.693 gempa bumi terjadi dan mengguncang wilayah Indonesia ditahun 2017.

Berdasarkan hasil penelitian menyimpulkan bahwa hampir 95 persen terjadi di daerah sesar dan daerah batas antar lempeng (Mori, 2004 dalam Anonim, 2007). Permasalahan utama dari peristiwa-peristiwa gempa adalah sangat potensial mengakibatkan kerugian yang besar, merupakan kejadian alam yang belum dapat diperhitungkan dan diperkirakan secara akurat waktu, tempat dan besar *magnitude* nya dan gempa tidak dapat dicegah (Hartadi, 2015). Maka langkah pemantauan potensi bencana alam gempa bumi sebagai salah satu bentuk upaya mitigasi jelas penting sekali dilakukan untuk mereduksi efek negatif yang dapat ditinggalkan oleh bencana tersebut.

Di wilayah Kota Bandung terdapat struktur sesar Lembang dengan panjang jalur sesar yang mencapai 30 km. Hasil kajian menunjukkan bahwa laju pergeseran Sesar Lembang mencapai 5,0 mm/tahun, sementara itu hasil monitoring Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) juga menunjukkan adanya beberapa aktivitas seismik dengan kekuatan kecil. Sesar Lembang digolongkan sebagai sesar normal. Bagian blok Lembang di sebelah utara ambles menurun, sementara blok bagian selatan terangkat naik. Terbentuklah bidang geser patahan yang miring terjal ke arah utara.

Deformasi dapat menjadi parameter penting untuk dapat menentukan keberadaan dan dampak dari suatu gempa bumi. Besarnya deformasi dapat diperoleh dari data citra SAR dengan metode InSAR dan DInSAR.

Pada dasarnya penelitian ini mempunyai beberapa tujuan utama, yaitu melakukan analisis deformasi permukaan tanah disekitar sesar, mempelajari karakteristik sesar Lembang, menghitung besar pergerakan sesar Lembang selama tahun 2015-2017 dengan menggunakan data-data citra satelit Sentinel-1A untuk penghitungan perkiraan besarnya potensi gempa bumi yang ditimbulkan akibat aktivitas patahan aktif.

### I.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijabarkan diatas, maka permasalahan yang di dapat sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis perubahan deformasi yang terjadi pada sesar Lembang dari tahun 2015-2017?
2. Berapa estimasi besar *magnitude* gempa apabila sesar Lembang melepaskan energi secara tiba-tiba?

### I.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh nilai deformasi yang terjadi pada sesar Lembang dari tahun 2016-2017
  2. Mengestimasi *magnitude* gempa apabila sesar Lembang melepaskan energi secara tiba-tiba
- Berdasarkan uraian di atas, manfaat penelitian ini yaitu :

1. Aspek Keilmuan :
  - a. Teknik pemodelan sesar menggunakan data SAR
  - b. Teknik analisis deformasi sesar menggunakan data SAR
  - c. Teknik analisis korelasi deformasi sesar dengan potensi gempa bumi akibat adanya sesar aktif
2. Aspek Kerekayasaan :
  - a. Peta model sesar Lembang
  - b. Peta deformasi sesar Lembang
  - c. Besar potensi gempa bumi akibat adanya sesar Lembang

### I.4. Batasan Penelitian

Batasan pada penelitian ini diantaranya :

1. Waktu akuisisi citra SAR adalah bulan Januari-Maret pada tahun 2015, 2016 dan 2017 dengan lokasi akuisisi Bandung Barat.
2. Data deformasi yang diperoleh dari pengolahan DInSAR merupakan deformasi vertikal.
3. Nilai deformasi yang dihasilkan diasumsikan sebagai deformasi murni akibat aktivitas sesar dan tanpa mempertimbangkan fenomena lain seperti faktor-faktor eksogen penyebab deformasi.
4. Segmentasi sesar mengacu pada Peta Geologi Lembar Bandung tahun 2003 yang diterbitkan oleh Pusat Survei Geologi.
5. Penetapan besar *slip rate* dan *locking depth* sesar Lembang menggunakan analisis *grid search*.
6. Potensi gempa yang dihasilkan berupa informasi besar *slip rate* dan *locking depth* sesar Lembang di setiap segmennya serta besarnya *magnitude*.

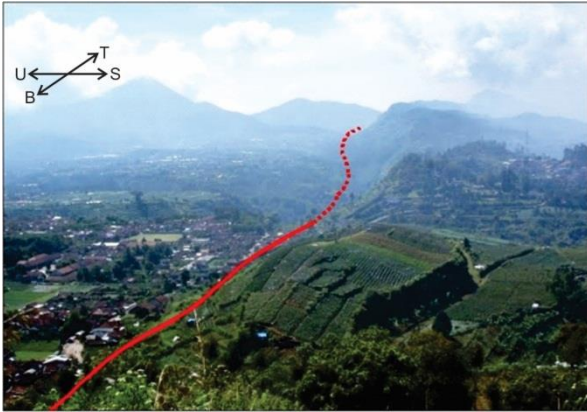
### I.5. Wilayah Penelitian

Wilayah yang menjadi studi kasus adalah Sesar Lembang yang terletak di Kabupaten Bandung Barat dengan koordinat 6°50'7" Lintang Selatan dan 107°39'37" Bujur Timur. Patahan Lembang membentang dari timur ke barat di kawasan sebelah Utara Bandung. Jalur patahan ini jelas terlihat di sepanjang 25 km, yang dicirikan oleh kelurusan untaian bukit-bukit, mulai dari daerah sebelah timur tempat pariwisata Maribaya sampai ke daerah Cisarua-Cimahi di baratnya.

## II. Tinjauan Pustaka

### II.1. Kajian Geologi Sesar Lembang

Secara morfologi Sesar Lembang ini terekspresikan sebagai gawir sesar (*fault scarp*) dengan dinding gawir menghadap ke arah utara. Bagian Sesar Lembang yang dapat dilihat, baik dari peta topografi terutama dari foto udara ataupun citra satelit, mempunyai panjang 20 km dari arah timur ke barat (Hidayat, 2010). Morfologi sesar Lembang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Morfologi sesar Lembang (Hidayat, 2010)

Beda elevasi maksimum dari gawir sesar yang mencerminkan besarnya pergeseran sesar (loncatan vertikal atau *throw*) adalah sekitar 500 meter di daerah Gunung Pulusari. Ketinggian ini semakin tinggi akibat adanya penyayatan vertikal (*incise*) endapan-endapan gunung api pada kakinya. Pada bagian barat Sesar Lembang beda elevasi menjadi menurun sekitar 40 meter di daerah Cisarua, perlu dikajikan sejarah kegempaan dan seismisitas. Data gempa terakhir yang terjadi di sekitar Sesar Lembang adalah pada tanggal 22 Juli 2011 dengan magnitudo 2,9 SR dan pada tanggal 30 Agustus 2011 dengan magnitudo 3.3 SR. Dari dua data tersebut sangat sulit untuk mendapatkan adanya *displacement* di permukaan (Hidayat, 2010).

## II.2. Potensi Kegempaan

Tatanan tektonik Indonesia menyebabkan beberapa daerah di Indonesia rawan terhadap bencana gempa dan tsunami. Data gempa merusak menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menunjukkan bahwa sejak tahun 1833 sampai dengan saat ini tidak kurang dari 31 gempa kuat yang dirasakan, dan sebagian bahkan mengakibatkan korban jiwa dan kerugian harta benda, sebagai contoh adalah gempa Liwa tahun 1994 yang diakibatkan oleh patahan aktif Semangka dan gempa DIY tahun 2006 yang diakibatkan oleh patahan aktif Opak.

Kajian geologi dan geofisika menunjukkan daerah Bandung terdapat struktur Sesar Lembang dengan panjang jalur sesar yang mencapai 30 km. Hasil kajian menunjukkan bahwa laju pergeseran Sesar Lembang mencapai 5,0 mm/tahun, sementara itu hasil monitoring BMKG juga menunjukkan adanya beberapa aktivitas seismik dengan kekuatan kecil. Adanya potensi gempabumi di jalur Sesar Lembang dengan magnitudo maksimum  $M=6,8$  (BMKG, 2017).

Hasil pemodelan peta tingkat guncangan (*shakemap*) oleh BMKG dengan skenario gempa dengan kekuatan  $M=6,8$  dengan kedalaman hiposenter 10 km di zona Sesar Lembang (garis hitam tebal), menunjukkan bahwa dampak gempa dapat mencapai skala intensitas VII-VIII MMI (setara dengan percepatan tanah maksimum 0,2 - 0,4 g) dengan diskripsi terjadi kerusakan ringan pada bangunan dengan konstruksi yang kuat.

## II.3. Pengamatan Deformasi

Deformasi yang terjadi pada objek di bumi dapat dibagi menjadi dua sifat yaitu sifat statik dan sifat dinamik. Deformasi statik adalah deformasi yang bersifat permanen dan tidak dapat kembali ke kedudukan semula. Sedangkan, deformasi dinamik adalah deformasi sesaat yang bersifat elastis (dapat kembali ke kedudukan awal) (Massinai, 2015).

Survei deformasi dilakukan secara berulang pada periode yang berlainan. Hasil dari survei tersebut selanjutnya diolah dan dilakukan hitung perataan sehingga dihasilkan koordinat hasil pengukuran. Salah satu analisis deformasi adalah analisis geometrik yang bertujuan untuk memberikan informasi tentang status geometrik obyek deformasi seperti perubahan posisi obyek (analisis pergerakan) dan perbedaan posisi, bentuk dan dimensi obyek deformasi (analisis regangan) (Taftazani, 2013). Deformasi kerak bumi yang beriringan mekanismenya dengan gempa bumi dapat diamati salah satunya dengan survei geodetik (GPS, InSAR dan lain-lain).

## II.4. InSAR dan DInSAR

*Interferometry Synthetic Aperture Radar* (InSAR) merupakan suatu Teknik penginderaan jauh yang digunakan untuk mengekstraksi informasi tiga dimensi dari permukaan bumi dengan pengamatan fasa gelombang radar. Agar diperoleh topografi dari citra, harus dipenuhi dua buah syarat, yaitu objek di permukaan bumi yang akan dicitrakan dapat terlihat dengan jelas, dan bentuk geometri pengamatan citra tersebut memiliki posisi tiga dimensi yang cukup sehingga daerah yang dipetakan dapat diketahui topografinya. Kedua hal tersebut hanya dapat dipenuhi oleh teknik InSAR (Hani'ah dan Prasetyo, 2011).

*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) adalah teknik akuisisi dua citra SAR berpasangan kombinasi data citra kompleks pada posisi spasial yang sama (*differential SAR*) atau posisinya sedikit berbeda (*terrain height InSAR*) pada area sama dengan melakukan perkalian konjugasi berganda. Hasil akhir berupa model elevasi digital (DEM) atau pergeseran suatu permukaan bumi (Cumming, I.G., dkk. 2005 dalam Pratiwi, 2017).

Teknik Penginderaan Jauh dengan InSAR sering digunakan untuk pemantauan perubahan (deformasi) suatu area sampai ketelitian orde sentimeter. Untuk mendapatkan orde ketelitian seperti itu perlu adanya metode DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) yaitu metode pengolahan data InSAR dilakukan dengan cara di diferensialkan. Pada metode ini digunakan beberapa pasang interferogram sekaligus untuk mendeteksi perubahan permukaan topografi dengan ketelitian yang sangat tinggi.

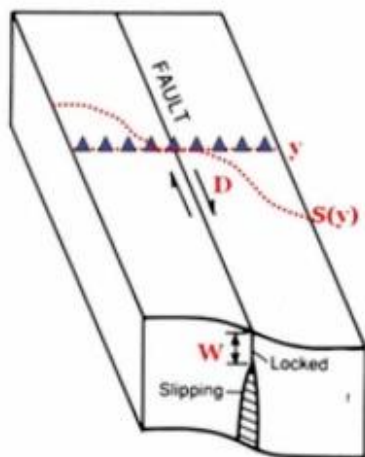
## II.6 Estimasi Laju Geser

Deformasi kerak bumi yang beriringan mekanismenya dengan gempa bumi dapat diamati salah satunya dengan survei geodetik (GPS, InSAR, dan lain-

lain). Selanjutnya deformasi secara lebih detail dan luas lagi dapat dimodelkan dengan bantuan data hasil survei lapangan dan formulasi matematis seperti *elastic half space model* yang dibuat oleh Okada (1985). Dimana mekanisme gempa dengan pergeseran bidang gempa yang mengakibatkan perpindahan/pergeseran titik di permukaan (titik pengamatan GPS).

Karakteristik dan aktivitas sesar dapat diketahui dengan menggunakan teori dislokasi elastis dengan asumsi bahwa kerak bumi adalah bersifat homogen, isotropis, linier dan elastis dengan metode *half-space solution* (Segall, 2010). Metode *half-space solution* dengan mengasumsikan patahan sebagai bidang elastik, maka dimungkinkan untuk menghitung pergeseran dipermukaan, sebagai akibat pergeseran patahan aktif pada kedalaman tertentu dan besar pergeseran pada sisi yang satu akan sama dengan sisi yang disebelahnya.

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 seperti pada persamaan 1 dengan keterangan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model laju geser (Meilano, I, 2009)

$$S(y) = D/\pi * \text{Atan}(y/W) \dots\dots (1)$$

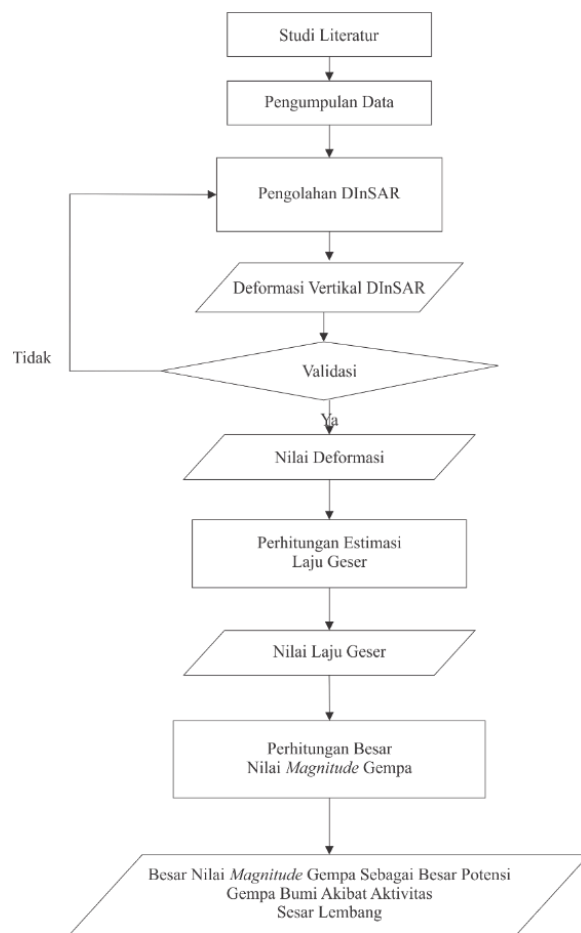
Keterangan :

- S(y) = Pergeseran dari permukaan sebagai fungsi dari jarak
- D = Laju geser (*slip rate*)
- W = Kedalaman sumber gempa (*locking depth*)
- y = jarak yang tegak lurus terhadap garis patahan.

### III. Metodologi Penelitian

#### III.1. Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar tahapan penelitian dilakukan sesuai dengan Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

#### III.2. Peralatan dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Peralatan Pengolahan Data
  - a. Laptop HP dengan spesifikasi Windows 8 Home, processor Intel (R), core(TM), i3-5200U CPU @ 2.20GHz (4 CPUs) , Installed memory (RAM) 6.00 GB, System type 64-bit Operating System, x64-based processor.
  - b. Alat Tulis
  - c. Software SNAP untuk pengolahan DInSAR
  - d. Software SNAPHU untuk melakukan Phase Unwrapping pada pengolahan DInSAR
  - e. Software GAMIT untuk pengolahan data GPS
  - f. Software GLOBK untuk menampilkan koordinat hasil pengolahan GPS di GAMIT
  - g. Sistem Operasi Ubuntu 14.04 LTS
  - h. TEQC untuk cek kualitas data observasi GPS
  - i. Software ArcMap 10.4.
  - j. Software Matlab untuk melakukan perhitungan estimasi laju geser
  - k. Microsoft Office untuk melakukan pelaporan
2. Data penelitian
 

Data-data penelitian yang diperlukan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian

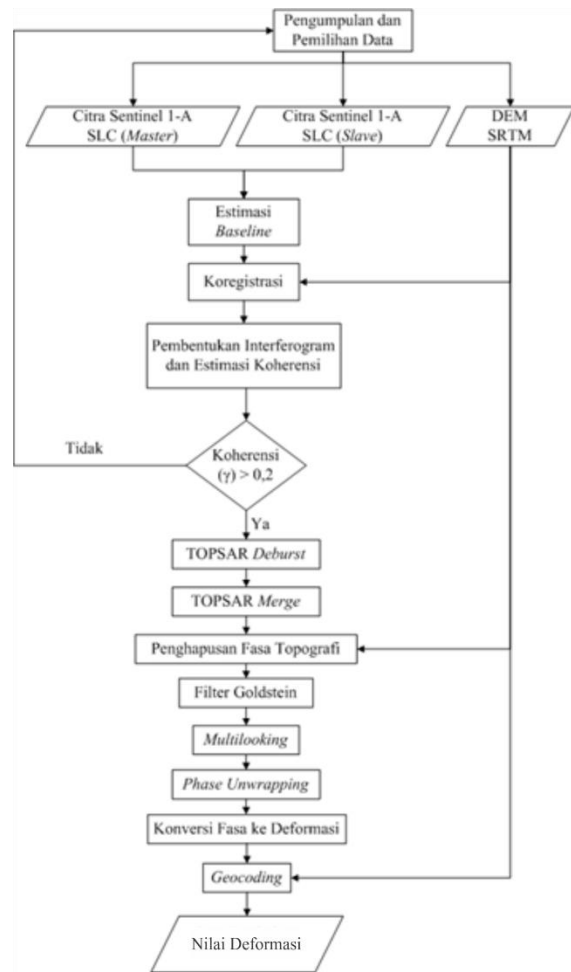
No	Data	Tahun Akuisisi	Sumber
1.	Citra Sentinel-1A	2015 sampai 2017	<a href="https://scihub.copernicus.eu/">https://scihub.copernicus.eu/</a>
2.	Peta RBI (Rupa Bumi Indonesi) Skala 1:25.000	2017	<a href="http://tanahair.indonesia.go.id/portal">tanahair.indonesia.go.id/portal</a>
3.	DEM SRTM	2017	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
4.	Data Peta Geologi Lembar Bandung Skala 1: 100.000	2003	Pusat Survei Geologi

III.3. Tahap Pengolahan Data

III.3.1. Pengolahan DInSAR

Pengolahan DInSAR untuk analisis deformasi adalah salah satu aspek yang menjadi kajian dalam penelitian ini. Deformasi merupakan hal yang penting untuk diketahui dalam pemodelan sesar khususnya dalam menentukan besarnya perkiraan *slip rate* dan *locking depth*. Penelitian ini menganalisis deformasi menggunakan dua metode untuk saling dibandingkan. Metode pertama adalah analisis deformasi menggunakan data pencitraan radar citra Sentinel 1A. Citra Sentinel 1A yang digunakan memiliki rentang waktu mulai tahun 2015 sampai tahun 2017 yaitu 4 Januari 2015, 1 Maret 2016 dan 17 Januari 2017 menimbang banyaknya aktivitas seismik kecil terjadi di sesar Lembang yang mencapai 31 kali pada rentang waktu tersebut, menurut data dari BMKG. Mode akuisisi citra yang tepat digunakan pada pengamatan deformasi dan kegunaan menurut ESA adalah *Interferometric Wide Swath (IW)* dengan polarisasi VV dan arah orbit *Descending*. Mode IW merupakan akuisisi utama di atas tanah. Mode IW memiliki cakupan 250 km dengan resolusi spasial 5m x 20m (*single look*). Mode IW mengakuisisi 3 sub-petak dengan menggunakan TOPSAR (*Terrain Observation with Progressive Scan SAR*). Mode TOPSAR dimaksudkan untuk menggantikan mode *ScanSAR* konvensional dengan cakupan dan resolusi yang sama akan tetapi rasio *noise* menjadi kecil. Teknologi ini memiliki kelebihan yang dapat menghasilkan kualitas gambar yang homogen dengan *noise* yang dapat diminimalisir (*Signal-to-Noise Ratio*) hampir seragam (Emiyati, dkk., 2016 dalam Fathoni, 2017).

Pengolahan DInSAR dilakukan menggunakan software SNAP 5.0 dengan tahapan *Baseline Estimation*, *Coregistration*, pembentukan interferogram, TOPSAR *Deburst*, *Topographic Phase Removal*, *Phase Filtering*, *Multilooking*, *Phase Unwrapping*, *Phase to Displacement* dan *Geocoding*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.

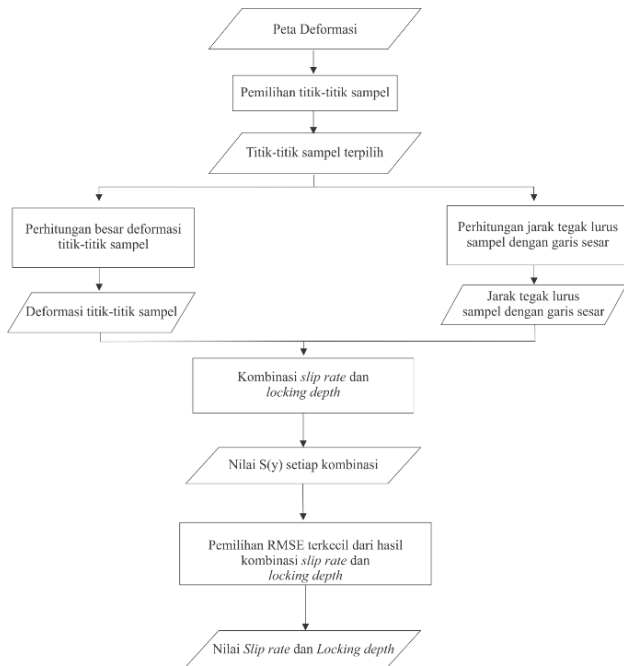


Gambar 4. Diagram Alir Pengolahan DInSAR

III.3.2 Perhitungan Estimasi Laju Geser

Analisis estimasi laju geser pada penelitian ini didasarkan pada teori okada yang menyatakan bahwa terdapat hubungan antara pergeseran pada bidang sistem *fault* dengan pergeseran yang terjadi di permukaan bumi, dengan mengasumsikan kerak bumi sebagai medium homogen dan isotropik. Mekanisme gempa dengan pergeseran bidang gempa yang mengakibatkan perpindahan/pergeseran titik di permukaan (titik sampel pengamatan deformasi).

Perhitungan estimasi laju geser dimulai dari pemilihan titik-titik pengamatan deformasi permukaan tanah (*surface*) kemudian menghitung parameter-parameter perhitungan laju geser seperti jarak tegak lurus titik pengamatan dengan garis sesar (sumber gempa). Setelah parameter-parameter yang diperlukan diperoleh maka dilakukan perhitungan kombinasi laju geser dan *locking depth*, kombinasi laju geser dan *locking depth* yang mempunyai nilai RMSE paling kecil yang akan di jadikan sebagai nilai estimasi laju geser, untuk lebih jelas alur perhitungan laju geser dapat dilihat pada Gambar 5.



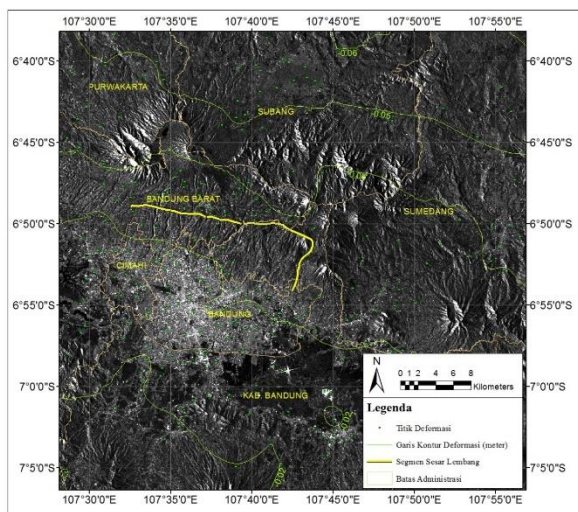
Gambar 5. Diagram Alir Perhitungan Estimasi Laju Geser

Hasil dari perhitungan estimasi laju geser kemudian akan digunakan untuk analisis besarnya potensi bencana gempa bumi akibat adanya aktivasi sesar Lembang.

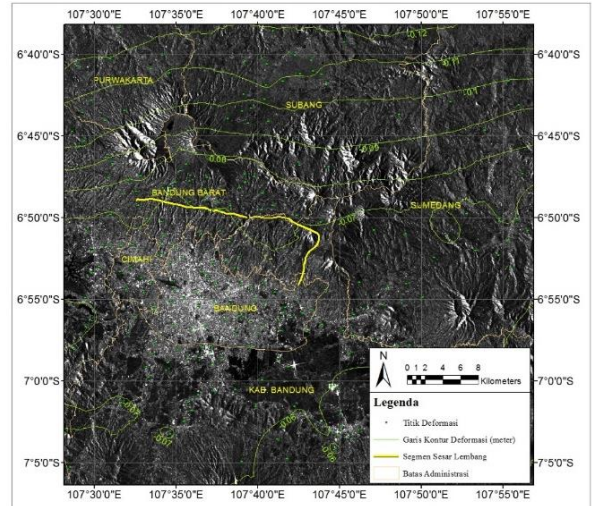
#### IV. Hasil dan Pembahasan

##### IV.1. Hasil dan Pembahasan Pengolahan DInSAR

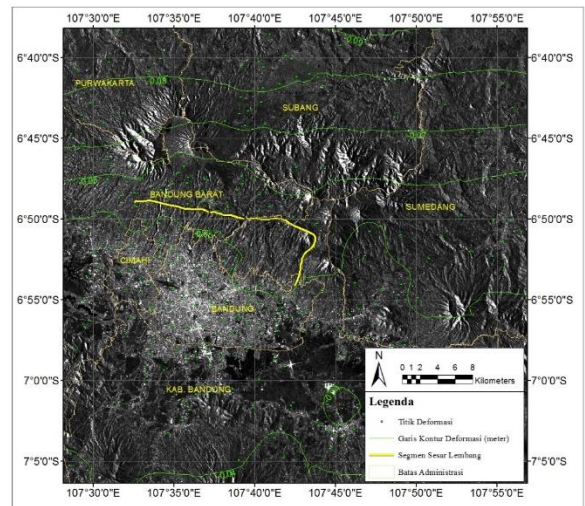
Hasil DInSAR pada penelitian ini terbagi menjadi 2 (dua) pasangan yaitu pasangan 1 yang terdiri dari citra SAR tanggal 12 November 2014 dengan 11 Maret 2016 dan pasangan 2 terdiri dari citra SAR tanggal 11 Maret 2016 dan 17 Januari 2017. Dari masing-masing pasangan citra SAR diperoleh deformasi muka tanah yang terjadi di Lembang dan sekitarnya seperti Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 6. Hasil Pengolahan DInSAR pasangan 1



Gambar 7. Hasil Pengolahan DInSAR pasangan 2



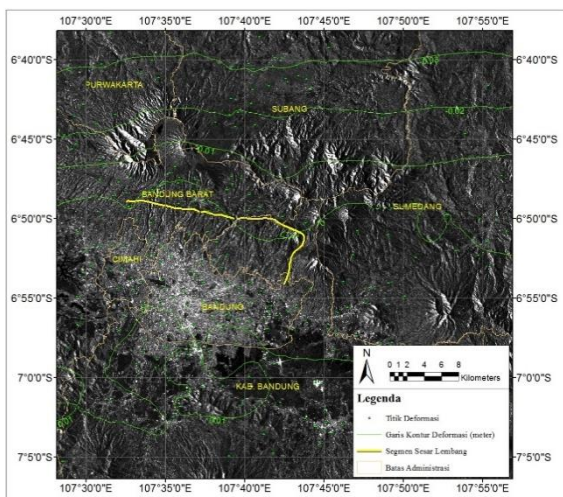
Gambar 8. Hasil DInSAR Gabungan

Hasil pengolahan DInSAR menunjukkan adanya deformasi yang cukup besar disekeliling sesar Lembang yaitu rata-rata deformasi vertikal  $-7,6 \pm 3,3$  cm per tahun. Hasil deformasi sesar Lembang dapat dilihat pada Tabel 2. Semakin ke utara deformasi yang terjadi semakin besar.

Tabel 2. Hasil Deformasi Sesar Lembang

Administrasi	Panjang Segmen (m)			Minimal Deformasi (m/tahun)	Maksimal Deformasi (m/tahun)
	1	2	3		
Kab. Bandung Barat	4.039,974	8.761,510	1.690,768	-0,037	-0,088
Kab. Bandung	-	-	11.485,985	-0,011	-0,062
Kota Bandung	-	-	1.493,567	-0,035	-0,054
Kab. Cimahi	-	-	-	-0,039	-0,053
Kab. Purwakarta	-	-	-	-0,060	-0,126
Kab. Subang	-	-	-	-0,061	-0,156
Kab. Sumedang	-	-	-	-0,030	-0,105

Setelah dilakukan koreksi dengan pengurangan deformasi pada titik kunci sesar Lembang maka di dapat hasil deformasi seperti Gambar 9.



Gambar 9. Hasil DInSAR Terkoreksi Titik Kunci Sesar

Panjang *baseline* merupakan faktor terpenting dalam mengukur besar *surface deformation* dengan InSAR (Ferreti, 2007 dalam Kurniawan dan Anjasmara, 2016), untuk mengetahui penyebaran titik orbit dari data pengamatan SAR, dapat memilih *baseline perpendicular* pendek ( $\leq 150$  m) atau *baseline temporal* yang pendek. Hal ini juga merupakan faktor didapatkannya nilai koherensi yang tinggi antara citra *master* dan *slave*. Panjang *baseline* pada penelitian ini adalah 31,08 m untuk pasangan citra 1 dan 14,01 m untuk pasangan citra 2.

Koherensi citra pada pengolahan DInSAR adalah 0,3318 untuk pasangan citra 1 dan 0,3327 untuk pasangan citra 2. Koherensi ini termasuk rendah, dimana rendahnya koherensi dapat menyebabkan adanya *blank*, blur, dekorelasi dan *shadowmix* pada piksel. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi rendahnya koherensi antara lain, karena jeda waktu perekaman citra *master* dan citra *slave* cukup lama sehingga kemungkinan terjadi perubahan pada *surface* objek apalagi jika objek mempunyai potensi berubah dalam waktu singkat seperti vegetasi dan lain sebagainya. Kerapatan vegetasi akan mempengaruhi nilai koherensi citra karena pergerakan dan perubahan vegetasi akan berpengaruh pada pantulan *backscatter*-nya (Sari dkk, 2014).

Evaluasi lain untuk mengetahui kualitas hasil pengolahan DInSAR adalah dengan mengacu pada penelitian-penelitian terdahulu, pada penelitian yang telah dilakukan oleh Irwan Gumilar dkk (2013) dengan judul “*Land subsidence in Bandung Basin and its possible caused factors*” didapatkan penurunan muka tanah cekungan Bandung yang mencakup Kota Bandung, Kabupaten Bandung dan Kabupaten Cimahi memiliki nilai penurunan muka tanah 1,1 – 16,9 cm per tahun untuk hasil pemantauan dengan metode GNSS dari tahun 2000 sampai 2012 dan 0,9 – 17 cm per tahun untuk hasil pengolahan DInSAR dari tahun 2006 sampai 2012. Pada penelitian ini didapatkan hasil penurunan muka tanah di Kota Bandung, Kabupaten Bandung dan Kabupaten Cimahi sekitar 1,1 – 6,2 cm

per tahun dari tahun 2015 sampai tahun 2017. Serta pada penelitian yang telah dilakukan oleh Estelle Chaussard dkk (2012) dengan judul “*Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction*” didapatkan penurunan muka tanah di kabupaten Subang (Blanakan) antara tahun 2007 sampai 2009 mencapai penurunan maksimum 12 cm/tahun dimana laju penurunan yang besar berada di dekat pantai dan tersebar merata. Pada penelitian ini didapatkan hasil penurunan muka tanah untuk kabupaten Subang maksimum adalah 15 cm/tahun yang tersebar di dekat pantai.

Pada penelitian ini citra SAR yang digunakan adalah citra Sentinel-1A yang memiliki sensor SAR (*Synthetic Aperture Radar*) *c-band*. Dimana sensor *c-band* hanya tidak dapat penetrasi sampai ke tanah langsung untuk pembahasan lebih lanjut tentang *c-band* dapat dilihat pada sub bab II.3, karena kemampuan penetrasi *c-band* yang tidak sampai ke permukaan tanah maka data deformasi yang berada di daerah bervegetasi rapat akan memiliki akurasi yang kurang akurat. Maka pada penelitian ini titik-titik sampel untuk perhitungan *slip rate* dan *locking depth* dipilih titik-titik di area terbangun.

### IV.3. Hasil dan Pembahasan Estimasi Laju Geser

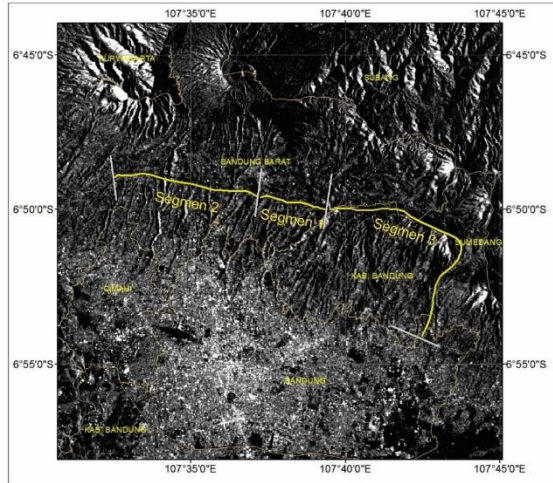
Hasil dari perhitungan estimasi laju geser dengan menggunakan metode *grid search* menunjukkan sesar lembang mempunyai estimasi laju geser sebesar 3 mm/tahun dan *locking depth* 5 km untuk segmen satu, 5 mm/tahun dan *locking depth* 5 km untuk segmen dua dan 1,5 mm/tahun dan *locking depth* 10 km untuk segmen tiga. Untuk hasil estimasi laju geser yang lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3. Pembagian segmen sesar dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 10.

Tabel 3. Nilai Estimasi Laju geser

Segmen	Slip Rate (mm/tahun)	Locking Depth (km)	Nilai Simpangan
1	3,5	5	0,000860
2	4,5	5	0,000665
3	2	10	0,000640

Tabel 4. Pembagian segmen sesar Lembang

Segmen	Posisi	Panjang (m)	Administrasi yang dilalui
1	Tengah	4039,974	Kab. Bandung Barat
2	Barat	8761,510	Kab. Bandung Barat
3	Timur	14670,320	Kab. Bandung Barat, Kab. Bandung dan Kota Bandung



Gambar 10. Pembagian segmen sesar Lembang

Berdasarkan hasil pengujian program pada Tabel 5 program perhitungan laju geser sudah berjalan dengan baik.

Tabel 5. Hasil Pengujian Program Perhitungan Laju Geser

Segmen	Slip Rate yang ditentukan	Locking Depth yang ditentukan	Hasil Perhitungan	Kesimpulan
1	3,5	5	 Grafik menunjukkan slip rate 3,5 mm/tahun dan locking depth 5 km	Sesuai dengan slip rate dan locking depth yang telah ditentukan
2	5	5	 Grafik menunjukkan slip rate 5 mm/tahun dan locking depth 5 km	Sesuai dengan slip rate dan locking depth yang telah ditentukan
3	1	10	 Grafik menunjukkan slip rate 1 mm/tahun dan locking depth 10 km	Sesuai dengan slip rate dan locking depth yang telah ditentukan

Cara lain yang dapat digunakan untuk melihat kualitas hasil pengolahan laju geser adalah dengan mengacu pada penelitian terdahulu. Pada penelitian sebelumnya ada beberapa hasil estimasi laju geser sesar Lembang yaitu dari penelitian Irwan Meilano tahun 2009 menggunakan data pengamatan GPS menunjukkan sesar Lembang memiliki laju geser 3 mm/tahun dengan Locking depth 5 km. Sedangkan dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017 yang diterbitkan oleh Pusat Studi Gempa Nasional 2009 menunjukkan sesar Lembang memiliki laju geser 5 mm/tahun dengan Locking depth 10 km. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu tersebut hasil perhitungan setimasi laju geser pada penelitian cukup mendekati dari hasil penelitian terdahulu yang menggunakan metode lebih akurat yaitu metode pengamatan GPS, tetapi karena hasil deformasi pada penelitian ini adalah

deformasi vertikal maka ada beberapa faktor yang masih harus dipertimbangkan kembali salah satunya yaitu apakah besar nilai deformasi yang terbentuk dari hasil DInSAR adalah murni deformasi akibat aktivitas sesar Lembang atau ada faktor lain yang mempengaruhi seperti penurunan muka tanah akibat penggunaan air dalam tanah, beban bangunan yang ada di atasnya dan faktor-faktor lain yang mengakibatkan deformasi vertikal.

Adanya potensi gempa bumi di jalur Sesar Lembang ditunjukkan dengan *magnitude* maksimum yang dihitung menggunakan rumus berikut ini.

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot s \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- $M_0$  = Momen Gempa (N.m)
- $\mu$  = Koefisien rigiditas (N.m<sup>2</sup>)
- $A$  = Luas Bidang Gempa (m<sup>2</sup>)

Nilai koefisien rigiditas diasumsikan  $4 \times 10^{10}$  N.m<sup>2</sup> (Gusman, 2009 dalam Awaluddin, 2012) dan slip rate diasumsikan adalah akumulasi dari tahun terakhir terjadi gempa yaitu  $\pm 500$  tahun yang lalu (Yulianto, 2011 dalam Rumadan, 2016).

Sedangkan hitungan momen *Magnitude* menggunakan formula dari Kanamori.

$$M_w = (2/3) \cdot \log_{10} (M_0) - 6.07 \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

- $M_w$  = Momen *Magnitude* (N.m)
- $M_0$  = Momen Gempa (N.m)

Hasil perhitungan momen *Magnitude* dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Nilai *Magnitude* Sesar Lembang

Panjang Segmen (m)	Locking depth (m)	Slip rate (m/tahun)	Koefisien rigiditas (N.m <sup>2</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	M <sub>0</sub> (N.m)	M <sub>w</sub>
4.039,974	5.000	1,500	$4 \times 10^{10}$	20.199.870,91	$1,211 \times 10^{18}$	5,985
8.761,510	5.000	2,500	$4 \times 10^{10}$	43.807.547,74	$4,380 \times 10^{18}$	6,357
14.670,320	10.000	0,750	$4 \times 10^{10}$	146.703.201,9	$4,401 \times 10^{18}$	6,359
Total <i>Magnitude</i> ke-3 Segmen			$4 \times 10^{10}$	210.710.620,6	$9,993 \times 10^{18}$	6,596

Berdasarkan hasil perhitungan *magnitude* diatas (6-7) dapat menimbulkan dampak sampai radius 30 km dari garis sesar (Meilano, 2013 dalam Hanifan, 2017), selain itu mengacu pada gempa yogyakarta pada tahun 2006 dengan *magnitude* 6,3 N.m dapat menimbulkan dampak dengan skala intensitas VI MMI pada radius rata-rata 30 km dari pusat gempa. Menurut BMKG skala intensitas VI-VIII MMI dapat menimbulkan kerusakan ringan pada bangunan dengan konstruksi yang kuat. Dinding tembok dapat lepas dari rangka, monumen atau menara roboh, dan air menjadi keruh. Sementara untuk bangunan sederhana non struktural dapat terjadi kerusakan berat hingga dapat menyebabkan bangunan roboh. Namun banyak faktor yang mempengaruhi besarnya dampak gempa bumi diluar besarnya *magnitude* gempa, seperti kekuatan bangunan dan struktur tanah (pada umumnya tanah lempung).

## V. Kesimpulan dan Saran



### V.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian ini adalah :

1. Berdasarkan metode DInSAR dengan citra Sentinel-1A diperoleh deformasi vertikal disisi utara sesar Lembang sebesar -0,0538 m/tahun hingga -0,1591 m/tahun, sedangkan deformasi di sisi selatan sesar Lembang sebesar -0,0538 m/tahun hingga 0,0066 m/tahun. Setelah dilakukan koreksi deformasi terhadap titik kunci sesar diperoleh deformasi vertikal disisi utara sesar Lembang sebesar 0 m/tahun hingga -0,0909 m/tahun, sedangkan deformasi di sisi selatan sesar Lembang sebesar 0 m/tahun hingga 0,0339 m/tahun.
2. Berdasarkan analisis dengan laju geser diprediksi magnitudo gempa untuk segmen satu sesar Lembang 5,985, segmen dua sesar Lembang 6,357, segmen tiga sesar Lembang 6,359 dan untuk gabungan dari ke tiga segmen sebesar 6,596.

### V.2 Saran

Saran yang dapat penulis berikan dari penelitian ini adalah :

1. Pengolahan DInSAR menggunakan sentinel-1a mempunyai variasi temporal yang terbatas serta koherensi yang masih kurang baik dibberapa data. Sehingga disarankan untuk mencoba menggunakan sentinel-1b yang akan menambah banyak variasi dengan resolusi temporal dan koherensi yang lebih baik (Islam, 2017).
2. Pengolahan DinSAR dengan menggunakan perangkat lunak *open source* seperti SNAP mempunyai potensi yang bagus seiring dengan pembaharuan dan perbaikan di setiap versinya. Namun, akan lebih baik lagi apabila adanya penambahan algoritma dalam pemilihan DEM yang digunakan, sehingga user bisa lebih banyak memilih DEM yang digunakan baik yang di unduh secara otomatis maupun manual.
3. Disarankan adanya penelitian metode DInSAR dengan menggunakan perangkat lunak lain.
4. Disarankan meggunakan citra SAR dan DEM dengan resolusi spasial yang lebih tinggi.
5. Disarankan adanya integrasi antara pengamatan radar dan GPS dengan menggunakan *corner reflector* untuk meningkatkan akurasi produk yang dihasilkan.
6. Disarankan adanya penambahan data berupa deformasi akibat fenomena penggunaan air

tanah dan beban bangunan untuk mendapatkan nilai deformasi akibat sesar aktif yang lebih akurat.

7. Permohonan data ke instansi resmi harap memperhatikan surat perjanjian yang ada.

### Daftar Pustaka

- Anonim. (2007). Studi aktivitas Sesar Lembang Menggunakan Teknologi GPS. <http://geodesy.gd.itb.ac.id/2007/01/05/studi-aktivitas-sesar-lembang-menggunakan-teknologi-gps/>. Di Akses Pada : 12 Juli 2018.
- Awaluddin M, Meilano I, Widiyantoro S. (2012). *Estimation of Slip Distribution of the 2007 Bengkulu Earthquake from GPS Observation Using Least Squares Inversion Method*. Jurnal ITB J. Eng. Sci., Vol. 44, No. 2, 2012, 187-206.1
- BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika). (2017). Penjelasan BMKG Terkait Hasil Kajian Sesar Lembang yang Berpotensi Memicu Gempa Berkekuatan M=6.8. <http://www.bmkg.go.id/press-release/?p=penjelasan-bmkg-terkait-hasil-kajian-sesar-lembang-yang-berpotensi-memicu-gempa-berkekuatan-m6-8&lang=ID>. Di Akses Pada : 05 Mei 2018.
- Fathoni, M. N., Chulafak, G. A. dan Kushardono, D. (2017). Kajian Awal Pemanfaatan Data Radar Sentinel-1 untuk Pemetaan Lahan Baku Sawah di Kabupaten Indramayu Jawa Barat. Seminar Nasional Penginderaan Jauh LAPAN.
- Hani'ah dan Prasetyo, Y. (2011). Pengenalan Teknologi Radar untuk Pemetaan Spasial di Kawasan Tropis. Jurnal Fakultas Teknik UNDIP.
- Hanifan, A. S. (2017). Gempa Besar di Sesar Lembang Mengintai Bandung. <https://tirto.id/gempa-besar-di-sesar-lembang-mengintai-bandung-cyE3>. Di Akses Pada : 23 Juli 2018.
- Hartadi, J. dkk. (2015). Pemodelan Tingkat Aktivitas Sesar Berdasarkan Analisis Deformasi Menggunakan Pengamatan GPS. UPN. Yogyakarta.
- Hidayat, E. (2010). Analisis Morfotektonik Sesar Lembang, Jawa Barat. Balai Informasi dan Konservasi Kebumihan LIPI. Kebumen.
- Islam, L. J. (2017). Analisis Penurunan Muka Tanah (*Land Subsidence*) Kota Semarang Menggunakan Citra Sentinel-1 Berdasarkan Metode DInSAR pada Perangkat Lunak SNAP. Tugas Akhir Teknik Geodesi UNDIP.
- Kurniawan, R. dan Anjasmara, I. M. (2016). Pemanfaatan Metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) untuk Pemantauan Deformasi Akibat Aktivitas Eksploitasi Panasbumi. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539.

- Massinai, M.A. (2015). Geomorfologi Tektonik. Pustaka Ilmu. Yogyakarta.
- Meilano I., Abidin H. Z., Anggreni D., Gunawan D. dan Kimata F. (2009). *Coseismic and postseismic deformation of the 2007 Bengkulu earthquake series*. proceedings of the 2009 South East Asia Survey Congres.
- Okada, Y., (1985) : *Surface Deformation Due To Shear And Tensile Faults in A Half-Space*. Bulletin of the Seismological Society of America, 75, 4, h. 1135-1154.
- Pratiwi, R. (2017). Analisis Korelasi Deformasi dan Tutupan Lahan Kawasan Gunung Merapi Pra dan Pasca Erupsi. Jurnal Geodesi Undip. Semarang.
- Rumadan, R. D. (2016). Kajian Resiko Bencana Alam Patahan Lembang di Kecamatan Lembang, Parompong, dan Cisarua Kabupaten Bandung Barat. Universitas Islam Bandung. Bandung.
- Sari, A. R., Hapsari H. dan Agustan (2011). Penerapan Metode DInSAR untuk Analisa Deformasi Akibat Gempa Bumi dengan Validasi Data GPS SUGAR (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat). ITS. Surabaya.
- Segall, P. 2010. *Earthquake and Volcano Deformation*. Princenton University Press. New Jersey.
- Taftazani M. I. (2013). Analisis Geodinamika Lima Stasiun Pasut Pulau Jawa dengan Data Pengamatan GPS Tiga Epok. Thesis, Jurusan Teknik Geomatika, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.