

---

## ANALISA DEFORMASI PERMUKAAN DI PULAU MADURA DARI HASIL PENGOLAHAN DINSAR MENGGUNAKAN DATA SENTINEL-1A

Ira Mutiara Anjasmara<sup>1,\*</sup>, Nisaa UI Muthmainnah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geomatika, FTSLK-ITS; Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

\*e-mail: ira@geodesy.its.ac.id

### Abstrak

Aktivitas sesar aktif yang terdapat di wilayah Pulau Madura merupakan salah satu faktor yang dapat memicu terjadinya deformasi permukaan. Pola dari deformasi permukaan yang terjadi diindikasikan berkorelasi dengan formasi Geologi dari suatu wilayah. Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap pola deformasi permukaan di Pulau Madura yang terjadi selama tahun 2016 sampai 2018. Deformasi permukaan diperoleh melalui pengolahan data SAR menggunakan metode DInSAR. Data SAR yang digunakan adalah citra satelit Sentinel-1A dari *European Space Agency*. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa di Pulau Madura terjadi deformasi permukaan secara vertikal dalam bentuk *subsidence* dan *uplift*. Dari hasil DInSAR bulan Maret 2016 – September 2017 didapatkan nilai *subsidence* maksimum sebesar -70,136 mm dan *uplift* maksimum sebesar 109,056 mm. Hasil DInSAR bulan September 2016 – Maret 2017 diperoleh nilai *subsidence* maksimum sebesar -95,011 mm dan nilai *uplift* maksimum sebesar 98,059 mm. DInSAR bulan Maret 2017 – September 2017 menunjukkan nilai *subsidence* tertinggi sebesar -65,550 mm dan nilai *uplift* tertinggi sebesar 63,884 mm. Hasil DInSAR bulan September 2017 – Maret 2018 menunjukkan nilai *subsidence* tertinggi sebesar -57,245 mm dan nilai *uplift* tertinggi sebesar 74,811 mm. Secara umum, keempat hasil DInSAR menunjukkan bahwa *uplift* terjadi di Pulau Madura bagian tengah yang secara geologi merupakan wilayah sesar antiklin yang mempunyai arah lipatan ke atas dan *sudsidence* terjadi di wilayah yang mempunyai formasi geologi berupa endapan aluvial.

Kata kunci : Deformasi permukaan, Pulau Madura, DInSAR, Sentinel-1A

### PENDAHULUAN

Madura merupakan salah satu pulau di Provinsi Jawa Timur dengan jumlah penduduk yang cukup padat yakni 3.841.386 jiwa (Badan Pusat Statistik, 2018). Menurut struktur geologinya, Pulau Madura terdiri dari struktur lipatan yaitu: Antiklin Sumberwaru, Antiklin Tempajung, Antiklin Batuputih, Antiklin Kartagena, Antiklin Gibang, Siklin Eden, dan Siklin Pakong. Selain itu, di Pulau Madura terdapat beberapa sesar aktif yang berupa sesar naik, sesar geser jurus, dan sesar normal (Sukardi, 1992; Situmorang et al, 1992). Pemukiman penduduk di Pulau Madura terkonsentrasi pada wilayah Pesisir yang secara geologi memiliki formasi berupa endapan aluvium.

Menurut peta indeks bencana pergerakan tanah (*landslide*) oleh BNPB tahun 2010, wilayah Pulau Madura memiliki resiko yang cukup tinggi terhadap bencana pergerakan tanah. Pergerakan tanah yang terjadi dapat menyebabkan terjadinya deformasi (perubahan) permukaan mengalami kenaikan (*uplift*) dan penurunan permukaan tanah (*subsidence*). Pulau Madura mengalami beberapa gempa yang dipicu oleh aktivitas sesar yang juga dapat mengakibatkan terjadinya deformasi permukaan.

Pemantauan deformasi permukaan dapat dilakukan secara periodik menggunakan metode geodetik seperti survei *Global Navigation Satellite System* (GNSS) dan analisa data *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pola deformasi permukaan yang terjadi di Pulau Madura pada rentang waktu bulan

Maret 2016 sampai bulan Maret 2018 menggunakan data SAR Sentinel-1A. Teknologi pengolahan data yang digunakan adalah *Differential Interferometry SAR* (DInSAR) yang mampu menghasilkan nilai deformasi permukaan dalam bentuk *Line of Sight* (LoS) *displacement* sampai fraksi sentimeter.

**METODOLOGI PENELITIAN**

Wilayah penelitian adalah Pulau Madura yang secara geografis berada pada koordinat 06°51'00" - 07°15'00" LS dan 112° 40'00"-114° 08'00" BT. Pulau Madura secara fisik berbatasan dengan Laut Jawa di wilayah utara dan timur sedangkan di wilayah selatan dan barat berbatasan langsung dengan Selat Madura (Gambar 1)

Data utama yang digunakan dalam penelitian adalah citra Sentinel-1A yang dapat diunduh melalui <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/> atau <https://scihub.copernicus.eu/>. Keseluruhan citra yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Citra

Sentinel-1A merupakan citra Radar yang mempunyai frekuensi pada Band C dengan panjang gelombang 5,6 cm (European Space Agency, 2013). Dalam proses pembentukan interferogram dari citra Sentinel, diperlukan data orbit teliti (*precise orbit*) yang dapat diunduh pada <http://step.esa.int/auxdata/orbits/Sentinel-1/POEORB/S1A/>. Data precise orbit yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.



**Gambar 1** Lokasi Penelitian

**Tabel 1** Data Citra Sentinel-1A yang digunakan dalam penelitian

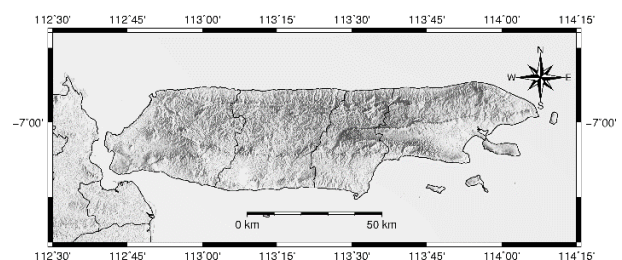
No	ID_File Citra	Tanggal	Polarisasi	Arah
1.	S1A_IW_SLC__1SSV_20160308T104947_20160308T105006_010276_00F325_33D1	08-03-2016	VV	Ascending
2.	S1A_IW_SLC__1SSV_20160916T104959_20160916T105017_013076_0148D8_BABB	16-09-2016	VV	Ascending
3.	S1A_IW_SLC__1SDV_20170315T104941_20170315T105009_015701_019D77_52A0	15-03-2017	VV	Ascending
4.	S1A_IW_SLC__1SDV_20170923T104951_20170923T105019_018501_01F2C2_722D	23-09-2017	VV	Ascending
5.	S1A_IW_SLC__1SDV_20180310T104948_20180310T105016_020951_023F61_05CC	10-03-2018	VV	Ascending

**Tabel 2** Data *Precise Orbit* yang digunakan dalam penelitian

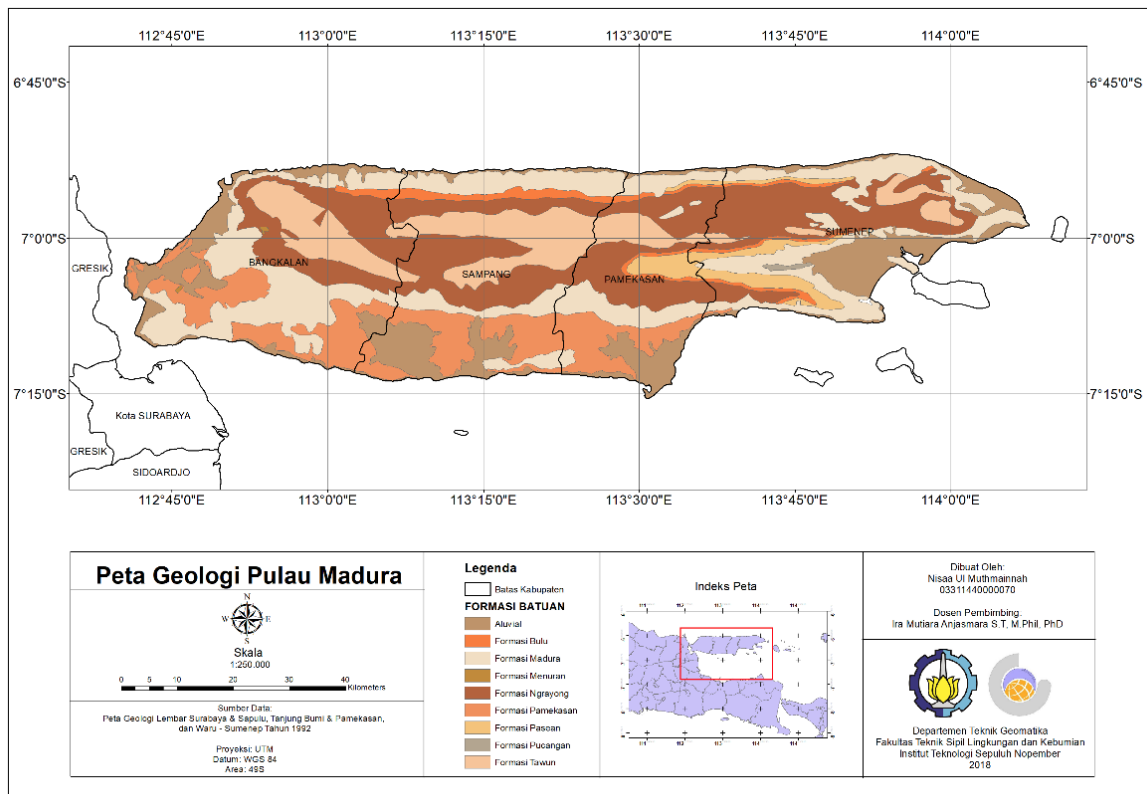
No.	ID_File Orbit	Tanggal
1.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160328T121503_V20160307T225943_20160309T005943.EOF	08-03-2016
2.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20161006T122702_V20160915T225943_20160917T005943.EOF	16-09-2016
3.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170404T121632_V20170314T225942_20170316T005942.EOF	15-03-2017
4.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20171013T121830_V20170922T225942_20170924T005942.EOF	23-09-2017
5.	S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20171013T121830_V20170922T225942_20170924T005942.EOF	10-03-2018

Untuk proses DInSAR digunakan data *Digital Elevation Model Shuttle Radar Topography Mission* (DEM SRTM ) dengan resolusi 1" atau 30 meter (Gambar 2) yang diunduh dari <http://topex.ucsd.edu/gmtsar/demgen/>. Untuk keperluan analisa digunakan peta Geologi skala 1:100.000 lembar Surabaya & Sapulu, Tanjung Bumi & Pamekasan, dan Waru-Sumenep tahun 1992. Gambaran kondisi geologi Pulau Madura dapat dilihat pada Gambar 3.

Proses pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak open source GMTSAR (Sandwell et al, 2011)



**Gambar 2** DEM SRTM 1" dari daerah penelitian



Gambar 3 Peta Geologi Pulau Madura

Proses pengolahan data menggunakan metode DInSAR adalah sebagai berikut:

1. *InSAR Processing*  
Pada tahap ini dilakukan proses *Interferogram Formation* yang bertujuan untuk membentuk data interferogram dari data SLC yang terdiri dari *master* dan *slave*. Pada tahap ini juga dilakukan proses *Flattening/Topographic Phase Removal* yang bertujuan untuk mengubah bidang proyeksi menjadi bidang datar.
2. *DInSAR Processing*  
Pada tahap ini dilakukan proses *noise filtering* diantaranya *temporal decorrelation*, *geometric decorrelation*, *volume scattering*, dan *processing error* dimana beberapa *noise* tersebut dapat mempengaruhi nilai koherensi. Pada tahap ini juga dibutuhkan data DEM SRTM untuk mengurangi efek topografi.
3. *Phase Unwrapping*  
Tahap ini bertujuan untuk menentukan fase absolut interferometrik dari fase relatif karena berhubungan langsung dengan topografi dan deformasi. Dalam tahap ini juga dilakukan

konversi nilai deformasi permukaan dari satuan fase menjadi satuan metrik (mm).

4. *Geocoding*  
Tahap ini bertujuan untuk menyesuaikan koordinat citra radar pada interferogram ke sistem koordinat global sehingga interferogram yang terbentuk sudah bergeoreferensi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Panjang *Baseline Perpendicular* dan *Baseline Temporal*

Panjang *Baseline Perpendicular* dan *baseline temporal* (interval waktu) yang digunakan pada pasangan citra dapat mempengaruhi nilai koherensi. Semakin panjang *baseline perpendicular* dan interval waktunya, maka nilai koherensi akan semakin buruk. Untuk setiap pasangan DInSAR besarnya masing-masing *baseline* dapat dilihat pada Tabel 3

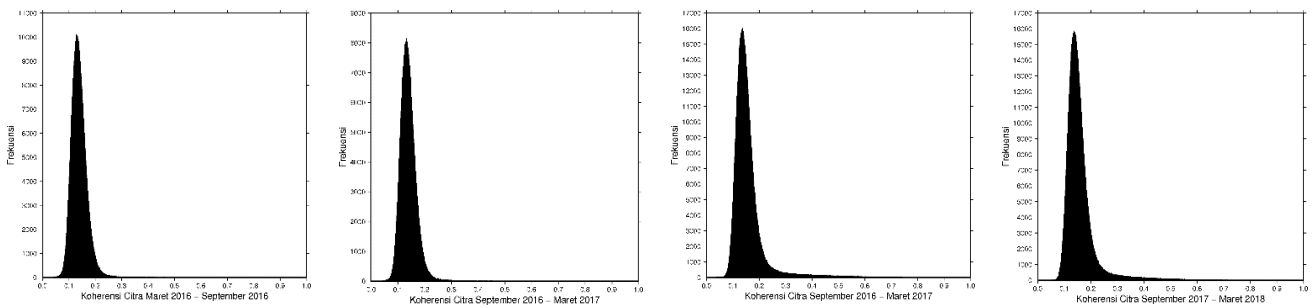
**Tabel 3** Panjang baseline perpendicular dan baseline temporal

ID_Scene	Tanggal Citra	Baseline Perpendicular (m)	Interval Waktu
S1A_IW_SLC_20160308_20160916	08 Maret 2016 – 16 September 2016	45,614	192 hari
S1A_IW_SLC_20160916_20170315	16 September 2016 – 15 Maret 2017	47,236	180 hari
S1A_IW_SLC_20170315_20170923	15 Maret 2017 – 23 September 2017	42,202	192 hari
S1A_IW_SLC_20170923_20180310	23 September 2017 – 10 Maret 2018	67,113	168 hari

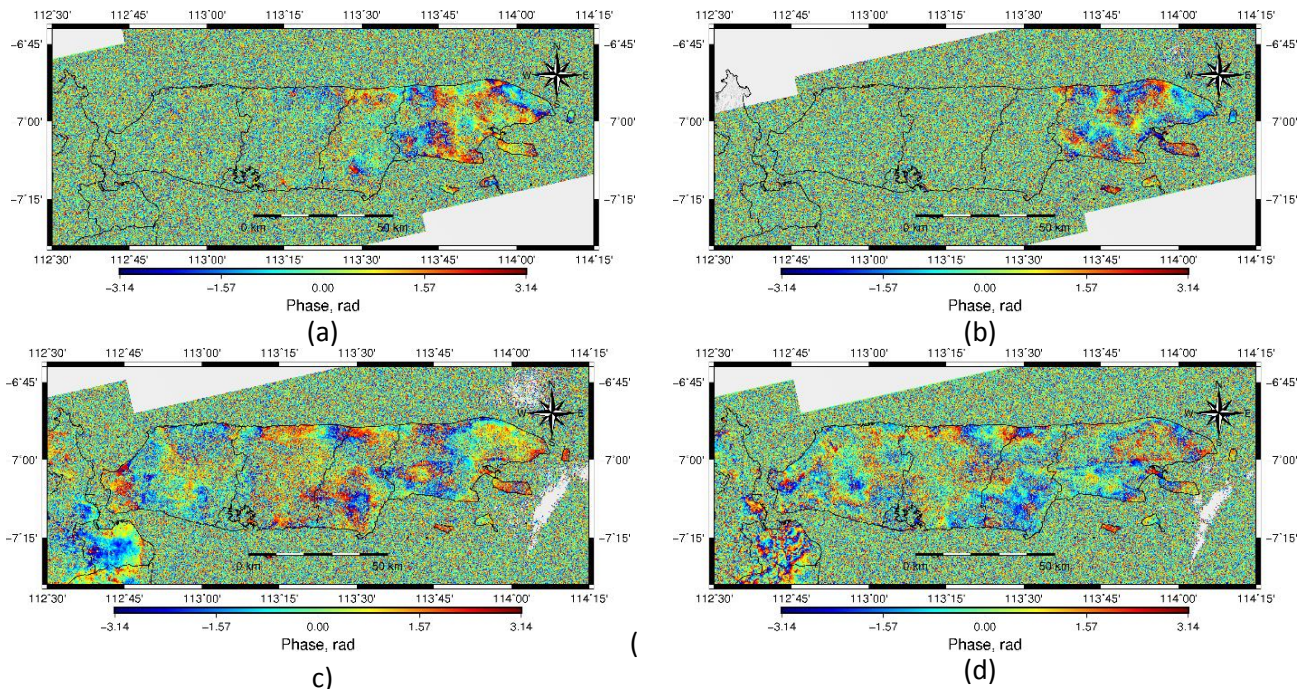
## B. Nilai Koherensi

Nilai koherensi pada pasangan citra menunjukkan kesamaan antar pasangan citra. Koherensi mempunyai nilai 0 – 1, dimana nilai 0 menunjukkan kedua citra tidak memiliki kesamaan dan nilai 1 menunjukkan kedua citra identik.

Rendahnya nilai koherensi dapat disebabkan oleh perubahan kondisi pada saat perekaman kedua citra yang signifikan seperti wilayah citra yang didominasi oleh kerapatan vegetasi yang tinggi. Dalam penelitian ini distribusi nilai frekuensi dari masing – masing pasangan citra dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4** Distribusi nilai koherensi pada masing-masing pasangan DInSAR



**Gambar 5** Interferogram untuk pasangan 08 Maret 2016 - 16 September 2016 (a), 16 September 2016 – 15 Maret 2017 (b), 15 Maret 2017 - 23 September 2017 (c), dan 23 September 2017 – 10 Maret 2018 (d)



### C. Interferogram setelah *Filtering*

*Filtering* dilakukan dengan tujuan untuk menaikkan nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) pada interferogram. Pada interferogram hasil *filtering* *noise* yang terdapat pada interferogram relatif berkurang sehingga *fringes* yang menunjukkan adanya deformasi permukaan memiliki tingkat visibilitas yang baik. Hasil interferogram masing-masing pasangan DInSAR setelah proses *filtering* dapat dilihat pada Gambar 5.

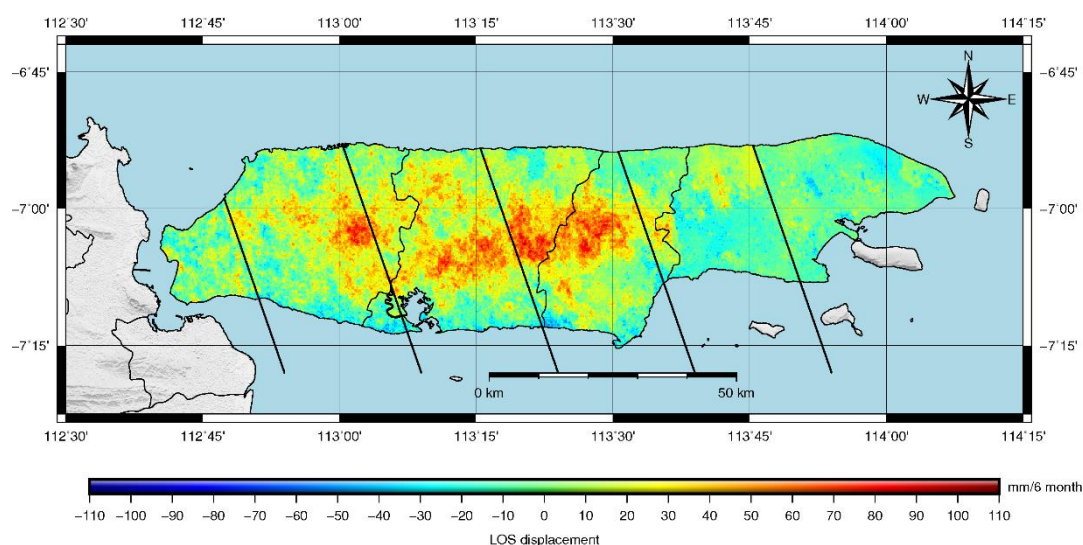
### D. Analisis Deformasi Permukaan

Hasil akhir dari proses DInSAR adalah distribusi nilai deformasi permukaan dalam bentuk *LoS displacement* untuk Pulau Madura. Secara vertikal, deformasi permukaan ditunjukkan sebagai kenaikan muka tanah (*uplift*) dan penurunan muka tanah (*subsidence*). Analisa dilakukan pada masing-masing pasangan DInSAR.

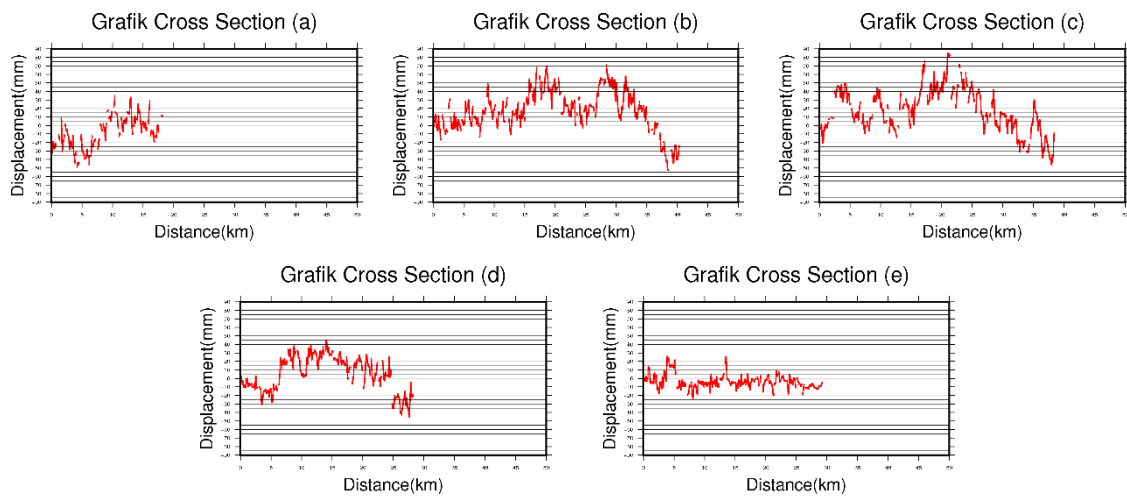
#### a. DInSAR Maret 2016 – September 2016

Pada pasangan citra tanggal 08 Maret 2016 dan 16 September 2016, didapatkan nilai *uplift* maksimum sebesar 109,056 mm pada koordinat 113°19'50" BT dan 07°03'06" LS di wilayah

Kabupaten Sampang. Sedangkan nilai *subsidence* maksimum sebesar -70,136 mm pada koordinat 113°22'50" BT dan 07°12'46" LS berada di sekitar wilayah Kabupaten Sampang. Gambar 6 menunjukkan bahwa kenaikan muka tanah terjadi wilayah perbatasan antara Kabupaten Sampang dan Kabupaten Pamekasan serta di bagian timur Kabupaten Bangkalan yang berupa Formasi Tawun dimana formasi ini memiliki jenis batuan berupa batu lempung bersisipan batupasir, batu gamping, dan konglomerat. Pada area tersebut juga terdapat sesar antiklin. Sesar antiklin merupakan lipatan yang cembung ke arah atas sehingga keadaan ini bisa menjadi salah satu penyebab terjadinya kenaikan muka tanah. Pada Gambar 6 juga terlihat bahwa penurunan tanah terjadi di wilayah Pulau Madura bagian pesisir selatan dimana wilayah tersebut didominasi oleh jenis tanah Aluvium. Tanah aluvium merupakan jenis tanah yang memiliki permeabilitas yang umumnya lambat dan peka terhadap erosi sehingga hal ini dapat menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya penurunan muka tanah. Cross section pada beberapa bagian di Pulau Madura (Gambar 7) menunjukkan bahwa *uplift* cenderung terjadi di sebelah Utara bagian Barat, sedangkan *subsidence* di wilayah pesisir Selatan.



Gambar 6 Distribusi deformasi permukaan pada pasangan DInSAR bulan Maret 2016 - September 2016



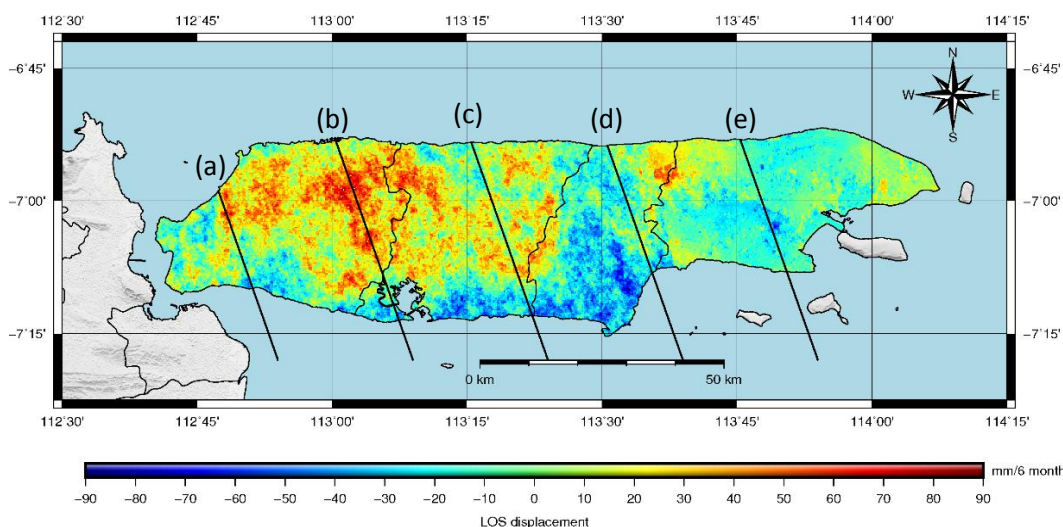
**Gambar 7** Grafik cross section pada pasangan DInSAR bulan Maret 2016 - September 2016

**b. DInSAR September 2016 – Maret 2017**

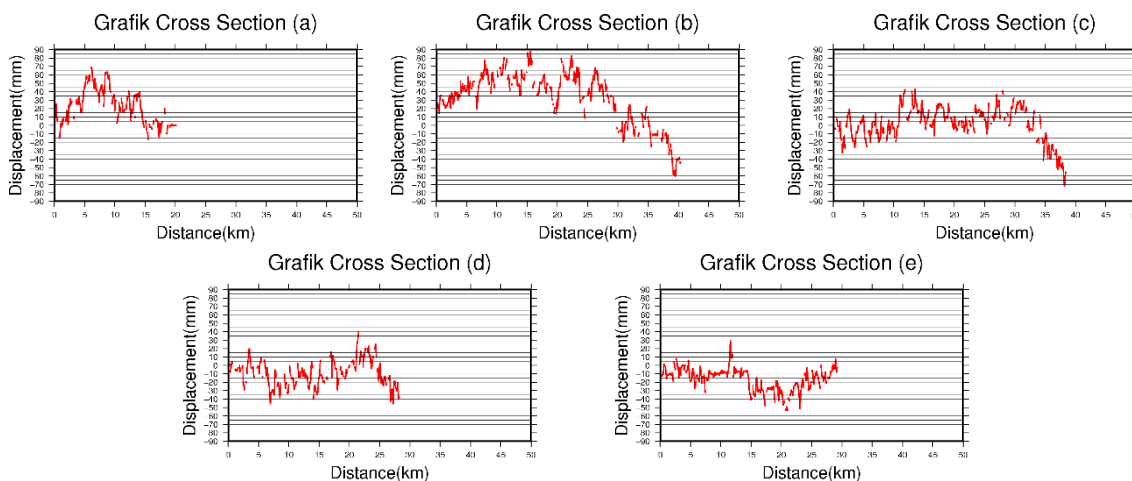
Pada pasangan citra tanggal 16 September 2016 dan 15 Maret 2017 didapatkan nilai kenaikan muka tanah maksimum sebesar 98,059 mm pada koordinat 113°00'58" BT dan 06°59'57" LS di wilayah Kabupaten Bangkalan. Sedangkan nilai penurunan muka tanah maksimum adalah -95,011 mm pada koordinat 113°31'54" BT dan 07°08'10" LS di wilayah Kabupaten Pamekasan.

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa kenaikan muka tanah terbesar berada pada wilayah Kabupaten Bangkalan bagian barat. Wilayah tersebut merupakan wilayah dengan struktur terjadi bencana gempa bumi yang berpusat di darat pada jarak 18 kilometer arah barat Kabupaten Sampang pada kedalaman 10 kilometer. Menurut BMKG, gempa bumi ini disebabkan oleh adanya aktivitas sesar naik Rembang yang membujur dari Jawa Timur bagian utara yang menerus ke arah timur dan

geologi berupa Formasi Ngrayong dan Formasi Tawun serta juga terdapat sesar antiklin pada pada wilayah tersebut. Pada peta geologi, wilayah tersebut menempati lembar peta Tanjung Bumi – Pamekasan. Daerah Tanjung Bumi dan Pamekasan termasuk dalam Lajur Rembang yang merupakan pegunungan terlipat dan membentuk antiklorium yang memanjang pada arah barat – timur (Daryono, 2017). Penurunan tanah tertinggi terjadi di sepanjang pantai selatan Kabupaten Sampang dan Pamekasan. Wilayah tersebut merupakan wilayah dengan sebagian struktur tanahnya adalah aluvial sedangkan sisanya termasuk dalam Formasi Madura. Pada tanggal 20 Februari 2017 telah menyeberang Selat Madura dan mencapai bagian barat Kabupaten Sampang. Hal tersebut dapat menjadi salah satu faktor terjadinya pergerakan tanah di Pulau Madura. Grafik Cross section untuk DInSAR September 2016 – Maret 2017 dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 8** Distribusi deformasi permukaan pada pasangan DInSAR bulan September 2016 – Maret 2017



**Gambar 9** Grafik cross section pada pasangan DInSAR bulan September 2016 – Maret 2017

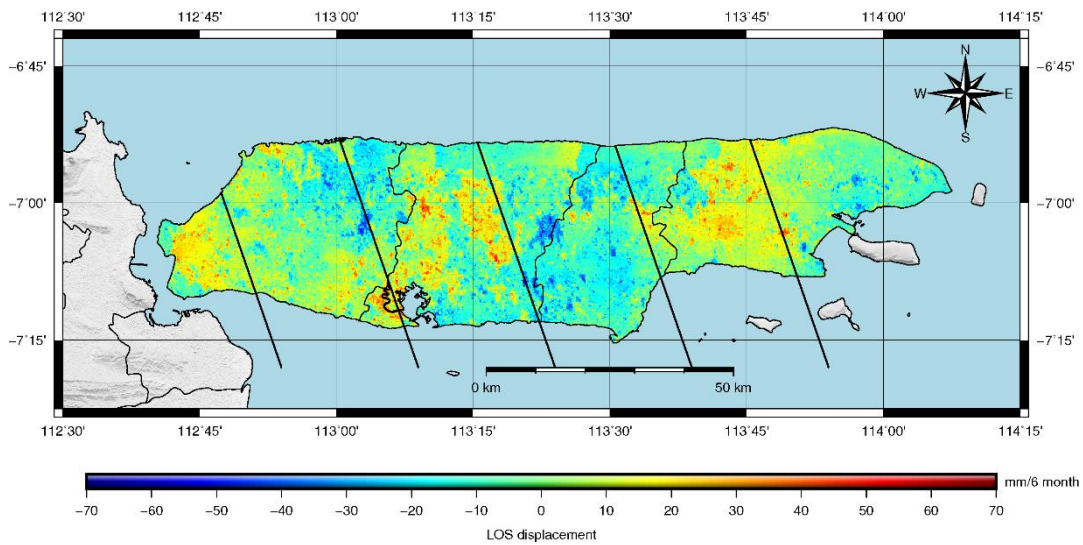
**c. DInSAR Maret 2017- September 2017**

Pada pasangan citra tanggal 15 Maret 2017 dan 23 September 2017, didapatkan nilai kenaikan muka tanah maksimum sebesar 63,884 mm pada koordinat 113°04'54" BT dan 07°10'22" LS di wilayah Kabupaten Sampang. Sedangkan nilai penurunan muka tanah terbesar adalah -65,550 mm pada koordinat 113°02'42" BT dan 07°02'58" LS di wilayah Kabupaten Bangkalan.

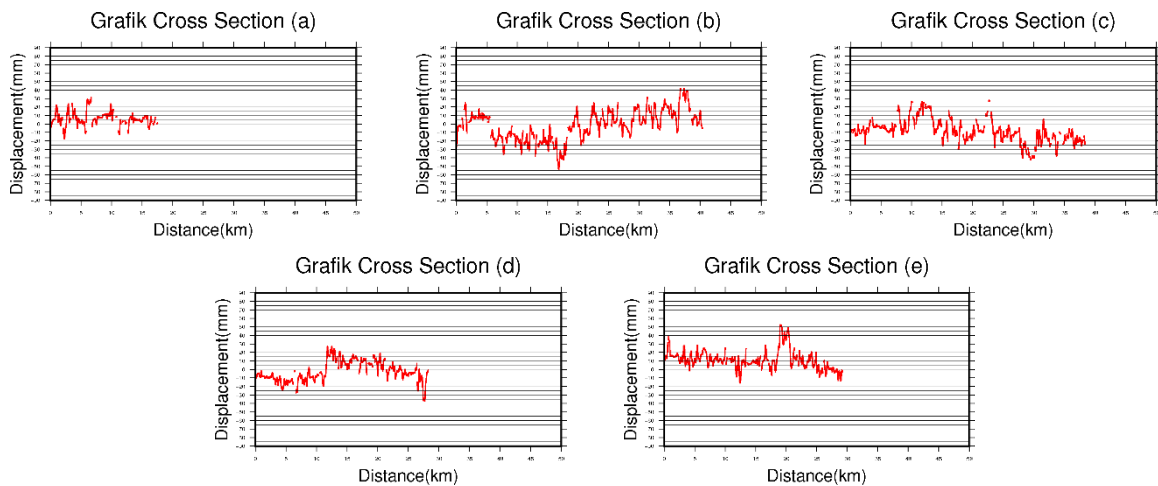
Gambar 10 dapat dilihat bahwa kenaikan muka tanah tertinggi berada di wilayah Kabupaten Sampang bagian barat dimana pada wilayah tersebut terdapat sesar geser selatan-utara dengan jenis Formasi Ngrayong. Formasi

Ngrayong merupakan formasi batuan berupa batu pasir bersisipan dengan batu lempung, napal, dan batu gamping.

Penurunan tanah terjadi pada wilayah Kabupaten Bangkalan bagian timur yang formasi batuan adalah formasi Tawun. Telah terjadi dua bencana longsor wilayah Pulau Madura yakni di Kecamatan Kadur, Kabupaten Pamekasan pada tanggal 08 April 2017 dan di Kecamatan Kebundadap, Kabupaten Sumenep pada tanggal 21 September 2017. Bencana tanah longsor yang terjadi menyebabkan penurunan muka tanah yang cukup signifikan. Grafik Cross section untuk DInSAR September 2016 – Maret 2017 dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 10** Distribusi deformasi permukaan pada pasangan DInSAR bulan Maret 2017 – September 2017



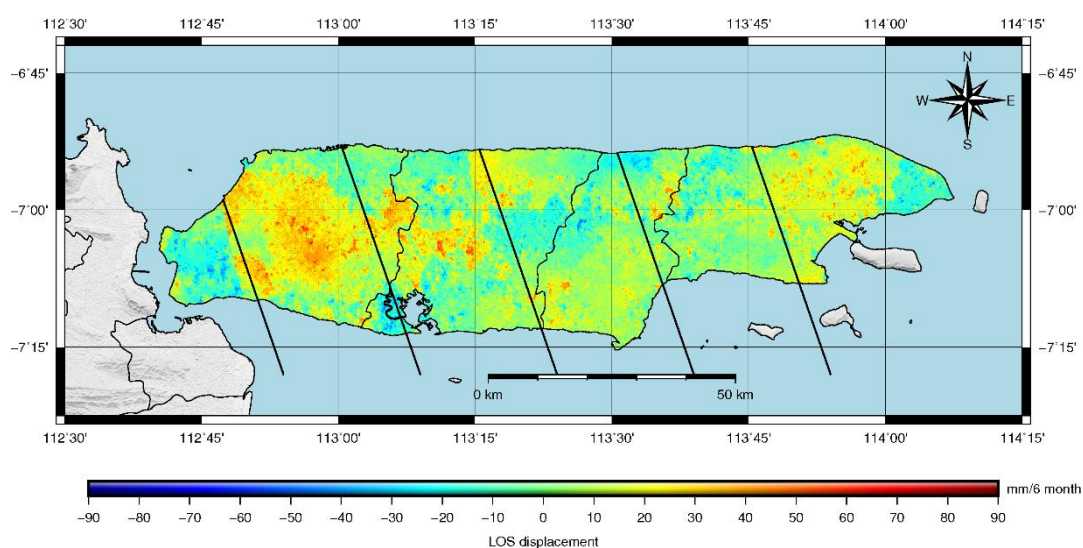
**Gambar 11** Grafik cross section pada pasangan DInSAR bulan Maret 2017 – September 2017

**d. DInSAR September 2017 – Maret 2018**

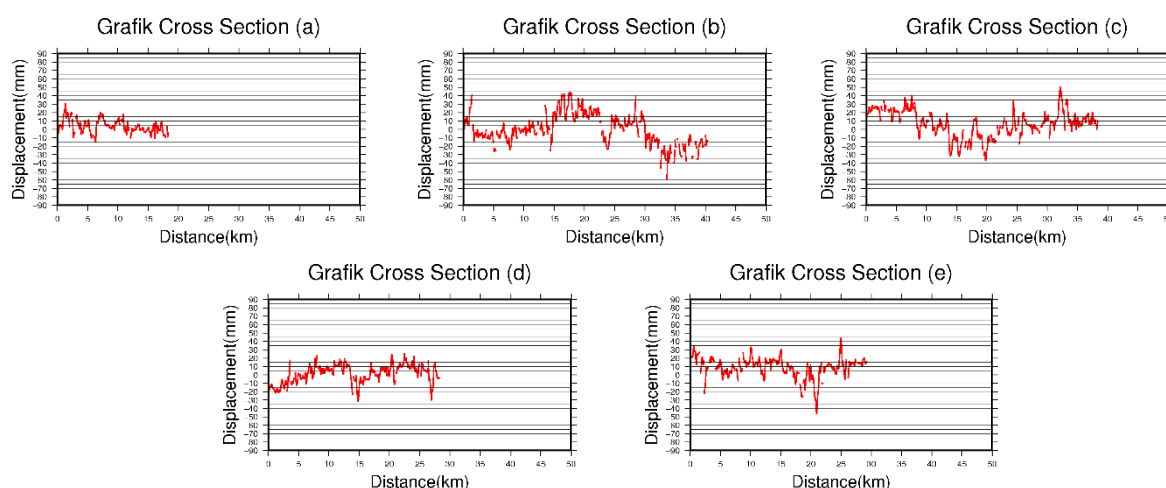
Pada pasangan citra tanggal 13 September 2017 dan 10 Maret 2018 didapatkan hasil nilai kenaikan muka tanah maksimum adalah 74,811 mm pada koordinat 112°56'58" BT dan 07°03'42" LS di wilayah Kabupaten Bangkalan. Sedangkan nilai penurunan muka tanah terbesar adalah -57.245 mm pada koordinat 112°45'46" BT dan 07°06'34" LS di wilayah Kabupaten Sampang. Gambar 12 menunjukkan nilai kenaikan muka

tanah tertinggi berada di wilayah Kabupaten Bangkalan tepatnya di daerah dengan formasi batumannya berupa Formasi Ngrayong. Sedangkan nilai penurunan tanah tertinggi terjadi di Kabupaten Sampang dengan formasi tanah berupa tanah Aluvial. Selain jenis tanahnya, penurunan tanah yang terjadi di Kabupaten Sampang bagian selatan juga disebabkan oleh abrasi yang sangat parah di wilayah tersebut. Grafik Cross section untuk DInSAR September 2017 – Maret 2018 dapat dilihat pada Gambar 13.





**Gambar 12** Distribusi deformasi permukaan pada pasangan DInSAR bulan September 2017 – Maret 2018



**Gambar 13** Grafik cross section pada pasangan DInSAR bulan September 2017 – Maret 2018

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- Kenaikan muka tanah terbesar terjadi pada pasangan DInSAR bulan Maret 2016 – September 2016 dengan nilai sebesar 109,056 mm.
- Penurunan muka tanah terbesar terjadi pada pasangan DInSAR bulan September 2016 – Maret 2017 dengan nilai sebesar -95,011 mm.
- Pergerakan tanah di Pulau Madura baik kenaikan muka tanah (*uplift*) maupun penurunan muka tanah (*subsidence*) disebabkan oleh berbagai faktor. Terdapat

beberapa bencana alam yang dapat mempengaruhi laju pergerakan tanah diantaranya adalah tanah longsor, gempa bumi, dan abrasi pantai di bagian selatan Pulau Madura. Selain adanya bencana alam, pergerakan tanah tersebut juga dapat dipengaruhi oleh berbagai formasi batuan yang memiliki karakteristik masing-masing. Beberapa sesar naik dan turun juga sangat mempengaruhi terjadinya pergerakan tanah.

### Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya mengenai sengketa batas wilayah, sebaiknya menggunakan data acuan dengan akurasi tinggi, baik citra satelit (resolusi spasial sekitar 0.4 hingga 4 m) maupun

peta dasar, sehingga didapatkan batas wilayah yang lebih akurat sesuai dengan kondisi asli dilapangan. Permendagri No. 141 Tahun 2017 menyatakan skala minimal untuk peta batas wilayah Kabupaten yaitu 1:100000.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Pusat Statistik*. Retrieved Maret 25, 2018, from Badan Pusat Statistik:  
<https://www.bps.go.id/>
- Sukardi. (1992). *Geologi Lembar Surabaya & Sapulu, Jawa*. Badan Geologi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung: Badan Geologi.
- Situmorang, R. L., Agustianto, D. A., & Suparman, M. (1992). *Geologi Lembar Waru - Sumenep, Jawa*. Badan Geologi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung: Badan Geologi.
- European Space Agency. (2013). *ESA Sentinel 1 Handbook*. European Space Agency.
- Sandwell, D., Mellors, R., Tong, X., Wei, M., & Wessel, P. (2011). *GMTSAR: An InSAR Processing System Based on Generic Mapping Tools*. UC San Diego: Scripps Institution of Oceanography.
- Ismullah, I. H. (2003). Teknologi Radar Interferometri Untuk Pengadaan Model Permukaan Bumi Dijital. *Majalah Geografi Indonesia*, 17(21-31).
- Daryono. (2017). *Gempa Bumi Madura Dipicu Aktivitas Sesar Aktif*. Retrieved from BMKG:  
<https://www.bmkg.go.id/gempabumi/>