

## Pemanfaatan Citra Satelit Sentinel-1A untuk Pengamatan Deformasi Pasca Gempa di Kabupaten Pesisir Barat, Lampung

*Leveraging Sentinel-1A Satellite Imagery to Monitor the Deformation of Aftershock in Pesisir Barat City, Lampung*

Nurwatik\*, Eka Diah Nur Safitri, Astrid Calista

Departemen Teknik Geomatika, FTSPK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

\*Korespondensi penulis: nurwatik@its.ac.id

Diterima: 09022021; Diperbaiki: 24022021; Disetujui: 18032021; Dipublikasi: 09042021

**Abstrak:** Pesisir Barat merupakan salah satu Kabupaten di Provinsi Lampung yang berbatasan dengan Samudra Hindia. Posisi wilayah yang berada diantara pertemuan dua lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia mengakibatkan Kabupaten Pesisir Barat sering mengalami dampak gempa. Sesuai laporan dari BMKG, bencana gempa yang cukup besar telah terjadi pada hari Jum'at tanggal 02 Agustus 2019 jam 19:03:25 WIB dengan magnitudo 6.9 SR. Pusat Gempa bumi terletak di laut selatan Pesisir Barat pada koordinat 7.32°LS-104.75°BT dengan kedalaman dangkal sekitar 48 km. Selain guncangan, gempa juga dapat mengakibatkan perubahan (deformasi) pada permukaan tanah. Penelitian ini menggunakan metode penginderaan jauh aktif untuk mengamati deformasi yaitu DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) yang merupakan teknik berbasis radar untuk mengeksploitasi informasi pada fase dua periode citra. Pengamatan deformasi dilakukan menggunakan dua data Sentinel-1A yang diakuisisi pada tanggal 01 Juni 2019 sebagai *master*, citra 29 Oktober 2019 sebagai *slave*, dan DEM SRTM 30 meter sebagai informasi topografi di wilayah tersebut. Hasil metode DInSAR menunjukkan deformasi vertikal yang diproyeksikan sepanjang LOS (*Line Of Sight*) di Kabupaten Pesisir Barat dengan nilai yang bervariasi pada rentang -12 cm sampai +22 cm. Dari proses kalkulasi statistik, dapat diketahui bahwa mayoritas permukaan tanah pada studi lokasi mengalami pengangkatan (*uplift*) sebesar 1,1 cm sampai 8,1 cm selama periode pengamatan. Fenomena tersebut selaras dengan aktivitas tektonik dan formasi geologi yang menyusun dataran Pesisir Barat, yaitu batuan gunungapi kuartar dan simpangaur.

*Copyright © 2021 Geoid. All rights reserved.*

**Abstract:** Pesisir Barat is one of the regencies in Lampung Province which adjacent to the Indian Ocean. The location where is between the junction of two tectonic plates, the Eurasian plate and the Indo-Australian plate, causes Pesisir Barat become frequently affected by earthquakes. According to the report from BMKG, a quite large earthquake occurred on Friday August 2, 2019 at 19:03:25 WIB with a magnitude of 6.9 SR. The epicenter of the earthquake is located in the southern sea of Pesisir Barat at coordinates 7.32°S ; 104.75°E with a shallow depth of about 48 km. Apart from shocks, earthquakes can also cause changes (deformations) to the ground surface. This research purposes an active remote sensing method that can be used to observe deformation is DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*), which is a radar-based technique to exploit information in the two-period phase of the image. Deformation observations were carried out using two Sentinel-1A data acquired on June 1, 2019 as a *master*, October 29, 2019 imagery as a *slave*, and DEM SRTM 30 meters as topographic information in it's area. The results of the DInSAR method show that vertical deformation which is projected along the LOS (*Line Of Sight*) in Pesisir Barat Regency with varying values in the range from -12 cm to +22 cm. From the statistical calculation process, it can be seen that the majority of the land surface in the study location experienced an *uplift* of 1.1 cm to 8.1 cm during the observation period. This phenomenon is consistent with the tectonic activity and geological formations that form the Pesisir Barat plains, namely quaternary volcanic rocks and simpangaur.

Kata kunci: deformasi; DInSAR; Pesisir Barat; Sentinel-1A

Cara untuk sitasi: Nurwatik., Safitri, E.D., & Calista, A. (2021). Pemanfaatan Citra Satelit Sentinel-1A untuk Mengamati Deformasi Pasca Gempa Pesisir Barat, Lampung. *Geoid*, 15(1), 259 - 266.

## Pendahuluan

Kabupaten Pesisir Barat merupakan salah satu Kabupaten di Provinsi Lampung yang berbatasan langsung dengan Samudra Hindia dan memiliki garis pantai sepanjang 210 km. Secara Geografis, Kabupaten Pesisir Barat terletak dekat dengan Selat Sunda yang merupakan daerah transisi antara zona subduksi frontal di selatan Jawa dan subduksi miring di Sumatra. Posisi wilayah yang berada diantara pertemuan dua lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia mengakibatkan Kabupaten Pesisir Barat sering mengalami dampak gempa.

Gempa adalah peristiwa bergoncangnya bumi karena pergerakan atau pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Salah satu bencana gempa yang cukup besar terjadi pada hari Jum'at tanggal 02 Agustus 2019 jam 19:03:25 WIB dengan magnitude 6.9 SR. Pusat Gempa bumi (*epicenter*) terletak di laut selatan Pesisir Barat pada koordinat  $7.32^{\circ}\text{LS}-104.75^{\circ}\text{BT}$  dengan kedalaman dangkal sekitar 48 km. Gempa tersebut mengakibatkan guncangan yang cukup besar di wilayah sekitar *epicenter*, salah satunya adalah Kabupaten Pesisir Barat. Selain guncangan, gempa juga dapat mengakibatkan terjadinya deformasi. Menurut Anjasmara (2013) deformasi adalah perubahan bentuk, dan/atau ukuran suatu tubuh sebagai respon terhadap gaya (*force*) yang diterapkan. Selain itu deformasi juga berarti perubahan posisi (*translation*) dan orientasi (*rotation*).

Deformasi pada suatu tempat atau objek dapat diamati melalui sebuah survei *geodetic* menggunakan perangkat GPS (Budi Prayitno, Muohammad Awaluddin 2015) atau pengamatan deformasi dan geodinamika (Sari, Handayani, and Agustan 2014). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengamati deformasi adalah DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) menggunakan pasangan gambar SAR yang diakuisisi pada waktu yang berbeda dan posisi yang berbeda oleh satelit (Goldstein and Werner 1998). Dengan mengetahui informasi posisi satelit dan topografi DEM dapat digunakan untuk melakukan substraksi komponen beda fase topografi dan mengukur deformasi (Mura et al. 2014). Secara lebih rinci, penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan DInSAR *Two-pass Interferometry*, dimana terdapat citra SAR 1 dan 2 yang diolah untuk menghasilkan nilai fase deformasi dengan bantuan data model elevasi (DEM) eksternal sebagai koreksi fase topografi.

Pada penelitian ini, digunakan 2 buah citra SAR Sentinel-1A (level 1.0) yang menggunakan *band C* (bekerja pada frekuensi 5.405 GHz dan panjang gelombang 5,6 cm) dengan *single polarisation* (VV). Sentinel-1A merupakan produk SAR pertama dari ESA yang memiliki sistem orbit pada kutub untuk aplikasi SAR dan menyediakan secara kontinyu citra pada siang/malam hari untuk layanan pengguna (ESA 2007). Secara global, citra Sentinel-1A memiliki akurasi tinggi vertikal absolut mencapai  $\sim 0,3$  mm. Pengolahan data Sentinel-1A menggunakan DInSAR bertujuan untuk menghasilkan nilai besaran deformasi Kabupaten Pesisir Barat sehingga dapat dilakukan analisa spasial dengan data jenis batuan geologi serta membuat peta persebaran deformasi.

## Data dan Metode

Penelitian ini memilih studi kasus Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung. Kabupaten Pesisir Barat merupakan kabupaten hasil pemekaran dari kabupaten induknya, yaitu Kabupaten Lampung Barat yang disahkan berdasarkan Undang-undang Nomor 22 Tahun 2012 tentang Pembentukan Kabupaten Pesisir Barat Provinsi Lampung. Kabupaten Pesisir Barat memiliki luas  $\pm 2.889,88$  Km<sup>2</sup> atau 8,39% dari luas wilayah Provinsi Lampung, dan secara administratif terdiri dari 11 kecamatan, dengan 116 pekon (desa) dan 2 kelurahan. Secara geografis letak Kabupaten Pesisir Barat pada koordinat :  $4^{\circ} 40' 0'' - 6^{\circ} 0' 0''$  LS dan  $103^{\circ} 30' 0'' - 104^{\circ} 50' 0''$  BT. Gambar 1 menunjukkan peta lokasi penelitian ini.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (Pemerintah Indonesia, 2012)

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sepasang citra satelit Sentinel 1A pada perekaman sebelum dan sesudah gempa (Tabel 1), DEM SRTM 3 *version 4* yang memiliki resolusi 30 meter, peta RBI Kabupaten Pesisir Barat skala 1:50.000 yang diunduh pada laman <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>, dan peta vektor geologi Kabupaten Pesisir Barat yang didapatkan dari ESDM. Tabel 1 menunjukkan informasi detail citra sentinel 1A yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Data Citra Sentinel 1A

| <i>ID Scene</i>   | Tanggal         | Arah              | Kegunaan      |
|---|-----------------|-------------------|---------------|
| S1A_IW_SLC__1SDV_20190601T224140_20190601T224206_027492_031A2A_B280 | 1 Juni 2019     | <i>Descending</i> | <i>Master</i> |
| S1A_IW_SLC__1SDV_20191023T224146_20191023T224212_029592_035E83_0522 | 23 Oktober 2019 | <i>Descending</i> | <i>Slave</i>  |

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah DInSAR. Data yang diperlukan pada metode ini adalah SAR dari citra sebelum gempa sebagai *master* dan sesudah gempa sebagai *slave*. Tahapan pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini meliputi;

*Interferogram generation* yang dilakukan untuk menghasilkan citra dengan perkalian silang antar piksel pada citra master terhadap citra *slave* sehingga di dalamnya berisi informasi *phase* dan *amplitude*. Penelitian ini menggunakan metode *Two-Pass Interferometry* untuk mendapatkan interferogram. Untuk mendapatkan nilai *phase*, dilakukan tahapan pergeseran spektral mengikuti persamaan (1) sebagai berikut;

$$Phase = ATAN[Imag(I)/Real(I)] \quad (1)$$

Dimana nilai  $Imag(I)$  dan  $Real(I)$  secara berturut-turut adalah bagian imajiner dan bagian nyata dari interferogram. Tahap pergeseran spektral diperlukan karena terdapat rentang pergeseran spektrum yang disebabkan oleh sudut pandang variabel SAR pada target, sedangkan tahap penyaringan *bandwidth Doppler* diperlukan untuk mengimbangi Doppler yang berbeda (sudut miring), yang menyebabkan spektrum azimuth bergeser. Filter azimuth yang diterapkan selama proses *Interferogram Generation* memungkinkan untuk menangkap seluruh koherensi potensial pada *scene* citra.

DInSAR atau *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* adalah metode pencitraan radar ke samping yang memanfaatkan informasi fase, amplitudo, dan panjang gelombang untuk mendapatkan informasi topografi dan deformasi, dimana tahap pengolahan data sangat dipengaruhi oleh nilai koherensi. Selanjutnya, dilakukan proses *interferogram flattening* dengan menggunakan data DEM untuk menghilangkan pengaruh topografi pada fase interferogram (Sari, Handayani, and Agustan 2014).

*Adaptive Filter and Coherence* yang dilakukan untuk meningkatkan visibilitas area tepi dan mengurangi *noise* yang diakibatkan dekorelasi temporal atau *baseline*. Tahap ini akan menghasilkan nilai koherensi dimana batas nilai koherensi yang diperoleh dari penggabungan dua citra SAR memiliki kisaran nilai antara 0-1. Prosedur *adaptive filter* ini membutuhkan waktu yang cukup lama untuk melakukan komputasi yang berkaitan dengan identifikasi nilai *threshold* sebagai faktor rata-rata kemiripan. Pemilihan piksel untuk disertakan dalam setiap "area stasioner" didasarkan pada nilai perbedaan antara rata-rata piksel di area itu ( $M_{all}$ ) dan nilai piksel baru ( $M_{new}$ ). Persamaan faktor rata-rata kemiripan dapat diwakili oleh angka digital dalam skala linier sesuai persamaan pada perangkat lunak SARscape.

$$(M_{all} - M_{new})/M_{all} \quad (2)$$

*Phase Unwrapping* yang dilakukan untuk mendapatkan citra deformasi yang memiliki nilai dalam satuan metrik. Hal ini dilakukan karena nilai *phase* yang didapatkan pada proses sebelumnya masih dalam satuan radian dengan rentang  $-\pi$  sampai dengan  $\pi$ , sehingga menimbulkan masalah ambiguitas. Proses ini menggunakan persamaan *displacement of the earth's surface* sepanjang sensor *Line of Sight* (LOS) pada persamaan (3) (ESA 2007).

$$\Delta\phi_a = \frac{4\pi}{\lambda} d \quad (3)$$

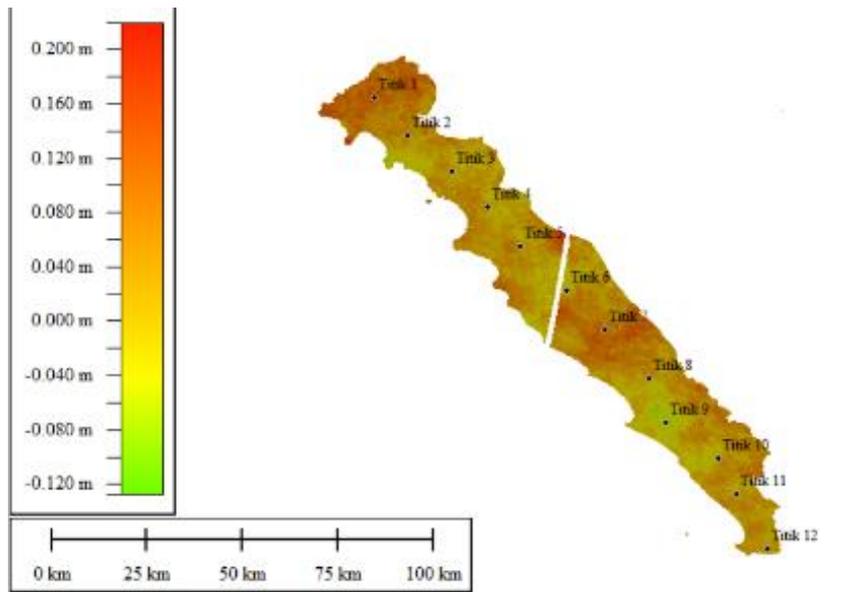
dimana  $\lambda$  merupakan panjang gelombang citra Sentinel-1A,  $\Delta\phi_a$  adalah nilai perbedaan *phase* dan  $d$  merupakan jarak panjang gelombang.

*GCP Selection* yang dilakukan menggunakan *annotation tool* dan dapat dimodifikasi menggunakan *arrow select tool*. *Refinement and Reflattening* yang dilakukan untuk mengkoreksi transformasi informasi *unwrapped phase* menjadi informasi nilai tinggi (atau perpindahan).

*Phase to Displacement and Geocoding* yang bertujuan untuk mengkombinasikan ulang kalibrasi absolut dan *unwrapped phase* dengan *synthetic phase* yang selanjutnya dikonversi ke nilai ketinggian dan di *geocoding* ke proyeksi peta. Langkah ini dijalankan dengan cara yang mirip pada prosedur *geocoding*, yaitu mempertimbangkan pendekatan *Range-Doppler* yang terkait dengan transformasi geodetik dan kartografi untuk transformasi dari koordinat radar (*range*, azimuth) ke koordinat geografis (bujur, lintang). *Cropping Area* yang bertujuan untuk memotong citra yang telah selesai diolah menjadi data fase '*displacement*' sesuai wilayah studi kasus. Analisa Overlay yang dilakukan untuk mengetahui jenis batuan atau geologi pada daerah yang mengalami deformasi dengan cara melakukan *overlay* antara hasil fase '*displacement*' sepanjang LOS dengan peta geologi Kab. Pesisir Barat.

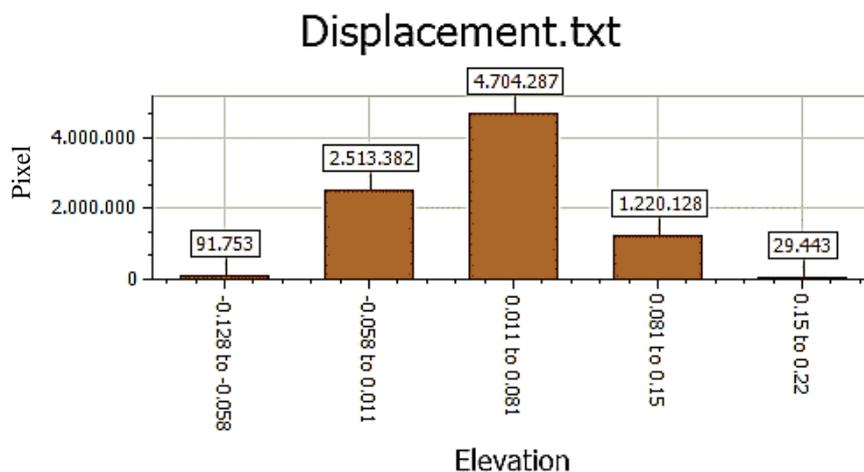
## Hasil dan Pembahasan

Suatu titik atau objek dikatakan bergerak secara absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri dan dikatakan *relative* apabila gerakan titik atau objek tersebut dikaji dari titik yang lain (Andreas, 2007). Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih beberapa titik pengamatan untuk mengetahui persebaran jenis deformasi di Kabupaten Pesisir Barat. Titik sampel dibuat secara acak sebanyak 12 titik yang tersebar pada Kecamatan Lemong, Karyapenggawa, Way Krui, Pesisir Selatan, Ngambur, Bengkunt, dan Bengkunt Belimbing. Persebaran titik-titik tersebut disesuaikan dengan orientasi studi kasus yang memanjang dari barat laut ke tenggara seperti yang tertampil pada Gambar 2.



Gambar 2. Rentang Deformasi dan Persebaran titik sampel

Nilai deformasi tersebut kemudian di reklasifikasi menjadi beberapa kelas berdasarkan jumlah piksel. Proses reklasifikasi menghasilkan grafik yang menunjukkan jumlah piksel pada 5 kelas pengelompokan deformasi yang berbeda. Dimana kelas satu bernilai  $-0,128$  sampai  $-0,058$  berjumlah 91.753 piksel, kelas dua bernilai  $-0,058$  sampai  $0,011$  berjumlah 2.513.382 piksel, kelas tiga bernilai  $0,011$  sampai  $0,081$  berjumlah 4.704.287 piksel, kelas empat bernilai  $0,081$  sampai  $0,15$  berjumlah 1.220.128 piksel, dan kelas lima bernilai  $0,15$  sampai  $0,22$  berjumlah 29.443 piksel. Dari reklasifikasi tersebut lokasi studi (Kabupaten Pesisir Barat, Lampung) merupakan daerah yang memiliki tingkat pengangkatan atau *uplift* tinggi, hal tersebut dibuktikan pada reklasifikasi kelas  $0,011$  hingga  $0,081$  terdapat 4.704.287 piksel terdeformasi.



Gambar 3. Reklasifikasi Nilai Deformasi

Persebaran jenis deformasi berdasarkan nilai *displacement* terhadap 12 titik sampel yang telah dibuat terdapat pada Tabel 2. Berdasarkan nilai *displacement*, jenis deformasi didominasi *uplift*. *Uplift* adalah kenaikan permukaan bumi akibat adanya dorongan dari dalam perut bumi (Azhari et al. 2020). Daerah yang paling banyak mengalami pengangkatan atau *uplift* adalah Kecamatan Lemong dan Kecamatan Bengkunt. Sedangkan *subsidence* terjadi di Kecamatan Ngambur dan Kecamatan Bengkunt Belimbing.

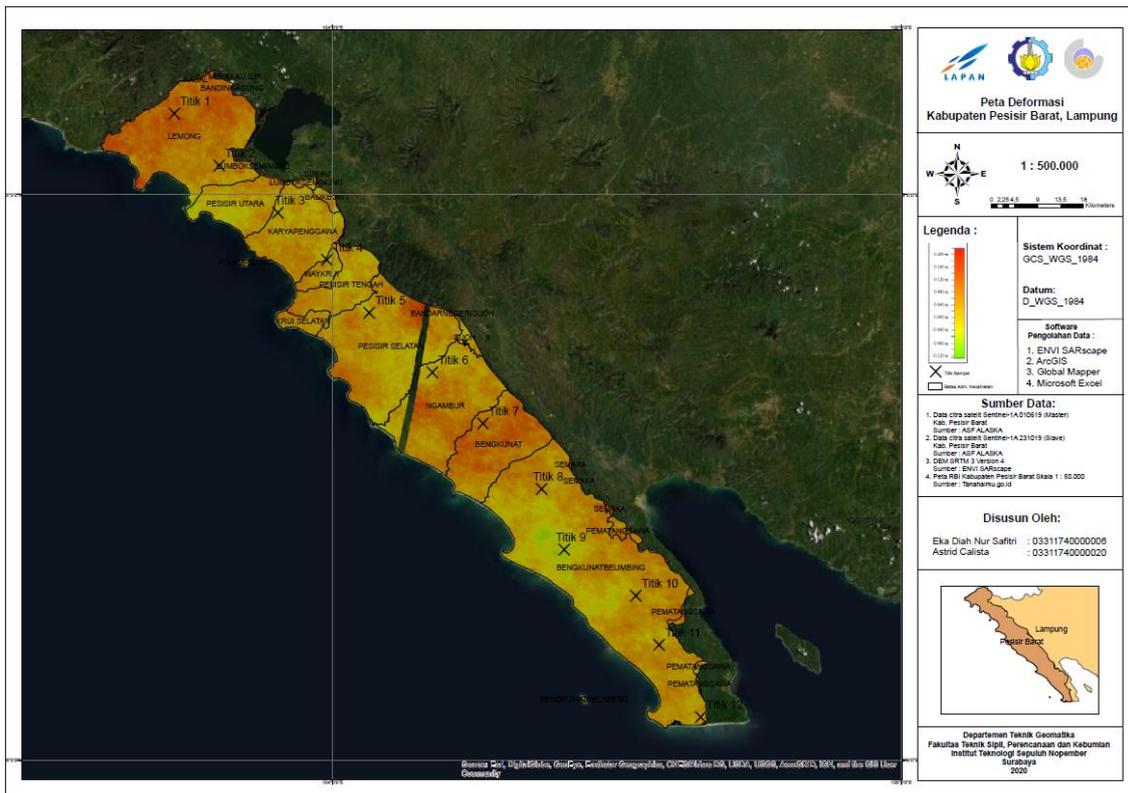
Tabel 2. Jenis Deformasi

| Titik Sampel | <i>Displacement</i> (m) | Jenis Titik Sampel | Kecamatan          | Jenis Batuan       |
|--------------|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1            | 0,1230000034            | <i>Uplift</i>      | Lemong             | Gunung Api Kuarter |
| 2            | 0,0189999939            | <i>Uplift</i>      | Lemong             | Gunung Api Kuarter |
| 3            | 0,005575574003          | <i>Uplift</i>      | Karyapenggawa      | Gunung Api Kuarter |
| 4            | 0,0270000007            | <i>Uplift</i>      | Way Krui           | Gunung Api Kuarter |
| 5            | 0,04300000146           | <i>Uplift</i>      | Pesisir Selatan    | Gunung Api Kuarter |
| 6            | -0,0329999982           | <i>Subsidence</i>  | Ngambur            | Formasi Simpangaur |
| 7            | 0,06700000167           | <i>Uplift</i>      | Bengkunt           | Gunung Api Kuarter |
| 8            | 0,0209999972            | <i>Uplift</i>      | Bengkunt Belimbing | Gunung Api Kuarter |
| 9            | -0,09300000221          | <i>Subsidence</i>  | Bengkunt Belimbing | Formasi Simpangaur |
| 10           | 0,0209999972            | <i>Uplift</i>      | Bengkunt Belimbing | Formasi Simpangaur |
| 11           | 0,0549999997            | <i>Uplift</i>      | Bengkunt Belimbing | Formasi Simpangaur |
| 12           | 0,007810178678          | <i>Uplift</i>      | Bengkunt Belimbing | Formasi Simpangaur |

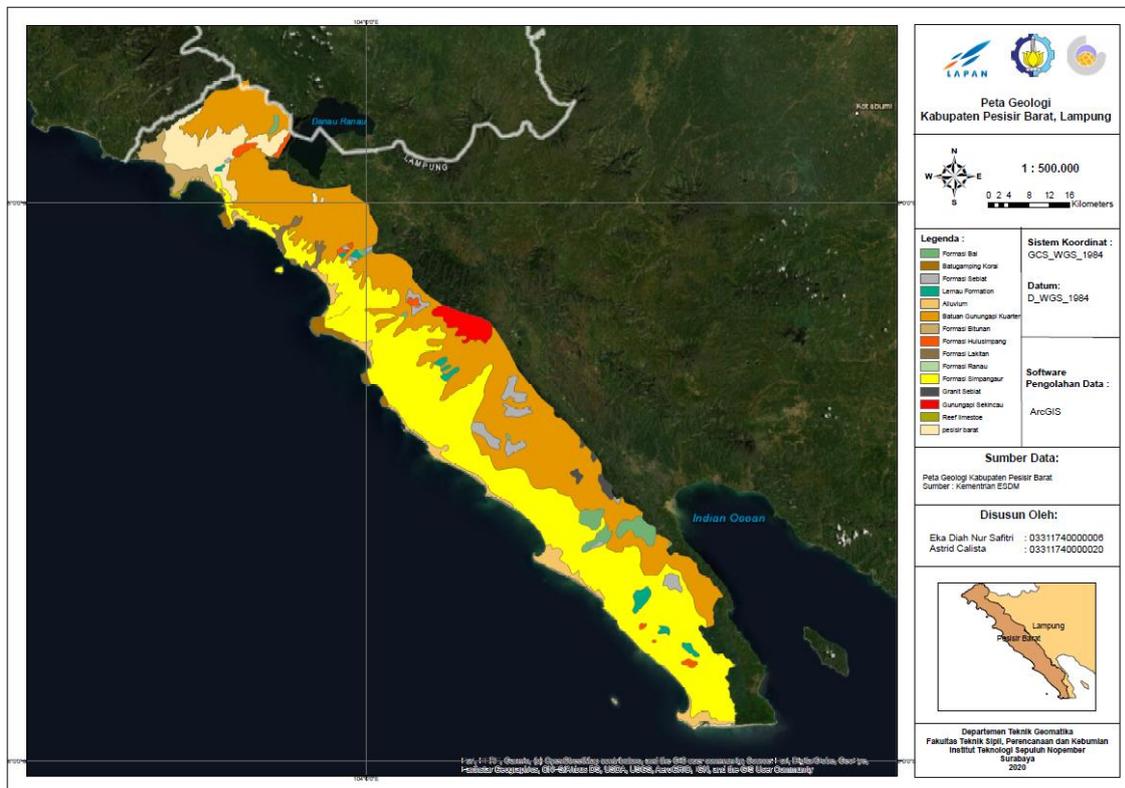
Hasil pengolahan DInSAR dengan studi kasus Kabupaten Pesisir Barat dapat digambarkan melalui peta persebaran deformasi yang tertampil pada Gambar 4. Pada peta tersebut dapat dilihat bahwa persebaran titik sampel dilakukan sepanjang area studi kasus untuk merepresentasikan keberagaman nilai deformasi dan jenis batuan geologinya.

Gambar 5 menunjukkan persebaran jenis batuan geologi di Kabupaten Pesisir Barat. Terdapat 14 jenis batuan yang terdiri dari formasi bal, batu gamping koral, formasi seblat, lemau, alluvium, gunung api kuarter, binunan, hulusimpang, lakitan, ranau, simpangaut, granit seblat, gunung api sekincau, dan *reef limestone*. Selain mengidentifikasi jenis deformasi paska gempa, penelitian ini mengkorelasikan jenis *displacement* berdasarkan jenis batuan geologi. Untuk mengetahui korelasi jenis *displacement* dengan jenis batuan geologi, dilakukan analisa *overlay* dan perhitungan korelasi Pearson pada setiap nilai *displacement*. Dari analisa korelasi didapatkan nilai korelasi sebesar 0,509. Yang berarti bahwa jenis *displacement* dipengaruhi 50% oleh jenis batuan geologi.

Setelah dilakukan analisa *overlay*, diketahui juga bahwa *uplift* lebih banyak terjadi pada jenis batuan gunung api kuarter, sedangkan *subsidence* banyak terjadi pada jenis batuan formasi Simpangaur. Pada tabel 2 dapat diidentifikasi bahwa Kecamatan Lemong didominasi oleh batuan gunung api kuarter sedangkan Kecamatan Bengkunt Belimbing didominasi oleh batuan formasi simpangaur. Kedua jenis batuan geologi tersebut berpotensi menimbulkan aktivitas tektonik terutama gunung api kuarter. Hal ini disebabkan karena batuan gunung api kuarter merupakan jenis batuan yang terbentuk oleh aktivitas vukkanik seperti erupsi eksplofis (Zikri and Hastuti 2019). Sedangkan *uplift* yang terjadi bisa juga diakibatkan oleh aktivitas tektonik.



Gambar 4. Peta Deformasi Kabupaten Pesisir Barat, Lampung



Gambar 5. Peta Geologi Kabupaten Pesisir Barat, Lampung

## Kesimpulan

Deformasi yang terjadi di Kabupaten Pesisir Barat pasca gempa 02 Agustus 2019 dari data Sentinel-1A menggunakan metode DInSAR memiliki nilai dengan rentang -0,120 m sampai 0,220 m. Fenomena deformasi vertikal sepanjang LOS (*Line Of Sight*) di Kabupaten Pesisir Barat menunjukkan nilai yang bervariasi. Hal itu selaras dengan aktivitas tektonik dan formasi geologi yang menyusun dataran Pesisir Barat dengan mayoritas gunungapi kuartar dan simpangaur. Aktivitas *uplift* terjadi paling signifikan di Kecamatan Lemong dan Kecamatan Bengkuntat sebesar 1,1 cm sampai 8,1 cm selama periode pengamatan.

## Ucapan Terimakasih

Terimakasih diucapkan kepada Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional yang telah memberikan arahan kepada penulis dalam pengolahan data.

## Daftar Pustaka

- Abidin, H. (2009). Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS. *Indonesian Journal on Geoscience*. No. 4 Vol. 4 . hal. 275–284. <https://doi.org/10.17014/ijog.vol4no4.20095>
- Ardiansyah, Sawitri Subiyanto, A. S. (2015). Survei Pendahuluan Deformasi Muka Tanah Dengan Pengamatan Gps Di Kabupaten Demak. *Jurnal Geodesi Undip*. Vol. 4. hal. 316–324.
- Azhari, M. F., Karyanto, K., Rasimeng, S., & Mulyanto, B. S. (2020). Analisis Deformasi Permukaan Menggunakan Metode DInSAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar) Pada Studi Kasus Gempabumi Lombok Periode Agustus 2018. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*. No.2. Vol.6. hal. 131–144. <https://doi.org/10.23960/jge.v6i2.68>
- Budi Prayitno, Muohammad Awaluddin, B. S. (2015). Perhitungan Deformasi Gempa Kebumen 2014 Dengan Data CORS GNSS Di Wilayah Pantai Selatan Jawa Tengah. *Jurnal Geodesi Undip*. No.4. Vol.4. hal. 316–324.
- ESA. (2007). InSAR Principles: *Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*. In *ESA Publications ESTEC*. <https://doi.org/10.1073/pnas.81.17.5399>
- Febriyanti, R. F. (ITS). (2017). Analisis Deformasi Permukaan Gunung Raung Menggunakan Teknologi *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) Berdasarkan Erupsi 28 Juni 2015. Tugas Akhir. Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Nurdianasari, I., Awaluddin, M., & Amarrohman, F. (2017). Analisis Deformasi Postseismik Gempa Nias 2005 Menggunakan Data Gps. *Jurnal Geodesi Undip*. No.4. Vol. 6. hal. 381–390.
- Papageorgiou, E., Foumelis, M., Trasatti, E., Ventura, G., Raucoules, D., & Mouratidis, A. (2019). Multi-sensor SAR geodetic imaging and modelling of santorini volcano post-unrest response. *Remote Sensing*. No. 3 Vol. 11. hal. 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs11030259>
- Sari, A. R., Handayani, H. H., & Agustan, A. (2014). Penerapan Metode Dinsar Untuk Analisa Deformasi Akibat Gempa Bumi Dengan Validasi Data Gps Sugar (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat). *Geoid*. No.1. Vol.10. hal. 26. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v10i1.686>
- Yulyta, S. A. (2018). Aplikasi Metode SBAS-DInSAR Menggunakan Data Untuk Pengamatan Penurunan Muka Tanah Di Kota Surabaya Application Of SBAS-DInSAR Method Using Sentinel-1A Data For The Land Subsidence Detection In Surabaya City. *Tesis*. Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Zikri, A. M. M., & Hastuti, E. D. M. E. W. D. (2019). Karakteristik Batuan Vulkanik Berdasarkan Analisis Petrografi. *Seminar Nasional AVoER XI*. 23–24.



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).