

# **ANALISIS *SUBSIDENCE* MENGGUNAKAN METODE MULTITEMPORAL DINSAR DAN ANOMALI BOUGUER DI WILAYAH PERKOTAAN**

## **Studi Kasus Kota Samarinda**

*(Subsidence Analysis using Dinsar Multitemporal Method and Bouguer Anomaly in Urban Areas Case Study at Samarinda City)*

**Aprilia Puspita<sup>1,2</sup>, Yosef Prihanto<sup>3</sup>, Sukendra Martha<sup>1</sup>, Rudy.A.G.Gultom<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Teknologi Penginderaan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

<sup>2</sup> Pusat Gempabumi dan Tsunami, BMKG

<sup>3</sup> Pusat Penelitian, Promosi dan Kerjasama BIG

Jl. Angkasa 1 No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat

E-mail: [aprilpuspita86@gmail.com](mailto:aprilpuspita86@gmail.com)

*Diterima: 17 Februari 2021; Direvisi: 22 Mei 2021; Disetujui untuk Dipublikasikan: 25 Mei 2021*

### **ABSTRAK**

Fenomena penurunan tanah di kota-kota besar di Indonesia sangat berdampak terhadap kerusakan infrastruktur bangunan, bahkan dapat menjadi pemicu bencana geologi seperti longsor dan *sinkhole*. Oleh sebab itu diperlukan upaya mitigasi untuk meminimalisir dampak kerusakan yang ditimbulkan, salah satunya dengan memetakan beberapa wilayah yang teridentifikasi mengalami *subsidence* di wilayah penelitian (Kota Samarinda), sebagai informasi awal dalam pengembangan tata ruang wilayah perkotaan. Pada penelitian ini menggunakan penginderaan jauh yang memanfaatkan citra radar SAR (*Synthetic Aperture Radar*), yang diolah dengan metode DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) dan dianalisis secara multitemporal untuk mengidentifikasi *subsidence* di wilayah penelitian. Dikombinasikan dengan metode gravitasi dengan penentuan nilai anomali Bouguer sederhana (SBA) untuk menentukan struktur bawah permukaan di wilayah penelitian. Data yang digunakan adalah citra SAR Sentinel 1A tipe SLC band C (5.405 GHz), dalam kurun waktu 2015-2019 dan data model anomali gravitasi *Free Air Anomaly* (FAA) yang diperoleh dari data satelit GGMplus. Hasil yang diperoleh menunjukkan wilayah yang teridentifikasi mengalami *subsidence* (penurunan tanah) sebagian besar berada di sekitar DAS Mahakam, dan merupakan pusat kegiatan penduduk dengan tingkat kerapatan bangunan yang tinggi. Nilai *subsidence* tertinggi sebesar 11,93 cm dalam periode tahun 2016-2017 di Kecamatan Samarinda Ilir, dan laju penurunan tanah rata-rata tertinggi sebesar 9,62 cm/tahun. Wilayah yang teridentifikasi terjadi *subsidence* umumnya memiliki nilai SBA yang relatif lebih rendah sehingga mempunyai struktur tanah yang lebih lemah.

**Kata kunci:** Anomali Bouguer, DInSAR, Samarinda, *subsidence*

### **ABSTRACT**

*Land subsidence phenomenon that occurs in major cities in Indonesia given a significant impact on damage of building infrastructure, and can trigger geological disasters such as landslides and sinkholes. Therefore, mitigation efforts are needed to minimize the impact of this damage, one of them by mapping the areas identified as experienced land subsidence in the study area (Samarinda city). As initial information in the development of urban spatial planning. This study uses a remote sensing method of SAR (Synthetic Aperture Radar) radar imagery, which is processed by the DInSAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar) method and analyzed multi-temporal to identify subsidence in the study area. Combined with the gravity method by estimating the Simple Bouguer Anomaly (SBA) value to determine the subsurface structure in the study area. The data used are SAR Sentinel 1A type SLC band C (5.405 GHz) imagery for the period 2015-2019 and the gravity anomaly model data Free Air Anomaly (FAA) obtained from GGMplus satellite data. The results obtained indicate that the areas identified as having land subsidence are mostly around the Mahakam watershed, and become centers of population activity with a high level of building density. The highest subsidence value is 11.93 cm occur in the 2016-2017 period in Samarinda Ilir District, and the highest average land subsidence rate is 9.62 cm / year. Areas that experience land subsidence generally have a relatively lower SBA value so they have a weaker soil structure.*

**Keywords:** Bouguer anomaly, DInSAR, Samarinda, *subsidence*

**PENDAHULUAN**

Fenomena penurunan tanah di kota-kota besar di wilayah Indonesia merupakan suatu *'silent killer'* yang memiliki dampak kerusakan terhadap infrastruktur, bahkan menjadi salah satu pemicu dari bencana geologi seperti longsor dan *sinkhole* di kota-kota besar (Al Akbar et al., 2015). Sehingga dapat menimbulkan korban jiwa dan kerugian material yang sangat besar apabila tidak dilakukan upaya mitigasi terhadap potensi penurunan tanah (*subsidence*). Terlebih di wilayah kota besar yang memiliki jumlah penduduk yang cukup tinggi dan infrastruktur pendukung yang besar.

Kota Samarinda merupakan salah satu kota termaju di Provinsi Kalimantan Timur. Selain sebagai ibukota provinsi, Kota Samarinda memiliki infrastruktur penunjang yang lengkap sebagai pusat pemerintahan, pusat bisnis dan ekonomi, pendidikan, sehingga kota ini memiliki kepadatan penduduk yang cukup tinggi dibandingkan kota-kota yang lain. Berdasarkan topografi Kota Samarinda dibagi menjadi kawasan perbukitan Soeharto di bagian tengah ke utara, di bagian selatan merupakan wilayah dataran rendah DAS Sungai Mahakam, dan di bagian timur berupa wilayah cekungan dengan topografi yang rendah (Warsilan, 2019). Berdasarkan kondisi geologi, wilayah Kota Samarinda merupakan bagian dari cekungan Kutai yang didominasi oleh batuan sedimen yang berumur miosen dan terdiri dari formasi Pulau Balang yang terdiri dari perselingan batu pasir, lanau dan lempung serta formasi alluvial (Makatita, Pratiknyo, & Nugroho, 2014).

Sebagai *urban area* dengan tingkat kepadatan penduduk dan pembangunan infrastruktur yang tinggi, wilayah Kota Samarinda memiliki potensi tinggi terjadi penurunan tanah (*subsidence*). Hal tersebut sangat dipicu oleh aktivitas manusia seperti pengambilan air tanah yang cukup tinggi, pembebanan tanah yang disebabkan oleh tingkat kerapatan bangunan dan infrastruktur pendukung, serta kondisi topografi dan geologi wilayah Samarinda (Yang et al., 2018). Oleh sebab itu diperlukannya suatu metode untuk dapat mengidentifikasi dan memetakan daerah-daerah yang rawan terjadi *subsidence* (penurunan tanah). Langkah tersebut sebagai salah satu upaya mitigasi terhadap bencana geologi, sekaligus dapat memberikan informasi awal dalam perencanaan pembangunan infrastruktur di wilayah penelitian. Perkembangan teknologi penginderaan jauh dengan menggunakan citra radar SAR (*Synthetic Aperture Radar*) cukup efektif digunakan untuk mendeteksi dan memantau penurunan tanah di suatu wilayah dari segi waktu dan biaya. Metode yang digunakan adalah multitemporal analisis DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) dengan menggunakan citra radar SAR sentinel 1A tipe SLC band C. Pada penelitian

sebelumnya, para peneliti telah mengaplikasikan metode DInSAR untuk mendeteksi penurunan tanah (Blasco et al., 2019; Kurniawan & Anjasmara, 2016). Hasil yang diperoleh berdasarkan analisis multitemporal mampu menunjukkan adanya pergerakan/deformasi tanah dengan akurasi yang tinggi dalam orde sentimeter bahkan milimeter (Miky, 2019). Karena metode DInSAR ini mempunyai keterbatasan hanya dapat menjangkau di permukaan dan kedalaman yang dangkal. Oleh sebab itu diperlukan metode lain yang dapat menjangkau lapisan bawah permukaan sampai kedalaman yang lebih dalam. Untuk memperoleh gambaran struktur bawah permukaan daerah penelitian, maka penelitian ini mengkombinasikan dengan metode gravitasi untuk memperoleh nilai Anomali Bouguer (SBA) di wilayah penelitian. Dimana nilai SBA dapat mengindikasikan struktur batuan bawah permukaan yang kuat maupun yang lemah berdasarkan kontras densitas batuan (Sarkowi, 2014). Parameter output dari hasil pengolahan menggunakan metode DInSAR dan metode gravitasi ini akan dipetakan menggunakan software QGIS. Pemetaan ini bertujuan untuk mengidentifikasi wilayah-wilayah yang mengalami *subsidence* dan juga zona-zona lemah yang nantinya dapat berpotensi menimbulkan *subsidence* berdasarkan nilai anomali Bouguer (SBA) wilayah kota Samarinda.

**METODE**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan kombinasi metode penginderaan jauh DInSAR dan metode gravitasi. Teknik yang digunakan adalah *two pass* DInSAR (Hanssen, 2001). Dalam menentukan perubahan deformasi pada *differential interferogram*, yang merupakan fungsi dari empat faktor yaitu: Perubahan *phase* yang disebabkan oleh perubahan arah satelit *line of sight* (LOS), Error *phase* topografi, *phase delay* akibat atmosfer, residual *phase* yang disebabkan oleh error orbit dan gangguan *phase* (Agustan et al., 2019; Gaber et al., 2017) **(Persamaan 1)**.

$$\Delta t = \Delta def + \Delta h + \Delta atm + \Delta \beta + \Delta \eta \dots \dots (1)$$

di mana

- $\Delta t$  = Perubahan *ground deformation*
- Nilai ( $\Delta t$ ) = positif (+) kenaikan muka tanah  
negatif (-) penurunan muka tanah
- $\Delta def$  = Perubahan *phase*
- $\Delta h$  = Error *phase* topografi
- $\Delta atm$  = *Phase delay* akibat atmosfer
- $\Delta \beta$  = Residual *phase*
- $\Delta \eta$  = Gangguan *phase*

Perubahan *ground deformation* ( $\Delta t$ ) dalam besaran *phase*, sehingga masih memiliki tingkat

ambiguitas yang tinggi, sehingga perlu dikonversikan dalam besaran jarak (**Persamaan 2**).

$$\phi \Delta t = 4ndR / (\lambda) \dots \dots \dots (2)$$

di mana

dR = Selisih beda tinggi yang diukur dari dua pengamatan citra radar

$\lambda$  = Panjang gelombang radar

Metode gravitasi pada penelitian digunakan untuk mengidentifikasi dan menggambarkan bentuk struktur geologi bawah permukaan berdasarkan anomali medan gayaberat bumi, yang dihasilkan oleh adanya perbedaan densitas antar batuan. Pada penelitian ini data gravitasi yang digunakan merupakan data model anomali gravitasi FAA (*Free Air Anomaly* /FAA) yang diperoleh dari data satelit GGMplus (Anisa, et al., 2018). Oleh sebab itu dilakukan koreksi FAA seperti pada **Persamaan 3**.

$$FAA = g_{obs} - g_{\theta} + 0.3085h \dots \dots \dots (3)$$

di mana :

$g_{obs}$  = harga gravitasi yang telah dikoreksi

$g_{\theta}$  = harga gravitasi normal di titik pengamatan

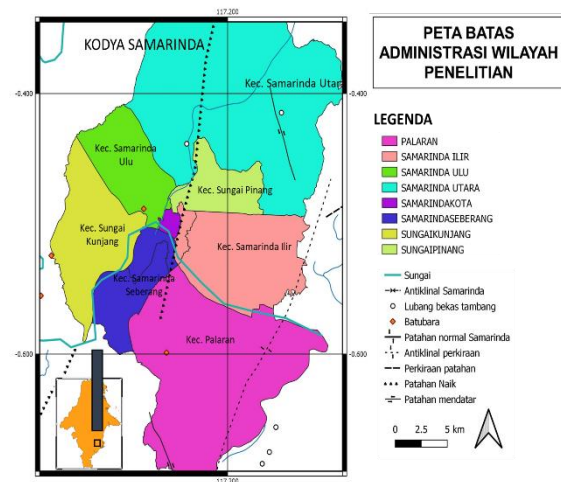
h = elevasi

Anomali Bouguer (*Simple Bouguer Anomaly* /SBA) merupakan selisih dari harga percepatan gravitasi observasi dengan harga normalnya. Nilai anomali Bouguer positif mengindikasikan adanya kontras densitas yang besar pada lapisan bawah permukaan, sedangkan anomali negatif menggambarkan kontras densitas yang kecil, sehingga lapisan batuan cenderung lebih seragam. Wilayah dengan nilai SBA yang tinggi berasosiasi dengan densitas batuan yang relatif lebih kuat dan kompak strukturnya, dibandingkan dengan wilayah dengan anomali Bouguer bernilai lebih rendah (Nurwidyanto et al., 2019). Perhitungan anomali Bouguer adalah sebagai berikut (**Persamaan 4**).

$$g_b(x, y, z) = 2\pi G\rho h = 0,04193h\rho \dots \dots \dots (4)$$

Dengan  $g_b(x, y, z)$  adalah koreksi Bouguer (mGal),  $\rho$  rapat massa (densitas) slab Bouguer, h ketinggian titik amat (m).

Pada penelitian ini, lokasi penelitian ditunjukkan pada peta **Gambar 1**, berada di Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Secara geografis wilayah penelitian dibatasi pada koordinat 0,690° LS – 0,345° LS dan 117,038° – 117,299° BT. Secara administratif batas wilayah penelitian adalah: Sebelah Utara berbatasan Kecamatan Tenggarong dan Kecamatan Muara badak, Barat berbatasan dengan Kecamatan Tenggarong, Timur berbatasan dengan Kecamatan Anggana dan Selatan berbatasan dengan Kecamatan Muara Jawa.



**Gambar 1.** Peta administrasi wilayah penelitian.

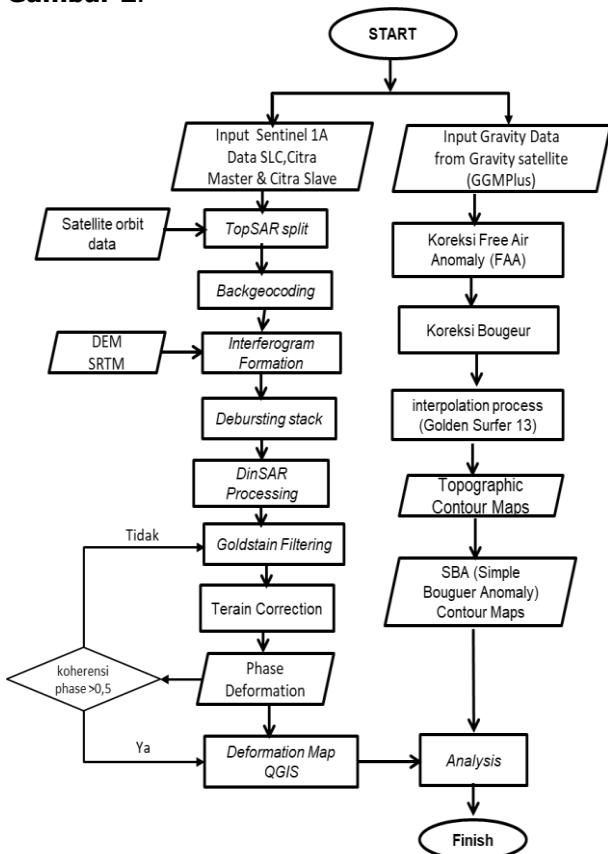
**Tabel 1.** Data citra satelit Sentinel 1A yang digunakan.

Tahun Pengolahan	Mst /Slv	ID Scene	Akusisi
2015-2016	Mst	S1A_IW_SLC_1SDV_20151213T215045_20151213T215112_009029_0	13 Des 2015
	Slv	OCF3C_47F1 S1A_IW_SLC_1SDV_20161207T215052_20161207T215119_014279_0	7 Des 2016
2016-2017	Mst	S1A_IW_SLC_1SDV_20161207T215052_20161207T215119_014279_0	7 Des 2016
	Slv	171A9_E4E2 S1A_IW_SLC_1SDV_20171202T215051_20171202T215118_019529_0	2 Des 2017
2017-2018	Mst	21262_E608 S1A_IW_SLC_1SDV_20171202T215051_20171202T215118_019529_0	2 Des 2017
	Slv	181221T215057_20181221T215124_025129_0	21 Des 2018
2018-2019	Mst	2C65E_2C74 S1A_IW_SLC_1SDV_20181221T215057_20181221T215124_025129_0	21 Des 2018
	Slv	191204T215104_20191204T215131_030204_0	4 Des 2019
		373CD_857E	

Data yang digunakan meliputi: Data set citra satelit sentinel 1-A dengan C band (bekerja pada frekuensi 5.405GHz dan panjang gelombang 5,6 cm), tipe SLC (*Single Look Complex*) level 1 tahun 2015-2019. Data dapat di download dari ASF Canada melalui <https://vertex.daac.asf.alaska.edu>. (**Tabel 1**); Data gravitasi GGMplus dari satelit *altimetry* dan *gravimetric* dengan resolusi titik 200 m yang dapat diunduh melalui <http://ddf.curtin.edu.au/gravitymodels/> GGMplus.; Data DEMNAS (*Digital Elevation Model* Nasional) yang digunakan sebagai validasi model DEM yang dihasilkan dari pengolahan DInSAR. Data DEMNAS

memiliki resolusi spasial 0.27-arcsecond, dapat diunduh melalui <http://tides.big.go.id/DEMNAS/>.

Adapun perangkat lunak (*software*) yang akan digunakan pada penelitian ini adalah: *Software SNAP (Sentinel Application Platform)* versi 7.0, *software Snaphu*, *software Golden Surfer 13*, dan *software QGIS* versi 3. Tahapan pengolahan data dibagi menjadi pengolahan dengan metode DInSAR dan pengolahan dengan metode gravitasi sebagaimana ditunjukkan pada diagram alur **Gambar 2**.



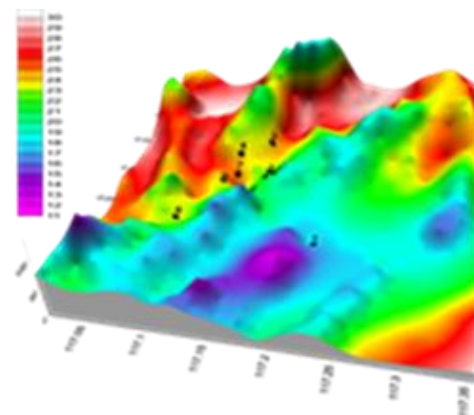
**Gambar 2.** Diagram alur pengolahan data.

Pengolahan dengan DInSAR tahapan awal dilakukan proses *TopSAR Split* untuk membagi 1 scene citra satelit dalam 3 *subwadh* (IW) dan mode burst (1-9) yang mencakup area penelitian. Pada penelitian ini *subwadh* yang digunakan adalah IW3 dengan burst 6-9. Setelah dilakukan proses *TopSAR Split*, kemudian masukkan data nilai orbit satelit. Proses selanjutnya adalah pembentukan interferogram, dan memasukkan nilai DEM yang digunakan, yaitu SRTM 30 meter 3 *second*. Untuk mereduksi noise dan mempertajam *fringe* pada interferogram dilakukan proses *filtering* yaitu *enhance spectral diversity*. Langkah selanjutnya dilakukan *TopSAR Deburst* dilanjutkan dengan proses menghilangkan *phase* topografi (*Thopo phase removal*), dan mereduksi *error phase* dengan proses *multi-looking*. Proses selanjutnya adalah *Goldstain phase filtering*, untuk menghilangkan *noise* dan meningkatkan nilai koherensi. Tahapan akhir adalah melakukan koreksi terrain.

Proses pengolahan data gravitasi dimulai dengan melakukan koreksi data FAA; Tahapan ini dilakukan koreksi udara besar (FAA) dan koreksi Bouguer, menggunakan perangkat lunak *microsoft excel*. Kemudian pembuatan peta kontur topografi dan peta kontur anomali Bouguer (SBA). Pada tahapan ini dilakukan proses *gridding* dengan *software suffer 13* dengan metode statistik *kriging*. Proses ini menghasilkan peta kontur topografi dan peta anomali Bouguer lengkap. Tahapan *post processing* adalah melakukan overlay layer hasil pengolahan dengan DInSAR menggunakan *software QGIS* versi 3 untuk menampilkan peta deformasi di wilayah penelitian

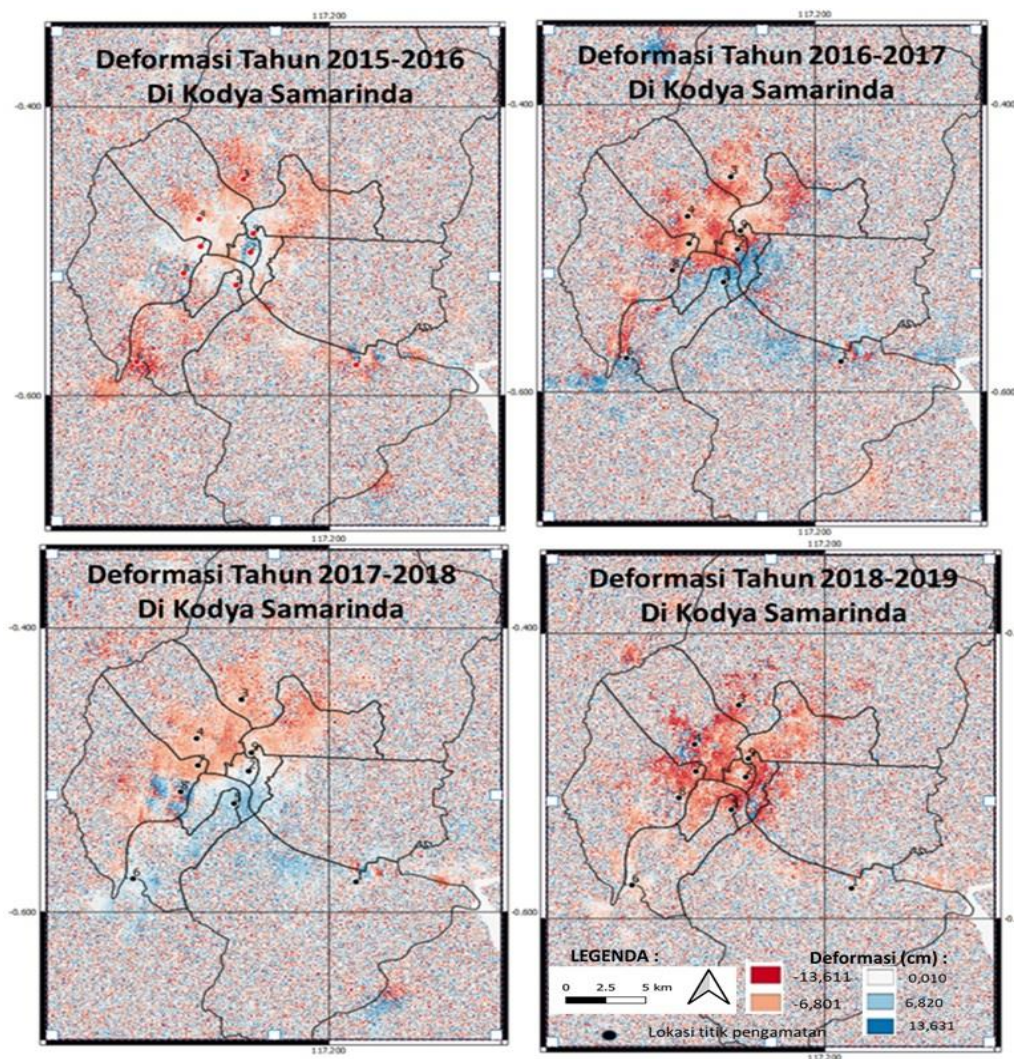
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian ini proses analisa menggunakan titik sampel, yang terdiri dari 10 titik pengamatan yang tersebar di beberapa kecamatan di Kota Samarinda. Titik sampel dipilih berdasarkan wilayah yang mengindikasikan terjadi deformasi secara vertikal, serta memiliki nilai koherensi *phase* >0,5. Nilai koherensi *phase* yang tinggi menunjukkan kualitas dari interferogram yang dibentuk, serta seberapa besar dua *phase* citra berkorelasi satu sama lain (Zwieback et al., 2016).



**Gambar 3.** Kontur 3D *overlay* topografi dan nilai SBA di wilayah penelitian.

Topografi wilayah penelitian berdasarkan **Gambar 3** merupakan wilayah yang memiliki relief yang relatif datar pada bagian tengah, dan merupakan wilayah perbukitan bergelombang di bagian utara dan selatan. Lokasi titik pengamatan di Kota Samarinda hampir sebagian besar berada di DAS Mahakam, Samarinda Utara dan Samarinda Seberang. Wilayah yang teridentifikasi mengalami deformasi, baik berupa penurunan tanah (*subsidence*) ataupun kenaikan tanah *uplift* dari pengolahan data dengan metode DInSAR ditunjukkan pada **Gambar 4** area yang yang diidentifikasi mengalami *subsidence* ditunjukkan dengan blok warna merah yang bernilai negatif.



**Gambar 4.** Multitemporal phase displacement pada wilayah penelitian Tahun 2015-2019.

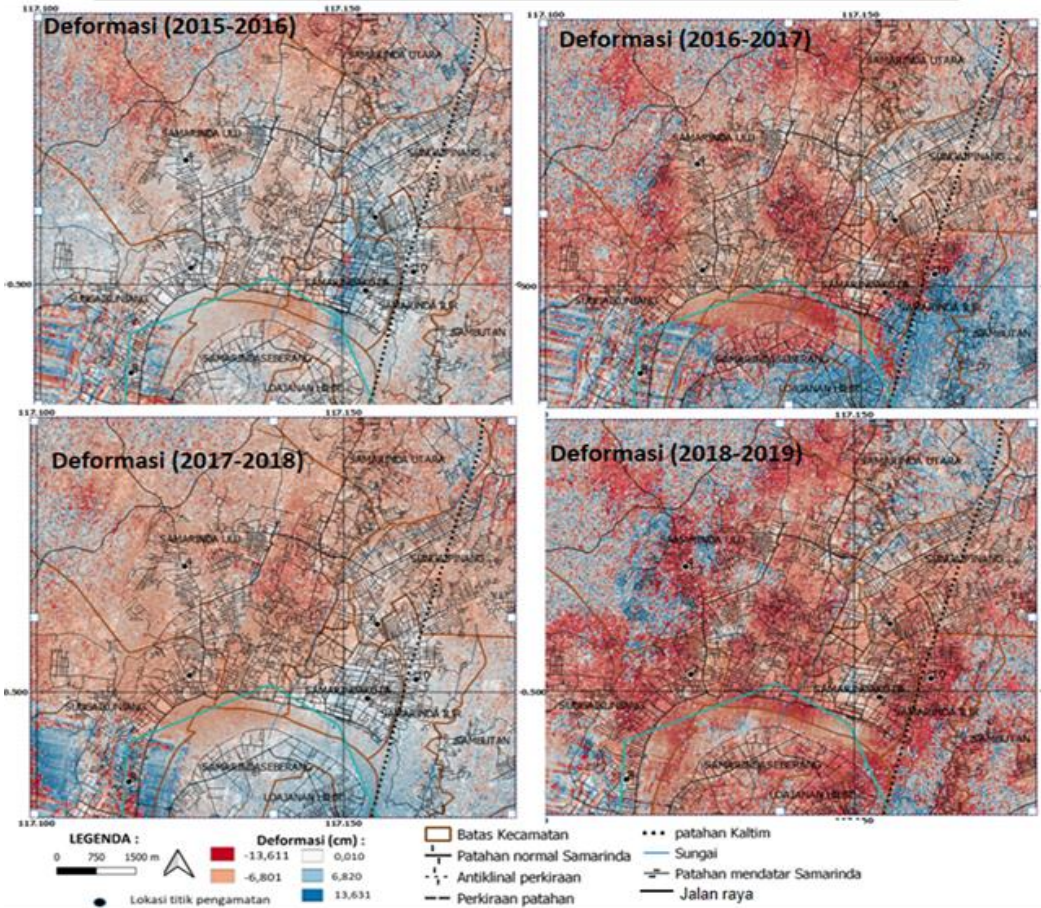
Sedangkan blok warna biru merupakan area yang mengalami kenaikan muka tanah (*uplift*) dan ditunjukkan nilai deformasi yang positif. Wilayah yang berwarna putih umumnya merupakan wilayah yang relatif stabil dan tidak mengalami perubahan/deformasi. Hasil dari pengolahan dengan multitemporal DInSAR (**Gambar 4**) menunjukkan area yang teridentifikasi terjadi deformasi baik *subsidence* maupun *uplift* setiap tahunnya mengalami perubahan, baik wilayah, luasan area dan besarnya deformasi (dalam cm). Pengamatan wilayah yang mengalami proses deformasi secara temporal dapat digunakan untuk mengetahui perkembangan pembangunan di suatu wilayah.

Berdasarkan hasil pengolahan data pada **Tabel 2**, wilayah yang mengalami penurunan tanah tertinggi adalah Kec. Samarinda Ilir di titik 10 sebesar 11,93 cm di tahun 2016-2017. Sedangkan wilayah dengan laju penurunan tanah rata-rata pertahun terbesar berada di Kec. Sungai Kujang (titik 8) sebesar 9,62 cm/tahun. Wilayah dengan laju penurunan tanah terendah berada di Kec. Samarinda Seberang (titik 5). Di lokasi titik 5 deformasi yang terjadi di tahun sebelumnya (2015-

2017) berupa kenaikan muka tanah (*uplift*), yang disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah sedimentasi yang cukup tinggi di sekitar DAS Mahakam, serta pengaruh dari struktur geologi berupa patahan naik yang berada di bagian timur. Namun lokasi titik 5 mengalami penurunan tanah yang cukup signifikan di tahun 2018-2019 sebesar 10,12 cm. Penyebab *subsidence* di wilayah tersebut salah satunya adalah pembebanan dari proses sedimentasi yang terjadi di tahun sebelumnya, dan ditambah dengan faktor bobot bangunan yang cukup tinggi, melebihi kapasitas kekuatan struktur tanah di wilayah tersebut.

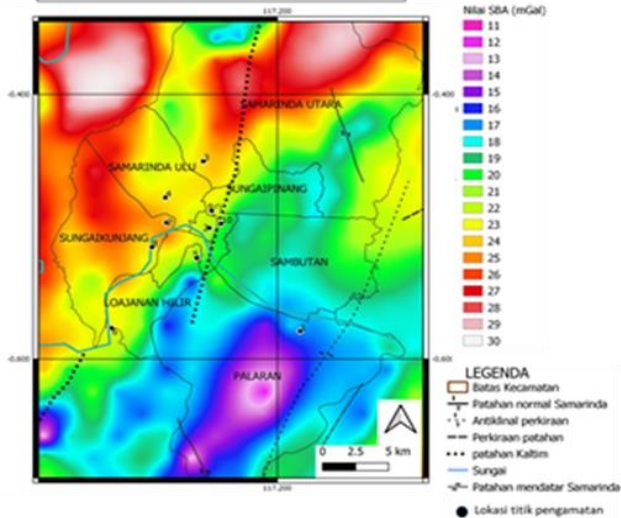
Fenomena *subsidence* di wilayah penelitian cukup kompleks, dan di setiap wilayah memiliki pola penurunan tanah dan faktor pemicu yang berbeda satu sama lain. *Subsidence* terjadi hampir di seluruh Kecamatan di Kota Samarinda, hal tersebut umumnya disebabkan oleh kerapatan bangunan yang cukup tinggi, adanya aktifitas penduduk seperti pengambilan air tanah, serta proses sedimentasi yang besar sehingga terjadi pembebanan volume tanah yang menyebabkan *subsidence*.

**PETA DEFORMASI DI TITIK 2,4,7,9 DAN 10 (KODYA SAMARINDA)**



**Gambar 5.** Peta deformasi di titik 2,4,7,9 dan 10 (Kota Samarinda).

**PETA NILAI SBA DI KODYA SAMARINDA**

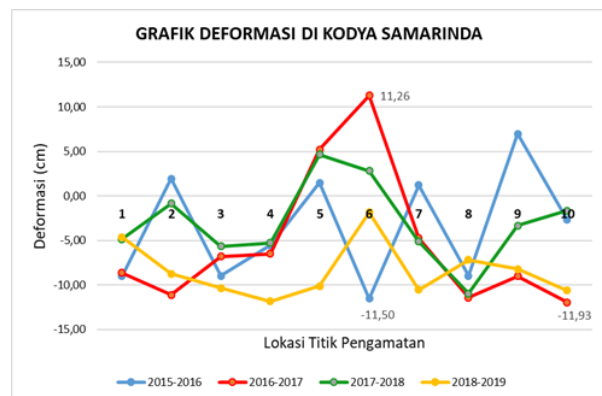


**Gambar 6.** Peta kontur anomali Bouger Sederhana (SBA) 2D di Wilayah Penelitian.

Berdasarkan kontur sebaran nilai anomali Bouger (SBA) di wilayah penelitian, pada **Gambar 6** menunjukkan kisaran nilai 11-30 mgal. Nilai tersebut berasosiasi dominasi struktur batuan sedimen di wilayah penelitian. Lokasi titik pengamatan dengan nilai SBA paling rendah berkisar 16 mGal berada di Kec Palaran, sehingga wilayah tersebut berpotensi paling rentan

mengalami *subsidence* berdasarkan kondisi struktur tanah. Pada **Gambar 6** menunjukkan struktur geologi berupa patahan/sesar teridentifikasi di daerah dengan kontras anomali Bouger yang cukup tinggi.

**GRAFIK DEFORMASI DI KODYA SAMARINDA**



**Gambar 7.** Grafik deformasi di Kota Samarinda

Pada **Gambar 5** menunjukkan lokasi titik pengamatan yang berada di sekitar DAS Mahakam (titik 2,4,7,9,10). Lokasi titik 2 berada di wilayah Kota Samarinda. Berdasarkan grafik deformasi **Gambar 7** menunjukkan lokasi titik 2 mengalami penurunan tanah terbesar di tahun 2016-2017 sebesar 11,11 cm, dan pola penurunan tanah yang signifikan terjadi dua tahun sekali. Wilayah ini

memiliki ciri khas deformasi yang menarik, yang disebabkan adanya perselingan terjadi kenaikan tanah (*uplift*) dalam rentan waktu setelah terjadi *subsidence*. Hal tersebut mengindikasikan adanya endapan alluvial yang cukup tebal di wilayah Kota Samarinda. *Subsidence* yang terjadi di Kota Samarinda lebih disebabkan oleh kerapatan bangunan yang cukup tinggi sehingga sehingga memberikan pebebanan yang melebihi kapasitas tanah dibawahnya. Kondisi morfologi DAS di lokasi titik 2 dapat mempengaruhi *subsidence* di lokasi tersebut, hal ini disebabkan lokasinya yang berada di jalur lekukan erosi sungai. Lokasi titik 4 berada di kecamatan Samarinda Ulu, dengan penurunan tanah rata-rata sebesar 7,28 cm/tahun. Wilayah ini mengalami *subsidence* terbesar pada tahun 2018-2019 sebesar 11,81 cm. Lokasi titik 4 (Kec. Samarinda Ulu) mempunyai nilai SBA 23,45 mGal, dimana nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan lokasi titik 2 (Kota Samarinda), sehingga struktur tanah di titik 4 relatif lebih kuat dibandingkan titik 2. Namun setiap tahunnya penurunan tanah yang terjadi di lokasi titik 4 lebih besar dibandingkan dengan penurunan tanah di titik 2. Hal tersebut disebabkan lokasi titik 4 merupakan kawasan pemukiman padat penduduk, yang memungkinkan penurunan tanah di wilayah tersebut terjadi setiap tahunnya akibat pengambilan air tanah yang cukup tinggi.

Wilayah yang mengalami penurunan tanah yang signifikan juga terjadi di titik 10 yang berada di kec. Samarinda Ilir (**Gambar 5**). Wilayah ini mengalami penurunan tanah terbesar di tahun

2016-2017 sebesar 11,93 cm, dan kecepatan penurunan tanah rata-rata sebesar 6,71 cm/tahun. Berdasarkan nilai anomali Bouguer (SBA), titik 10 mempunyai nilai SBA sebesar 20,56 mGal, nilai ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan area di bagian barat. Sehingga struktur tanah di titik 10 lebih lemah dan rentan mengalami *subsidence*. Lokasi titik 10 dilalui oleh struktur geologi patahan (sesar) naik, yang memungkinkan wilayah tersebut mengalami kenaikan tanah (*uplift*). Lokasi titik 10 memiliki jaringan infrastruktur berupa jalan raya dan bangunan yang cukup padat. Faktor pembangunan yang tinggi menjadi salah satu penyebab terjadinya penurunan tanah di wilayah tersebut. Lokasi lain yang teridentifikasi mengalami penurunan tanah berada di kec. Sungai Kujang, yaitu di titik 7 dan 8.

Berdasarkan **Tabel 2**, lokasi titik 8 mengalami penurunan tanah rata-rata per tahun sebesar 9,62 cm/tahun, dan penurunan tanah maksimum sebesar 11,41 cm di tahun 2016-2017. Lokasi titik 7 terjadi penurunan tanah tertinggi sebesar 10,5 cm di tahun 2018-2019, dan penurunan tanah rata-rata sebesar 5,1 cm/tahun. Pada grafik deformasi (**Gambar 7**) wilayah titik 8 mengalami penurunan tanah lebih besar setiap tahunnya (periode 2015-2019) dibandingkan di titik 7. Berdasarkan nilai anomli Bouger (SBA), titik 7 memiliki nilai SBA yang relatif lebih besar dibandingkan dengan titik 8 (**Tabel 2**). Hal tersebut mengindikasikan bahwa lokasi titik 7 memiliki struktur tanah yang lebih kuat dibandingkan dengan lokasi titik 8.

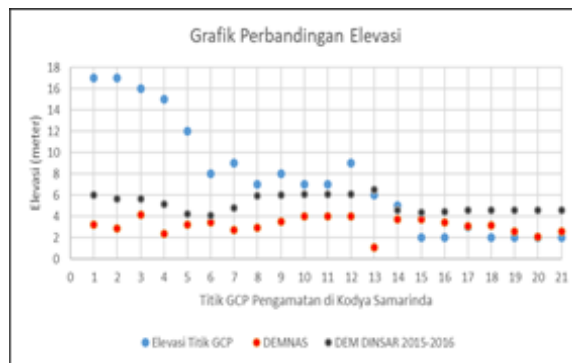
**Tabel 2.** Nilai hasil pengolahan data di titik pengamatan.

No. ID Titik	Nama Kecamatan	Coordinate		Besarnya Deformasi (cm)				Rata-rata Subsidence (cm/year)	SBA (mGal)	Elevasi DEMNAS (meter)
		Latitude (o)	Longitud e (o)	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019			
1	Kec. Palaran	0,5790	117,2154	-9,01	-8,63	-4,83	-4,60	-6,77	16,99	5,34
2	Samarinda Kota	-0,5010	117,1539	1,93	-11,11	-0,83	-8,72	-5,17	21,20	4,76
3	Kec. Samarinda Utara	-0,4506	117,1498	-8,96	-6,78	-5,67	-10,36	-7,94	23,80	7,22
4	Kec. Samarinda Ulu	-0,4780	117,1241	-5,54	-6,51	-5,27	-11,81	-7,28	23,45	12,57
5	Kec. Samarinda Seberang	-0,5238	117,1455	1,47	5,23	4,63	-10,12	-2,53	20,87	2,64
6	Kec. Samarinda Seberang	-0,5767	117,0877	-11,50	11,26	2,81	-1,85	-3,34	22,91	65,30
7	Kec. Sungai Kujang	-0,4970	117,1249	1,20	-4,74	-5,12	-10,53	-5,10	24,45	3,41
8	Kec. Sungai Kujang	-0,5155	117,1150	-8,96	-11,41	-10,94	-7,16	-9,62	23,77	3,34
9	Kec. Sungai Pinang	-0,4881	117,1555	6,96	-9,00	-3,34	-8,21	-5,14	23,38	3,20
10	Kec. Samarinda Ilir	-0,4977	117,1618	-2,68	-11,93	-1,63	-10,59	-6,71	20,56	16,00

Pola deformasi yang terjadi di titik 8 memiliki kontras yang cukup besar antara daerah yang terjadi *subsidence* dan *uplift*, dan membentuk pola yang searah dengan jaringan jalan dan bangunan. Sehingga pola deformasi tersebut mengindikasikan adanya pembangunan infrastruktur di wilayah tersebut. Wilayah selanjutnya yang teridentifikasi mengalami penurunan tanah yang cukup signifikan setiap tahunnya adalah titik 3 di Kecamatan Samarinda Utara. Berdasarkan tabel 2 laju penurunan tanah di titik 3 sebesar 7,94 cm/tahun. Penurunan tanah terbesar terjadi dalam kurun waktu 2018-2019 sebesar 10,36 cm. Nilai anomali Bouger di titik 3 sebesar 23,80 mgal, nilai ini relatif lebih tinggi dibandingkan di bandingkan wilayah bagian selatan, sehingga struktur tanahnya relatif lebih kuat. Sehingga kondisi penurunan tanah (*subsidence*) yang cukup tinggi di titik 3 lebih disebabkan oleh tingginya kerapatan bangunan yang memberikan pembebanan yang lebih besar dibandingkan dengan kekuatan struktur tanah yang menopangnya.

Wilayah yang teridentifikasi mengalami deformasi baik berupa penurunan tanah (*subsidence*) dan kenaikan muka tanah (*uplift*) di Kota Samarinda umumnya berada pada kisaran nilai SBA sekitar 16-25 mgal. Tidak terdapat kontras anomali yang signifikan yang di wilayah yang teridentifikasi mengalami deformasi. Hal tersebut menunjukkan wilayah yang mengalami deformasi memiliki kondisi struktur tanah yang hampir sama. Sehingga faktor utama yang mempengaruhi besarnya penurunan tanah di wilayah penelitian adalah faktor manusia, diantaranya adalah beban kerapatan bangunan yang cukup tinggi, pembangunan infrastruktur yang tinggi, kepadatan penduduk yang tidak merata yang berkaitan erat dengan aktivitas pengambilan air tanah. Faktor alam yang berpengaruh terhadap deformasi di wilayah penelitian adalah adanya proses sedimentasi dan erosi yang cukup tinggi di wilayah sekitar DAS Mahakam, serta adanya struktur geologi berupa patahan di bagian timur yang membentang dengan arah Utara-Selatan yang mempengaruhi terjadinya *uplift* di wilayah penelitian.

Untuk menguji keakuratan pada metode DInSAR, dilakukan uji statistik komparasi. Dengan membandingkan nilai elevasi hasil DInSAR terhadap data DEMNAS yang diperoleh dari institusi Badan Informasi Geospasial (BIG) dan titik GCP Geodetik orde 3 diperoleh berdasarkan data citra satelit Quickbird di wilayah Kota Samarinda. Jumlah titik GCP sebanyak 21 titik (Endayani & Derita, 2016), dengan pengukuran geodetik tersebut dilakukan di tahun 2014 (**Tabel 3**).



**Gambar 8.** Grafik perbandingan nilai elevasi.

**Gambar 8** menunjukkan grafik perbandingan nilai elevasi dari hasil DInSAR, DEMNAS dan Pengukuran titik GCP. Terlihat adanya persamaan pola nilai elevasi pada lokasi titik 8 sampai titik 21, yang ditunjukkan dengan selisih nilai elevasi yang kecil pada antara DEM hasil DInSAR dan DEMNAS terhadap nilai elevasi titik geodetik (GCP). Sedangkan pada lokasi titik 1 sampai titik 7 terlihat adanya selisih nilai elevasi yang cukup signifikan antara hasil pengolahan DInSAR dan titik acuan GCP. Berdasarkan hasil tersebut dihitung nilai Nilai RMSE (*Root Means Square Error*) terhadap data acuan, yaitu elevasi titik geodetik GCP (Suni et al., 2019) Nilai RMSE untuk data DEMNAS sebesar 6,6964 meter, sedangkan RMSE elevasi hasil DInSAR periode tahun 2015-2016 terhadap acuan elevasi titik GCP sebesar 5,3667 meter.

**Tabel 3.** Perbandingan nilai elevasi.

Titik	Koordinat (UTM)		ELEVASI (meter)		
	UTM x	UTM y	GCP	DEMNAS	DEM DINSAR 2015-2016
1	517307	9944511	17	3,2285	6,0076
2	517338	9944496	17	2,8325	5,6654
3	517376	9944489	16	4,1334	5,6332
4	517404	9944589	15	2,3609	5,1244
5	517434	9944682	12	3,1960	4,2039
6	517467	9944678	8	3,4341	4,1061
7	517500	9944670	9	2,6908	4,7886
8	517580	9944649	7	2,9503	5,9392
9	517589	9944628	8	3,4851	5,9928
10	517584	9944617	7	4,0085	6,0463
11	517585	9944617	7	4,0085	6,0463
12	517583	9944617	9	4,0085	6,0463
13	517596	9944687	6	1,0788	6,5003
14	517474	9944711	5	3,6836	4,6111
15	517444	9944713	2	3,7414	4,3596
16	517424	9944719	2	3,4156	4,4034
17	517390	9944721	3	3,0642	4,5660
18	517395	9944756	2	3,1532	4,5952
19	517425	9944754	2	2,5765	4,5959
20	517453	9944749	2	2,0815	4,5965
21	517454	9944747	2	2,5529	4,5965



Nilai kesalahan tersebut dimungkinkan adanya perbedaan ketelitian antara metode yang digunakan dan waktu akuisisi yang berbeda, sehingga menyebabkan perbedaan nilai yang cukup signifikan. Faktor *noise* yang tinggi di wilayah penelitian juga menjadi salah satu penyebab error pada pengolahan DInSAR. Akurasi ketelitian nilai elevasi hasil DInSAR sebesar 66,67% terhadap nilai elevasi di titik GCP. Sehingga hasil elevasi DInSAR cukup mendekati hasil elevasi dari pengukuran geodetik

## KESIMPULAN

Deformasi yang terjadi di Kota Samarinda baik berupa penurunan tanah (*subsidence*) dan kenaikan muka tanah (*uplift*) dapat diidentifikasi dengan baik menggunakan metode DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) Analisis multitemporal DInSAR menggunakan citra sentinel 1A dapat digunakan untuk memetakan wilayah yang mengalami penurunan tanah dari waktu ke waktu, serta dapat mengetahui perkembangan pembangunan di suatu wilayah. Citra sentinel 1A memiliki resolusi spasial yang cukup baik sebesar 20 meter dan memiliki akurasi yang cukup tinggi. Sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi wilayah yang teridentifikasi mengalami *subsidence* di area yang cukup luas. Wilayah yang mengalami deformasi di Kota Samarinda memiliki kisaran nilai SBA sekitar 16-25 mGal. Nilai tersebut berasosiasi dengan struktur batuan sedimen di wilayah penelitian. Wilayah yang teridentifikasi terjadi *subsidence* umumnya memiliki nilai SBA yang relatif lebih rendah sehingga mempunyai struktur tanah yang lebih lemah, sedangkan wilayah yang mengalami *uplift* umumnya mempunyai nilai SBA yang relatif lebih tinggi.

Wilayah yang mengalami penurunan tanah tertinggi adalah Kecamatan Samarinda Ilir di titik 10 sebesar 11,93 cm di tahun 2016-2017. Sedangkan laju penurunan muka tanah rata-rata terbesar berada di titik 8 Kecamatan Sungai Kujang sebesar 9,62 cm/tahun. Wilayah yang dengan laju rata-rata penurunan tanah terendah berada pada titik 5 di Kecamatan Samarinda Seberang sebesar 2,53 cm/tahun. *Subsidence* terjadi hampir di seluruh Kecamatan di Kota Samarinda, hal tersebut umumnya disebabkan oleh kerapatan bangunan yang cukup tinggi, adanya aktifitas penduduk seperti pengambilan air tanah, serta proses sedimentasi yang besar sehingga terjadi pembebanan volume tanah yang menyebabkan *subsidence*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Universitas Pertahanan Indonesia atas dukungan dana untuk penelitian ini. Tidak lupa penulis mengucapkan

terima kasih khususnya kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan (Puslitbang) BMKG atas akses penggunaan super komputer dalam pengolahan data.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustan, A., Hanifa, R. N., Anantasena, Y., Sady, M., & Ito, T. (2019). Ground Deformation Identification related to 2018 Lombok Earthquake Series based on Sentinel-1 Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 280(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/280/1/012004>
- Al Akbar, T. O., Prasetyo, Y., & Wijaya, A. (2015). Analisis Dampak Penurunan Muka Tanah Terhadap Tingkat Ekonomi Menggunakan Kombinasi Metode Dinsar Dan SIG (Studi Kasus: Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 4(4), 136–143.
- Anisa, H. A. N. A., Indriyana, R. D., & Irham, M. (2018). Aplikasi Metode Gravity Dengan Data Satelit untuk Identifikasi Struktur Bawah Permukaan (Studi Kasus Semenanjung Muria). *Youngster Physics Journal*, 7(2), 90–100.
- Blasco, J. M. D., Foumelis, M., Stewart, C., & Hooper, A. (2019). Measuring Urban Subsidence in the Rome Metropolitan Area (Italy) with Sentinel-1 SNAP-StaMPS Persistent Scatterer Interferometry. *Remote Sensing*, 11(2), 129. <https://doi.org/10.3390/rs11020129>
- Endayani, S., & Derita, D. (2016). Pemanfaatan Citra Quickbird Untuk Pemetaan Ruang Wilayah Kecamatan Samarinda Kota Provinsi Kalimantan Timur, *Media Sains*. 9(1).
- Gaber, A., Darwish, N., & Koch, M. (2017). Minimizing the Residual Topography Effect on Interferograms to Improve DInSAR Results: Estimating land subsidence in Port-Said City, Egypt. *Remote Sensing*, 9(7), 752. <https://doi.org/10.3390/rs9070752>
- Hanssen, R. F. (2001). Stochastic model for radar interferometry. *Radar Interferometry. Data Interpretation and Error Analysis*, 81-159
- Kurniawan, R., & Anjasmara, I. M. (2016). Pemanfaatan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) untuk Pemantauan Deformasi Akibat Aktivitas Eksploitasi Panasbumi. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17361>
- Miky, Y. H. (2019). Multitemporal Sentinel-1SAR Interferometry for Surface Deformation Monitoring Near High Dam in Aswan, Egypt. *American Journal of Geographic Information System*, 8(2), 96–102. <https://doi.org/10.5923/j.ajgis.20190802.05>
- Nurwidyanto, M. I., Yulianto, T., & Widada, S. (2019). Modeling of Semarang Fault Zone Using Gravity Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1217(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1217/1/012031>
- Makatita, W. D. C., Pratiknyo, P., & Nugroho A. R. B. (2014). Geologi dan Karakteristik Akuifer Daerah Mutiara, Kec Samboja, Kab Kutai Kartanegara, Prov Kalimantan timur. *Jurnal Ilmu Geologi PANGEA*, 1(2), 1-10.
- Sarkowi, M. (2014). Eksplorasi Gaya Berat *Yogyakarta. Graha Ilmu*.
- Suni, H. A., Yuwono, B.D., & Suprayogi, A. (2019).

- Analisis Ketelitian Dsm Kota Semarang Dengan Metode Insar Menggunakan Citra Sentinel-1. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(3),17–26.
- Warsilan, W. (2019). Dampak Perubahan Guna Lahan Terhadap Kemampuan Resapan Air (Kasus: Kota Samarinda). *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 15(1), 70.  
<https://doi.org/10.14710/pwk.v15i1.20713>
- Yang, Q., Ke, Y., Zhang, D., Chen, B., Gong, H., Lv, M., Zhu, L., ...& Li, X. (2018). Multi-scale analysis of the relationship between land subsidence and buildings: A case study in an eastern Beijing Urban Area using the PS-InSAR technique. *Remote Sensing*, 10(7), 1006.  
<https://doi.org/10.3390/rs10071006>
- Zwieback, S., Liu, X., Antonova, S., Heim, B., Bartsch, A., Boike, J., & Hajnsek, I. (2016). A Statistical Test of Phase Closure to Detect Influences on DInSAR Deformation Estimates Besides Displacements and Decorrelation Noise: Two Case Studies in High-Latitude Regions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(9), 5588–5601.  
<https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2569435>