

**ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH KOTA TEGAL MENGGUNAKAN
METODE *DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY SYNTHETIC*
*APERTURE RADAR***

Erla Eka Martina¹, Levana Apriani², Raden Gumilar³

¹ Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

² Dosen Pembimbing I Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

³ Dosen Pembimbing II Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

ABSTRACT

Urban water sources in Indonesia still depend on the use of groundwater. One of the cities in Indonesia, namely the City of Tegal, meets the water needs that come from groundwater which is utilized by making dug wells and hand pump wells. Overuse of groundwater can lead to land subsidence. Land subsidence can have a negative impact on local community activities. This study aims to determine the average land subsidence rate and the highest land subsidence in 2015 – 2020 using Sentinel 1A imagery. Monitoring of land subsidence uses the geodetic method of observation in the form of DInSAR. The result of this study indicate there is land subsidence in Tegal City in 2015 – 2020. The average rate of land subsidence in Tegal City between 2015 – 2020 is -2.68 cm / year. The villages that experienced the highest land subsidence during 2015 – 2020 were Debong Lor, Kemandungan, Margadana, Kaligangsa and Pesurungan Lor villages.

Keywords: *DInSAR, Land Subsidence, Sentinel*

ABSTRAK

Sumber air perkotaan di Indonesia masih bergantung terhadap pemanfaatan air tanah. Salah satu kota di Indonesia yaitu Kota Tegal memenuhi kebutuhan air yang berasal dari air tanah yang dimanfaatkan dengan pembuatan sumur gali maupun sumur pompa tangan. Air tanah yang digunakan secara berlebihan dapat memicu terjadinya penurunan muka tanah. Penurunan muka tanah dapat menyebabkan dampak yang negatif bagi aktivitas masyarakat setempat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju penurunan muka tanah rata – rata dan penurunan muka tanah tertinggi tahun 2015 – 2020 menggunakan citra Sentinel 1A. Pemantauan penurunan tanah menggunakan metode pengamatan metode geodetik berupa DInSAR. Hasil penelitian ini terdapat penurunan muka tanah di Kota Tegal tahun 2015 – 2020. Laju rata – rata *land subsidence* di Kota Tegal antara tahun 2015 – 2020 sebesar -2,68 cm/tahun. Adapun kelurahan yang mengalami *land subsidence* tertinggi selama 2015 – 2020 yaitu kelurahan Debong Lor, Kemandungan, Margadana, Kaligangsa dan Pesurungan Lor.

Kata kunci: *DInSAR, Penurunan Muka Tanah, Sentinel*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Saat ini penyedia jasa layanan air minum untuk masyarakat khususnya perkotaan di Indonesia masih bergantung terhadap pemanfaatan air tanah (Bappenas, 2017). Hal ini dikarenakan operator air minum yang belum mampu menjangkau seluruh wilayah pelayanannya secara optimal. Selain itu, air tanah masih dipandang lebih murah dan mudah dimanfaatkan dibandingkan mendapatkan layanan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM).

Salah satu kota di Indonesia, Kota Tegal yang berada di pesisir utara laut Jawa memenuhi kebutuhan air yang diperoleh langsung dari sumbernya tanpa melalui jaringan penyalur / pipa. Sumber air bersih ini berasal dari air tanah yang dimanfaatkan dengan pembuatan sumur gali maupun sumur pompa tangan. Selama kurun waktu tahun 2007 hingga 2015 Pemerintah Kota Tegal telah membangun sarana prasarana air bersih dengan membuat sumur dalam dan *tower* tampungan air bersih yang kemudian didistribusikan melalui jaringan perpipaan dan non perpipaan kepada masyarakat (BP4D Kota Tegal, 2017).

Penggunaan air tanah secara berlebihan dapat memicu terjadinya penurunan muka tanah. Penurunan muka tanah dapat menyebabkan dampak yang negatif di wilayah tersebut, salah satunya banjir rob untuk wilayah pesisir. Selama satu dekade Kota Tegal mengalami banjir rob, yang mengakibatkan kerugian untuk masyarakat sekitar. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk memantau penurunan muka tanah antara lain metode hidrogeologis, metode geoteknik dan metode geodetik. (Abidin, 2005)

Pada penelitian ini metode yang digunakan merupakan metode geodetik berupa *Interferometric Synthetic Aperture RADAR* (InSAR). InSAR memanfaatkan data satelit penginderaan jauh aktif berupa RADAR (*Radio Detection and Ranging*) yang hasilnya dinamakan SAR (*Synthetic Aperture RADAR*). Pada teknik ini dilakukan pembentukan interferogram yang didapat dari dua atau lebih citra SAR yang direkam pada objek yang sama di bumi dengan waktu yang berbeda. Jika suatu titik di tanah bergerak, maka jarak antara sensor dengan titik akan berubah, dan berpengaruh pada nilai phase yang direkam oleh sensor SAR. Nilai beda phase ini yang menunjukkan adanya *ground movement*. Interferogram yang terbentuk memiliki efek topografi dan atmosferik. Sehingga perlu dilakukan pengurangan dengan proses *Differential SAR* (DInSAR) yang akan menghasilkan informasi deformasi yang terjadi (Tufik, et al., 2015)

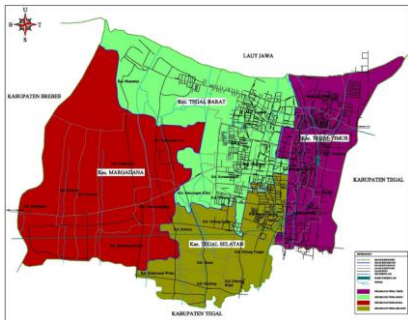
Penelitian ini pemantauan penurunan muka tanah Kota Tegal menggunakan citra Sentinel-1A pada tahun 2015 – 2020 dengan menggunakan metode DInSAR. Pengujian data yang dilakukan dengan menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM). Data DEM diperoleh dari *United States Geological Survey*, yang kemudian dilakukan analisis regresi linear.

Wibowo, et al., (2015) melakukan penelitian rata-rata penurunan muka tanah Kota Tegal antara tahun 2003 – 2014 sebesar -0,021 (0.0 – 0.091) meter/tahun. Penelitian yang dilakukan menggunakan analisis berupa geostatik menggunakan DEM. Data DEM yang digunakan merupakan hasil pengamatan GPS dan *levelling* dari Dinas Pekerjaan Umum (DPU) Tegal dan Badan Informasi Geospasial (BIG). (Wibowo, et al., 2015)

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

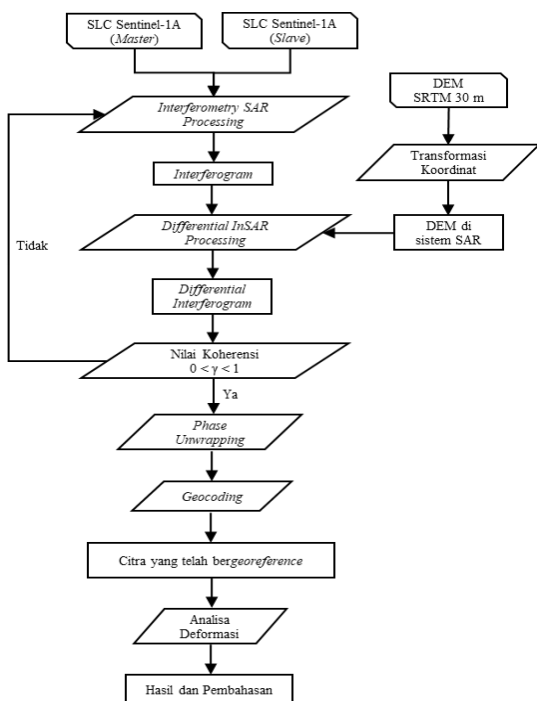
Daerah yang menjadi penelitian adalah Kota Tegal. Kota Tegal merupakan salah satu kota dalam lingkungan Provinsi Jawa Tengah. Luas wilayah Kota Tegal adalah 39,68 km². Secara geografis Kota Tegal terletak antara 109° 08' – 109° 10' BT dan 06° 50' – 06° 53' LS (BP4D Kota Tegal, 2017)



Gambar 1. Peta Wilayah Administratif Kota Tegal

Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Penurunan Muka Tanah di Kota Tegal

Laju penurunan muka tanah diperoleh dari hasil pengolahan citra *interferogram*. Dari citra *interferogram* ini kemudian dilakukan analisis untuk mencari nilai *subsidence* rata – rata dengan menggunakan analisis nilai *mean*. Hasil penurunan muka tanah di Tegal tahun 2015 – 2020 terlampir pada tabel berikut.

Tabel 1. Penurunan Muka Tanah di Kota Tegal

Tahun	<i>Subsidence</i> Rata-rata (cm)
2015 – 2016	-2,16
2016 – 2017	-1,27
2017 – 2018	-2,07
2018 – 2019	-4,92
2019 – 2020	-3,02

Berdasarkan tabel di atas penurunan muka tanah rata – rata tertinggi terjadi pada tahun 2018 – 2020 sebesar -4,92 cm. Sedangkan penurunan muka tanah rata – rata terendah terjadi pada tahun 2016 – 2017 sebesar -1,27 cm. Besarnya rata-rata penurunan muka tanah tahun 2015 – 2020 sebesar -2,68 cm/tahun. Hal ini diperoleh dari perhitungan rata – rata nilai *subsidence* setiap tahunnya.

Analisis Penurunan Muka Tanah per Kelurahan di Kota Tegal

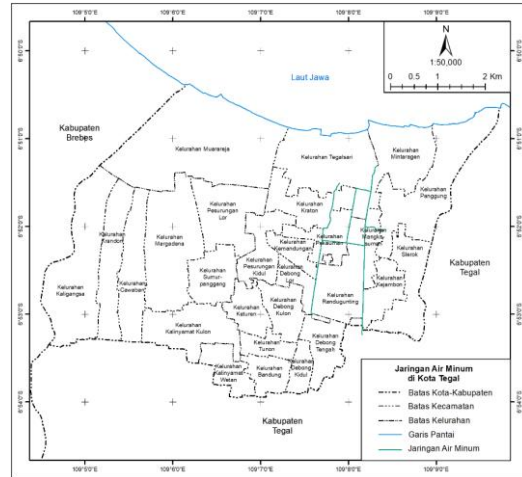
Pada hasil analisis ini penurunan muka tanah ditentukan pada setiap kelurahan. Selain itu analisis ini digunakan untuk menentukan wilayah tertinggi yang mengalami *subsidence* dalam kurun tahun 2015 – 2020. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, penurunan muka tanah di kelurahan Kota Tegal terlampir pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Penurunan Muka Tanah per Kelurahan di Kota Tegal

Kelurahan	Subsidence Rata-rata (cm)				
	2015 - 2016	2016 - 2017	2017 - 2018	2018 - 2019	2019 - 2020
Kalinyamat Kulon	-2	-0,9	-2,07	-5,19	-2,8
Sumurpanggung	-2,36	-1,21	-2,04	-5,13	-2,95
Cabawan	-2,6	-1,34	-2,05	-5,52	-3,15
Krandon	-2,87	-1,53	-2,18	-5,74	-3,16
Pesurungan Lor	-3,01	-1,52	-2,15	-4,93	-3,06
Margadana	-2,49	-1,04	-2,14	-5,68	-3,25
Kaligangsa	-2,8	-1,42	-2,12	-5,67	-3,11
Debong Lor	-2,18	-2,38	-2,68	-5,79	-3,48
Kemandungan	-2,23	-2,3	-2,63	-5,45	-3,47
Pesurungan Kidul	-2,25	-1,87	-2,26	-5,2	-3,25
Pekauman	-1,73	-1,27	-2,35	-4,48	-3,17
Kraton	-2,11	-1,21	-2,1	-4,61	-2,99
Tegalsari	-1,9	-0,75	-1,84	-4,38	-2,46
Muarareja	-3,56	-1,14	-1,71	-5,11	-2,91
Bandung	-0,71	-0,85	-2,01	-4,63	-2,67
Kalinyamat Wetan	-1,11	-0,64	-2,02	-4,87	-2,61
Debong Kidul	-0,56	-1,17	-1,91	-4,29	-2,64
Tunon	-1,14	-1,13	-2,17	-4,93	-2,86
Debong Tengah	-0,84	-1,37	-2,01	-4,09	-2,76
Debong Kulon	-2,04	-1,95	-2,26	-5,11	-3,02
Keturen	-1,82	-1,13	-2,08	-5,13	-2,84
Randugunting	-1,26	-1,4	-2,17	-4,46	-2,89
Kejambon	-0,62	-1,08	-2,17	-3,99	-2,41
Slerok	-0,43	-1,28	-2,29	-2,29	-2,24
Mangkusuman	-1,02	-0,67	-1,91	-4,06	-2,18
Mintaragen	-2,11	-1,46	-2,15	-4,65	-3,69
Panggung	-1,4	-1,53	-2,22	-3,97	-3,77

Berdasarkan tabel di atas, kelurahan bagian barat Kota Tegal mengalami laju penurunan muka tanah tertinggi yaitu kelurahan Debong Lor dan Kemandungan. Kemudian disusul oleh kelurahan yang ada di Kecamatan Margadana yaitu Kelurahan Margadana, Kaligangsa dan Pesurungan Lor. Kelurahan Debong Lor dan Kemandungan termasuk dalam

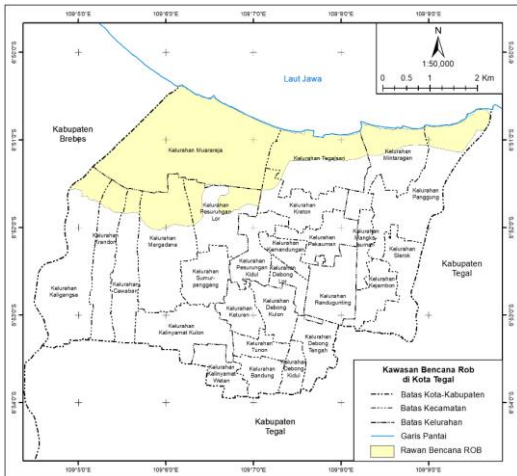
kelurahan yang dilewati oleh jaringan air minum. Gambar jaringan air minum yang tersebar di Kota Tegal terlampir pada gambar berikut.



Gambar 3. Peta Jaringan Air Minum Kota Tegal

Menurut data dari Program Penanggulangan Kemiskinan di Perkotaan (P2KP) Kota Tegal tahun 2015, kepadatan bangunan di kelurahan Debong Lor mencapai 758 unit/ha. Ini berarti setiap unit bangunan berkisar $\pm 13 \text{ m}^2$. Sedangkan kelurahan Kemandungan sebesar 613 unit/ha atau $\pm 16 \text{ m}^2$ setiap unit bangunannya. Penurunan muka tanah di kelurahan Debong Lor dan Kemandungan disebabkan pengambilan air tanah di kawasan pemukiman.

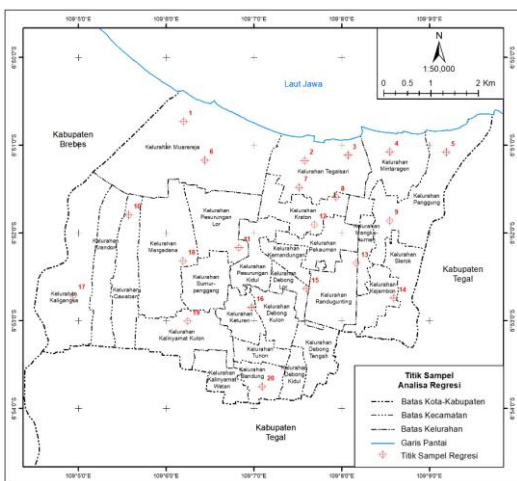
Adapun kelurahan Margadana, Kaligangsa dan Pesurungan Lor terletak di kawasan rawan bencana banjir rob (BPBD Kota Tegal, 2016). Terdapat Peta Rawan Bencana Kota Tegal terlampir pada gambar 4. Ketiga kelurahan tersebut sebagian besar digunakan untuk industri tambak air tawar. Sehingga, berpengaruh pada penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan cairan yaitu air tanah.



Gambar 4. Kawasan Rawan Bencana Rob di Kota Tegal

Analisis Regresi Linear Subsidence di Kota Tegal

Analisis regresi linear sederhana dilakukan untuk mendapatkan nilai deformasi pada tahun penelitian yaitu 2015 – 2020. Adapun variabel terikat yang digunakan (Y) merupakan nilai tinggi dari DEM GTOPO30, SRTM *Non Void Filled*, SRTM *Void Filled* dan SRTM *1 Arc-Second Global*. Sedangkan variabel bebas (X) yang digunakan merupakan tahun dari pembuatan DEM di atas. Analisis regresi linear sederhana dilakukan pada 20 titik sampel seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Titik Sampel Analisis Regresi

Titik – titik sampel di atas kemudian dicari nilai elevasi pada DEM DEM GTOPO30, SRTM *Non Void Filled*, SRTM *Void Filled* dan SRTM *1 Arc-Second Global*. Kemudian hasil elevasi tersebut diselisihkan sehingga mendapat informasi *land subsidence* berdasarkan regresi. Adapun tabel 3 mengenai nilai regresi dan nilai SAR.









Titik Sampel	Land Subsidence Berdasarkan Regresi Tahun 2015 – 2020 (cm)	Land Subsidence Berdasarkan SAR 2015 – 2020 (cm)
1	19,85	-17,78
2	-9,7	-10,86
3	-78,1	-11,32
4	-6,6	-14,5
5	46,15	-15,8
6	-7,35	-13,46
7	-87	-11,91
8	-16,55	-10,24
9	-6,05	-10,45
10	-42,9	-14,88
11	-36,95	-13
12	-37,65	-11,93
13	46,15	-10,33
14	-62,05	-11,53
15	-118,2	-15,13
16	-26,95	-14,35
17	-67,55	-15,13
18	-15,65	-15,72
19	-73,05	-13,66
20	-61,9	-11,14

Berdasarkan tabel di atas analisis regresi linear sederhana memperoleh hasil yang tidak baik jika dibandingkan data pengolahan SAR. Pada *land subsidence* hasil regresi, memperoleh selisih yang cukup signifikan dari *land subsidence* hasil SAR. Hal ini dapat diartikan bahwa nilai *subsidence* suatu wilayah memiliki nilai unik, sehingga tidak dapat diprediksikan dengan pola penurunan tahun – tahun sebelumnya.

Analisis Penurunan Muka Tanah dengan Kejadian Rob di Kota Tegal

Penurunan muka tanah berdampak pada kejadian rob. Berdasarkan hasil peninjauan ke lapangan, terdapat wilayah yang sering tergenang oleh rob. Berikut terlampir tabel 4 mengenai peninjauan lapangan terhadap kejadian rob berdasarkan sumber dari kelurahan di Kota Tegal.

Tabel 4. Penurunan Muka Tanah dengan Rob di Kota Tegal

No.	Kelurahan	Koordinat	Nilai Rob (cm)	Tampilan Validasi Lapangan
1	Panggung	-6,845090° ; 109,15957°	± 50 cm	
2	Mintaragen	-6,845090° ; 109,15957°	± 20 cm	
3	Tegalsari	-6,845090° ; 109,15957°	± 40 cm	
4	Muarareja	-6,845090° ; 109,15957°	± 40 cm	
5	Pesurungan Lor	-6,845090° ; 109,15957°	± 30 cm	
6	Margadana	-6,845090° ; 109,15957°	± 20 cm	
7	Cabawan	-6,845090° ; 109,15957°	± 20 cm	
8	Kaligangsa	-6,845090° ; 109,15957°	± 20 cm	

Berdasarkan validasi lapangan, kelurahan Panggung, Mintaragen, Tegalsari dan Muarareja terletak di pesisir Pantai Utara Jawa. Sedangkan kelurahan Pesurungan Lor, Margadana, Cabawan dan Kaligangsa sebagian besar

digunakan untuk industri tambak air tawar. Akan hal ini, fenomena penurunan muka tanah berdampak pada kejadian banjir rob.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian analisis penurunan muka tanah Kota Tegal menggunakan metode *differential interferometry synthetic aperture radar* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai laju penurunan muka tanah rata – rata dari pengolahan citra Sentinel-1A metode DInSAR di Kota Tegal tahun 2015 – 2020 sebesar -2,68 cm/tahun.
2. Nilai penurunan muka tanah tertinggi menggunakan citra Sentinel-1A metode DInSAR tahun 2015 – 2020 yaitu kelurahan Debong Lor, kelurahan Kemandungan, kelurahan Margadana, kelurahan Kaligangsa dan kelurahan Pesurungan Lor.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini terdapat beberapa saran sebagai berikut:

1. Untuk menguji keakuratan data, diperlukan validasi data pengukuran GPS terkait *land subsidence* di Kota Tegal
2. Untuk mencegah rendahnya nilai koherensi citra akibat dekorelasi temporal dan dekorelasi geometrik, maka diperlukan data dengan jarak temporal dan *baseline* yang berdekatan.
3. Diperlukan metode pengolahan SAR lain untuk mengetahui hasil pengolahan yang lebih baik seperti *three pass* atau *four pass*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H., 2005. Suitability of Levelling, GPS and INSAR for Monitoring Land Subsidence in

- Urban Areas of Indonesia. *The Global Magazine for Geomatics*, 19(7), pp. 12-15.
- Al Akbar, T. O., Prasetyo, Y. & Wijaya, A. P., 2015. Analisis Dampak Penurunan Muka Tanah Terhadap Tingkat Ekonomi Menggunakan Kombinasi Metode DInSAR dan SIG (Studi Kasus : Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip (ISSN : 2337-845X)*, Volume 4(Nomor 4), pp. 136-143.
- Bappenas, 2017. *Evaluasi Paruh Waktu RPJMN 2015-2019*, Jakarta: Bappenas.
- Blake, W., 2010. *Interferometric Synthetic Aperture RADAR (INSAR) for fine*. Dissertation ed. Kansas: University of Kansas.
- BP4D Kota Tegal, 2017. *Evaluasi Paruh Waktu RPJMN 2015-2019*, Tegal: BP4D Kota Tegal.
- Canada, N. R., 2019. *Fundamental of Remote Sensing*. Canada: Canada Centre for Remote Sensing.
- ESA, 2013. *Mode Operasi Sentinel-1A*. [Online] Available at: https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Space_Component [Accessed 23 Oktober 2020].
- ESA, 2016. *ESA Course 2 and 3*. [Online] Available at: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ers/instruments/sar/applications/radar-courses> [Accessed 20 November 2020].
- Feretti, A., Monti-Gunarnieri, A., Prati, C. & Rocca, F., 2017. *Part A InSAR Principles : Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*, The Netherlands: ESA Publications.
- GeoSARNas, 2011. *International Seminar Geospatial and Human Dimension in Natural Resource Management*. Bogor, Crestpent Press.
- Hanssen, R., 2001. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*, London: Kluwer Academic Publisher.
- Islam, L. J. F., Prasetyo, Y. & Sudarsono, B., 2017. Analisis Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Kota Semarang Menggunakan Citra Sentinel-1 Berdasarkan Metode DInSAR pada Perangkat Lunak SNAP. *Jurnal Geodesi Undip (ISSN : 2337-845X)*, Volume 6(Nomor 2), pp. 29-36.
- Ismullah, I. H., 2012. *Bunga Rampai Penginderaan Jauh Indonesia : Perkembangan Radar dalam Penginderaan Jauh*. Bandung: Pusat Penginderaan Jauh ITB.
- Kasiram, M., 2008. *Metodologi Penelitian*. Malang: UIN-Malang Pers.
- Marfai, M. & L., K., 2006. Tidal Flood Hazards Assessment: Modelling in Raster GIS, Case in Western Part of Semarang Coastal Area. *Nat Hazards*, 2008(44), pp. 93-109.
- Ma'ruf, B. et al., 1999. Analisis Deformasi Gunungapi Merapi dengan GPS. *Jurnal Ikatan Surveyor Indonesia*, Vol. XII(No. 5), pp. 19 -25.
- NASA, 2013. *Regions of the Electromagnetic Spectrum*. [Online] Available at: https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/spectrum_chart.html [Accessed 20 November 2020].

- NASA, 2020. *What is Synthetic Aperture Radar*. [Online] Available at: <https://earthdata.nasa.gov/learn/what-is-sar> [Accessed 19 Oktober 2020].
- Sudjana, N. & I., 2001. *Penelitian Dan Penilaian Pendidikan*. Bandung: Sinar Baru Algesindo.
- Sugiyono, 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Afabeta.
- Tomiyama, N., 2010. *Microwave Remote Sensing With Focuses on Forestry And Agriculture*. Hanoi: ISPRS Student consoltrium and WG VI/S 5th Summer School.
- Tufik, M., Yulyta, S. A. & Hayati, N., 2015. Studi Pengamatan Penurunan dan Kenaikan Muka Tanah Menggunakan Metode Differential Interferometri Synthetic Aperture Radar (DInSAR) (Studi Kasus : Lumpur Lapindo, Sidoarjo). *Geoid Vol. 11 No. 01*, pp. 62-66.
- USGS, 2018. *USGS EROS Archive - Products Overview*. [Online] Available at: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-products-overview?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects [Accessed 31 Oktober 2020].
- Wei, L., 2006. *Land Subsidence And Water Management in Shanghai*, The Netherlands: Master Thesis. TU Delft.
- Whittaker, D. & Reddish, D., 1989. *Subsidence Occurence, Prediction and Control*. New York: Elsiwer.
- Wibowo, P. L. A., Hartoko, A. & A., 2015. Land Subsidence Affects Coastal Zone Vulnerability. *Ilmu Kelautan 20 (3) September*, pp. 127-134.
- Yulianto, F. & Marfai, M. A., 2011. Model Spasial Dampak Penurunan Muka Tanah dan Genangan Pasang Air Laut (ROB) di Wilayah Pesisir Jakarta. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, Vol. 17(No. 1).
- Yuliara, I. M., 2016. *Modul Regresi Linier Sederhana*. [Online] Available at: https://simdos.unud.ac.id/upload/s/file_pendidikan_1_dir/3218126438990fa0771ddb555f70be42.pdf [Accessed 12 November 2020].
- Yuwono, B. D., 2013. Korelasi Penurunan Muka Tanah dengan Penurunan Muka Air Tanah di Kota Semarang. *Teknik (ISSN 0852-1697)*, Vol. 34(No. 3), pp. 188-195.
- Zou, W., 2004. *Improving the Accuracy of image Co registration in InSAR*, Hongkong: The Hongkong Polythecnic University.