

**STUDI PENURUNAN MUKA TANAH
MENGUNAKAN DINSAR TAHUN 2017 - 2020
(Studi Kasus: Pesisir Kecamatan Sayung, Demak)
Naufal Dwiakram^{*)}, Fauzi Janu Amarrohman, Yudo Prasetyo**

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

ABSTRAK

Kecamatan Sayung merupakan salah satu kecamatan yang berada di Kabupaten Demak di bagian pesisir utara pulau Jawa. Wilayah ini merupakan dataran yang terbentuk dari endapan tanah aluvial yang tergolong muda. Pada wilayah ini banyak berdiri bangunan industri dan juga banyak dijumpai kawasan pemukiman, sehingga menambah beban terhadap tanah aluvial yang masih mungkin untuk terjadi kompaksi. Dengan adanya fenomena tersebut diperlukan pemantauan secara berkelanjutan untuk mengetahui dari dampak yang timbul seiring berjalannya waktu. Metode DInSAR dimanfaatkan dalam penelitian ini untuk memantau fenomena tersebut.

Metode DInSAR dipilih karena memiliki kemampuan untuk melakukan pengamatan di area yang luas dengan waktu yang cepat. Data yang digunakan adalah 6 citra satelit Sentinel-1A mode IW yang diakuisisi pada tahun 2017-2020. Metode DInSAR menggunakan *two-pass interferometry* dengan bantuan DEM SRTM 1 arcsec sebagai referensi topografi. Survei pengamatan GNSS dilakukan untuk validasi hasil DInSAR karena dianggap lebih teliti dalam hal akurasi.

Hasil nilai penurunan muka tanah Kecamatan Sayung yang didapatkan dari metode DInSAR rata-rata sebesar $4,55 \pm 1$ cm/tahun. Hasil dari DInSAR selanjutnya di validasi dengan data GNSS. Kedua data tersebut memiliki standar deviasi sebesar 0,68 cm. Dari hasil penelitian juga dilakukan analisis mengenai kajian geologis wilayah penelitian serta efek dari penggunaan lahan pada Kecamatan Sayung terhadap penurunan muka tanah yang terjadi. Berdasarkan analisis tersebut ditemukan pola yang mirip antara besarnya penurunan muka tanah dengan laju pemadatan tanah alami serta dampak penggunaan lahan untuk kawasan industri dan pemukiman.

Kata Kunci : Sayung, Penurunan Muka Tanah, DInSAR, GNSS, Sentinel-1

ABSTRACT

Sayung sub-district is one of the sub-districts located in Demak Regency on the northern coast of Java Island. This area is a plain formed from relatively young alluvial soil deposits. In this area there are many industrial buildings and also many residential areas, thus increasing the burden on alluvial land which is still possible for compacting. With this phenomenon, continuous monitoring is needed to determine the impacts that arise over time. The DInSAR method was used in this study to monitor this phenomenon.

The DInSAR method was chosen because it has the ability to make observations in a large area in a fast time. The data used are 6 IW-mode Sentinel-1A satellite images acquired in 2017-2020. The DInSAR method uses two-pass interferometry with the help of the SRTM 1 arcsec DEM as a topographic reference. The GNSS observation survey was carried out to validate the DInSAR results because it was considered to be more thorough in terms of accuracy.

The results of the subsidence value of Sayung Subdistrict obtained from the DInSAR method averaged 4.55 ± 1 cm / year. The results from DInSAR were then validated with GNSS data. Both data have a standard deviation of 0.68 cm. From the research results, an analysis was also carried out regarding the geological study of the research area and the effect of land use in Sayung District on land subsidence that occurred. Based on this analysis, a similar pattern was found between the magnitude of land subsidence with the rate of natural soil compaction and the impact of land use for industrial and residential areas.

Keywords : Sayung, Land Subsidence, DInSAR, GNSS, Sentinel-1

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Kawasan pesisir utara pulau Jawa merupakan wilayah yang padat dan banyak pusat ekonomi berlangsung. Daerah ini memiliki jalan utama yang menjadi jalur transportasi dan penunjang ekonomi nasional yang biasa disebut jalan pantai utara (pantura). Jalan pantura melintasi beberapa kabupaten dan kota salah satunya adalah Kabupaten Demak.

Kabupaten Demak merupakan wilayah yang rawan penurunan muka tanah (PMT). Beberapa wilayah di Kabupaten Demak banyak dijumpai genangan air laut atau biasa disebut rob khususnya pada pesisir utara di Kecamatan Sayung. Air rob ini menggenangi beberapa pemukiman warga bahkan di waktu tertentu bisa menggenangi jalan raya. Genangan air rob yang mencapai jalan raya ini mengakibatkan terhambatnya lalu lintas di daerah tersebut, sering kali terjadi kemacetan akibat adanya genangan rob. Di tambah lagi banyak kendaraan besar yang melintas sehingga menyebabkan kerusakan pada jalan. Perlu adanya penelitian serta penanganan yang serius dari pemerintah maupun pihak-pihak lain agar peristiwa PMT ini dapat terantau dan teratasi dengan baik.

Pemantauan fenomena PMT dapat dilakukan dari beberapa cara, antara lain *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) dan pengukuran *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Pada DInSAR memanfaatkan citra beda fasa dari *synthetic aperture radar* (SAR) yang dapat digunakan untuk mengukur perpindahan yang terjadi pada wilayah pengamatan. Dengan metode DInSAR, PMT dapat diamati secara rutin dengan area yang luas (Zhao dkk., 2019). Salah satu produk citra SAR ini adalah Citra Sentinel-1A yang disediakan secara gratis oleh European Space Agency (ESA). Untuk mendapatkan nilai DInSAR diperlukan 2 citra SAR sebagai pasangan DInSAR (Pepe dan Calò, 2017).

Metode pengukuran GNSS merupakan salah satu metode pengukuran secara ekstra-terestris. Metode ini dapat dilakukan di setiap saat baik siang maupun malam tanpa tergantung waktu dan cuaca. Pengukuran GNSS dapat mendapatkan ketelitian posisi pada orde milimeter sampai orde puluhan meter. Pengukuran ini dapat dilakukan untuk memantau fenomena PMT (Abidin, 2007).

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode DInSAR untuk memantau fenomena PMT yang ada. Pada metode DInSAR kepraktisan dalam melakukan pengamatan menjadi kelebihan dari metode, tetapi masih kurang dari segi akurasi. Selanjutnya hasil dari DInSAR dilakukan validasi dengan data pengukuran GNSS. Pengolahan DInSAR dilakukan menggunakan citra Sentinel-1 dengan akuisisi pada tahun 2017-2020. Citra yang digunakan sebanyak 5 pasang citra. Pengolahan ini dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak SNAP.

Penelitian ini akan menghasilkan peta PMT di Kecamatan Sayung dari hasil pengolahan DInSAR. Berdasarkan peta PMT tersebut akan dilakukan analisis lebih lanjut mengenai laju PMT yang terjadi di daerah

tersebut. Hasil PMT dengan metode DInSAR dilakukan validasi dengan data pengukuran GNSS. Dengan dilakukannya penelitian ini dapat memantau fenomena PMT yang terjadi di wilayah Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kecepatan penurunan muka tanah dari pengolahan citra Sentinel-1A metode DInSAR tahun 2017 - 2020?
2. Bagaimana hasil validasi penurunan muka tanah dari pengolahan citra Sentinel-1A metode DInSAR dengan hasil pengukuran GNSS?
3. Bagaimana korelasi antara penurunan muka tanah Kecamatan Sayung terhadap kajian geologis dan penggunaan lahan wilayah tersebut?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan
Adapun tujuan dari penelitian ini, antara lain:
 - a. Mengetahui besarnya kecepatan penurunan muka tanah di Kecamatan Sayung dari data citra Sentinel-1A dengan metode DInSAR tahun 2017 - 2020.
 - b. Mengetahui hasil validasi penurunan muka tanah metode DInSAR dengan hasil pengukuran GNSS.
 - c. Mengetahui korelasi antara penurunan muka tanah Kecamatan Sayung terhadap kajian geologis dan penggunaan lahannya.
2. Manfaat
Adapun manfaat dari penelitian ini, antara lain:
 - a. Segi keilmuan
Hasil penelitian dapat digunakan untuk memperkaya ilmu penginderaan jauh khususnya dalam pengolahan DInSAR dan survei ekstra terestris dalam pengamatan GNSS. Selain itu dapat memberi informasi terkait analisis fenomena PMT yang terjadi pada wilayah Sayung, Demak.
 - b. Segi kerekayasaan
Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai referensi dalam melakukan pembangunan pada Kecamatan Sayung, Demak terkait adanya fenomena PMT.

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini mencakup pada ruang lingkup batasan agar fokus pada penelitian, diantaranya:

1. Perekaman pasangan citra Sentinel-1A yang digunakan memiliki perbedaan waktu akuisisi 8 sampai 9 bulan.
2. Kombinasi pasangan DInSAR yang dihasilkan berjumlah 5 pasang yang terbentuk antar citra Sentinel-1A pada tahun 2017 - 2020.
3. Hasil akhir DInSAR dilakukan rata-rata dari setiap pasangan yang terbentuk.

4. Batasan model koherensi pasangan citra yang digunakan adalah 0,6.
5. DEM yang digunakan untuk pengolahan DInSAR menggunakan DEM SRTM 1arcsec dari aplikasi SNAP yang diunduh secara otomatis.
6. Pengolahan metode DInSAR pada tahap koreksi geometrik menggunakan *range-doppler terrain correction*.
7. Nilai kenaikan pada hasil DInSAR dihilangkan dan hanya mengkaji mengenai penurunannya saja.
8. Data batas administrasi Kecamatan Sayung didapatkan dari BAPPEDA Kabupaten Demak.
9. Data pengamatan GNSS yang digunakan diukur pada bulan April tahun 2017 dan bulan September tahun 2020.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Kajian Wilayah Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah pesisir Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak yang terletak pada koordinat $6^{\circ}51'31''$ - $6^{\circ}59'18''$ LS dan $110^{\circ}27'58''$ - $110^{\circ}33'47''$ BT. Kecamatan Sayung merupakan wilayah yang padat penduduk dan terdapat banyak industri yang beroperasi di daerah ini. Kecamatan Sayung terdiri dari 20 desa. Pada penelitian ini terdapat 6 desa yang dipasang patok BM untuk pengamatan GNSS, yaitu Desa Bedono, Purwosari, Sidogemah, Tugu, Timbulsloko dan Surodadi.

Secara topografi, Kabupaten Demak terdiri dari dataran rendah, pantai dan perbukitan, dengan ketinggian permukaan tanah antara 0 – 100 meter. Pada wilayah pesisir sebagian besar digunakan untuk pertanian dan memancing. Di bagian Utara kabupaten banyak daerah industri khususnya di Kecamatan Sayung. Tidak mengherankan bahwa kawasan industri ini telah mengambil banyak air tanah, selain itu pertanian dan perikanan juga telah mengambil banyak air tanah dari akuifer dalam.

Secara geologis, Kabupaten Demak tersusun dari endapan aluvial (Qa). Dataran aluvial Semarang-Demak terbentuk akibat sedimentasi yang terjadi belakangan ini yang dipengaruhi oleh perubahan permukaan laut sejak Plestosen akhir hingga sekarang. Sebagai akibatnya, daerah Sayung mengalami tingkat penurunan tanah yang signifikan (Sarah dkk., 2020). Sementara dataran rendah di daerah pantai tenggelam, seiring waktu pasang surut yang semakin sering akan memperburuk keadaan dan di tempat-tempat tertentu yang telah tergenang secara permanen.

Fenomena PMT merupakan hal yang serius yang terjadi di Kabupaten Demak. Secara fisik dampak dari penurunan muka tanah dapat dilihat seperti, meluasnya dampak dari banjir (biasa disebut rob) di wilayah pesisir, keretakan pada bangunan dan infrastruktur, dan meningkatnya intrusi air laut ke daratan. Pada **Gambar 1** menunjukkan dampak yang terjadi akibat PMT.



Gambar 1 Dampak PMT di Kecamatan Sayung

II.2 Konsep Sistem Tinggi

Sistem tinggi sangat diperlukan dalam pendefinisian tinggi yang didapatkan dari suatu pengukuran sebagai kerangka referensi tinggi. Pada studi penurunan muka tanah sistem tinggi menjadi variabel utama yang merupakan elemen terpenting dalam melakukan pengolahan data. Sistem tinggi merupakan sistem yang mengatur suatu tinggi titik di permukaan bumi terhadap suatu acuan tinggi (datum tinggi). Dalam geodesi terdapat beberapa macam sistem tinggi berdasarkan bida referensinya yaitu, referensi terhadap ellipsoid, geoid dan quasi geodi (Kahar, 2008).

II.3 Teori Deformasi

Deformasi dapat diartikan sebagai perubahan yang terjadi oleh suatu benda dalam bentuk, dimensi dan posisinya. Maka dengan begitu objek apa pun baik alami maupun buatan manusia, mengalami perubahan dalam ruang dan waktu. Penentuan dan interpretasi dari perubahan tersebut adalah tujuan utama survei deformasi (Kuang, 1991)

II.4 Teori Penurunan Muka Tanah

Penurunan muka tanah (PMT) pada permukaan bumi merupakan peristiwa tenggelamnya titik di permukaan ke tingkat yang lebih rendah dan bisa menyebabkan lapisan permukaan menjadi runtuh karena adanya lubang di dalam tanah itu. Penurunan muka tanah biasanya mengacu pada perpindahan vertikal suatu titik, tetapi juga dapat menyebabkan perpindahan secara horizontal titik-titik yang berdekatan (Whittaker dan Reddish, 1989).

Kerusakan yang biasanya terjadi akibat penurunan muka tanah pada bangunan dan struktur dapat berupa retak-retak dan amblasan, pembalikan arah sistem drainase dan meningkatkan kemungkinan terjadinya bencana banjir. Selain itu, dampak kerusakan yang lebih besar juga dapat terjadi seperti amblesan besar tanah (*sinkholes*) menghasilkan lubang besar, dan rekahan besar memanjang (*fisheries*) di sekitar daerah yang terjadi penurunan tanah. (Bisri, 2012).

II.5 Synthetic Aperture Radar (SAR)

Radar mengamati area dengan mentransmisikan energi gelombang mikro. Gelombang energi radar ini dipantulkan dari area yang diamati dan ditangkap oleh sensor penerima radar. Dengan tepat sensor mengukur perbedaan waktu antara pulsa yang ditransmisikan dan penerimaan energi yang dipantulkan, radar dapat menentukan jarak objek pemantulan (disebut *range* atau *slant range*) melebur (Mccandless dan Jackson, 1978).

II.5.1 DInSAR

Differential Interferometry SAR (DInSAR) adalah istilah yang digunakan untuk mengukur fase interferometrik yang terkait dengan perpindahan,

kontribusi fase interferometrik yang berkaitan dengan topografi harus dihapuskan melalui sumber informasi ketinggian, seperti *Digital Elevation Model* (DEM) sehingga hanya menyisakan informasi terkait perpindahan. Tetapi, interfeogram yang dihitung dengan teknik DInSAR mengandung beberapa istilah fase yang tidak diinginkan yang timbul akibat ketidakakuratan tertentu pada topografi dan parameter orbit (Pepe dan Calò, 2017). Variasi fase interferometrik dapat diekspresikan lebih umum, dalam bentuk:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{displ} + \Delta\varphi_{topo} + \Delta\varphi_{orb} + \Delta\varphi_{atm} + \Delta\varphi_{scatt} + \Delta\varphi_{noise} \dots \dots \dots \text{II-1}$$

Keterangan

- φ = fasa
- φ_{displ} = fasa pergeseran
- φ_{topo} = fasa topografi
- φ_{orb} = fasa orbit
- φ_{atm} = fasa atmosfer
- φ_{scatt} = fasa hamburan
- φ_{noise} = fasa derau

Hasil dari pengukuran pergeseran pada tahap DInSAR merupakan pergeseran dalam arah *Line of Sight* (LOS). Dengan asumsi bahwa penurunan tanah hanya terjadi pada arah vertikal dan *incidence angle* kira-kira sama dengan sudut *off-nadir* sensor, maka pergeseran tanah dalam arah vertikal (d_v) dapat diturunkan sebagai (Curlander dan McDonough, 1991 dalam Bayuaji, Sumantyo, dan Kuze, 2010):

$$d_v = d_{LOS} \cdot \cos\theta \dots \dots \dots \text{II-2}$$

Keterangan:

- d_v = pergeseran arah vertikal
- d_{LOS} = pergeseran LOS
- θ = incidence angle

II.5.2 Dekorelasi

Dekorelasi menjadi salah satu efek yang terjadi pada pengolahan menggunakan InSAR. Dekorelasi ini menyebabkan adanya *noise* pada citra yang disebabkan oleh sumber kesalahan yang memiliki panjang korelasi lebih kecil dari jendela estimasi koherensi biasa. Ini menyiratkan bahwa ada kesalahan pada orbit dan kesalahan akibat atmosfer. Hasil pengolahan DInSAR sangat bergantung pada korelasi setiap data pengamatan yang digunakan. Beberapa sumber dekorelasi ini, antara lain dekorelasi *baseline* atau geometri (γ_{geom}), dekorelasi *Doppler Centroid* (γ_{DC}), dekorelasi volume (γ_{vol}), dekorelasi termal atau gangguan sistem ($\gamma_{thermal}$), dekorelasi temporal topografi ($\gamma_{temporal}$), dekorelasi akibat pengolahan data ($\gamma_{processing}$) (Hanssen, 2001).

Pencitraan radar mengarah ke samping, sehingga ketinggian medan akan mengalami distorsi geometrik, karena sudut pantul yang bervariasi. Efek *foreshortening* (A), *layover* (B) dan *shadow* (C) akan timbul akibat oleh geometri pencitraan miring.

II.6 Survei Pengamatan GNSS

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan suatu sistem navigasi yang memanfaatkan satelit untuk penentuan posisi. Salah satu contohnya adalah *Global Positioning System* (GPS). Penentuan posisi dengan GPS menggunakan konsep dasar reseksi dengan jarak, yaitu dengan memanfaatkan beberapa

satelit yang diketahui koordinatnya dan mengukur jarak secara simultan ke titik yang diamati (Gumilar dkk., 2010).

Pemantauan PMT dengan metode ini titik-titik ditempatkan di lokasi yang dipilih, lalu secara periodik dilakukan pengamatan GNSS untuk memperoleh koordinatnya. Dengan mempelajari pola dan kecepatan perubahan tinggi elipsoid dari titik-titik tersebut, maka karakteristik PMT dapat dihitung dan dipelajari lebih lanjut (Abidin, 2007).

II.6.1 Metode Penentuan Posisi Diferensial

Penentuan posisi secara diferensial dilakukan dengan menentukan posisi suatu titik secara relatif dari titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya. Dengan melakukan penentuan posisi secara diferensial dapat mendapatkan posisi yang relatif tinggi dengan ketelitian berkisar skala mm dengan menggunakan data fase, serta 1-3 meter dengan menggunakan data pseudorange (Abidin, 2007).

II.6.2 Metode Pengukuran Statik

Data yang diperoleh pada pengamatan secara statik memiliki ukuran lebih yang lebih banyak dibandingkan dengan pengamatan kinematik. Karena data yang didapatkan lebih banyak hasil dari penentuan posisi relatif tinggi dengan orde mm sampai cm. Pengukuran statik ini biasa dilakukan untuk keperluan pemetaan, serta pemantauan deformasi dan geodinamika (Abidin, 2007).

III. Metodologi Penelitian

III.1 Peralatan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Laptop HP Pavilion Notebook sebagai workstation pengolahan
2. Perangkat Lunak SNAP 7.0 digunakan untuk melakukan pengolahan DInSAR
3. Perangkat Lunak Snaphu 1.4.2 digunakan untuk proses phase unwrapping pengolahan DInSAR
4. Perangkat Lunak ArcMap 10.5 digunakan untuk pembuatan layout dan analisis hasil pengolahan DInSAR
5. Perangkat Lunak Microsoft Office 2019 digunakan untuk penyusunan laporan

III.2 Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Citra Satelit Sentinel-1A level 1 SLC seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Data citra Sentinel-1A

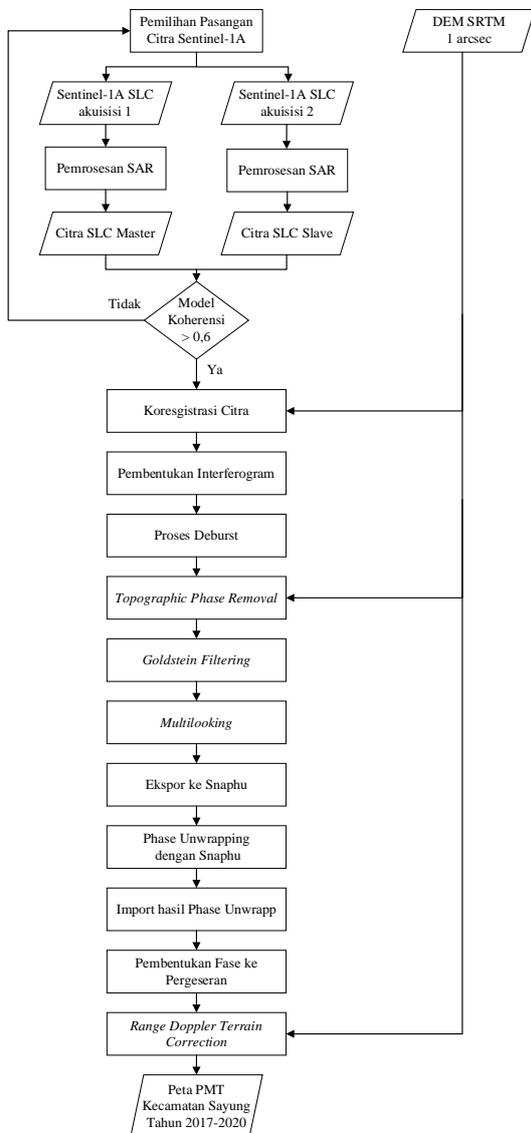
Akuisisi	Subswath	Burst	Arah orbit
21 April 2017	IW2	7 – 8	Descending
5 Des 2017	IW2	7 – 8	Descending
14 Agus 2018	IW2	7 – 8	Descending
11 April 2019	IW2	7 – 8	Descending
7 Des 2019	IW2	7 – 8	Descending
8 Sept 2020	IW2	7 – 8	Descending

2. DEM SRTM 1 arcsec
3. Data kecepatan PMT hasil pengukuran GNSS tahun 2017 dan 2020
4. Peta penggunaan Lahan Kabupaten Demak

5. Peta Batas Administrasi Kabupaten Demak

III.3 Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar, alur pelaksanaan penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan hasil dari data yang dimiliki sehingga dapat digunakan untuk melakukan analisis PMT. Pengolahan citra Sentinel-1A dilakukan dengan metode DInSAR menggunakan perangkat lunak SNAP untuk mendapatkan kecepatan PMT dari tahun 2017 sampai 2020. Berdasarkan hasil DInSAR yang didapatkan selanjutnya dilakukan rata-rata dari semua pasangan yang terbentuk sehingga menghasilkan nilai rata-rata PMT dari hasil DInSAR tahun 2017 sampai 2020.

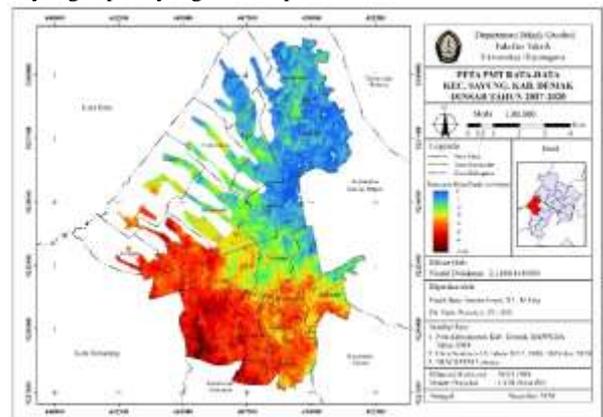
Kemudian data rata-rata hasil pengolahan DInSAR dilakukan validasi dengan data PMT hasil pengamatan GNSS tahun 2017 sampai 2020. Data pengamatan GNSS tahun 2017 didapatkan pada penelitian Afif, M., Yuwono, B. D., dan Awaluddin, M. (2018) sedangkan data tahun 2020 dilakukan pengukuran langsung. BM yang digunakan untuk validasi hasil DInSAR adalah BDN1, BDN3 dan PRWS.

Selain perbandingan nilai PMT kedua metode, dilakukan juga analisis lain mengenai penyebab fenomena PMT di Kecamatan Sayung berdasarkan dari kajian geologis dan juga penggunaan lahan. Sehingga didapatkan korelasi PMT terhadap kondisi geologis dan penggunaan lahan di Kecamatan Sayung.

IV. Hasil dan Analisis

IV.1 PMT DInSAR Tahun 2017-2020

Hasil dari seluruh pengolahan DInSAR yang telah dilakukan pada 5 pasang citra selanjutnya dilakukan perhitungan PMT, sehingga menghasilkan satu peta PMT DInSAR rata-rata tahun 2017 sampai 2020 di Kecamatan Sayung seperti yang terlihat pada Gambar 3.

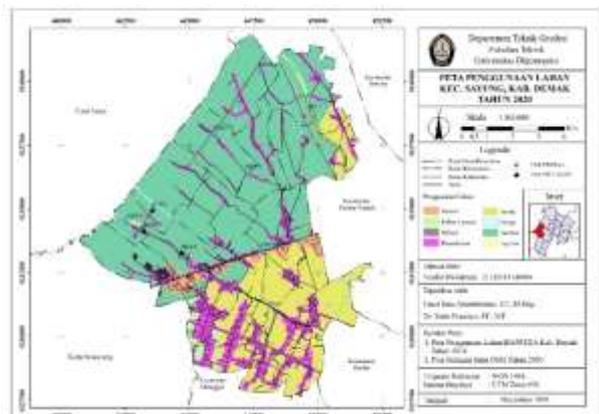


Gambar 3 PMT DInSAR tahun 2017-2020

Hasil dari pengolahan DInSAR tahun 2017 sampai 2020 menunjukkan Penurunan Muka Tanah terjadi lebih besar di bagian Barat Kecamatan Sayung dibandingkan dengan bagian Timur Laut, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Rentang PMT yang terjadi dari tahun 2017 hingga 2020 berdasarkan Tabel 2 adalah 0 sampai 7,43 cm/tahun dengan rata-rata 3,09 cm/tahun.

Tabel 2 Statistik PMT DInSAR tiap desa

Desa	Maksimal (cm/tahun)	Minimal (cm/tahun)	Rata-rata (cm/tahun)	STD (cm/tahun)
Sriwulan	-6,0914	-1,4047	-4,7531	0,4660
Purwosari	-6,7609	-2,4847	-4,5903	0,5169
Sidogemah	-4,9144	-0,2593	-2,4440	0,7219
Sayung	-6,5334	-1,4409	-3,9131	0,9722
Kalisari	-6,7383	-2,5026	-5,0399	0,5567
Jetaksari	-7,4126	-1,4062	-5,2268	0,6622
Dombo	-7,4345	-1,6749	-4,8495	0,6050
Bulusari	-6,4726	-1,2152	-4,1104	0,6534
Karangasem	-6,5118	-2,3128	-4,4579	0,6023
Prampelan	-5,5359	-1,5961	-3,8254	0,5388
Pilangsari	-5,5169	-0,2473	-2,9860	0,8638
Tambakroto	-5,4317	-0,0501	-2,8874	1,1367
Loireng	-4,7560	-0,2807	-2,2687	0,7136
Gemulak	-3,4597	-0,0001	-1,2698	0,6889
Tugu	-3,2633	-0,0029	-1,4086	0,4519
Sidorejo	-2,7091	-0,0002	-0,7667	0,4165
Banjarsari	-2,7717	-0,0007	-1,0982	0,4973
Surodadi	-2,3734	-0,0016	-0,9191	0,3694
Timbulsloko	-3,5056	-0,2802	-1,9891	0,5873
Bedono	-5,1947	-0,5384	-2,9241	0,9743
Rata-rata	-5,1694	-0,8850	-3,0864	0,6498



Gambar 6 Peta penggunaan lahan Kecamatan Sayung

Berdasarkan faktor penyebab PMT bisa berupa faktor alam dan aktivitas manusia. Dari hasil yang didapatkan, beban bangunan sangat berpengaruh terhadap terjadinya PMT di Kecamatan Sayung. Selain itu, wilayah ini secara geologis tersusun dari dataran aluvial, sehingga PMT bisa terjadi akibat konsolidasi tanah *aluvium*. Beban bangunan yang banyak ditambah dengan kondisi geologis yang rapuh menyebabkan PMT yang terus terjadi sepanjang tahun.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Kecepatan PMT dari hasil DInSAR yang telah dilakukan di Kecamatan Sayung pada tahun 2017 sampai 2020 mengalami laju PMT rata-rata sebesar $3,09 \pm 0,65$ cm/tahun. Penurunan terbesar berada di beberapa titik yang berlokasi di Desa Dombo dengan nilai sebesar 7,43 cm/tahun. Sedangkan untuk wilayah yang mengalami penurunan rata-rata terbesar adalah Desa Jetaksari dengan nilai sebesar 5,23 cm/tahun.
2. Hasil validasi kecepatan PMT yang didapatkan berdasarkan hasil DInSAR terhadap GNSS menghasilkan selisih dengan nilai 5,720 cm/tahun pada titik BDN1, 6,160 cm/tahun pada titik BDN3 dan 6,950 cm/tahun pada titik PRWS dengan standar deviasi sebesar 0,62. Hasil perbandingan ini didapatkan dengan nilai koherensi yang cukup rendah pada titik pengamatan GNSS dikarenakan wilayah penelitian yang didominasi perairan.
3. Penurunan muka tanah memiliki korelasi dengan laju pemadatan tanah alami di wilayah tersebut. Wilayah barat daya merupakan wilayah yang paling tinggi mengalami penurunan dan wilayah tersebut juga terjadi pemadatan tanah alami paling tinggi. Penggunaan lahan juga berkorelasi dengan penurunan muka tanah. Pola penurunan cenderung tinggi pada wilayah dengan penggunaan lahan pemukiman serta kawasan industri.

VI. Saran

Saran penulis untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Penggunaan metode DInSAR dengan Sentinel-1A di wilayah Kecamatan Sayung terdapat berbagai kendala seperti rendahnya nilai koherensi dari hasil interferogram. Sehingga untuk peneliti selanjutnya bisa digunakan metode yang lebih baru seperti SBAS dan PS-InSAR.
2. Penggunaan citra Sentinel-1A bisa dikombinasikan dengan Sentinel-1B untuk bisa mendapatkan data yang lebih baik dari segi koherensi dan temporalnya.
3. Penggunaan DEM pada DInSAR bisa dilakukan menggunakan DEM lain yang memiliki resolusi lebih tinggi dari DEM SRTM.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Affif, M., Yuwono, B. D., dan Awaluddin, M. (2018). Studi Penurunan Tanah Periode 2016 - 2017 Menggunakan GAMIT 10.6 (Studi Kasus : Pesisir Kecamatan Sayung, Demak) Mohammad. *Jurnal Geodesi Undip Januari 2018*, 3(1), 46–56.
- Bayuaji, L., Sumantyo, J. T., & Kuze, H. (2010). *ALOS PALSAR D-InSAR for land subsidence mapping in Jakarta, Indonesia*. Can. J. Remote Sensing, Vol. 36, No.1, 1-8.
- Bisri, M. (2012). Studi Tentang Pendugaan Air Tanah, Sumur Air Tanah dan Upaya Dalam Konservasi Air Tanah. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Gumilar, I., Abidin, H. Z., Hutasoit, L. M., Hakim, D. M., Andreas, H., Sidiq, T. P., & Gamal, M. (2012). Pemetaan Karakteristik Penurunan Muka Tanah Berdasarkan Metode Geodetik serta Dampaknya Terhadap Perluasan Banjir di Cekungan Bandung. *Globe*, 14(1), 17–27.
- Hanssen, R. F. (2001). *Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis* (Volume 2 ed.). Netherlands: Kluwer Academic.
- Kahar, J. (2008). *Geodesi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Kuang, S.-l. (1991). *Optimization and Design of Deformation Monitoring Schemes*. Ph.D. dissertation. University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 179 pp: Department of Surveying Engineering Technical Report No. 157.
- Mccandless, S. W. W., & Jackson, C. R. (1978). Chapter 1 . *Principles of Synthetic Aperture Radar*. SAR Marine User's Manual, 1–23.
- Pepe, A., & Calò, F. (2017). *A review of interferometric synthetic aperture RADAR (InSAR) multi-track approaches for the retrieval of Earth's Surface displacements*. Applied Sciences (Switzerland), 7(12). <https://doi.org/10.3390/app7121264>

- Sarah, D., Hutasoit, L. M., Delinom, R. M., & Sadisun, I. A. (2020). *Natural Compaction of Semarang-Demak Alluvial Plain and Its Relationship to the Present Land Subsidence*. Indonesian Journal of Geoscience, 7(3), 273–289. <https://doi.org/10.17014/ijog.7.3.273-289>
- Van Bemmelen, R. W. (1949). *The Geology of Indonesia Vol. 1A*. Batavia: Martinus Nijhoff, The Hauge.
- Whittaker, B. N., dan Reddish, D. J. (1989). *Subsidence: Occurrence, Prediction and Control*. Nottingham: Elsevier Science Publishers B.V.
- Zhao, Q., Ma, G., Wang, Q., Yang, T., Liu, M., Gao, W., Pepe, A. (2019). *Generation of long-term InSAR ground displacement time-series through a novel multi-sensor data merging technique: The case study of the Shanghai coastal area*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 154(December 2018), 10–27. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.05.005>