

ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL 1A DENGAN METODE DINSAR TAHUN 2019-2021

(STUDI KASUS : PEMBANGUNAN JALAN TOL SEMARANG DEMAK)

Saffira Noor Chotimah^{1*}, Yudo Prasetyo¹, Hana Sugiastu F¹ dan Harintaka²

¹Departemen Teknik Geodesi-Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Jawa Tengah Indonesia
Jl. Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Indonesia-75123Telp / Faks: (024)736834

²Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Daerah Istimewa Yogyakarta
Jl. Grafika Bulaksumur No.2, Sendowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281
e-mail: saffiranoor7@gmail.com*

(Diterima 22 November 2022, Disetujui 4 Desember 2022)

ABSTRAK

Kabupaten Demak dan Kota Semarang adalah daerah yang berada di pesisir Pulau Jawa yang padat dan pusat ekonomi yang berkembang secara pesat. Pada wilayah ini sering terjadi bencana sistematis berupa banjir rob dan penurunan muka tanah. Pembangunan jalan tol berfungsi untuk memperlancar kegiatan ekonomi di wilayah tersebut. Pemantauan secara berkelanjutan diperlukan untuk mengetahui dampak yang timbul seiring berjalannya waktu akibat fenomena penurunan muka tanah. Metode DInSAR dimanfaatkan dalam penelitian ini untuk memantau fenomena tersebut karena merupakan sebuah metode *quick assesment* yang murah, cepat, mencakup area yang luas dan tepat secara akurasi. Data yang digunakan terdiri dari 6 citra satelit Sentinel 1A mode IW yang diakuisisi tahun 2019-2021. Metode DInSAR menggunakan DEM SRTM 1 arcsec sebagai referensi topografi. Hasil penelitian sebelumnya berupa survei GNSS digunakan sebagai data pembanding dari hasil pengolahan DInSAR karena dianggap lebih teliti dalam hal akurasi. Data DInSAR dan GNSS di uji menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov untuk mengetahui signifikansi kedua data tersebut. Hasil penurunan muka tanah Kabupaten Demak dan Kota Semarang yang didapatkan dari metode DInSAR rata-rata sebesar $4,13 \pm 0,80$ cm/tahun. Penurunan rata-rata terbesar terjadi di Kecamatan Genuk sebesar $7,94 \pm 0,85$ cm/tahun sedangkan penurunan rata-rata terendah terjadi di Kecamatan Wonosalam sebesar $1,38 \pm 0,53$ cm/tahun. Hasil uji Kolmogorov-Smirnov adalah 0,4 dimana nilai tersebut melebihi batas 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua data tidak berbeda secara signifikan.

Kata kunci : Demak, Dinsar, Jalan Tol, penurunan muka tanah, Semarang, Uji Kolmogorov-smirnov

ABSTRACT

Demak Regency and Semarang City are areas located on the coast of Java Island which is dense and a rapidly developing economic center. In this region, there are often systematic disasters in the form of tidal floods and land subsidence. The construction of toll roads serves to facilitate economic activities in the region. Continuous monitoring is needed to determine the impacts that arise over time due to the phenomenon of land subsidence. The DInSAR method is used in this study to monitor the phenomenon because it is a quick assessment method that is cheap, fast, covers a large area and is precise in accuracy. The data used consisted of 6 IW mode Sentinel 1A satellite images acquired in 2019-2021. The DInSAR method uses DEM SRTM 1 arcsec as a topographic reference. The results of previous studies in the form of GNSS surveys were used as comparative data from the results of DInSAR processing because they were considered more thorough in terms of accuracy. DInSAR and GNSS data were tested using the Kolmogorov-Smirnov test to determine the significance of the two data. The results of land subsidence in Demak Regency and Semarang City obtained from the DInSAR method averaged 4.13 ± 0.80 cm / year. The largest average decrease occurred in Genuk District of 7.94 ± 0.85 cm / year while the lowest average decrease occurred in Wonosalam District of 1.38 ± 0.53 cm / year. The result of the Kolmogorov-Smirnov test is 0.4 where the value exceeds the limit of 0.05 so it can be concluded that the two data are not significantly different.

Keywords: Demak, Dinsar, Toll Road, land subsidence, Semarang, Kolmogorov Smirnov Test

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu proyek strategis nasional di Indonesia adalah Pembangunan Jalan Tol yang digunakan untuk meningkatkan mobilitas penduduk dan memperlancar lalu lintas. Pembangunan Jalan Tol Semarang -Demak berada di daerah dengan penurunan muka tanah yang tinggi. Penurunan muka tanah adalah sebuah peristiwa subsidensi yang disebabkan oleh perubahan volume lapisan batuan di bawahnya. Bandung, Jakarta, Semarang dan kota - kota besar lainnya di Indonesia sering mengalami fenomena Penurunan Muka Tanah (PMT). Faktor penyebab dan karakteristik berbeda di setiap kota (Gumilar,I., dkk, 2012).

Faktor penyebab PMT di Kota Semarang dan Kabupaten Demak berupa siklus geologi, pengambilan air tanah secara terus menerus, dan massa bangunan yang mengakibatkan tanah mengalami pemampatan yang mengakibatkan PMT di daerah ini cukup besar. Hal ini ditunjukkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR), nilai PMT Kota Semarang relatif besar berkisar antara 0-12,7 cm/tahun (Widada, S.,dkk, 2020), nilai PMT Kecamatan Sayung berkisar antara 0-7,43 cm/tahun (Dwiakkram, Ammarohman, & Prasetyo, 2021), nilai PMT Kecamatan Karang Tengah rata-rata dari tahun 2018-2020 sebesar 2,83 cm/tahun (Salsabila, Prasetyo, & Hadi, 2021).

Pembangunan jalan tol Semarang-Demak sepanjang 27 kilometer digunakan untuk meningkatkan dan memajukan transportasi, logistik serta sebagai tanggul laut dalam menangani rob dan abrasi di pantai utara. Pembangunan jalan tol ini dibagi menjadi 2 seksi yaitu seksi 1 yang meliputi Kecamatan Genuk, Kota Semarang dan seksi 2 yang meliputi Kecamatan Sayung, Karang Tengah, Wonosalam dan Demak yang berada di Kabupaten Demak.

Penelitian ini menggunakan citra Sentinel 1A pada *time frame* 2019-2021. Pengolahan data DInSAR ini dilakukan berdasarkan simulasi antara *track* 76 dengan waktu akuisisi 22 Februari 2019 dan 2 September 2019 sebagai pasangan 1, 2 September 2019 dan 5 Februari 2020 sebagai pasangan 2, 5 Februari 2020 dan 2 Oktober 2020 sebagai pasangan 3, 2 Oktober 2020 dan 24 April 2021 sebagai pasangan 4, 24 April 2021 dan 9 Oktober 2021 sebagai pasangan 5 serta pengolahan DInSAR tahun 2019-2021 dari citra yang digunakan. Pemilihan pasangan tersebut menggunakan batas koherensi lebih dari 0,6. Metode DInSAR digunakan untuk mengetahui hasil PMT yang terjadi di Kota Semarang -Demak.

Pengukuran GNSS hasil data sekunder digunakan sebagai validasi pengolahan metode DInSAR. Minimnya data yang digunakan untuk validasi sehingga dibutuhkan uji statistik non parametrik untuk mengetahui signifikansi data hasil pengolahan DInSAR dengan pengukuran GNSS.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju PMT yang terjadi di area pembangunan Jalan Tol Semarang Demak berdasarkan pengolahan DInSAR. Hasil pengolahan data yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan pemantauan PMT di daerah ini pada tahun-tahun mendatang.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sebagai berikut:

Tabel 1 Data Citra Sentinel 1A

No	Akuisisi	Subswath	Burst	Arah orbit
1	22 Februari 2019	IW 2	6-8	<i>Descending</i>
2	2 September 2019	IW 2	6-8	<i>Descending</i>
3	5 Februari 2020	IW 2	6-8	<i>Descending</i>
4	2 Oktober 2020	IW 2	6-8	<i>Descending</i>
5	24 April 2021	IW 2	6-8	<i>Descending</i>
6	9 Oktober 2021	IW 2	6-8	<i>Descending</i>

1. Data Batas administrasi Kota Semarang dan Kabupaten Demak
2. Data Validasi penurunan muka tanah menggunakan GNSS
3. DEM SRTM 1arcsec Kota Semarang dan Kabupaten Demak

2.2. Alat dan Penelitian

Alat yang diperlukan pada penelitian ini yaitu:

1. Perangkat keras berupa Laptop RAM 16GB
2. Perangkat Lunak, berupa:
 - a. *Microsoft Office Word* dan *Excel* 2016
 - b. *SNAP*
 - c. *QGIS*
 - d. *IBM SPSS Statistic 24*

2.3. Penurunan Muka Tanah (PMT)

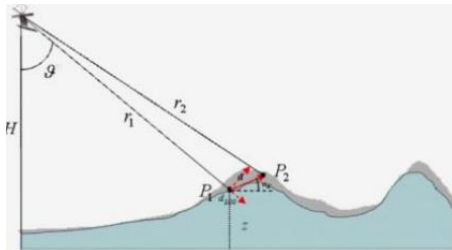
Penurunan Muka Tanah (PMT) adalah pergerakan permukaan tanah yang relatif terhadap acuan. PMT adalah suatu fenomena yang sering terjadi di pesisir utara Pulau Jawa Kota Jakarta, Kota Semarang, Kabupaten Demak, merupakan daerah yang terdampak penurunan tanah secara signifikan. Faktor penyebab dan karakteristik berbeda tiap kota (Gumilar, dkk., 2012). Terdapat tiga faktor yang menyebabkan PMT yaitu yang pertama faktor alami yang meliputi siklus geologi dan sedimentasi didaerah cekungan. Faktor kedua adalah pengambilan air tanah dalam jumlah banyak dan dalam waktu yang relatif lama. Faktor ketiga adalah massa bangunan yang mengakibatkan tanah mengalami pemampatan (Aulialia, 2017).

Tujuan pembangunan jalan tol Semarang - Demak adalah mengurangi kemacetan, menuju tempat wisata Demak serta sebagai salah satu solusi dalam mengatasi banjir rob yang berada disepanjang pantura atau sebagai tanggul laut penahan rob.

2.4. DInSAR

Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) merupakan teknologi interferometri untuk menentukan pergerakan permukaan bumi dengan mengurangi perbedaan fase antara dua gambar SAR dengan perkiraan posisi yang sama di ruang angkasa pada waktu yang berbeda. Interferogram menunjukkan perbedaan fasa yang ditunjukkan dari perbedaan jarak yang diukur dengan *line of sight* (LOS). Fasa topografik harus dihapuskan melalui sumber informasi ketinggian berupa *digital Terrain Model* (DTM) sehingga menyisakan informasi berupa perpindahan (Pepe & Calo, 2017).

Pada gambar Gambar 1 diilustrasikan pencitraan SAR untuk memperkirakan perpindahan di permukaan bumi dari arah *line of sight* (LOS), dengan θ merupakan sudut *side-looking* terhadap bidang horizontal ketinggian satelit (H). r_1 dan r_2 adalah vektor *baseline* pada dua versi perekaman satelit yang berbeda. P_1 dan P_2 merupakan titik pengamatan pergeseran di permukaan bumi. Ketinggian titik terhadap bidang referensi dilambangkan dengan z . d_{LOS} mewakili proyeksi deformasi yang terjadi terhadap orientasi sensor LOS.



Gambar 1 Geometri InSAR untuk Estimasi Perpindahan Permukaan Bumi (Pepe & Calo, 2017)

Model hitungan untuk menghitung model deformasi menggunakan Teknik DInSAR dapat dilihat pada II.1

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{disp} + \Delta\phi_{topo} + \Delta\phi_{orb} + \Delta\phi_{atm} + \Delta\phi_{scatt} + \Delta\phi_{noise} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan

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

Hasil pengukuran pergeseran pada tahap DInSAR merupakan pergeseran dalam arah LOS. Pergeseran diasumsikan hanya terjadi pada arah vertikal dan *incede* kira kira sama dengan sudut *off-nadir* sensor, maka pergeseran tanah dalam arah vertikal (d_v) dapat diturunkan sebagai (Curlander dan McDough,1991 dalam Bayuaji, 2010)

$$d_v = d_{LOS} \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2)$$

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

2.4.1. Sumber Dekorelasi

Dekorelasi adalah gangguan yang disebabkan oleh sumber kesalahan yang mempunyai panjang korelasi lebih kecil daripada jendela estimasi koherensi biasa. Dekorelasi ini menjadi salah satu efek pengolahan InSAR. Dekorelasi ini menunjukkan bahwa terdapat kesalahan pada orbit dan kesalahan akibat atmosfer. Beberapa sumber dekorelasi yang dinyatakan berdasarkan istilah korelasinya dapat dibedakan seperti (Hanssen, 2002) : dekorelasi geometrik (γ_{geom}), dekorelasi *doppler centroid* (γ_{DC}), dekorelasi volume (γ_{vol}), dekorelasi termal ($\gamma_{thermal}$) atau gangguan sistem, Dekorelasi temporal ($\gamma_{temporal}$), dan dekorelasi akibat pengolahan ($\gamma_{processing}$).

2.5. Uji Kolmogorov Smirnov 2 Sampel Independen

Uji Kolmogorov-Smirnov dua sampel independen adalah uji statistik non parametrik yang digunakan untuk mengetahui kedua kelompok sampel berasal dari populasi yang sama. Uji Kolmogorof-Smirnov 2 sampel digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui sampel dari pengolahan DInSAR berasal dari populasi yang sama dengan pengukuran GNSS. Pada penelitian ini disusun hipotesis nol dengan kedua kelompok data tidak memiliki beda secara signifikan. Kedua sampel berbeda signifikan apabila hipoteis nol ditolak (Priyastama, 2020). Pada penelitian ini menggunakan signifikansi 0,05 dan aplikasi IBM SPSS Statistik 24.

H_0 : data DInSAR dan GNSS tidak berbeda secara signifikan

H_a : Data DInSAR dan GNSS berbeda secara signifikan

Dasar pengambilan keputusan berdasarkan *Asig Symp*:

- a. Bila *Asig Symp* > 0,05 maka diterima.
- b. Bila *Asig Symp* < 0,05 maka ditolak.

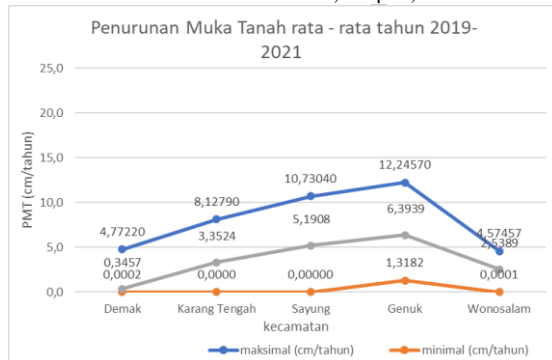
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. PMT DIInSAR 2019-2021

3.1.1. PMT DIInSAR Berdasarkan Batas Administrasi

Pengolahan DinSAR dari semua pasangan citra yang telah dilakukan, dibuat gabungan menjadi satu citra dari seluruh pasangan citra. Gabungan citra ini merupakan jumlah nilai PMT dari seluruh nilai hasil DIInSAR tiap pasangan. PMT terbesar dalam kurun waktu 2019-2021 terjadi di Kecamatan Genuk. Rentang PMT yang terjadi pada tahun 2019-2021 sebesar 0 sampai 12,25 cm/tahun.

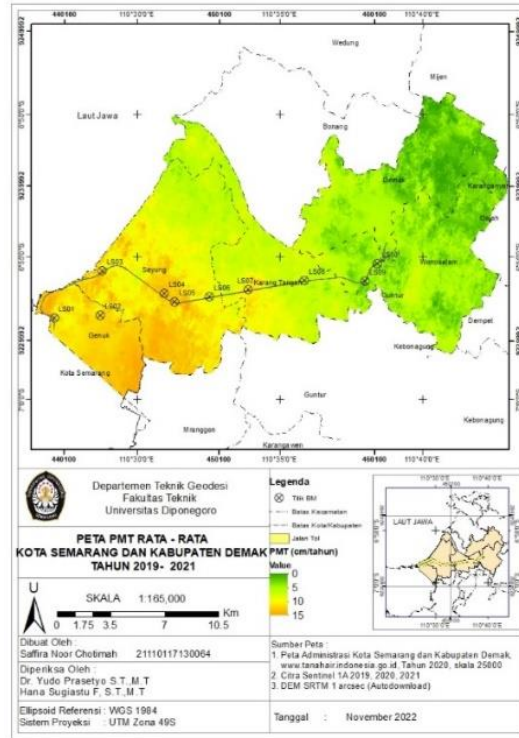
Gambar menunjukkan bahwa terjadi PMT di dengan penurunan yang bervariasi. Rata-rata kelajuan PMT yang terjadi di seluruh kecamatan sebesar $3,56 \pm 0,83$ cm/tahun. Penurunan terbesar terjadi di Kecamatan Genuk dengan penurunan sebesar 12,25 cm/tahun sedangkan penurunan terendah terjadi di Kecamatan Karang Tengah dan Kecamatan Sayung sebesar 0 cm/tahun. Pada Tabel menunjukkan penurunan rata-rata terbesar terjadi di Kecamatan Genuk sebesar $6,39 \pm 0,85$ cm/tahun sedangkan penurunan rata-rata terendah terjadi di Kecamatan Demak sebesar $0,35 \pm 0,28$ cm/tahun.



Gambar 2 Diagram PMT Rata-Rata DIInSAR Tiap Kecamatan

Tabel 2 Statistik PMT DIInSAR tahun 2019-2021

Nama Kecamatan	Maksimal (cm/tahun)	Minimal (cm/tahun)	Rata-Rata (cm/tahun)	Standar Deviasi (cm/tahun)	Percepatan (cm/tahun ²)
Demak	4,777	0	0,346	0,283	0,346
Karang Tengah	8,127	0	3,352	1,129	3,352
Sayung	10,730	0	5,191	1,468	5,191
Genuk	12,246	1,318	6,394	0,851	6,394
Wonosalam	4,575	0	2,539	0,427	2,539
Rata-Rata	8,090	0,253	3,564	0,832	3,564



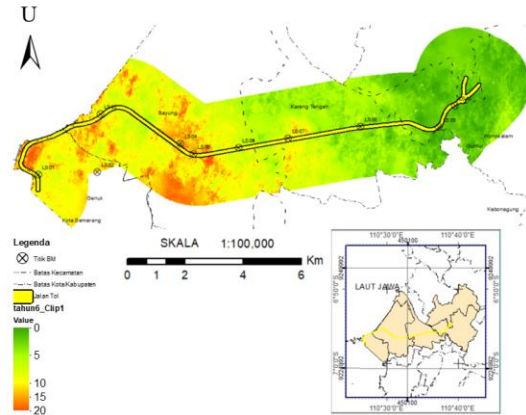
Gambar 3 Hasil DIInSAR tahun 2019-2021

Hasil kelajuan rata-rata Kecamatan Sayung $5,19 \pm 1,47$ cm/tahun yang diperoleh dari pengolahan tidak berbeda jauh dengan hasil pengolahan PMT Kecamatan Sayung tahun 2017-2020 pada (Dwiakkram, Ammarohman, & Prasetyo, 2021) sebesar $3,09 \pm 0,65$ cm/tahun. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui selisih penurunan muka tanah sebesar 2,1 cm/tahun. Hasil kelajuan rata-rata Kecamatan Karang Tengah adalah $3,35 \pm 1,13$ cm/tahun yang diperoleh dari pengolahan tidak berbeda jauh dengan hasil pengolahan PMT Kecamatan Karang Tengah tahun 2018-2020 pada (Salsabila, 2021) sebesar 2,83 cm/tahun. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui selisih penurunan muka tanah sebesar 0,52 cm/tahun. Disimpulkan meskipun data verifikasi memiliki keterbatasan berupa waktu yang tidak mencakup hingga 2021 dan wilayah penelitian yang hanya mencakup Kecamatan Sayung dan Kecamatan Karang Tengah, kelajuan PMT pada wilayah yang sama dengan data verifikasi memiliki kelajuan yang mendekati

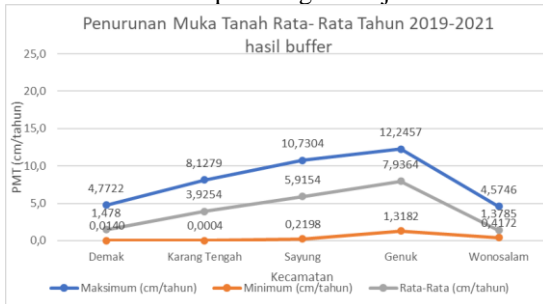
3.1.2. PMT DIInSAR Berdasarkan Buffer 2500 m dan buffer 16,2 m

Pengolahan DinSAR dari semua pasangan citra yang telah dilakukan, dibuat gabungan menjadi satu citra dari seluruh pasangan citra. Gabungan citra ini merupakan jumlah nilai PMT dari seluruh nilai hasil DIInSAR tiap pasangan. Gambar

merupakan hasil pengolahan DInSAR yang telah dilakukan *buffering* jalan tol sejauh 2500 m. Tabel menunjukkan bahwa terjadi PMT di wilayah pembangunan jalan tol dengan penurunan yang bervariasi. Rata-rata kelajuan PMT yang terjadi di seluruh kecamatan sebesar $4,13 \pm 0,80$ cm/tahun. Penurunan terbesar terjadi di Kecamatan Genuk dengan penurunan sebesar 12,25 cm/tahun sedangkan penurunan terendah terjadi di Kecamatan Karang Tengah dan Kecamatan Sayung sebesar 0 cm/tahun. Pada Tabel menunjukkan penurunan rata-rata terbesar terjadi di Kecamatan Genuk sebesar $7,94 \pm 0,85$ cm/tahun sedangkan penurunan rata-rata terendah terjadi di Kecamatan Wonosalam sebesar $1,38 \pm 0,53$ cm/tahun. Terdapat perbedaan Nilai PMT sebelum dan sesudah dilakukan *buffer* jalan tol. Hal ini terjadi karena adanya galian dan timbunan di sekitar pembangunana jalan tol.



Gambar 5 Hasil DInSAR tahun 2019-2021 dengan buffer 2500 m



Gambar 4 Diagram PMT Rata-Rata DInSAR Tiap Kecamatan dengan buffer 2500 m

Tabel 3 Statistik PMT DInSAR tahun 2019-2021 dengan buffer

Nama Kecamatan	Maksimal (cm/tahun)	Minimal (cm/tahun)	Rata-Rata (cm/tahun)	Standar Deviasi (cm/tahun)
Demak	4,777	0,014	1,478	0,183
Karang Tengah	8,127	0	3,925	1,249
Sayung	10,730	0,219	5,915	1,197
Genuk	12,246	1,318	7,936	0,851
Wonosalam	4,575	0,417	1,378	0,527
Rata-Rata	8,090	0,294	4,127	0,801

Tabel 4 Statistik PMT DInSAR tahun 2019-2021 dengan buffer 16,2 m

Nama Kecamatan	Maksimal (cm/tahun)	Minimal (cm/tahun)	Rata-Rata (cm/tahun)	Standar Deviasi (cm/tahun)
Demak	2,539	0	0,048	0,167
Karang Tengah	8,023	1,199	2,334	1,254
Sayung	9,147	2,116	3,195	0,966
Genuk	10,251	4,845	6,376	0,820
Wonosalam	3,632	0	1,378	0,572
Rata-Rata	6,718	1,632	2,666	0,776

Berdasarkan statistik yang dapat dilihat pada Tabel didapatkan PMT tertinggi terjadi di Kecamatan Genuk dengan 10,251 cm/tahun sedangkan PMT terendah terjadi di Kecamatan Wonosalam dengan 0,0004 cm/tahun.

Tabel 5 Perbandingan PMT Rata-Rata Hasil buffer 2500 m dan 16,2 m

Nama Kecamatan	Rata-Rata buffer 2500m (cm/tahun)	Rata-Rata buffer 16,2m (cm/tahun)	Selisih (cm/tahun)
Demak	1,478	0,048	1,43
Karang Tengah	3,825	2,334	1,59
Sayung	5,915	3,195	2,72
Genuk	7,936	6,376	1,5
Wonosalam	1,378	1,378	0
Rata-Rata		Rata-Rata	7,3
		Selisih	3,360
		RMSE	

Terdapat perbedaan nilai PMT pada *buffer* 2500 m dan *buffer* 16,2 m yang ditunjukkan pada Tabel . Dari tabel tersebut selisih tertinggi terdapat pada Kecamatan Sayung yaitu sebesar 2,72 cm/tahun dengan RMSE 3,36 cm/tahun. Hal ini terjadi karena adanya galian dan timbunan material di sekitar pembangunan jalan tol.

3.2. Uji Statistis

Uji Statistika digunakan untuk mengetahui perbandingan kelajuan PMT hasil DInSAR dengan pengukuran GNSS dari pasangan 5 (24 April 2021 dan 9 Oktober 2021) dengan data GNSS Tim UNDIP (31 Mei-2 Juni 2021 dan 7-9 Oktober 2021). Uji Kolmogorov-Smirnov 2 sampel *independent* digunakan untuk mengetahui signifikansi dari data DInSAR dan pengukuran GNSS.

Tabel 6 Perbandingan hasil DInSAR dan Pengamatan GNSS

Titik	DInSAR (cm/tahun)	Koherensi Titik	PMT GNSS (cm/tahun)	Selisih DInSAR dan GNSS (cm/tahun)
LS01	12,444	0,535	36,213	23,768
LS02	13,265	0,763	11,496	1,769
LS03	11,090	0,100	0	11,090
LS04	12,582	0,688	0	12,582
LS05	14,623	0,069	5,054	9,569
LS06	8,452	0,164	6,408	2,044
LS07	14,931	0,311	8,984	5,946
LS08	8,447	0,586	31,937	23,491
LS09	3,941	0,162	0	3,941
LS10	2,209	0,088	7,639	5,430
Rata-Rata Selisih				9,963
RMSE				12,559
Standar Deviasi				8,059

Berdasarkan Tabel 6 dan nilai rata rata selisih dapat dilakukan perhitungan mengenai standar error dari data selisih nilai PMT hasil DInSAR dan pengukuran GNSS. Rata-rata selisih dari DInSAR dan GNSS memiliki nilai sebesar 9,96 cm/tahun dengan standar deviasi (S) sebesar 8,06 cm dengan RMSE 12,56.

RMSE digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan sebuah model dalam memprediksi suatu nilai numerik. Semakin kecil nilai RMSE, dapat dikatakan model semakin akurat dalam memprediksi. Berdasarkan hasil verifikasi perbandingan PMT DInSAR 2019-2021 dengan pengukuran GNSS pada jurnal “Studi Penurunan Muka Tanah Menggunakan DInSAR Tahun 2017 – 2020 (Studi Kasus: Pesisir Kecamatan Sayung, Demak)” yang ditulis oleh Naufal Dwiakram, Fauzi

Janu Amarrohman, dan Yudo Prasetyo didapat hasil seperti pada Tabel .

Tabel 7 Perbandingan hasil DInSAR dan Pengamatan GNSS Kecamatan Sayung

Titik	DInSAR (cm/tahun)	Koherensi Titik	PMT GNSS (cm/tahun)	Selisih DInSAR dan GNSS (cm/tahun)
BDN1	10,240	0,105	9,185	1,055
BDN3	12,463	0,189	9,425	3,038
PR WS	9,471	0,387	10,966	1,495
Rata-Rata Selisih				1,862
RMSE				2,047
Standar Deviasi				1,041

Dari penelitian ini, pasangan 5 hasil pengolahan DInSAR dan pengukuran GNSS memiliki nilai RMSE 12,56. Sedangkan nilai RMSE dari PMT rata – rata 2019-2021 dengan pengukuran PMT menggunakan GNSS tahun 2017-2020 adalah 2,05. Hasil ini menunjukkan bahwa metode DInSAR memiliki tingkat akurasi yang rendah sehingga perlu penggunaan metode lain yang lebih baik seperti PS-InSAR. DInSAR memiliki tingkat akurasi cm sedangkan PS-InSAR memiliki akurasi hingga mm.

Perbedaan hasil pengolahan DInSAR menunjukkan nilai yang cukup besar, ini menunjukkan bahwa dari segi akurasi hasil pengolahan DInSAR masih kurang dibandingkan dengan pengukuran GNSS. Standar deviasi yang besar menunjukkan data yang semakin beragam (Meiryani, 2021). Ditinjau dari koherensi DInSAR pada *pixel* di titik koordinat BM menunjukkan koherensi yang bervariasi. Koherensi yang rendah menandakan bahwa adanya dekorelasi yang tinggi. Selain itu di wilayah penelitian sangat memungkinkan ditemui badan air berupa genangan akibat pembangunan jalan tol sehingga menyebabkan hasil DInSAR kurang teliti.

3.3. Uji Kolmogorov-Smirnov

Uji Statistik Kolmogorov Smirnov dilakukan pada penelitian ini untuk mengetahui signifikansi hasil PMT pengolahan DInSAR dan hasil pengukuran GNSS. Pengujian menggunakan variabel titik pengolahan DInSAR pasangan 5 dan titik pengukuran GNSS 2021.

Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai signifikansi *Asymp.Sig (2-tailed)* lebih dari 0,05 yaitu 0,4 yang dapat dilihat pada Gambar . Hasil ini menunjukkan bahwa H_0 diterima atau dengan kata lain data hasil PMT pengolahan DInSAR sebagai data yang diuji

tidak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap pengukuran GNSS.

Two-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

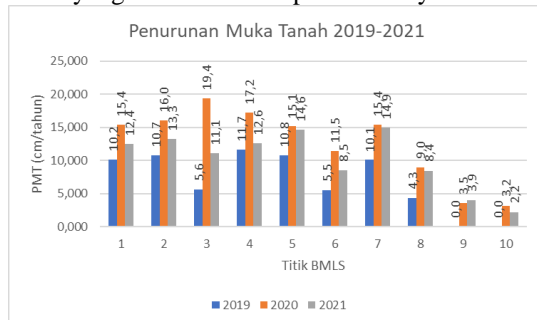
Frequencies		
VAR00004		N
VAR00003	DInSAR	10
	GNSS	10
	Total	20

Test Statistics ^a		
		VAR00003
Most Extreme Differences	Absolute	.400
	Positive	.200
	Negative	-.400
Kolmogorov-Smirnov Z		.894
Asymp. Sig. (2-tailed)		.400

a. Grouping Variable: VAR00004

Gambar 6 Hasil Uji Signifikansi

Berdasarkan Gambar dapat diketahui bahwa penurunan muka tanah tertinggi terjadi pada tahun 2020 di titik LS3 yang berada di Kecamatan Sayung sebesar 19,389 cm. Pasangan Citra yang digunakan pada tahun 2020 adalah bulan Februari dan Oktober dimana musim kemarau berlangsung sehingga aquifer dalam tanah menyusut karena pengaruh penguapan dan PMT pada tahun tersebut sangat tinggi. Pada tahun 2020 pembangunan seksi 2 di wilayah Kecamatan Sayung, Kecamatan Karang Tengah, Kecamatan Wonosalam, dan Kecamatan Demak dimulai. Pada proses pembangunan dibutuhkan distribusi material yang meningkatkan pemampatan tanah akibat beban tanah yang lebih berat daripada biasanya.



Gambar 7 PMT tahun 2019-2021 tiap titik BMLS

Penurunan ini terjadi karena adanya galian dan timbunan akibat aktivitas pembangunan jalan tol serta faktor alami berupa daerah sekitar BMLS berada di pesisir, perubahan spasial yang tinggi, daerah padat penduduk yang mengakibatkan *multipath*, terlalu dekat dengan daerah konstruksi yang mengakibatkan PMT semakin meningkat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Kelajuan PMT dari hasil DInSAR yang telah dilakukan di Kabupaten Demak dan Kota Semarang tahun 2019-2021 mengalami laju PMT rata-rata sebesar $4,13 \pm 0,80$ cm/tahun. penurunan rata-rata terbesar terjadi di Kecamatan Genuk sebesar $7,94 \pm 0,85$ cm/tahun sedangkan penurunan rata-rata terendah terjadi di Kecamatan Wonosalam sebesar $1,38 \pm 0,53$ cm/tahun.
2. Hasil perbandingan kelajuan PMT yang didapatkan berdasarkan hasil DInSAR dan pengukuran GNSS menghasilkan selisih 23,77 pada titik LS01, 1,77 pada titik LS02, 11,09 pada titik LS03, 12,58 pada titik LS04, 9,56 pada titik LS05, 2,04 pada titik LS06, 5,95 pada titik LS07, 23,49 pada titik LS08, 3,94 pada titik LS09, 5,43 pada titik LS10. Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov pada penelitian ini menunjukkan bahwa data hasil PMT pengolahan DInSAR sebagai data yang diuji tidak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap pengukuran GNSS karena nilai signifikansi lebih dari 0,05 yaitu 0,4.

4.2. SARAN

1. Penggunaan metode DInSAR dengan Sentinel 1A terdapat berbagai kendala sehingga untuk penelitian 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 variatif.
3. Penggunaan citra dengan beda waktu (temporal) yang lebih pendek atau menggunakan beda waktu yang berbeda dengan penelitian sehingga bisa mendapatkan data dengan dekorelasi spasial minimal.
4. Penggunaan citra *multi image* digunakan untuk meningkatkan akurasi dimana dengan menggunakan data pasangan yang beragam maka pola dari spektrum elektromagnetik dari *backscatter* bisa meningkatkan akurasi data hasil PMT.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulialia. (2017). *Penurunan Permukaan Tanah: Penyebab, Dampak dan Upaya Penanggulangan*. From <https://ilmugeografi.com>: <https://ilmugeografi.com/bencana-alam/penurunan-permukaan-tanah>
- Bayuaji, L., Sumantyo, J., & Kuze, H. (2010). ALOS PALSAR D-InSAR for Land

- Subsidence Mapping in Jakarta, Indonesia. *J. Remote Sensing*, 36(1), 1-8.
- Demak, P. K. (2021). *geograf dan Kependudukan*. Retrieved Januari 20, 2022 from <https://demakkab.go.id>: <https://demakkab.go.id/publikasi/geografi>
- Dwiakkram, N., Ammarohman, F., & Prasetyo, Y. (2021). Studi Penurunan Muka Tanah Menggunakan DInSAR Tahun 2017 – 2020 (Studi Kasus: Pesisir Kecamatan Sayung, Demak). *Jurnal Geodesi Undip*, 269-276.
- Dwiakkram, N., Ammarohman, F., & Prasetyo, Y. (2021). Studi Penurunan Muka tanah menggunakan DInSAR Tahun 2017-2021 . *Jurnal Geodesi*, 269-276.
- ESA. (2017). *SNAP*. Retrieved November 20, 2021 from <https://earth.esa.int>: <https://earth.esa.int/tools/snap>
- ESA. (2018). *Level-1 Interferometric Wide Swath SLC Products*. Retrieved June 22, 2021 from <https://sentinel.esa.int/>: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/products-algorithms/level-1/single-look-complex/interferometric-wide-swath>
- Gumilar, I., Abidin, H., Hutasoit, L., Hakim, D., Andreas, H., Sidiq, T., & Gamal, M. (2012, Juni). Pemetaan Karakteristik Penurunan Muka Tanah berdasarkan Metode Geodetik serta Dampaknya terhadap Perluasan Banjir di Cekungan Bandung. *Majalah Ilmiah Globe*, 14, No 1, 17-27.
- Gumilar, I., Abidin, H., Hutasoit, L., Hakim, D., Andreas, H., Sidiq, T., & Gamal, M. (2012). Pemetaan Karakteristik Penurunan Muka Tanah Berdasarkan Metode Geodetik serta Dampaknya Terhadap Perluasan Banjir di Cekungan Bandung. *Majalah Ilmiah Globe*, 14(No.1), 17-27.
- Hanssen, R. F. (2002). *Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Meiryani. (2021, Agustus 12). *MEMAHAMI NILAI STANDARD DEVIATION (STANDAR DEVIASI) DALAM PENELITIAN ILMIAH*. Retrieved Oktober 11, 2022 from <https://accounting.binus.ac.id/>: <https://accounting.binus.ac.id/2021/08/12/memahami-nilai-standard-deviation-standar-deviasi-dalam-penelitian-ilmiah/>
- Meiryani. (2021, Agustus 12). *MEMAHAMI NILAI STANDARD DEVIATION (STANDAR DEVIASI) DALAM PENELITIAN ILMIAH*. Retrieved Oktober 11, 2022 from <https://accounting.binus.ac.id/>: <https://accounting.binus.ac.id/2021/08/12/memahami-nilai-standard-deviation-standar-deviasi-dalam-penelitian-ilmiah/>
- Pepe, A., & Calo, F. (2017). a review of interferometric synthetic aperture RADAR (InSAR) multi-track approach for retrieval of Earth's Surfaces displacements. *Applied Sciences*, 7(12).
- Salsabila, A. Q., Prasetyo, Y., & Hadi, F. (2021). Analisis Penurunan Muka Tanah (PMT) menggunakan metode Diferential Interferometry Aperture Radar (DInSAR) (Studi kasus : Pesisir Kabupaten Demak). *Jurnal Geodesi*, 233-240.
- Salsabila, A. Q., Prasetyo, Y., & Hadi, F. (2021). Analisis Penurunan Muka tanah (PMT) menggunakan Metode Diferential Interferometry Aperture Radar (DInSAR) (studi kasus Pesisir Kabupaten Demak). *Jurnal Geodesi*, 233-240.
- Sarah, D., Hutasoit, L., Delinom, R., & Sadisun, I. (2020). Natural Compaction of Semarang-Demak Alluvial Plain and Its Relationship to the Present Land Subsidence. *Indonesian Journal of Geoscience*, 7(3), 273-289.
- Sutrisno, E. (2021, November 11). *Tol Semarang-Demak yang Multifungsi*. Retrieved Oktober 3, 2022 from <https://indonesia.go.id>: <https://indonesia.go.id/kategori/editorial/3214/Tol-Semarang-Demak-yang-Multifungsi>
- Wu, H., Zhang, Y., Kang, Y., & Cheng, X. (2019). Semi-automatic selection optimum image pairs based on the interferometric coherence for time series. *Remote Sensing Letters*, 10(11), 1105-1112.