

Studi Pengamatan Penurunan Permukaan Tanah Menggunakan Metode PS-InSAR di Daerah Blok Cepu

Land Subsidence Observation Study Using PS-InSAR Method in the Cepu Block Area

Arifatul Mu'amalah, Ira Mutiara Anjasmara*, Muhammad Taufik

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

*Korespondensi penulis: ira@geodesy.its.ac.id

Diterima: 14082020; Diperbaiki: 21092020; Disetujui: 01042022; Dipublikasi: 10042022

Abstrak: Pengambilan bahan cair dari dalam tanah dapat berupa pengambilan air tanah atau ekstraksi minyak bumi dari dalam tanah. Pengambilan bahan cair dapat menjadi salah satu faktor pemicu terjadinya penurunan tanah. Salah satu wilayah eksploitasi minyak bumi adalah Blok Cepu, yang terletak di Kabupaten Blora, Jawa Tengah dan Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Saat ini Blok Cepu diproyeksikan menjadi tulang punggung produksi minyak nasional dengan produksi minyak mencapai 225 ribu barel per hari. Dengan besarnya eksploitasi tersebut, perlu dilakukan pengamatan terkait kemungkinan adanya penurunan tanah di wilayah tersebut. Studi pengamatan dilakukan dengan menggunakan metode PS-InSAR dengan data Sentinel-1A dari akhir tahun 2014 hingga 2019 menggunakan perangkat lunak SARProz. Dari hasil pengolahan data menunjukkan bahwa penurunan tanah terjadi di semua blok dari Blok Cepu, kecuali di Blok D yang tidak terdeteksi titik PS. Penurunan tanah tertinggi terjadi di Blok dengan rata-rata laju mencapai -27,75 mm/tahun. Selama rentang akuisisi citra, jumlah produksi minyak pun berangsur angsur meningkat sehingga dilakukan potongan melintang untuk Blok A dimana terdapat cukup banyak sumur di wilayah tersebut.

Copyright © 2022 Geoid. All rights reserved.

Abstract : *Withdrawal of liquid material from the ground can be in the form of taking ground water or extracting petroleum from the ground. Withdrawal of liquid material can be one of the triggers for land subsidence. One of the oil exploration areas is the Cepu Block, which is located in Blora Regency, Central Java and Bojonegoro Regency, East Java. Currently, the Cepu Block is projected to be the backbone of national oil production with oil production reaching 225 thousand barrels per day. Given the magnitude of exploitation, it is necessary to make observations regarding the possibility of land subsidence in the area. The observational study was conducted using the PS-InSAR method with Sentinel-1A data from the end of 2014 to 2019 using the SARProz software. The results of data processing show that land subsidence occurred in all blocks of the Cepu Block., except in Block D where the PS point was not detected. The highest land subsidence occurred in the block with an average rate of -27.75 mm/yr. During the acquisitions image range, the amount of oil production gradually increased so that a cross section was made for Block A where there were quite a number of wells in the area.*

Kata Kunci: Eksploitasi Minyak, Penurunan tanah, PS-InSAR

Cara untuk sitasi: Mu'amalah, A., Anjasmara, I.M., Taufik, M. (2022). Studi Pengamatan Penurunan Permukaan Tanah Menggunakan Metode PS-InSAR di Daerah Blok Cepu. *Geoid*, 17(2), 222-231.

Pendahuluan

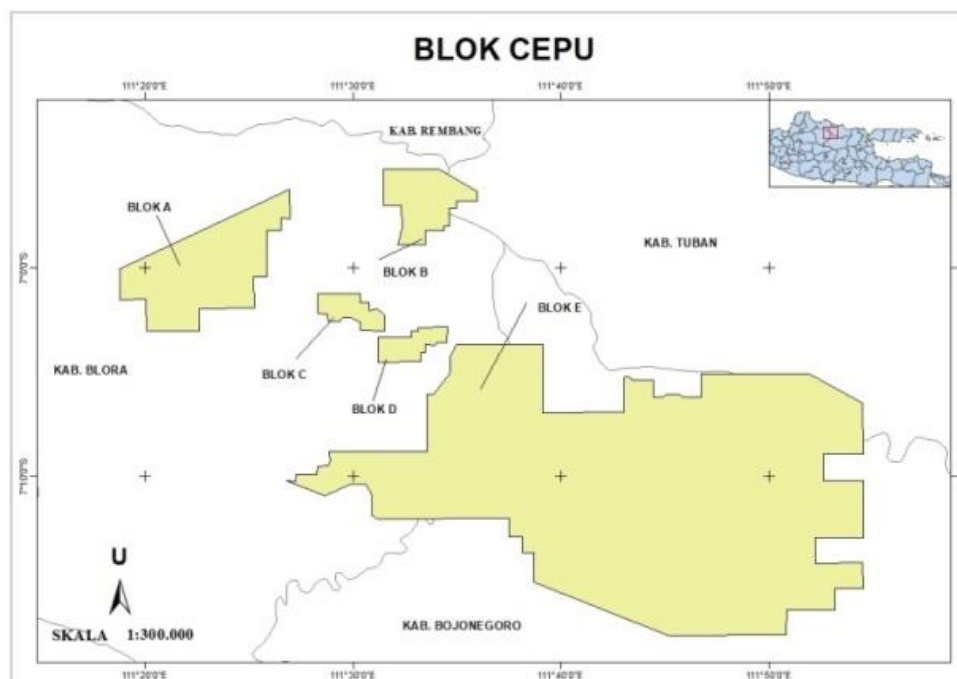
Penurunan tanah dapat disebabkan oleh banyak faktor, seperti proses-proses geologi seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, adanya rongga yang terdapat dalam tanah, adanya beban berat yang ada di permukaan, sedimentasi daerah cekungan, dan pengambilan bahan padat dan cair dari dalam tanah (Whittaker dan Reddish, 1989). Pengambilan bahan padat dapat berupa pengambilan bahan tambang, sedangkan pengambilan bahan cair dapat berupa ekstraksi air tanah atau minyak bumi. Salah satu wilayah eksploitasi minyak bumi yakni

Blok Cepu, yang secara administratif terletak di Kabupaten Blora, Jawa Tengah dan Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Menurut Direktur Operasi SKK Migas, Yani Abdurrahman, produksi minyak Blok Cepu mampu mencapai 225 ribu barel per hari, mengalahkan produksi minyak yang ada di Blok Rokan, Riau. Selain itu, dilihat dari kondisi geologisnya, Blok Cepu termasuk dalam wilayah Zona Rembang, Cekungan Jawa Timur Utara (Bemmelen, 1949). Struktur geologi yang membentang di daerah rembang hingga Madura memiliki sifat tektonik yang lebih kuat dari pada di lajur Kendeng (Sukardi 1992). Dengan kondisi tersebut maka diperlukan adanya penelitian untuk mengamati kemungkinan terjadinya peristiwa penurunan tanah yang terjadi di daerah Blok Cepu.

Pengukuran penurunan tanah secara tradisional biasanya mengandalkan teknik GPS dan sipat datar/levelling (Chaussard, 2013). Meskipun metode ini mampu menghasilkan ketelitian pengukuran yang presisi, namun metode ini akan memakan waktu, biaya, tenaga, dan hanya dapat dilakukan di beberapa lokasi tertentu. Oleh karena itu, dalam rangka melakukan studi pengamatan permukaan tanah di area yang cukup besar maka digunakanlah metode teknik PS-InSAR. Pemilihan metode PS-InSAR digunakan karena dapat mengukur pergerakan kecil pada suatu wilayah dari waktu ke waktu dengan akurasi DEM mencapai milimeter. Dengan menerapkan metode PS-InSAR, maka diharapkan akan mendapatkan estimasi besarnya nilai penurunan tanah di wilayah Blok Cepu diakibatkan dari kondisi-kondisi yang sudah dipaparkan di atas.

Data dan Metode

Penelitian ini mengambil studi kasus di wilayah eksploitasi minyak di Blok Cepu yang terletak di Kabupaten Blora, Jawa Tengah dan Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Blok Cepu terletak pada koordinat $6^{\circ}55'15,6''$ – $7^{\circ}17'45,6''$ LS dan $111^{\circ}18'50,4''$ – $111^{\circ}54'32,4''$ BT. Wilayah eksploitasi ini menurut PT. Sarana Patra Hulu Cepu memiliki total area seluas $918,19 \text{ km}^2$. Gambaran mengenai lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



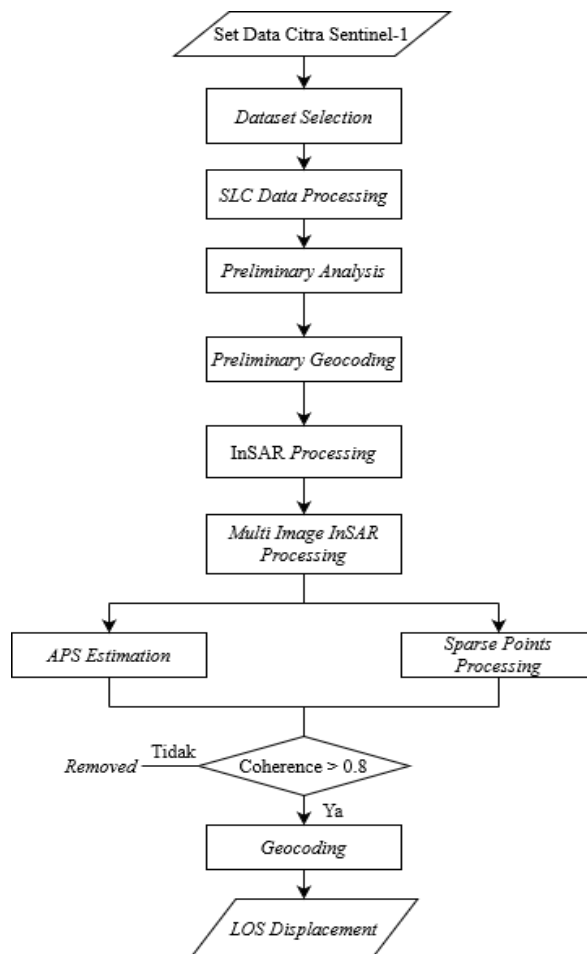
Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber: PT. Sarana Patra Hulu Cepu)

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini yakni data citra satelit Sentinel-1A dengan tipe SLC level 1.0, mode akuisisi IW, tipe polarisasi VV, dan arah terbang descending dengan orbit nomor 3. Selain itu data DEM SRTM digunakan untuk menghapuskan efek topografi dari citra SAR. Adapun daftar citra yang digunakan terdapat pada Tabel 1 di bawah. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak SARProz untuk mengolah citra radar, Google Earth sebagai perangkat lunak pendukung selama pemrosesan, serta Generic Mapping Tools (GMT) untuk melakukan pemlottingan.

Tabel 1. Daftar Citra Satelit Sentinel-1A

ID File Citra	Tanggal
S1A_IW_SLC__1SDV_20141204T220853_20141204T220928_003575_004381_A610	04 Desember 2014
S1A_IW_SLC__1SDV_20150322T220851_20150322T220927_005150_0067DE_9569	22 Maret 2015
S1A_IW_SLC__1SDV_20150602T220855_20150602T220930_006200_00815A_D0B0	02 Juni 2015
S1A_IW_SLC__1SDV_20150906T220859_20150906T220934_007600_00A861_8191	06 September 2015
S1A_IW_SLC__1SDV_20151211T220853_20151211T220929_009000_00CE6D_2C8B	11 Desember 2015
S1A_IW_SLC__1SDV_20160409T220852_20160409T220928_010750_0100CB_6986	09 April 2016
S1A_IW_SLC__1SDV_20160807T220859_20160807T220934_012500_0138D8_FB62	07 Agustus 2016
S1A_IW_SLC__1SDV_20160924T220901_20160924T220936_013200_014FF5_7E0A	24 September 2016
S1A_IW_SLC__1SDV_20161205T220900_20161205T220936_014250_0170BA_3CF2	05 Desember 2016
S1A_IW_SLC__1SDV_20170404T220905_20170404T220932_016000_01A64C_92EF	04 April 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170603T220908_20170603T220935_016875_01C114_484E	03 Juni 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20170907T220913_20170907T220940_018275_01EBAE_A1CE	07 September 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20171212T220913_20171212T220940_019675_0216F4_1E0B	12 Desember 2017
S1A_IW_SLC__1SDV_20180318T220911_20180318T220938_021075_02433A_234A	18 Maret 2018
S1A_IW_SLC__1SDV_20180610T220915_20180610T220942_022300_0269E1_6C4C	10 Juni 2018
S1A_IW_SLC__1SDV_20180902T220920_20180902T220947_023525_028FC7_6617	02 September 2018
S1A_IW_SLC__1SDV_20181207T220920_20181207T220947_024925_02BEF2_9F1F	07 Desember 2018
S1A_IW_SLC__1SDV_20190313T220917_20190313T220944_026325_02F17B_4E06	13 Maret 2019
S1A_IW_SLC__1SDV_20190605T220921_20190605T220948_027550_031BE0_4918	05 Juni 2019
S1A_IW_SLC__1SDV_20190921T220927_20190921T220954_029125_034E5B_1DFE	21 September 2019
S1A_IW_SLC__1SDV_20191202T220926_20191202T220953_030175_0372C0_2EB2	02 Desember 2019

Tahapan pengolahan dari penelitian ini dapat dijelaskan dalam Gambar 2. berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data

Pengolahan metode PS-InSAR dimulai dari tahap *Dataset Selection*. Pada tahap ini dilakukan pembacaan terhadap citra SLC yang diimport ke dalam perangkat lunak SARProz. Setelah diketahui jumlah citra yang akan diolah maka akan dilakukan perhitungan *baseline* untuk menentukan citra master. Setelah dilakukan perhitungan *baseline* selanjutnya masuk ke tahap *SLC Data Processing* untuk menentukan beberapa parameter seperti tipe polarisasi dan area *subswath*. Dari parameter tersebut selanjutnya dilakukan pengunduhan data orbit satelit secara otomatis serta pemilihan cakupan area (*Area of Interest*). Setelah AOI ditetapkan maka akan dilanjutkan dengan proses koregistrasi. Nilai *Amplitude Stability Index* (ASI) dihitung pada tahap *preliminary analysis* dari tiap-tiap *pixel* citra serta dilakukan pembentukan peta reflektifitas yang dibentuk dari rata-rata nilai amplitudo dari seluruh *pixel* yang menunjukkan kuat lemahnya hamburan sinyal balik dari citra radar yang dipantulkan oleh objek-objek di permukaan bumi. Perhitungan ASI menurut (Gonmuru dan Kumar, 2018) didapatkan dari:

$$ASI = 1 - D_A \quad (1)$$

Dimana D_A adalah *Dispersion Amplitude* yang menunjukkan nilai standar deviasi amplitudo dan rata-rata amplitudo.

$$D_A = \frac{\sigma_A}{\mu_A} \quad (2)$$

Data DEM SRTM diunduh secara otomatis pada tahap *Preliminary Geocoding* dan dilakukan proses geocoding dari data DEM tersebut dengan cara pemilihan GCP. Dalam penelitian ini data DEM yang digunakan yakni DEM SRTM. Tahap *InSAR Processing* dilakukan untuk pembentukan citra interferogram yang mengandung informasi perbedaan fase antara citra *master* dan citra *slave*. Dari perubahan fase ini maka akan dapat diketahui apakah terdapat perubahan pada permukaan bumi atau tidak. Beda fase yang terbentuk pada citra interferogram mengandung kontribusi dari beberapa fase seperti (Hanssen, 2001):

$$\phi_{int} = \phi_{topo} + \phi_{defo} + \phi_{orb} + \phi_{atm} + \phi_{noise} \quad (3)$$

Oleh karena yang diperlukan hanya beda fase deformasi, maka perlu menghapuskan semua kontribusi lain selain kontribusi beda fase deformasi. Kontribusi fase topografik dihilangkan dengan menggunakan data DEM yang sudah diunduh pada tahap sebelumnya. Kontribusi fase orbit dihapuskan dengan adanya pengunduhan data *precise orbit* pada tahap *SLC Data Processing*. Kontribusi fase noise dapat dihapuskan dengan dilakukan proses *multilook* selama proses interferogram, dan kontribusi fase atmosferik dapat dihapuskan dengan perhitungan nilai *Atmospheric Phase Screen* (APS) pada tahap setelah proses interferogram. Kemampuan penghapusan efek atmosferik inilah yang menjadi keunggulan metode PS-InSAR dibanding dengan metode InSAR sebelum-sebelumnya.

Setelah dilakukan pembentukan citra interferogram selanjutnya masuk ke tahap penentuan titik PS atau tahap *Multi Image InSAR Processing*, dimana pada tahap ini terbagi menjadi dua sub tahap, yakni tahap estimasi *Atmospheric Phase Correction* (APS) dan *Sparse Points Processing*. *APS Estimation* merupakan tahap pembentukan awal titik-titik PS yang selanjutnya disebut dengan PSC (PS Candidate) dengan menggunakan parameter *Amplitude Stability Index* dengan ambang batas sebesar 0,8 mengacu rekomendasi dari Farova dkk (2019). Pada tahap ini dilakukan perhitungan *linear deformation velocity* yang didapatkan dari beda fase pada proses interferogram. Dikarenakan pengukuran InSAR mengukur perubahan relatif terhadap suatu titik, maka dilakukan pemilihan titik referensi yang dijadikan acuan terhadap nilai pergerakan tanah dari titik PS nantinya. Pemilihan titik referensi didasarkan pada titik yang berada di area yang stabil yang tidak rentan mengalami pergerakan yang dibuktikan dengan *velocity rate* di titik tersebut adalah 0. Estimasi nilai APS juga dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan efek atmosferik akibat perubahan secara temporal dan spasial dari keadaan atmosfer.

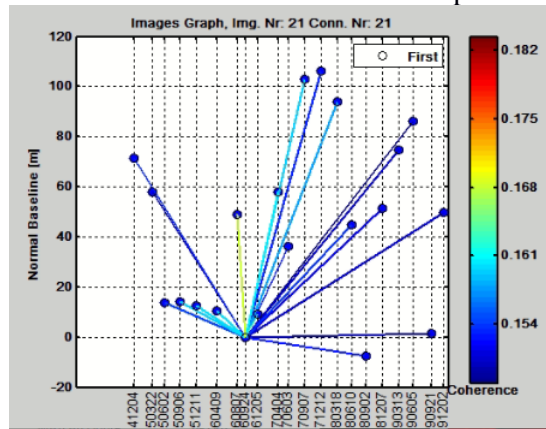
Selanjutnya pemilihan akhir titik-titik PS dilakukan pada tahap *Sparse Points Processing*. Parameter yang digunakan sama yakni nilai *Amplitude Stability Index* namun bisa menggunakan batas ambang yang lebih

rendah dari sebelumnya jika ingin mendapatkan titik PS yang lebih rapat dan padat. Nilai *velocity rate* yang sudah didapat pada tahap *APS Estimation* kemudian dikurangkan dengan nilai estimasi APS dan didasarkan pada titik referensi yang sudah dipilih sehingga didapat estimasi akhir *linear deformation velocity*. Titik akhir PS yang digunakan hanya titik yang memiliki nilai koherensi lebih dari 0.8 mengacu pada Yang (2019). Titik-titik tersebut selanjutnya dilakukan proses *geocoding* yang bertujuan untuk mengubah koordinat citra radar menjadi koordinat bumi, dalam hal ini yakni koordinat geografis.

Hasil dan Pembahasan

1. Perhitungan Baseline

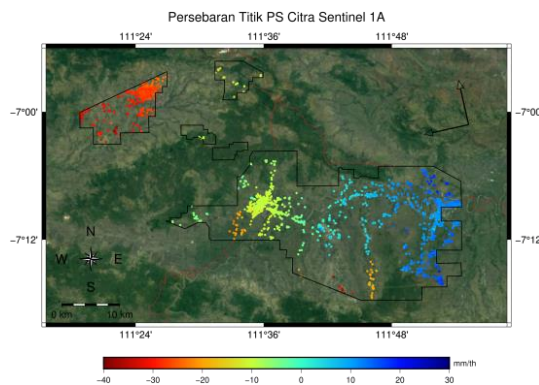
Kemampuan pengamatan fenomena deformasi menggunakan data SAR dari waktu ke waktu sangat bergantung kepada ketersediaan data yang ada, seperti sensor radar yang beroperasi, *revisit time*, mode akuisisi, dan *perpendicular baseline* (Rocca, 2004). Perhitungan *baseline* penting untuk dilakukan karena akan memengaruhi koherensi yang muncul yang menjadi salah satu indikator kualitas citra interferogram. Gambar 3 berikut menunjukkan plot dari citra beserta perhitungan normal *baseline*-nya. Citra yang menjadi pusat titik dari seluruh plot citra lainnya menandakan bahwa citra tersebut merupakan citra *master*.



Gambar 3. Plot Baseline Citra Sentinel-1A

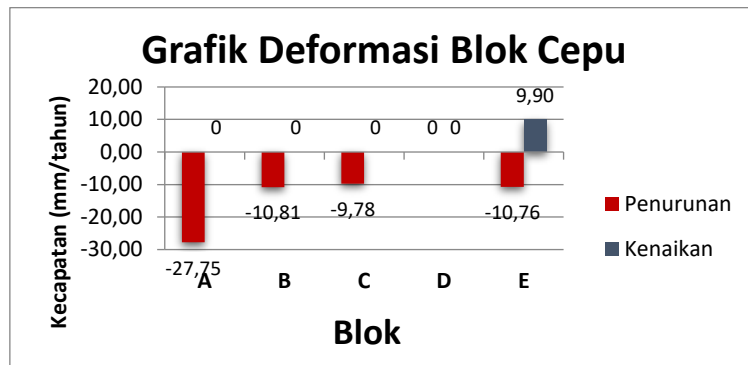
Menurut rekomendasi dari ESA (2007), untuk melakukan proses *unwrapping* dengan baik pada citra interferogram maka diperlukan normal *baseline* yang tidak lebih dari 450m. Dari perhitungan *baseline* pada Gambar 3 terlihat bahwa seluruh pasang citra *master* dan *slave* memiliki normal *baseline* yang tidak lebih dari 450m, sehingga proses *unwrapping* akan dapat dilakukan dengan baik. Selain itu, pengolahan menggunakan metode PS-InSAR memerlukan sejumlah citra SAR yang diakuisisi pada area yang sama. Minimal 15-20 citra pada *C-band* diperlukan dalam penggunaan PS-InSAR (Bovenga dkk, 2012). Oleh karena itu penelitian ini dianggap memenuhi kriteria minimal pengolahan metode tersebut.

2. Hasil PS-InSAR



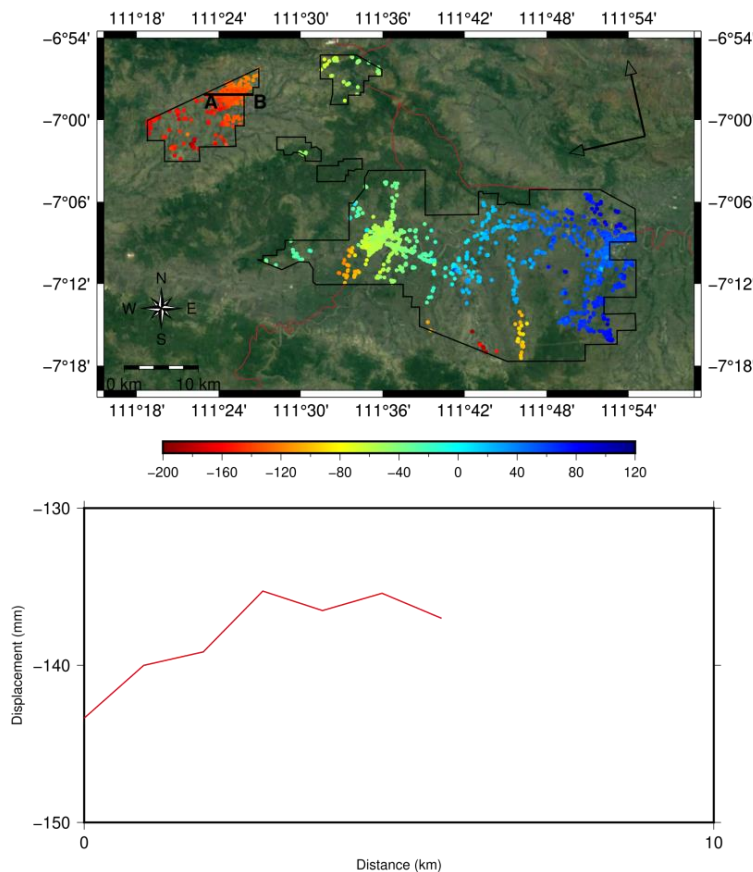
Gambar 4. Deformasi dalam LOS Blok Cepu

Persebaran titik-titik *permanent scatterers* (PS) hasil dari pengolahan PS-InSAR setelah dilakukan *subset* pada daerah penelitian menghasilkan sebanyak 2.281 titik sebagaimana tercantum pada Gambar 4.



Gambar 5. Grafik Deformasi Blok Cepu

Dari gambar di atas, terlihat bahwa penurunan tanah terjadi di hampir semua blok dari Blok Cepu, kecuali Blok D yang tidak terdeteksi titik PS sama sekali. Tidak terdeteksinya titik PS di Blok D dimungkinkan karena wilayah tersebut memiliki vegetasi yang cukup tinggi dibuktikan dengan latar belakang citra pada gambar di atas yang memiliki warna hijau tua sehingga sinyal radar Sentinel-1A tidak dapat menembus vegetasi tersebut.

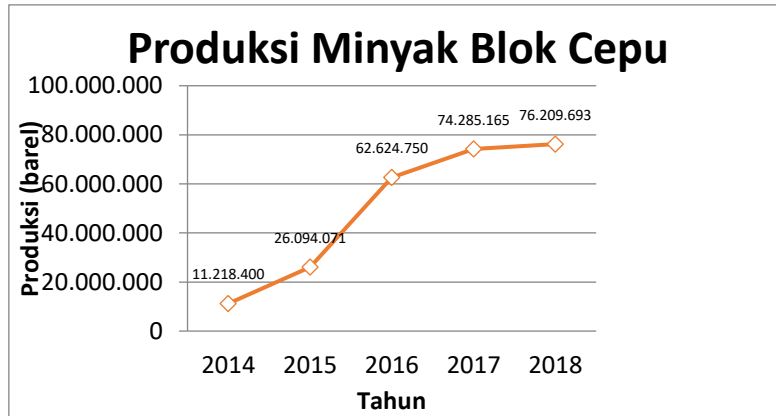


Gambar 6. Profil Melintang Blok A dari Blok Cepu

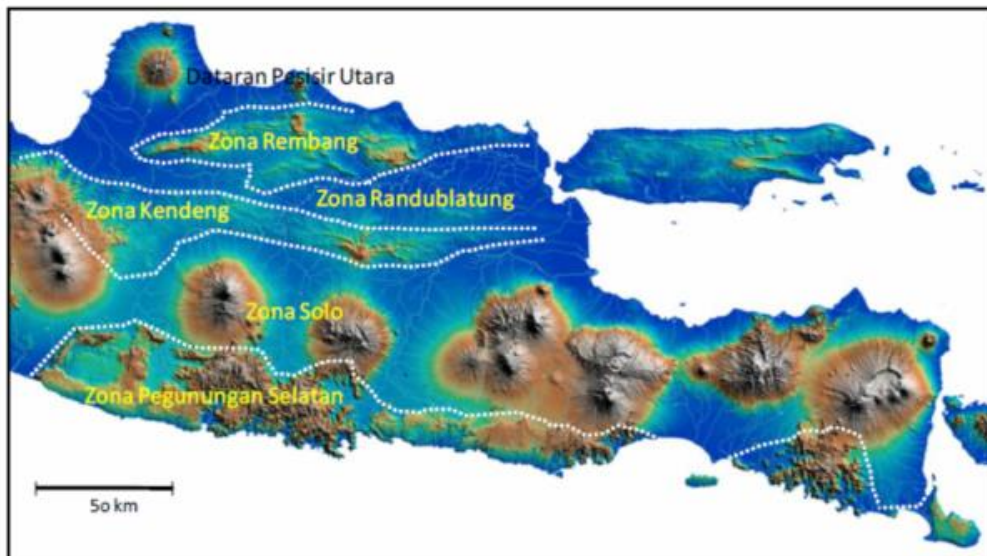
Penurunan tanah tertinggi terjadi di Blok A dengan rata-rata laju penurunan mencapai -27,75 mm/tahun dalam arah LOS. Di wilayah ini terdapat cukup banyak sumur minyak yang beroperasi hingga saat ini, yakni sekitar 133 sumur dari 267 sumur minyak (Sampurno, 2019). Oleh karena itu potongan melintang dilakukan pada wilayah Blok A ini untuk melihat *range cumulative displacement* yang terdapat di sepanjang garis profil

tersebut, mengingat wilayah tersebut memiliki jumlah sumur yang cukup banyak dan secara geologis terletak di atas lapisan alluvial. *Cumulative displacement* di sepanjang garis melintang tercatat berkisar antara -137 mm hingga -143,36 mm.

Produksi minyak Blok Cepu dari tahun ke tahun pun terus meningkat, seperti yang terlihat pada gambar di bawah. Hal ini bisa menjadi indikasi salah satu penyebab terjadinya penurunan tanah di wilayah Blok Cepu.



Gambar 7. Produksi Minyak Blok Cepu (Sumber: PT. Pertamina EP Cepu)



Gambar 8. Zonasi fisiografi regional Pulau Jawa bagian tengah dan timur (pembagian mengikuti Pannekoek, 1949; van Bemmelen, 1949). Sumber: Husein, 2016

Dilihat dari kondisi struktur geologisnya, wilayah Cepu yang terdapat di Zona Rembang di Cekungan Jawa Timur Utara ini memiliki perkembangan proses geologi yang cukup rumit. Menurut Tryono (2015), sejarah perkembangan tektoniknya mengikuti perkembangan tektonik yang ada di Jawa Timur, yang bisa dipelajari sejak zaman kapur akhir sampai sekarang. Pada Zaman Paleogen, Cekungan Jawa Timur Utara telah mengalami Regim Tektonik regangan yang merupakan akibat dari gerakan mundur (“roll back”) kearah selatan dari jalur magmatik yang ada pada Zaman Kapur Akhir. Akibatnya busur magmatik yang semula menempati posisi di Pulau Karimunjawa dan Pulau Bawean pada arah barat daya-timur laut menjadi bergeser ke arah barat-timur pada posisi di pantai selatan Jawa Timur. Sedangkan pada Zaman Neogen posisi busur magmatik berada pada daerah sebelah utara Kabupaten Pacitan – Trenggalek dan menerus ke timur, dengan arah busur magmatik tetap barat – timur. Perubahan gerakan maju dari busur magmatik Zaman Neogen ini menyebabkan terjadinya Regim Tektonik kompresi yang menghasilkan struktur geologi lipatan dan sesar di

merupakan jenis tanah yang memiliki permeabilitas yang umumnya lambat dan peka terhadap erosi (Muthmainnah, 2018). Menurut Chaussard (2013), sebagian besar kasus penurunan tanah di Indonesia terjadi dikarenakan proses kompaksi dari lapisan yang kompresibel. Tanah alluvial merupakan lapisan yang kompresibel, yang tidak terkonsolidasi dengan porositas awal yang tinggi. Lapisan kompresibel biasanya dapat ditemukan di permukaan, sering ditemukan di dekat muara sungai, sepanjang teluk, dan endapan rawa atau laguna. Hal ini sesuai dengan kondisi di lapangan dimana sebelah barat Blok E yang mengalami penurunan tanah, terdapat Sungai Bengawan Solo yang melintasi wilayah tersebut.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data, maka didapatkan estimasi nilai penurunan tanah di wilayah Blok Cepu yakni tertinggi terjadi di wilayah Blok A dengan rata-rata laju penurunan/*velocity rate* mencapai -27,75 mm/tahun. Pada wilayah Blok D tidak terdeteksi titik PS sama sekali dikarenakan vegetasi yang tinggi sehingga sinyal radar tidak dapat menembus vegetasi tersebut. Hal ini mengakibatkan tidak dapat diketahui informasi mengenai penurunan atau kenaikan di wilayah tersebut. Penurunan tanah tertinggi yang terjadi di Blok A salah satunya dapat disebabkan karena banyaknya sumur minyak yang terdapat di area tersebut, yakni sebanyak 133 sumur. Selain itu, secara geologis, lapisan tanah alluvial yang mendominasi beberapa blok dari Blok Cepu dapat menjadi penyebab adanya penurunan di wilayah tersebut.

Dalam penelitian selanjutnya, sebaiknya menggunakan data citra yang memiliki panjang gelombang lebih tinggi yakni L-band agar dapat memiliki kemampuan menembus vegetasi yang lebih baik dibanding C-band. Selain itu dalam penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan data lapangan sebagai data pembandingan untuk mengetahui keakuratan dari metode PS-InSAR yang telah dilakukan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Danielle Perissin yang telah menyediakan dan memberikan lisensi perangkat lunak SARProz.

Daftar Pustaka

- Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*, Vol. I A. Gov. Printing office, Martinus Nijhoff, The Hague
- Bovenga, F., Wasowski, J., Nitti, D.O., Nutricato, R., & Chiaradia, M.T. (2012). Using COSMO/SkyMed X-band and ENVISAT C-band SAR interferometry for landslides analysis. *Remote Sensing of Environment*, 119, 272-285.
- Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., & Hong, S. (2013). Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. *Remote Sensing of Environment*, 128, 150-161.
- Fárová, K., Jelének, J., Kopačková-Strnadová, V., Kycl, P. (2019). *Comparing DInSAR and PSI Techniques Employed to Sentinel-1 Data to Monitor Highway Stability: A Case Study of a Massive Dobkovičsky Landslide, Czech Republic*. *Remote Sensing MDPI*, 11, 2670
- Gonmuru, P., dan Kumar, S.. 2018. *PsInSAR based land subsidence estimation of Burgan oil field using TerraSAR-X data*. *Remote Sensing Applications Society and Environment* 9 (2018) 17–25
- Hanssen R. 2001. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. London: Kluwer Academic Publisher. The Netherlands:Delft University of Technology
- Husein, Salahuddin. 2016. *Fieldtrip Geologi Cekungan Jawa Timur Utara*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Irsyam, Masyhur dkk. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Tim Pusat Studi Gempa Nasional, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman
- Muthmainnah, N. U. 2018. *Analisis Deformasi Pulau Madura dari Pengolahan Data SAR Menggunakan Metode DINSAR*. Skripsi. Fakultas Teknik Sipl, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Rocca, F., 2004. *Diameters of the orbital tubes in long-term interferometric SAR surveys*. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 1 (3), 224–227
- Sampurno, Ahmad. 2019. *133 Sumur Minyak Tua Blora Berproduksi*. <https://www.suarabanyuurip.com/index.php/?kabar/baca/133-sumur-minyak-tua-blora-berproduksi>. Diakses pada 9 Juni 2020
- Sukardi 1992. *"Geologi Lembar Surabaya, Sapulu, Jawa*. Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Indonesia

-
- Tryono, F. Y. 2015. *Lapangan Geologi Sebagai Sarana Diklat Bidang Migas. Swara Patra*, 5(2). Retrieved from <http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/134>
- Whittaker, B.N. dan Reddish. (1989). *Subsidence Occurrence, Prediction, and Control*. Belanda: Elsevier Science Publishing Company INC
- Yang, Chia-Hsiang. 2019. *Spatiotemporal Change Detection Based on Persistent Scatterer Interferometry – A Case Study of Monitoring Urban Area*. Germany: University of Stuttgart



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