



Pergerakan Vertikal Titik GNSS CORS Pantai Utara Jawa Tengah dan Sekitarnya Tahun 2021-2023 Menggunakan Pengolahan Metode *Precise Point Positioning* (PPP)

(*Vertical Movement of GNSS CORS Points in the North Coast of Central Java and Surroundings from 2021 to 2023 using Precise Point Positioning (PPP) Processing Method*)

Alya Sitaningrum¹, Nurrohmat Widjajanti²

¹Alumni Program Sarjana, Program Studi Teknik Geodesi, Departemen Teknik Geodesi, FT-UGM, Yogyakarta, Indonesia

²Departemen Teknik Geodesi, FT-UGM, Yogyakarta, Indonesia

Penulis Korespondensi: Nurrohmat Widjajanti | Email: nwidjajanti@ugm.ac.id

Diterima (*Received*): 06/05/2024 Direvisi (*Revised*): 01/08/2024 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 01/08/2024

ABSTRAK

Penurunan tanah di Pantai Utara Jawa Tengah dan sekitarnya menimbulkan kerugian dan berdampak negatif. Mitigasi seperti pemantauan fenomena penurunan tanah di Pantai Utara Jawa Tengah memerlukan khususnya untuk pemantauan pergerakan vertikal dan kecepatannya. Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan yaitu *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Saat ini, pengolahan data GNSS dengan metode *Precise Point Positioning* (PPP) telah banyak digunakan untuk analisis pergerakan vertikal. Hasil koordinat pengolahan data GNSS beberapa tahun dapat ditentukan kecepatan pergerakan vertikalnya. Tujuan penelitian ini untuk menentukan nilai pergerakan vertikal dan kecepatannya pada titik *Continuously Operating Reference Stations* (CORS) di Pantai Utara Jawa Tengah dan sekitarnya dengan metode PPP. Pemantauan pergerakan vertikal dilakukan pada delapan titik GNSS CORS tahun 2021 s.d. 2023 di Pantai Utara Jawa Tengah yaitu CPKL (Pekalongan), CSMG (Semarang Genuk), CSEM (Semarang), dan CJPR (Jepara) dan di sekitarnya yaitu CBJN (Banjarnegara), CMGL (Magelang), CSLO (Solo), dan CPWD (Purwodadi). Pengolahan data GNSS dengan metode PPP menggunakan perangkat lunak PRIDE PPP-AR sehingga diperoleh estimasi nilai koordinat harian dan simpangan baku. Pergerakan vertikal dan simpangan bakunya diolah dengan metode *linear least square* sehingga diperoleh nilai kecepatan pergerakan vertikal dan simpangan baku setiap titik CORS kemudian dilakukan uji statistik *t-student* dengan tingkat kepercayaan 95%. Penurunan tanah tahun 2021 s.d. 2022 terjadi pada titik CPKL, CPWD, CSEM, dan CSMG sedangkan CBJN, CJPR, CMGL, dan CSLO terjadi kenaikan tanah. Tahun 2022 s.d. 2023 dan 2021 s.d. 2023 terjadi penurunan tanah di titik CMGL, CPKL, CPWD, dan CSMG sedangkan CBJN, CJPR, CSEM, dan CSLO mengalami kenaikan tanah. Nilai kecepatan pergerakan vertikal selama tiga tahun berkisar -4,39 s.d. -94,03 mm/tahun sedangkan kenaikannya -4,39 s.d. 96,32 mm/tahun. Penurunan tanah terjadi pada titik CMGL, CPKL, CPWD, dan CSMG. Kenaikan tanah terjadi pada titik CBJN, CJPR, CSEM, dan CSLO berturut-turut sebesar 54,24 mm/tahun, 96,32 mm/tahun, 3,23 mm/tahun, 26,6 mm/tahun.

Kata Kunci: Pekalongan, Semarang, pergerakan vertikal, penurunan tanah, GNSS CORS, PPP

ABSTRACT

Land subsidence on the North Coast of Central Java and its surroundings causes losses and has negative impacts. Mitigation, such as monitoring land subsidence phenomena on the North Coast of Central Java, is needed, especially for monitoring vertical movement and its velocity. One technology that can be utilized is the Global Navigation Satellite System (GNSS). GNSS data processing using the Precise Point Positioning (PPP) method is widely used for vertical movement analysis. The vertical movement velocity can be determined based on the coordinates of several years of GNSS data processing. This research uses the PPP method to determine the value of vertical movement and velocity at Continuously Operating Reference Stations (CORS) points on the North Coast of Central Java and its surroundings. The vertical movement monitoring was carried out at eight GNSS CORS points from 2021 to 2023 on the North Coast of Central Java, namely CPKL (Pekalongan), CSMG (Semarang Genuk), CSEM (Semarang), and CJPR (Jepara) and in the surrounding areas, namely CBJN (Banjarnegara), CMGL (Magelang), CSLO (Solo), and CPWD (Purwodadi). GNSS data processing with the PPP method using PRIDE PPP-AR software resulted in estimated daily coordinate values and standard deviations. The vertical displacement and standard deviation were processed using the linear least square method to obtain each CORS point's vertical movement velocity and standard deviation. Land subsidence occurred from 2021 to 2022 at points CPKL, CPWD, CSEM, and CSMG, while CBJN, CJPR, CMGL, and CSLO experienced land rise. From 2022 to 2023 and from 2021 to 2023, land subsidence occurred at points CMGL, CPKL, CPWD, and CSMG,

while land rise occurred at points CBJN, CJPR, CSEM, and CSLO. The vertical movement velocity value for three years ranged from -4.39 to -94.03 mm/year, while the increase was from 3,23 to 96.32 mm/year. Land subsidence occurred at points CMGL, CPKL, CPWD, and CSMG. Land rise occurred at the CBJN, CJPR, CSEM, and CSLO points at 54.24 mm/year, 96.32 mm/year, 3.23 mm/year, 26.6 mm/year, respectively.

Keywords: Pekalongan, Semarang, vertical movement, land subsidence, GNSS CORS, PPP

© Author(s) 2024. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Pergerakan vertikal tanah ke bawah disebut penurunan tanah. Penurunan tanah merupakan proses penurunan permukaan tanah dari ketinggian sebelumnya. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan penurunan muka tanah misalnya konsolidasi normal sedimen lempung dan pemompaan air tanah. Hal ini memberikan tekanan fisik pada tanah atau penurunan permukaan air tanah sehingga menyebabkan pengeringan tanah. Lapisan tanah liat dapat terkonsolidasi di bawah beratnya sendiri dalam kondisi normal. Pemompaan air tanah mengosongkan pori-pori lapisan tanah liat sehingga terkonsolidasi juga menyebabkan penurunan permukaan tanah (Damen, M.C.J. & Sutanta, H., 2003).

Pekalongan dan Semarang mempunyai karakteristik berupa endapan tanah aluvial (Sarah dkk., 2021; Sarah dkk., 2020). Endapan tanah aluvial pada daerah tersebut memiliki umur yang muda dan belum terlitifikasi yang menyebabkan masih dalam proses konsolidasi dan kompaksi. Oleh karena itu, tanah tersebut belum terkompaksi secara sempurna. Tanah yang mengalami proses tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan tanah (Sarah dkk., 2020).

Penurunan tanah di Pekalongan dan Semarang dapat menimbulkan kerugian dan berdampak negatif. Kerugian yang ditimbulkan biasanya terjadinya kerusakan infrastruktur. Kerusakan tersebut berupa kerusakan jaringan transportasi, jaringan pipa bawah tanah, pondasi bangunan, dan sistem drainase. Penurunan tanah mengakibatkan penurunan kualitas hidup di kota tersebut. Penurunan tanah menyebabkan terjadinya bencana banjir rob. Terjadinya banjir rob menimbulkan pencemaran air.

Upaya mitigasi akibat dampak yang ditimbulkan berupa pemantauan fenomena pergerakan vertikal, yaitu penurunan tanah di Pantai Utara Jawa Tengah dan sekitarnya. Pemantauan ini berguna untuk mengantisipasi dan meminimalisir dampak yang ditimbulkan akibat penurunan tanah. Oleh karena itu, pemantauan pergerakan vertikal di Pantai Utara Jawa Tengah dan sekitarnya perlu dilakukan, khususnya untuk analisis penurunan tanah di Pekalongan dan Semarang.

Pemantauan penurunan tanah di Semarang dengan InSAR dan *levelling* telah dilakukan oleh (Murdohardono dkk., 2007) dan (Murdohardono dkk., 2009). Analisis pergerakan vertikal untuk deteksi penurunan tanah dapat menggunakan teknologi GNSS. Penggunaan *receiver* GNSS geodetik dengan CORS dapat meningkatkan akurasi hingga mencapai fraksi milimeter, sehingga dapat digunakan

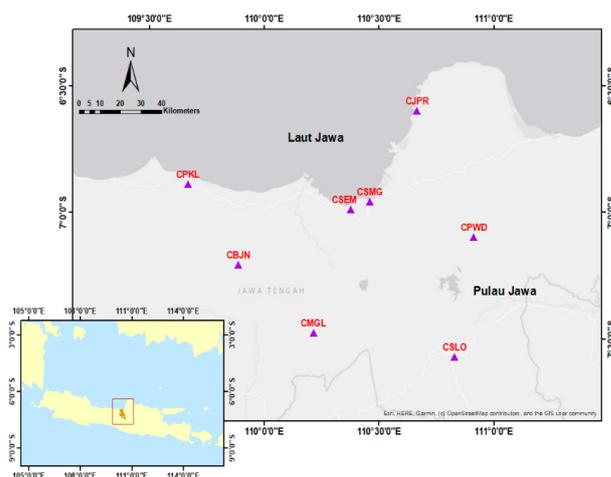
untuk mendeteksi penurunan tanah dari tahun ke tahun beserta kecepatannya (Gienputra, 2017). Pemilihan metode pengolahan data perlu disesuaikan dengan kebutuhan dan hasil penelitian yang ingin dicapai. Metode dalam mendeteksi pergerakan vertikal dapat dilakukan dengan metode PPP. Metode PPP memiliki keunggulan dalam efisiensi waktu, biaya survei, dan lainnya sehingga dapat ditentukan dengan cepat dan tepat pengambilan upaya mitigasinya (Hendarto, H., 2021). Penelitian ini menggunakan data pengamatan GNSS CORS Pantai Utara Jawa Tengah dan sekitarnya tahun 2021 s.d. 2023 diolah menjadi koordinat dengan metode PPP untuk mendeteksi pergerakan vertikal. Analisis statistik diperlukan untuk mengetahui apakah besarnya perbedaan koordinat antar tahun merupakan besaran signifikan. Penelitian menggunakan pengujian kecepatan pergerakan vertikal setiap titik CORS dengan uji *t-student*.

2. Data dan Metodologi

2.1. Data

Data utama berupa delapan data RINEX titik GNSS CORS di Pantai Utara Jawa Tengah yaitu CPKL, CSEM, CSMG, CJPR dan di sekitarnya yaitu CBJN, CMGL, CSLO, CPWD. Data tersebut diperoleh dari Badan Informasi Geospasial. Data pendukungnya, yaitu data *precise* dan *broadcast ephemeris, leap second*, ANTEX, ionosfer, koreksi atmosfer, dan koreksi pasang surut.

Lokasi dan distribusi titik CORS dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi dan distribusi titik CORS (Geoportal Jawa Tengah, 2024)

2.2. Metodologi

Tahapan utama penelitian ini yaitu pengolahan data RINEX, perhitungan nilai pergerakan vertikal dan kecepatannya setiap titik CORS, evaluasi nilai kecepatan pergerakan vertikal, dan analisis hasil.

2.2.1. Konversi Data RINEX

Data RINEX titik CORS memiliki format Hatanaka (*.yyd) sehingga perlu dikonversi ke format pengamatan (*.yyo). Konversi RINEX dilakukan dengan perangkat lunak crx2rnx.

2.2.2. Kontrol Kualitas Data

Pengecekan kualitas data dilakukan dengan perangkat lunak TEQC. Pengecekan menggunakan proses *lite quality check* untuk menilai kualitas data RINEX pada *file* pengamatan.

2.2.3. Pengolahan Data dengan Metode PPP

Pengolahan data menggunakan perangkat lunak *open source* berupa PRIDE PPP-AR. Metode PPP untuk penentuan posisi dengan data fase dan *pseudorange* dari pengamatan GPS dengan tipe geodetik. Penentuan posisi absolut dengan satu *receiver* menggunakan *dual frequency receiver* GPS yang diikatkan dengan sistem referensi tertentu. Pengolahan data GNSS dengan metode PPP dengan perangkat lunak PRIDE PPP-AR dilakukan setiap DOY yang terpilih dan tersedia. Pengolahan data GNSS dilakukan pada setiap titik CORS sehingga menghasilkan nilai koordinat harian dengan sistem referensi ITRF2014 yang merupakan *default* dari perangkat lunak tersebut.

Pengaturan pengolahan data GNSS perlu ditambahkan koreksi dengan memilih *options*. Konfigurasi pengolahan data berupa koreksi orbit satelit, koreksi jam satelit, *Earth Rotation Parameters* (ERP), koreksi bias *code/phase*, dan koreksi *quaternions*. Terdapat parameter *tides* berupa koreksi pasang surut air laut, *Horizontal Troposphere Gradient* (HTG) model, *Zenith Tropospheric Delay* (ZTD), dan koreksi *delay ionosfer* dengan *2nd ordered*.

Hasil pengolahan data GNSS dengan perangkat lunak PRIDE PPP-AR berupa *amb file*, *cst file*, *htg file*, *pos file*, *rck file*, *res file*, *stt file*, dan *ztd file*. Pengolahan selanjutnya menggunakan *pos file* untuk memperoleh nilai pergerakannya dengan pembuatan PBO *station position time series* setiap titik.

2.2.4. Perhitungan Kecepatan Pergerakan Vertikal

Perhitungan kecepatan pergerakan vertikal menggunakan metode *linear least square*. *Input* data berupa DOY, pergeseran vertikal (dU), dan simpangan bakunya (Su). DOY terdiri atas tahun, bulan, dan tanggal pengamatan. Nilai pergeseran vertikal setiap DOY diperoleh dari selisih antara nilai koordinat harian dengan rerata nilai koordinat. Dalam hal ini, DOY setiap titik CORS. Namun demikian, setiap titik memiliki jumlah DOY yang berbeda karena tidak tersedia data pada DOY tersebut. Perbedaan jumlah DOY setiap titik CORS mengakibatkan

jumlah persamaan dan jumlah parameter juga berbeda. Hasil perhitungan memiliki format *.vel yang berisi kecepatan pergerakan vertikal dan simpangan bakunya.

2.2.5. Uji Statistik

2.2.5.1. Hasil Uji statistik Kecepatan Pergerakan Vertikal Selama Tiga Tahun

Uji statistik dilakukan pada kecepatan pergerakan vertikal selama tiga tahun 2021 s.d. 2023 masing-masing titik CORS untuk mengetahui tingkat signifikansinya. Sebelum uji statistik, tahapan pertama merumuskan hipotesis untuk membuat keputusan. Dalam hal ini, hipotesis awal (Ho) yaitu pergerakan vertikal titik CORS tidak signifikan dan hipotesis alternatif (Ha) yaitu pergerakan vertikal titik CORS signifikan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai t_v hitungan dengan nilai tabel *t-student* sesuai persamaan (1).

$$t_v < t_{(\frac{\alpha}{2}, df)} \quad (1)$$

Nilai t_v ditentukan dengan persamaan (2) (Ghilani, C. D., 2010).

$$t_v = \left| \frac{V_z}{\sigma V_z} \right| \quad (2)$$

Keterangan:

- t_v : t hitung untuk kecepatan pergerakan vertikal
- $t_{(\frac{\alpha}{2}, df)}$: nilai statistik tabel *t-student*
- V_z : kecepatan pergerakan vertikal selama tiga tahun
- σV_z : simpangan baku kecepatan pergerakan vertikal

Nilai tabel *t-student* dengan tingkat kepercayaan 95% dan derajat kebebasan ∞ yaitu 1,96. Ho diterima apabila memenuhi persamaan (1) sehingga nilai pergerakan vertikalnya tidak signifikan sehingga tidak terjadi pergerakan vertikal selama tiga tahun di titik CORS begitupun sebaliknya.

2.2.5.2 Hasil Uji Statistik Parameter Berpasangan

Uji statistik parameter berpasangan dilakukan pada kecepatan pergerakan vertikal setiap titik CORS untuk menguji tingkat signifikansi nilai kecepatan pergerakan vertikal di titik yang sama namun rentang waktunya berbeda. Dalam hal ini, kecepatan penurunan tanah tahun 2021 s.d. 2022 (tahun I) dan 2022 s.d. 2023 (tahun II). Ho pada uji ini yaitu pergerakan vertikal rentang tahun I sama dengan tahun II dan Ha yaitu pergerakan vertikal rentang tahun I tidak sama dengan tahun II. Perhitungan uji statistik parameter berpasangan menggunakan persamaan (3) (Ghilani, C. D., 2010).

$$t_{v12} = \left| \frac{V_{z1} - V_{z2}}{\sqrt{\sigma V_{z1}^2 + \sigma V_{z2}^2}} \right| \quad (3)$$

Keterangan:

- t_{v12} : t hitung untuk kecepatan pergerakan vertikal
- $t_{(\frac{\alpha}{2}, df)}$: nilai statistik tabel *t-student*
- V_{z1} : nilai kecepatan pergerakan vertikal rentang tahun I
- V_{z2} : nilai kecepatan pergerakan vertikal rentang tahun II
- σV_{z1} : simpangan baku kecepatan pergerakan vertikal rentang tahun I
- σV_{z2} : simpangan baku kecepatan pergerakan vertikal rentang tahun II

H_0 diterima apabila memenuhi persamaan (1). H_0 diterima berarti pergerakan vertikal tahun 2021 s.d. 2022 sama dengan tahun 2022 s.d. 2023.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan pembahasan hasil pengolahan data setiap titik CORS dari tahun 2021 s.d. 2023. Hasil dan pembahasan dijelaskan dalam lima bagian yaitu:

3.1. Analisis Kontrol Kualitas Data GNSS

3.1.1 Hasil Nilai MP1 dan MP2

Nilai kesalahan MP1 dan MP2 merupakan *multipath* kombinasi linier antara pengamatan *pseudorange* dan *carrier phase*. *Multipath pseudorange* terdiri atas sinyal L1 dan L2. L1 untuk pengamatan kode C/A atau P sedangkan L2 untuk pengamatan kode P (Yulaikhah dkk., 2018). Nilai kesalahan MP1 dan MP2 (*min*: minimum, *max*: maksimum, dan *mean*: rerata) pada setiap titik CORS masing-masing tahun ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kesalahan MP1 dan MP2 (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

No	Titik	MP1			MP2		
		Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
1.	CBJN	0,41	0,79	0,54	0,45	0,89	0,55
2.	CJPR	0,49	1,67	0,71	0,95	2,04	1,47
3.	CMGL	0,25	0,80	0,40	0,22	0,98	0,57
4.	CPKL	0,12	0,70	0,30	0,07	0,66	0,32
5.	CPWD	0,83	1,70	1,22	0,72	1,71	1,04
6.	CSEM	0,27	1,30	0,77	0,26	1,21	0,73
7.	CSLO	0,57	1,03	0,69	0,54	1,01	0,67
8.	CSMG	0,64	1,31	0,78	0,59	1,07	0,80

Nilai kesalahan MP1 dan MP2 terendah berada pada titik CPKL dan tertinggi dimiliki oleh titik CJPR. Kedelapan titik memiliki rerata nilai kesalahan MP1 berada pada rentang 0,3 s.d. 1,22 sedangkan MP2 berada pada rentang 0,32 s.d. 1,47. Titik yang memiliki nilai rerata MP1 dan MP2 rendah, yaitu titik CPKL. Nilai tersebut kurang dari 0,5 m. Titik CPWD memiliki nilai rerata parameter MP1 dan MP2 yang tinggi sehingga melebihi 0,5 m.

Terdapat titik CMGL yang juga memiliki rerata parameter MP1 kurang dari 0,5. Selain titik CPKL dan CMGL, titik lain memiliki nilai rerata MP1 yang melebihi

0,5. Berbeda dengan nilai rerata parameter MP2, selain titik CPKL nilainya melebihi 0,5. Hal ini terjadi karena efek *multipath*. Antena GNSS tidak menerima sinyal langsung dari satelit melainkan dari beberapa sinyal tidak langsung karena difraksi atau pantulan sinyal. Efek *multipath* dapat menurunkan kualitas data pengamatan karena kondisi obstruksi. Titik tersebut berada pada objek sumber *multipath* dan obstruksi (Yulaikhah dkk., 2018). Efek *multipath* dapat dikurangi dengan pengamatan durasi panjang atau kontinu selama 24 jam.

3.1.2 Hasil Nilai IOD Slips dan IOD or MP Slips

Nilai kesalahan IOD *slips* dan IOD or MP *slips* merupakan kesalahan akibat keterlambatan sinyal dari satelit ke *receiver*. Hal ini dikarenakan kondisi atmosfer yang kurang baik. Sinyal GNSS yang melewati ionosfer berubah jalur perjalanannya. Saat melewati troposfer, sinyal GNSS dibiarkan sehingga kecepatan sinyal berubah. Nilai statistik kesalahan IOD *slips* dan IOD or MP *slips* (*min*: minimum, *max*: maksimum, dan *mean*: rerata) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kesalahan IOD *slips* dan IOD or MP *slips* (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

No	Titik	IOD <i>slips</i>			IOD or MP <i>slips</i>		
		Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
1.	CBJN	50	423	149,55	53	442	159,82
2.	CJPR	158	499	251,55	195	537	281,59
3.	CMGL	5	131	35,92	7	139	40,42
4.	CPKL	0	342	103,21	0	354	110,69
5.	CPWD	157	868	479,46	167	906	512,11
6.	CSEM	6	722	299,76	9	773	337,12
7.	CSLO	15	535	152,29	17	575	178,04
8.	CSMG	168	665	287,47	193	705	315,79

Nilai kesalahan IOD *slips* dan IOD or MP *slips* terendah berada pada titik CPKL dan tertinggi dimiliki oleh titik CPWD. Rerata nilai kesalahan IOD *slips* berada pada rentang 35,92 s.d. 479,46 sedangkan IOD or MP *slips* berada pada rentang 40,42 s.d. 512,11. Secara keseluruhan, nilai IOD *slips* dan IOD or MP *slips* bervariasi di setiap titiknya.

Titik yang memiliki nilai rerata IOD *slips* dan IOD or MP *slips* rendah, yaitu titik CMGL. Nilai tersebut kurang dari 100 m. Titik CPWD memiliki nilai reratanya yang tinggi sehingga melebihi 100 m. Hal ini dikarenakan kualitas data yang kurang baik akibat efek ionosfer. Penyebabnya, yaitu sinyal satelit ke *receiver* mengalami *delay* sehingga ketelitian ukuran jaraknya berkurang.

Ketiga parameter tersebut tidak memenuhi kriteria kontrol kualitas dengan indikator baik menurut Lestari, D., 2006. Namun demikian, semua data GNSS yang tersedia tetap diolah dengan metode PPP untuk menganalisis nilai hitungan pergerakan vertikal. Pengolahan dengan metode PPP menggunakan *file* koreksi pengamatan GNSS. *File* koreksi ini untuk mengurangi efek *multipath* dan efek ionosfer.

3.2. Hasil Nilai Koordinat dan Ketelitiannya Setiap Titik CORS

Nilai koordinat yang dihasilkan terdiri atas dua sistem koordinat, yaitu sistem koordinat kartesian 3D (X, Y, Z) dan toposentrik (*Easting-E, Northing-N, Up-U*). Namun demikian, pembahasan nilai koordinat dan ketelitian setiap titik CORS menggunakan sistem koordinat kartesian 3D. Penyajian koordinat kartesian ini dalam perspektif matematika lebih mudah didefinisikan untuk pengamatan dengan GNSS. Nilai koordinat kartesian 3D dapat dilihat pada Tabel 3 s.d. 5.

Tabel 3. Koordinat tahun 2021 (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

Titik	X (m)	Y (m)	Z (m)
CBJN	-2153453,203	5952611,227	-794934,139
CJPR	-2236258,010	5928485,859	-727796,070
CMGL	-2185668,720	5935038,645	-824386,669
CPKL	-2131462,009	5962960,956	-759735,288
CPWD	-2259496,800	5912637,305	-782686,283
CSEM	-2204462,557	5934931,445	-770741,448
CSLO	-2248479,374	5909748,103	-834744,694
CSMG	-2213351,830	5932054,258	-767379,010

Tabel 4. Koordinat tahun 2022 (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

Titik	X (m)	Y (m)	Z (m)
CBJN	-2153453,232	5952611,252	-794934,157
CJPR	-2236258,107	5928486,045	-727796,106
CMGL	-2185668,755	5935038,656	-824386,681
CPKL	-2131462,004	5962960,866	-759735,288
CPWD	-2259496,818	5912637,291	-782686,292
CSEM	-2204462,575	5934931,436	-770741,458
CSLO	-2248479,398	5909748,110	-834744,707
CSMG	-2213351,839	5932054,227	-767379,027

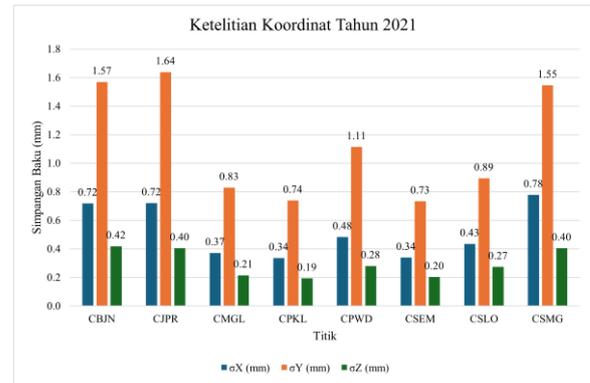
Tabel 5. Koordinat tahun 2023 (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

Titik	X (m)	Y (m)	Z (m)
CBJN	-2153453,281	5952611,287	-794934,177
CJPR	-2236258,124	5928486,038	-727796,116
CMGL	-2185668,768	5935038,619	-824386,689
CPKL	-2131461,997	5962960,778	-759735,290
CPWD	-2259496,836	5912637,278	-782686,303
CSEM	-2204462,600	5934931,435	-770741,472
CSLO	-2248479,435	5909748,128	-834744,734
CSMG	-2213351,825	5932054,123	-767379,019

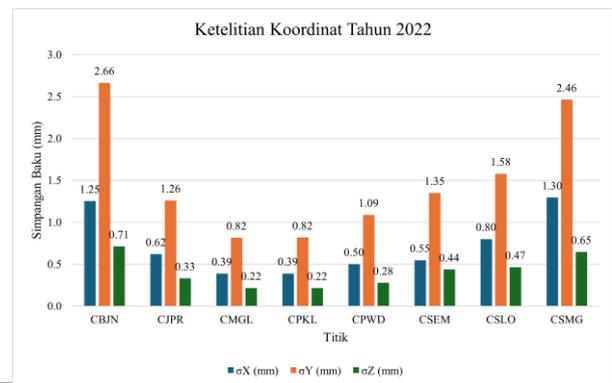
Nilai koordinat X, Y, Z dinyatakan dalam meter sedangkan nilai simpangan baku X, Y, Z dinyatakan dalam milimeter. Nilai simpangan baku menunjukkan ketelitian koordinat setiap tahunnya. Semakin kecil nilai simpangan baku maka semakin teliti nilai koordinatnya. Nilai simpangan baku dapat dilihat pada Gambar 3. s.d. 5.

Nilai simpangan baku semua tahun komponen X, Y, dan Z berturut-turut berada pada rentang 0,34 s.d. 2,83 mm;

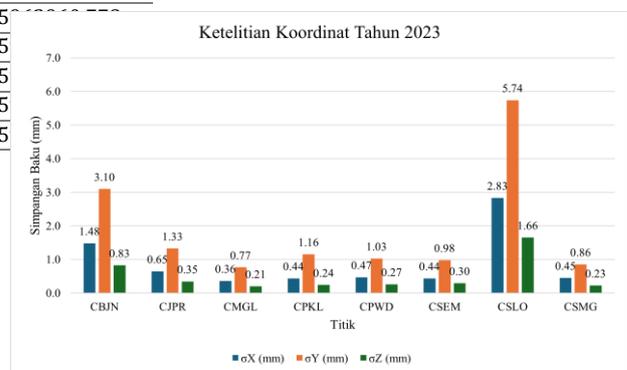
0,73 s.d. 5,74 mm; dan 0,19 s.d. 1,66 mm. Semua nilai simpangan baku setiap komponen koordinat mencapai fraksi submilimeter hingga milimeter. Nilai simpangan baku bervariasi dengan ketelitian rendah hingga tinggi. Ketiga komponen koordinat titik CBJN, CPKL, dan CSLO mengalami kenaikan setiap tahunnya. Titik CJPR, CSEM, dan CSMG mengalami variasi naik turun untuk nilai simpangan baku ketiga komponen. Namun demikian, titik CMGL, CPKL, dan CPWD memiliki nilai simpangan baku ketiga komponen yang mendekati sama di setiap tahunnya.



Gambar 2. Ketelitian koordinat tahun 2021 (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)



Gambar 3. Ketelitian koordinat tahun 2022 (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)



Gambar 4. Ketelitian koordinat tahun 2023 (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

Komponen Z memiliki nilai simpangan baku terendah di setiap tahunnya sehingga ketelitiannya baik. Setiap tahun komponen Y memiliki nilai simpangan baku tertinggi diantara dua komponen lainnya. Komponen Y merupakan sumbu bidang equator pada sistem koordinat geosentrik, yaitu koordinat kartesian 3D. Komponen tersebut berupa komponen vertikal pada pengamatan GNSS untuk penentuan posisi titik di permukaan bumi metode ekstraterestris dengan satelit maupun benda langit (Abidin, H. Z., 2000).

3.3. Kualitas Pergerakannya

Evaluasi ketelitian pergerakan dilakukan pada koordinat toposentrik komponen E, N, dan U dengan simpangan baku σE , σN , dan σU . Simpangan baku pergerakan menentukan ketelitian pergerakan setiap komponen. Nilai simpangan baku pergerakan (*min*: minimum, *max*: maksimum, dan *mean*: rerata) setiap CORS ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Simpangan baku pergerakan tahun 2021 s.d. 2023 (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

Titik	σE (mm)			σN (mm)			σU (mm)		
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
CBJN	0,11	2,00	0,64	0,14	4,49	0,94	0,50	9,28	2,98
CJPR	0,24	1,27	0,32	0,32	2,12	0,48	1,09	6,61	1,50
CMGL	0,73	0,28	0,19	0,20	0,53	0,26	0,73	1,31	0,85
CPKL	0,15	4,05	0,21	0,19	5,78	0,29	0,66	2,42	0,94
CPWD	0,19	0,46	0,24	0,27	0,78	0,35	0,91	2,42	1,14
CSEM	0,12	7,55	0,25	0,17	3,32	0,28	0,57	22,59	1,10
CSLO	0,17	1,76	0,64	0,21	3,78	0,90	0,79	8,29	3,02
CSMG	0,15	1,29	0,38	0,20	2,64	0,58	0,69	6,00	1,78

Nilai pergerakan vertikal dihitung pada masing-masing titik CORS antar tahun 2021, 2022, dan 2023. Nilai pergerakan vertikal tersebut untuk mengetahui apakah terjadi penurunan tanah atau tidak. Perhitungan nilai pergerakan vertikal terdapat pada komponen U.

Nilai ketelitian σU lebih rendah karena nilai simpangan bakunya lebih besar dibandingkan dengan komponen lainnya (σE dan σN). Faktor yang mempengaruhi nilai σU lebih besar yaitu geometri satelit yang tidak dapat mengamati di bawah horizon sehingga kekuatan jaring pada komponen vertikal menjadi lebih lemah. Akibatnya tidak terdapat efek eliminasi terhadap kesalahan. Selain itu, pengukuran tinggi alat yang kurang teliti menyebabkan terjadinya kesalahan. Bias troposfer (ionosfer, troposfer, dan orbit) dapat menurunkan ketelitian pada komponen tersebut karena sifat memanjang dan memendek ukuran sehingga mempengaruhinya (Abidin, H. Z., dkk 2013). Koreksi gangguan atau *noise* pada komponen vertikal sangat rendah pada komponen vertikal dibanding komponen horizontal.

3.4. Hasil Pergerakan Vertikal Setiap Titik CORS

Nilai pergerakan vertikal dihitung pada masing-masing titik CORS antar tahun 2021, 2022, dan 2023. Nilai

pergerakan vertikal tersebut untuk mengetahui apakah terjadi penurunan tanah atau tidak. Nilai pergerakan vertikal dapat dilihat pada Tabel 7.

Titik CPKL, CPWD, CSEM, dan CSMG mengalami penurunan tanah pada tahun 2021 s.d. 2022. Titik CPKL mengalami penurunan tanah tertinggi sedangkan titik CSEM mengalami penurunan tanah terendah. Nilai penurunan tanah titik CSEM mencapai fraksi submilimeter. Kedua titik tersebut terletak di Pantai Utara Jawa. Namun demikian, tahun selanjutnya 2022 s.d. 2023 terjadi penurunan tanah pada titik CMGL, CPKL, CPWD, dan CSMG. Berbeda dengan tahun sebelumnya, titik CSMG mengalami penurunan tanah sedangkan titik CSEM mengalami kenaikan tanah. Penurunan tanah tertinggi terjadi pada titik CSMG. Penurunan tanah selama tiga tahun dihitung dari akumulasi penurunan tanah dari tahun 2021 s.d. 2022 dan 2022 s.d. 2023. Secara keseluruhan dalam waktu tiga tahun, titik CMGL, CPKL, CPWD, dan CSMG mengalami penurunan tanah. Walaupun pada tahun 2021 s.d. 2022 titik CMGL mengalami kenaikan tanah, tetapi nilai penurunan tanah tahun 2022 s.d. 2023 lebih tinggi dibanding kenaikan pada tahun sebelumnya. Nilai penurunan tanah yang paling besar terjadi pada titik CPKL sedangkan terendah titik CMGL. Nilai penurunan tanah titik CPKL dan CSMG mencapai fraksi desimeter sedangkan titik CPWD dan CMGL mencapai fraksi milimeter.

Tabel 7. Pergerakan vertikal (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

Titik	Tahun 2021 s.d. 2022		Tahun 2022 s.d. 2023		Tahun 2021 s.d. 2023	
	Nilai Pergerakan Vertikal (mm)	Arah	Nilai Pergerakan Vertikal (mm)	Arah	Nilai Pergerakan Vertikal (mm)	Arah
CBJN	35,45	Naik	51,63	Naik	87,08	Naik
CJPR	210,12	Naik	1,02	Naik	211,14	Naik
CMGL	24,39	Naik	-29,66	Turun	-5,27	Turun
CPKL	-86,06	Turun	-84,62	Turun	-170,68	Turun
CPWD	-4,63	Turun	-4,48	Turun	-9,11	Turun
CSEM	-0,5	Turun	9,25	Naik	8,75	Naik
CSLO	17,01	Naik	32,78	Naik	49,79	Naik
CSMG	-23,49	Turun	-102,79	Turun	-126,28	Turun

Titik CSMG dan CPKL mengalami penurunan tanah yang cukup tinggi. Pergerakan vertikal titik CSMG dan CPKL secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5. s.d. 6.

Garis biru menunjukkan pergerakan vertikal titik CSMG dan CPKL. Pergerakan vertikal memiliki dua arah, yaitu turun dan naik. Titik CSMG pada Desember 2021 mengalami penurunan tanah. Periode Januari s.d. Maret 2022, titik tersebut mengalami kenaikan tanah. Penurunan tanah kembali terjadi pada periode Maret s.d. Juni 2022 dan kenaikan tanah terjadi periode Juni s.d. September 2022. Periode Desember 2022 s.d. Desember 2023 terjadi penurunan tanah. Titik CPKL hanya mengalami kenaikan tanah pada periode Januari s.d. Maret 2022 dan Juni s.d. September 2023. Kenaikan dan penurunan tanah dapat dipengaruhi oleh musim dan curah hujan. Musim hujan

biasanya dimulai dari bulan Oktober s.d. Maret sehingga pada saat musim tersebut biasanya terjadi kenaikan tanah dimana pemasokan air tanah bertambah. Periode April s.d. September terjadi musim kemarau yang berpotensi mengakibatkan penurunan tanah sehingga pemasokan air tanah berkurang. Namun demikian, penurunan tanah yang dipengaruhi oleh intensitas hujan yang tidak terlalu besar mengakibatkan kenaikan dan penurunan tanah secara cepat. Apabila pada saat musim hujan terjadi kenaikan tanah bisa terjadi karena faktor lain seperti jenis tanah, kondisi fisis, dan lainnya.



Gambar 5. Nilai pergerakan vertikal titik CSMG (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)



Gambar 6. Nilai pergerakan vertikal titik CPKL (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

3.5. Hasil Kecepatan Pergerakan Vertikal Setiap Titik CORS

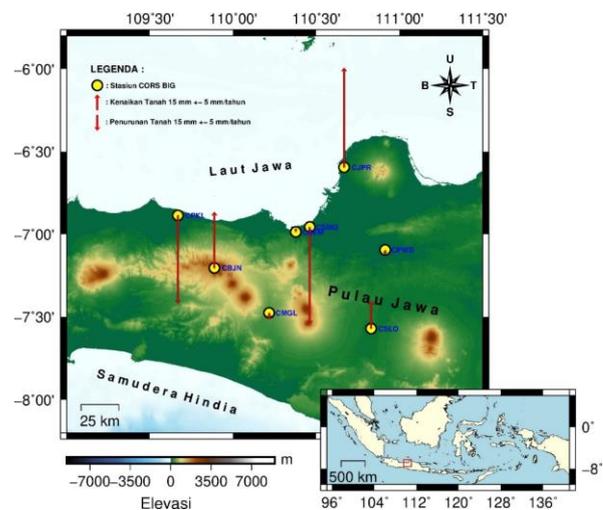
Nilai kecepatan pergerakan vertikal di Pantai Utara Jawa Tengah dan sekitarnya dihitung dari titik CORS pada tahun 2021 s.d. 2023. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 8. Pada tahun 2021 s.d. 2022, nilai simpangan baku kecepatan pergerakan vertikal mencapai fraksi sentimeter/tahun, yaitu titik CBJN dan CSMG. Titik lain mencapai fraksi milimeter/tahun dengan nilai simpangan baku kecepatan pergerakan vertikal terendah yaitu titik CPKL. Berbeda dengan tahun 2022 s.d. 2023, nilai simpangan baku kecepatan pergerakan vertikal terendah

dimiliki oleh titik CPWD yang mencapai fraksi milimeter/tahun. Ketelitian titik CBJN dan CSLO mencapai fraksi sentimeter/tahun. Namun demikian, nilai simpangan baku kecepatan pergerakan vertikal selama tiga tahun hanya titik CBJN yang mencapai fraksi sentimeter/tahun. Nilai simpangan baku kecepatan pergerakan vertikal yang besar menunjukkan ketelitian yang rendah.

Tabel 8. Kecepatan pergerakan vertikal (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

Titik	2021 s.d. 2022		2022 s.d. 2023		2021 s.d. 2023	
	Vu (mm/th)	σVu (mm/th)	Vu (mm/th)	σVu (mm/th)	Vu (mm/th)	σVu (mm/th)
CBJN	-6,56	21,95	151,38	25,45	54,24	10,12
CJPR	153,45	7,61	0,26	1,76	96,32	4,70
CMGL	5,53	8,08	-38,79	6,12	-5,95	3,61
CPKL	-89,57	1,44	-83,71	3,43	-85,52	1,60
CPWD	-5,24	2,01	-4,31	1,33	-4,39	0,97
CSEM	-2,18	3,59	4,85	3,77	3,23	1,76
CSLO	19,54	5,40	39,10	11,95	26,60	5,24
CSMG	-76,98	17,61	-76,93	3,42	-94,03	4,92

Tabel 8 juga dapat dilihat bahwa pada tahun 2021 s.d. 2023, titik yang terjadi penurunan tanah yaitu titik CBJN, CPKL, CPWD, CSEM, dan CSMG. Tahun berikutnya penurunan tanah terjadi pada titik CMGL, CPKL, CPWD, dan CSMG. Titik yang mengalami penurunan tanah pada kedua tahun tersebut hanya titik CPKL, CPWD, dan CSMG. Namun demikian, selama tiga tahun titik yang mengalami penurunan tanah, yaitu titik CMGL, CPKL, CPWD, dan CSMG. Titik CBJN tidak mengalami penurunan tanah karena nilai kecepatan kenaikan tanah tahun 2022 s.d. 2023 lebih besar dibandingkan nilai penurunan tanah tahun 2021 s.d. 2022. Namun demikian, titik CMGL berbanding terbalik dengan titik CBJN. Nilai kecepatan penurunan tanah tahun 2022 s.d. 2023 lebih tinggi dibanding tahun sebelumnya. Kenaikan dan penurunan tanah setiap titik CORS bisa disebabkan oleh kestabilan tanah, curah hujan, dan aktivitas di sekitar titik tersebut.



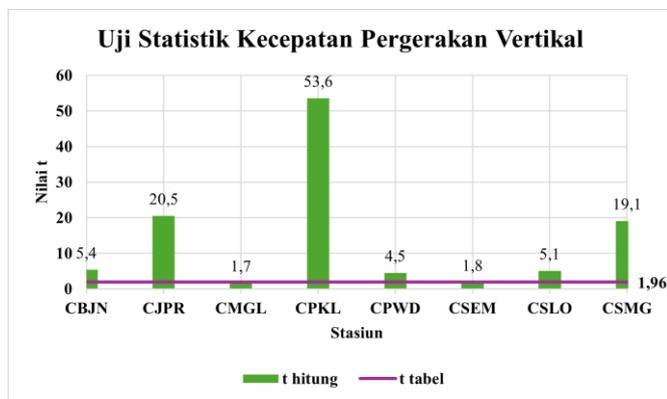
Gambar 7. Visualisasi kecepatan pergerakan vertikal hasil plotting GMT (Sitaningrum, A., 2024)

Visualisasi nilai kecepatan pergerakan vertikal ditunjukkan pada Gambar 7. Pergerakan vertikal setiap titik CORS di Pantai Utara Jawa Tengah dan sekitarnya ditentukan pada tahun 2021 s.d. 2023. Titik berwarna kuning menunjukkan sebaran titik CORS. Garis tanda panah berwarna merah menunjukkan nilai kecepatan pergerakan vertikal.

3.6. Uji Statistik Kecepatan Pergerakan Vertikal Setiap Titik CORS

3.6.1 Hasil Uji Statistik Kecepatan Pergerakan Vertikal Selama Tiga Tahun

Uji statistik digunakan untuk melihat tingkat signifikansi dari nilai kecepatan pergerakan vertikal delapan titik CORS di Pantai Utara Jawa Tengah dan sekitarnya. Uji statistik dapat mengetahui apakah pergerakan vertikalnya signifikan atau tidak. Hasil uji signifikansi kecepatan pergerakan vertikal dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Uji statistik kecepatan pergerakan vertikal (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

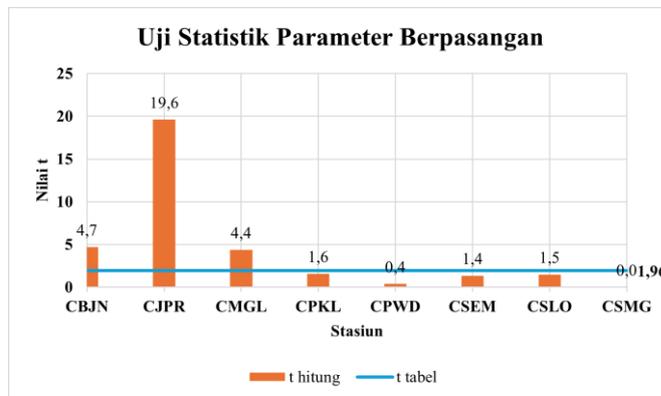
Hasilnya menunjukkan terdapat enam titik CORS yang nilai t_v hitungan lebih besar dari 1,96. Ho dalam uji ini ditolak, hal ini berarti keenam titik mengalami pergerakan vertikal secara signifikan. Titik tersebut, yaitu titik CBJN, CJPR, CPKL, CPWD, CSLO, dan CSMG. Nilai t_v hitungan memiliki rentang 1,65 s.d. 53,56. Titik CMGL dan CSEM berturut-turut mempunyai nilai 1,65 dan 1,83 sehingga tidak terjadi pergerakan vertikal.

3.6.2 Hasil Uji Statistik Parameter Berpasangan

Uji statistik parameter berpasangan dilakukan untuk mengetahui tingkat signifikansi kecepatan pergerakan vertikal titik CORS di selang waktu yang berbeda yaitu tahun 2021 s.d. 2022 dan 2022 s.d. 2023. Hasil uji statistik parameter berpasangan pergerakan vertikal disajikan pada Gambar 9.

Gambar 9 menunjukkan hasil uji titik CBJN, CJPR, dan CMGL, Ho ditolak. Hal ini berarti pergerakan vertikal tahun 2021 s.d. 2022 tidak sama dengan tahun 2022 s.d.

2023. Lima titik lainnya, yaitu titik CPKL, CPWD, CSEM, CSLO, dan CSMG, hasil uji Ho diterima. Hal ini berarti pergerakan vertikal tahun 2021 s.d. 2022 sama dengan tahun 2022 s.d. 2023. Pengujian signifikansi parameter berpasangan dengan nilai t_v hitungan memiliki rentang 0 s.d. 19,61.



Gambar 9. Uji statistik parameter berpasangan (Pengolahan Sitaningrum, A., 2024)

4. Kesimpulan

Nilai koordinat dan simpangan baku titik CORS Pantai Utara Jawa Tengah dan sekitarnya dalam satuan meter sedangkan nilai simpangan baku mencapai fraksi milimeter hingga submilimeter sebesar 0,19 s.d. 5,74 mm. Nilai pergerakan vertikal berupa penurunan tanah pada titik CORS di Pantai Utara Jawa Tengah dan sekitarnya pada tiga tahun 2021, 2022, dan 2023 berturut-turut sebesar -0,5 s.d. -86,06 mm; -4,48 s.d. -102,79 mm; dan -5,72 s.d. -170,68 mm sedangkan kenaikan tanah sebesar 17,01 s.d. 210,12 mm; 1,02 s.d. 51,63 mm; dan 8,75 s.d. 211,14 mm.

Kecepatan penurunan tanah titik CORS di Pantai Utara Jawa Tengah dan sekitarnya tahun 2021 s.d. 2023 antara -4,39 s.d. -94,03 mm/tahun sedangkan kenaikannya 3,23 mm/tahun s.d. 96,32 mm/tahun. Titik CSMG merupakan titik yang mengalami kecepatan penurunan tanah tertinggi. Titik CPWD memiliki nilai kecepatan penurunan tanah terendah. Penurunan tanah selama tiga tahun berdasarkan hasil kecepatan pergerakan vertikal terjadi pada titik CMGL, CPKL, CPWD, dan CSMG sedangkan kenaikan tanah terjadi pada titik CBJN, CJPR, CSEM, dan CSLO. Titik CBJN, CJPR, CPKL, CPWD, CSLO, dan CSMG mengalami pergerakan secara signifikan. Pergerakan vertikal tahun 2021 s.d. 2022 tidak sama dengan tahun 2022 s.d. 2023 dimiliki oleh titik CBJN, CJPR, dan CMGL.

5. Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini.

6. Referensi

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Sidiq, T. P., & Fukuda, Y. (2013). Land Subsidence in Coastal City of Semarang (Indonesia): Characteristics, Impacts, and Causes. *Geomatics, Natural Hazards, and Risk*. 4(3), 226–240.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2012.692336>.
- Abidin, H. Z. (2000). Beberapa Pemikiran tentang Sistem dan Kerangka Referensi Koordinat untuk DKI Jakarta. *Jurnal Surveying dan Geodesi*. Vol. X, No. 3, September 2000, 33–42.
- Damen, M.C.J. & Sutanta, H. (2003). *Assessment of the Impact of Land Subsidence, Sea Level Rise and Coastal Change in the City of Semarang, Semarang, Java, Indonesia*. 1–19.
https://www.academia.edu/36326049/Assessment_of_the_Impact_of_Land_Subsidence_Sea_Level_Rise_and_Coastal_Change_in_the_city_of_Semarang_Java_In_donesia.
- Ghilani, C. D. (2010). *Adjustment Computation: Spatial Data Analysis*. 5th Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Gienputra, R. H. (2017). Evaluasi Penurunan Tanah Wilayah Kota Surabaya dan Percepatannya Menggunakan GPS Geodetik dan Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 1–129.
- Hendarto, H. (2021). Kajian Penggunaan Metode Precise Point Positioning (PPP) Online untuk Pengukuran pada Pembuatan Peta Orthophoto. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Lestari, D. (2006). GPS Study for Resolving the Stability of Borobudur Temple Site. *Thesis*. The University of New South Wales.
- 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 on Geoscience*. 7(3), 273–289.
<https://doi.org/10.17014/ijog.7.3.273-289>.
- Sarah, D., Soebowo, E., & Satriyo, N. A. (2021). Review of the Land Subsidence Hazard in Pekalongan Delta, Central Java: Insights from the Subsurface. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*. 36(4), 163–176.
<https://doi.org/10.17794/rgn.2021.4.13>.
- Sitaningrum, A. (2024). Analisis Pergerakan Vertikal Titik GNSS CORS Pantai Utara Jawa Tengah dan Sekitarnya Tahun 2021-2023 Menggunakan Pengolahan Metode Precise Point Positioning (PPP). *Skripsi*. Universitas Gadjah Mada.
- Yulaikhah, Y., Pramumijoyo, S., & Widjajanti, N. (2018). Correlation of GNSS Observation Data Quality Resulted from TEQC Checking and Coordinate's Precision. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*. 1(1), 8–13.
<https://doi.org/10.22146/jgise.38387>.
- Yuwono, B., Awaluddin, M., & Najib. (2019). Land Subsidence Monitoring 2016-2018 Analysis using GNSS CORS UDIP and DinSAR in Semarang. *KnE Engineering*, 2019, 95–105.
<https://doi.org/10.18502/keg.v4i3.5832>.