



Analisis Penurunan Tanah Jalan R.E. Martadinata Jakarta Utara Menggunakan Metode Konvensional dan Pengamatan GPS Geodetic

Kurniawan Ramadhan^{1*}, Syaiful², Fadhila Muhammad Libasut Taqwa³

^{1,2,3}Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

¹awan.kurnia1997@gmail.com*, ²syaiful@ft.uika-bogor.ac.id, ³fadhila.muhammad@uika-bogor.ac.id

Abstract

Land subsidence in the areas of Pademangan, Ancol, Penjaringan, Cengkareng, Tanjung Priok, Cilincing, and Pulogadung is still ongoing. The land subsidence is influenced by the condition of the groundwater table and the effect of consolidation. The purpose of this research is to know the result of soil subsidence/ consolidation using conventional calculation methods and geodetic GPS observations on R.E. Martadinata Street on Bore Hole 3 with Point BM.CP.1 and Bore Hole 6 with Point BM.DKI.11 and to find out the results of the comparison of subsidence/ consolidation analysis methods between conventional calculations and geodetic GPS observations. The amount of soil subsidence/ consolidation with conventional calculation methods at Bore Hole 3 with Point BM CP.1 obtained 8.5 cm with a period of 2.3 years and at Bore Hole 6 with Point BM DKI.11 obtained 5.6 cm with a period of 0.4 years. The amount of soil subsidence/ consolidation with GPS Geodetic observations BM CP.1 point was obtained at 16.8 cm with a period of 3 years and at the DKI.11 BM Point obtained 17.5 cm with a period of 3 years. The results of soil subsidence/consolidation calculations using conventional calculation methods and GPS Geodetic observations there was a difference or deviation in Bore Hole 3 with Point BM CP.1 obtained 8.3 cm with a period of 0.68 years and in Bore Hole 6 with Point BM DKI.11 obtained 11.9 cm with a period of 2.64 years.

Keywords: Load Factor, Land Subsidence, Land Consolidation Time, Geodetic GPS, Groundwater Level.

Abstrak

Penurunan permukaan tanah di wilayah Jakarta masih terus berlangsung. Data dari Dinas Perindustrian dan Energi menunjukkan, di daerah-daerah tersebut telah terjadi penurunan lebih dari 10 cm per tahun. Penurunan tanah tersebut dipengaruhi oleh kondisi muka air tanah dan pengaruh konsolidasi. Penurunan muka tanah di beberapa wilayah setiap tahunnya memang tidak terjadi secara ekstrim, namun apabila dibiarkan terus menerus akan berdampak pada munculnya kerugian, tidak hanya material tetapi juga korban jiwa. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui hasil penurunan/ konsolidasi tanah menggunakan metode perhitungan konvensional dan pengamatan *GPS Geodetic* pada Jalan R.E.Martadinata Bore Hole 3 dengan Titik BM.CP.1 dan Bore Hole 6 dengan Titik BM DKI.11 serta untuk mengetahui hasil perbandingan metode analisis penurunan/ konsolidasi antara perhitungan konvensional dengan pengamatan *GPS Geodetic*. Besar penurunan/ konsolidasi tanah dengan metode perhitungan konvensional pada Bore Hole 3 dengan Titik BM CP.1 diperoleh 8,5 cm dengan kurun waktu 2,3 tahun dan pada Bore Hole 6 dengan Titik BM DKI.11 diperoleh 5,6 cm dengan kurun waktu 0,4 tahun. Besar penurunan/ konsolidasi tanah dengan pengamatan *GPS Geodetic* titik BM CP.1 diperoleh 16,8 cm dengan kurun waktu 3 tahun, dan pada dengan Titik BM DKI.11 diperoleh 17,5 cm dengan kurun waktu 3 tahun, serta hasil perhitungan penurunan/ konsolidasi tanah dengan metode perhitungan konvensional dan pengamatan *GPS Geodetic* terdapat selisih atau deviasi pada Bore Hole 3 dengan Titik BM CP.1 diperoleh 8,3 cm dengan kurun waktu 0,68 tahun, dan pada Bore Hole 6 dengan Titik BM DKI.11 diperoleh 11,9 cm dengan kurun waktu 2,64 tahun.

Kata kunci: *Load Factor*, Penurunan Tanah, Waktu Penurunan Tanah, *GPS Geodetic*, Muka Air Tanah.

Diterima Redaksi : 24-07-2023 | Selesai Revisi : 14-08-2023 | Diterbitkan Online : 01-12-2023

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan satu dari tiga negara kepulauan di Asia Tenggara dengan luas wilayah perairan 6.315.222 km² dengan panjang garis pantai 99.093 km². Pulau Jawa

Indonesia, khususnya wilayah teluk Jakarta Utara merupakan salah satu wilayah yang kerap dilanda banjir baik dari darat maupun dari laut. Wilayah Jakarta Utara membentang dari Barat ke Timur sepanjang kurang lebih 35 km. Wilayah Kota Jakarta Utara seluas 7.133,51 km²,



terdiri dari lautan seluas 6.979,4 km² dan daratan seluas 154,11 km² dengan 40% wilayah dataran rendah berada di bawah muka laut pasang. Dilihat dari penampang memanjang dari selatan ke utara, DAS Ciliwung terdiri dari kawasan atas (*upstream*), kawasan tengah (*middle stream*), dan kawasan bawah (*downstream*). Kawasan atas adalah kawasan resapan meliputi Puncak Bogor, kawasan tengah meliputi Bogor Depok, dan kawasan bawah meliputi Jakarta Selatan hingga bermuara di teluk Jakarta [1] Penurunan permukaan tanah di wilayah Jakarta Utara seperti di kawasan Pademangan, Ancol, Penjaringan, Cengkareng, Tanjung Priok, Cilincing, dan Pulogadung masih terus berlangsung [2], [3]. Data dari Dinas Perindustrian dan Energi menunjukkan, di daerah-daerah tersebut telah terjadi penurunan lebih dari 10 cm. Penurunan tanah tersebut dipengaruhi oleh kondisi muka air tanah dan pengaruh konsolidasi. Penurunan muka tanah di beberapa wilayah setiap tahunnya memang tidak terjadi secara ekstrim, namun apabila dibiarkan terus menerus akan berdampak pada munculnya kerugian, tidak hanya material tetapi juga korban jiwa. [4], [5]. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui hasil besar penurunan tanah menggunakan metode perhitungan konvensional [6] dan Pengamatan GPS Geodetic [7], [8] dengan menggunakan metode perhitungan Konvensional dan dibandingkan dengan nilai hasil pengamatan GPS Geodetic agar memberikan informasi kepada pemilik pekerjaan mengenai perbandingan penurunan tanah.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode pengumpulan data yang digunakan adalah metode dokumen. Metode dokumen merupakan metode pengambilan data dalam bentuk dokumen tertulis atau elektronik dari lembaga/institusi atau pihak pemilik data atau pengamatan obyek secara langsung. Data yang diperoleh dapat berupa data primer dan data sekunder.

2.1. Metode Pengumpulan Data

Sedangkan pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data sekunder saja. Data sekunder sendiri diartikan data yang diperoleh dari pihak lain seperti: data statistik, data hasil laboratorium/tes/uji dan lain sebagainya. Adapun data yang diperoleh meliputi:

1. Data kondisi eksisting Jalan R.E Martadinata
2. Data Titik Pengamatan GPS dan Titik Sampel Tanah Jalan R.E. Martadinata
3. Data kondisi eksisting potongan memanjang dan melintang.
4. Data rencana pembebanan.
5. Data soil properti (hasil uji laboratorium).

2.2. Metode Analisis Data

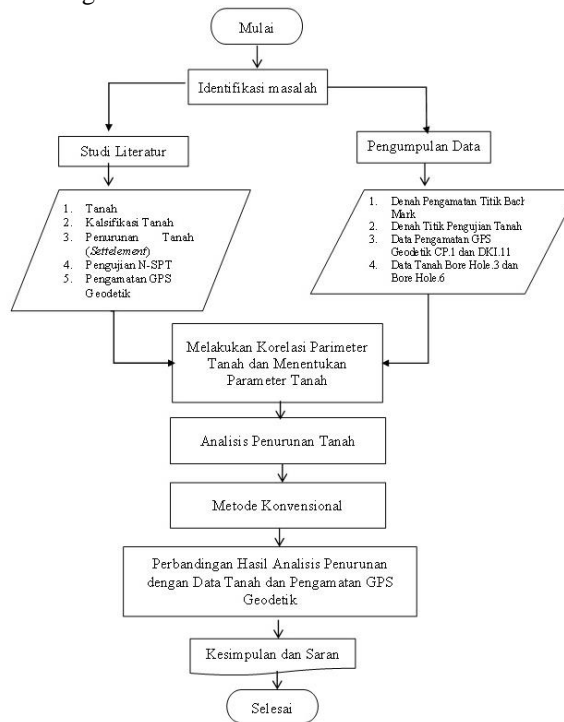
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis korelasi yang merupakan suatu teknik untuk menentukan sampai sejauh mana terdapat hubungan antara dua variabel, yang dalam hal ini variabel pertama merupakan “Metode perhitungan konsolidasi tanah secara konvensional” dan variabel pembanding adalah “

Metode Pengamatan GPS Geodetic”. Dalam tahap ini mencakup langkah-langkah atau proses setelah melakukan pengumpulan data dan dilakukan proses analisis data. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan Analisis Penurunan/ konsolidasi Tanah Secara Analisis, meliputi Perencanaan Pembebanan, Parameter Tanah, Analisis Penurunan/Konsolidasi.
2. Melakukan Analisis Penurunan/konsolidasi Tanah
3. Perbandingan Hasil Analisis Penurunan konsolidasi tanah menggunakan Hasil Pengamatan GPS Geodetic tanah.[9]

Setelah dilakukannya perhitungan analisis penurunan/konsolidasi tanah [10] dengan metode perhitungan konvensional dan perhitungan menggunakan hasil Pengamatan GPS Geodetic. maka selanjutnya akan dilakukan perbandingan hasil dari masing-masing perhitungan hingga didapatkan perbedaan hasil dan koefisien perhitungan masing-masing metode.

2.3. Diagram Alir



Gambar. 1. Diagram Alir.

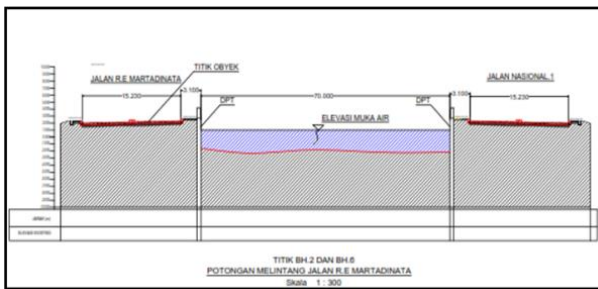
3. Hasil dan Pembahasan

Dalam proses menganalisis suatu penelitian dibutuhkan data penelitian yang akurat demi mencapai hasil yang diinginkan. Pada penelitian ini didapat data sekunder berupa data kondisi eksisting, potongan memanjang dan melintang Jalan R.E. Martadinata Tanjung Priok Jakarta Utara, data soil properties (hasil uji laboratorium) dan juga data nilai N-SPT tanah di area penelitian.

1. Lokasi Pengamatan dan Sample Tanah



Gambar. 2. Lokasi Penelitian pada Proyek Pompa Sentyiong.



Gambar. 3. Potongan Melintang Jalan.

2. Pembebanan Lalu lintas

Jenis kendaraan yang beroperasi di jalanan di Indonesia bervariasi mulai dari sedan, pick-up, mini bus, bus ringan, truk ringan bus besar, truk besar, truk gandeng, truk peti kemas, dan lain-lain.

Konfigurasi sumbu & tipe kendaraan	Berat Kosong (ton)	Beban Muatan Maksimum (ton)	Berat Total Maksimum (ton)	
1.1 Mobil Penumpang	1,5	0,5	2	
1.2 Bus	3	6	9	
1.2 L Truk	2,3	6	8,3	
1.2 H Truk	4,2	14	18,2	
1.22 Truk	5	20	25	
1.2 + 2.2 Trailer	6,4	25	31,4	
1.2 + 2 Trailer	6,2	20	26,2	
1.2 + 2.2 Trailer	10	32	42	

Gambar. 4. Jenis Pembebanan Roda Kendaraan. [11]

Hasil Bina Marga pada Gambar 4, berlaku untuk semua jenis dan muatan. Yang di tinjau hanyalah kendaraan kosong dan isi. Bila dianggap berisi, dianggap kendaraan /truck tersebut bermuatan penuh. Misalnya truck 1.2. H pada waktu kosong dianggap bermuatan memiliki berat

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v4i2.560>

4,2 ton dan pada waktu bermuatan dianggap bermuatan maksimum 18,2 ton.

3. Pembebanan Perkerasan

Beban rencana terdiri dari dua jenis beban yaitu beban lalu lintas dan beban perkerasan.

Tabel. 1. Berat Jenis Lapis Perkerasan

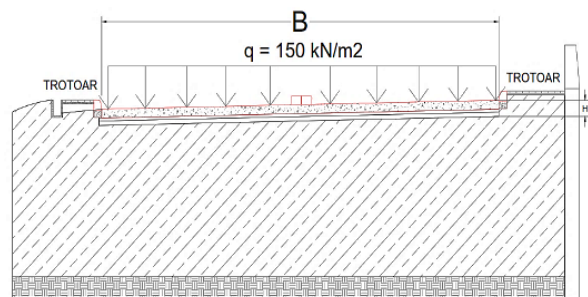
No.	Lapis Perkerasan	Berat Jenis
1.	Rigid Beton	24 kN/m ³
2.	Asphalt Concrete (AC-Wearing Course)	22,7 kN/m ³
3.	Sirtu	14 kN/m ³

$$= (\text{Lapisan-1} \times B_j) + (\text{Lapisan-2} \times B_j) + (\text{Lapisan-3} \times B_j)$$

$$= (0,28 \times 24) + (0,56 \times 22,7) + (0,6 \times 22,5)$$

$$= 6,720 + 12,712 + 8,40$$

$$= 27,832 \text{ kN/m}^2$$



Gambar. 5. Detail Pembebanan

4. Total Pembebanan

Setelah diketahui masing-masing Pembebannya yang dibutuhkan, maka H_f bisa dihitung dengan menjumlahkan tinggi *preload* perkerasan, tinggi *preload* akibat beban lalu lintas.

Beban Total

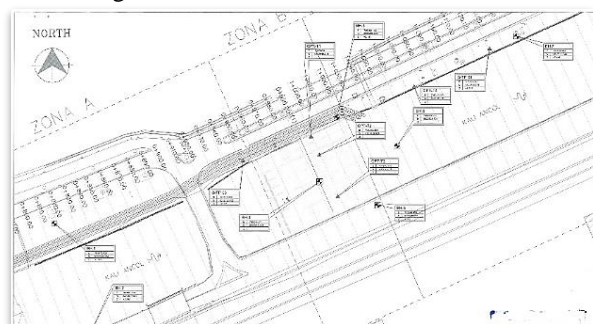
$$= \text{Beban Lalu lintas} + \text{beban perkerasan}$$

$$= 27,832 + 15 = 42,832 \text{ kN/m}^2 \approx 42,832 \text{ kPa/m}^2$$

5. Data Soil Properties (Hasil Uji Laboratorium)

Pelaksanaan uji sondir dan Bodilakukan sebanyak 7 (Tujuh) titik, akan tetapi pada penelitian ini akan diambil dua sampel yang berdekatan dengan, yakni pada titik Uji Sondir-1 dan 2.

a. Bore Log



Gambar. 6. Sebaran Titik Uji pada Proyek Pompa Sentyiong

b. Test Pit

Data test pit (lubang uji) merupakan contoh tanah dalam kondisi terganggu (disturbed sample), terhadap contoh tanah ini kemudian dilakukan uji laboratorium untuk mengetahui karakteristik tanah.

Tabel. 2. Stratifikasi Tanah pada Proyek Pompa Sentyiong

Titik	Kedalaman (m)	Diskripsi Tanah
BH.3	0,00 - 1,50	Clay: Lempung Kelanauan, coklat
BH.6	0,00 - 1,50	Clay: Lempung Kelanauan, coklat

Tabel. 3. Data Bore Hole pada Proyek Pompa Sentyiong

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS								
Bore Hole No		BH B3						
Depth	meter	5.00-5.50	7.50-8.00	9.50-10.00	11.50-12.00	15.00-15.50	19.50-20.00	29.50-30.00
Sample Type		UDS 1	UDS 2	UDS 3	UDS4	DS1	DS2	DS3
A. NATURAL WATER CONTENT, DENSITY, AND SPECIFIC GRAVITY TEST								
Specific Gravity		2.68	2.67	2.67	2.68	2.67	2.66	2.68
Natural Water Content	%	56.38	73.85	78.04	90.01	76.56	41.73	50.57
Bulk/Wet density	gr/cm ³	1.61	1.51	1.50	1.45	1.52	1.74	1.66
Dry Density	gr/cm ³	1.03	0.87	0.84	0.76	0.88	1.23	1.10
Void ratio		1.61	2.07	2.16	2.51	2.10	1.16	1.43
Porosity		0.62	0.67	0.68	0.71	0.68	0.54	0.59
Degree of saturation	%	94.55	95.38	96.36	96.23	97.13	95.55	94.81
B. ATTERBERG LIMIT TEST								
Liquid Limits (LL)	%	95.06	95.99	87.78	104.30	89.51	81.00	88.92
Plastic Limits (PL)	%	31.60	35.70	30.00	37.10	42.90	40.00	40.00
Plasticity index (PI)	%	63.48	60.27	67.78	67.16	46.66	41.00	48.92
C. GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST								
Gravel	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sand	%	4.50	9.20	7.80	6.40	13.00	14.60	13.40
Silt	%	37.30	36.90	36.20	37.60	47.00	49.80	44.60
Clay	%	58.20	53.90	56.00	56.00	40.00	35.60	42.10
Soil Classification (USC)		CH	CH	CH	CH	MH	MH	MH

6. Analisis Penurunan Bore Hole 3 Elastis

Tabel. 4. Stratifikasi Tanah pada Bore Hole 3

Kedalaman Tanah		
Jenis Tanah	Kedalaman	Tebal
Clay.1	-2,45-12,00	9,55
Clay.2	19,00-23,80	4,80
Clay.3	30,00-35,40	5,40
Clay.4	39,40-40,50	1,10

Tabel.5. Perhitungan Titik Tengah Perkerasan

Perhitungan Titik Pusat Pondasi						
D (m)	z =D-0,00(m)	B (m)	L (m)	Tebal	m=B/z	n=L/z
12.00	12.00	15.00	50.00	9.55	1.57	5.24
23.80	23.80	15.00	50.00	4.80	3.13	10.42
35.40	35.40	15.00	50.00	5.40	2.78	9.26
40.50	40.50	15.00	50.00	1.10	13.64	45.45

$$A_0 = m' \ln \frac{(1 + \sqrt{m'^2 + 1})\sqrt{m'^2 + n'^2}}{m(1 + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1})}$$

$$A_1 = \ln \frac{(m' + \sqrt{m'^2 + 1})\sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$A_2 = \frac{m'}{n'\sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$F_1 = \frac{n'}{2\pi} \tan^{-1} A_2$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} \tan^{-1} A_2$$

Variasi dari F1 dan dengan mr dan nr diberikan variasi If dengan Df B diberikan dalam nilai-nilai, ini juga diberikan dalam bentuk yang lebih rinci.

Tabel. 6. Perhitungan Elastis Fleksibel dan Kaku Elastis Fleksibel dan Kaku

A0	A1	A2	F1	F2
0.419	0.408	0.161	0.194	0.134
0.322	0.299	0.091	0.373	0.147
0.340	0.318	0.102	0.374	0.145
0.135	0.117	0.022	0.738	0.156

Karena sifat tidak homogen dari deposito tanah, magnitud Es dapat bervariasi dengan kedalaman, untuk alasan itu direkomendasikan menggunakan rata-rata tertimbang Es dalam Eq. 5.33 atau lebih.

$$E_s = \frac{\sum E_{s(i)} \Delta z}{z} \quad (1)$$

dengan:

Es(i) = modul elastisitas tanah dengan kedalaman Δz
 z = H atau 5B, yang lebih kecil

Tabel. 7. Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas			
z(m)	Δz (m)	N60	Es (kN/m ²)
-2.45-12.00	9.55	6.9	6900
-19.00-23.80	4.80	13.8	13800
30,00-35,40	5.40	13.8	13800
39,40-40,50	1.10	13.8	13800

If = faktor kedalaman = $f\left(\frac{D_f}{B}, \mu_s, \text{ and } \frac{L}{B}\right)$

Tabel.8 Faktor Kedalaman

Faktor Kedalam		
Df/B	B/L	If
0.5	2	0.72
0.5	2	0.72
0.5	2	0.72
0.5	2	0.72

Perhitungan Penurunan :

$$S_e = q_o(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f$$

$$S_e = 42.83(4x9.55')x \frac{1 - 0.25}{6900} x 0.28x0.72$$

$$S_e = 0.018 m = 1.81 cm$$

Jadi penurunan segera Si (*Immediate Settlement*) = 2,85 cm

7. Analisis Penurunan Bore Hole 3 Primer

Penurunan yang disebabkan perubahan volume tanah selama periode keluarnya air pori dari tanah. Menghitung tambahan tegangan (Δp) akibat beban pada tengah setiap lapisan sedalam z (z = kedalaman permukaan) Rumus :

$$\Delta\sigma'_{av} = \frac{1}{6}(\Delta\sigma'_t + 4\Delta\sigma'_m + \Delta\sigma'_b) \quad (2)$$

Penurunan konsolidasi primer (Primary Consolidation Settlement)

Total penurunan merupakan jumlah dari keseluruhan perhitungan penurunan konsolidasi primer sampai lapisan tanah lempung paling bawah yakni kedalam 40,50 m.

$$S_{c(p)} = \frac{c_c H_c}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_{0} + \Delta\sigma'_{av}}{\sigma'_{0}} \quad (3)$$

$$S_{c(p)} = \frac{0.60 \times 9.55}{1 + 1.47} \log \frac{114.62 + 6.17}{114.62}$$

$$S_{c(p)} = 0.053 \text{ m} = 5,3 \text{ m}$$

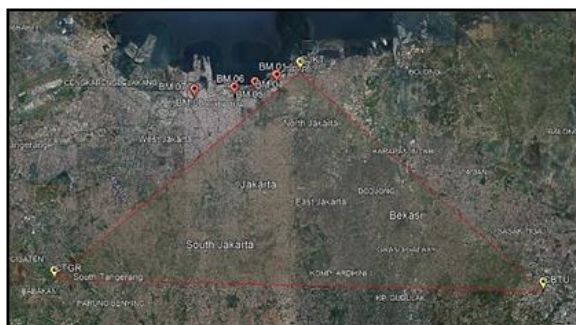
8. Waktu untuk mencapai Derajat Konsolidasi

Parameter panjang jalur drainasi (Hdr), koefisien konsolidasi (Cv), dan faktor waktu (Tv) digunakan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 60% (U60).

$$T_V = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100} \right)^2 \quad (\text{for } U = 0 \text{ to } 90\%) \quad (4)$$

9. Analisis Penurunan Pengamatan GPS Geodetic

Pengamatan Penurunan muka tanah ini dilakukan di delapan titik pengamatan sekitar Kota Jakarta utara pada Tahun 2018 dan Tahun 2021. Lokasi titik pengamatan tersebar pada 8 titik pengamatan dengan pengikatan ke base lokal yaitu CBTU di Cibitung, CJKT di Jakarta Utara, CTGR Tangerang. Pengukuran menggunakan mode Fixed selama 36 jam sesuai dengan pengukuran minimal survei geodinamika dan pengolahan menggunakan mode radial seperti tahun-tahun sebelumnya.



Gambar. 7. Titik Referensi Geodetic

Tabel. 9. Hasil Pengamatan Tahun 2018 - 2021

No	TITIK POINT	Nov-18	Nov-19	Nov-20	Juni-21
		Elv.	Elv.	Elv.	Elv.
1	B.COL	3,366	3,316	3,265	3,215
2	MPB 0	1,807	1,757	1,706	1,642
3	DKI 11	2,909	2,859	2,808	2,734
4	CP 1	2,414	2,414	2,414	2,246
5	MPB 1	2,734	2,734	2,734	2,663

Berdasarkan Tabel. 9. dapat dilihat hasil pengamatan masing-masing titik dari tahun 2018 sampai tahun 2021.

Tabel. 10. Deviasi Pengamatan GPS 2018-2021

No	TITIK POINT	2018	2019	2020	2021
		Dev.	Dev.	Dev.	Dev.
1	B.COL	0	50	101	151
2	MPB 0	0	50	101	165
3	DKI 11	0	50	101	175
4	CP 1	0	50	100	168
5	MPB 1	0	23	50	71

Berdasarkan Tabel. 10. dapat dilihat deviasi pengamatan GPS masing-masing titik dari tahun 2018 sampai tahun 2021.

Tabel. 11. Perbandingan Hasil Penurunan/Konsolidasi Tanah

No	Lokasi	Unit	Analisis	GPS	Dev
1	BH.3 dan BM CP.01	Penurunan	8,5	16,8	8,3
		Waktu	2,32	3,00	0,68
2	BH.6 dan BM DKI.11	Penurunan	5,6	17,5	11,9
		Waktu	0,364	3,00	2,64

Berdasarkan Tabel. 11. dapat dilihat hasil selisih atau deviasi pada Bore Hole 3 dengan Titik BM CP.1 sebesar 8,3 cm dengan kurun waktu 0,68 tahun, dan pada Bore Hole 6 dengan Titik BM DKI.11 sebesar 11,9 cm dengan kurun waktu 2,64 tahun.

4. Kesimpulan

Besar penurunan/ konsolidasi tanah dengan menggunakan metode perhitungan konvensional pada Bore Hole 3 dengan Titik BM CP.1 sebesar 8,5 cm dengan kurun waktu 2,320 tahun, dan pada Bore Hole 6 dengan Titik BM DKI.11 sebesar 5,6 cm dengan kurun waktu 0,364 tahun. Besar Penurunan/ Konsolidasi Tanah dengan pengamatan GPS Geodetic pada Bore Hole 3 dengan Titik BM CP.1 sebesar 16,8 cm dengan kurun waktu 3 tahun, dan pada Bore Hole 6 dengan Titik BM DKI.11 sebesar 17,5 cm dengan kurun waktu 3 tahun. Berdasarkan hasil perhitungan penurunan/ konsolidasi tanah dengan menggunakan metode perhitungan konvensional dan pengamatan GPS Geodetic terdapat selisih atau deviasi pada Bore Hole 3 dengan Titik BM CP.1 sebesar 8,3 cm dengan kurun waktu 0,68 tahun, dan pada Bore Hole 6 dengan Titik BM DKI.11 sebesar 11,9 cm dengan kurun waktu 2,64 tahun.

Daftar Rujukan

[1] E. Chaussard, F. Amelung, and H. Z. Abidin, "Sinking Cities In Indonesia: Space-Geodetic Evidence of the Rates and Spatial Distribution of Land Subsidence," in *Fringe 2011 Workshop*, Francaty, 2011, pp. 19–23.

[2] L. E. Hutabarat and T. Ilyas, "Mapping of land subsidence induced by groundwater extraction in urban areas as basic data for sustainability countermeasures," *Int. J. Technol.*, vol. 8, no. 6, pp. 1001–1011, 2017, doi: 10.14716/ijtech.v8i6.754.

[3] A. H. Ng, L. Ge, X. Li, H. Z. Abidin, H. Andreas, and K. Zhang, "Mapping land subsidence in

- Jakarta , Indonesia using persistent scatterer interferometry (PSI) technique with ALOS PALSAR,” *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 18, pp. 232–242, 2012, doi: 10.1016/j.jag.2012.01.018.
- [4] H. Z. Abidin, H. Andreas, I. Gumilar, and M. Gamal, “Land Subsidence and Urban Development in Jakarta (Indonesia) Land Subsidence and Urban Development in Jakarta (Indonesia),” no. October 2009, pp. 19–22.
- [5] D. Sarah, A. J. Syahbana, R. F. Lubis, and A. Mulyono, “Modelling of Land Subsidence Along Tanah Mas - Pelabuhan Section Semarang City Using Finite Element Method,” *Ris. Geol. dan Pertamb.*, vol. 21, no. 2, pp. 105–119, 2011.
- [6] I. P. Pudja, “Analisis Penurunan Muka Tanah DKI Jakarta dengan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (Dinsar),” *J. Ilmu dan Inov. Fis.*, vol. 2, no. 2, pp. 88–99, 2018, doi: 10.24198/jiif.v2i2.19712.
- [7] J. Widodo *et al.*, “Land subsidence rate analysis of Jakarta Metropolitan Region based on D-InSAR processing of Sentinel data C-Band frequency,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1185, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1185/1/012004.
- [8] D. D. Æ. M. Gamal, “Land subsidence characteristics of Jakarta between 1997 and 2005, as estimated using GPS surveys,” pp. 23–32, 2008, doi: 10.1007/s10291-007-0061-0.
- [9] M. F. Gurandhi and B. Rudianto, “Evaluasi Spesifikasi Teknik pada Survei GPS,” *Reka Geomatika*, vol. 01, no. 2, pp. 1–10, 2013.
- [10] F. M. L. Taqwa, L. E. Hutabarat, T. Ilyas, and W. A. Prakoso, “Estimation of Settlement Induced Land Subsidence of Marine Clay on Kamal Muara Area, Northern Jakarta, Based on the Change of Pore Water Pressure,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1376, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1376/1/012007.
- [11] Direktorat Jenderal Bina Marga, 1979.