

UJI LABORATORIUM PENURUNAN MUKA TANAH DI DAERAH DKI JAKARTA

Doni Romdoni Witarsa¹, Yudi Khardiman², Chandra Afriade Siregar³
^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana

korespondensi : yudi.khardiman@gmail.com

ABSTRAK

Amblesan tanah atau secara umum juga disebut *Land subsidence* merupakan fenomena alam yang banyak terjadi di dunia. Jakarta merupakan salah satu kota di Indonesia yang mengalami amblesan tanah dengan tingkat penurunan tanah yang besar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya penurunan muka tanah, melalui sistem pemantauan terintegrasi, zonasi *land subsidence* dan pemilihan lokasi penempatan instrument pemantauan. Pemantauan terhadap *land subsidence* banyak dilakukan di kota-kota besar mengingat tingkat resiko bahaya yang akan dihadapi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa penurunan dan waktu konsolidasi tanah lunak sampai kedalaman 50 meter akibat pembebanan di atasnya dan perhitungan dilakukan menggunakan metode analisis. Data-data yang diperlukan diperoleh dari data uji laboratorium. Hasil perhitungan penurunan tanah akibat konsolidasi dan pembebanan di daerah Marunda adalah 3.598 - 5,777 cm dan terjadi dalam kurun waktu 4 - 13 tahun. Di Pluit penurunannya adalah 8,744 - 10,542 cm dalam kurun waktu 7 - 14 tahun dan di Sunter penurunan akibat konsolidasi dan pembebanan adalah 13,347 - 21,474 cm dalam kurun waktu 1 - 4 tahun. Dari analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penurunan di daerah sunter paling cepat waktu penurunannya dan paling besar dibandingkan dengan lokasi pluit dan marunda.

Kata Kunci : Tanah Lunak, Penurunan Muka Tanah, Penurunan Segera, Penurunan Konsolidasi, Waktu

ABSTRACT

Land subsidence or in general also called *Land subsidence* is a natural phenomenon that often occurs in the world. Jakarta is one of the cities in Indonesia that is experiencing land subsidence with a large level of land subsidence. This research was conducted to determine the magnitude of land subsidence, through an integrated monitoring system, land subsidence zoning and selection of monitoring instrument placement locations. Monitoring of land subsidence is mostly carried out in big cities considering the level of risk of danger that will be faced. The purpose of this study was to determine how much settlement and consolidation time of soft soil to a depth of 50 meters due to loading on it and the calculation was carried out using the analytical method. The required data is obtained from laboratory test data. The calculation result of land subsidence due to consolidation and loading in the Marunda area is 3,598 - 5,777 cm and occurs over a period of 4 - 13 years. In Pluit the decrease was 8,744 - 10,542 cm in the period of 7 - 14 years and in Sunter the decrease due to consolidation and loading was 13,347 - 21.474 cm in the period of 1 - 4 years. From the analysis that has been done, it can be concluded that the decline in the Sunter area is the fastest and the time is greatest compared to the Pluit and Marunda locations.

Keyword : Soft Soil, Subsidence, Immediate Subsidence, Consolidated Decline, Time

PENDAHULUAN

Di Indonesia, kota yang tengah kritis mengalami penurunan muka tanah (*land subsidence*) ialah (DKI) Jakarta, ibu kota Negara Indonesia terutama di wilayah pesisir dibagian utara seperti di kawasan Pademangan, Ancol, Penjaringan, Cengkareng, Tanjung

Priok, Cilincing, Pulogadung termasuk Muara Baru Pluit, Graha Sunter, dan Marunda yang saat ini masih terus berlangsung penurunannya (Dinas Perindustrian dan Energi). Penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan hal yang serius terutama apabila penurunan tanah terjadi di daerah pesisir pantai. karena daerah

peisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan, baik yang berasal dari daratan maupun dari lautan. Permasalahan ini merupakan yang harus segera ditangani agar akibat yang ditimbulkan tidak banyak merusak dan merugikan masyarakat sekitar.

Secara litologi wilayah Jakarta berada di atas cekungan aktif yang berumur Kuartar yang memiliki ketebalan ratusan meter, sehingga litologi yang menopangnya sangat sensitif terhadap gaya-gaya dari luar (eksogen) dan dalam (endogen). Pemahaman sepanjang Kuartar (Plistosen – Holosen) yang dimulai sejak $\pm 1,8$ jt tahun lalu menjadi sangat penting untuk kehidupan manusia, terlebih selama kurun waktu Plistosen Akhir (18.000 – 10.000 tahun yang lalu) dan Holosen yang diawali sejak ± 10.000 tahun yang lalu. Pada Kurun waktu itu, berbagai peristiwa periodik telah, sedang dan akan terus berlangsung. Fenomena alam yang dimaksud antara lain berupa perubahan lingkungan yang disebabkan oleh tektonik, berfluktuasinya muka laut dan berubahnya iklim.

Berdasarkan Kajian dari Badan Perencanaan Nasional (Bappenas), rata –rata penurunan muka tanah di ibu kota mencapai 7,5 cm per Tahun bahkan di beberapa wilayah seperti pluit penurunannya mencapai 18 cm per tahun penurunan ini telah terjadi sejak 1975 lalu. Fenomena ini disebabkan beberapa hal karena ekstraksi air tanah yang berlebihan juga beban bangunan yang beratnya sudah melewati beban yang semestinya. Pemantauan penurunan muka tanah suatu

wilayah bisa di perhitungkan dengan menggunakan metode perhitungan penurunan segera (immediate settlement), dan besarnya penurunan konsolidasi (consolidation settlement), dari 2 metode perhitungan tersebut didapat total penurunan muka tanah (land subsidence) dari tiga lokasi yaitu Muara Baru pluit, Graha Sunter dan Marunda yang tepatnya di wilayah Teluk DKI Jakarta berdasarkan data Laboratorium Hasilnya diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan rekomendasi dan referensi bagi Pemerintah Provinsi DKI Jakarta di dalam mengatasi masalah amblesan di Teluk Jakarta.

TINJAUAN PUSTAKA

Land subsidence atau penurunan tanah didefinisikan sebagai gerakan muka tanah yang semakin rendah relatif terhadap suatu bidang referensi tertentu yang stabil[1]. Penurunan tanah umum terjadi di kota-kota besar seperti Jakarta, Bandung, Semarang, Bangkok, Beijing, Tokyo, dan daerah lainnya di seluruh dunia[2]–[6]. Secara garis besar penurunan tanah bisa disebabkan oleh beberapa hal antara lain:

1. Penurunan tanah alami (natural subsidence) yang disebabkan oleh proses–proses geologi seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
2. Penurunan tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi.
3. Penurunan tanah yang disebabkan oleh adanya beban–beban berat di atasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan–

lapisan tanah di bawahnya mengalami kompaksi atau konsolidasi. Penurunan tanah seperti ini sering disebut sebagai settlement.

4. Penurunan tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktifitas penambangan.

Dari hasil studi terdahulu, daerah Jakarta Utara dapat dibedakan menjadi lima satuan tanah/batuan [7]. Hal ini didasarkan pada kesamaan sifat fisik tanah dan batuan. Kelima satuan tersebut adalah:

1. Satuan Lanau Pasiran dan Lempung Organik. Satuan ini mempunyai nilai kompresibilitas tinggi, permeabilitas rendah, serta kandungan air dan material organiknya yang tinggi, dengan tebal 2 – 26 m, dan tersebar di bagian utara sepanjang pantai utara, mulai dari Muara Angke sampai Ancol.
2. Satuan Pasir Lanauan. Satuan ini mempunyai nilai permeabilitas sedang sampai tinggi dengan tebal 2 – 10 m.

3. Satuan Lempung Lanauan. Satuan ini mempunyai nilai kompresibilitas tinggi, permeabilitas rendah, dan tersebar di sepanjang alur sungai besar, dengan tebal 4 – 40 m.

4. Satuan Pasir Lempungan. Satuan ini mempunyai nilai kompresibilitas rendah dan permeabilitas tinggi, dengan tebal 3 – 18 m.
5. Satuan Lempung Pasiran. Satuan ini mempunyai nilai kompresibilitas tinggi dan permeabilitas rendah, dengan tebal 3–60 m.

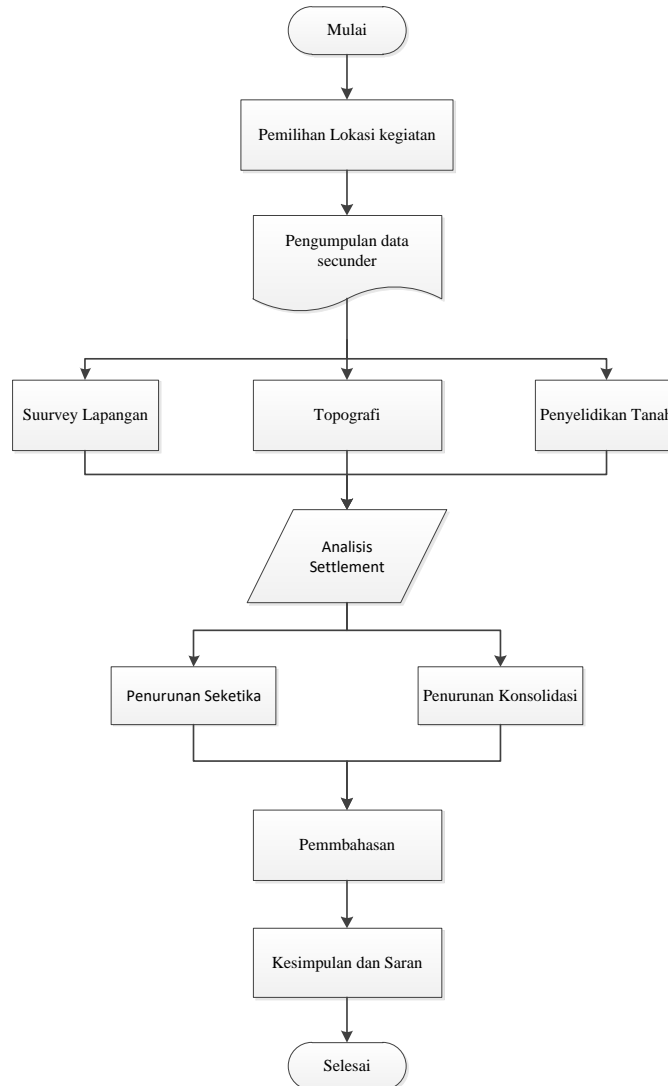
Kajian terbaru yang telah dilakukan oleh Dinas Perindustrian dan Energi DKI Jakarta pada tahun 2012 berdasarkan data pemboran dalam di 3 (tiga) lokasi yaitu : Kemayoran, Kelapa Gading dan Situ Babakan diperoleh hasil bahwa faktor yang dominan penyebab penurunan tanah di DKI Jakarta adalah konsolidasi alamiah dan pembebanan berlebih. Sementara itu faktor pengambilan airtanah kontribusinya dibawah 15% [8].

Tabel 1 : Penurunan tanah hasil kegiatan tahun 2012

No	lokasi	Konsolidasi		Pengambilan Air Tanah		Pembebanan		Struktur	
		cm/thn	%	cm/thn	%	cm/thn	%	cm/thn	%
1	Kemayoran	2.68	38	1	14	2.7	39	0.65	9
2	Situ Babakan	1.3	63	0.1	5	0	0	0.6	32
3	Kelapa Gading	3	43	0.6	8	3	43	0.45	6

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan penelitian yang dapat dibuat flow chart seperti di bawah ini :



Gambar 1 : Flowchart Penelitian

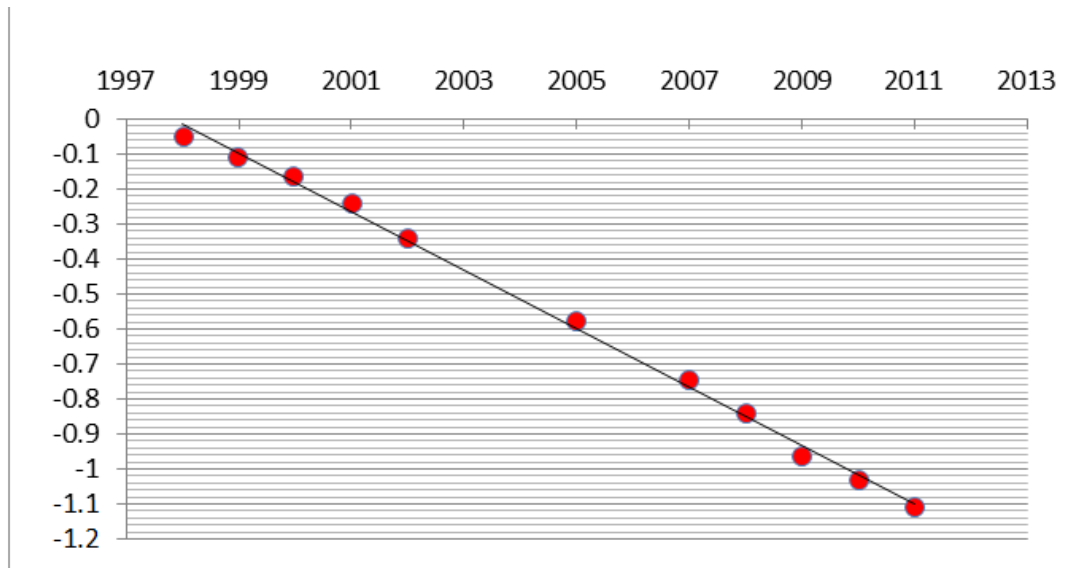
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pekerjaan Survei Pengukuran GPS

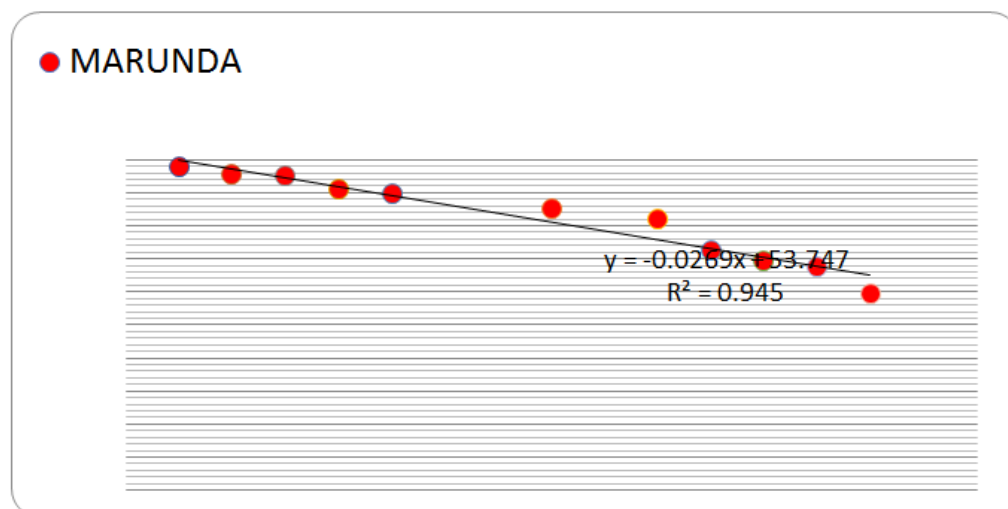
Data sekunder yang di peroleh dari kementerian PUPR saat ini seluruh pengambilan data telah dilakukan pengolahan data, diantaranya menggunakan software Bernese dan SKI PRO. Pengolahan data GPS melibatkan informasi

orbit teliti, informasi Earth Rotation Parameter, data titik ikat Bakosurtanal Cibinong, dan lain-lainnya.

Hasil dari beberapa data sekunder yang diolah, yang memberikan informasi penurunan tanah diantaranya adalah sebagai berikut:



Gambar 2 : Grafik Penurunan Tanah Di Titik Pantau Pluit Jakarta Utara Dari Tahun 1997 Sampai Dengan 2011 (Subsidence ~1.2 meter)

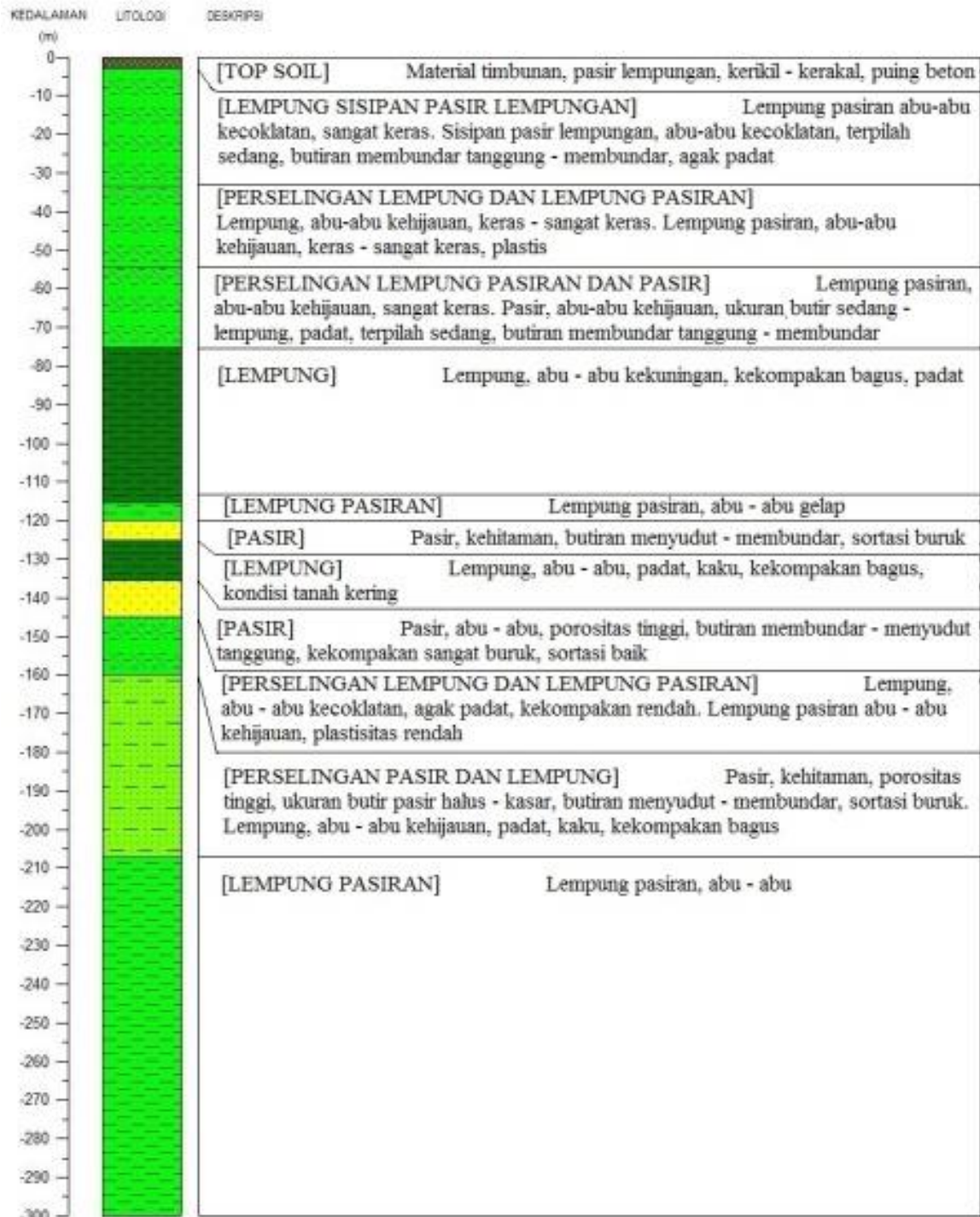


Gambar 3 : Grafik Penurunan Tanah Di Titik Pantau Marunda Jakarta Utara Dari Tahun 1997 Sampai Dengan 2011 (~42 sentimeter)

Susunan Batuan

Susunan batuan di Muara Baru Pluit terusun atas : lempung pasir, lempung, pasir, dan

pasir lempungan. Secara keseluruhan lapisan batuan didominasi oleh lempung dan lempung pasir.



Gambar 4 : Susunan Batuan Muara Batu Pluit

Laboratorium

Analisis yang dilakukan terhadap rasio overconsolidasi (Overconsolidation Ratio - OCR) batuan di DKI Jakarta memperlihatkan

nilai OCR yang < 1 Sehingga dapat dipastikan bahwa proses kompaksi akibat beban sendiri masih berlangsung. Resume hasil laboratorium dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 2 : Hasil analisis terhadap overconsolidation Ratio-OCR di Muara Baru Pluit

PLT-01			PLT-02			PLT-03		
Depth (m)		OCR	Depth (m)		OCR	Depth (m)		OCR
From	TO		From	TO		From	TO	
5	5.5	1	8	8.5	0.57	2	2.5	8.45
8	8.5	0.48	11	11.5	0.27	7	7.5	0.47
11	11.5	0.25	14	14.5	0.16	9.5	10	0.55
14	14.5	0.65	17	17.5	0.43	12	12.5	0.31
17	17.5	0.54	20	20.5	0.47	14.5	15	0.52
20	20.5	0.45	23	23.5	0.22	17	17.5	0.3
23	23.5	0.34	26	32.5	0.25	19.5	20	0.34
26	26.5	0.19	29	35.5	0.15	17	22.5	0.23
32	32.5	0.21	32	38	0.09	19.5	27.5	0.17
34.5	35	0.15	35	41	0.08	22	30	0.2
37	37.5	0.12	37.5	45	0.06	27	32.5	0.17
39.5	40	0.1	40.5	47.5	0.06	29.5	35	0.15
42	42.5	0.08	44.5			32	37.5	0.12
44.5	45	0.03	47			39.5	40	0.1
47	47.5	0.06				42	42.5	0.06
49.5	50	0.05				47	47.5	0.07
						49.5	50	0.04

Tabel 3 : Hasil analisis terhadap overconsolidation Ratio-OCR di Marunda

PLT-01			PLT-02			PLT-03		
Depth (m)		OCR	Depth (m)		OCR	Depth (m)		OCR
From	TO		From	TO		From	TO	
2	2.5	3.15	2.5	3	2.87	2	2.5	4.81
4.5	5	2.13	4.5	5	0.69	4.5	5	1.7
7	7.5	0.39	7	7.5	0.38	7	7.5	0.38
9.5	10	0.96	9.5	10	0.47	9.5	10	0.24
12	12.5	0.59	12	12.5	0.58	12	12.5	0.17
14	14.5	0.2	14.5	15	0.32	14.5	15	0.46
17	17.5	0.07	17	17.5	0.43	16.5	17	0.33
19.5	20	0.2	22	22.5	0.28	19.5	20	0.29
22	22.5	0.19	32	32.5	0.22	22	22.5	0.21
24.5	25	0.04	37	37.5	0.12	32	32.5	0.2
27	27.5	0.16	39.5	40	0.11	34.5	35	0.17
29.5	30	0.15	42	42.5	0.13	39.5	40	0.1
32.5	33	0.11	44.5	45	0.08	42	42.5	0.12
34.5	35	0.11	47	47.5	0.06	44.5	45	0.1
39.5	40	0.04	49.5	50	0.05	49.5	50	0.06
42	42.5	0.07						
44.5	45	0.04						
47	47.5	0.06						
49.5	50	0.05						

Tabel 4 : Hasil analisis terhadap overconsolidation Ratio-OCR di Graha Sunter

PLT-01			PLT-02			PLT-03		
Depth (m)		OCR	Depth (m)		OCR	Depth (m)		OCR
From	TO		From	TO		From	TO	
2	2.5	4.17	2	2.5	7.44	2	2.5	3.57
4.5	5	0.86	4.5	5	1.3	4.5	5	0.9
7	7.5	1.04	9.5	10	0.87	7	7.5	0.46
9.5	10	1.34	12	12.5	0.22	9.5	10	0.45
27	27.5	0.64	17	17.5	0.54	14.5	12.5	0.42
29.5	30	0.42	27	27.5	0.47	25	25.5	0.35
32	32.5	0.33	29.5	30	0.39	27	27.5	0.23
34.5	35	0.19	32	32.5	0.26	31.5	32	0.2
37	37.5	0.12	34.5	35	0.14	32	32.5	0.17
39.5	40	0.1	37	37.5	0.13	37	37.5	0.18
42	42.5	0.08	39.5	40	0.1	39.5	40	0.13
44.5	45	0.06	42	42.5	0.09	42	42.5	0.08
47	47.5	0.05	44.5	45	0.07	44.5	45	0.07
49.5	50	0.06	47	47.5	0.05	47	47.5	0.07
52	53.5	0.04	50	50.5	0.04	49.5	50	0.05
54.5	55	0.04						
57	57.5	0.03						
59.5	60	0.03						
62	62.5	0.03						
67	67.5	0.02						
69.5	70	0.02						
72	72.5	0.01						
74.5	75	0.02						

Penurunan Segera (*Immediately Settlement*)

Penurunan segera pada sudut dari beban berbentuk luasan empat persegi panjang fleksibel adalah :

$$q_n = q - \gamma_b \times D_f \dots\dots\dots (1)$$

Sedangkan untuk mencari rumus *immedietyly settlement* (S_i) :

$$S_1(A) = \frac{2q_n B}{E} (1 - \mu^2) I_p \dots\dots\dots (2)$$

Hasil perhitungan dari data pengujian yang di peroleh dari kementerian PUPR berdasarkan

bahan uji laboratorium dari 3 lokasi titik pemboran bisa dilihat di bawah :
Lokasi Marunda Baru Pluit
Diketahui :

- q = 25.30 kN/m²
- γ_b = 16.68 kN/m²
- E = 34355 kN/m²
- μ = 0.45
- I_p = 0.56
- D = 34.50 – 35.00
- D_f = 1 m

Penyelesaian :

Tekanan pondasi Neto

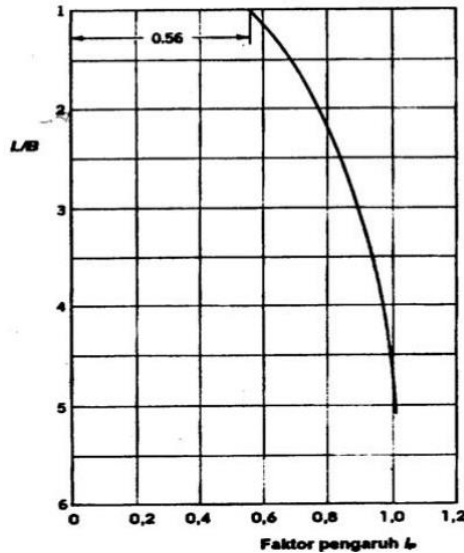
$$\begin{aligned} q_n &= q - \gamma_b \times D_f \\ &= 25.30 - 16.68 \times 1 \\ &= 8.62 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Penurunan Segera pada sudut luasan (titik A)

$$L/B = 10/10 = 1 \quad I_p = 0.56$$

$$S_i(A) = \frac{2q_n B}{E} (1 - \mu^2) I_p$$

$$\begin{aligned} S_i(A) &= \frac{8.62 \times 10}{34335} (1 - 0.45^2) \times 0.5 \\ &= 0.001125 = 0.112 \text{ cm} \end{aligned}$$



Gambar 5 : Faktor pengaruh penurunan di sudut luasan segi empat fleksibel (Terzaghi)[9]

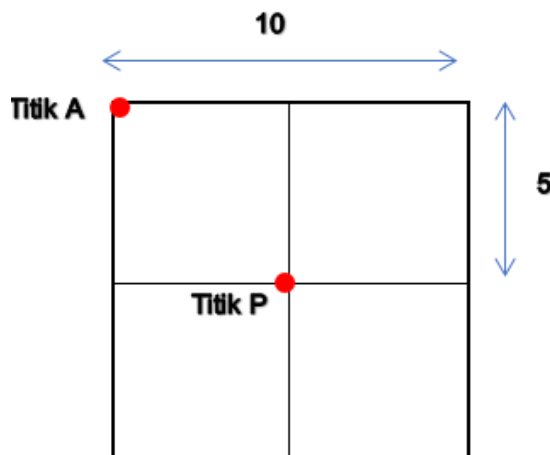
Penurunan segera pada luasan (titik P)

$$L/B = 5/5 = 1 \quad I_p = 0.45$$

$$S_1(p) = 4 \frac{2q_n B}{E} (1 - \mu^2) I_p$$

$$\begin{aligned} S_1(p) &= 4 \frac{8.62 \times 5}{34335} (1 - 0.45^2) \times 0.56 \\ &= 0.0022 \text{ m} = 0.224 \text{ cm} \end{aligned}$$

Perhitungan di atas diperoleh 2 perhitungan pertama di pusat titik bebakan pada titik (A) perhitungan kedua di pusat bebakan pada titik (P) bisa di lihat gambar di bawah ini.



Gambar 6 : Titik Beban Perhitungan

Tabel 5 : Perhitungan Penurunan Segera (immediate settlement) pada 3 titik lokasi

No	Lokasi	Beban dari atas permukaan (q) (KN/m ²)	Kedalaman (m)	(Y _b) (gr/m ³)	qn = Tekanan Pondasi (KN/m ²)	Immediate Settlement Titik -A				Immediate Settlement Titik -A			
						Si	Si	Penu-runan Total	Penu-runan Terbesar	Si	Si	Penu-runan Total	Penu-runan Terbesar
						(m)	(cm)	(cm)	(cm)	(m)	(cm)	(cm)	(cm)
1	Marunda (plt-1)	25.30	34.50 - 35.00	16.68	8.62	0.00112	0.112	0.112	0.112	0.00224	0.224	0.224	0.224
2	Marunda (plt-2)	25.30	14.50 - 15.00	15.43	9.87	0.00103	0.103	0.103		0.00206	0.206	0.206	
3	Marunda (plt-3)	25.30	22.00 - 22.50	15.68	9.62	0.00105	0.105	0.105		0.00210	0.210	0.210	
1	Pluit (plt-1)	50.60	26.00 - 26.50	15.80	34.80	0.00364	0.364	0.364	0.731	0.00727	0.727	0.727	1,462
2	Pluit (plt-2)	50.60	23.00 - 23.50	15.95	34.65	0.00362	0.362	0.362		0.00724	0.724	0.724	
3	Pluit (plt-3)	50.60	14.50 - 15.00	14.65	35.95	0.00376	0.376	0.731		0.00752	0.752	1,462	
		50.60	37.00 - 37.50	16.61	33.99	0.00355	0.355		0.00711	0.711			
1	Sunter (plt-1)	50.60	9.50 - 10.00	14.74	35.86	0.00383	0.383	0.745	0.00766	0.766	1,491		
		50.60	39.50 - 40.00	16.69	33.91	0.00362	0.362		0.00725	0.725			
2	Sunter (plt-2)	50.60	4.50 - 5.00	14.89	35.71	0.00382	0.374	0.382	0.745	0.00763	0.763	0.763	1,491
3	Sunter (plt-3)	50.60	9.50 - 10.00	15.57	35.03	0.00374	0.374	0.374		0.00749	0.749	0.749	

Perhitungan Penurunan Konsolidasi

(consolidation settlement)

Perhitungan penurunan konsolidasi dilakukan dari data data yang di peroleh dari hasil data uji laboratorium dari 3 lokasi, sebagai contoh perhitungan bisa di lihat dari data lokasi marunda di bawah ini :

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \dots\dots\dots (3)$$

Diketahui:

- $C_c = 0.505$
- $H = 3300 \text{ cm}$
- $e_o = 1.728$
- $\gamma_m = 1.579 \text{ gr/cm}^3$
- $P_0 = \gamma_m \times h = 1.579 \times 3300 = 5210.70 \text{ cm}$
- $q = 25.30 \text{ kN/m}^2$

Penyelesaian :

Mencari Δp dengan rumus:

$$\Delta p = \frac{1}{6} \times (\Delta p_t + 4\Delta p_m + \Delta p_b) \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta p_t = \frac{25.30}{10} = 2.53 \text{ m} = 253 \text{ cm}$$

$$\Delta p_t = \frac{25.30}{78} = 0.32 \text{ m} = 32 \text{ cm}$$

$$\Delta p_t = \frac{25.30}{146} = 0.17 \text{ m} = 17 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \Delta p &= \frac{1}{6} \times (2.53 + 4 \times 0.32 + 0.17) \\ &= 0.67 \text{ m} \\ &= 67 \text{ cm} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai Δp maka perhitungan konsolidasi bisa di hitung dengan menggunakan rumus perhitungan penurunan konsolidasi normal sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_c &= C_c \frac{h}{1 + e_o} \log \frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \\ S_c &= 0.505 \frac{3300}{1 + 1.728} \log \frac{5210.7 + 67}{5210.7} \\ S_c &= 0.505 \times 1209.67 \times \log 1.0128 \\ &= 3.373 \text{ Cm} \end{aligned}$$

Perhitungan penurunan tanah akibat konsolidasi alamiah dan pembebanan diasumsikan bahwa penambahan beban sebesar 25.30 kN/m² untuk daerah Maruda dan 50.60 kN/m² untuk Muara Baru Pluit dan

Graha Sunter. Ini setara dengan beban bangunan satu lantai untuk Marunda dan 2 lantai untuk Muara Baru Pluit dan Graha Sunter yang memiliki 6 fondasi dengan jarak antar fondasi 10 meter serta tinggi 4 meter. Hasil perhitungan penurunan tanah akibat konsolidasi dan pembebanan dapat

disimpulkan bahwa penurunan tanah total dari masing masing lokasi di ambil 3 titik dan nilainya di ambil dari yang paling besar di daerah Marunda sebesar 5.571 cm, Pluit 9.080 cm dan sunter 19.983 cm maka penurunan konsolidasi yang paling besar penurunannya adalah di lokasi sunter.

Tabel 6 : Perhitungan Besarnya Penurunan konsolidasi (consolidation settlement) pada 3 titik lokasi

No	Lokal	Beban dari atas permukaan (q)	Kedalaman (m)	Tebal lapisan tanah (h) (cm)	Kompresi indeks (C ₀)	Void Ratio (e ₀)	Nilai rata-rata (Y _m) (gr/c m ³)	Tekanan Overburden (P ₀) (cm)	Apt (cm)	Apm (cm)	Apb (cm)	Ap (cm)	Konsolidasi Partitik Sc (cm)	Total Konsolidasi (cm)	Sc Terbesar (cm)	Sc Terbesar (m)
		(KN/m ²)														
1	Marunda (plt-1)	25.30	2.00 - 35.00	3300	0.505	1,728	1,579	5210.70	253	32	17	67	3,373	3,373	5,571	0.056
2	Marunda (plt-2)	25.30	2.50-15.00	1250	0.627	1,757	1,588	1985.00	253	65	37	92	5,571	5,571		
3	Marunda (plt-3)	25.30	2.00 - 22.50	2050	0.591	1,945	1,546	3169.30	256	47	26	78	4,328	4,328		
1	Pluit (plt-1)	50.60	5.00 - 26.50	2150	0.600	2,032	1,533	3295.95	506	82	44	146	8,016	8,016	9,080	0.091
2	Pluit (plt-2)	50.60	8.00 - 33.50	2550	0.388	1,590	1,641	4184.55	506	90	50	153	5,952	5,952		
3	Pluit (plt-3)	50.60	2.00 - 15.00	1300	0.651	2,012	1,527	1985.10	506	130	75	183	0.016	9,080		
		50.60	27.00 - 37.00	1000	0.751	1,852	1,574	1574.00	506	60	32	130	9,064			
1	Sunter (plt -1)	50.60	2.00 - 10.00	800	0.494	1,794	1,547	1237.60	506	174.5	105.4	218.2	9,976	19,983	19,983	0.200
		50.60	27.00 - 40.00	1300	0.835	1,837	1,577	2050.10	506	56.9	30.1	127.3	10,007			
2	Sunter (plt -2)	50.60	2.00 - 5.00	300	0.666	1,781	1,547	464.10	506	266.3	180.7	292.0	15,229	15,229		
3	Sunter (plt-3)	50.60	2.00 - 10.000	800	0.687	2,152	1,507	1205.60	506	174.5	105.4	218.2	12,598	12,598		

Settlement total yang terjadi

Settlement total yang terjadi pada tanah yang dibebani (St) mempunyai 3 komponen :

$$St = Si + Sc + Ss$$

Diketahui :

$$Si \text{ (marunda plt-1)} = 0.224 \text{ cm}$$

$$Sc \text{ (marunda plt-1)} = 0.034 \text{ cm}$$

Penyelesaian :

$$St = Si + Sc$$

$$St = 0.224 + 5.571 = 5.795 \text{ cm}$$

Dari hasil perhitungan di atas penurunan segera (Si) dengan penurunan konsolidasi (Sc) bisa di simpulkan bahwa penurunan yang paling besar berada di lokasi sunter plt-1 sebesar 21.474 cm di konverkan ke meter menjadi 0.215 m.

Tabel 7 : Perhitungan Total Penurunan Segera dan Penurunan konsolidasi pada 3 titik lokasi

No	Lokasi	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan Tanah (h) (m)	Penurunan Segera (Si)		Penurunan Konsolidasi (Sc)		Total Penurunan Pertitik (St=Si+Sc) (cm)	Total Penurunan Terbesar (St=Si+Sc) (cm)	Total Penurunan Terbesar (St=Si+Sc) (m)
				Total Pertitik Titik-P (cm)	Ter-besar (cm)	Total Pertitik (cm)	Ter-besar (cm)			
1	Marunda (plt-1)	2.00 - 35.00	33.00	0.224	0.224	3,373	5,571	3,598	5,795	0.058
2	Marunda (plt-2)	2.50 - 15.00	12.50	0.206		5,571				
3	Marunda (plt-3)	2.00 - 22.50	20.50	0.210		4,328				
1	Pluit (plt-1)	5.00 - 26.50	21.50	0.727	1,462	8,016	9,080	6,676	10,542	0.105
2	Pluit (plt-2)	8.00 - 33.50	25.50	0.724		5,952				
3	Pluit (plt-3)	2.00 - 15.00 27.00 - 37.00	13.00 10.00	1,462		9,080				
1	Sunter (plt-1)	2.00 - 10.00 27.00 - 40.00	8.00 13.00	1,491	1,491	19,983	19,983	21,474	21,474	0.215
2	Sunter (plt-2)	2.00 - 5.00	3.00	0.763		15,229				
3	Sunter (plt-3)	2.00 - 10.00	8.00	0.749		12,598				

Waktu Settlement yang dicapai

Dari data hasil uji laboratorium di peroleh nilai koefisien konsolidasi (Cv) maka di hitung berapa waktu penurunan 90% dan 50% oleh karena itu nilai yang di peroleh bisa di ketahui bahwa:

Diketahui :

$$Tv = 0.848$$

$$h^2 = 34.00 \text{ m}$$

$$Cv = 0.00274$$

Penyelesaian :

$$t_{90} = \frac{0.848 \times 3300^2}{0.00274} = 3370335766.42336 \text{ detik}$$

$$= 39008.52 \text{ hari}$$

$$= 106.8 \text{ Tahun}$$

$$t_{50} = \frac{0.197 \times 3300^2}{0.00274}$$

$$= 782967153.28 \text{ detik}$$

$$= 9062.12 \text{ hari}$$

$$= 24.81 \text{ Tahun}$$

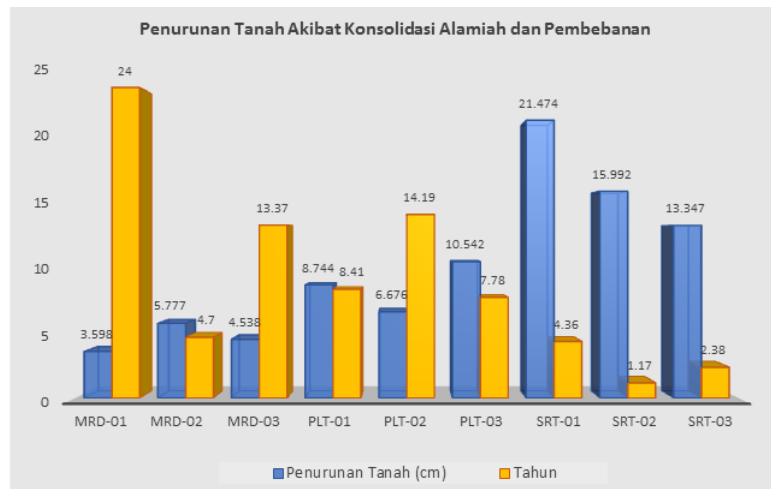
Apabila air pori penurunannya satu arah atau ke atas maka nilai tinggi kedalaman masih tetap angka yang sama. Apabila kebalikannya jika air pori penurunannya 2 arah atau ke atas dan kebawah maka tinggi kedalaman (h/2).

Tabel 8 : Perhitungan Waktu Penurunan Settlement Yang Dicapai Pada 3 Titik Lokasi

No	Lokasi	Beban dari atas permukaan n (q)	Kedalaman	Tebal lapisan tanah (h)	Koefisien Konsolidasi (Cv)	$t_{90} = \frac{0.848 \times h^2}{Cv}$	Konversi ke Hari	Konversi ke Tahun	$t_{90} = \frac{0.197 \times h^2}{Cv}$	Konversi ke Hari	Konversi ke Tahun
		(KN/m ²)	(m)	(cm)	(cm)	detik			detik		
1	Marunda (plt-1)	25.30	2.00 - 35.00	3300	0.00274	3370335766.42	39008.52	106.80	782967153.28	906.12	24.81
2	Marunda (plt-2)	25.30	2.50 - 15.00	1250	0.00207	640096618.36	7408.53	20.28	148701690.82	1721.08	4.71
3	Marunda (plt-3)	25.30	2.00 - 22.50	2050	0.00196	1818224489.80	21044.26	57.62	422394132.65	4888.82	13.38
1	Pluit (plt-1)	50.60	5.00 - 26.50	2150	0.00343	1142822157.43	13227.11	36.21	265490524.78	3072.81	8.41
2	Pluit (plt-2)	50.60	8.00 - 33.50	2550	0.00286	1928013986.01	22314.98	61.10	447899475.52	5184.02	14.19
3	Pluit (plt-3)	50.60	2.00 - 15.00	1300	0.00167	858155688.62	9932.36	27.19	199359281.44	2307.40	6.32
		50.60	27.00 - 37.00	1000	0.00428	198130841.12	2293.18	6.28	46028037.38	532.73	1.46
1	Sunter (plt -1)	50.60	2.00 - 10.00	800	0.00257	211175097.28	2444.16	6.69	49058365.76	567.81	1.55
		50.60	27.00 - 40.00	1300	0.00376	381148936.17	4411.45	12.08	88545212.77	1024.83	2.81
2	Sunter (plt -2)	50.60	2.00 - 5.00	300	0.00048	159000000.00	1840.28	5.04	36937500.00	427.52	1.17
3	Sunter (plt-3)	50.60	2.00 - 10.00	800	0.00168	323047619.05	3738.98	10.24	75047619.05	868.61	2.38

Tabel 9 : Penurunan tanah dan waktu terjadinya konsolidasi

LOKASI PENGAMATAN	PENURUNAN TANAH AKIBAT KONSOLIDASI ALAMIAH DAN PEMBEBANAN (cm)		WAKTU (tahun)
MRD-01	3,598		24
MRD-02	5,777		4,7
MRD-03	4,538		13,37
PLT-01	8,744		8,41
PLT-02	6,676		14,19
PLT-03	10,542		7,78
SRT-01	21,474		4,36
SRT-02	15,992		1,17
SRT-03	13,347		2,38



Gambar 7 : Grafik Penurunan Muka Tanah Beserta Waktu Penurunan

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan dari masing masing metode sebagai berikut :

1. Besar penurunan yang di hitung secara manual:
2. Penurunan Segera (Immediately settlement)
3. Di daerah marunda lebih besar penurunannya di titik P di bandingkan dengan titik A yang memiliki angka penurunan titik A = 0.112 cm titik P = 0.224 cm, begitu juga di daerah pluit lebih besar penurunannya di titik P di bandingkan dengan titik A yang memiliki angka penurunan titik A = 0.731 cm titik P = 1.462 cm. Sunter pun sama penurunan yang paling besar itu terdapat di titik P dimana titik A = 0.745 cm dan titik P = 1.491 cm jadi dari tiga lokasi penurunan yang terbesar di titik bebankan pada titik-p dan lokasi yang ter besar penurunannya terdapat di daerah sunter yang memiliki penurunan sebesar 1.491 cm,
4. Perhitungan Penurunan Konsolidasi (consolidation settlement).
5. Penurunan tanah total dari masing masing lokasi di ambil 3 titik dan nilainya di ambil dari yang paling besar di daerah Marunda

sebesar 5.571 cm, Pluit 9.080 cm dan sunter 19.983 cm maka penurunan konsolidasi yang paling besar penurunannya adalah di lokasi sunter.

6. Settlement total Hasil dari penjumlahan total penurunan segera dengan penurunan konsolidasi dapat di simpulkan bahwa penurunan yang paling besar berada di lokasi sunter plt-1 sebesar 21,474 cm di konverkan ke meter menjadi 0.215 m. Dari masing masing lokasi memiliki waktu penurunan yang berpariatif, maka dapat disimpulkan dari penurunan tanah di daerah Marunda adalah 3.598 - 5,777 cm dan terjadi dalam kurun waktu 4 - 13 tahun. Di Pluit penurunannya adalah 8,744 – 10,542 cm dalam kurun waktu 7 – 14 tahun dan di Sunter penurunan akibat konsolidasi dan pembebanan adalah 13,347 – 21,474 meter dalam kurun waktu 1 – 4 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. R. Marker, "Land subsidence," in *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 2013.

- [2] H. Z. Abidin *et al.*, "Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its geodetic monitoring system," *Nat. Hazards*, 2001, doi: 10.1023/A:1011144602064.
- [3] H. Z. Abidin, H. Andreas, I. Gumilar, Y. Fukuda, Y. E. Pohan, and T. Deguchi, "Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development," *Nat. Hazards*, 2011, doi: 10.1007/s11069-011-9866-9.
- [4] B. D. Yuwono, H. Z. Abidin, and M. Hilmi, "Analisa geospasial penyebab penurunan muka tanah di Kota Semarang," *Pros. SNST ke-4 Tahun 2013*, 2013.
- [5] N. Phien-wej, P. H. Giao, and P. Nutalaya, "Land subsidence in Bangkok, Thailand," *Eng. Geol.*, 2006, doi: 10.1016/j.enggeo.2005.10.004.
- [6] M. Chen *et al.*, "Imaging land subsidence induced by groundwater extraction in Beijing (China) using satellite radar interferometry," *Remote Sens.*, 2016, doi: 10.3390/rs8060468.
- [7] K. Terzaghi, "Mechanism of Landslides," in *Application of Geology to Engineering Practice*, 2015.
- [8] Dinas Pertambangan DKI bekerjasama dengan LPM ITB. (1998) : Studi Geologi Teknik Wilayah Jakarta Selatan, Jakarta Selatan, Laporan Akhir, Jakarta.
- [9] Dinas Perindustrian dan Energi DKI Jakarta (2012): Evaluasi Penurunan Tanah Dengan 3 Sumur Dalam di Wilayah DKI Jakarta, Laporan Akhir (tidak dipublikasikan)