

ANALISIS POTENSI PENURUNAN TIMBUNAN BADAN JALAN PADA PEMBANGUNAN JALAN TOL INDRAPURA - KISARAN STA 112+550

Niken Rizky Yolanda Manurung¹, Lisa Meyanthy², Rudianto Surbakti³

nikenrizkyyolandamanurung@student.polmed.ac.id¹,

lisameyanthy@student.polmed.ac.id², rudiantosurbakti@polmed.ac.id³

ABSTRAK

Tanah adalah material dasar yang sangat penting dalam bidang konstruksi. Namun, beberapa jenis tanah membutuhkan penanganan khusus dikarenakan memiliki kelemahan baik dari segi daya dukung tanah maupun stabilitasnya. Tanah dengan konsistensi lunak cenderung mengalami penurunan yang signifikan. Berbagai metode telah dikembangkan untuk memprediksi penurunan konsolidasi total, seperti menggunakan teori Terzaghi secara analitis. Untuk menganalisis keakuratan metode analitis digunakan data settlement plate sebagai pembanding. Melalui metode analitis diperoleh hasil prediksi penurunan tanah sebesar -2,868 meter. Sedangkan penurunan yang terjadi menurut pengamatan settlement plate di lapangan adalah -1,676 meter. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis besar potensi penurunan tanah lunak berdasarkan hasil penyelidikan tanah pada proyek jalan tol Indrapura-Kisaran. Besar penurunan tanah yang terjadi menggunakan metode analitis berdasarkan teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi adalah 2,868 meter, dan perbedaan dengan aktual di lapangan sebesar 119,2 cm. Pengecekan settlement plate sangat berpengaruh untuk mengetahui besarnya penurunan tanah di lapangan dan menjadi pembanding untuk menghitung analisis penurunan tanah dengan metode analitis.

Kata Kunci : Penurunan Tanah, Timbunan, Konsolidasi

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah adalah material dasar yang sangat penting dalam bidang konstruksi, karena pada tanah inilah suatu konstruksi bertumpu (Lestari, 2014). Namun, beberapa jenis tanah membutuhkan penanganan khusus dikarenakan memiliki kelemahan baik dari segi daya dukung tanah maupun stabilitasnya. Oleh karena itu, dalam perencanaan konstruksi harus dilakukan pemeriksaan karakteristik dan kekuatan tanah terutama sifat-sifat tanah yang mempengaruhi daya dukung tanah untuk menahan beban konstruksi.

Tanah lunak adalah salah satu jenis tanah yang membutuhkan penanganan khusus dikarenakan sifatnya yang memiliki daya dukung relatif rendah, nilai kuat geser rendah, permeabilitas rendah, sifat kembang susut yang besar, dan pemampatan relatif besar yang berlangsung relatif lama. Sehingga apabila keberadaan tanah lunak ini tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang dapat merusak struktur bangunan yang berada di atasnya.

Untuk memperbaiki tanah lunak ini umumnya digunakan beberapa metode di lapangan seperti metode prefabricated vertical drain (PVD), metode Free drainage materials (FDM), pemasangan geotekstil, dan pra pembebanan (preloading).

Untuk mengevaluasi potensi besar penurunan konsolidasi yang terjadi, dapat dilakukan dengan perhitungan analitis menggunakan teori yang dikembangkan Terzaghi (1925). Untuk mengecek hasil analisis yang telah didapatkan maka diperlukan data harian penurunan tanah yang terjadi di lapangan dicatat dari settlement plate yang dipasang di lapangan.

Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang muncul dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Berapa besar potensi penurunan tanah yang terjadi menggunakan metode analitis berdasarkan teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi?
- b. Apakah timbunan badan jalan tol berpotensi mengalami kegagalan konstruksi atau tidak?

- c. Penanganan apa yang cocok untuk memperbaiki tanah lunak pada jalan tol Indrapura-Kisaran?

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang muncul dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Memperoleh besar potensi penurunan tanah yang terjadi menggunakan metode analitis berdasarkan teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi.
- b. Mengetahui angka keamanan timbunan badan jalan tol indrapura-Kisaran.
- c. Mengetahui penanganan apa saja yang dilakukan untuk memperbaiki tanah lunak pada jalan tol Indrapura-Kisaran.

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam proyek konstruksi, tanah lunak seringkali menjadi perhatian khusus karena memiliki daya dukung yang rendah. Karakteristik lain yang menjadi masalah dalam konstruksi adalah gaya gesernya yang kecil, pemampatan yang besar, dan permeabilitas yang sangat kecil. Tanah lunak adalah tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian butiran-butirannya berukuran kecil, seperti tanah lempung dan tanah lanau.

Tanah lunak adalah jenis tanah yang jika tidak diidentifikasi dan diselidiki dengan cermat dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir, tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi (Panduan Geoteknik I, 2002).

Tanah lunak dapat diklasifikasikan kedalam 3 kelompok utama yaitu: Tanah inorganik berbutir halus, yang termasuk dalam kelompok ini adalah lanau dan lempung yang memiliki nilai kuat geser tidak terdrainase (CU) lebih kecil dari 2,5 kPa. Tanah organik, adalah tanah yang didefinisikan sebagai tanah yang mengandung organik antara 25% sampai 75%. Tanah gambut, adalah tanah dengan kadar organik lebih dari 75% dan memiliki kadar serat yang relatif tinggi.

Tanah lunak yang bersifat anorganik mengandung mineral-mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi. Secara umum, lapisan tanah yang disebut lapisan lunak adalah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*) yang mempunyai harga pengujian penetrasi standar yang lebih kecil dari 4 atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi, begitu juga lapisan tanah pasir yang dalam keadaan lepas dengan nilai N kurang dari 10, diklasifikasikan sebagai lapisan yang lunak (Suyono, 1984). Tanah lunak merupakan jenis tanah kohesif yang dominan terdiri dari butiran-butiran sangat kecil, seperti lempung dan lanau. Das (1998) mendeskripsikan lempung dan lanau sebagai berikut: Lempung adalah sebagian besar terdiri dari partikel *microscopic* dan *submicroscopic* (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempengan (clays mineral) dan mineral-mineral yang sangat halus lainnya. Grim (1953) menyatakan dari segi mineral, tanah lempung adalah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air. Lanau adalah fraksi *microscopic* (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran *quartz* yang sangat halus, dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika.

Permasalahan Yang Timbul Pada Tanah Lunak

Dalam perencanaan proyek konstruksi bangunan sipil, sering kali dihadapi permasalahan pada jenis tanah lunak. Beberapa permasalahan yang sering muncul yaitu daya dukung tanah yang rendah dan penurunan yang besar jika diberi beban. Hal ini disebabkan karena tanah lunak umumnya memiliki kuat geser dan permeabilitas yang rendah serta kompresibilitas yang besar.

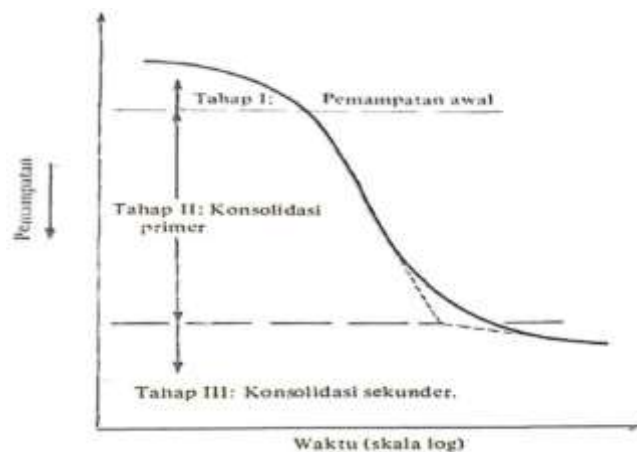
Beberapa masalah yang sering ditimbulkan oleh tanah lunak pada konstruksi seperti pemampatan tanah yang besar, disebabkan oleh tingginya kadar air pada tanah lunak mengakibatkan terjadinya penurunan yang besar saat tanah kehilangan air pori. Waktu konsolidasi yang berlangsung lama, karena permeabilitas tanah yang rendah dan tingginya kadar air, menyebabkan penurunan tanah

yang memakan waktu.

Ketika lapisan tanah lunak ditimbun, beban yang diterima akan dipindahkan ke lokasi lain, menyebabkan terangkatnya lapisan tanah (*uplift*) di lokasi tersebut. Kejadian ini berpotensi merusak bangunan di sekitar konstruksi. Tanah lunak yang terdapat pada lereng memiliki stabilitas yang rendah, kondisi ini dapat dilihat pada nilai sudut geser yang sangat rendah yang mengakibatkan tanah sulit untuk digali dan dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi.

Konsolidasi merupakan proses menyusutnya kadar air pada lapisan tanah lempung yang jenuh tanpa pergantian air oleh udara Terzaghi (1946). Konsolidasi juga merupakan proses kecepatan menyusutnya volume akibat keluarnya air pada rongga tanah yang merupakan fungsi waktu Crawford (1964). Tanah lempung dengan permeabilitas rendah mengalami desipasi air pori, tekanannya dapat dilihat dari kecepatan sejauh mana air dapat keluar melalui pori-pori tanah. Dari kecepatan dan jarak air dapat disimpulkan bahwa mekanisme konsolidasi adalah respon dari tegangan waktu (*visco elastic*) Holtz dan Konvacs (1981).

Proses berkurangnya volume yang terjadi selama proses konsolidasi disebabkan oleh salah satu atau rangkaian keseluruhan dari faktor berikut : Penyusutan kembali butiran-butiran lempung, deformasi dari butiran lempung, deformasi air pori dan udara, keluarnya air pori dan udara. Prosedur untuk melakukan uji konsolidasi satu dimensi pertama-tama diperkenalkan oleh Terzaghi (1925), dan menghasilkan grafik yang menunjukkan hubungan antara pemampatan dan waktu. Grafik waktu terhadap pemampatan tanah dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik waktu-pemampatan selama konsolidasi Das (1998)

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan yang berbeda yang dapat dijalankan sebagai berikut:

- Tahap I : Pemampatan Awal (initial compression) yang ada umumnya adalah disebabkan oleh pembebanan awal (preloading).
- Tahap II : Konsolidasi Primer (primary consolidation) yaitu periode selama tekanan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif, sebagai akibat dari keluarnya air dari pori-pori tanah.
- Tahap III : Konsolidasi sekunder (secondary consolidation), yang terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. Pemampatan yang terjadi disini adalah disebabkan oleh penyesuaian yang bersifat plastis dari butiran-butiran tanah. Konsolidasi pada tahap ini akan berakhir ketika butiran-butiran tanah tidak terdeformasi lagi.

Teori konsolidasi Terzaghi dikembangkan dengan mengambil dasar dari prinsip-prinsip berikut.

1. Tanah dianggap selalu dalam keadaan jenuh ($S = 100\%$), sehingga perhitungan penurunan konsolidasi dapat dilakukan untuk tanah yang tidak jenuh, namun estimasi waktu penurunan menjadi kurang dapat diandalkan.

2. Air dan butiran tanah dianggap tidak dapat terkompresi $\left[a_v \approx \frac{de}{dp} \right]$.
3. Terdapat hubungan linier antara tekanan yang bekerja dan perubahan volume.
4. Koefisien permeabilitas dianggap sebagai suatu konstanta. Meskipun hal ini mungkin berlaku di lapangan, di laboratorium terdapat potensi kesalahan besar yang dapat memengaruhi akurasi dalam menentukan waktu terjadinya penurunan.
5. Hukum Darcy diterapkan ($v = ki$).
6. Suhu dianggap konstan. Meskipun perubahan suhu dari sekitar 10 hingga 200°C (mewakili suhu lapangan dan laboratorium) dapat menyebabkan sekitar 30% perubahan dalam viskositas air, pengujian di laboratorium sebaiknya dilakukan pada suhu yang diketahui dan sebaiknya sejajar dengan suhu lapangan.
7. Proses konsolidasi dianggap sebagai konsolidasi satu dimensi (vertikal), sehingga tidak ada aliran air atau pergerakan lateral tanah. Hal ini sepenuhnya terlihat dalam pengujian laboratorium dan umumnya berlaku di lapangan.
8. Selain itu, muka air tanah statis dan tekanan pori dianggap akan lenyap. Pada tanah yang responsif, kesalahan yang signifikan mungkin muncul, sementara pada tanah lain, pengaruhnya mungkin lebih kecil. Interpretasi data yang cermat dapat membantu mengurangi kesalahan dalam pengambilan sampel tanah tersebut.

Terdapat beberapa rumusan mengenai penurunan akibat konsolidasi satu dimensi, dengan perbedaan simbol-simbol yang digunakan, namun pada dasarnya prinsip yang digunakan sama.

Menurut Das dalam bukunya Mekanika Tanah:

Apabila kita mempertimbangkan suatu lapisan lempung yang jenuh dengan ketebalan H , luas penampang melintang A , dan tekanan efektif overburden rata-rata sebesar p_0 , dan karena adanya penambahan tekanan sebesar Δp , diasumsikan bahwa penurunan konsolidasi primer yang terjadi adalah sebesar S .

$$S = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \right) \quad (1.1)$$

dengan : S = besar penurunan konsolidasi

C_c = Indeks pemampatan tanah

H = tebal lapisan tanah yang termampatkan

p_0 = tegangan vertikal efektif akibat berat sendiri tanah

Δp = penambahan tekanan vertikal

= angka pori awal tanah

e_o

Untuk suatu lempeng yang tebal, adalah lebih teliti bila lapisan tanah tersebut dibagi menjadi beberapa sub lapisan dan perhitungan penurunan dilakukan secara terpisah untuk tiap-tiap sub lapisan. Jadi penurunan total dari seluruh lapisan tersebut dinyatakan dalam persamaan (1.2) berikut ini:

$$S = \sum \left[\frac{C_c H_i}{1 + e_o} \log \left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \right) \right] \quad (1.2)$$

dengan : H_i = Tebal sub lapisan i

$p_0(i)$ = Tekanan efektif overburden untuk sub lapisan i

$\Delta p(i)$ = Penambahan tekanan vertikal untuk sub lapisan i

Penanganan yang Cocok Untuk Memperbaiki Tanah Lunak

Secara umum, lapisan tanah lunak terdiri dari lempung (clay) dan lanau (silt). Masalah yang dihadapi ketika merencanakan suatu konstruksi pada kondisi tanah tersebut adalah daya dukung dan penurunan. Ada berbagai metode yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah

ini, seperti teknik perbaikan tanah secara mekanis (fisis), dengan menggunakan bahan kimia, dengan bahan perkuatan dan secara hidrolis. Pemilihan metode perbaikan tanah biasanya didasarkan pada formasi geologi dari lapisan tanah, karakteristik tanah itu sendiri, biaya dan ketersediaan material serta pengalaman dalam pekerjaan sejenis. Ada berbagai macam metode yang dipakai untuk memperbaiki tanah lunak yaitu metode Prefabricated vertical drain (PVD), Metode Free drainage materials (FDM), metode preloading. Metode yang dipakai pada proyek ini adalah metode preloading.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan metode kualitatif. Langkah awal adalah mengumpulkan data mengenai lapisan tanah yang akan ditinjau. Selanjutnya, peneliti akan melakukan perhitungan dengan rumus teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi, kemudian dilakukan analisis terhadap perhitungan dengan metode analitis dengan hasil asli dari lapangan. Dengan demikian, dapat diamati apakah hasil dengan rumus teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi sama atau mendekati dengan hasil yang ada di lapangan.

Adapun objek penelitian yang diteliti adalah Proyek Jalan Tol Indrapura-Kisaran, yang berlokasi di Desa Sipare-pare, Kecamatan Air Putih, Kabupaten Batu Bara, Sumatera Utara, Indonesia.

Dalam penyelesaian penelitian ini, diperlukan data-data dan teori-teori yang berhubungan dengan topik yang dianalisis.

Metode pengumpulan data yang diterapkan melibatkan langkah-langkah berikut:

1. Pengambilan Data:

Pengambilan data mencakup:

- a. Data Cross section mainroad STA 112+550
- b. Data Boring log BH 05
- c. Data settlement plate 115+550 CL.

2. Membaca Studi Kepustakaan:

Melakukan pembacaan serta memasukkan kutipan dari buku-buku yang relevan dengan topik yang sedang diselidiki. Tujuan dari langkah ini adalah untuk melengkapi dan meningkatkan laporan ini dengan informasi yang diperoleh dari literatur yang relevan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Besar Penurunan Tanah

Berdasarkan data-data laboratorium, akan dihitung besar penurunan tanah dengan menggunakan rumus:

$$S = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log\left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o}\right)$$

dengan : S = besar penurunan konsolidasi

C_c = Indeks pemampatan tanah

H = tebal lapisan tanah yang termampatkan

p_o = tegangan vertikal efektif akibat berat sendiri tanah

Δp = penambahan tekanan vertikal

e_o = angka pori awal tanah

Asumsi yang dipakai dari hasil data resume yaitu sebagai berikut ini:

1. Nilai Modulus young (E) tidak diambil dilapangan, sehingga nilainya diasumsikan sebagai berikut:
 - a. Lapisan timbunan diasumsikan sehingga termasuk kategori stiff, maka nilai modulusnya 25000 kN/m²
 - b. Lapisan pertama jenis tanah elastic silt 1 dengan nilai N-SPT 2, maka termasuk kategori tanah very soft sehingga diambil nilai modulusnya 1500 kN/m²
 - c. Lapisan kedua jenis tanah silt 1 dengan nilai N-SPT 3, maka termasuk kategori tanah very soft sehingga diambil nilai modulusnya 1500 kN/m²
 - d. Lapisan ketiga jenis tanah elastic silt 2 dengan nilai N-SPT 2, maka termasuk kategori tanah very soft sehingga diambil nilai modulusnya 1000 kN/m²

- e. Lapisan keempat jenis tanah silty sand dengan nilai N-SPT 11,22,20 sampai 24, maka termasuk kategori tanah medium sehingga diambil nilai modulusnya 5000 kN/m²
 - f. Lapisan kelima jenis tanah elastic silty sand dengan nilai N-SPT 4, maka termasuk kategori tanah very loose sehingga diambil nilai modulusnya 1500 kN/m²
 - g. Lapisan keenam jenis tanah silt 2 dengan nilai N-SPT 10,11,3 maka termasuk kategori tanah very soft sehingga diambil nilai modulusnya 1000 kN/m²
 - h. Lapisan ketujuh jenis tanah clay sand dengan nilai N-SPT 12,7,9,8 maka termasuk kategori tanah very loose sehingga diambil nilai modulusnya 5000 kN/m²
 - i. Lapisan kedelapan jenis tanah fat clay dengan nilai N-SPT 12,13,15,24,28,29 maka termasuk kategori tanah soft sehingga diambil nilai modulusnya 7500 kN/m²
2. Pada lapisan 3 penlitu mengasumsikan sampel lab diambil dari sampel ketiga awal

Tabel 1. Data Laboratorium

Data	Timbunan	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	Lapisan 6	Lapisan 7	Lapisan 8
Kedalaman	0 s/d 8	0 s/d -1	-1 s/d -5	-5 s/d -17	-17 s/d -23,4	-23,4 s/d -27	-27 s/d -32,7	-32,7 s/d -42	-42 s/d -50,45
Jenis Tanah	A-6 (clay)	Elastic Silt 1	Silt 1	Elastic Silt 2	Silty Sand	Elastic Silty Sand	Silt 2	Clay Sand	Fat Clay
Spesific Gravity		2,44	2,48	2,41	2,62	2,37	2,39	2,62	2,55
Wet Unit weight(sat)	18,46	14,27	16,32	14,17	18,72	13,82	16,89	18,72	17,64
Dry Unit weight(unsat)	14,52	7,73	10,91	7,49	14,87	7,35	12,42	14,87	12,86
k_x	5,00E-05	4,40E-07	1,69E-07	4,24E-07	3,84E-07	1,59E-07	2,16E-07	3,84E-07	2,14E-07
E	2,5	15	10	10	5	10	3	5	7,5
Φ	35	-	23,01	34,19	38,39	26,44	-	38,39	-
C_c	15	0,60	0,44	1,11	0,44	0,81	0,54	0,44	0,39
e_o		2,09	1,23	2,16	0,73	2,16	0,89	0,73	0,94

- a. Untuk timbunan tahap 1 setebal 1,5 m

$$\begin{aligned} \square_p &= \gamma_{\text{timb1}} \times H_{\text{timb1}} \\ &= 14,52 \times 1,50 \\ &= 21,78 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Maka penurunan pada lapisan tanah 1

$$\begin{aligned} P_o &= (\gamma'_{\text{lap1}} \times \frac{1}{2} H_{\text{lap1}}) \\ P_o &= (14,27 - 9,81) \times (\frac{1}{2} \times 1) \\ P_o &= 2,230 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Maka penurunannya adalah

$$\begin{aligned} S &= \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log\left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o}\right) \\ S &= \frac{0,60 \times 1}{1 + 2,09} \log\left(\frac{2,23 + 21,78}{2,23}\right) \\ S &= 0,200 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan lapisan ke 2

$$\begin{aligned} P_o &= (\gamma'_{\text{lap1}} \times H_{\text{lap1}}) + (\gamma'_{\text{lap2}} \times \frac{1}{2} H_{\text{lap2}}) \\ P_o &= (14,27 - 9,81 \times 1) + (16,32 - 9,81) \times (\frac{1}{2} \times 4) \\ P_o &= 13,020 \text{ kN/m}^2 \\ S &= \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log\left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o}\right) \\ S &= \frac{0,44 \times (4)}{1 + 1,23} \log\left(\frac{13,020 + 21,78}{13,020}\right) \\ S &= 0,337 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan lapisan ke 3

$$\begin{aligned} P_o &= (\gamma'_{\text{lap1}} \times H_{\text{lap1}}) + (\gamma'_{\text{lap2}} \times H_{\text{lap2}}) + (\gamma'_{\text{lap3}} \times \frac{1}{2} H_{\text{lap3}}) \\ P_o &= (14,27 - 9,81 \times 1) + (16,32 - 9,81) \times (4) + (14,17 - 9,81) \times (\frac{1}{2} \times 12) \\ P_o &= 26,160 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$S = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log\left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o}\right)$$

$$S = \frac{1,11 \times (12)}{1 + 2,16} \log\left(\frac{26,160 + 21,78}{26,160}\right)$$

$$S = 1,109 \text{ m}$$

Penurunan lapisan ke 5

$$P_o = (\gamma'_{lap1} \times H_{lap1}) + (\gamma'_{lap2} \times H_{lap2}) + (\gamma'_{lap3} \times H_{lap3}) + (\gamma'_{lap4} \times H_{lap4}) + (\gamma'_{lap5} \times \frac{1}{2} \cdot H_{lap5})$$

$$P_o = (14,27 - 9,81 \times 1) + (16,32 - 9,81) \times (4) + (14,17 - 9,81) \times (12) + (18,72 - 9,81) \times (6,4) + (13,82 - 9,81) (\frac{1}{2} \times 3,6)$$

$$P_o = 7,218 \text{ kN/m}^2$$

$$S = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log\left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o}\right)$$

$$S = \frac{0,81 \times (3,6)}{1 + 2,16} \log\left(\frac{7,218 + 21,78}{7,218}\right)$$

$$S = 0,557 \text{ m}$$

Penurunan lapisan ke 6

$$P_o = (\gamma'_{lap1} \times H_{lap1}) + (\gamma'_{lap2} \times H_{lap2}) + (\gamma'_{lap3} \times H_{lap3}) + (\gamma'_{lap4} \times H_{lap4}) + (\gamma'_{lap5} \times H_{lap5}) + (\gamma' \times \frac{1}{2} H_{lap6})$$

$$P_o = (14,27 - 9,81 \times 1) + (16,32 - 9,81) \times (4) + (14,17 - 9,81) \times (12) + (18,72 - 9,81) \times (6,4) + (13,82 - 9,81) \times (3,6) + (16,89 - 9,81) \times (\frac{1}{2} \times 5,7)$$

$$P_o = 20,178 \text{ kN/m}^2$$

$$S = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log\left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o}\right)$$

$$S = \frac{0,54 \times (5,7)}{1 + 0,89} \log\left(\frac{20,178 + 21,78}{20,178}\right)$$

$$S = 0,518 \text{ m}$$

Maka total penurunan tanah untuk tahap 1 adalah

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_5 + S_6$$

$$S = 0,200 + 0,377 + 1,109 + 0,557 + 0,518$$

$$S = 2,721 \text{ m}$$

Dengan menghitung penurunan tanah akibat timbunan 1 sampai timbunan preloading. Penurunan masing-masing tahapan penimbunan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.2 berikut ini:

Tabel 2. Hasil perhitungan penurunan tanah secara analitis

Fase Timbunan	Tinggi timbunan (meter)	Besarnya penurunan tanah (meter)						Jumlah
		Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	Lapisan 6	
Timbunan 1	1,50	Diperhitungkan sebagai beban Overburden						
Timbunan 2	0,80	0,033	0,089	0,253		0,027	0,041	0,442
Timbunan 3	0,70	0,021	0,062	0,196		0,022	0,034	0,335
Timbunan 4	1,00	0,023	0,073	0,248		0,029	0,046	0,419
Timbunan 5	1,40	0,024	0,082	0,299	Lapisan Tanah	0,038	0,059	0,502
Timbunan 6	1,30	0,018	0,062	0,239	Pasir dengan	0,032	0,051	0,402
Timbunan 7	0,80	0,009	0,033	0,133	Kepadatan	0,019	0,030	0,224
Timbunan Preloading	2,20				Sedang			
		0,021	0,077	0,323		0,047	0,076	0,544
Total Penurunan (meter)								2,868

Pada analisis penurunan dengan metode analitis oleh terzaghi diasumsikan bahwa pada lapisan pertama tanah tidak diperhitungkan sebagai penambahan beban karena tanah sudah ada sebelum dilakukan pemasangan settlement plate, namun dianggap sebagai tekanan overburden (Po) dan lapisan 1 dihitung sebagai tekanan efektif karena kondisi aktual lapangan tanah dalam keadaan basah. Total penurunan pada menggunakan metode analitis sebesar 2,868 meter, penurunan ini merupakan penurunan tanah ketika konsolidasi sudah mencapai 100%, sedangkan penurunan yang terjadi pada settlement plate belum mencapai 100%. Kondisi perhitungan ini menyebabkan hitungan analitis lebih besar daripada penurunan yang tercatat pada settlement plate.

SIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil dari hasil analisis adalah: Besar penurunan tanah yang terjadi menggunakan metode analitis berdasarkan teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi adalah 2,868 meter, dan perbedaan dengan aktual di lapangan sebesar 119,2 cm. dan pengecheckkan *settlement plate* sangat berpengaruh untuk mengetahui besarnya penurunan tanah dilapangan yang akan menjadi pembandingan untuk menghitung analisis penurunan tanah dengan metode analitis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak-pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini yaitu Kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M), dan Bapak Rudianto Surbakti, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M. (1995). Mekanika Tanah 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). Diterjemahkan: Endah Noor, Indrasurya B Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Grim, R.E. (1953), Clay mineralogy, Me Graw Hill Book Company and Lime Colomn Inc. New York.
- I Gusti Agung Ayu Istri Lestari (2014). Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif, Fakultas Teknik Universitas Islam Al-Azhar Mataram.
- Surbakti R, (2020), Analisis Pengaruh Sand Replacement Sebagai Counter Weight pada proses konsolidasi di Reklamasi Belawan, Tesis , Universitas Sumatera Utara.
- Terzaghi, K. (1925), Principles of Soil Mechanics IV. Settlement and consolidation of clay. Engineering News-Record 1925;95:874-8.
- Zahra, (2008). Kontrol Penurunan Tanah Akibat Timbunan Pada Titik Dengan Bore Log Test No.Bh-II (Area-II) Proyek Bandar Udara Kuala, Tugas Akhir, Universitas Sumatera Utara.