



**PENURUNAN MUKA TANAH AKIBAT BEBAN FONDASI PADA TEMPAT
CALON PEMBANGUNAN EMBUNG UNPAD, JATINANGOR, SUMEDANG,
JAWA BARAT**

Silvy Oktaviana Setia^{*1}, Raden Irvan Sophian¹, Zufialdi Zakaria¹

^{*1}Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung

*Korespondensi: silvy16001@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Salah satu perencanaan pembangunan infrastruktur di Jatinangor, ialah pembangunan embung. Potensi kerusakan infrastruktur embung dapat berasal dari adanya penurunan muka tanah yang memungkinkan dapat mengakibatkan ketidakstabilan fondasi embung tersebut. Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kondisi geologi teknik, sehingga dapat menilai nilai daya dukung tanah dan peranan konsolidasi terhadap besar dan waktu penurunan muka tanah daerah penelitian. Analisis penurunan muka tanah dilakukan pada 3 titik bor (A1, A2, dan A3) yang direncanakan sebagai tempat peletakan timbunan (urugan) embung. Perhitungan penurunan muka tanah dilakukan menggunakan persamaan Terzaghi dan Peck dengan beban tambahan dari beban fondasi embung itu sendiri. Tanah Lempung yang diteliti berjenis CH yang berasal dari lapukan batuan tuf, serta memiliki karakteristik tekanan pra-konsolidasi yakni terkonsolidasi secara normal. Berdasarkan perhitungan daya dukung tanah di permukaan dalam kondisi keruntuhan geser umum, jenis fondasi yang cocok adalah fondasi bujur sangkar dengan nilai daya dukung yang diizinkan berkisar 0,2995 – 0,553 kg/cm². Dengan mengasumsikan penambahan beban sama dengan nilai daya dukung yang diizinkan, dalam 3 bulan penurunan tanah yang terjadi adalah berkisar 5,145 – 12,198 cm.

Kata Kunci: Konsolidasi, Penurunan Muka Tanah, Fondasi, Daya Dukung Tanah, Embung, Jatinangor.

ABSTRACT

One of the infrastructure development plans in Jatinangor is the construction of a dam. The potential damage from the dam's infrastructure can come from any land subsidences and it can possibly cause the instability of the dam's footing. The purpose of this research is to identify engineering geology conditions, so as assess the bearing capacity and also the role of consolidation on subsidence in the research area. The land subsidence analysis was carried out at 3 drill points (A1, A2, and A3) which will be the placed for dam filling site. The land subsidence calculation uses Terzaghi and Peck's equation with the additional load from the footing load. The clay soil used in this research is clay with high plasticity (CH), originated from weathered

tuff rock, is a pre-consolidated pressure which consider to normally consolidated. Based on the calculation of the bearing capacity of the soil on the surface in general shear failure conditions, the suitable type of footing is a square footing with the allowable bearing capacity around 0,2995 – 0,553 kg/cm². Assuming the additional load is the same as the value of the allowed bearing capacity, in 3 months the subsidence that occurs is in the range 5,145 – 12,198 cm.

Keywords: Consolidation, Subsidence, Footing, Bearing Capacity, Dam, Jatinangor.

1. PENDAHULUAN

Daerah Jatinangor merupakan salah satu kawasan pendidikan yang cukup padat, dimana terdiri dari beberapa sekolah dan institusi perguruan tinggi, salah satunya Universitas Padjadjaran. Hal ini menyebabkan pesatnya pembangunan infrastruktur di kawasan Jatinangor, seperti bertambahnya jumlah gedung serta jalan di beberapa lokasi.

Salah satu perencanaan pembangunan infrastruktur di Jatinangor, ialah pembangunan embung. Pembangunan embung ini diharapkan dapat menjaga kebutuhan air, terutama kebutuhan air pertanian sepanjang tahun di Jatinangor. Embung sendiri merupakan salah satu bangunan air yang dibangun melintang sungai yang berfungsi meningkatkan taraf muka air sehingga dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti irigasi maupun pengendali banjir.

Dalam pembangunan embung tersebut diperlukan banyak informasi data dan kajian untuk menunjang pembangunannya, salah satunya adalah data geologi teknik. Hal ini dikarenakan banyaknya potensi untuk

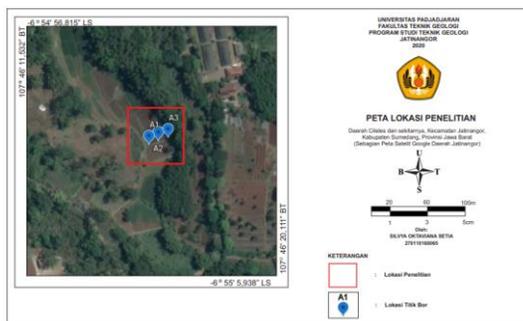
embung tersebut mengalami kerusakan yang nantinya dapat menimbulkan kerugian yang besar bagi masyarakat sekitar. Salah satu potensi kerusakan infrastruktur embung tersebut dapat berasal dari adanya penurunan muka tanah atau amblesan yang memungkinkan dapat mengakibatkan ketidakstabilan fondasi embung tersebut, amblesan itu sendiri salah satunya dapat diakibatkan oleh beban yang berat di atasnya (seperti *overburden*, bangunan, dll).

Oleh karena itu, diperlukan studi untuk meminimalisir terjadinya kerusakan pada infrastruktur embung tersebut, salah satunya mengenai analisis peranan konsolidasi tanah di tempat pembangunan embung terhadap penurunan muka tanahnya.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data-data meliputi kondisi geologi, dan pengambilan sampel tanah secara terganggu (*disturbed*) dan tak terganggu (*undisturbed*) dari hasil pemoran geoteknik pada lokasi calon pembangunan Embung Unpad

Jatinangor di tiga titik, yakni titik A1, A2, dan A3 (gambar 1). Korelasi dari ketiga titik bor dilakukan untuk mengetahui hubungan setiap lapisan tanah di tiap titik bor. Data hasil uji laboratorium sifat fisik dan mekanik sampel tanah digunakan sebagai data yang dipakai dalam perhitungan nilai daya dukung dan penurunan muka tanah di daerah penelitian. Analisis penurunan muka tanah akibat beban *overburden* dan beban tambahan dari beban fondasi dilakukan pada lapisan lempung tiap titik bor.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Batasan Masalah

Adapun batas-batas permasalahan pada penelitian ini, antara lain:

- 1) Lokasi penelitian berada pada lokasi calon pembangunan Embung Unpad Jatinangor yang berada di lembah Desa Cileles (di bagian Utara Rektorat Unpad Jatinangor),
- 2) Analisis penurunan muka tanah dilakukan pada 3 titik bor yang direncanakan sebagai tempat peletakan timbunan (urugan) embung.
- 3) Perhitungan nilai daya dukung penurunan muka tanah dilakukan

dengan menggunakan persamaan Terzaghi dan Peck.

- 4) Faktor yang diperhitungkan sebagai tekanan tambahan penurunan muka tanah daerah penelitian yakni beban fondasi dari nilai hasil perhitungan daya dukung yang diizinkan.
- 5) Perhitungan besar dan waktu penurunan muka tanah dilakukan pada lapisan lempung tiap titik bor hingga kedalaman 2,5 meter.

Geologi dan Geologi Teknik Regional

Berdasarkan pembagian fisiografi Van Bemmelen (1949), daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Bandung. Dimana zona ini merupakan daerah gunung api yang sebagian besar terisi oleh endapan vulkanik muda produk dari gunung api sekitarnya.

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Bandung yang dibuat oleh Silitonga (1973), batuan yang tersebar pada daerah penelitian terdiri dari endapan Vulkanik Kuartar, yaitu batuan hasil gunungapi muda tak terurairkan (Q_{yu}), terdiri dari litologi berupa pasir tufan, lapili, breksi, lava dan aglomerat. Sebagian berasal dari Gunung Tangkuban Parahu dan sebagian dari Gunung Tampomas.

Berdasarkan Peta Geologi Teknik Regional Lembar Bandung (Djadja dan Hermawan, 1996) wilayah Jatinangor dan sekitarnya termasuk ke dalam Satuan Lempung Lanauan dan Lanau Pasiran (R(mc)(cm)). Tanah residunya merupakan hasil pelapukan

batupasir tufan, tufa, konglomerat, aglomerat, lapili dan breksi, dengan tebal antara 2 – 20 meter.

Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan cara yang digunakan dalam menentukan jenis tanah agar dapat memperoleh gambaran sepiantas tentang sifat-sifat tanah. Beberapa cara dalam menentukan klasifikasi tanah, diantaranya adalah dengan USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway Officials*) M-145. Kedua klasifikasi tanah ini dibuat berdasarkan distribusi ukuran butir dan sifat plastisitas tanahnya.

Daya Dukung Fondasi Dangkal

Dalam perancangan suatu fondasi, diperlukan perhitungan kekuatan tanah untuk mengetahui besar dari daya dukung tanah bagi peletakan struktur bangunan. Daya dukung tanah sendiri adalah besarnya tekanan atau kemampuan tanah untuk menerima beban dari luar sehingga menjadi stabil (Teguh, 2017). Antara kekuatan daya dukung tanah dengan beban dikenal beberapa kondisi, yakni untuk kondisi ‘seimbang’ dikenal dengan istilah *ultimate bearing capacity* (q_{ult} , daya dukung batas), sementara untuk kondisi aman, dikenal *allowable bearing capacity* (q_a , daya dukung-diiizinkan dengan melibatkan Faktor Keamanan ($F= 2$ s.d. 5) yang dikehendaki.

Keruntuhan tanah akibat beban sehubungan dengan fondasi akibat

melampaui daya dukung tanahnya, diantaranya:

- 1) *General shear failure* (keruntuhan geser menyeluruh dari tanah di bawah fondasi),
- 2) *Local shear failure* (keruntuhan geser setempat dari tanah bawah fondasi)
- 3) *Punching shear failure* (keruntuhan geser setempat ke arah bawah fondasi)

Kapasitas daya dukung tanah untuk beberapa beberapa jenis fondasi dapat ditentukan oleh persamaan Terzaghi (Das, 1998):

- a) Fondasi lajur/menerus:

$$q_{ult} = c \cdot Nc + q \cdot Nq + 0,5 \gamma \cdot B \cdot N\gamma$$

- b) Fondasi segi empat/bujur sangkar:

$$q_{ult} = 1,3 c \cdot Nc + q \cdot Nq + 0,4 \gamma \cdot B \cdot N\gamma$$

- c) Fondasi lingkaran:

$$q_{ult} = 1,3 c \cdot Nc + q \cdot Nq + 0,3 \gamma \cdot B \cdot N\gamma$$

Dimana:

$$q_{ult} = \text{ultimate soil bearing capacity}$$

C = kohesi tanah

q = $\gamma \times D$ (bobot satuan isi tanah x kedalaman)

B = dimensi lebar atau diameter fondasi

ϕ = sudut geser dalam

Nc , Nq , $N\gamma$ adalah faktor dayadukung tanah yang bergantung kepada ϕ .

Konsolidasi

Konsolidasi merupakan proses terkompresinya bagian atas tanah atau lapisan tanah oleh beban struktur yang menyebabkan mengecilnya angka pori (*void ratio* (e)) diikuti dengan keluarnya air dengan menampakkan pemadatan, seperti wujud penurunan dan *settlement* struktur tanah.

Penurunan Muka Tanah (*Land Subsidence*)

Penurunan muka tanah atau yang sering disebut juga amblesan tanah adalah proses turunnya permukaan tanah secara regional akibat pemompaan cairan / gas dalam tanah yang berlebihan di daerah tersebut akibat konsolidasi alami (pembatuan endapan muda secara alamiah) ataupun disebabkan oleh faktor tektonik (Sugalang, 2017). Faktor utama yang dapat menyebabkan terjadinya amblesan tanah adalah permasalahan geologi teknik yang sangat dipengaruhi oleh sifat fisik keteknikan lapisan batuan/tanah penyusunnya.

Indeks Pemampatan (C_c)

Indeks pemampatan digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi di lapangan sebagai akibat dari konsolidasi dapat ditentukan dari kurva yang menunjukkan hubungan antara angka pori dan tekanan yang didapat dari uji konsolidasi di laboratorium.

Koefisien Konsolidasi (C_v)

Koefisien konsolidasi (C_v) biasanya akan berkurang dengan

bertambahnya batas cair (LL) dari tanah. Rentang (*range*) dari variasi harga C_v untuk suatu batas cair tanah tertentu adalah agak lebar.

Tekanan Prakonsolidasi (*Pre-Consolidation Pressure* (p_c))

Tekanan prakonsolidasi (p_c) sangat diperlukan untuk mengetahui sejarah tegangan pada tanah. Tekanan prakonsolidasi atau *preconsolidation pressure* adalah tekanan efektif overburden maksimum yang pernah dialami sebelumnya (Das, 1998). Ada 2 macam tekanan prakonsolidasi pada tanah, yakni:

- 1) Terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*), dimana tekanan efektif overburden pada saat ini (p_o) adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah itu. Jadi, dapat dikatakan $p_o > p_c$.
- 2) Terlalu terkonsolidasi (*overconsolidated*), dimana tekanan efektif overburden pada saat ini (p_o) adalah lebih kecil dari tekanan yang pernah dialami oleh tanah itu sebelumnya. Jadi, dapat dikatakan $p_o < p_c$.

Besar Penurunan oleh Konsolidasi Primer Satu Dimensi

Besar penurunan tiap lapisan dapat dihitung kemungkinan penurunannya yang disebabkan oleh konsolidasi primer di lapangan, dengan menganggap bahwa konsolidasi tersebut adalah satu-dimensi. Untuk suatu lapisan lempung 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 (Das,1998). Jadi, penurunan total dari seluruh lapisan tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$S = \sum_{555} \left[\frac{Cc H_i}{1 + e_o} \log \left(\frac{p_{o(i)} + \Delta p_{(i)}}{p_{o(i)}} \right) \right]$$

Dimana:

S = besar penurunan

H_i = tebal sub-lapisan i

p_{o(i)} = tekanan efektif *overburden* untuk sub-lapisan i

Δp_(i) = penambahan tekanan vertikal untuk sub-lapisan i

e_o = angka pori

C_c = indeks pemampatan (*compression indeks*)

Kecepatan Waktu Penurunan Konsolidasi

Terzaghi pada tahun 1925 memperkenalkan teori yang pertama kali mengenai kecepatan konsolidasi satu dimensi untuk tanah lempung yang jenuh air (Das, 1998). Waktu yang diperlukan untuk konsolidasi/amblesan dihitung dengan persamaan:

$$Tv = \frac{Cv \cdot t}{H^2}$$

Dimana:

T_v = faktor waktu yang dipengaruhi derajat konsolidasi

C_v = koefisien konsolidasi

t = waktu tertentu untuk konsolidasi

H = ketebalan lapisan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Geologi dan Geologi Teknik Daerah Penelitian

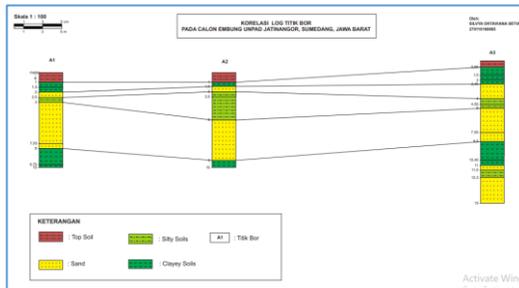
Berdasarkan hasil pemetaan geologi daerah Jatinangor dan sekitarnya (Frini, 2015), daerah penelitian termasuk kedalam satuan tuf. Satuan ini terdiri dari litologi tuf dan tuf lapili. Litologi tuf lapili berwarna lapuk coklat muda dengan warna segar abu-abu, memiliki ukuran butir tuf kasar, bentuk butir menyudut, kemas tertutup, pemilahan sedang, struktur masif, kekerasan batuan agak keras, serta terdapat fragmen gelas.

Kondisi geologi teknik daerah penelitian berdasarkan hasil pemboran geoteknik di 3 titik, didapat sampel tanah tak terganggu (UDS) untuk keperluan uji laboratorium.

- a) Titik bor A1 : Total kedalaman 10 meter, UDS diambil pada 1 – 1,5 meter.
- b) Titik bor A2 : Total kedalaman 10 meter, UDS diambil pada 1 – 1,5 meter.
- c) Titik bor A3 : Total kedalaman 15 meter, UDS diambil pada 1,5 – 2 meter.

Gambaran profil tanah di daerah penelitian dapat tergambarkan oleh korelasi ketiga log bor, gambar 2. Lapisan lempung yang dilakukan

pengambilan sampel tanah tak terganggu, memiliki warna coklat kemerahan, ukuran partikelnya lempung, plastisitasnya plastis hingga sangat plastis dengan kekerasan yang lunak.



Gambar 2. Profil Tanah Daerah Penelitian Berdasarkan Korelasi Log Bor

Analisis Daya Dukung Tanah

Nilai daya dukung tanah fondasi dangkal diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan Terzaghi. Perhitungan diterapkan untuk tiga jenis fondasi, yaitu fondasi menerus (*continous footing*), fondasi bujur sangkar (*square footing*), dan fondasi

lingkaran (*circular footing*). Sesuai dengan literatur (Das, 1998), faktor keamanan yang digunakan adalah 3, dengan lebar fondasi 1,00 meter. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 1.

Berdasarkan hasil perhitungan, dalam kondisi keruntuhan geser umum (*general shear condition*), jenis fondasi yang cocok adalah fondasi bujur sangkar. Hal ini dikarenakan fondasi bujur sangkar memiliki nilai daya dukung yang diizinkan paling besar diantara kedua fondasi lainnya, yakni berkisar 0,2995 – 0,553 kg/cm². Sementara nilai daya dukung yang diizinkan pada fondasi menerus berkisar 0,262 – 0,472 kg/cm² dan pada fondasi lingkaran berkisar 0,299 – 0,550 kg/cm².

Nilai daya dukung suatu daerah sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanahnya, salah satunya nilai kohesi, nilai sudut geser dalam dan distribusi butiran.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Nilai Daya Dukung Tanah Tiap Titik Bor

Titik Bor		A1	A2	A3	Satuan
Bobot Isi Tanah (γ_{sat})		1,629	1,628	1,787	(gr/cm ³)
Kohesi (c)		0,068	0,101	0,129	(kg/cm ²)
Sudut Geser Dalam (ϕ)		2,01	4,029	4,876	°
Faktor Daya Dukung	Nc	5,63	6,19	6,43	
	Nq	1,2	1,43	1,54	
	N γ	0,15	0,34	0,42	
Lebar Pondasi (B)		100	100	100	cm
Daya Dukung Batas (q_{ult})	Menerus	0,786018	1,118474	1,417393	(kg/cm ²)
	Bujur Sangkar	0,898426	1,300496	1,658729	(kg/cm ²)
	Lingkaran	0,895983	1,294961	1,651223	(kg/cm ²)
Daya Dukung Diizinkan (q_a)	Menerus	0,262006	0,372825	0,472464	(kg/cm ²)
	Bujur Sangkar	0,299475	0,433499	0,55291	(kg/cm ²)
	Lingkaran	0,298661	0,431654	0,550408	(kg/cm ²)

Besar nilai kohesi dapat menunjukkan daya rekat antar partikel dalam tanah. Semakin rekat partikel dalam tanah maka akan semakin kuat tanah tersebut dalam menopang beban, sehingga potensi keruntuhan tanah akan semakin kecil. Sifat kohesif lebih sering ditemukan pada jenis tanah lempung karena lempung memiliki sifat yang liat, berbeda hal dengan pasir yang memiliki sifat yang lepas tidak saling mengikat (Faizah, 2015).

Sudut geser dalam merupakan sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan dari luar, sehingga semakin kuat tanah tersebut dapat menopang beban.

Tanah yang berbutir halus biasanya akan memiliki nilai kohesi yang besar dan sudut geser dalam yang kecil, sedangkan tanah berbutir kasar akan sebaliknya. Karena nilai kohesi

dan sudut geser dalam berhubungan dengan distribusi butiran pada tanah, maka presentase butiran kasar dan butiran halus juga mempengaruhi nilai daya dukungnya.

Penurunan Muka Tanah

Perhitungan besar penurunan muka tanah dilakukan dengan menggunakan persamaan Terzaghi dan Peck, dengan korelasi data empirik hasil pengujian laboratorium, perhitungan penurunan yang terjadi dilakukan sampai kedalaman lapisan tanah lempung tiap bor yang dilakukan pengambilan UDS.

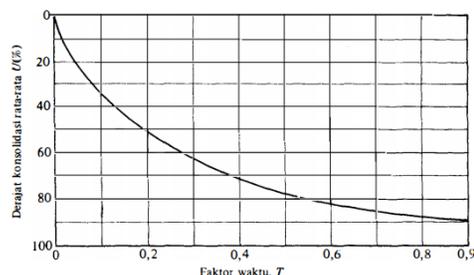
Nilai tekanan tambahan pada penurunan muka tanah dilakukan dengan mengasumsikan penambahan beban sama dengan nilai daya dukung yang diizinkan pada tiap titik bor.

Hasil perhitungan untuk mendapatkan besar penurunan total untuk lapisan lempung pada tiap log bor akibat beban tanah itu sendiri dan beban tambahan dari beban fondasi di atasnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Besar Penurunan Muka Tanah Pada Lapisan Lempung Tiap Titik Bor

Titik Bor	A1	A2	A3	Satuan
Tebal Lapisan Lempung (H)	100	50	179	(cm)
Tekanan Overburden (Po)	161,75	121	212,9345	(gr/cm ²)
Tekanan Tambahan (ΔP)	Menerus	262,0058	372,8247	472,4643 (gr/cm ²)
	Bujur Sangkar	299,4753	433,4986	552,9095 (gr/cm ²)
	Lingkar	298,6608	431,6535	550,4077 (gr/cm ²)
Tekanan Total (Ptotal)	Menerus	423,7558	493,8247	685,3988 (gr/cm ²)
	Bujur Sangkar	461,2253	554,4986	765,844 (gr/cm ²)
	Lingkar	460,4108	552,6535	763,3422 (gr/cm ²)
Angka Pori (e ₀)	1,657	1,602	1,121	
Indeks Pemampatan (Cc)	0,502	0,405	0,26	
Besar Penurunan (S)	Menerus	7,902606	4,753438	11,14014 (cm)
	Bujur Sangkar	8,597839	5,145112	12,1977 (cm)
	Lingkar	5,031978	4,29865	9,049923 (cm)

Perhitungan waktu penurunan akibat konsolidasi primer dilakukan dengan menggunakan persamaan Terzaghi dan Peck dengan dipengaruhi variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor waktu yang tak berdimensi (T_v) yang diberikan dan berlaku untuk keadaan dimana U_v tetap untuk seluruh kedalaman lapisan yang mengalami konsolidasi. Untuk penentuan nilai T_v , digunakan kurva variasi faktor waktu terhadap derajat konsolidasi dalam Das (1998), gambar 3.



Gambar 3. Variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor waktu, T_v (U_v tetap untuk seluruh tebal lapisan)

Sedangkan faktor waktu yang digunakan diasumsikan jika U_v bernilai 90%, karena menurut

Rajapakse (2016) pada kenyataannya, konsolidasi primer tidak pernah berakhir, dan untuk semua tujuan praktis, 90% konsolidasi dilakukan sebagai akhir dari proses. Maka dari hasil perhitungan akan didapatkan waktu yang dicapai untuk mencapai penurunan sebesar 90% dari total penurunan pada setiap lapisan lempung di tiap titik bor, tabel 3.

Dalam penelitian ini peneliti juga mencoba menghitung besar penurunan di daerah penelitian untuk 3 bulan mendatang, untuk mengetahui apakah sudah mencapai besar penurunan totalnya dengan menggunakan persamaan yang sama dengan perhitungan perkiraan waktu. Hasil total penurunan selama jangka waktu 3 bulan tersebut dikurangi sebesar 10-15% dari total penurunan yang terjadi untuk keterandalan perhitungan penurunan tanah (Joseph E. Bowles, 1986; dalam Sophian, 2010). Besar penurunan yang terjadi dari hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Waktu Penurunan Muka Tanah Pada Lapisan Lempung Tiap Titik Bor

Titik Bor	A1	A2	A3	Satuan
Tebal Lapisan Lempung (H)	100	50	179	(cm)
Derajat Konsolidasi (U_v)	90	90	90	(%)
Faktor Waktu (T_v)	0,848	0,848	0,848	
Koefisien Konsolidasi (C_v)	0,0004	0,00026	0,0017	(cm^2/sec)
Waktu Penurunan (t)	21200000	8153846	15982805	(detik)
	245,3704	94,37322	184,9862	(hari)
	0,672248	0,258557	0,506811	(tahun)

Tabel 4. Hasil Perhitungan Penurunan Muka Tanah Pada Lapisan Lempung Tiap Titik Bor Setelah 3 Bulan Mendatang

Titik Bor	A1	A2	A3	Satuan
Tebal Lapisan Lempung (H)	100	50	179	(cm)
Waktu Penurunan	2592000	2592000	2592000	(detik)
Koefisien Konsolidasi (Cv)	0,0004	0,00026	0,0017	(cm ² /sec)
Faktor Waktu (Tv)	0,10368	0,269568	0,137524	
Derajat Konsolidasi (Uv)	0,35	0,59	0,4	
Total Penurunan (S)	Menerus	7,902606	4,753438	11,14014 (cm)
	Bujur Sangkar	8,597839	5,145112	12,1977 (cm)
	Lingkaran	5,031978	4,29865	9,049923 (cm)
Besarnya Penurunan (3 bulan)	Menerus	2,765912	2,804528	4,456055 (cm)
	Bujur Sangkar	3,009243	3,035616	4,87908 (cm)
	Lingkaran	1,761192	2,536203	3,619969 (cm)
Besarnya Penurunan dalam 3 bulan - (15% x Besarnya Penurunan)	Menerus	2,351025	2,383849	3,787647 (cm)
	Bujur Sangkar	2,557857	2,580273	4,147218 (cm)
	Lingkaran	1,497014	2,155773	3,076974 (cm)

Analisis Penurunan Lapisan Lempung Titik Bor A1

Lapisan lempung pada kedalaman 1 – 2 meter di titik bor A1, menurut hasil perhitungan besar penurunannya memiliki potensi penurunan berkisar 5,032 – 8,598 cm dari total tebal lapisan lempung 100 cm, yang diakibatkan konsolidasi primer dan ditambah beban tambahan dari beban fondasi itu sendiri. Sedangkan, waktu yang ditempuh untuk lapisan lempung ini mengalami penurunan sebesar 90%, berdasarkan hasil perhitungan adalah 0,672 tahun atau sekitar 245,37 hari.

Jika dilihat pada tabel 4 dan dihubungkan dengan tabel 2 dan tabel 3, maka dapat ditarik suatu analisa bahwa lapisan lempung pada titik A1 dengan kedalaman 1 – 2 meter ini mengalami penurunan primer sampai 3 bulan mendatang setelah dilakukan pembangunan, dengan besar

penurunannya sekitar 1,498 – 2,558 cm dan belum mencapai penurunan totalnya. Dilihat dari besar penurunan yang terjadi setelah 3 bulan mendatang maka kemungkinan penurunan pada titik ini cukup besar potensi penurunan muka tanahnya.

Analisis Penurunan Lapisan Lempung Titik Bor A2

Lapisan lempung pada kedalaman 1 – 1,5 meter di titik bor A2, memiliki potensi penurunan berkisar 4,299 – 5,145 cm dari total tebal lapisan lempung 50 cm. Sedangkan, waktu yang ditempuh untuk lapisan lempung ini mengalami penurunan sebesar 90%, adalah 0,259 tahun atau sekitar 94,373 hari.

Saat tabel 4 dihubungkan dengan tabel 2 dan tabel 3, maka dapat ditarik suatu analisa bahwa lapisan lempung pada titik A2 mengalami penurunan

primer sampai 3 bulan mendatang, dengan penurunan sekitar 2,156 – 2,580 cm dan belum mencapai penurunan totalnya. Pada titik ini potensi penurunan muka tanahnya cukup besar.

Analisis Penurunan Lapisan Lempung Titik Bor A3

Lapisan lempung pada kedalaman 0,66 – 2,45 meter di titik bor A3, memiliki potensi penurunan berkisar 9,050 – 12,198 cm dari total tebal lapisan lempung 179 cm. Sedangkan, waktu yang ditempuh untuk lapisan lempung ini mengalami penurunan sebesar 90%, adalah 0,507 tahun atau sekitar 184,986 hari.

Saat tabel 4 dihubungkan dengan tabel 2 dan tabel 3, maka dapat ditarik suatu analisa bahwa lapisan lempung pada titik A3 mengalami penurunan primer sampai 3 bulan mendatang setelah, dengan penurunan sekitar 3,077 – 4,147 cm dan belum mencapai penurunan totalnya. Pada titik ini potensi penurunan muka tanahnya sangat besar.

Hubungan Penurunan Muka Tanah dengan Kondisi Geologi serta Geologi Teknik Daerah penelitian

Berdasarkan kondisi geologi daerah penelitian dan melihat karakteristik tanah di Jatinangor yang pada umumnya memperlihatkan kondisi tanah residual, maka kemungkinan besar tanah lempung yang mengalami penurunan muka tanah akibat konsolidasi primer di

daerah penelitian merupakan hasil dari pelapukan batuan asalnya, yakni tuf. Selain itu, berdasarkan kondisi geologinya dan tinjauan langsung dilapangan, dapat tergambar karakteristik sejarah tegangan tanah atau tekanan pra-konsolidasi daerah penelitian. Dilihat dari keadaan lapangan yang masih utuh (belum pernah dilakukan pembangunan apapun sebelumnya), daerah penelitian terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*) yang berarti tanah belum pernah mengalami pembebanan yang lebih besar dari tekanan *overburden*. Hal ini juga dapat menggambarkan bahwa tekanan efektif *overburden* pada saat ini (p_o) adalah tekanan maksimum yang pernah (p_c) dialami oleh tanah itu.

Berdasarkan hasil perhitungan besar penurunan pada tabel 2, nilai penurunan muka tanah terbesar dengan ketiga jenis fondasi berbeda terjadi pada lapisan lempung titik bor A3, yakni sebesar 11,140 cm untuk fondasi menerus, 12,197 cm untuk fondasi bujur sangkar, dan 9,050 cm untuk fondasi lingkaran. Sedangkan untuk waktu penurunan muka tanah tercepat terjadi pada lapisan lempung titik bor A2, yakni sekitar 94,373 hari.

Selain itu, berdasarkan hasil perhitungan penurunan muka tanah untuk penurunan selama 3 bulan mendatang, ketiga titik bor masih mengalami konsolidasi primer dan belum mencapai penurunan totalnya. Dalam 3 bulan, nilai penurunan muka tanah terbesar dengan ketiga jenis fondasi berbeda terjadi pada lapisan

lempung titik bor A3, yakni sebesar 3,788 cm untuk fondasi menerus, 4,147 cm untuk fondasi bujur sangkar, dan 3,077 cm untuk fondasi lingkaran.

Besar penurunan tanah pada daerah penelitian memiliki variasi yang beragam. Variasi tersebut dipengaruhi oleh perbedaan tingkat konsolidasi tanah yang disebabkan karakteristik dan sifat fisik serta sifat mekanik tanah yang berbeda. Tanah penyusun di daerah penelitian adalah tanah berbutir halus dengan dominasi tanah lempung yang umumnya memiliki kompresibilitas tinggi, sehingga beban *overburden* dan beban bangunan di atasnya dapat menyebabkan terjadinya proses penurunan tanah yang cukup besar.

Tanah berbutir halus yang jenuh air, dengan adanya penambahan beban pada permukaan tanah akan menyebabkan tekanan air pori dan tekanan efektif meningkat, sehingga air dalam tanah akan terdisipasi. Hubungan antara waktu dan besar penurunan akan menghasilkan nilai koefisien konsolidasi. Saat angka pori dan koefisien permeabilitas semakin besar, nilai koefisien konsolidasi juga akan besar. Hal ini yang menyebabkan waktu penurunan tanah semakin cepat.

Saat terjadi konsolidasi primer, volume lapisan tanah akan berkurang karena keluarnya air dan pori tanah akan mengecil. Hubungan antara penambahan tegangan efektif dengan berkurangnya ruang antar pori akan menghasilkan indeks pemampatan tanah (Faizah, 2015). Indeks

pemampatan digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi. Semakin besarnya angka pori dan koefisien permeabilitas, maka indeks pemampatan juga akan semakin besar.

Selain itu, ketika angka pori besar, maka akan semakin pula air yang terkandung dalam tanah yang menyebabkan tegangan pori bertambah dan tegangan efektif berkurang. Dengan demikian semakin tinggi kadar air, akan semakin tinggi pula nilai indeks pemampatan tanahnya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil pemboran geoteknik di tiga titik bor (A1, A2, dan A3) dan uji laboratorium tanah *undisturbed sample* (UDS) pada daerah penelitian, lapisan lempung yang dilakukan pengambilan sampel tanah tak terganggu, memiliki warna coklat kemerahan, ukuran partikelnya lempung, plastisitasnya plastis hingga sangat plastis dengan kekerasan yang lunak. Menurut klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS), tanah berjenis CH (*Clay High Plasticity*).
2. Berdasarkan kondisi geologi daerah penelitian dan melihat karakteristik tanah di Jatinangor, kemungkinan besar tanah lempung yang mengalami penurunan di daerah penelitian merupakan hasil pelapukan batuan

- asalnya, yakni tuf. Selain itu, dilihat dari keadaan lapangan yang masih utuh, dapat menggambarkan karakteristik sejarah tegangan tanah atau tekanan pra-konsolidasi daerah penelitian yakni terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*).
3. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan Terzaghi, dalam kondisi keruntuhan geser umum (*general shear condition*), jenis fondasi yang cocok adalah fondasi bujur sangkar. Hal ini dikarenakan fondasi bujur sangkar memiliki nilai daya dukung yang diizinkan paling besar diantara kedua fondasi lainnya, yakni berkisar $0,2995 - 0,553 \text{ kg/cm}^2$. Sementara nilai daya dukung yang diizinkan pada fondasi menerus berkisar $0,262 - 0,472 \text{ kg/cm}^2$ dan pada fondasi lingkaran berkisar $0,299 - 0,550 \text{ kg/cm}^2$.
 4. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan Terzaghi dan Peck, dengan korelasi data empirik hasil pengujian laboratorium, pada titik bor A1, total besar penurunan muka tanah pada lapisan lempung di kedalaman 1-2 meter sebesar $5,032 - 8,598 \text{ cm}$ dan waktu penurunannya adalah 0,672 tahun atau sekitar 245,37 hari. Pada titik bor A2, total besar penurunan muka tanah pada lapisan lempung di kedalaman 1-1,5 meter sebesar $4,299 - 5,145 \text{ cm}$ dan waktu penurunannya adalah 0,259 tahun atau sekitar 94,373 hari. Dan pada titik bor A3, total besar penurunan muka tanah pada lapisan lempung di kedalaman 0,66-2,45 meter sebesar $9,050 - 12,198 \text{ cm}$ dan waktu penurunannya adalah 0,672 tahun atau sekitar 245,37 hari.
 5. Hasil perhitungan penurunan 3 bulan mendatang menunjukkan bahwa dalam 3 bulan ketiga titik bor mengalami penurunan primer dan belum mencapai penurunan totalnya. Besar penurunan dalam 3 bulan mendatang pada lapisan lempung di titik A1 sekitar $1,498 - 2,558 \text{ cm}$, di titik A2 sekitar $2,156 - 2,580 \text{ cm}$, dan di titik A3 sekitar $3,077 - 4,147 \text{ cm}$.
 6. Nilai penurunan muka tanah terbesar dengan ketiga jenis fondasi berbeda terjadi pada lapisan lempung titik bor A3, yakni sebesar $11,140 \text{ cm}$ untuk fondasi menerus, $12,197 \text{ cm}$ untuk fondasi bujur sangkar, dan $9,050 \text{ cm}$ untuk fondasi lingkaran. Sedangkan untuk waktu penurunan muka tanah tercepat terjadi pada lapisan lempung titik bor A2, yakni sekitar 94,373 hari. Selain itu, dalam 3 bulan, nilai penurunan muka tanah terbesar dengan ketiga jenis fondasi berbeda terjadi pada lapisan lempung titik bor A3, yakni sebesar $3,788 \text{ cm}$ untuk fondasi menerus, $4,147 \text{ cm}$ untuk fondasi bujur sangkar, dan $3,077 \text{ cm}$ untuk fondasi lingkaran.
 7. Variasi besar penurunan tanah pada daerah penelitian dipengaruhi oleh perbedaan tingkat konsolidasi tanah yang disebabkan karakteristik dan sifat fisik serta sifat mekanik tanah

yang berbeda. Seperti tanah penyusun di daerah penelitian, koefisien permeabilitas, angka pori, indeks pemampatan, dan koefisien konsolidasi.

Saran

1. Melakukan uji laboratorium pra-konsolidasi untuk mendapatkan nilai pasti dari sejarah tegangan tanah pada lempung yang diteliti.
2. Melakukan analisis melalui *X-Ray Diffraction* (XRD) dan ditambah dengan image SEM untuk dapat mengetahui pengaruh jenis mineral terhadap kecepatan penurunannya.
3. Melakukan kajian dengan melibatkan data muka air tanah (MAT) sebelum dan sesudah embung dibangun untuk dapat melengkapi kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja. M. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik Jilid II)*. PT. Erlangga, Jakarta.
- Djadja & Hermawan. 1996. *Peta Geologi Teknik Regional Lembar Bandung skala 1: 100.000*. Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.
- Frini, Gisca Gia. 2015. *Geologi Daerah Cibiru, Kecamatan Cibiru, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat*. Laporan Pemetaan Geologi Lanjut, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran. Tidak diterbitkan.
- Rajapakse, Ruwan. 2016. *Geotechnical Engineering Calculations and Rules of Thumb SECOND EDITION*. Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, UK.
- Silitonga, P.H. 1973. *Peta Geologi Lembar Bandung skala 1 : 100.000 Edisi 2*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sophian, R. I., 2010. *Penurunan Muka Tanah di Kota-Kota Besar Pesisir Pantai Utara Jawa (Studi Kasus Kota Semarang)*. Bulletin of Scientific Contribution, Volume 8, Nomor 1, April 2010: 4 1-60.
- Faziah, Yuni. 2015. "Konsolidasi Pada Tanah Lapukan Tuf di Desa Cileles, Kecamatan Jatinangor, Provinsi Jawa Barat". Skripsi. Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Sumedang.
- Teguh, M. 2017. "Daya Dukung Tanah Fondasi Dangkal di Sekitar Bendungan Sei Gong Desa Sijantung Pulau Galang Kota Batam". Skripsi. Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Sumedang.
- Sugalang, Taufik Wira Buana. 2017. *Buku Seri Geologi Teknik "Penyelidikan Geologi Teknik untuk Ketekniksipilan dan Lingkungan"* ISBN 978-602-73388-5-2. Penerbit Badan Geologi, Kem. ESDM.
- Van Bemmelen. 1949. *The Geology of Indonesia*, vol 1, Martinus Nijhoff, The Haque. P. 732.