

ANALISIS DESAIN TANGGUL UNTUK KEPERLUAN REKLAMASI DI PANTAI UTARA JAKARTA

Andra Patria Yudha¹ dan Hendriyawan²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

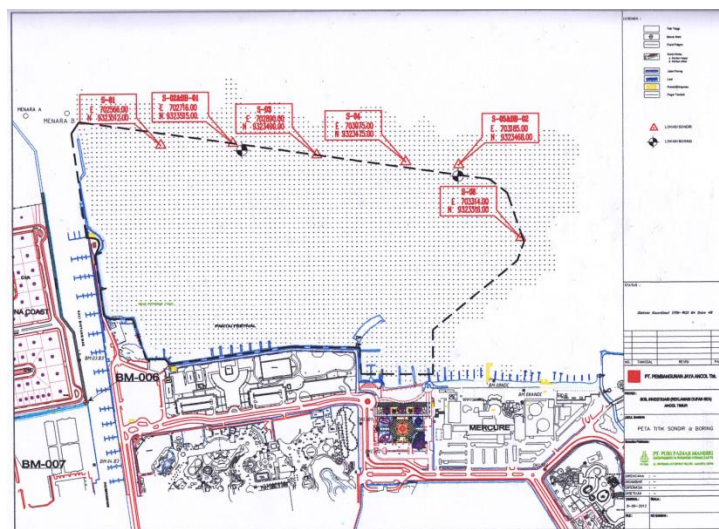
Jalan Ganesha 10, Bandung, 40123

¹andra.patria@gmail.com, ²hendriyawan@ocean.itb.ac.id

Kata kunci: rekayasa geoteknik, reklamasi, tanggul, konsolidasi, Plaxis

PENDAHULUAN

Adanya kebutuhan manusia untuk menciptakan lahan yang digunakan untuk berbagai macam aktifitas meningkat seiring dengan berjalannya waktu serta pembangunan, namun lahan yang dapat langsung dikembangkan bisa jadi tidak mencukupi peningkatan kebutuhan tersebut. Reklamasi adalah salah satu cara untuk dapat mengubah lahan yang tidak layak digunakan menjadi layak. Studi ini dilaksanakan untuk dapat melakukan analisis penimbunan tanah serta pembuatan tanggul untuk reklamasi yang dilakukan di daerah pantai di Jakarta Utara dari data-data yang tersedia. Berikut dapat dilihat denah rencana dari area yang akan direklamasi pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Denah area reklamasi

Adapun tujuan akhir dari studi ini adalah mendapatkan desain tanggul yang sesuai di lokasi studi, memastikan tanggul tersebut beserta tanah timbunan di belakangnya stabil, dan menghitung besar penurunan akibat struktur tanggul tersebut kepada tanah di dasarnya.

TEORI DAN METODOLOGI

Untuk bisa mencapai tujuan studi, dilakukan pengumpulan literatur-literatur yang relevan dengan fokus tujuan tersebut. Untuk dapat mengolah data mentah berupa data angin dan pasang surut menjadi elevasi muka air di area yang akan dibuat tanggul, digunakan teori *hindcasting* untuk peramalan gelombang. Selain data angin, ada juga data tanah berupa *bore log*. Untuk dapat mengolah data ini menjadi data parameter tanah, kita dapat melakukan korelasi empiris yang mana menghubungkan nilai N-SPT dengan parameter fisik tanah yang diinginkan sesuai dengan literatur yang ada.

Setelah data mentah diolah menjadi data yang sesuai untuk kriteria desain, maka dilakukanlah pengolahan kembali untuk dapat memperoleh nilai-nilai seperti elevasi puncak tanggul, ketebalan armor untuk tanggul, kuat dukung tanah dasar, penurunan yang terjadi pada tanah akibat timbunan dan tanggul, dan laju waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi.

Untuk dapat menghitung dimensi tanggul serta penentuan armor untuk tanggul, penulis mengacu kepada standar yang dibuat oleh *U.S. Army Corps of Engineers* mengenai perlindungan pantai. Sementara untuk menganalisa tanah, penulis mengacu kepada literatur yang menjelaskan teori-teori rekayasa geoteknik, hampir semua persamaan dan teori mengenai tanah yang digunakan pada studi ini ada pada buku *Fundamentals of Geotechnical Engineering* karya Braja M. Das.

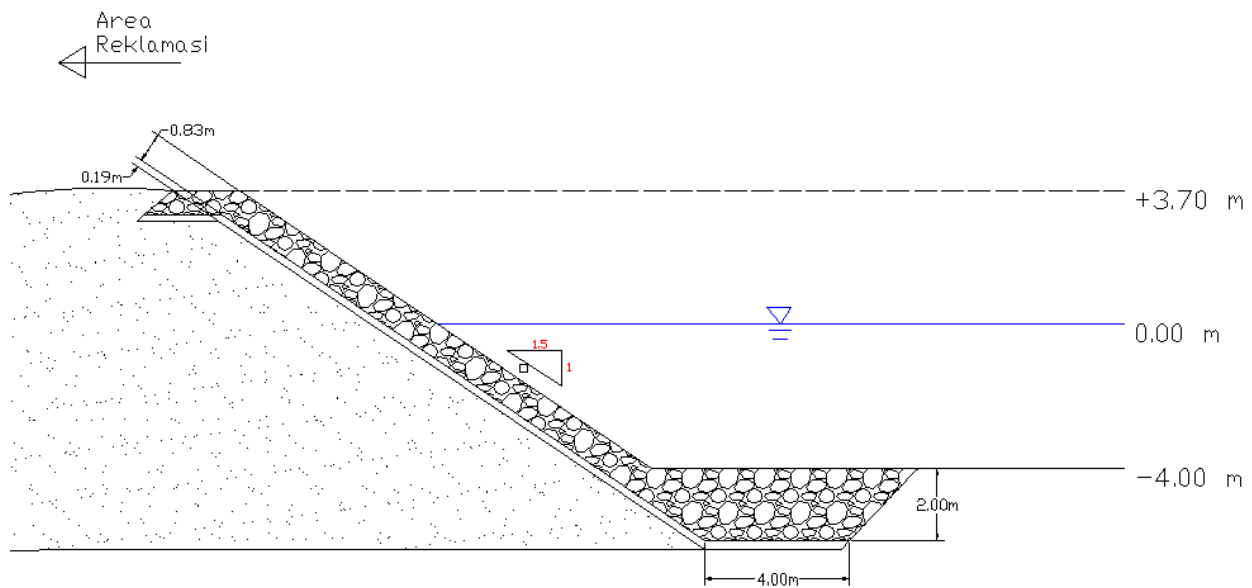
Dalam studi yang dilakukan ini, penulis menggunakan bantuan program Plaxis yang merupakan program untuk menghitung deformasi tanah dengan metode elemen hingga untuk menghitung terjadinya *immediate settlement* akibat adanya timbunan dan tanggul.

HASIL DAN ANALISIS

Dari data pasang surut, dan gelombang yang diolah dari data angin melalui *hindcasting* didapat nilai elevasi puncak tanggul dalam kondisi *overtopping*, yaitu, $HHWL + H_s + freeboard = 1.29\text{ m} + 1.83\text{ m} + 0.5\text{ m} = 3.7\text{ m}$. Setelah itu kita dapat melihat **Tabel 1** untuk perincian dimensi armor tanggul berupa *revetment* yang digunakan, dan **Gambar 2** untuk gambar potongan denah tanggul.

Tabel 1 Rekap Dimensi Armor

Elevasi Puncak	+3.7 m dari LWL
Berat individual armor	1.12 ton
Berat individual lapisan filter	112 kg
Tebal lapisan armor	0.83 m
Tebal lapisan filter	0.2 m
Tebal timbunan Toe	2 m
Lebar kaki	4 m



Gambar 2 Denah tanggul

Data tanah mentah yang tersedia berupa *bore log* dengan keterangan nilai N-SPT. Nilai N-SPT tersebut lalu diolah menjadi data parameter tanah dengan menggunakan korelasi empiris. Data tanah yang digunakan adalah data tanah yang berasal dari titik pengeboran DB-01. Berikut data tanah yang sudah dikorelasikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Data Parameter Tanah Pada Titik DB-01

Kedalaman (meter)	Jenis tanah	N- SPT	γ_{wet} (kN/m ³)	ν	E_s (kN/m ²)	C_u (kPa)	Φ (deg)
5.8 - 8.8	Silty Clay	2	16	0.35	4200	12	
8.8 - 11.8	Silty Clay	3	16	0.35	6300	18	
11.8 - 14.8	Sandy Silt	12	17	0.35	5400	72	
14.8 - 17.8	Clayey Silt	16	17	0.35	6600	96	
17.8 - 20.3	Clayey Silt	26	17.5	0.35	9600	156	

20.3 - 23.8	Silty Sand	50	18	0.30	92500		38
-------------	------------	----	----	------	-------	--	----

Dan berikut adalah hasil perhitungan yang digunakan untuk menentukan jumlah tahapan yang diizinkan untuk menimbun tanah hingga elevasi yang diinginkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Perhitungan Kuat Dukung Tanah Untuk Menentukan Tahap Penimbunan

Parameter	Simbol	Satuan	Tahap 1 (5 m)	Tahap 2 (1.7 m)	Tahap 3 (1 m)
Kuat dukung tanah sebelum ditimbun	q_{all}	ton/m ²	5.607	9.81	12.48
Beban yang diakibatkan timbunan pertahap	q_0	ton/m ²	4.5	2.89	1.7
Peningkatan kohesi akibat timbunan	Δc	ton/m ²	0.9	0.572	0.336
Nilai kohesi akhir akibat timbunan	c_{akhir}	ton/m ²	2.1	2.672	3
Kuat dukung tanah setelah ditimbun	q_u	ton/m ²	10.8	13.73	15.42
Tinggi kritis timbunan yang mampu ditanggung tanah	H_{cr}	m	3.53	5.1	

Berdasarkan tabel tersebut, kita perlu membagi tahapan penimbunan sebanyak 3 tahap supaya tanah tidak runtuh. Sementara untuk menghitung penurunan tanah akibat penambahan beban timbunan tiap tahap yang sudah ditentukan, dapat dilihat pada **Tabel 4**, **Tabel 5**, dan **Tabel 6**.

Tabel 4 Penurunan Tanah Akibat Timbunan Tahap 1

Jenis tanah	H (m)	γ' (ton/m ³)	σ'_v (ton/m ²)	$\Delta\sigma'$ (ton/m ²)	C_c	e_0	S (m)
Clay 1	3	0.6	0.9	4.5	0.46	0.0583	1.01
Clay 2	3	0.6	2.7	4.5	0.46	0.0583	0.56
Total							1.57

Tabel 5 Penurunan Tanah Akibat Timbunan Tahap 2

Jenis tanah	H (m)	γ' (ton/m ³)	σ'_v (ton/m ²)	$\Delta\sigma'$ (ton/m ²)	C_c	e_0	S (m)
Clay 1	3	0.6	5.4	4.59	0.46	0.0583	0.35
Clay 2	3	0.6	7.2	4.59	0.46	0.0583	0.28
Total							0.63

Tabel 6 Penurunan Tanah Akibat Timbunan Tahap 3

Jenis tanah	H (m)	γ' (ton/m ³)	σ'_v (ton/m ²)	$\Delta\sigma'$ (ton/m ²)	C_c	e_0	S (m)
Clay 1	3	0.6	8.29	1.7	0.46	0.0583	0.11
Clay 2	3	0.6	10.09	1.7	0.46	0.0583	0.09
Total							0.19

Untuk mengetahui laju waktu agar tanah dasar dapat terkonsolidasi pada saat tidak menggunakan *prefabricated vertical drains*, dan saat menggunakannya, maka dapat melihat **Tabel 7**, **Tabel 8**, dan **Tabel 9**, serta **Gambar 3** untuk membandingkan laju konsolidasi saat menggunakan PVD dengan berbagai pola *spacing*, dan **Gambar 4** untuk melihat aplikasi PVD dengan pola *square spacing* 1 m pada tanah timbunan.

Tabel 7 Laju Konsolidasi Pada Tanah Dasar Tanpa PVD

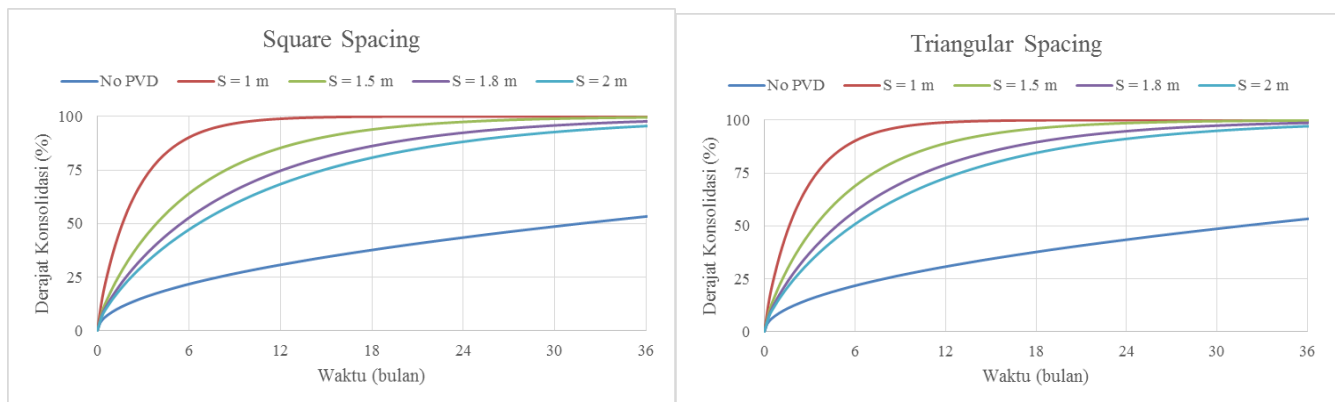
U _v (%)	T _v	t (bulan)
0	0	0
5	0.00196	0.32
10	0.00785	1.27
15	0.01767	2.85
20	0.03142	5.06
25	0.04909	7.91
30	0.07069	11.39
35	0.09621	15.51
40	0.12566	20.26
45	0.15904	25.64
50	0.19635	31.65
55	0.23758	38.30
60	0.28628	46.15
65	0.34038	54.87
70	0.40285	64.94
75	0.47672	76.84
80	0.56714	91.42
85	0.68371	110.21
90	0.84800	136.69
95	1.12886	181.97

Tabel 8 Rekapitulasi Perhitungan PVD Berbagai Spacing

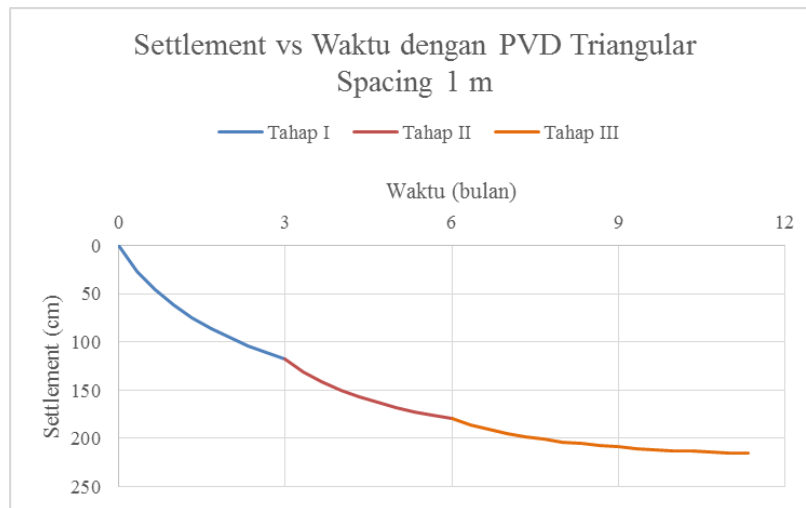
Waktu	No PVD	Square Spacing				Triangular Spacing			
		1 m	1.5 m	1.8 m	2 m	1 m	1.5 m	1.8 m	2 m
	U _v	U _{vh}				U _{vh}			
Bulan	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	8.98	34.97	19.71	16.08	14.56	39.17	21.61	17.35	15.57
2	12.70	55.43	32.06	25.78	23.07	61.00	35.25	28.02	24.88
3	15.56	69.20	42.03	33.80	30.15	74.79	46.05	36.78	32.59
4	17.96	78.62	50.31	40.70	36.30	83.63	54.86	44.23	39.25
5	20.08	85.12	57.30	46.74	41.75	89.34	62.13	50.67	45.11
6	22.00	89.62	63.24	52.07	46.63	93.05	68.17	56.28	50.30
7	23.76	92.75	68.30	56.80	51.03	95.46	73.20	61.20	54.94
8	25.40	94.93	72.64	61.03	55.02	97.03	77.42	65.53	59.10
9	26.95	96.45	76.36	64.81	58.65	98.06	80.95	69.34	62.84
10	28.40	97.52	79.56	68.20	61.96	98.73	83.92	72.72	66.22
11	29.79	98.26	82.32	71.24	64.98	99.17	86.42	75.71	69.27
12	31.11	98.78	84.70	73.99	67.75	99.45	88.53	78.36	72.03
24	43.99	99.98	97.24	92.01	87.72	100.00	98.45	94.47	90.77
36	53.78	100.00	99.49	97.51	95.26	100.00	99.79	98.57	96.91
60	67.79	100.00	99.98	99.75	99.28	100.00	100.00	99.90	99.64

Tabel 9 Waktu yang Dibutuhkan untuk Mencapai Derajat Konsolidasi 50% dan 90%

Derajat Konsolidasi	No PVD	Square Spacing				Triangular Spacing			
		1 m	1.5 m	1.8 m	2 m	1 m	1.5 m	1.8 m	2 m
50%	<32 mo.	<3 mo.	<4 mo.	<6 mo.	<7 mo.	<2 mo.	<3.5 mo.	<5 mo.	<6 mo.
90%	<137 mo.	<6 mo.	<15 mo.	<22 mo.	<27 mo.	<6 mo.	<13 mo.	<19 mo.	<24 mo.



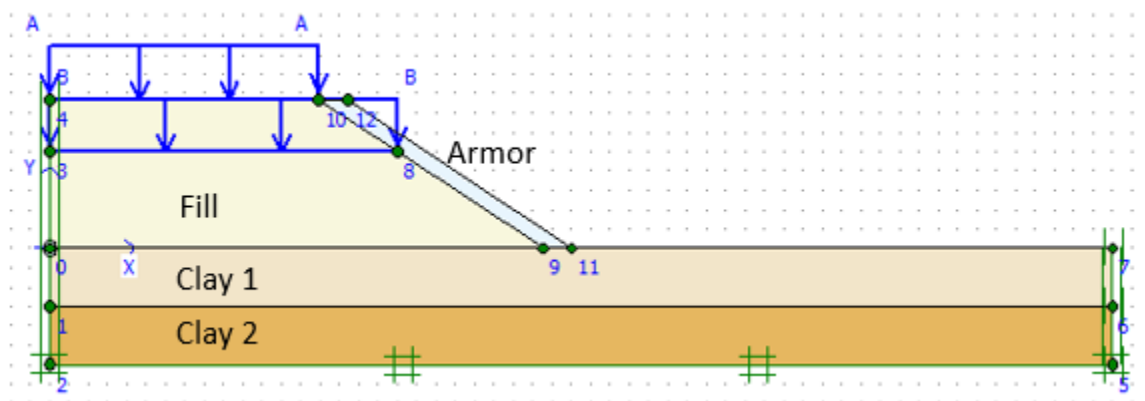
Gambar 3 Grafik perbandingan laju waktu konsolidasi untuk berbagai spacing



Gambar 4 Penurunan tanah pada timbunan dengan PVD

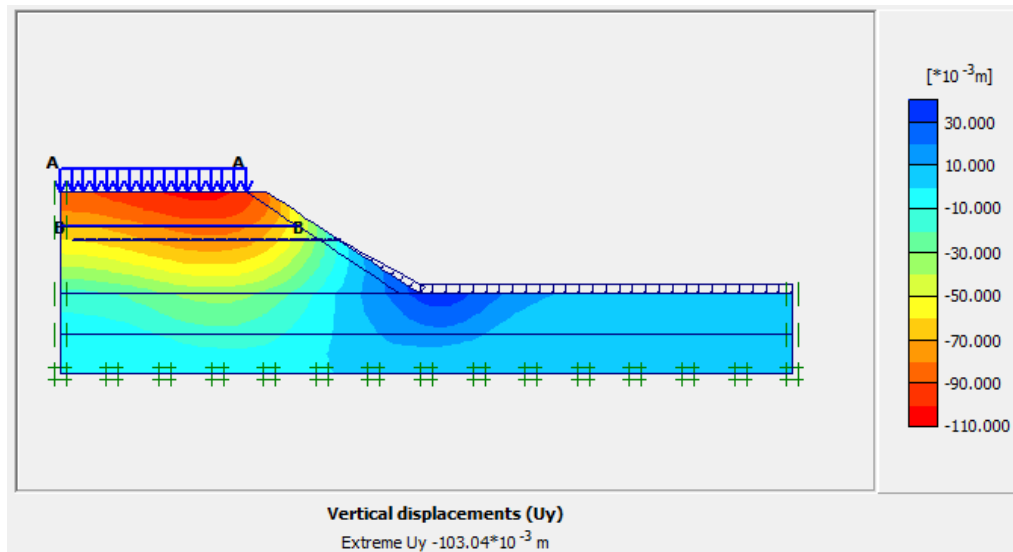
Dari grafik hasil analisa penggunaan PVD, dapat dilihat bahwa pekerjaan penimbunan dapat dilakukan dalam waktu sekitar sembilan bulan tanpa memperhitungkan lamanya waktu konstruksi tiap tahap timbunan.

Dalam pemodelan menggunakan Plaxis, tahapan penimbunan dibagi menjadi hanya 2 tahap karena Plaxis tidak juga memperhitungkan faktor bentuk dari timbunan, sehingga kemungkinan besar, selisih 0.2 m dalam dari penimbunan tahap 2 dan 3 pada perhitungan manual dapat didukung oleh tanah dasar. Berikut masukan geometri yang dibuat pada Plaxis di **Gambar 5**.



Gambar 5 Input geometri pada Plaxis beserta keterangan tiap klaster

Dan dengan menggunakan program Plaxis untuk menghitung *immediate settlement* akibat sifat elastis, dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6 Analisis immediate settlement menggunakan Plaxis

Dapat dilihat bahwa akan terjadi *immediate settlement* sebesar 11.7 cm setelah seluruh tahapan penimbunan serta pemasangan armor. Selain untuk menghitung penurunan, Plaxis juga digunakan untuk mengecek faktor keamanan dari tiap tahapan timbunan seperti dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10 Rekap Hasil Faktor Keamanan Dari Plaxis

Tahapan	Faktor keamanan	Status
Timbunan 1	1.6594	Aman
Timbunan 2	1.1454	Aman
Pemasangan armor	1.2912	Aman
Jangka panjang	1.3621	Aman

Nilai faktor keamanan dikatakan tidak aman (runtuh) pada saat $SF < 1$, sehingga berdasarkan nilai di atas, seluruh tahapan konstruksi timbunan dalam kondisi aman meskipun hanya dilakukan dalam 2 tahap.

SIMPULAN DAN SARAN

Perhitungan manual menggunakan persamaan daya dukung tanah menghasilkan ketentuan untuk membagi penimbunan ke dalam 3 tahap, namun pemodelan menggunakan Plaxis mengizinkan tanah tidak runtuh apabila hanya dengan dua tahap. Hal ini disebabkan oleh pemodelan menggunakan Plaxis memperhitungkan faktor bentuk dari timbunan sementara persamaan kestabilan daya dukung tanah tidak.

Plaxis juga dapat meramalkan faktor keamanan yang digunakan untuk menentukan daya dukung izin tanah awal secara lebih efektif dan tepat.

Penggunaan PVD dapat meningkatkan laju waktu konsolidasi secara sangat drastis dibandingkan dengan tidak menggunakan PVD sama sekali. Tabel 4.11 membuktikan bahwa penggunaan PVD dapat meningkatkan laju konsolidasi sekitar 80% hingga 95% tergantung dari jenis dan jarak spacing yang digunakan. Dalam kasus yang ditinjau, penimbunan tanah dengan menggunakan PVD dengan square spacing 1 m dapat menghemat waktu kurang lebih 130 bulan, tergantung dari derajat konsolidasi yang diinginkan.

Dalam proses desain struktur tanggul, ada baiknya menambahkan elevasi puncak sehingga dapat melakukan mitigasi terhadap penurunan nantinya, tergantung dari properti tanah yang ada di lokasi pekerjaan. Dalam kasus yang ditinjau, sudah terjadi penurunan sebesar 219 cm dari konsolidasi primer sendiri ditambah dengan 11.7 cm penurunan akibat immediate settlement.

Perkiraan properti tanah ada baiknya tidak menggunakan pendekatan empiris melalui korelasi karena hasilnya bisa jadi kurang tepat. Namun apabila data yang ada terbatas dan tidak ada lagi sumber dan/atau fasilitas yang dapat memberikan data langsung, pendekatan ini dapat diterima jika didukung oleh literatur yang memadai.

Dalam pemodelan menggunakan Plaxis selanjutnya, ada baiknya untuk memodelkan geometri timbunan secara penuh dari tanggul terdepan ke ujung timbunan yang langsung menghadap ke daratan, supaya bisa mendapatkan analisis yang lebih mendetail.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachri, Hasan. (2010). *Diktat Kuliah KL4212 Reklamasi dan Pengerukan*. Bandung: Penerbit ITB.
- Bo, M.W. and Choa, V. (2004). *Reclamation and Ground Improvement*. Singapore: Thomson Learning.
- Bowles, Joseph E. (1977). *Foundation Analysis and Design, 2nd edition*. Michigan: McGrawHill.
- Casagrande, A. (1936). *Determination of the Preconsolidation Load and Its Practical Significance*. 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- Coulomb, C. A. (1776). *Essai sur une Application des Regles de maximis et Minimis a quelques Problemes de Statique, relatifs a l'Architecture*. Paris: Mem. Roy, des Sciences.
- Das, Braja M. (2006). *Principles of Geotechnical Engineering, 5th edition*. Sacramento: California State

University.

Das, Braja M. (2008). *Fundamentals of Geotechnical Engineering, 3rd edition*. Sacramento: California State University

Meyerhof, G. G. (1956). *Penetration Tests and Bearing Capacity of Foundations*. Canadian Geotechnical Journal.

Rankine, W. M. J. (1857). *On Stability on Loose Earth*. London: *Philosophic Transactions of Royal Society*.

Stapefeldt, T. (2006). *Preloading and Vertical Drains*. Helsinki: Helsinki University of Technology.

U.S. Army Corps of Engineers. (1995). *Design of Coastal Revetments, Seawalls, and Bulkheads*. Washington, DC: Department of The Army.