

DESAIN DAN ANALISIS TIMBUNAN DENGAN *MICROPILE* UNTUK MENGATASI PENURUNAN TANAH REKLAMASI DI TELUK JAKARTA

Bramantio Wicaksono Wibowo¹ dan Dr. Ir. Hendriyawan M.T.²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

1bramantioww@gmail.com dan 2hendriyawan@ocean.itb.ac.id

ABSTRAK – Peningkatan jumlah penduduk berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan dasar. Salah satu kebutuhan dasar yang harus dipenuhi adalah ketersediaan tempat tinggal atau tempat berlindung. Dalam memenuhi kebutuhan ini, diperlukan ketersediaan lahan yang mencukupi untuk membangun tempat berlindung. Pada wilayah pesisir perairan padat penduduk seperti Kota Jakarta, salah satu metode penyediaan lahan yang yaitu dengan membuat area reklamasi. Wilayah pesisir Kota Jakarta memiliki kondisi tanah lempung dan lunak karena berada di muara-muara sungai di pulau Jawa. Berdasarkan penelitian geoteknik kondisi tanah ini memiliki stabilitas, daya dukung, tahanan geser yang rendah dan sifat kompresibel yang tinggi. Jika jenis tanah ini dilakukan penimbunan tanah reklamasi, akan menimbulkan instabilitas dan konsolidasi yang besar dalam waktu yang lama. Sehingga diperlukan studi khusus untuk pekerjaan desain reklamasi. Pada Tugas Akhir ini, dilakukan analisis dan perancangan reklamasi pada lokasi Teluk Jakarta dengan memodelkan desain reklamasi yang memenuhi *safety factor* stabilitas timbunan tanah dan tanggul serta melakukan uji desain dengan menggunakan *micropile* beton pada bagian dasar reklamasi. Berdasarkan hasil perhitungan terhadap data lapangan, elevasi desain puncak tanggul adalah +4.31 meter dari muka air terendah dengan kemiringan muka tanggul sebesar 18.4°. Untuk dimensi *micropile* beton, digunakan ukuran penampang persegi 0.2 meter x 0.2 meter dengan panjang 9 meter. Konfigurasi jarak antar kolom *micropile* yang digunakan dalam perkuatan tanah pada bagian bawah tanggul sebesar 1 meter, sedangkan pada bagian dasar timbunan pasir sebesar 2 meter dengan pola persegi. Perkuatan tanah disertai pula dengan lapisan *geogrid* dan *geotextile woven* untuk menghasilkan nilai *safety factor* yang memenuhi kriteria minimum untuk kestabilan tanggul dan timbunan reklamasi pada tanah lunak di wilayah Teluk Jakarta. Dari hasil analisis pemodelan, didapatkan bahwa desain timbunan yang dilengkapi oleh perkuatan tanah dengan *micropile*, menunjukkan bahwa tanah mengalami peningkatan stabilitas dalam menahan beban timbunan dan tanggul dengan nilai *safety factor* sebesar 1.3. Pada proses penurunan tanah yang terjadi akibat beban timbunan, penurunan tanah akibat kondisi elastis tanah sebesar 0.3 meter, sedangkan penurunan tanah akibat proses konsolidasi primer tanah sebesar 1.11 meter. Dari perhitungan, penurunan tanah akibat konsolidasi primer, membutuhkan waktu kurang lebih 61.5 tahun untuk mencapai 90% konsolidasi.

Kata Kunci: *Reklamasi, Micropile, safety factor.*

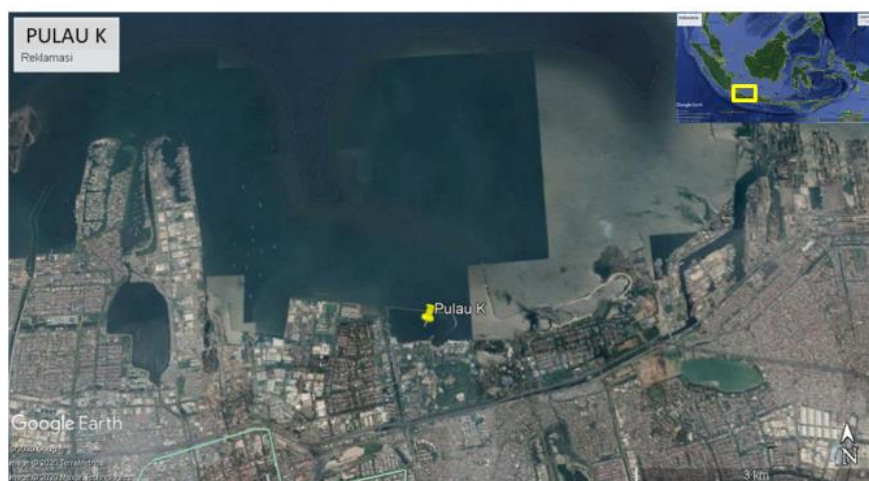
PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya jumlah penduduk di dunia saat ini, menyebabkan meningkatnya kebutuhan dasar yang diperlukan. Salah satu kebutuhan dasar yang diperlukan oleh penduduk adalah tempat berlindung atau tempat tinggal. Dalam rangka menyediakan tempat tinggal yang layak dan sesuai dengan kebutuhan penduduk, diperlukan area lahan untuk

membangun bangunan tempat berlindung, yang dapat berupa rumah tapak, maupun bangunan bertingkat. Diperkirakan 65% (dengan pertumbuhan rata-rata 2%) penduduk Indonesia bermukim di daerah pesisir (Dahuri et al., 2001). Hal ini disebabkan perkembangan ekonomi dan delapan puluh persen (80%) lokasi industri terletak di daerah-daerah pesisir, dimana perkembangan ekonomi penduduk ini ditunjang dari sektor transportasi laut yang menyediakan akses transportasi lebih mudah ke pusat perdagangan baik dalam negeri maupun internasional.

Namun beberapa lahan pesisir di Indonesia tidak layak untuk difungsikan sebagai tempat tinggal maupun tempat beraktifitas kegiatan penduduk. Kondisi tidak layak yang dimaksud adalah kestabilan tanah yang rendah, lahan pesisir memiliki kontur yang tidak rata, kondisi tanah yang buruk, serta lahan berada di bawah muka air saat laut pasang. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan proses reklamasi agar lahan dapat digunakan sebagai tempat aktifitas penduduk. Reklamasi adalah salah satu cara yang dapat mengubah lahan menjadi layak guna.

Dalam studi ini, akan dilakukan studi kasus penimbunan tanah reklamasi pada tanah jenis lempung dengan perkuatan tanah dengan *micropile*. Pada rencana timbunan, proses konsolidasi terjadi pada tanah lempung. Maka dari itu dibutuhkan perhitungan untuk menghitung besar penurunan muka tanah yang terjadi pada daerah yang ditinjau. Tujuan dari studi ini adalah membuat desain timbunan yang sesuai untuk tanah lunak di daerah pesisir Jakarta dan memenuhi stabilitas tanah agar aman untuk digunakan. Adapun lokasi yang digunakan pada studi ini berada di perairan Teluk Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia yang ditunjukan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi reklamasi

TEORI DAN METODOLOGI

- **Reklamasi**

Reklamasi merupakan sebuah kegiatan yang dilakukan untuk membentuk suatu lahan kering baru yang dilakukan dengan cara menimbun suatu area perairan atau mengeringkan suatu area untuk membentuk daratan baru. Lahan reklamasi dapat memiliki berbagai fungsi seperti untuk kawasan pemukiman, perdagangan, pariwisata hingga pelabuhan laut.

Secara umum bentuk reklamasi terbagi menjadi dua (2), yaitu reklamasi yang menyatu dengan daratan induk dan reklamasi yang terpisah dari daratan induk. Sedangkan menurut metode pembangunannya metode reklamasi dibagi menjadi 4 jenis, yaitu metode urukan yang merupakan proses menimbun secara langsung perairan dengan material timbunan, metode polder yang bekerja dengan mengeringkan area perairan, metode campuran yang merupakan gabungan antara metode urukan dan polder, serta metode drainase yang memanfaatkan gravitasi bumi untuk mengeringkan wilayah perairan menjadi suatu daratan.

- **Konsolidasi**

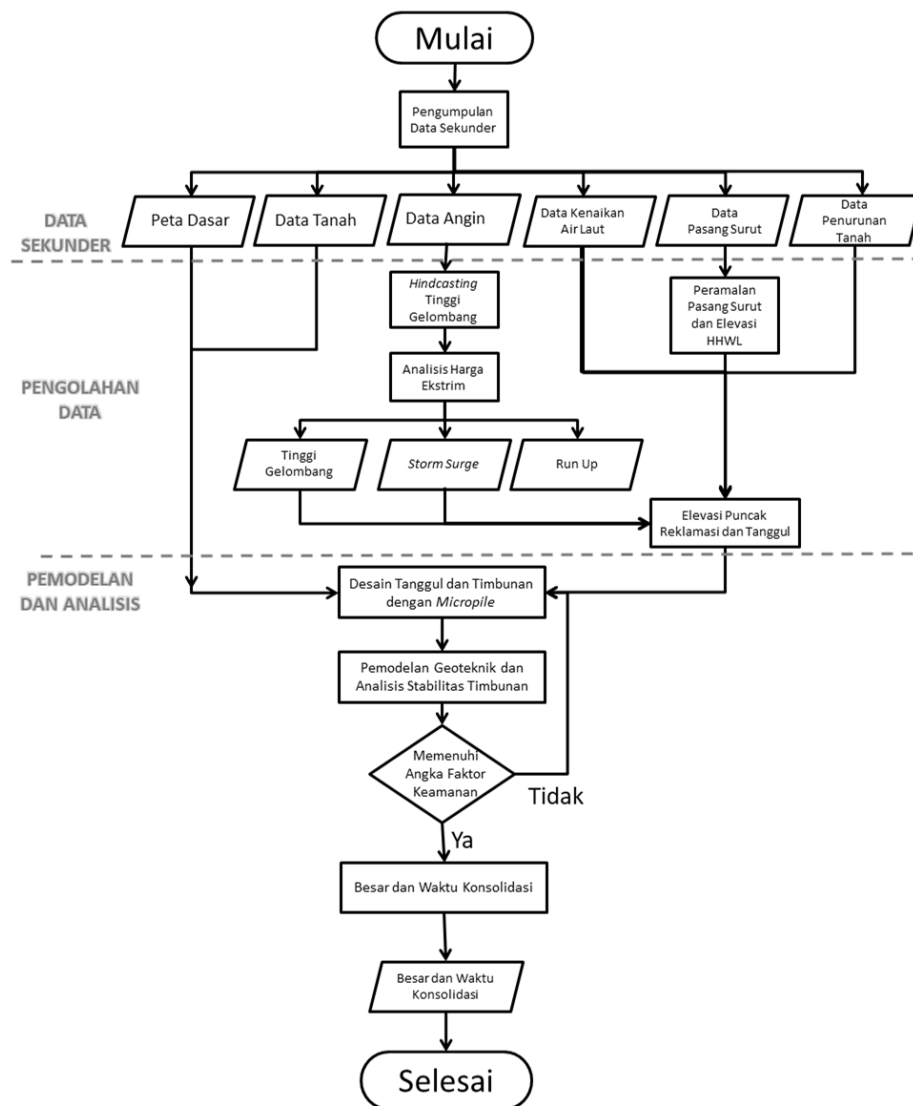
Dalam proses penimbunan diatas tanah yang dapat terkompresi seperti lempung, akan terjadi proses pengecilan volume akibat pengairan sebagian air pori dari lapisan tanah. Proses ini disebut dengan konsolidasi. Konsolidasi terbagi menjadi konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder. Konsolidasi primer disebabkan oleh proses keluarnya air pori pada lapisan tanah, sedangkan konsolidasi sekunder disebabkan akibat penyesuaian plastis butiran tanah.

- **Daya dukung tiang pancang**

Tiang pancang merupakan jenis struktur pondasi dalam dengan bentuk memanjang arah vertikal. Jenis pondasi ini berfungsi untuk menyalurkan beban kedalam tanah, terutama pada kondisi tanah yang lemah dan memiliki kompresibilitas yang tinggi. Tiang pancang memiliki daya dukung tahanan yang terbagi menjadi dua (2), yaitu daya dukung ujung(Q_p) dan daya dukung selimut tiang (Q_s). Daya dukung ujung tiang bekerja akibat adanya tahanan tumpu pada ujung tiang pada lapisan tanah. Sedangkan daya dukung selimut timbul akibat gaya resistensi gesek pada selimut tiang dan lapisan tanah. Penjumlahan daya dukung ini akan menghasilkan tahanan pada lapisan tanah.

Metodologi pada tugas akhir ini dijelaskan pada bagan alir pada *Gambar 2*. dengan standar perencanaan timbunan sesuai dengan SNI 8460:2017. Dengan data-data lingkungan yang digunakan merupakan data sekunder penelitian. Data tanah didapatkan dari data sekunder

penelitian, data angin didapatkan dari data satelit ECMWF dan data pasang surut didapatkan dari Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL.



Gambar 2. Diagram alir pengerjaan tugas akhir

Pemodelan dan analisis kestabilan yang dilakukan mencakup nilai kewanan daya dukung (q_u) dan kuat geser tanah (τ_f) pada partikel tanah sepanjang bidang geser tanah terhadap gaya-gaya penahan. Angka keamanan tanah dirumuskan sebagai berikut :

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau_d} = \frac{q_u}{q_{all}}$$

Kestabilan timbunan dapat dicapai saat nilai angka keamanan bernilai lebih dari satu (1), namun Standar Nasional Indonesia (SNI) 8460 tahun 2017 mensyaratkan nilai minimum angka kermanan sebesar 1.25.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Elevasi Tanggul dan Timbunan

Desain reklamasi dirancang dengan masa layan selama 50 tahun. Bentuk reklamasi yang digunakan merupakan tipe reklamasi yang menempel dengan daratan induk, sehingga komponen tanggul yang dibangun hanya pada sisi yang menghadap perairan. Elevasi puncak pada desain reklamasi dibagi menjadi dua jenis yaitu elevasi desain dan elevasi konstruksi. Elevasi desain diperoleh berdasarkan penjumlahan parameter data lingkungan yang meliputi tinggi pasang surut tertinggi (HHWL), gelombang yang di oleh dari data angin melalui *hindcasting*, *run-up* (RU) gelombang, *storm surge* (SS), *freeboard* (Fr), dan kenaikan muka air laut akibat *global warming* (SLR). Sedangkan elevasi konstruksi merupakan penjumlahan elevasi desain dengan besar penurunan tanah akibat beban timbunan reklamasi.

$$\begin{aligned} & \text{Elevasi Puncak desain} \\ &= HHWL + SLR + SS + Ru + Fr \\ &= 1.07 + 0.43 + 0.51 + 1.80 + 0.50 = 4.31 \text{ m} \end{aligned}$$

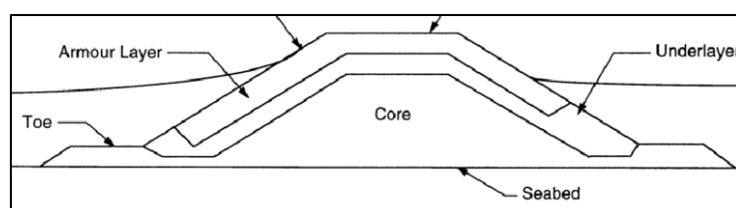
Pada elevasi konstruksi, besar penurunan tanah akibat timbunan, diisyaratkan kurang dari 1.5 meter.

$$\begin{aligned} & \text{Elevasi Puncak Kontruksi} \\ &= \text{Elevasi Puncak desain} + \text{Konsolidasi} \\ &= 4.31 + 1.50 = 5.81 \text{ m} \end{aligned}$$

Tinggi elevasi desain reklamasi adalah 4.31 meter dan elevasi pada saat konstruksi awal adalah 5.81 meter dari muka air terendah.

2. Desain Tanggul dan Timbunan Reklamasi

Desain tanggul reklamasi tersusun atas lapisan *armour*, yang terbuat dari tetrapod beton dan lapisan *filter* dan *core* yang tersusun atas lapisan batu pecah. Ilustrasi tanggul dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi desain tanggul

Sedangkan pada bagian timbunan, tersusun atas pasir lepas non kohesi dengan berat jenis 17 kN/m^3 dan sudut geser 32° . Pada bagian dasar keseluruhan area reklamasi, tanah akan diperkuat dengan lapisan *geotextile* dan *geogrid* dengan *tensile strenght* 52.5 kN/m . Selain itu juga akan digunakan perkuatan tanah dengan menggunakan struktur tambahan berupa *micropile* beton dengan panjang 9 meter dan mutu K-450 yang disusun secara bujur sangkar sejajar dengan jarak 1 meter pada bagian tanggul dan 2 meter pada bagian timbunan.

Berdasarkan kestabilan jenis material terhadap gaya gelombang, didapatkan perincian dimensi dari komponen tanggul dan timbunan reklamasi yang sesuai, didapatkan spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi dimensi komponen reklamasi

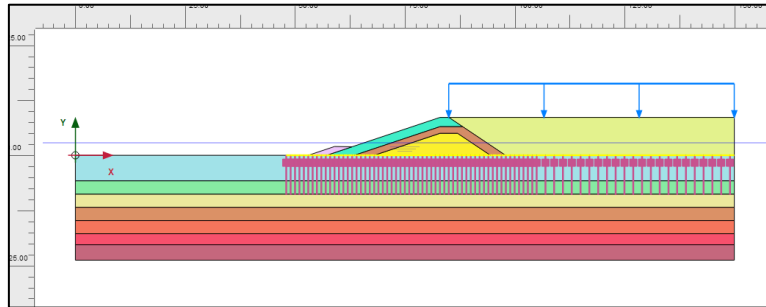
Bagian	Material	Berat Satuan (kg)	Tebal Lapisan (m)	Jumlah Lapisan
<i>Armor</i>	Tetrapod Beton	2000	2	2
<i>Filter</i>	Batu Alam	200	1.5	>3
<i>Core</i>	Batu Alam	20	>3	>3
Timbunan	Pasir Lepas	-	8.61	1
<i>Geotextile</i>	<i>Woven Geotextile</i> HP	-	0.002	1
<i>Micropile</i>	Beton	864	9	1

Susunan dari desain tanggul dan timbunan selanjutnya akan dianalisis berdasarkan stabilitas terhadap tanah dasar.

3. Analisis Stabilitas

Pemodelan timbunan dan tanggul reklamasi pada lapisan tanah lunak, menggunakan program PLAXIS 2D. Hal yang akan dianalisis dalam pemodelan yaitu stabilitas tanggul dan timbunan yang ditunjukkan dengan nilai *safety factor*. Nilai *safety factor* minimum yang harus dipenuhi mengacu pada angka faktor keamanan desain timbunan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 8460 tahun 2017 dengan nilai minimum sebesar 1.25.

Pemodelan timbunan dan tanggul reklamasi, akan membandingkan kondisi timbunan tanpa perkuatan *micropile* dan kondisi yang disertai dengan *micropile*. *Micropile* yang digunakan memiliki dimensi penampang 0.2 m x 0.2 m dan panjang 9 meter.



Gambar 3. Desain tanggul dan timbunan

Tabel 2. Parameter tanah

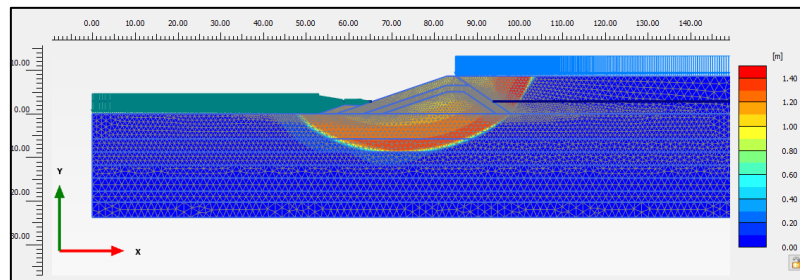
Kriteria Tanah	Lapisan Tanah							Besaran
	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	Lapisan 6	Lapisan 7	
Kedalaman	0-5.8	5.8-8.8	8.8-11.8	11.8-14.8	14.8-17.8	17.8-20.3	20.3-23.8	m
Tebal	5.8	3	3	3	3	2.5	3.5	m
Jenis tanah	<i>Silty Clay</i>	<i>Silty Clay</i>	<i>Silty Clay</i>	<i>Sandy Silt</i>	<i>Clayed Silt</i>	<i>Clayey Silt</i>	<i>Silty Sand</i>	-
Model material	Mohr Coulumb	Mohr Coulumb	Mohr Coulumb	Mohr Coulumb	Mohr Coulumb	Mohr Coulumb	Mohr Coulumb	-
Kondisi material	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>	-
γ	14	16	16	17	17	17.5	18	kN/m ³
ν	0.35	0.35	0.35	0.30	0.35	0.35	0.30	-
E	4200	4200	6300	5400	6600	9600	38300	kN/m ²
C	12	12	18	72	96	156	0	kN/m ²
ϕ	0	0	0	0	0	0	47	°

Dari Tabel 2. tanah memiliki 7 lapisan yang terdiri dari lapisan lempung (*clay*), lanau (*silt*) dan pasir (*sand*) dengan kondisi muka air berada di elevasi +2.8 meter dari muka tanah. Kondisi awal tanah sebelum diberi timbunan reklamasi, tanah dasar memiliki nilai perpindahan

tanah sejauh 0 meter disemua titik, hal ini dikarenakan belum adanya beban eksternal yang dapat mengubah kondisi tanah. Nilai *effective principal stress* maksimum lapisan tanah hingga kedalaman 23.8 meter adalah 147.95 kN/m^2 . Sedangkan nilai tekanan aktif air pori yang disebabkan oleh tekanan hidrostatik muka air adalah -266 kN/m^2 .

- **Desain tanpa perkuatan *micropile***

Pemodelan timbunan pada tanah lunak lokasi studi, menyatakan bahwa tanah tidak dapat menerima beban dari timbunan dan tanggul sehingga terjadi keruntuhan (*failure*) karena tidak memenuhi nilai *safety factor* minimal 1.

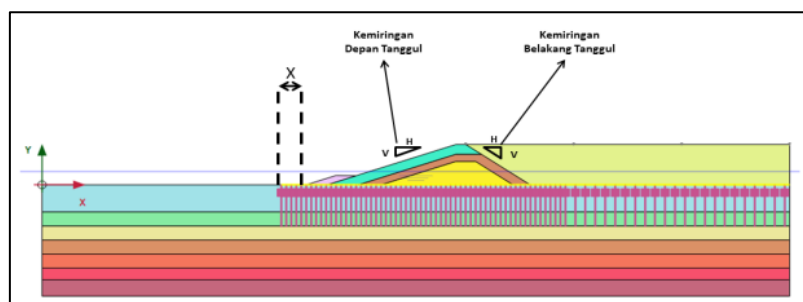


Gambar 4. Kontur shear strain tanpa micropile

Pada pemodelan tanpa perbaikan dan perkuatan tanah, nilai *safety factor* akibat proses timbunan reklamasi sebesar 0.57 dan menunjukkan tanah tidak stabil. Setelah mencapai deformasi maksimum yang dapat ditahan tanah saat diberi timbunan, tanah akan mengalami kegagalan (*failure/ collapse*) yang ditunjukkan dengan penambahan deformasi tanah dasar secara linear secara terus menerus tanpa penambahan beban.

- **Desain dengan perkuatan *micropile***

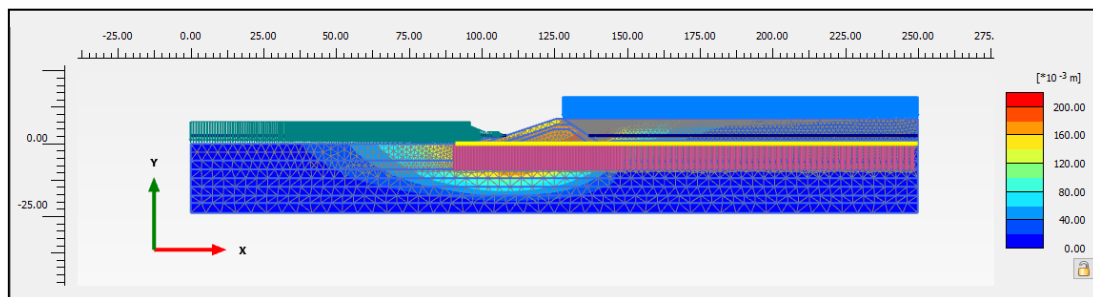
Pemodelan desain reklamasi dengan perkuatan tanah, dilakukan dengan memberikan konfigurasi pada bagian tanggul yang meliputi pengurangan kecuraman lereng tanggul, dan memperluas area perkuatan dengan *micropile* dan *geogrid* ke arah depan tanggul sejauh (x) ditunjukkan Tabel 3. Perluasan area perkuatan tanah dan pengurangan kecuraman lereng bertujuan untuk mengurangi bidang runtuh dan memperluas permukaan bidang tekan tanah.



Gambar 5. Layout konfigurasi tanggul

Tabel 3. Safety factor dari konfigurasi tanggul reklamasi.

Konfigurasi ke-	Kemiringan Depan Tanggul (V:H)	Kemiringan Belakang Tanggul (V:H)	Tambahan Perkuatan sejauh X (m)	Safety Factor
1	1 : 2	1 : 1	0	1.121
2			1	1.126
3			2	1.129
4			3	1.135
5			4	1.145
6	1 : 3	1 : 1	0	1.167
7			1	1.176
8			2	1.178
9			3	1.182
10			4	1.194
11	1 : 2	1 : 1.5	0	1.165
12			1	1.170
13			2	1.178
14			3	1.181
15			4	1.187
16	1 : 3	1 : 1.5	0	1.231
17			1	1.237
18			2	1.241
19			3	1.244
20			4	1.300



Gambar 6. Kontur shear strain desain dengan micropile

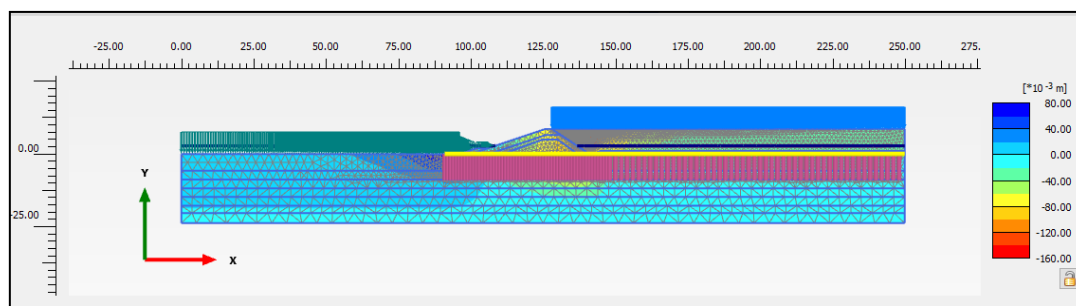
Nilai *safety factor* pada konfigurasi kondisi ke-20 yang ditunjukkan pada Tabel 3 yaitu dengan kemiringan lereng depan tanggul sebesar 1:3 dan kemiringan lereng belakang tanggul 1:1.5 dengan tambahan perkuatan tanah dengan *micropile* sepanjang 4 meter di depan tanggul menunjukan konfigurasi ini memiliki peningkatan nilai *safety factor* menjadi sebesar 1.3 dan memenuhi nilai minimum yang diizinkan oleh SNI 8460:2017. Pada Gambar 6 menunjukan kontur dan *shear strain* akibat timbunan pada dasar tanah yang mengecil.

4. Penurunan Tanah

Penurunan elevasi tanah pada lokasi studi reklamasi, dibagi menjadi dua, yaitu penurunan elastis tanah dan penurunan akibat konsolidasi primer lapisan tanah akibat keluarnya air pori.

- **Penurunan elastis tanah**

Penurunan elastis tanah akibat beban timbunan dan tanggul reklamasi dihitung berdasarkan perpindahan arah vertikal lapisan tanah. Penurunan tanah ini bergantung pada besar elastisitas jenis tanah di dasar timbunan.



Gambar 7. Kontur penurunan tanah elastis

Didapatkan penurunan elastis tanah pada arah vertikal maksimum akibat pembebanan terjadi dengan perpindahan titik dari elevasi awal sebesar -0.305 meter.

- **Penurunan konsolidasi primer**

Pemodelan desain timbunan reklamasi dengan *micropile* pada tanah lunak, akan mengalami penurunan akibat proses konsolidasi. Parameter tanah yang digunakan, diambil pada tiap lapisan tanah yang ditinjau dengan titik-titik *effective stress* pada tiap lapisan tanah. Titik *effective stress* yang digunakan, merupakan titik dengan deformasi terbesar, yaitu di bagian kaki tanggul. Besar konsolidasi dihitung pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan konsolidasi tanah

Lapisan	Elevasi	Tebal Hc(m)	e0	Cc	σ_v	$\Delta\sigma$	$\sigma_v + \Delta\sigma$	Konsolidasi (m)
1	-1.0	2.0	2.86	0.78	-4.00	-21.98	-25.98	0.33
	-2.9	1.9			-11.60	-21.95	-33.55	0.18
	-4.4	1.9			-17.60	-21.86	-39.46	0.13
2	-6.5	1.5	1.7	0.73	-27.50	-21.61	-49.11	0.10
	-7.9	1.5			-35.90	-21.38	-57.28	0.08
3	-9.5	1.5	1.7	0.73	-45.82	-21.05	-66.87	0.07
	-10.9	1.5			-54.22	-20.71	-74.93	0.06
4	-12.5	1.5	1.33	0.53	-64.37	-20.28	-84.65	0.04
	-14.0	1.5			-74.87	-19.85	-94.72	0.03
5	-15.5	1.5	1.33	0.53	-85.37	-19.40	-104.77	0.03
	-17.0	1.5			-95.87	-18.94	-114.81	0.03
6	-18.5	1.2	1.18	0.45	-106.68	-18.48	-125.16	0.02
	-20.0	1.3			-117.93	-18.01	-135.94	0.02
7	-22.0	3.5	1.08	0.00	-133.64	-17.49	-151.13	0.00
Total Konsolidasi								1.11

Besar konsolidasi tanah yang terjadi akibat beban timbunan reklamasi pada tanah asli yang ditunjukkan pada Tabel 4 yaitu sebesar 1.11 meter dari elevasi awal tanah. Penurunan total tanah merupakan penjumlahan penurunan elastis dan proses konsolidasi primer tanah. Sehingga besar penurunan total adalah 1.41 meter.

5. Laju Penurunan Tanah

Proses konsolidasi merupakan fungsi dari waktu, dikarenakan proses ini dipengaruhi oleh kapasitas tanah dalam menyalurkan air pori keluar dari lapisan tanah. Lapisan tanah yang terkonsolidasi memiliki tebal total lapisan terdrainase (H) total sebesar 20.3 meter, atau sama dengan total tinggi lapisan tanah terkonsolidasi. Derajat konsolidasi yang ingin dicapai adalah $U=90\%$. Pada pemodelan, lapisan tanah memiliki nilai koefisien konsolidasi yang berbeda-beda bergantung jenis tanahnya. Oleh karena itu perlu dihitung tinggi ekuivalen lapisan tanah dengan acuan satu nilai koefisien konsolidasi yang ditunjukkan Tabel 5.

Tabel 5. Tebal aliran ekuivalen

Jenis Tanah	Lapisan	Tebal (m)	Cv (m2/Tahun)	Cv acuan	H ekuivalen
Silty Clay	1	5.8	2.70	2.7	5.8
Silty Clay	2	3	1.65		3.8
Silty Clay	3	3	1.81		3.7
Sandy Silt	4	3	0.46		7.3
Clayey Silt	5	3	1.50		4.0
Clayey Silt	6	2.5	1.57		3.3
Total H					28.0

Didapatkan dengan nilai koefisien aliran konsolidasi sebesar 2.7 m²/tahun, tebal lapisan tanah ekuivalen yang sesuai adalah 28 meter. Namun lapisan bawah tanah terkonsolidasi tersusun dari tanah berpasir, sehingga lapisan mengalami aliran dua (2) arah. Maka panjang jalur aliran

air pori adalah setengah dari tebal ekivalen atau sebesar 14 meter. Perhitungan lama laju penurunan tanah pada tiap derajat konsolidasi ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Laju penurunan tanah

U	CV	Hdr	Tv	t (Tahun))	t (Tahun)
0	2.7	14.00	0.000	0	0.0
5	2.7	14.00	0.002	0.14	0.0
10	2.7	14.00	0.008	0.57	0.0
15	2.7	14.00	0.018	1.28	0.0
20	2.7	14.00	0.031	2.28	0.0
25	2.7	14.00	0.049	3.56	0.0
30	2.7	14.00	0.071	5.13	0.0
35	2.7	14.00	0.096	6.99	0.0
40	2.7	14.00	0.126	9.13	0.0
45	2.7	14.00	0.159	11.55	0.0
50	2.7	14.00	0.196	14.26	0.0
55	2.7	14.00	0.238	17.25	0.0
60	2.7	14.00	0.283	20.53	0.1
65	2.7	14.00	0.340	24.71	0.1
70	2.7	14.00	0.403	29.24	0.1
75	2.7	14.00	0.477	34.61	0.1
80	2.7	14.00	0.567	41.17	0.1
85	2.7	14.00	0.684	49.63	0.1
90	2.7	14.00	0.848	61.56	0.2

Perhitungan laju penurunan tanah, didapatkan bahwa lama waktu konsolidasi tanah yang dibutuhkan untuk mencapai 90% derajat konsolidasi adalah 61.5 tahun.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari seluruh analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Elevasi puncak timbunan tanah dan tanggul pada reklamasi di Teluk Jakarta didesain untuk selalu diatas muka air pselama masa layan sehingga elevasi desain reklamasi memiliki ketinggian 4.31 meter dan elevasi konstruksi memiliki ketinggian 5.81 meter dari muka air terendah perairan..
2. Perhitungan desain timbunan reklamasi akan terdiri dari timbunan pasir non kohesif dengan berat jenis material 17 kN/m² dan dengan ketebalan 8.61 meter dari dasar muka tanah asli. Desain tanggul akan tersusun dari material *armor* tetrapod dengan berat satuan 2 ton dan material *filter* dan *core* yang tersusun dari batu alam dengan berat masing-masing 200 kg dan 20 kg.

3. Pada desain reklamasi tanpa perbaikan dengan *micropile*, diketahui bahwa tanah tidak mampu menopang beban tanggul dan timbunan dengan besar *safety factor* 0.54 atau kurang dari 1 sehingga mengalami *failure/collapse*. Pada desain reklamasi dengan menggunakan konfigurasi perkuatan *micropile*, tanah mengalami peningkatan stabilitas dengan nilai *safety factor* 1.3.
4. Besar penurunan tanah pada timbunan reklamasi sebesar 1.41 meter dengan waktu penurunan tanah untuk mencapai 90% derajat konsolidasi adalah 61.5 tahun.

Berdasarkan pengerjaan tugas akhir ini, terdapat beberapa saran yang dapat disampaikan yaitu:

1. Penambahan perhitungan konsolidasi sekunder dan penurunan tanah regional pada elevasi desain selama masa layan untuk meningkatkan keamanan reklamasi.
2. Perbaikan tanah lanjutan untuk mempercepat konsolidasi tanah dapat dilakukan dengan cara memasang *vertikal drain* pada lapisan tanah di bawah timbunan.

Daftar Pustaka

- Ameratunga, J., & Das, B. (2016). *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. India: Springer.
- Bowles, J. E. (1979). *Physical and Geotechnical Properties of Soil*. Tokyo: McGraw-Hill.
- Bowles, J. E. (t.thn.). *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Intergovernmental Panel of Climate Change. (2015). *Climate Change 2014*. Geneva: IPCC.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (2012). *Principles of Foundation Engineering*. Boston: Cengage Learning.
- Das, B. M., & Shoban, K. (2010). *Advanced Soil Mechanics*. Stamford: Cengage Learning.
- Delft. (2007). *Manual Plaxis 2D*. Belanda: Plaxis b.v.
- Desain dan Konstruksi Pita Drain Vertikal Prefabrikasi Pd-t-13-2004-a*. (2004). Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.
- Engineering, U. A. (1984). *Shore Protection Manual*. Vicksburg, Missisipi: Department of the Army.
- Kumar, R. (2016). *Estimation of Engineering Properties of Soils from Field SPT Using Random Number Generation*. Indian National Academy of Engineering.

- Lambe, T. W., & Whitman, R. T. (1969). *Soils Mechanics*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Persyaratan Perancangan Geoteknik*. (2017). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Triadmojo, B. (2008). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Andra & Hendriyawan (2013). Analisis Desain Tanggul untuk Keperluan Reklamasi di Pantai Utara Jakarta.
- Bachri, Hasan. (2010). *Diklat Kuliah KL4212 Reklamasi dan Pengerukan*. Bandung: Penerbit ITB.
- Meyerhof, G. G. (1956). *Penetration Tests and Bearing Capacity of Foundations*. Canadian Geotechnical Journal.
- 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.
- Peraturan Daerah Provinsi DKI Jakarta No. 1 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Jakarta 2030*
- Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta No. 121 Tahun 2012 tentang Penataan Ruang Kawasan Reklamasi Pantai Utara Jakarta.*
- Surat Gubernur Provinsi DKI Jakarta No: 1295/-1.794.2 tanggal 21 September 2012 tentang Persetujuan Prinsip Reklamasi Pulau K atas nama PT. Pembangunan Jaya Ancol, Tbk.*
- Analisis Dampak Lingkungan (ANDAL) Reklamasi Pulau K (2015), Kelurahan Ancol, Kecamatan Pademangan Kota Jakarta Utara Provinsi DKI Jakarta PT. Pembangunan Jaya ancil, Tbk.*
- Burt G. Look (2014). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*, London, UK: Taylor & Francis Group.
- Delft.Bentley (2019). *PLAXIS 2D Reference Manual Connect Edition V20*. Belanda: Plaxis b.v.