

DESAIN REKLAMASI DI PERAIRAN SEMARANG DENGAN METODE PERBAIKAN TANAH *VERTICAL DRAIN*

Safira Rahmaniar Wanaputri¹ dan Dr. Ir. Hendriyawan, M.T.²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

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

Abstrak: Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki wilayah pesisir yang sangat penting bagi keberjalanan hidup masyarakatnya. Wilayah pesisir sudah lama dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai kawasan pusat pemukiman, industri, pariwisata, dan sebagainya. Karena itu terjadi peningkatan kebutuhan lahan untuk mengakomodasi berbagai macam kegiatan di wilayah pesisir. Sebagai solusinya, maka dilakukan pekerjaan reklamasi untuk menyediakan lahan-lahan baru.

Pelaksanaan reklamasi harus dilakukan dengan memperhatikan berbagai aspek, seperti kondisi geoteknik tanah dan lingkungan di area reklamasi, stabilitas timbunan di atas tanah dasar, dan penurunan tanah akibat beban timbunan. Pada studi ini, akan dilakukan analisis stabilitas tanah timbunan menggunakan metode elemen hingga dengan pemodelan pada perangkat lunak PLAXIS 2D. Selain itu, akan dilakukan perencanaan perbaikan tanah menggunakan *vertical drain* yang berguna untuk mempercepat proses penurunan tanah agar tidak terjadi kerusakan bagi struktur di atas tanah menggunakan program VDrainSt di excel. Perencanaan reklamasi akan dilakukan di perairan Semarang, Jawa Tengah, Indonesia.

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan, timbunan reklamasi direncanakan memiliki elevasi sebesar +6.1 m dari LWS, namun karena adanya proses konsolidasi, ketebalan tanah yang ditimbun harus mencapai 8.3 m agar dapat mencapai elevasi yang direncanakan. Pada analisis stabilitas, didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1.74 ketika diberikan beban operasional. Perbaikan tanah dilakukan menggunakan drainase vertikal dengan pola *triangular* dan jarak diantara setiap drainase vertikal sebesar 1 m, dapat mempercepat perbaikan tanah pada derajat konsolidasi 90% dari 17000 hari (47 tahun) menjadi 29 hari, namun ketika menggunakan pola *triangular*, *vertical drain* yang dibutuhkan bisa jadi lebih banyak daripada ketika menggunakan pola *square*.

Kata Kunci: Reklamasi, Stabilitas, Konsolidasi, Drainase Vertikal

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sebagai negara kepulauan, wilayah pantai di Indonesia adalah daerah yang sangat penting dalam keberjalanan kegiatan manusia. Wilayah pantai dapat dimanfaatkan sebagai kawasan pusat pemerintahan, pemukiman, industri, pariwisata, pelabuhan dan sebagainya. Berbagai kegiatan yang dilakukan di wilayah pantai tersebut dapat menyebabkan

peningkatan kebutuhan lahan, sarana dan prasarana pendukung dari masing-masing kegiatan tersebut. Untuk mengakomodasi berbagai kegiatan di wilayah pantai tersebut, maka dibutuhkan suatu solusi untuk mengadakan lahan-lahan baru di wilayah pantai, yaitu pekerjaan reklamasi.

Reklamasi sendiri merupakan kegiatan yang dilakukan dalam rangka meningkatkan manfaat sumber daya lahan yang ditinjau dari sudut lingkungan dan

sosial ekonomi dengan cara pengerukan, pengeringan lahan atau drainase menurut UU No 27 tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil.

Dalam pekerjaan reklamasi, berbagai aspek harus diperhatikan dalam proses pengerjaannya. Aspek yang harus diperhatikan diantara lainnya adalah kondisi lingkungan di lokasi pekerjaan, stabilitas timbunan dan penurunan tanah (*settlement*). Parameter lingkungan yang memengaruhi dalam pekerjaan reklamasi yaitu data tinggi gelombang dari data angin dan data pasang surut untuk menentukan elevasi timbunan yang dibutuhkan. Analisis stabilitas timbunan dilakukan untuk memastikan timbunan stabil dan dapat menahan beban diatasnya dengan baik.

Settlement merupakan peristiwa penurunan tanah akibat beban di atas tanah. Penurunan tanah akibat keluarnya air dari pori-pori tanah merupakan penurunan tanah yang disebut konsolidasi. Penurunan tanah tersebut akan mengakibatkan tanah dasarnya menjadi padat dan keras. Konsolidasi dapat terjadi secara alami seiring berjalannya waktu, namun prosesnya dapat menyebabkan kerusakan bagi struktur diatas tanah tersebut. Karena itu, dilakukan terlebih dahulu pekerjaan perbaikan tanah dengan cara mempercepat laju keluarnya air dari pori-pori tanah. Untuk mempercepat waktu konsolidasi tanah, salah satu metode yang dapat digunakan adalah menggunakan *Vertical Drain* yang seringkali dilakukan bersama perbaikan tanah menggunakan *preloading*. Dalam pengerjaan laporan ini, akan dilakukan desain reklamasi dan perbaikan tanah pada reklamasi yang dilakukan di daerah perairan Semarang, Jawa Tengah, Indonesia yang dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.



Gambar 1 Lokasi Kota Semarang pada Pulau Jawa



Gambar 2 Kota Semarang pada Pulau Jawa



Gambar 3 Lokasi Reklamasi

Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan desain elevasi timbunan reklamasi
2. Menganalisis stabilitas timbunan pada lokasi reklamasi
3. Menghitung penurunan tanah akibat reklamasi dan mendesain perbaikan tanah menggunakan *Vertical Drain*

Ruang Lingkup

Ruang lingkup pembahasan yang akan dibahas dalam pengerjaan ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data dan pengolahan data untuk keperluan desain, berupa data angin dan *hindcasting* gelombang berdasarkan *shore protection manual* (SPM), data tanah untuk mengetahui parameter daya dukung tanah menggunakan korelasi N-SPT, serta data pasang

surut menggunakan metoda *least-square*.

2. Perencanaan elevasi timbunan
3. Analisis stabilitas timbunan pada tanah berdasarkan standar SNI 8460:2017
4. Perhitungan penurunan tanah dan desain perbaikan tanah menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).

II. TEORI DAN METODOLOGI

Reklamasi

Menurut Pedoman Reklamasi di Wilayah Pesisir (2005), “Reklamasi adalah kegiatan yang dilakukan oleh orang dalam rangka meningkatkan manfaat sumber daya lahan ditinjau dari sudut lingkungan dan sosial ekonomi dengan cara pengurugan, pengeringan lahan atau drainase.” Istilah reklamasi merupakan turunan dari istilah Bahasa Inggris ‘*reclamation*’ yang berarti proses memperoleh kembali sesuatu dari suatu kehilangan atau dari keadaan yang kurang bermanfaat. Dalam penggunaannya, istilah tersebut juga digunakan dalam pemanfaatan suatu lahan yang tidak dapat digunakan. Reklamasi dengan sistem timbunan adalah metoda yang cocok untuk dilakukan di Indonesia yang merupakan daerah tropis yang mempunyai curah hujan sangat tinggi. Penimbunan dilakukan hingga elevasi timbunan berada di atas muka air laut.

Analisis Kestabilan Lereng

Tanah timbunan reklamasi akan membentuk suatu lereng atau permukaan tanah yang memiliki sudut terhadap bidang horizontal. Pada permukaan lereng tersebut, akan cenderung terjadi pergerakan tanah di bagian atas ke bawah. Fenomena tersebut disebut keruntuhan lereng. Keruntuhan pada lereng dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya beban tanah itu sendiri, beban struktur, dan kondisi lingkungan sekitarnya. Karena itu, untuk mendesain reklamasi harus dilakukan analisa kestabilan lereng. SNI 8460:2017

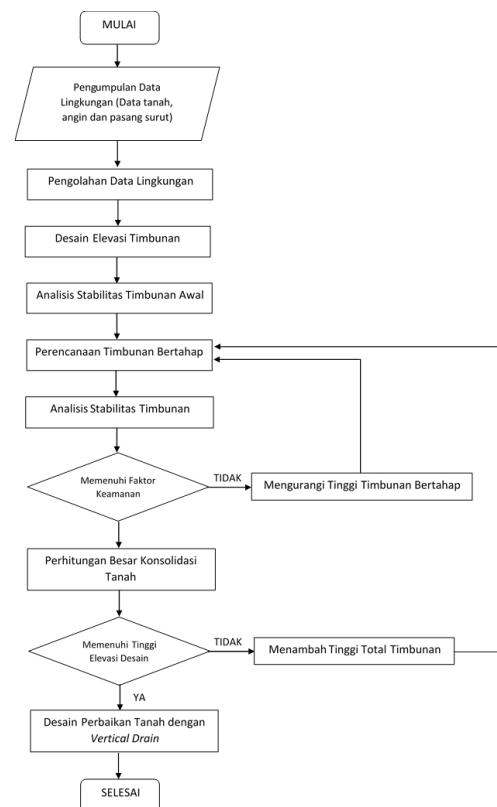
sudah membuat kriteria kestabilan lereng yaitu faktor keamanan harus lebih dari 1.5 dengan pertimbangan biaya dan tingkat ketidakpastian kondisi analisis.

Konsolidasi Tanah

Konsolidasi tanah terjadi dapat disebabkan oleh adanya tambahan beban di atas suatu permukaan tanah. Konsolidasi tanah terjadi akibat keluarnya air pori dari dalam tanah akibat pembebanan. Perbaikan tanah dilakukan untuk mempercepat proses konsolidasi yang dapat memakan waktu sangat lama, agar tidak terjadi kerusakan struktur di atas tanah.

Metodologi

Metodologi yang dilakukan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada diagram alir di Gambar 4.



Gambar 4 Flowchart Tahapan Pengerjaan

III. PENGOLAHAN DATA

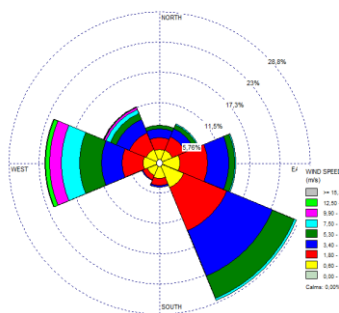
Data Angin

Data angin yang akan di analisis didapatkan dari ECMWF (*European Centre for*

Medium-Range Weather Forecasts) ERA5 untuk perairan Semarang. Data angin yang digunakan adalah data dari 1 Januari 2010 hingga 31 Desember 2019 dengan data angin berinterval satu jam. Pengamatan data angin dilakukan pada koordinat 6.6 LS dan 110.3 BT. Hasil pengolahan data angin dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 5.

Tabel 1 Data Angin Maksimum Tahunan

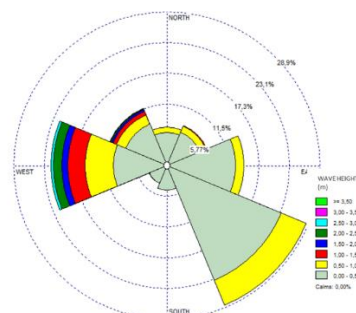
No	Tahun	Bulan	Tanggal	Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Arah
1	2010	Januari	15	23	12.40	Barat
2	2011	Januari	11	21	14.99	Barat
3	2012	Januari	25	4	14.40	Barat
4	2013	Januari	9	14	15.11	Barat
5	2014	Februari	1	23	13.47	Barat
6	2015	Desember	17	6	10.78	Barat
7	2016	Maret	1	7	12.10	Barat Laut
8	2017	Februari	6	20	13.45	Barat
9	2018	Januari	28	14	12.15	Barat
10	2019	Januari	26	7	12.31	Barat Laut



Gambar 5 Wind Rose di Perairan Semarang Tahun 2010-2019

Data Gelombang

Data gelombang didapatkan dari hasil hindcasting data angin, wave rose dapat dilihat pada Gambar 6



Gambar 6 Wave Rose di Perairan Semarang Tahun 2010-2019

Dilakukan perhitungan nilai ekstrim gelombang yang menghasilkan tinggi gelombang rencana adalah 4.38 m dan periode gelombang 10.39 s.

Data Pasang Surut

Parameter elevasi pasang surut dapat diperoleh dari data elevasi muka air perairan yang didapatkan dari Dinas Hidro-Oceanografi Angkatan Laut (DISHIDROS-AL) Indonesia. Data pengamatan yang digunakan adalah data di Semarang pada bulan Januari 2011 di koordinat 7.0 S dan 110.4 T. Dengan menggunakan perangkat lunak ERGTIDE, didapat tunggan pasang surut sebesar 109.05 m dari LWS.

Kenaikan Muka Air Laut

Dalam usaha mengantisipasi dampak dari kenaikan muka air laut, maka dilakukan perkiraannya berdasarkan penelitian dan dipublikasikan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* dalam prediksi kenaikan muka air laut secara global hingga tahun 2100. Berdasarkan penelitian tersebut, didapatkan bahwa proyeksi kenaikan muka air laut dalam rentang 50 tahun adalah 0.42 m.

Storm Surge dan Run Up

Storm surge diperhitungkan menggunakan persamaan dari Dean dan Dalrymple (1984) dan didapatkan tinggi storm surge sebesar 0.12 m.

Run Up dihitung menggunakan hubungan dengan bilangan irribaren dan didapatkan nilainya sebesar 2.25 m.

Data Tanah

Parameter data tanah digunakan dari hasil korelasi N-SPT untuk tiga titik *borehole* yang dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4

Tabel 2 Parameter Tanah di Titik BH-1

BH-1							
Tebal (m)	N-SPT	Klasifikasi Tanah	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Sudut Geser ϕ	Kohesi c (kN/m ²)	Poisson Ratio
9.55	1	Lanau	14	16	0	5	0.2
26	4	Lempung	16	18	0	24	0.3
19.45	9	Lempung	17	20	0	54	0.4
5	18	Lempung	19	22	0	108	0.4

Tabel 3 Parameter Tanah di Titik BH-2

BH-2							
Tebal (m)	N-SPT	Klasifikasi Tanah	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Sudut Geser ϕ	Kohesi c (kN/m ²)	Poisson Ratio
11.55	1	Lempung	14	16	0	5	0.2
14	3	Lempung	15	17	0	18	0.3
8	6	Lempung	17	18	0	36	0.3
8	9	Lempung	17	19	0	54	0.4
13.45	9	Lempung	17	19	0	54	0.4
5	14	Lempung	18	19	0	84	0.4

Tabel 4 Parameter Tanah di Titik BH-3

BH-3							
Tebal (m)	N-SPT	Klasifikasi Tanah	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Sudut Geser ϕ	Kohesi c (kN/m ²)	Poisson Ratio
4	1	Lempung	14	16	0	5	0.2
1.55	1	Lanau Berpasir	14	16	0	5	0.2
14	2	Lempung	15	16	0	12	0.3
13.45	6	Lempung	17	18	0	36	0.3
23	10	Lempung	17	19	0	60	0.4
4	18	Lempung	19	22	0	108	0.4

Data Timbunan Rencana

Parameter tanah timbunan yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 5. Besar beban rencana yang akan digunakan dalam analisa adalah sebesar 12 kN/m² sesuai dengan ketentuan SNI 1727:2013 tentang Bangunan dan Gedung Struktur Lain, untuk beban hidup bangunan jenis gudang.

Tabel 5 Parameter Timbunan

Berat Jenis γ (kN/m ³)	Sudut Geser ϕ	Kohesi (kN/m ²)	Poisson Ratio	Modulus Young Es (kN/m ²)
16	30	5	0.3	25000

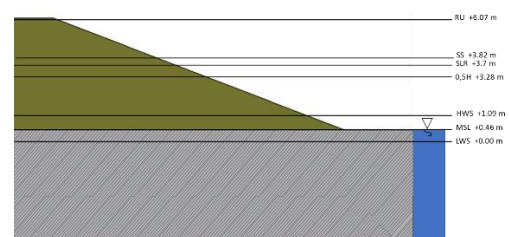
IV. HASIL DAN ANALISIS

Desain Timbunan

Desain elevasi timbunan ditentukan berdasarkan parameter yang telah diperoleh dari pengolahan data. Sehingga, tinggi elevasi timbunan yang direncanakan berdasarkan perhitungan tersebut adalah:

$$\begin{aligned} \text{Elevasi Puncak} &= 1.09 + 0.5 (4.38) + \\ &0.42 + 0.12 + 2.25 = 6.07 \approx \\ &6.1 \text{ m dari LWS} \end{aligned}$$

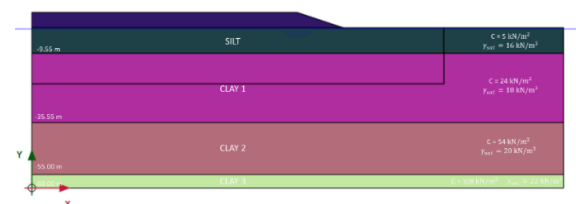
Perairan Semarang memiliki kedalaman perairan dangkal dan datar dengan kedalaman berada di antara 0 – 5 m dari MSL. Maka, kedalaman air yang digunakan untuk penelitian ini adalah 0 m dari MSL yang berarti sebesar +0.46 m dari LWS, sehingga tinggi timbunan menjadi sebesar 5.7 m. Ilustrasi timbunan dapat dilihat pada Gambar 7.



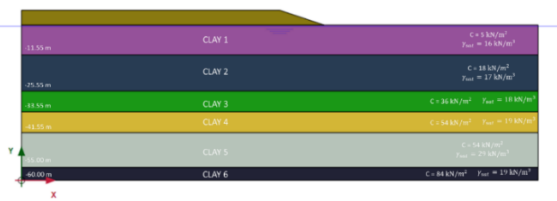
Gambar 7 Ilustrasi Elevasi Reklamasi

Analisis Timbunan Awal

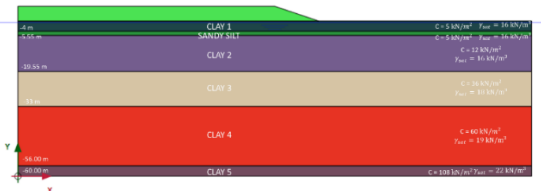
Setelah dilakukan desain timbunan, maka dapat dilakukan analisis awal timbunan di tiga titik *borehole* untuk mengetahui kestabilan timbunan. Analisis stabilitas timbunan awal dilakukan menggunakan perangkat lunak elemen hingga untuk menganalisa deformasi dan stabilitas timbunan tanah. Perangkat lunak yang digunakan adalah PLAXIS 2D V20 dan dapat menghasilkan nilai faktor keamanan timbunan. Tanah dan parameternya terlebih dahulu di modelkan di perangkat lunak PLAXIS yang dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10. *Mesh* dari pemodelan tanah dapat dilihat pada Gambar 11, Gambar 12, Gambar 13.



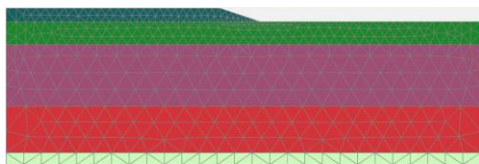
Gambar 8 Input Geometri Tanah Awal di Titik BH-1



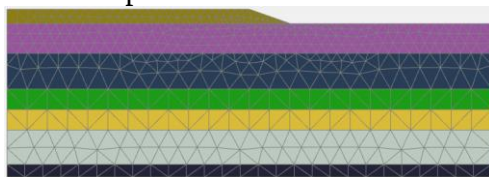
Gambar 9 Input Geometri Tanah Awal di Titik BH-2



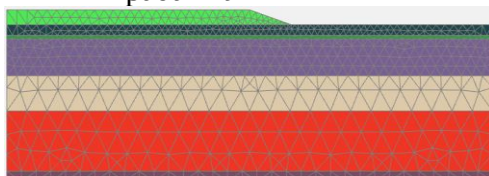
Gambar 10 Input Geometri Tanah Awal di Titik BH-3



Gambar 11 Kondisi Mesh Tanah Awal pada Titik BH-1



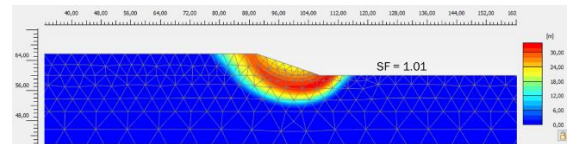
Gambar 12 Kondisi Mesh Tanah Awal pada Titik BH-2



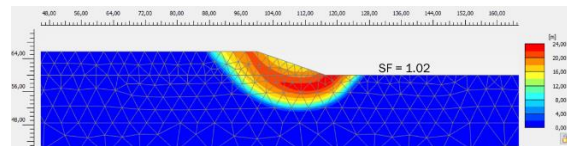
Gambar 13 Kondisi Mesh Tanah Awal pada Titik BH-3

Kondisi awal dari tanah akan dihitung, yaitu tekanan air pori tanah dan tegangan efektif tanah di ketiga titik *borehole* dengan perhitungan *phreatic*. Ketiga titik tanah menghasilkan tekanan air pori tanah sebesar $595,4 \text{ kN/m}^2$. Sedangkan, untuk tegangan efektif tanah berbeda di masing-masing titik, dengan BH-1 sebesar 523.5 kN/m^2 , BH-2 sebesar 473 kN/m^2 , dan BH-3 sebesar 483.6 kN/m^2 . Hal ini dikarenakan perbedaan tebal lapisan dan berat jenis tanah di setiap titik *borehole*.

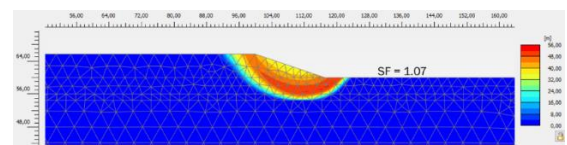
Hasil analisis stabilitas timbunan awal dapat dilihat pada Gambar 14, Gambar 15, dan Gambar 16. Dari hasil pemodelan dapat dilihat bahwa faktor keamanan di ketiga titik *borehole* memiliki nilai 1, karena itu timbunan dianggap tidak stabil dan dapat mengalami keruntuhan. Maka, harus dilakukan penimbunan bertahap dan perbaikan tanah untuk memastikan timbunan bisa stabil.



Gambar 14 Pola Keruntuhan Tanah untuk Penimbunan 1 Tahap pada Titik BH-1



Gambar 15 Pola Keruntuhan Tanah untuk Penimbunan 1 Tahap pada Titik BH-2



Gambar 16 Pola Keruntuhan Tanah untuk Penimbunan 1 Tahap pada Titik BH-3

Perhitungan Konsolidasi

Perhitungan konsolidasi dilakukan untuk mencari tahu apakah elevasi timbunan rencana tetap tercapai walaupun tanah dasar mengalami proses konsolidasi. Karena itu dicari konsolidasi dari berbagai variasi tebal timbunan. Perhitungan konsolidasinya dilakukan menggunakan program VDrainSt di Microsoft Excel. Pada perhitungan ini akan diperlihatkan perhitungan konsolidasi untuk ketebalan 8.3 m . Input parameter tanah di VDrainSt dapat dilihat pada Gambar 17. Hasil perhitungan konsolidasi di tiap waktu dapat dilihat pada Tabel 6.

VDrainSettlement									
Original Mud Thickness		60	Fill Thickness			TABLE		TABLE	
Original Mud Top Elevation		0.46	Time			Existing Pressure		Maximum	
Elevation of Sea Level		0	Thickness			Overburden Pressure		Past Pressure	
Vertical Coefficient of Consolidation C_v		0.026	0		4.5	Elevation (m)		Elevation (m)	
Single (s) or Double (d) Drainage		0.5	20		8.3	-9.09		-10.09	
Horizontal Coefficient of Consolidation C_h		0				-35.09		-36.09	
Equivalent Drain Spacing ($>$ Drain Diam)		1.05				-54.54		-55.54	
Equivalent Drain Diameter ($\pm$ D)		0.066				-59.54		-60.54	
Linear Diameter Ratio ($\pm$ D)		4							
Linear λ Ratio ($\pm$ D)		2							
Time of V-Drain Installation		0							
Compression Ratio of Mud		0.092							
Recompression Ratio of Mud		0.096							
Unit Weight of Fill Above Water Level		16							
Boussant Unit Weight of Fill		9							

Gambar 17 Input Perhitungan Konsolidasi Timbunan 8.3 m di VDrainSt

Tabel 6 Hasil Perhitungan Konsolidasi Timbunan 8.3 m di VDrainSt

Waktu			Sc (m)	U (%)
Hari	Bulan	Tahun		
5	0.17	0.01	0.76	29.1
20	0.67	0.06	0.84	32.6
50	1.67	0.14	0.97	37.4
85	2.83	0.24	1.04	40.0
200	6.67	0.56	1.16	44.7
300	10.00	0.83	1.22	47.2
500	16.67	1.39	1.31	50.7
1000	33.33	2.78	1.45	56.1
2000	66.67	5.56	1.62	62.6
5000	166.67	13.89	1.90	73.3
10000	333.33	27.78	2.15	83.1
17000	566.67	47.22	2.35	90.6
20000	666.67	55.56	2.40	92.7
25000	833.33	69.44	2.47	95.1
30000	1000.00	83.33	2.51	96.8
50000	1666.67	138.89	2.58	99.5
70000	2333.33	194.44	2.59	100.0

Besar konsolidasi yang didapatkan dari perhitungan adalah sebesar 2.6 m, maka dilakukan pengecekan apakah elevasi timbunan tetap tercapai walaupun sudah mengalami konsolidasi.

Tinggi timbunan – besar konsolidasi
 $= 8.3 - 2.6 = 5.7 \text{ m}$

Maka, dengan melakukan penimbunan sebesar 8.3 m, elevasi timbunan yang ditentukan yaitu 5.7 m tetap dapat tercapai walaupun tanah sudah mengalami proses konsolidasi.

Analisis Timbunan Bertahap

Ditetapkan ketebalan timbunan yang akan dilakukan adalah sebesar 8.3 m, karena ketebalan timbunan yang dilakukan harus tetap memenuhi elevasi rencana yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu 5.7 m. Ketebalan tersebut ditentukan dari hasil

iterasi pencarian besar konsolidasi berbagai ketebalan timbunan. Timbunan bertahap akan dilakukan dengan timbunan awal sebesar 4.5 m. Perencanaan timbunan bisa dilihat pada Tabel 7. Setiap tahapan timbunan akan menyebabkan terjadinya kenaikan daya dukung tanah. Kenaikan daya dukung tanah akibat tahapan timbunan dapat dilihat pada Tabel 8.

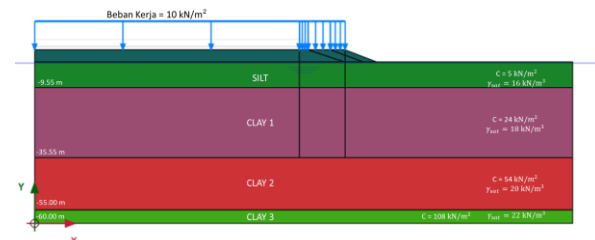
Tabel 7 Perencanaan Timbunan Bertahap

Tahapan Timbunan	Tinggi Timbunan (m)
Timbunan 1	4.5
Timbunan 2	3.8

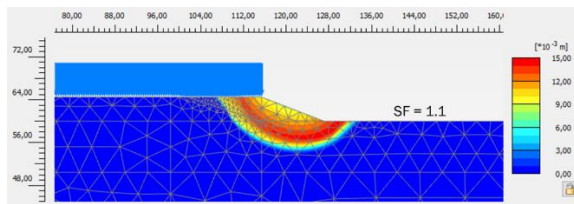
Tabel 8 Perhitungan Kenaikan Daya Dukung Tanah

Tahap	H (m)	c (kN/m ²)	q _u (kN/m ²)	$\Delta\sigma$ (kN/m ²)	Δc (kN/m ²)	c' (kN/m ²)	q _u ' (kN/m ²)
Timbunan 1	4.5	5.00	25.70	72.00	15.84	20.84	107.12
Timbunan 2	3.8	20.84	107.12	60.80	13.38	34.22	175.87

Analisis stabilitas timbunan bertahap dilakukan menggunakan parameter tanah BH-1 karena memiliki hasil faktor keamanan yang paling kecil diantara ketiga titik tanah dengan beban yang sama. Seperti analisis stabilitas awal, analisis dilakukan menggunakan program PLAXIS dengan kondisi geometri awal tanah yang sama. Tahap pertama timbunan dilakukan dengan tebal 4.5 m dan berat kerja 10 kN/m² yang dapat dilihat pada Gambar 18. Pola keruntuhan dan hasil analisis stabilitas penimbunan tahap 1 dapat dilihat pada Gambar 19.

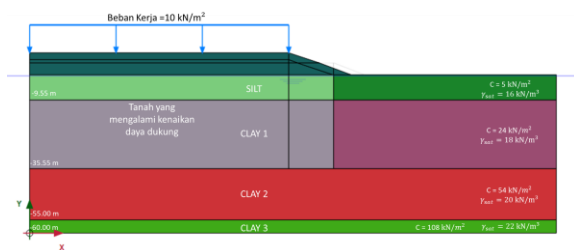


Gambar 18 Kondisi Geometri Penimbunan Tahap 1

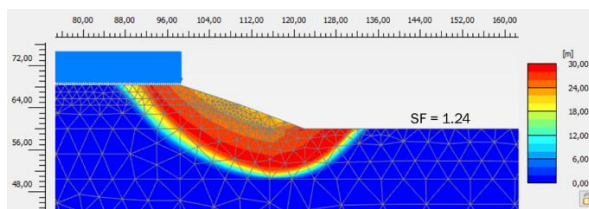


Gambar 19 Pola Keruntuhan Tanah untuk Penimbunan Tahap 1

Akibat pembebanan di tahap pertama, tanah dasar akan mengalami kenaikan daya dukung tanah yaitu kohesi tanah sebesar 20.84 kN/m². Penimbunan tahap dua memiliki ketebalan sebesar 3.8 m dan diberikan juga beban kerja untuk pemodelannya. Pemodelan dari timbunan tahap dua dapat dilihat pada Gambar 20, dan pola keruntuhannya dapat dilihat pada Gambar 21.

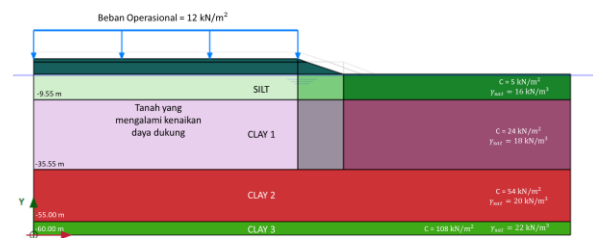


Gambar 20 Kondisi Geometri Penimbunan Tahap 2

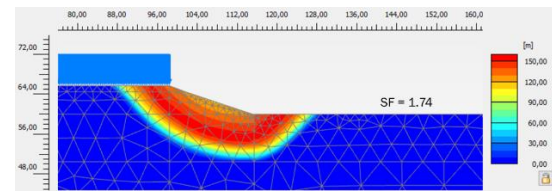


Gambar 21 Pola Keruntuhan Tanah untuk Penimbunan Tahap 2

Akibat pembebanan di tahap kedua, tanah dasar akan terjadi lagi kenaikan daya dukung tanah sebesar 13.38 kN/m². Setelah timbunan selesai, maka akan dilakukan pembongkaran timbunan menjadi 5.7 m untuk mencapai desain timbunan yang sudah ditetapkan. Timbunan akan diberikan beban operasional sebesar 12 kN/m². Pemodelan dari timbunan untuk beban operasional dapat dilihat pada Gambar 22, dan pola keruntuhannya dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 22 Kondisi Geometri Pembebanan Operasional



Gambar 23 Pola Keruntuhan Tanah untuk Pembebanan Operasional

Rekapitulasi dari nilai faktor keamanan akibat penimbunan dan pembebanan dapat dilihat pada Tabel 9. Dapat dilihat bahwa nilai faktor keamanan di setiap tahap timbunan memenuhi kriteria karena nilai SF melebihi 1.1. Nilai faktor keamanan akibat pembebanan operasional juga memenuhi kriteria karena nilai SF melebihi 1.5 sesuai dengan ketentuan dari SNI 8460:2017.

Tabel 9 Rekapitulasi Nilai SF setiap Tahapan

Tahapan Timbunan	Tinggi Timbunan (m)	Safety Factor
Timbunan 1	4.5	1.1
Timbunan 2	3.8	1.24
Operasional	-	1.74

Perbaikan Tanah dengan *Vertical Drain*

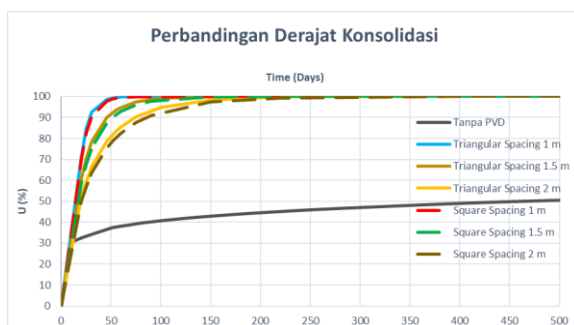
Penurunan tanah yang terjadi akibat timbunan dihitung menggunakan program VDrainSt. Menggunakan program tersebut, akan dilakukan perbandingan laju konsolidasi untuk dua jenis pola peletakkan *vertical drain* yaitu pola *triangular* dan pola *square*. Selain itu, juga akan dilakukan perbandingan laju konsolidasi untuk variasi *spacing* diantara *vertical drain*, yang pada penelitian ini digunakan sebesar 1 m, 1,5 m dan 2 m. Perbandingan dilakukan agar dapat mempertimbangkan jenis pola peletakkan *vertical drain* dan berapa besar

spacingnya yang lebih cocok untuk digunakan di proyek reklamasi tertentu.

Perbandingan hasil laju penurunan antara tanah tanpa *vertical drain* dan tanah menggunakan *vertical drain* dengan dua jenis pola peletakkan *vertical drain* dan variasi besar *spacing* dapat dilihat pada Gambar 24. Sedangkan untuk perbandingan derajat konsolidasinya dapat dilihat pada Gambar 25. Perbandingan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi (U%) 90% dapat dilihat pada Tabel 10. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, dapat dilihat bahwa pola peletakkan *vertical drain triangular* dengan spasi 1 m akan mengalami konsolidasi paling cepat.



Gambar 24 Grafik Perbandingan Laju Konsolidasi



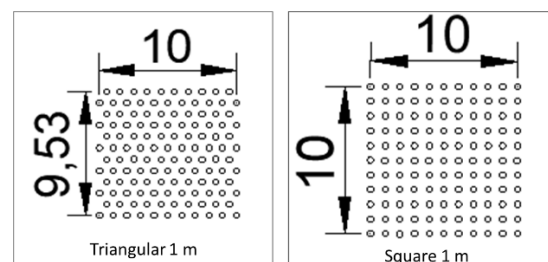
Gambar 25 Grafik Perbandingan Derajat Konsolidasi

Tabel 10 Perbandingan Waktu Konsolidasi

Besar Spacing	t (hari) untuk U% = 90%		
	Tanpa PVD	Triangular	Square
1	17000	29	31
1.5		46	52
2		75	90

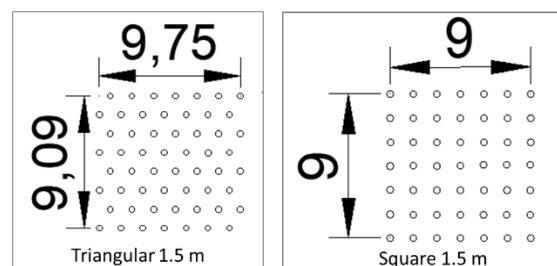
Jumlah *Vertical Drain*

Untuk menentukan jenis pola peletakkan yang digunakan dan besar *spacing*, perlu juga dipertimbangkan jumlah *vertical drain* yang akan dibutuhkan. Perbandingan akan dilakukan dengan mencari banyaknya *vertical drain* pada suatu bidang dengan luas 100 m². Perbandingan untuk pola *triangular* dan *square* dengan spasi 1 m pada Gambar 26, menunjukkan bahwa dengan pola *triangular*, dibutuhkan *vertical drain* 126 buah, sedangkan untuk pola *square* hanya dibutuhkan 121 buah.



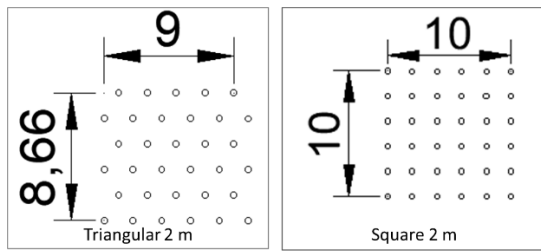
Gambar 26 Pola *Triangular* dan *Square* dengan Spacing 1 m

Pada pola *triangular* dan *spacing* dengan jarak spasi 1.5 m, hasilnya dapat dilihat di Gambar 27, pola *square* membutuhkan 49 buah PVD dan pola *triangular* membutuhkan 56 buah PVD.



Gambar 27 Pola *Triangular* dan *Square* dengan Spacing 1.5 m

Pada pola *triangular* dan *spacing* dengan jarak spasi 2 m, hasilnya dapat dilihat di Gambar 27, pola *square* membutuhkan 36 buah PVD dan pola *triangular* membutuhkan 33 buah PVD.



Gambar 28 Pola *Triangular* dan *Square* dengan Spacing 2 m

Dari perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa pada area sebesar 100 m², secara umum *vertical drain* dengan pola *triangular* akan membutuhkan lebih banyak PVD daripada ketika penggunaan pola *square*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pemodelan dalam laporan Tugas Akhir ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain elevasi timbunan pada lokasi penelitian direncanakan dengan elevasi +6.1 m dari LWS. Penimbunan dilakukan dengan ketebalan timbunan 8.3 m karena tanah dasar mengalami proses konsolidasi.
2. Pada saat diberikan beban operasional, didapatkan nilai faktor keamanan untuk timbunan sebesar 1.74. Maka, penimbunan memenuhi kriteria berdasarkan SNI 8460:2017 yaitu SF minimal 1.5
3. Penurunan tanah yang terjadi sebesar 2.6 m. Digunakan *vertical drain* untuk perbaikan tanah menggunakan PVD *triangular spacing* 1 m yang mempercepat perbaikan tanah pada derajat konsolidasi 90% dari 17000 hari (47 tahun) menjadi 29 hari.
4. *Vertical drain* dengan pola *triangular spacing* dapat melakukan konsolidasi lebih cepat daripada dengan *vertical drain* dengan pola *square spacing*, namun membutuhkan jumlah *vertical drain* yang lebih banyak daripada *square spacing* di area yang besarnya sama.

Saran

Adapun saran dari pengerjaan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dapat dikembangkan lagi untuk mendapatkan anggaran biaya konstruksi yang dibutuhkan berdasarkan perencanaan konstruksi yang telah dibuat.
2. Harus dilakukan validasi lebih lanjut terhadap perhitungan menggunakan program VDrainSt untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
3. Data lingkungan dapat dicari dengan sumber yang lebih banyak agar perhitungan lebih akurat dan mendapatkan hasil yang lebih mendekati kondisi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bo, M. W., Chu, J., Low, B., & Choa, V. (2002). *Soil Improvement: Prefabricated Vertical Drain Techniques*. Gale Asia.
- Chu, J., & Ranju, V. (2013). Prefabricated Vertical Drains. Dalam K. Kirsch, & A. Bell, *Ground Improvement Third Edition* (hal. 87). Florida: CRC Press.
- Coastal Engineering Research Center. (1984). *Shore Protection Manual*. Mississippi: US Army Corps of Engineers.
- Das, B. (2011). *Principles of Foundation Engineering Seventh Edition*. Stamford: Cengage Learning.
- Das, B. M. (2008). *Advanced Soil Mechanics Third Edition*. New York: Taylor & Francis.
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
- Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. (2004). *Pedoman Reklamasi di Wilayah Pesisir*.

Jakarta: Departemen Kelautan dan Perikanan.

Look, B. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. London: Taylor & Francis.

Umpel, I. F. (2015). Studi Karakteristik Gelombang pada Daerah Pantai Matani Satu. *Jurnal Sipil Statik Volume 3*, 651.