

DESAIN DAN ANALISIS STABILITAS PEMECAH GELOMBANG STUDI KASUS BALONGAN

DESIGN AND STABILITY ANALYSIS OF BREAKWATER : BALONGAN CASE STUDY

Stefanie Astrid Aipassa¹ dan Hendriyawan²

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,
Jl Ganesha 10 Bandung 40132

¹stefanieaipassa@students.itb.ac.id dan ²hendriyawan@ocean.itb.ac.id

Abstrak:

Indonesia merupakan negara maritim dengan total panjang garis pantai sebesar 99.093 kilometer (BIG, 2016). Namun, beberapa wilayah di Indonesia memiliki permasalahan pada garis pantainya, salah satunya adalah pesisir Balongan yang mengalami abrasi di sepanjang pantainya. Untuk menanggulangnya maka dibangun pemecah gelombang yang disusun seri di sepanjang daerah terdampak.

Penampang pemecah gelombang didesain berdasarkan rekomendasi dari *Shore Protection Manual II* yang terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan inti dan lapisan armor dengan pelindung kaki. Perancangan ini diawali dengan pengolahan data lingkungan yang mencakup pengolahan data pasang surut dari Dishidros, pengolahan data angin dari NOAA, *hindcasting*, pemodelan transformasi gelombang menggunakan perangkat lunak delft3D dan interpretasi data tanah dari *boring log* dan hasil uji laboratorium untuk mendapatkan parameter desain pemecah gelombang. Kemudian, dimensi pemecah gelombang yang meliputi elevasi puncak, lebar mercu, berat unit setiap lapisan, tebal lapisan dan pelindung kaki ditentukan.

Kestabilan pemecah gelombang dianalisis terhadap keruntuhan geser menggunakan perangkat lunak PLAXIS dengan nilai faktor keamanan yang disarankan sebesar 2. Jika angka keamanan belum terpenuhi maka dirancang sistem perkuatan tanah dengan menggunakan matras dan cerucuk bambu. Meskipun perkuatan tanah mampu meningkatkan daya dukung tanah, namun penurunan tanah akibat pembebanan pemecah gelombang tetap terjadi. Sehingga, pada tugas akhir ini dihitung juga besar dan waktu penurunan tanah sampai lapisan tanah tidak lagi mengalami penurunan.

Kata kunci: Cerucuk, Matras, Desain, Pemecah Gelombang, Stabilitas

Abstract:

Indonesia is a maritime country with a long coastline of 99.093 kilometer (BIG, 2016). But some regions have problem with their coastlines, one of them is Balongan which has abrasion problem along their coastline. To overcome the problem, breakwaters were built serial along the affected area.

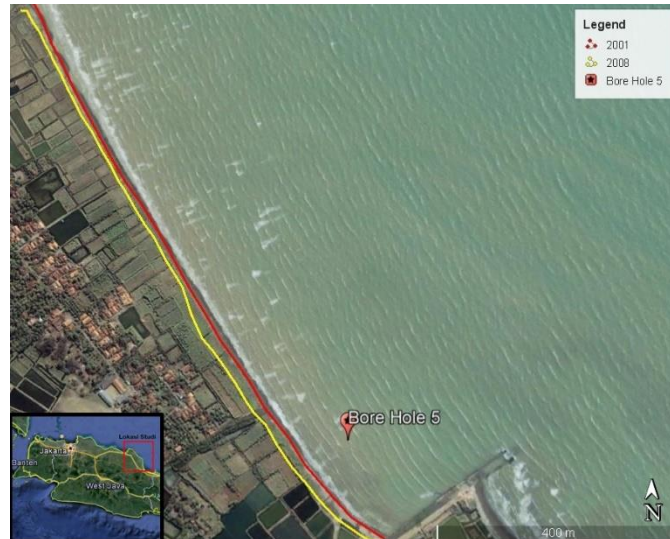
Breakwater is designed based on the recommendation from *Shore Protection Manual II* consisting of core and armor layer with toe protection. The process of design begins with environmental data processing including Dishidros's tidal data processing, NOAA's wind data processing, *hindcasting*, wave transformation modeling with delft3D and soil data interpretation from *boring log* and result of laboratory test to get design parameter. Then, breakwater dimension including crest elevation, crest width, core and armour unit weight, thickness of armor layer and toe protection is determined.

The stability of the breakwater is analyzed for shear failure using PLAXIS software with recommended safety factor value of 2. If the safety factor have not been fulfilled, soil reinforcement system is designed using pile mattress bamboo. Although the soil reinforcement can increase bearing capacity of soil, the soil settlement due to the breakwater loading still occurs. Thus, this final project also calculated the amount and time of soil settlement until the soil layer no longer decreased.

Key words: Breakwater, Design, Pile Mattress Bamboo, Stability

PENDAHULUAN

Daerah pesisir Balongan, Kabupaten Indramayu, Jawa Barat merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang mengalami abrasi di sepanjang garis pantainya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Garis merah pada gambar menunjukkan garis pantai Balongan pada tahun 2001 sedangkan garis kuning menunjukkan garis pantai Balongan pada tahun 2008.



Gambar 1. Pesisir Balongan yang mengalami abrasi (Google Earth, 2018)

Untuk mengatasi permasalahan abrasi tersebut maka dibangun pemecah gelombang bentuk T dan bentuk melengkung yang disusun seri di sepanjang daerah terdampak. Gambar 2 berikut ini menunjukkan susunan pemecah gelombang di pesisir Balongan.



Gambar 2. Pemecah gelombang di pesisir Balongan (Google Earth, 2018)

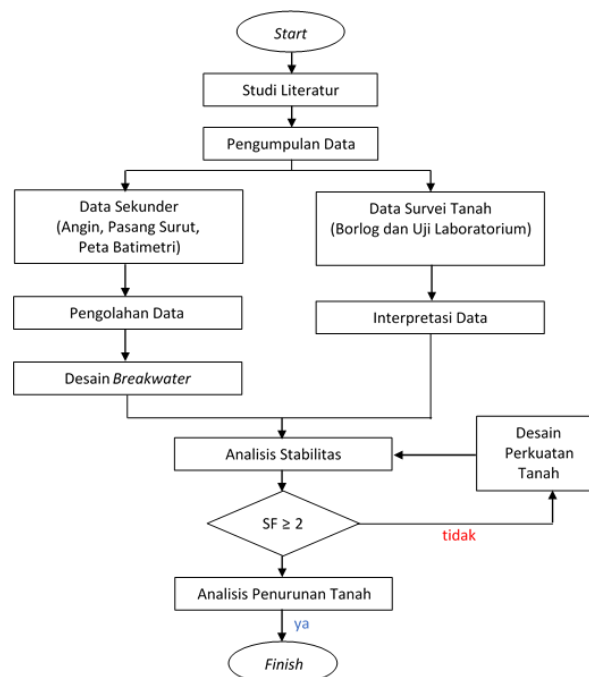
Tugas akhir ini akan membahas desain penampang pemecah gelombang dan analisis kestabilannya terhadap keruntuhan geser di titik *bore hole* 5 dengan *layout* pemecah gelombang yang dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Layout pemecah gelombang pantai Balongan (Google Earth, 2018)

TEORI DAN METODOLOGI

Metodologi penyusunan tugas akhir ini disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 4. Data yang diperlukan untuk pengerjaan tugas akhir ini antara lain data angin, data pasang surut, data batimetri serta data tanah hasil survei lapangan dan hasil uji laboratorium. Data lingkungan didapatkan dari *website* NOAA, GEBCO dan Dishidros untuk mendapatkan parameter desain pemecah gelombang, meliputi tinggi gelombang rencana dengan periode ulang 50 tahun, elevasi muka air rencana dan kedalaman perairan. Data tanah diinterpretasi untuk mendapatkan parameter tanah yang diperlukan dalam menganalisis kestabilan pemecah gelombang dan penurunan tanah yang terjadi. Proses iterasi terdapat pada tahap analisis stabilitas, di mana nilai *SF* (*safety factor*) hasil keluaran perangkat lunak harus ≤ 2 . Jika belum memenuhi maka didesain sistem perkuatan tanah dengan matras dan cerucuk bambu.



Gambar 4. Diagram alir metodologi

Literatur utama yang digunakan dalam desain dan analisis kestabilan pemecah gelombang ini adalah *Shore Protection Manual Volume II (1984)* dan *British Standard 6349-7:1991 Guide to The Design and Construction of Breakwaters*. Untuk aspek-aspek yang tidak dijelaskan secara detail pada literatur utama, digunakan literatur sebagai berikut :

- *Shore Protection Manual Volume I (1984)* untuk prosedur *hindcasting*.
- *Principles of Foundation Engineering 7th Edition (2011)* untuk pedoman utama dalam interpretasi tanah serta perhitungan besar dan lama penurunan tanah.
- *Teknik Fondasi 2 (2008)* untuk perhitungan daya dukung fondasi tiang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pasang surut diperoleh dari daftar pasang surut Dishidros TNI – AL untuk periode Juni 2016 di stasiun pengamatan terdekat dari lokasi studi yaitu stasiun pengamatan Cirebon. Peramalan pasang surut menggunakan bantuan program ERGTIDE, ERGRAM dan ERGELV.

Data angin yang digunakan untuk pengerjaan tugas akhir ini adalah data angin pada stasiun pengamatan terdekat dengan lokasi studi yaitu stasiun pengamatan angin Cirebon – Jatiwangi. Data angin diambil selama 10 tahun mulai dari Januari 2008 hingga Desember 2017 dengan interval pengambilan data selama 6 jam.

Mengingat data gelombang sulit untuk diperoleh dan mengetahui prinsip pembangkitan gelombang oleh angin, maka data gelombang dapat diperoleh dengan mengkonversi data angin (*hindcasting*). Gelombang desain yang disarankan dalam SPM 1984 untuk desain penampang pemecah gelombang adalah gelombang sepersepuluh ($H_{1/10}$, $T_{1/10}$) agar menghindari biaya perbaikan dengan biaya konstruksi yang tidak terlalu besar. Berdasarkan Goda (2000), tinggi gelombang signifikan ($H_{1/3}$) bernilai 1,27 kali tinggi gelombang sepersepuluh ($H_{1/10}$) sedangkan periode gelombang signifikan ($T_{1/3}$) bernilai 1,1 kali periode gelombang sepersepuluh ($T_{1/10}$). Untuk mengetahui gelombang kedalaman dan tinggi gelombang rencana pada lokasi studi, dilakukan pemodelan gelombang dengan periode ulang 50 tahun yang merambat menuju pantai. Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Delft 3D. Dari hasil pemodelan didapatkan parameter desain yang dirangkum pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter desain penampang pemecah gelombang

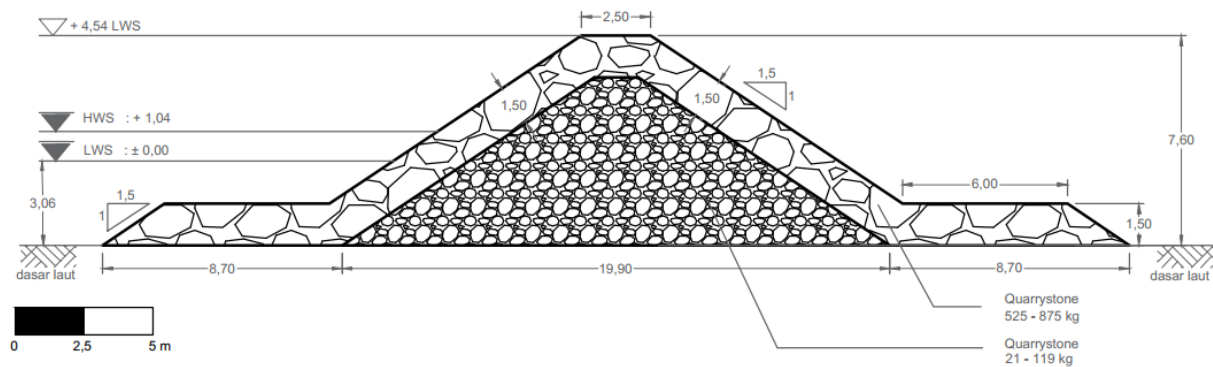
Parameter	Nilai (m)
$H_{1/10}$	1,8
L	30,15
d	4,10
Tunggang Pasut	1,04
Kondisi gelombang : TIDAK PECAH	

Pemecah gelombang didesain terdiri dari lapisan armor dan lapisan inti dengan tambahan pelindung kaki. Kemiringan sisi pemecah ditetapkan 1 : 1,5. Lapisan armor dan lapisan inti disusun oleh *quarystone rough angular*. Spesifikasi dari *quarystone* untuk perhitungan desain pemecah gelombang pada kondisi gelombang tidak pecah terangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Parameter desain *quarrystone*

Parameter	Nilai
$\cot \theta$	1,5
K_D trunk	4,0
K_D head	3,2
n	2
w_r	2,6 ton/m ³
k_Δ	1
P	37 %
w_w	1,025 ton/m ³

Elevasi puncak dihitung menggunakan nilai *freeboard* sebesar 0,5 meter. Berat unit pada lapisan armor berdasarkan SPM (1984) mempunyai rentang dari 75W sampai dengan 125W. Berat unit pada lapisan inti tanpa *underlayer* adalah 1/10 dari berat unit pada lapisan armor dengan rentang dari 30W sampai dengan 170W. Pelindung kaki yang dipilih adalah tipe *berm toe apron*. Sehingga, desain penampang pemecah gelombang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Gambar desain penampang pemecah gelombang

Untuk perhitungan stabilitas pemecah gelombang, parameter - parameter tanah pada Tabel 3 dimasukkan ke dalam perangkat lunak PLAXIS dengan *material model* Mohr-Coloumb dan *material type undrained* untuk *clay* atau *drained* untuk *sand*.

Tabel 3 Parameter tanah untuk masukan PLAXIS

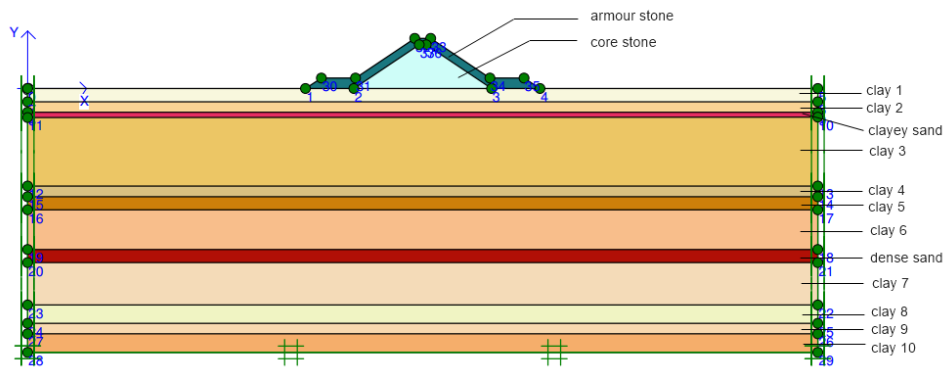
No	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	N	General Properties		Stiffness		Strength		
				γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E_{ref} (kN/m ²)	ν	c_{ref} (kN/m ²)	ϕ' (deg)	Ψ (deg)
1	Clay 1	0 - 2,5	0	12,2	14,2	1533	0,15	5,0	0	0
2	Clay 2	2,5 - 4,5	1	13,8	15,8	3200	0,20	10,0	0	0
3	Clayey Sand	4,5 - 5,5	1	16,9	17,2	5120	0,20	0,0	25	0
4	Clay 3	5,5 - 19	3	16,7	17	13333	0,25	20,0	0	0
5	Clay 4	19 - 21	4	19,3	19,7	13000	0,25	39,0	0	0
6	Clay 5	21 - 23	8	17,7	19,7	19413	0,30	56,0	0	0
7	Clay 6	23 - 31	16	16,2	19,6	36053	0,30	104,0	0	0
8	Dense Sand	31 - 33	49	11,4	13,4	36283	0,45	0,0	45	15
9	Clay 7	33 - 41	22	18,4	18,7	51480	0,35	143,0	0	0
10	Clay 8	41 - 45	24	17,7	19,7	56160	0,35	156,0	0	0
11	Clay 9	45 - 47	26	14,6	16,6	118800	0,35	165,0	0	0
12	Clay 10	47 - 50	26	18,2	20,2	59400	0,35	165,0	0	0

Batuan yang digunakan pada lapisan armor dan lapisan inti dimodelkan dengan *material model* Mohr-Coloumb dan *material type drained*. Tabel 4 berikut menunjukkan parameter material penyusun pemecah gelombang untuk input PLAXIS yaitu batu alam andesit.

Tabel 4 Parameter material untuk masukan PLAXIS

Layer	General Properties		Stiffness		Strength	
	$\gamma_{un\ sat}$	γ_{sat}	E_{ref}	v	c_{ref}	ϕ'
	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(KN/m ²)		(KN/m ²)	(deg)
Armour	20	20	650.000	0,2	100	45
Core	20	20	600.000	0,3	100	45

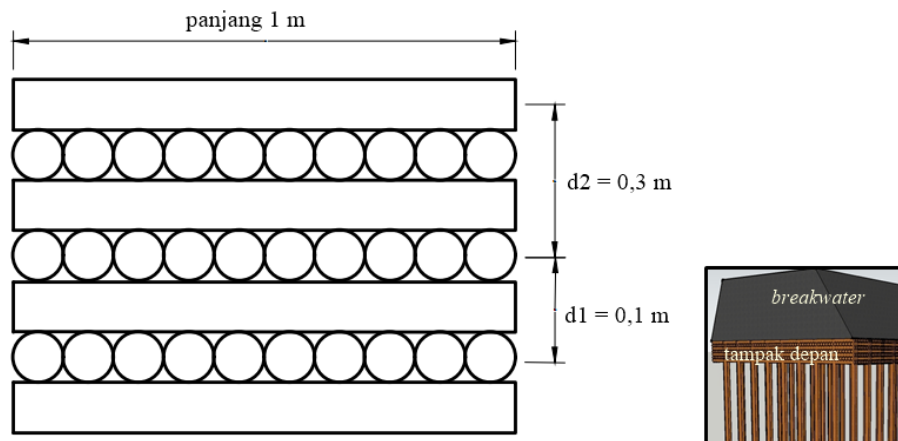
Dalam pengerjaan tugas akhir ini dipilih tipe model regangan bidang (*plane strain*) dengan jumlah elemen yang digunakan adalah 15 node agar lebih teliti. Satuan yang digunakan yaitu meter untuk panjang, kilo newton untuk gaya dan hari untuk waktu. Geometri awal lapisan tanah dan pemecah gelombang ditunjukkan pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6 Geometri pemodelan analisis stabilitas pemecah gelombang

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa lapisan tanah runtuh pada tahap pemasangan lapisan inti. Berdasarkan hasil pemodelan ini dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah memerlukan perkuatan tanah. Perkuatan tanah yang digunakan antara lain geotekstil, matras bambu dan cerucuk bambu. Geotekstil yang digunakan pada tugas akhir ini adalah keluaran DUX *geotextiles* jenis *non woven* seri 84c dengan nilai kekakuan aksial (EA) sebesar 960 kN. Geotekstil dimodelkan menggunakan fitur material *geogrid*. Bambu yang digunakan pada tugas akhir ini adalah bambu betung yang memiliki diameter 10 cm dan tebal 1 cm.

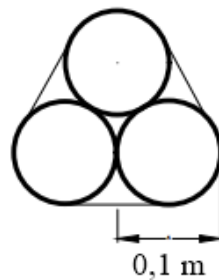
Dalam perhitungan matras bambu digunakan konfigurasi 7 lapis matras bambu dengan asumsi matras bambu efektif adalah satu lapisan pada satu arah dan jumlah bambu sebanyak 10 buah dalam setiap 1 meter panjang seperti yang diilustrasikan pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7 Konfigurasi matras bambu tampak depan

Matras bambu dimodelkan sebagai *beam* dengan menggunakan fitur elemen *plate*. Parameter yang dibutuhkan dalam pemodelan matras bambu menggunakan elemen *plate* antara lain kekakuan aksial (EA) dan kekakuan lendutan (EI). Diketahui modulus elastisitas (E) bambu adalah $9.000.000 \text{ kN/m}^2$ sehingga didapatkan kekakuan aksial bambu (EA) sebesar $1.008.000 \text{ kN}$ dan kekakuan lendutan bambu (EI) sebesar 25.200 kNm^2 .

Cerucuk bambu yang digunakan terdiri dari 3 buah bambu petung dengan diameter 0,1 meter dan panjang 10 meter per bambu seperti yang diilustrasikan pada Gambar 8 berikut ini.



Gambar 8 Konfigurasi cerucuk bambu tampak atas

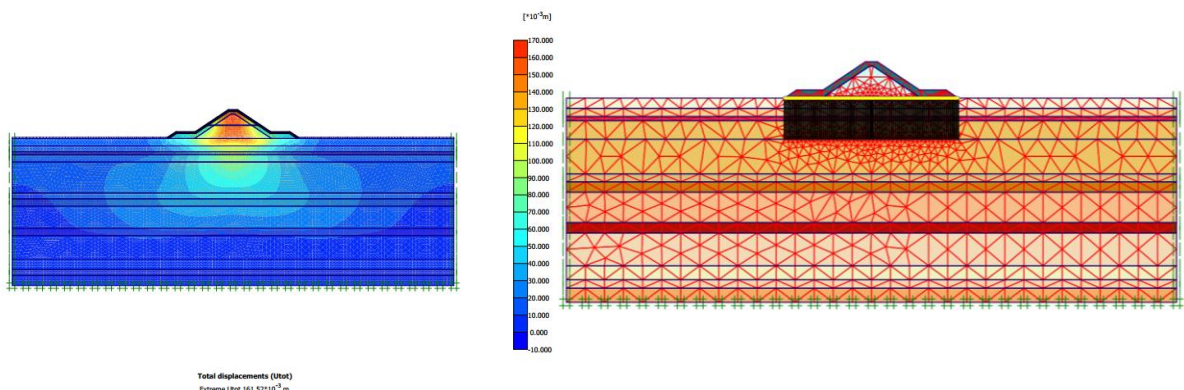
Cerucuk bambu dimodelkan sebagai elemen *node to node anchor* dimana artinya cerucuk bambu dianggap berperilaku sebagai pegas. Parameter yang dibutuhkan dalam pemodelan matras bambu menggunakan elemen *plate* antara lain kekakuan aksial (EA). Gaya maksimum yang bekerja pada pegas diperoleh dengan menghitung kapasitas dukung ultimit tiang fondasi dalam tunggal dan memperhitungkan angka keamanan sebesar 2,5 untuk klasifikasi struktur permanen dengan tingkat kontrol normal. Dengan asumsi setiap satu batang bambu mengalami perpindahan (δ) = $0,1 D$ sehingga diperoleh sebesar $9.765,36 \text{ kN}$.

Perkuatan tanah telah dicoba dengan beberapa konfigurasi yang terangkum dalam Tabel 5 berikut beserta dengan angka aman yang dihasilkannya.

Tabel 5 Rangkuman hasil pemodelan perkuatan tanah

Bentuk Perkuatan Tanah	Angka Aman	Keterangan
Geotekstil dan matras bambu 7 lapis	< 1	<i>soil body seems to collapses</i> pada tahap penyusunan lapisan armor
Geotekstil, matras bambu 7 lapis dan cerucuk bambu dengan panjang 8 meter dan jarak antar klaster 1 meter	1,5	Tidak runtuh namun belum memenuhi angka aman yang direkomendasikan oleh SPM
Geotekstil, matras bambu 7 lapis dan cerucuk bambu dengan panjang 8 meter dan jarak antar klaster 0,5 meter	1,8	Tidak runtuh namun belum memenuhi angka aman yang direkomendasikan oleh SPM
Geotekstil, matras bambu 7 lapis dan cerucuk bambu dengan panjang 10 meter dan jarak antar klaster 0,5 meter	2,1	Memenuhi angka aman yang direkomendasikan oleh SPM

Berdasarkan tabel diatas terpilih perkuatan tanah dengan kombinasi geotekstil, matras bambu 7 lapis dan cerucuk bambu dengan panjang 10 meter dan jarak antar klaster 0,5 meter karena telah memenuhi kriteria desain dari SPM. Hasil pemodelan pada PLAXIS ditunjukkan pada Gambar 9 dengan total deformasi elastis maksimum pada tanah sebesar 0,16 meter dan angka aman sebesar 2,1.



Gambar 9 *Displacement* dan *mesh* dengan perkuatan cerucuk matras bambu (SF = 2,1)

Meskipun perkuatan tanah dengan matras cerucuk bambu mampu meningkatkan daya dukung tanah, namun penurunan tanah akibat pembebanan tetap terjadi. Tabel 6 berikut ini merangkum hasil perhitungan konsolidasi terhadap beban pemecah gelombang.

Tabel 6 Rangkuman hasil perhitungan konsolidasi

No	Kedalaman (m)			H (m)	z (m)	Deskripsi Tanah	σ'_o (kN/m ²)	e_o	C_c	$\frac{B_1}{z}$	$\frac{B_2}{z}$	I'	$\Delta\sigma'$ (kN/m ²)	Se (m)
1	0	-	2,5	2,5	2,5	Clay 1	10,5	1,14	0,59	0,5	6,96	0,48	116,54	0,75
2	2,5	-	4,5	2	4,5	Clay 2	22,1	1,14	0,59	0,28	3,87	0,43	104,40	0,42
3	4,5	-	5,5	1	5,5	Clayey Sand	29,3	1,81	0,92	0,23	3,16	0,43	104,40	0
4	5,5	-	18,5	13	18,5	Clay 3	120,3	1,6	0,79	0,07	0,94	0,22	53,42	0,63
5	18,5	-	20,5	2	20,5	Clay 4	139,7	1,01	0,53	0,06	0,85	0,21	50,99	0,07
6	20,5	-	23	2,5	23,0	Clay 5	163,95	1,45	0,47	0,05	0,76	0,20	48,56	0,05
7	23	-	30,5	7,5	30,5	Clay 6	235,95	1,51	0,35	0,04	0,57	0,14	33,99	0,06
8	30,5	-	33	2,5	33,0	Dense Sand	244,45	0,85	0,14	0,04	0,53	0,14	33,99	0
9	33	-	41	8	41,0	Clay 7	314,05	1,09	0,29	0,03	0,42	0,10	24,28	0,04
10	41	-	44,5	3,5	44,5	Clay 8	348	1,25	0,21	0,03	0,39	0,10	24,28	0,01
11	44,5	-	46,5	2	46,5	Clay 9	361,2	1,23	0	0,03	0,37	0,10	24,28	0
12	46,5	-	50	3,5	50,0	Clay 10	396,9	1,34	0,22	0,03	0,35	0,10	24,28	0,01
Total Konsolidasi (m)														2,04

Berdasarkan hasil perhitungan diatas didapatkan besar penurunan tanah akibat beban *breakwater* adalah sebesar 2,04 meter. Sehingga penurunan tanah total akibat pembebanan dan deformasi elastis adalah sebesar 2,2 meter.

Dalam perhitungan waktu konsolidasi semua lapisan tanah dianggap menjadi satu lapisan. Pada tugas akhir ini lapisan tanah untuk perhitungan konsolidasi terbagi menjadi 3 lapisan karena terdapat 2 lapisan tanah pasir di antara lapisan tanah lempung. Tabel 7 berikut ini merangkum hasil perhitungan lama waktu konsolidasi pada setiap lapisan tanah.

Tabel 7 Hasil perhitungan waktu konsolidasi setiap lapisan tanah

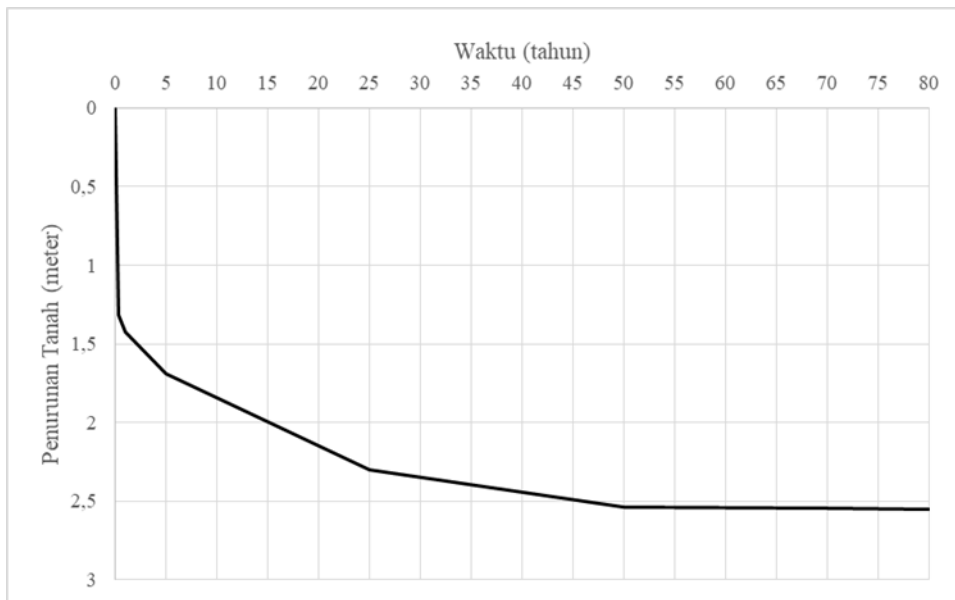
No	Lapisan	Tebal Lapisan (cm)	C_v (cm ² /s)	H_{ek} (cm)	H_{dr} (cm)	C_v (cm ² /s)	T_v		t (detik)		t (tahun)	
							50%	90%	50%	90%	50%	90%
1	Clay 1	250	0,006	250	225	0,006	0,2	0,85	1.687.500	7.171.875	0,05	0,23
	Clay 2	200	0,006	200								
	Clayey Sand	100	0,006	100	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Clay 3	1300	0,001	1300	1184	0,001	0,2	0,85	280.418.101	1.191.776.927	8,89	37,79
	Clay 4	200	0,002	141								
	Clay 5	250	0,002	177								
	Clay 6	750	0,001	750								
	Dense Sand	250	0,001	250	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Clay 7	800	0,001	800	1468	0,001	0,2	0,85	430.736.285	1.830.629.210	13,66	58,05
	Clay 8	350	0,001	350								
	Clay 9	200	0,003	115								
	Clay 10	350	0,003	202								

Dari hasil perhitungan waktu konsolidasi diatas dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah 3 memiliki waktu konsolidasi terlama yaitu 58,05 tahun untuk derajat konsolidasi (U) = 90%. Berdasarkan hasil perhitungan waktu konsolidasi pada setiap lapisan tanah didapatkan grafik derajat konsolidasi terhadap lama waktu konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10 Grafik penurunan tanah terhadap waktu di setiap lapisan tanah

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa lapisan tanah 1 telah mengalami penurunan tanah total selama kurang dari 1 tahun sebesar 1,17 meter. Sedangkan lapisan tanah 2 memerlukan waktu sekitar 50 tahun untuk mengalami penurunan tanah sebesar 0,81 meter. Lapisan tanah 3 membutuhkan waktu terlama untuk mencapai penurunan tanah total sebesar 0,06 meter. Dari hasil analisis penurunan tanah ini dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah pada lokasi pembangunan pemecah gelombang akan stabil setelah tahun ke-25 dimana lapisan tanah telah mengalami 90% penurunan tanah total. Grafik penurunan tanah total ditunjukkan pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11 Grafik penurunan tanah total terhadap waktu

KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun kesimpulan dari pengerjaan tugas akhir ini berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Penampang pemecah gelombang didesain terdiri dari 2 lapisan yaitu lapisan armor dan lapisan inti ditambah dengan pelindung kaki. Dimensi penampang pemecah gelombang adalah sebagai berikut
 - Elevasi puncak pemecah gelombang : + 4,54 meter dari elevasi HWS
 - Tinggi pemecah gelombang : 7,6 meter
 - Lebar mercu : 2,5 meter
 - Berat unit lapisan armor : 525 – 875 kilogram
 - Berat unit lapisan inti : 21 – 119 kilogram
 - Tebal lapisan armor : 1,5 meter
 - Panjang pelindung kaki : 6 meter
 - Tebal pelindung kaki : 1,5 meter
2. Berdasarkan hasil pemodelan lapisan tanah di dasar struktur pemecah gelombang tidak stabil karena mengalami keruntuhan sehingga diperlukan desain perkuatan tanah untuk menambah daya dukung tanah agar stabil dalam menanggung beban pemecah gelombang.
3. Jenis perkuatan tanah yang diterapkan adalah matras dan cerucuk bambu yang terdiri dari 7 lapisan matras bambu dan cerucuk yang terdiri dari 3 bambu dengan panjang 10 meter pada setiap klaster dan jarak pemasangan antar klaster sebesar 0,5 meter (dari titik pusat klaster bambu) yang mampu meningkatkan daya dukung tanah dengan angka aman sebesar 2,1 yang memenuhi kriteria desain. Deformasi elastis yang didapatkan dari pemodelan adalah sebesar 0,16 meter.
4. Melalui perhitungan diperoleh penurunan tanah yang terjadi sebesar 2,04 meter yang 90% terjadi selama 25 tahun selama 80 tahun.

Adapun saran yang diberikan antara lain :

1. Dibutuhkan data lingkungan yang berada tepat pada lokasi pemecah gelombang rencana, sehingga hasil pengolahan data lingkungan dan hasil analisis yang didapatkan lebih akurat.
2. Pengaruh jumlah cerucuk bambu dalam satu klaster perlu penelitian lebih lanjut.
3. Menimbang waktu konsolidasi yang cukup lama maka dapat diaplikasikan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) yang dikombinasikan dengan cerucuk bambu untuk mempercepat waktu konsolidasi pada lapisan tanah dengan mempersingkat jalur drainase lapisan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- British Standard Institute. 1991. *British Standard 6349-7:1991 Guide to The Design and Construction of Breakwaters*.
- Coastal Engineering Research Center. 1984. *Shore Protection Manual Volume I*. Washington D. C. : US Government Printing Office.
- Coastal Engineering Research Center. 1984. *Shore Protection Manual Volume II*. Washington D. C. : US Government Printing Office.
- Das, Braja. 2011. *Principles of Foundation Engineering 7th Edition*. Stamford : Cengage Learning.
- Goda, Y. 2000. *Random Seas and Design of Maritime Structure 2nd Edition*. Singapore : World Scientific Publishing Co, Pte, Ltd.

- Hardiyatmo, Hari. 2008. *Teknik Fondasi 2*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Irsyam, Masyur dan Krisnanto, Sugeng. 2008. *Pengujian Skala Penuh dan Analisis Perkuatan Cerucuk Matras Bambu untuk Timbunan Badan Jalan di Atas Tanah Lunak di Lokasi Tambak Oso, Surabaya*. Forum Teknik Sipil No.XXVIII/1-Januari 2008.
- K., Sorensen dan Okkels N. 2013. *Correlation Between Drained Shear Strength and Plasticity Index of Undisturbed Overconsolidated Clays*. Paris : 18th Convergence on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Sandyutama, Y., dkk. 2015. *Study of Soft Soil Reinforcement Using Hybrid Pile-PVD*. Asian Research Publishing Network (ARPN) Journal of Engineering and Applied Sciences Volume 10, Number 8, May 2015.
- Sutardi, Sri R., dkk. 2015. *Seri Paket Iptek Informasi Sifat Dasar dan Kemungkinan Penggunaan 10 Jenis Bambu*. Bogor : IPB Press.
- Widodo, Bambang. 2015. *Influence of Bamboo Pile in The Pile Mattress Bamboo Construction Systems as Reinforcement of Soft Subgrade That Support Embankment Load*. *Proceedings of Narotama International Conference on Civil Engineering 2015* ISBN : 978-602-72437-2-9.