

STUDI PERENCANAAN TEMBOK LAUT (*SEAWALL*) DI PANTAI BOBOLIO KABUPATEN KONAWA KEPULAUAN PROVINSI SULAWESI TENGGARA

Aji Prakoso Nimanto¹, Heri Suprijanto², Andre Primantyo Hendrawan²

¹Mahasiswa Program Sarjana Teknik Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya

²Dosen Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Teknik Pengairan Universitas Brawijaya-Malang, Jawa Timur, Indonesia

Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia

e-mail: ajiprakosonimanto@gmail.com

ABSTRAK: Pantai Bobolio mengalami perubahan morfologi pantai akibat erosi yang terjadi dari besarnya terjangan gelombang laut sehingga mengakibatkan kemunduran garis pantai. Kerusakan pemukiman penduduk, fasilitas umum serta bangunan lainnya yang disebabkan oleh kemunduran garis pantai dapat diminimalkan dengan membangun tembok laut. Perencanaan tembok laut mula-mula dilakukan dengan menganalisis gelombang datang dengan kala ulang 25 tahun yang bertujuan untuk memperoleh dimensi tembok laut. Setelah didapatkan dimensi, akan dihitung stabilitas bangunan terhadap kelongsoran rotasi dan daya dukung tanah. Pondasi tiang pancang yang direncanakan menggunakan 3 alternatif berupa kayu bakau, kayu gelam dan bambu. Hasil perencanaan ini diperoleh gelombang dominan dari arah Tenggara dengan tinggi gelombang signifikan sebesar 1,50 m untuk kala ulang 25 tahun. Tembok laut terletak pada elevasi 0,0 m dengan tinggi puncak pada elevasi + 5,10 m, panjang 1315 m sepanjang garis pantai, berat batu pelindung terluar sebesar 2,11 ton dengan diameter 1,16 m. Analisis stabilitas lereng terhadap kelongsoran rotasi menggunakan bantuan *software* Geostudio Geoslope dengan metode Fellenius, Bishop dan Janbu dapat dikatakan aman. Pondasi tiang pancang direncanakan sedalam 20 m dengan diameter tiang pancang sebesar 0.2 m. Total rencana anggaran biaya (RAB) alternatif I dengan material pondasi tiang pancang menggunakan dolken kayu bakau sebesar Rp 62.448.965.000,00, alternatif II dengan material pondasi tiang pancang menggunakan dolken kayu gelam sebesar Rp 60.381.849.000,00 dan alternatif III dimana material pondasi tiang pancang menggunakan cerucuk bambu sebesar Rp 63.381.400.000,00.

Kata kunci: tembok laut, kelongsoran rotasi, geostudio geoslope, pondasi tiang

ABSTRACT: *The coastal morphology of Bobolio Beach has been changed due to erosion from wave movement. The damages of the settlements, public facilities and other buildings caused by the changes of coastline can be minimized by a seawall construction. The designing of seawall was first performed by analyzing the coming wave with a 25-year of return period to obtain the dimension. After the dimension is obtained, the stability of structure against the rotational slide and the bearing capacity of the soil can be evaluated. Three alternatives of pile foundation materials were used: mangrove wood, gelam wood and bamboo. From this study, it is observed that the dominant waves came from southeast with a significant wave height of 1.50 m for a 25-year of return period. As a final design, the height of seawall is 5.10 m with a length of 1315 m along the coastline. The weight of the outer protective rock is 2.11 tonnes with a diameter of 1.16 m. From the analysis of slope stability using Geostudio Geoslope software with Fellenius, Bishop and Janbu method indicates that this structure was safe against rotational slide. The depth of pile foundation is 20 m with a diameter of 0.2 m. The estimation of total cost with pile foundation using mangrove wood (alternative I) is Rp 62.448.965.000. As for alternative II using gelam wood and alternative III which bamboo piles was used, the estimations of total cost were calculated as Rp 60.381.849.000 and Rp 63,381,400,000, respectively.*

Keyword: seawall, rotational slide, geostudio geoslope, pile foundation

PENDAHULUAN

Kabupaten Konawe Kepulauan merupakan kabupaten yang dikelilingi oleh pesisir pantai yang memiliki permasalahan berupa kemunduran garis pantai.

Besarnya erosi yang di sebabkan oleh adanya energi dari gelombang yang kuat dapat merubah garis pantai terhadap kedudukan semula yang akhirnya dapat merubah luasan dari pada daerah pantai tersebut. Hal ini didukung juga dengan

tidak di jumpainya tanaman bakau dan adanya pengambilan pasir dan batu karang di lokasi.

Kemunduran garis pantai yang terjadi di lokasi studi menjadi sebuah permasalahan karena hal tersebut dapat menyebabkan berbagai kerusakan pada infrastruktur yang berada di dekat pantai.

Sehingga sebagai daerah otonomi baru berkembang yang di kelilingi pantai dengan tingkat erosi yang cukup besar, maka sangat strategis apabila dilakukan pembangunan infrastruktur pantai yang mampu menahan kemunduran garis pantai seperti pemecah gelombang (*breakwater*), groin, tembok laut (*seawall*) dan *revetment*.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Studi

Pantai Bobolio terletak di desa Bobolio Kecamatan Wawonii Selatan sekitar 133 km ke arah Timur dari Kota Unaaha dan 61 km ke arah Timur dari Ibukota Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara geografis terletak antara 4°11.803" Lintang Selatan dan 122°59.590" Bujur Timur.



Gambar 1. Peta Lokasi Studi

Data yang Diperlukan

Data-data yang diperlukan dalam perencanaan tembok laut (*seawall*) adalah sebagai berikut:

1. Peta lokasi studi
2. Data arah dan kecepatan angin
3. Peta bathimetri
4. Pasang surut muka air laut
5. Data mekanika tanah

Langkah-Langkah Studi

Adapun langkah-langkah pengerjaan studi ini adalah sebagai berikut:

1. Mengoreksi data angin
2. Menganalisis panjang *fetch* efektif berdasarkan peta lokasi studi.
3. Pembangkitan gelombang berdasarkan data angin dan panjang *fetch*.
4. Analisis mawar gelombang
5. Menganalisis tinggi gelombang rencana sesuai kala ulang.
6. Menganalisis parameter - parameter gelombang.
7. Menganalisis terjadinya deformasi gelombang yang meliputi refraksi, pendangkalan dan gelombang pecah sehingga diperoleh tinggi gelombang datang.
8. Penentuan jenis dan dimensi bangunan tembok laut (*seawall*)
9. Analisis stabilitas berupa kelongsoran rotasi dan daya dukung tanah
10. Perencanaan jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan lokasi.
11. Menghitung rencana anggaran biaya (RAB)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembangkitan Gelombang

Dalam pembangkitan gelombang digunakan data angin karena kurangnya pencatatan data gelombang di Indonesia. Data angin yang digunakan harus dilakukan koreksi terlebih dahulu terhadap lokasi, pengaruh suhu di darat dan di laut, serta terhadap faktor elevasi

Dari peta lokasi studi dapat dihitung panjang *fetch* efektif dengan interval penalbahan sebesar 2,5° sampai sudut sebesar 22,5° searah jarum jam dan 22,5° berlawanan arah jarum jam (Kementrian PU, 2010:5-4-2).

Panjang *fetch* efektif untuk beberapa arah penjuru angin sebagai berikut:

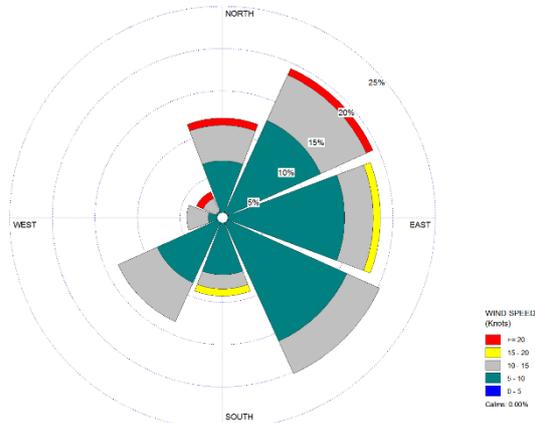
- Selatan = 22,827 km
- Barat Daya = 28,887 km
- Tenggara = 178,960 km

Dengan analisis menggunakan data angin dan panjang *fetch* diperoleh ketinggian gelombang tiap arah mata

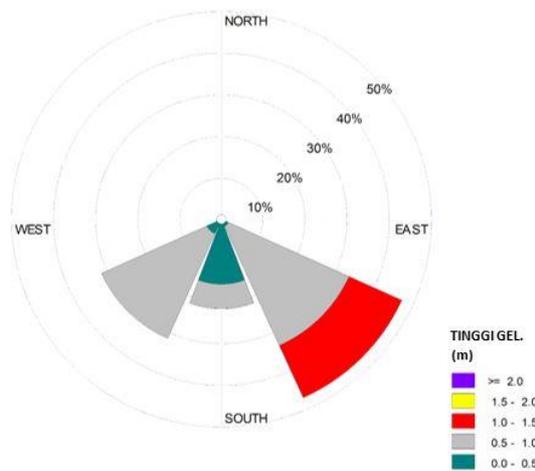
angin seperti di tampilan pada gambar 2. dengan ketinggian gelombang signifikan paling maksimum sebesar $H = 1,20$ m dari arah Tenggara.

Analisis Gelombang Rencana

Penentuan tinggi gelombang untuk perencanaan menggunakan dua metode



Gambar 2. Mawar angin maksimum bulanan tahun 2007-2016



Gambar 3. Mawar gelombang tahun 2007-2016

Tabel 1. Rekapitulasi perhitungan tinggi gelombang metode Fisher-Tippet 1

Kala Ulang Tahun	Hs Tenggara m	Hs Selatan m	Hs Barat Daya m
2	0.936	0.500	0.638
5	1.163	0.593	0.694
10	1.314	0.654	0.731
25	1.505	0.732	0.777
50	1.647	0.789	0.812
100	1.787	0.846	0.846

distribusi yaitu distribusi Fisher-Tippet Tipe I dan distribusi Weibull (Triatmodjo, 2008:140). Pendekatan yang dilakukan dengan mencoba dua metode tersebut untuk data yang tersedia dan kemudian dipilih yang memberikan hasil terbaik.

Dari kedua metode tersebut diperoleh kesalahan absolut rerata (KAR) untuk metode Fisher-Tippet Tipe I sebesar 12,65% dan untuk metode Weibull sebesar 19,03%. Sehingga untuk perhitungan tinggi gelombang rencana untuk tiap arah mata angin menggunakan metode Fisher-Tippet Tipe I dengan hasil sebagai berikut:

Analisis Deformasi Gelombang

Untuk analisis deformasi gelombang yang meliputi refraksi dan pendangkalan digunakan metode orthogonal yang dikemukakan oleh Arthur (1952) yang dikenal dengan "Snell's Law".

Dengan perhitungan menggunakan H_s dari arah Tenggara sebesar 1,50 m diperoleh besarnya gelombang datang sebesar 2,267 m seperti yang disajikan pada tabel 2.

Elavasi Muka Air Laut Rencana

$$H_b = 2,74 \text{ m}$$

$$S_w = \text{wave setup}$$

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b$$

$$= 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{2,74}{9,81 \times (6,456)^2}} \right] 2,74$$

$$= 0,40 \text{ m}$$

$$HHWL = 1,448 \text{ m}$$

Dari grafik perkiraan keniakan muka air laut akibat pemanasan global diperoleh:

$$SLR = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$DWL = HHWL + S_w + SLR$$

$$= 1,448 + 0,40 + 0,25$$

$$= 2,10 \text{ m}$$

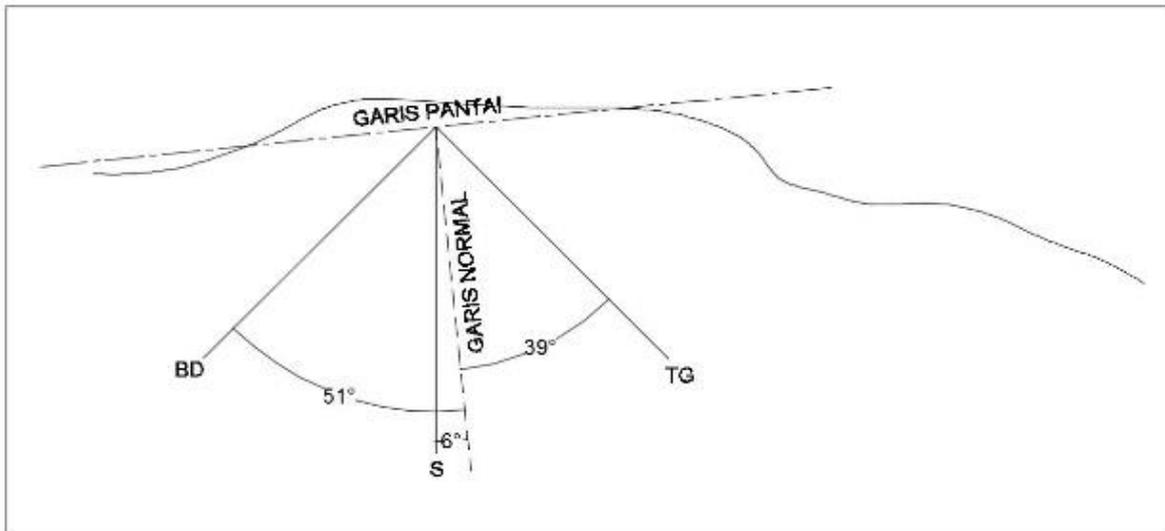
Dimensi Bangunan Seawall

$$H = 2,267 \text{ m}$$

$$L_o = 65,097 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan konstruksi} = 1:2$$

Dari grafik runup gelombang (Triatmodjo, 1999:269) untuk batu pecah dengan nilai



Gambar 4. Sketsa sudut datang puncak gelombang di pantai Bobolio

Tabel 2. Perhitungan refraksi dan pendangkalan gelombang arah Tenggara

d	d/L ₀	d/L	L	T	C	C1	Sin α	α	K _r	n0	n	K _s	H
32.549	0.500	0.502	64.860	6.460	10.077	10.041	0.629	39.000	-	-	-	-	1.505
30.000	0.461	0.464	64.694	6.454	10.041	10.023	0.628	38.920	0.999	0.518	0.517	1.002	1.507
25.000	0.384	0.390	64.140	6.456	10.023	9.935	0.624	38.594	0.998	0.539	0.536	1.006	1.513
20.000	0.307	0.318	62.806	6.458	9.935	9.725	0.616	38.026	0.996	0.581	0.573	1.018	1.534
15.000	0.230	0.251	59.854	6.462	9.725	9.263	0.599	36.826	0.992	0.660	0.635	1.044	1.589
10.000	0.154	0.187	53.579	6.448	9.263	8.309	0.565	34.371	0.985	0.786	0.727	1.099	1.720
9.000	0.138	0.173	51.939	6.462	8.309	8.037	0.609	37.498	1.020	0.815	0.750	1.059	1.858
8.000	0.123	0.161	49.791	6.453	8.037	7.715	0.604	37.165	0.998	0.845	0.773	1.068	1.981
7.000	0.108	0.148	47.329	6.442	7.715	7.347	0.599	36.816	0.998	0.875	0.797	1.075	2.124
6.510	0.100	0.141	46.175	6.456	7.347	7.152	0.613	37.779	1.006	0.889	0.810	1.061	2.267

$$I_r = \frac{tg \theta}{(H/L_0)^{0.5}}$$

$$= \frac{(1/2)}{(2,267/65,097)^{0.5}}$$

$$= 2,68$$

Ir = 2,68 di peroleh nilai Ru/H = 1,1 sehingga:

$$R_u/H = 1,10$$

$$= 1,10 \times 2,267$$

$$= 2,494$$

$$\text{El. Puncak} = \text{DWL} + R_u + \text{tinggi jagaan}$$

$$= 2,10 + 2,494 + 0,5$$

$$= 5,093 \text{ m} \approx 5,1 \text{ m}$$

Unit Lapisan Penyusun

$$W_r = 2,60 \text{ t/m}^3$$

$$W_w = 1,027 \text{ t/m}^3$$

$$K_d = 2,0 \text{ (Tabel 2.5)}$$

$$\text{Cot } \theta = 2 \text{ (Tabel 2.5)}$$

$$S_r = \frac{W_r}{W_w}$$

$$= \frac{2,60}{1,027} = 2,53$$

H = 2,267 m (Tinggi gelombang datang H_i)

$$W = \frac{W_r H^3}{K_d (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

$$= \frac{2,60 \times 2,267^3}{2(2,53 - 1)^3 \cdot 2}$$

$$= 2,1081 \text{ ton} \approx 2108,1 \text{ kg}$$

Lebar puncak seawall dengan jenis batu alam kasar dicari dengan perhitungan sebagai berikut:

$$n = 3 \text{ (Tabel 2.6)}$$

$$k_\Delta = 1,15 \text{ (Tabel 2.6)}$$

$$W_r = 2,60 \text{ t/m}^3$$

$$W = 2,11 \text{ ton}$$

$$B = nk_{\Delta} \left(\frac{W}{W_r} \right)^{1/3}$$

$$= 3 \times 1,15 \times \left(\frac{2,11}{2,60} \right)^{1/3}$$

$$= 3,22 \text{ m} \approx 3,20$$

Tebal lapisan pelindung puncak seawall dihitung sebagai berikut:

$$n = 2$$

$$k_{\Delta} = 1,15$$

$$t = nk_{\Delta} \left(\frac{W}{W_r} \right)^{1/3}$$

$$= 2 \times 1,15 \times \left(\frac{2,11}{2,65} \right)^{1/3}$$

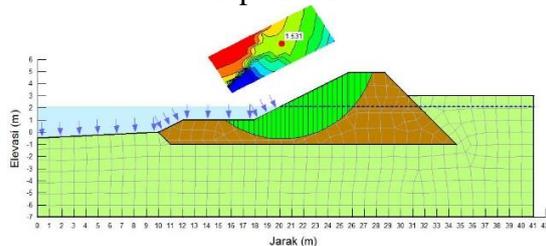
$$= 2,14 \approx 2,00 \text{ m}$$

Tabel 3. Perhitungan diameter batu untuk setiap jenis batu

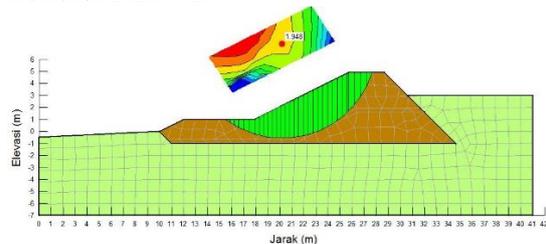
Jenis Batu	Berat Batu	V m ³	r m	D m
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
W	2,1081	0,81079	0,578	1,16
W/10	0,2108	0,08108	0,268	0,54
W/200	0,0105	0,00405	0,098	0,20
W/1000	0,0021	0,00082	0,058	0,12
Pel. kaki	0,4870	0,18732	0,355	0,71

Stabilitas Terhadap Kelongsoran Rotasi

Perhitungan stabilitas terhadap kelongsoran rotasi pada struktur bangunan seawall menggunakan bantuan program Geostudio Geoslope 2012.



Gambar 5. Gambar irisan bidang longsor kondisi HHWL



Gambar 6. Gambar irisan bidang longsor kondisi Surut

Tabel 4. Rekapitulasi hasil analisa terhadap kelongsoran rotasi tanpa gempa dengan software Geostudio 2012 slope/w

Metode	Kondisi Surut	Kondisi HHWL	Ket.
Bishop	2,999	2,484	aman
Janbu	2,533	2,113	aman
Ordinary	2,519	2,068	aman

Tabel 5. Rekapitulasi hasil analisa terhadap kelongsoran rotasi dengan gempa menggunakan software Geostudio Geostudio 2012 slope/w

Metode	Kondisi Surut	Kondisi HHWL	Ket
Bishop	1,948	1,531	aman
Janbu	1,595	1,259	aman
Ordinary	1,524	1,241	aman

Gaya Gelombang Telah Pecah

Kerana bangunan tembok laut di bangun pada elevasi 0,0 maka gaya yang dianalisis adalah gaya gelombang telah pecah yang terbentuk dari arah Tenggara.

Dengan memperhatikan sudut datang gelombang, jenis material dan kemiringan struktur tembok laut diperoleh gaya gelombang telah pecah sebesar 9,47 ton dengan momen sebesar 13,83 tm.

Stabilita Terhadap Daya Dukung Tanah

$$\text{Uplift} = 51,73 \text{ ton/m}$$

$$\text{Berat bangunan} = 231,33 \text{ ton/m}$$

$$R_v = \text{Berat Bangunan} - \text{Uplift}$$

$$= 231,33 - 51,73$$

$$= 197,59 \text{ ton/m}$$

$$c = 0,005 \text{ kg/cm}^2 = 0,05 \text{ ton/m}^2$$

$$\gamma = 1,55 \text{ ton/m}^3$$

$$D = 1,00 \text{ m}$$

$$B = 24 \text{ m}$$

$$\phi = 23,27^\circ$$

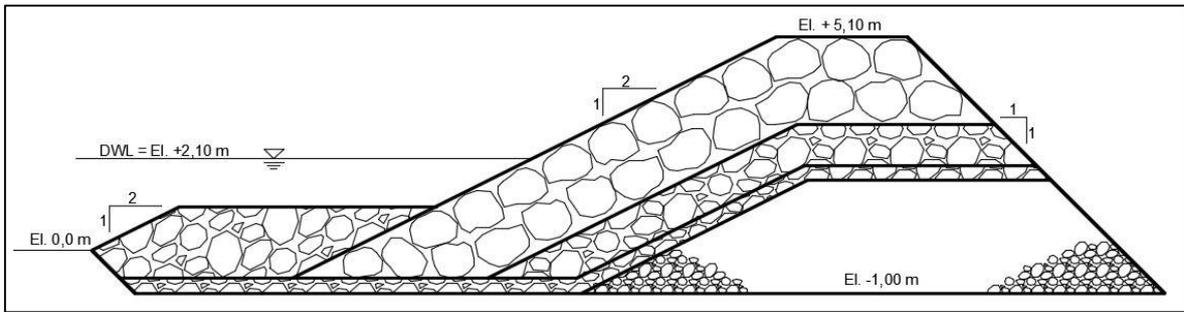
Dengan nilai $\phi = 23,27^\circ$ diperoleh nilai N_c , N_q , N_γ dari tabel 2.7. sebagai berikut:

$$N_c = 22,54$$

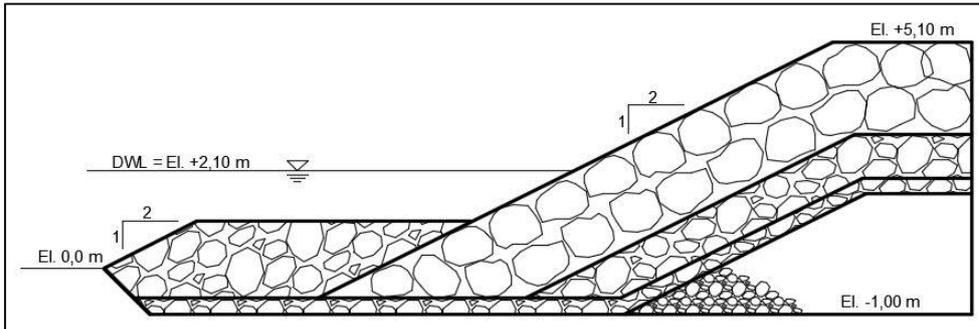
$$N_q = 10,87$$

$$N_\gamma = 8,07$$

Sehingga dengan nilai parameter tersebut dapat dihitung besarnya daya



Gambar 7. Penampang melintang bangunan seawall profil 1



Gambar 8. Penampang melintang bangunan seawall profil 2

dukung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_l &= c \cdot N_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma \cdot D \cdot N_q \\
 &= 0,05 \times 22,54 + 0,5 \times 1,55 \times 24 \\
 &\quad \times 8,07 + 1,55 \times 1,00 \times 10,87 \\
 &= 168,14 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= q_l \times B \\
 &= 168,14 \times 1,00 \\
 &= 168,14 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan angka faktor keamanan (SF) sebesar 3 maka diperoleh kapasitas dukung tiang ijin:

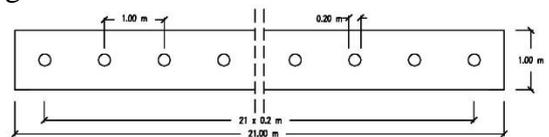
$$\begin{aligned}
 Q_{ijin} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\
 &= \frac{168,14}{3} \\
 &= 56,05 \text{ ton/m}
 \end{aligned}$$

Karena beban struktur lebih besar dari pada daya dukung tanah di lokasi yaitu $179,59 \text{ ton/m} > 56,05 \text{ ton/m}$ maka stabilitas struktur terhadap daya dukung tidak aman.

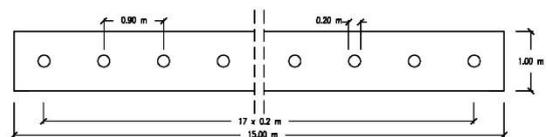
Perhitungan Pondasi Tiang Pancang

Dari hasil perhitungan daya dukung tanah diketahui bahwa tanah dibawah struktur tidak mampu menahan beban struktur itu sendiri. Serta dalam

perhitungan nilai keseragaman butiran tanah pada pantai Bobolio di peroleh nilai C_u sebesar 1,9 dan C_c sebesar 0,8 dimana pada tanah granuler atau non kohesif, keseragaman butiran untuk perhitungan pondasi dianggap baik apabila nilai $C_u > 10$ dan $1 < C_c < 3$ (perhitungan disertakan pada lampiran). Sehingga perlu direncanakan pondasi tiang pancang agar dapat menahan beban struktur dan mengatasi bahaya yang ditimbulkan oleh likuifaksi. Pancang direncanakan menggunakan cerucuk dengan 3 alternatif berbeda yang terdiri dari kayu bakau, kayu gelam dan bambu.



Gambar 9. Gambar denah pondasi kelompok tiang profil 1



Gambar 10. Gambar denah pondasi kelompok tiang profil 2

Didesain dengan mengikat 3-5 kayu dalam satu rangkaian menjadi satu tiang dengan diameter 20 cm = 0,2 m. Untuk perencanaan pondasi dalam kelompok tiang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m &= 1 \\ n &= 21 \\ s &= 1,00 \text{ m} \\ d &= 0,20 \text{ m} \end{aligned}$$

Dolken kayu bakau sendiri memiliki profil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 3 - 4 \text{ meter} \\ \text{Diameter} &= 8 \text{ cm} = 0,008 \text{ m} \\ \gamma_{\text{bakau}} &= 820 \text{ kg/m}^3 \\ \sigma_{\text{ijin bakau}} &= 69,5 \text{ kg/cm}^2 \\ E_p &= 150000 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan data SPT dapat dihitung kapasitas daya dukung pada tanah granuler atau non kohesif yang diusulkan oleh Mayerhoff (1976)

$$\begin{aligned} d &= 0,2 \text{ m} \\ \text{Ked.} &= 20 \text{ m} \\ L_{\text{tiang}} &= 19 \text{ m} \\ A_p &= 1/4\pi d^2 \\ &= 1/4 \times 3,14 \times (0,2)^2 = 0,031 \text{ m}^2 \\ p &= \pi d \\ &= 3,14 \times 0,2 \\ &= 0,628 \text{ m} \end{aligned}$$

N1 = 8,4: Nilai SPT pada kedalaman 3d (3 x 0,2 = 0,6 m) dari ujung tiang ke bawah

N2 = 16,0: Nilai SPT pada kedalaman 8d (8 x 0,2 = 0,8 m) dari ujung tiang ke atas

$$\begin{aligned} N_b &= \frac{N1 + N2}{2} \\ &= \frac{8,4 + 16,0}{2} \\ &= 12,2 \end{aligned}$$

a. Tahanan gesek tiang

$$\begin{aligned} Q_s &= 2 \cdot N_{60} \cdot p \cdot L \\ &= 2 \times 21,5 \times 0,628 \times 1 \\ &= 27,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Q_s &= Q_{s-1} + Q_s \\ &= 223,25 + 27,00 \\ &= 250,26 \end{aligned}$$

b. Tahanan ujung tiang

$$\begin{aligned} Q_p &= 40 \cdot N_b \cdot A_p \cdot L/d \\ &= 40 \times 12,2 \times 0,031 \times 1/0,2 \\ &= 76,45 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Kapasitas dukung ultimit tiang
Berat sendiri tiang pancang

$$\begin{aligned} W_p &= \gamma_{\text{tiang}} A_{\text{tiang}} L \\ &= 0,82 \times 0,0314 \times 20 \\ &= 0,51 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= (\sum Q_s + Q_p)/9,81 - W_p \\ &= (250,26 + 76,45)/9,81 - 0,51 \\ &= 32,79 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan angka faktor keamanan (SF) sebesar 3 karena struktur mendapatkan pembebanan hidrostatis (tekanan air baik - atau +), maka diperoleh kapasitas dukung tiang ijin:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ijin}} &= \frac{Q_{ult}}{F} \\ &= \frac{32,79}{3} \\ &= 10,93 \text{ ton} \end{aligned}$$

d. Kapasitas dukung berdasarkan kekuatan bahan

$$\sigma_{\text{ijin bakau}} = 695 \text{ ton/m}^2$$

$$\begin{aligned} P_{\text{ijin}} &= A_b \times \sigma_{\text{ijin}} \\ &= 0,031 \times 695 \\ &= 21,82 \text{ ton} \end{aligned}$$

Perhitungan kapasitas dukung ijin kelompok tiang berdasarkan tiang tunggal menggunakan nilai efisiensi tiang menurut *Converse-labarre* dengan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} D &= 0,2 \text{ m} \\ s &= 1,00 \text{ m} \\ \theta &= \arctan \frac{d}{s} \\ &= \arctan \frac{0,2}{1,00} \\ &= 11,31 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= 1 \\ n &= 21 \end{aligned}$$

Dari data diatas dapat dihitung efisiensi (Eg):

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \\ &= 1 - 11,31 \frac{(21-1)1 + (1-1)21}{90 \times 1 \times 21} \\ &= 0,88 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh kapasitas kelompok tiang ijin sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
Q_{\text{dukung}} &= E_g \cdot n \cdot Q_a \\
&= 0,88 \times 21 \times 10,93 \\
&= 202,05 \text{ ton}
\end{aligned}$$

Karena nilai $Q_{\text{dukung}} > Q_{\text{beban}}$ yaitu 202,05 > 179.59 maka pondasi tiang pancang dengan kedalaman 20 meter mampu menahan beban struktur yang ada di atasnya dan dapat dikatakan aman.

Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan kelompok tiang dalam pasir dihitung menggunakan metode yang diusulkan Mayerhoff (1976) untuk data SPT dengan langkah pekerjaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
B &= 21 \text{ m} = 2100 \text{ cm} \\
L &= 1,0 \text{ m} = 100 \text{ cm} \\
N\text{-SPT} &= 28, \text{ pada kedalaman } 20 \text{ m} \\
Q &= 179594,36 \text{ kg} \\
q &= \frac{Q}{BL} \\
&= \frac{179594,36}{2100 \times 100} \\
&= 0,86 \text{ kg/cm}^2 \\
I &= \left(1 - \frac{L}{8Bg}\right) \\
&= \left(1 - \frac{100}{8 \times 2100}\right) \\
&= 0,994 \\
S_g &= \frac{2q\sqrt{BqI}}{N - SPT} \\
&= \frac{2 \times 0,86 \sqrt{2100 \times 0,994}}{28} \\
&= 2,791 \text{ cm} \approx 27,91 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh bahwa penurunan pondasi kelompok tiang sebesar 27,91 mm atau lebih kecil dari pada penurunan maksimum pondasi kelompok tiang pada tanah berpasir yang di ijinakan sebesar 32 mm (Das,1995), sehingga karena $27,91 < 32$ maka dapat dikatakan aman terhadap penurunan.

Perhitungan Defleksi Tiang

Besarnya defleksi tiang yang terjadi dihitung dengan menggunakan Metode Broms. Dalam studi diketahui pada lokasi bahwa tanah berjenis granuler.

Diketahui dari data kayu bakau yang digunakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
E_p &= 150000 \text{ kg/cm}^2 = 147,15 \text{ kN/m}^2 \\
D &= 0,2 \text{ m} \\
r &= \frac{1}{2} D \\
&= \frac{1}{2} 0,2 \\
&= 0,1 \text{ m}
\end{aligned}$$

Maka bisa dihitung defleksi tiang sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
I_p &= \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi 0,1^4}{4} \\
&= 0,00008 \text{ m}^4 \\
E_p I_p &= 147,15 \times 0,00008 \\
&= 0,0116 \text{ kNm}^2 \\
n_h &= 11779 \text{ (tabel nilai } n_h \text{ untuk tanah granuler)} \\
L &= 19 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\alpha &= \left(\frac{n_h}{E_p I_p}\right)^{\frac{1}{5}} = \left(\frac{11779}{0,0116}\right)^{\frac{1}{5}} \\
&= 15,91 \\
\alpha L &= 15,91 \times 19 \\
&= 302,28
\end{aligned}$$

karena $\alpha L > 4$ maka dianggap tiang panjang (tidak kaku)

$$\begin{aligned}
e &= 0 \\
H &= \text{beban horisontal} \\
&= (Rt/L) \\
&= (9,48/24,0) \\
&= 0,040 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y_o &= \frac{2,4H}{(n_h)^{3/5} (E_p I_p)^{2/5}} + \frac{1,6He}{(n_h)^{2/5} (E_p I_p)^{3/5}} \\
&= \frac{2,4 \times 0,040}{(11779)^{3/5} (0,0116)^{2/5}} + \frac{1,6 \times 0,040 \times 0}{(11779)^{2/5} (0,0116)^{3/5}} \\
&= 0,00208 \text{ m} \approx 2,08 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Defleksi yang terjadi pada kayu bakau sebesar 2,08 mm. Dimana nilai tersebut lebih kecil dari pada batas defleksi maksimum yaitu sebesar 6-18 mm (Christady,2011:313). Sehingga karena $2,08 < 6,00$ maka pondasi tiang pancang dengan menggunakan material kayu bakau aman terhadap defleksi.

Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan rencana anggaran biaya dimaksudkan untuk mempermudah dalam penentuan besarnya biaya yang harus

Tabel 6. Tabulasi perhitungan pondasi dengan 3 alternatif pada profil 1

Bahan	Kelebihan	Kekurangan	Qult ton	Qag ton	S mm	Sg mm	Defleksi mm
Kayu Bakau (Alternatif I)	<ul style="list-style-type: none"> • Banyak tersedia dilokasi • Kemampuan fisik yang baik, dimana semakin terendam air/tertimbun tanah makin kuat dan awet 	<ul style="list-style-type: none"> • Panjang kayu 3,5-4 m sehingga perlu banyak sambungan untuk pancang sedalam 20 m 	10,93	202,05	7,06	27.91	2,08
Kayu Gelam (Alternatif II)	<ul style="list-style-type: none"> • Banyak tersedia dilokasi • Kemampuan fisik yang baik, dimana semakin terendam air/tertimbun tanah makin kuat dan awet 	<ul style="list-style-type: none"> • Panjang kayu 3,5-4 m sehingga perlu banyak sambungan untuk pancang sedalam 20 m 	10,94	202,32	9,00	27.91	2,44
Bambu (Alternatif III)	<ul style="list-style-type: none"> • Kemampuan fisik yang baik, dimana semakin terendam air/tertimbun tanah makin kuat dan awet • Panjang kayu 8-10 m sehingga tidak perlu banyak sambungan untuk pondasi sedalam 20 m 	<ul style="list-style-type: none"> • Kualitas bambu dilokasi rendah sehingga harus mendatangkan dari luar lokasi 	10,95	202,52	9,00	27.91	2,44

dikeluarkan untuk membangun struktur *sewall*.

Dalam analisis RAB ini mengacu pada Permen PUPR No.28/PRT/M/2016 tentang harga satuan pekerjaan bidang sumberdaya air. Diperoleh total rencana anggaran biaya (RAB) untuk alternatif I dimana material pondasi tiang pancang menggunakan dolken kayu bakau sebesar Rp 62.448.965.000,00, sedangkan total RAB untuk alternatif II dimana material pondasi tiang pancang menggunakan dolken kayu gelam sebesar Rp 60.381.849.000,00, dan total RAB untuk alternatif III dimana material pondasi

tiang pancang menggunakan cerucuk bambu sebesar Rp 63.381.400.000,00.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dari hasil analisis pembangkitan gelombang diketahui bahwa gelombang yang terjadi di pantai Bobolio dominan berasal dari arah Tenggara dengan prosentase sebesar 47,06%. Tinggi gelombang signifikan dari arah Tenggara dengan kala ulang 25 tahun sebesar 1,505 m. Setelah mengalami refraksi dan pendangkalan

maka besarnya gelombang yang datang sebesar 2,267 m.

2. Struktur *seawall* direncanakan menggunakan tipe *rubble mound* (tumpukan batu alam) dengan panjang 1.315 m dan berada pada elevasi 0 dengan pertimbangan topografi, ekonomis, serta rekayasa pantai agar garis pantai tidak mundur lebih jauh kearah daratan. Dengan dimensi struktur *seawall* sebagai berikut:

- Tinggi = 6,10 meter
- Lebar = 17,9 – 24 m
- Lebar puncak = 3,20 m
- Tebal l. puncak = 2,14 m
- Batu penyusun = batu kosong/ batu gunung dengan $\rho=2,60 \text{ t/m}^3$

3. Stabilitas dan pondai *seawall*:

- Karena bangunan terletak pada elevasi 0,0 maka gaya gelombang yang dianalisis adalah gaya gelombang telah pecah yang bergerak dari arah Tenggara dengan nilai 9,48 ton.
- Dari perhitungan stabilitas struktur terhadap kelongsoran rotasi (*rotational slide*) pada kondisi tanpa gempa dapat dikatakan aman dengan rincian, kondisi surut dengan menggunakan metode Bishop diperoleh SF sebesar 2,999, metode Janbu sebesar 2,533, metode Ordinary sebesar 2,519. Sedangkan untuk nilai SF pada kondisi HHWL dengan menggunakan metode Bishop diperoleh SF sebesar 2,484, metode Janbu sebesar 2,113, metode Ordinary sebesar 2,068. Dari perhitungan nilai SF pada kondisi gempa juga dapat dikatakan aman dengan rincian, kondisi surut dengan menggunakan metode Bishop diperoleh SF sebesar 1,948, metode Janbu sebesar 1,595, metode Ordinary sebesar 1,524. Sedangkan untuk nilai SF pada kondisi HHWL dengan perhitungan menggunakan metode Bishop diperoleh SF sebesar 1,531, metode Janbu sebesar 1,259, metode Ordinary sebesar 1,241.
- Pada analisis terhadap daya dukung tanah di lokasi, diperoleh daya dukung

ijin tanah sebesar 55,06 ton/m pada profil 1 dan 43,32 ton/m pada profil 2 dimana daya dukung tersebut lebih kecil dari pada gaya vertikal pada profil 1 sebesar 179,59 ton/m dan pada profil 2 sebesar 144,38 ton/m. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daya dukung tanah tidak mampu menahan beban struktur *seawall*. Maka diputuskan untuk menggunakan pondasi tiang pancang dengan 3 alternatif yang terdiri dari kayu bakau, kayu gelam dan bambu sedalam 20 m.

Setelah dilakukan analisis terhadap ketiga alternatif atau material tersebut diperoleh bahwa daya dukung pondasi tiang pancang pada profil 1 dengan jarak antar tiang pada tiang kelompok 1 m dengan material kayu bakau sebesar 202,05 ton/m, kayu gelam sebesar 202,32 ton/m dan bambu sebesar 202,52 ton/m. Sedangkan pada profil 2 dengan jarak antar tiang pada tiang kelompok 0,9 m dengan material kayu bakau diperoleh daya dukung sebesar 161,46 ton/m, kayu gelam sebesar 161,67 dan bambu sebesar 161,83. Dimana daya dukung tersebut lebih besar dari pada gaya vertikal pada tiap profil sehingga pondasi tiang pancang dapat dikatakan aman dan mampu menahan beban struktur *seawall*.

- Dari perhitungan yang dilakukan terhadap penurunan (*settlement*), diperoleh besarnya penurunan yang terjadi pada pondasi tiang pancang profil 1 sebesar 27,91 mm dan pada profil 2 sebesar 26,52 mm. Dimana penurunan yang terjadi lebih kecil dari batas penurunan maksimum pada tanah berpasir yaitu sebesar 32 mm sehingga pondasi tiang pancang dapat dikatakan aman terhadap penurunan
- Dari perhitungan terhadap defleksi tiang pada ketiga alternatif atau material tersebut diperoleh bahwa defleksi tiang pancang yang terjadi pada profil 1 dan profil 2 dengan material kayu bakau sebesar 2,08 mm, kayu gelam sebesar 2,44 mm dan

- bambu sebesar 2,44 mm. Dimana besarnya defleksi yang terjadi lebih kecil dari pada batas defleksi yaitu sebesar 8-17 mm, sehingga pondasi tiang pancang dapat dikatakan aman terhadap defleksi.
4. Total rencana anggaran biaya (RAB) yang diperoleh dari analisis harga satuan pekerjaan Kabupaten Wawonii Kepulauan tahun 2017 untuk alternatif I dimana material pondasi tiang pancang menggunakan dolken kayu bakau sebesar Rp 62.448.965.000,00, sedangkan total RAB untuk alternatif II dimana material pondasi tiang pancang menggunakan dolken kayu gelam sebesar Rp 60.381.849.000,00, dan total RAB untuk alternatif III dimana material pondasi tiang pancang menggunakan cerucuk bambu sebesar Rp 63.381.400.000,00.

Saran

Beberapa saran untuk penanganan masalah di pantai Bobolio, yaitu antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian dan kajian lebih mendalam terhadap pengaruh kondisi lingkungan dan sosial masyarakat, sehingga apabila terjadi permasalahan akibat pembangunan *seawall* dapat diselesaikan lebih cepat dan tepat.
2. Perlu dilakukannya uji sondir pada lokasi studi agar mengetahui dengan pasti lapisan tanah yang ada dibawahnya, sehingga mempermudah dalam merencanakan pondasi struktur.
3. Apabila hasil uji kekuatan terhadap batu gunung/batu alam di lokasi studi tidak memenuhi, maka material batu alam dapat diganti dengan menggunakan kubus beton, buis beton ataupun tetrapot dengan berat yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. *Buku VI: Pedoman Perencanaan Teknis Tanggul dan Tembok Laut*. Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air
- Anonim. 2016. *Pedoman Harga Satuan Pekerjaan Bidang Sumber Daya Air*. Jakarta: Peraturan Menteri PUPR
- Cristiandy H., Hary. 2010. *Analisa dan Perancangan Fondasi Bagian II*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Das, Braja. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*, Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid II*, Jakarta: Erlangga.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*, Yogyakarta: Beta Offset.