PERENCANAAN BANGUNAN PEMECAH GELOMBANG PADA PANTAI DEPOK, KECAMATAN KRETEK, KABUPATEN BANTUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Tanaya Putri Argya Nareswari
Mahasiswa S1 Teknik Sipil Alih Jenjang, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: tanaya.19089@mhs.unesa.ac.id

Danayanti Azmi Dewi Nusantara
Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya Email:
danayantinusantara@unesa.ac.id

Abstrak

Abrasi juga bisa didefinisikan sebagai mundurnya garis pantai akibat hantaman terus menerus dari gelombang air laut. Abrasi juga terjadi pada Pantai Depok, Kecamatan Sleman, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Salah satu upaya untuk mengurangi resiko terjadinya abrasi pantai yaitu dengan membangun pemecah gelombang (*breakwater*). Bangunan pemecah gelombang berfungsi untuk meredamkan energi gelombang sehingga gelombang yang sampai di bibir pantai tidak terlalu besar. Penelitian dikhususkan pada perencanaan bangunan pemecah gelombang pada Pantai Depok sebagai penanganan kerusakan akibat abrasi. Perencanaan bangungan pemecah gelombang memerlukan beberapa parameter data diantaranya data gelombang, data pasang surut, data angin, serta data bathimetri. Dari data tersebut dapat dianalisis dan menghasilkan karakteristik gelombang, pasang surut, serta kemiringan daerah di sekitar pantai. Data yang sudah dianalisis dapat ditentukan dimensi dan parameter lainnya pada bangunan pemecah gelombang yang direncanakan. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai *Run Up* gelombang sebesar 1,337 m maka dapat ditentukan elevasi bangunan pemecah gelombang sebesar 2,7 m dan tinggi (H) bangunan pemecah gelombang sebesar 5,7 m. Untuk lebar lapis lindung bangunan pemecah gelombang utama sebesar 0,9 m sedangkan untuk yang sekunder sebesar 0,6 m. Untuk lapis pelindung kaki bangunan pemecah gelombang memiliki tebal sebesar 0,4 m dan lebar sebesar 1,3 m. Berat batu pelindung untuk bangunan pemecah gelombang ditentukan sebesar 0,1476 ton dengan jumlah batu pelindung untuk setiap satuan luas (10 m^2) sebanyak 58 butir.

Kata Kunci: Abrasi, Garis Pantai, Gelombang, Pemecah Gelombang, Pasang Surut.

Abstract

Abrasion can also be defined as the retreat of the shoreline due to the continuous impact of sea waves. Abrasion also occurred on Depok Beach, Sleman District, Bantul Regency, Yogyakarta Special Region. One of the efforts to reduce the risk of coastal abrasion is to build a breakwater. The breakwater building serves to dampen the wave energy so that the waves that reach the shore are not too big. The research is devoted to the design of breakwater buildings on Depok Beach as a treatment for damage caused by abrasion. Breakwater building planning requires several data parameters including wave data, tidal data, wind data, and bathymetry data. From this data, it can be analyzed and produce the characteristics of waves, tides, and slopes of the area around the coast. The analyzed data can be determined dimensions and other parameters on the planned breakwater building. From the calculation results, the wave run-up value is 1,337 m, it can be determined that the elevation of the breakwater building is 2.7 m and the height (H) of the breakwater building is 5.7 m. The width of the protective layer for the main breakwater is 0.9 m, while for the secondary it is 0.6 m. The protective layer for the breakwater building has a thickness of 0.4 m and a width of 1.3 m. The weight of the protective stone for the breakwater building is determined at 0.1476 tons with the number of protective stones for each unit area (10 m2) of 58 grains.

Keywords: Abration, Coast line, Wave, Breakwater, Tidal.

UNESA Universitas Negeri Surabaya

PENDAHULUAN

Daerah datar dan dapat bergelombang yang perbedaan ketinggiannya tidak lebih dari 200 meter, serta dibentuk oleh endapan pantai dan sungai yang sifatnya lepas, dengan karakteristik adanya daratan dan basah (rawa) bisa diartikan sebagai definisi pantai (Opa, 2011).

Seiring berjalannya waktu, akan muncul beberapa masalah yang terjadi di kawasan pesisir diantaranya pencemaran, perubahan fungsi dan tatanan lingkungan, serta terjadinya abrasi pantai. Abrasi merupakan peristiwa mundurnya garis pantai (Triatmodjo, 1999) di daerah pesisir pantai yang riskan terhadap aktivitas yang terjadi di laut maupun daratan. (Abda, 2019). Deformasi gelombang merupakan berubahnya karakteristik gelombang diantaranya tinggi gelombang, periode gelombang, panjang gelombang, arah gelombang dan sebagainya akibat pengaruh perubahan kedalaman dasar laut, kemiringan dasar laut yang tidak sejajar dengan arah datang gelombang, dan lain sebagainya.(Imbar, 2020)

Akhir-akhir ini masalah abrasi pantai cenderung meningkat di pesisir pantai selatan Pulau Jawa. Abrasi pantai yang sering terjadi di Indonesia terutama di pesisir selatan Pulau Jawa, masyarakat sangat membutuhkan penanggulangannya. Pantai Depok merupakan salah satu pantai yang berada di pesisir selatan Pulau Jawa, terletak di

sebelah barat Pantai Parangtritis berjarak kurang lebih 1,5 km. Dari pusat Kota Yogyakarta berjarak kurang lebih 40 km ke arah selatan tepatnya berada di Jl.Raya Pasir Putih, Desa Sawangan, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pantai Depok sering digunakan sebagai pantai wisata. Selain itu, gelombang tinggi di Pantai Depok telah merusak sejumlah warung dan fasilitas umum di pinggir pantai.

Untuk menanggulangi terjadinya resiko abrasi pantai yaitu dengan cara membuat bangunan penahan gelombang atau bangunan pemecah gelombang (*breakwater*). *Breakwater* dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu pemecah gelombang sisi miring, pemecah gelombang sisi tegak, serta pemecah gelombang campuran (Jansen et al., 2021). Pemecah gelombang sisi miring biasanya terbuat dari batu alam yang ditumpuk dan memiliki lapis pelindung berupa batu besar atau bisa juga beton dengan bentuk tertentu (Di et al., 2017). Beberapa parameter yang digunakan untuk perencanaan bangunan pemecah gelombang diantaranya yaitu gelombang, angin, pasang surut, serta kemiringan pantai/bathimetri.

Peristiwa naik turunnya permukaan laut secara vertikal yang dapat membentuk kurva sinusoidal disebut juga gelombang laut (Manuel et al., 2017). Gelombang digerakkan karena adanya angin. Angin berhembus dari tempat dengan tekanan udara tinggi ke tempat dengan tekanan udara rendah (Dinyanti, 2021). Pasang surut yaitu naik turunnya muka air laut disebabkan oleh gaya tarik matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi (Wigati et al., 2018). Survei bathimetri adalah proses memperoleh data hidrografi untuk mendapatkan nilai kedalaman serta konfigurasi dasar sungai sesuai analisis profil kedalaman yang berasal dari hasil pemeruman. (Adi et al., 2017).

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu menghasilkan perencanaan teknis fasilitas pantai bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) Pantai Depok, Dusun Sawangan, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Dibangunnya pemecah gelombang yang berlokasi di Pantai Depok, diharap mampu mengurangi resiko terjadinya abrasi pantai, serta memiliki manfaat bagi kapal-kapal nelayan bersandar di Pantai Depok.

METODE

Data Penelitian

Data penelitian untuk perencanaan bangunan pemecah gelombang Pantai Depok, Yogyakarta:

a. Data Gelombang yang didapat dari BMKG Kabupaten Cilacap untuk data 10 tahun yang lalu dari tahun 2011-2020.
b. Data Pasang Surut yang didapat dari MAKOLANAL Yogyakarta selama 30 hari pada bulan Oktober 2020.
c. Data Angin didapat dari BMKG Yogyakarta selama 5 tahun dari tahun 2015-2020.
d. Data Bathimetri yang diperoleh dari GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*).

Dalam batasan penelitian menggunakan berat jenis air laut sebesar 1,03 ton/m^3, berat jenis batu yang digunakan dalam material utama adalah 2,65 ton/m^3, material utama tersebut adalah batu pecah bersudut kasar yang memiliki kemiringan bangunan 1:1,5, serta tinggi kebebasan pada bangunan pemecah gelombang direncanakan sebesar 0,3 meter. Bangunan pemecah gelombang direncanakan dengan tipe lepas pantai serta tidak dilakukan analisis data tanah pada pondasi. Perencanaan bangunan pemecah gelombang hanya untuk dimensi melintang bangunan, tidak merencanakan perhitungan panjang keseluruhan pemecah gelombang dan tidak memperhitungkan biaya dan waktu perencanaan.

Metode Penelitian

Berikut adalah beberapa tahapan yang digunakan dalam penyusunan artikel penelitian:

1. Pengumpulan data gelombang, data pasang surut, data bathimetri, serta data angin.
2. Membuat grafik fluktuasi pasang surut air laut dengan menggunakan metode *Least Square* pada *Microsoft Excel*.
3. Menentukan elevasi muka air rata-rata tertinggi (*Mean High Water Level*), rata-rata dari air tertinggi dan terendah (*Mean Water Level*), dan rata-rata terendah (*Mean Low Water Level*).
4. Menentukan nilai gelombang signifikan (H_s) yaitu tinggi rerata 1/3 nilai tertinggi dari data gelombang, begitupun dengan periode signifikan (T_s) menggunakan metode yang sama.
5. Menentukan metode distribusi yang digunakan menggunakan persamaan 1-5 berikut :

$$H = \sum \frac{H}{N} \quad (1)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (H-H)^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$C_v = \frac{Sd}{H} \quad (3)$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^{n} (Hi-H)^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \quad (4)$$

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Hi-H)^4}{(n)Sd^4} \quad (5)$$

$$H_T = \overline{H} + \frac{\sigma_H}{\sigma_n}(Y-\overline{Y}_n) \quad (6)$$

dengan:

H = Tinggi gelombang rata-rata
$\sum H$ = Jumlah gelombang selama n tahun
n = Jumlah tahun pencatatan
S_d = Standar deviasi
C_v = Koefisien variasi
C_s = Koefisien kemiringan
C_k = Koefisien kurtosis

UNESA Universitas Negeri Surabaya

Berdasarkan hasil dari parameter diatas dapat menentukan metode distribusi data yang akan digunakan untuk menganalisis data dengan pedoman pemilihan distribusi sebagai berikut:

a. Normal, jika Cs = 0 dan Ck = 0
b. Log Person, jika Cs ≠ 0
c. Gumbel, jika Cs ≤ 1,14 dan Ck ≤ 5,4
d. Log Normal, jika Cs = 3Cv + Cv^2 = 0,3

6. Menentukan kala ulang gelombang menggunakan metode *Gumbel* berdasarkan perhitungan persamaan 4-6 serta Tabel 1 sampai Tabel 3.

Tabel 1 Kala Ulang Gelombang dan Nilai Y

Kala Ulang	Y
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

Tabel 2 Nilai $\overline{Y_n}$

n	0	1	2	3	4	5
10	.495	.499	.503	.507	.510	.512
20	.523	.525	.526	.528	.529	.530
30	.536	.537	.538	.538	.539	.540

Tabel 3 Nilai σ_n

n	0	1	2	3	4	5
10	0.94	0.96	0.98	0.99	1.00	1.02
20	1.06	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09
30	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12

(Sumber: Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai Volume II, Dr. Ir. Nur Yuwono, Dipl. HE, 1992)

7. Menghitung cepat rambat gelombang berdasarkan persamaan 7-15. Menurut *Coastal Engineering Research Center* (CERC, 1984), kecepatan fase gelombang atau disebut cepat rambat gelombang (*C*) dirumuskan berdasarkan persamaan 7:

$$C = \frac{L}{T} \quad (7)$$

Dimana kecepatan rambat gelombang (*C*) serta panjang gelombang (*L*) terdapat persamaan 8-9 :

$$C = \frac{gT}{2\pi} tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (8)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (9)$$

Diketahui perairan dalam *d*/*L* > ½ dan nilai tan h(2π*d*/*L*) ≈1, sehingga persamaan 10-12 didapat:

$$C_o = \frac{gT}{2\pi} \quad (10)$$

Jika percepatan gravitasi g = 9,81 m/s^2, didapatkan persamaan:

$$C_o = \frac{gT}{2\pi} = 1{,}56T \quad (11)$$

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 1{,}56T^2 \quad (12)$$

Panjang gelombang pada laut dalam dengan lokasi yang ditinjau memiliki hubungan satu sama lain, yaitu didapat persamaan 13:

$$\frac{d}{L_o} = \left(\frac{d}{L}\right) tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (13)$$

keterangan:
C : cepat rambat gelombang
L : panjang gelombang
T : periode gelombang
g : percepatan gravitasi
d : kedalaman gelombang

8. Menghitung refraksi gelombang berdasarkan persamaan 14-15 berikut (Triatmodjo, 1999) :

$$\sin \alpha_1 = \frac{c_1}{c_o} \sin \alpha_o \quad (14)$$

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} \quad (15)$$

Dengan:
α_1 : Sudut datang gelombang berdasarkan kedalaman yang ditinjau
α_0 : Sudut datang gelombang pada perairan laut dalam (°)
H_1 : Tinggi gelombang pada kedalaman x yang ditinjau (m)
H_0 : Tinggi gelombang di perairan laut dalam (m)
C_1 : Kecepatan gelombang di kedalaman kontur berikutnya
C_0 : Cepat rambat gelombang di kedalaman kontur pertama.

9. Menghitung tinggi gelombang laut *unrefracted* berdasarkan persamaan 16 berikut (Triatmodjo, 1999) :

$$H_r = K_r H'_o \quad (16)$$

dengan:
H_r : Tinggi gelombang setelah terjadi refraksi
H'_0 : Tinggi gelombang laut *unrefracted*
K_r : Koefisien refraksi

10. Menghitung gelombang pecah serta kedalaman air dimana gelombang pecah dengan bantuan grafik pada gambar refraksi gelombang dan gambar refraksi gelombang pada kontur lurus dan sejajar berdasarkan persamaan 17 berikut (Triatmodjo, 1999) :

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3{,}3(H'_0/L_0)^{1/3}} \quad (17)$$

dengan :
H_b : Tinggi gelombang pecah
H'_o : Tinggi gelombang laut dalam
L_o : Panjang gelombang di laut dalam

11. Menentukan dimensi pemecah gelombang dan parameter yang lain dengan bantuan grafik pada gambar penentuan kedalaman gelombang pecah untuk *Run-up* (*Ru*) gelombang berdasarkan persamaan 11-16. Nilai kenaikan gelombang dapat diketahui dari grafik setelah terlebih dahulu menentukan bilangan *Irribaren* dengan rumus sebagai berikut (Triatmodjo, 1999):

$$I_r = \frac{\tan \theta}{(\frac{H}{L_0})^{0,5}} \quad (18)$$

keterangan:
I_r = Bilangan Irribaren
θ = Sudut kemiringan pemecah gelombang
H = Tinggi gelombang pada lokasi struktur
L_0 = Panjang gelombang pada perairan laut dalam

Dalam merencanakan bangunan pemecah gelombang,

UNESA Universitas Negeri Surabaya

berat butir batu pelindung dihitung menggunakan rumus *Hudson* (Triatmodjo, 1999) :

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_{D(S_r-1)\cot\theta}} \quad (19)$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \quad (20)$$

keterangan:

W : Berat jenis batu pelindung (kilogram atau ton)

γ_r : Berat jenis batu (kg/m^3 atau ton/m^3)

γ_a : Berat jenis air laut (kg/m^3 atau ton/m^3) / 1,025 ton/m^3

H : Tinggi gelombang rencana

θ : Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang (°)

K_D : Koefisien stabilitas untuk berbagai bentuk batu pelindung diberikan dalam tabel.

Lebar dan tebal pemecah gelombang dapat dihitung berdasarkan persamaan 21:

$$B = nK_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (21)$$

keterangan :

B : Lebar puncak

N : Jumlah butir batu (*n* minimum = 3)

K_Δ : Koefisien lapis diberikan pada tabel

W : Berat butir batu (*kilogram* atau *ton*)

γ_r : Berat jenis batu (*kg*/*m*^{3} atau *ton/m*^{3})

Ketebalan lapisan pelindung utama dan jumlah butir pelindung tiap meter luas, dihitung berdasarkan persamaan 22-23 :

$$t = nK_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (22)$$

$$N = AnK_\Delta \left[1-\frac{P}{100}\right]\left[\frac{\gamma_r}{W}\right]^{\frac{2}{3}} \quad (23)$$

Keterangan :

t : Ketebalan lapisan lindung

n : Jumlah butir batu (*n* minimum = 3)

K_Δ : Koefisien lapis diberikan pada tabel.

W : Berat butir batu (*kg* atau *ton*)

γ_r : Berat jenis batu (*kg*/*m*^{3} atau *ton/m*^{3})

N : Jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan *A*

A : Luas permukaan (m^2) atau biasanya langsung per 10 m^2

P : Porositas rerata dari lapisan pelindung (%) diberikan dalam tabel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Gelombang

Analisis gelombang yang digunakan yaitu menggunakan data tinggi gelombang (H) dan data periode gelombang (T). Pada perencanaan bangunan pemecah gelombang, ketinggian gelombang yang diperhitungkan adalah tinggi gelombang signifikan yang besarnya merupakan rata-rata dari 33,3% gelombang tertinggi yang terjadi dari tahun 2011 hingga 2020. Data tinggi gelombang signifikan (H_{33}) dan periode gelombang signifikan (T_{33}) berdasarkan pengolahan data pada Tabel 4:

Tabel 4 Nilai Tinggi Gelombang Signifikan (H_{33}) dan Periode Gelombang Signifikan Tahun 2011 sampai dengan 2020 yang telah dirata-rata.

Tahun	H_{33}	T_{33}
2011	1,077	3,792
2012	1,145	3,819
2013	1,162	3,967
2014	1,068	3,826
2015	1,024	3,688
2016	0,999	3,743
2017	1,076	3,704
2018	1,159	3,803
2019	1,033	3,721
2020	1,116	3,890

Sumber: Hasil Perhitungan

Menentukan Distribusi Gelombang

Memilih metode perhitungan gelombang ditetapkan berdasarkan parameter dasar statistik. Parameter yang digunakan dalam perhitungan untuk menentukan metode distribusi yang akan digunakan terdapat pada persamaan 1 sampai dengan 5(Triatmodjo, 1999).

$$H = \sum \frac{H}{N} = \frac{10,858}{10} = 1,086 \text{ m}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum(H-H)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,0302}{10-1}} = 0,0579$$

$$C_v = \frac{Sd}{H} = \frac{0,0579}{10,858} = 0,0053$$

$$C_s = \frac{n\sum_{i=1}^{n}(Hi-H)^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} = \frac{10(0,00000802)}{(9)(8)(0,0579)} = 0,0000192$$

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Hi-H)^4}{(n)Sd^4} = \frac{0,00015458}{(10)(0,057906342)^4} = 1,3748$$

Tabel 5 Analisis Data Gelombang

Tahun	H33 rt	(H-H)	$(H-H)^2$	$(H-H)^3$	$(H-H)^4$
2011	1,077	-0,009	0,0000845	-0,00000078	0,000000007
2012	1,145	0,059	0,0034675	0,00020419	0,000012024
2013	1,162	0,076	0,0057603	0,00043718	0,000033180
2014	1,068	-0,017	0,0003015	-0,00000524	0,000000091
2015	1,024	-0,062	0,0038604	-0,00023986	0,000014903
2016	0,999	-0,087	0,0075858	-0,00066069	0,000057544
2017	1,076	-0,010	0,0001057	-0,00000109	0,000000011
2018	1,159	0,073	0,0053306	0,00038919	0,000028415
2019	1,033	-0,052	0,0027430	-0,00014366	0,000007524
2020	1,116	0,031	0,0009391	0,00002878	0,000000882
Σ	10,858		0,0301783	0,00000802	0,00015458

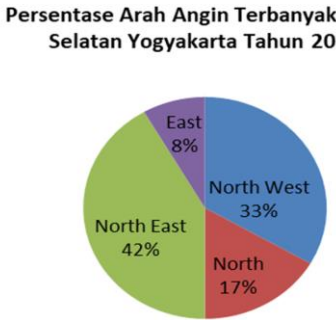
Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil dari parameter diatas dapat menentukan periode ulang gelombang menggunakan metode gumbel, dengan nilai Cs = 0,0000192 dan nilai Ck = 1,3748 (syarat *Gumbel* Cs≤1,14 dan Ck≤5,4).(Septian et al., 2017)

Analisis Data Angin

Arah angin terbagi menjadi 8 arah dan angin memiliki satuan kecepatan yaitu knot. Pada penelitian ini diambil data pada tahun 2020 disebabkan karena abrasi terakhir yang terjadi pada Pantai Depok terjadi pada tahun 2020 tepatnya pada bulan Oktober 2020. Berikut merupakan Gambar 1

data angin terbanyak bulanan Pantai Selatan Yogyakarta tahun 2015-2020.



Gambar 1 Persentase Arah Angin Terbanyak Pantai Selatan Yogyakarta Tahun 2020 (*Sumber: Stasiun BMKG Sleman, Yogyakarta)*

Berdasarkan Gambar 1 diatas, dapat disimpulkan bahwa arah angin terbanyak pada tahun 2020 dominan dari arah timur laut (*North East*). Arah angin Pantai Selatan Yogyakarta yang dominan arah timur laut memiliki sudut α sebesar 45° terhadap arah utara, dimana sudut tersebut menjadi sudut pembentuk arah gelombang.

Kala Ulang Gelombang

Berdasarkan penentuan distribusi gelombang, maka dapat digunakan untuk menentukan metode untuk mencari kala ulang gelombang yaitu menggunakan Metode *Gumbel* pada persamaan 6 dan berdasarkan Tabel 1-3.

$\sum H_{33}$ = 10,858 m

$\overline{H}$ = 1,086

$\sum\overline{(H-\bar{H})^2}$ = 0,030

$\sigma H_{33} = \left(\frac{0,030}{10-1}\right)^{0,5} = 0,0579$ m

σ_{10} = 0,94

$\bar{Y}_{10}$ = 0,495

Y_{10} = 2,2502

$\bar{T}_{33}$ = 3,795

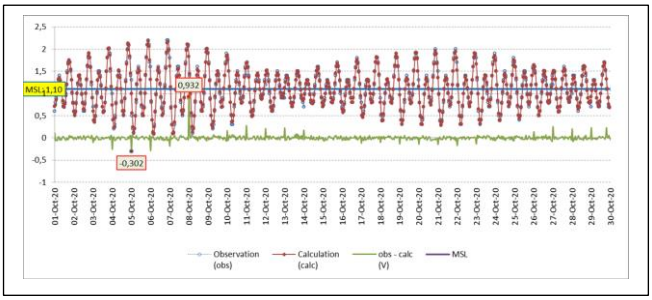
H_{33} (10th) $= \overline{H} + \frac{\sigma_H}{\sigma_n}\left(Y-\bar{Y}_n\right)$

$= 1,086 + \frac{0,058}{0,94}(2,2502-0,495)$

= 1,1943 m

Peramalan Pasang Surut Air Laut

Pembuatan grafik fluktuasi muka air laut dan menentukan elevasi muka air laut menggunakan data pasang surut. Untuk grafik fluktuasi pasang surut dilihat pada Gambar 2 :



Gambar 2 Grafik Pasang Surut Air Laut *(Sumber: Hasil Perhitungan)*

Peramalan pasang surut air laut dapat dihitung dengan metode *Admiralty* sehingga dari hasil perhitungan akan didapatkan nilai amplitude dan beda fase dari setiap komponen pasang surut air laut. Dari data pasang surut dapat diperoleh sembilan unsur utama pembangkit pasang surut air laut dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6 Konstituen Pasang Surut dengan Metode *Admiralty*

Konstituen Pasang Surut	Pantai Depok	
	Amplitudo (cm)	Beda Fase (°)
Main lunar constituent (M_2)	0,4870	175,5868
Main solar constituent (S_2)	0,2483	26,2973
Lunar constituent, due to Earth-Moon distance (N_2)	0,0970	251,3867
Soli-lunar constituent, due to the change of declination (K_2)	0,0861	143,5857
Soli-lunar constituent (K_1)	0,2076	42,7259
Main lunar constituent (O_1)	0,1302	198,2698
Main solar constituent (P_1)	0,0410	97,7250
Main lunar constituent (M_4)	0,0019	107,0528
Soli-lunar constituent (MS_4)	0,0126	32,4958
Average water level (Z_0)	1,0984	

Sumber: Hasil Perhitungan Analisis Konstituen Pasang Surut Air Laut

Penentuan Elevasi Muka Air Laut

Salah satu parameter yang digunakan untuk merencanakan *breakwater* yaitu elevasi muka air rencana. Dari komponen pasang surut air laut diatas, digunakan untuk menghitung elevasi pasang surut. Beberapa elevasi yang digunakan dalam merencanakan bangunan pemecah gelombang adalah HHWL, MHWL, MSL, MLWL, serta LLWL. Perhitungan elevasi acuan dilihat pada Tabel 7 :

Tabel 7 Elevasi Acuan Pasang Surut Air Laut

Elevasi Acuan	Perhitungan	Elevasi (m)
HHWL	$Z_0+(M_2+S_2+K_2+K_1+O_1+P_1)$	2,2986
MHWL	$Z_0+(M_2+K_1+O_1)$	1,9232
MSL	Z_0	1,0984
MLWL	$Z_0-(M_2+K_1+O_1)$	0,2736
LLWL	$Z_0-(M_2+S_2+K_2+K_1+O_1+P_1)$	-0,1017

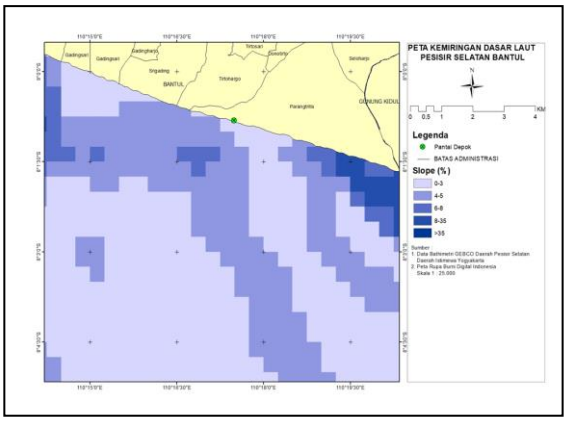
Sumber: Hasil Perhitungan

Data Kemiringan Dasar Perairan / Bathimetri

Untuk menentukan nilai kedalaman suatu perairan menggunakan data bathimetri yang diperoleh dari website GEBCO kemudian selanjutnya data diolah menggunakan aplikasi ArcGIS. Pada data bathimetri ini mengambil titik lokasi perairan Pantai Depok dan beberapa desa di dekat Pantai Depok.

Kemiringan pada dasar perairan di lokasi studi tergolong curam. Berdasarkan data bathimetri, kemiringan dasar perairan bervariatif mulai dari 3% hingga lebih dari 35%. Peta bathimetri Pantai Depok dilihat pada Gambar 3.

UNESA Universitas Negeri Surabaya



Gambar 3 Peta Bathimetri Wilayah Perairan Pantai Depok *(Sumber : General Bathymetric Chart of The Ocean)*

Analisis Perencanaan Bangunan Pemecah Gelombang

Berikut merupakan perhitungan perencanaan bangunan pemecah gelombang di Pantai Depok, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Yogyakarta:

- Data MHWL = 1,9232 m
- Data MSL = 1,0984 m
- Data MLWL = 0,2736 m
- Data Hr = 1,1943 m
- Arah gelombang = Timur Laut (sudut 45°)
- T (periode) = 3,795 sec
- KD (koefisien stabilitas) = 1:1,5
- Cot θ = 1,5

Tinggi dan Kedalaman Gelombang Pecah

Bangunan pemecah gelombang direncanakan akan dibangun pada kedalaman 3 meter karena gelombang yang akan pecah mendekati bibir pantai sehingga pada kedalaman tersebut juga lebih efektif dalam pembuatan bangunan pemecah gelombang serta dengan kemiringan dasar laut yaitu sebesar 3%.

Elevasi permukaan laut rencana, didapatkan titik elevasi muka air laut rerata (MSL) +1,0984, titik elevasi muka air laut tinggi rerata (MHWL) +1,9232, dan elevasi muka air laut rendah rerata (MLWL) +0,2736. Dari data tersebut didapatkan kedalaman air pada lokasi bangunan berdasarkan elevasi muka air tinggi rerata (MHWL) dan elevasi muka air laut rendah rerata (MLWL) adalah :

dMHWL = +1,9232 – (-3) = 5,9232 m
dMLWL = +0,2736 – (-3) = 3,2736 m
dMSL = +1,0984 – (-3) = 4,0984 m

Gravitasi pada lokasi penelitian diasumsikan sebesar 9,81 m/s^2, sehingga didapatkan perhitungan berdasarkan persamaan 12-13 berikut:

$Lo = 1{,}56\ T^2 = 1{,}56 \times 3{,}795^2 = 22{,}467159$ m

$\frac{dMSL}{L_o} = \frac{4{,}0984}{22{,}467159} = 0{,}1824173675007$

Berdasarkan tabel fungsi *d/L* untuk pertambahan nilai *d/L*$_o$, didapatkan nilai *d/L* = 0,21000 serta nilai *Ks* = 0,915. H desain pemecah gelombang diperoleh perhitungan berdasarkan persamaan 7,11,14,dan 15 berikut :

d/L = 0,21000

$L = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{9{,}81(3{,}795^2)}{2(3{,}14)} = 19{,}498523250346$ m

$C = \frac{L}{T} = \frac{19{,}4985}{3{,}795} = 5{,}13795$ m/sec

$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{22{,}467}{3{,}795} = 5{,}9202$ m/sec

$\text{Sin } \alpha 1 = \frac{C}{C_o} \sin \alpha = \frac{5{,}13795}{5{,}9202} \sin 45° = 0{,}6136751876$

$\alpha 1 = 37{,}85572001$

$K_r = \left(\frac{\cos 45°}{\cos 37{,}856}\right)^{1/2} = 0{,}9463468049$

dengan:

L_o = panjang gelombang laut dalam
C_o = cepat rambat gelombang laut dalam

Perhitungan tinggi gelombang *unrefracted* sebagai berikut :

$H'o = \frac{H_r}{Kr} = \frac{1{,}1943}{0{,}946} = 1{,}26247$

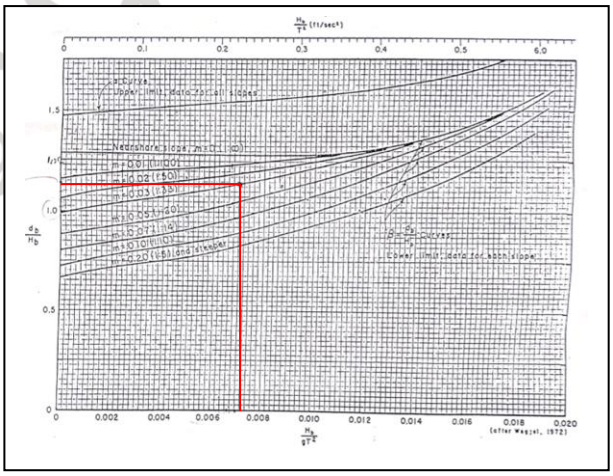
Kemiringan pantai dan arah gelombang datang dapat mempengaruhi terjadinya gelombang pecah. Gelombang yang berasal dari laut dalam yang bergerak menuju pantai kemiringannya akan bertambah sehingga membuat gelombang tersebut tidak stabil dan akan pecah pada kedalaman tertentu. Perhitungan tinggi gelombang pecah H_b dan kedalaman gelombang pecah d_b berdasarkan persamaan 17 berikut:

$H_b = \frac{1}{3{,}3\left(\frac{H'o}{L_o}\right)^{\frac{1}{3}}} \text{ x } H'_o$

$H_b = \frac{1}{3{,}3\left(\frac{1{,}26247}{22{,}4671}\right)^{\frac{1}{3}}} \text{ x } 1{,}26247 = 0{,}998809$ m

$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{0{,}998809}{9{,}81(3{,}795)^2} = 0{,}0070695$

Menurut Gambar 5 *shore protection manual* (SPM, 1984), perbandingan $\frac{d_b}{H_b} = 1{,}1375$ sehingga, $d_b = 1{,}1375\ x\ H_b = 1{,}1375\ x\ 0{,}998809 = 1{,}136145238\ m$



Gambar 4 *Grafik Shore Protection Manual* (SPM, 1984)

Berdasarkan perhitungan diatas, gelombang pecah terjadi pada kedalaman 1,136 m. Karena nilai d_b kurang dari nilai dMLWL dan d_b kurang dari nilai dMHWL, di kedalaman 3 m (kedalaman yang direncanakan) gelombang tidak pecah

dalam keadaan muka air tertinggi atau terendah sekalipun.

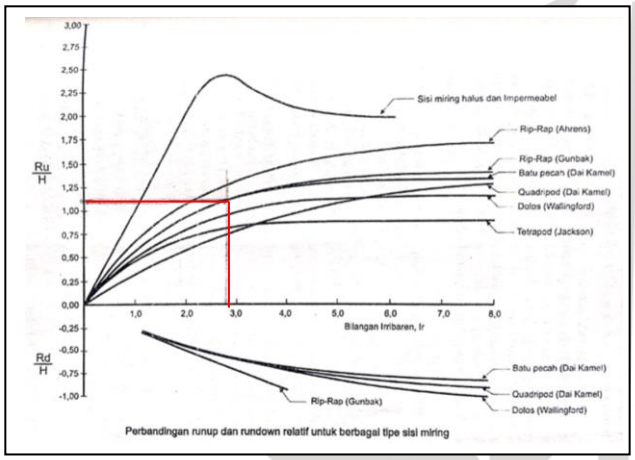
Perhitungan perencanaan bangunan pemecah gelombang

Elevasi puncak bangunan pemecah gelombang ditentukan dengan tinggi *Run-up* gelombang yang memiliki kemiringan 1:1,5.

- Tinggi gelombang laut dalam Lo = 22,467159 m
- Bilangan *Irribaren* berdasarkan persamaan 18 :

$$I_r = \frac{\tan\theta}{\left(\frac{H_r}{L_o}\right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{1/1{,}5}{\left(\frac{1{,}1943}{22{,}467159}\right)^{0{,}5}} = 2{,}891519358$$

Nilai *Run-up* ditentukan melalui grafik pada gambar 5 grafik *Run up* dan *Run down* gelombang (Bambang Triatmodjo, 1999) sebagai berikut:



Gambar 5 *Run Up* Gelombang

- Bangunan pemecah gelombang dengan lapis lindung dari batu pecah :

$$\frac{Ru}{Hr} = 1{,}12$$

$$Ru = 1{,}12\ x\ 1{,}1943 = 1{,}33762\ m$$

- Perhitungan elevasi puncak bangunan pemecah gelombang denga tinggi kebebasan (*fb*) 0,3 m.

  Elevasi pemecah gelombang
  dengan batu pecah = Elv.MSL + *Ru* + *fb*
  = 1,0984 + 1,33762 + 0,3
  = 2,736016 m
  = 2,7 m

- Tinggi pemecah gelombang :

  H pemecah gel. batu pecah = Elv.Pemecah Gelombang – Elv. Dasar laut
  = 2,7 – (-3)
  = 5,7 m

Berat batu lapisan pelindung pemecah gelombang

Koefisien lapisan pelindung dari batu belah dapat dilihat pada Tabel 8 koefisien stabilitas K_D untuk berbagai jenis butir. Nilai batu pecah bersudut kasar (K_D=4,0) dengan gelombang tidak pecah dan ditinjau di lengan bangunan.

Tabel 8 Koefisien Stabilitas K_D untuk berbagai jenis butir

Lapis lindung	n	Penempatan	Lengan Bangunan K_D		Ujung (kepala) Bangunan K_D		Kemiringan
			Gelomb. Pecah	Gelomb. Tidak Pecah	Gelomb. Pecah	Gelomb. Tidak Pecah	Cot θ
Batu pecah							
Bulat halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5-3,0
Bulat halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	*2
Bersudut kasar	1	Acak	*1	2,9	*1	2,3	*2
					1,9	3,2	1,5
Bersudut kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,6	2,8	2,0
					1,3	2,3	3,0
Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	*2
Bersudut kasar	2	Khusus*3	5,8	7,0	5,3	6,4	*2
Paralelepipedum	2	Khusus	7,0-20,0	8,5-24,0	-	-	
Tetrapod					5,0	6,0	1,5
dan	2	Acak	7,0	8,0	4,5	5,5	2,0
Quadripod					3,5	4,0	3,0
					8,3	9,0	1,5
Tribar	2	Acak	9,0	10,0	7,8	8,5	2,0
					6,0	6,5	3,0
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,0	16,0	2,0
					7,0	14,0	3,0
Kubus modifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	5,0	*2
Hexapod	2	Acak	8,0	9,5	5,0	7,0	*2
Tribar	1	Seragam	12,0	15,0	7,5	9,5	*2

Sumber : Bambang Triatmodjo, 2016

Berat batu lapis lindung dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Hudson* (pers. 19-20) berikut :

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} = \frac{2{,}65}{1{,}03} = 2{,}1943$$

$$W \text{ batu pecah} = \frac{\gamma_r {H_r}^3}{K_{D(S_r-1)^3 \cot\theta}} = \frac{2{,}65(1{,}1943)^3}{4\left(\frac{2{,}65}{1{,}12}-1\right)^3 x3} = 0{,}1475 \text{ ton}$$

Lebar puncak bangunan pemecah gelombang

Lebar puncak bangunan untuk n = 2, nilai K_Δ dari batu belah sudut kasar dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Koefisien Lapis Lindung

Batu Pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis (k_Δ)	Porositas P(%)
Batu alam (halus)	2	random (acak)	1,02	38
Batu alam (kasar)	2	random (acak)	1,15	37
Batu alam (kasar)	>3	random (acak)	1,10	40
Kubus	2	random (acak)	1,10	47
Tetrapod	2	random (acak)	1,04	50
Quadripod	2	random (acak)	0,95	49
Hexapod	2	random (acak)	1,15	47
Tribard	2	random (acak)	1,02	54
Dolos	2	random (acak)	1,00	63
Tribar	1	seragam	1,13	47
Batu alam		random (acak)		37

Sumber : Bambang Triatmodjo, 2016

Perhitungan lebar batu belah berdasarkan persamaan 21 :

$$B = n.K_\Delta.\left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \times 1{,}15 \times \left(\frac{0{,}1475654547}{2{,}65}\right)^{1/3}$$

= 0,8782957438 m
= 0,9 m

Tebal lapis lindung utama pemecah gelombang

Perhitungan tebal lapis lindung utama pada perencanaan bangunan pemecah gelombang berdasarkan persamaan 22 :

$$t \text{ (batu pecah)} = n.K_\Delta.\left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} = 2 \times 1{,}15 \times \left(\frac{0{,}1475654547}{2{,}65}\right)^{1/3}$$

= 0,8782957438 m
= 0,9 m

Universitas Negeri Surabaya

Jumlah batu pelindung bangunan pemecah gelombang

Untuk koefisien lapis (porositas) dapat dilihat pada Tabel 9. Dalam perencanaan bangunan pemecah gelombang, perhitungan jumlah batu pelindung untuk setiap satuan luas yaitu 10 m^2 berdasarkan persamaan 23 :

$$N \text{ (batu pecah)} = A.n.K_{\Delta}.1.\left(\frac{P}{100}\right).\left(\frac{\gamma_r}{W}\right)^{2/3}$$

$$= 10 \times 2 \times 1{,}15 \times 1 \times \left(\frac{37}{100}\right)\left(\frac{2{,}65}{0{,}1475654547}\right)^{2/3}$$

$$= 58{,}358 = 58 \text{ butir}$$

Lebar pelindung kaki pemecah gelombang

Lebar pelindung kaki bangunan pemecah gelombang terdiri dari 3 sampai 4 lapis batu dengan berat yang sama dengan lapisan pelindung utama *breakwater*. Perhitungan lebar pelindung kaki bangunan pemecah gelombang berdasarkan persamaan 21 :

$$\text{Lebar pelindung kaki} = n.K_{\Delta}.\left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

$$= 3 \times 1{,}15 \times \left(\frac{0{,}1475654547}{2{,}65}\right)^{1/3}$$

$$= 1{,}317443616 \text{ m} = 1{,}3 \text{ m}$$

Tebal pelindung kaki pemecah gelombang

Tebal pelindung kaki bangunan pemecah gelombang terdiri dari 1 sampai 2 lapis batu dengan berat batu yang sama dengan lapis lindung utama *breakwater*. Perhitungan tebal pelindung kaki bangunan pemecah gelombang berdasarkan persamaan 21 :

$$\text{Tebal pelindung kaki} = n.K_{\Delta}.\left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

$$= 1 \times 1{,}15 \times \left(\frac{0{,}1475654547}{2{,}65}\right)^{1/3}$$

$$= 0{,}4391478719 \text{ m} = 0{,}4 \text{ m}$$

Tebal lapis lindung sekunder pemecah gelombang

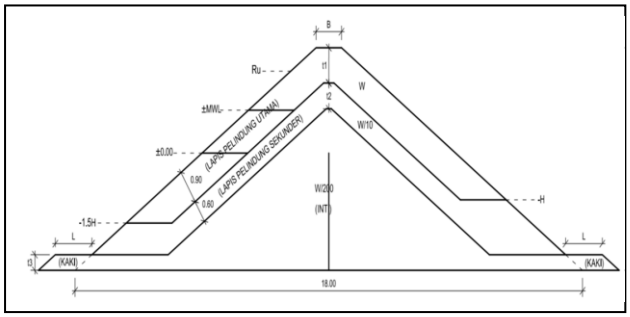
Bangunan pemecah gelombang memiliki tebal lapis lindung sekunder yang terdiri dari 3 lapis butir batu dengan berat butir batu 1/10 dari berat butir batu pada lapisan pelindung primer pemecah gelombang. Perhitungan tebal lapis lindung sekunder pemecah gelombang berdasarkan persamaan 21 :

$$\text{Tebal lapis lindung sekunder } (t_{sek}) = n.K_{\Delta}.\left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

$$= 3 \times 1{,}15 \times \left(\frac{0{,}01475654547}{2{,}65}\right)^{1/3}$$

$$= 0{,}6115031575 \text{ m} = 0{,}6 \text{ m}$$

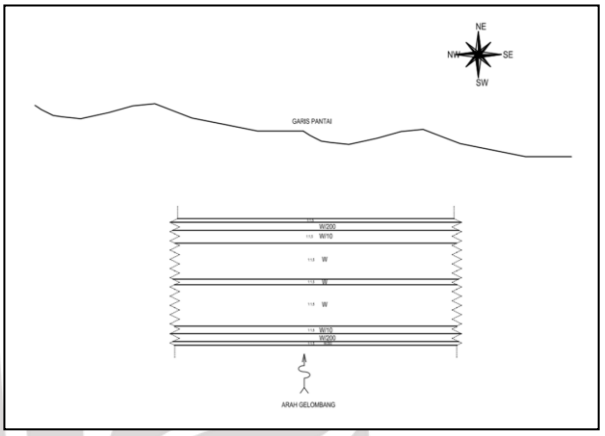
Desain Bangunan Pemecah Gelombang



Gambar 6 Desain Bangunan Pemecah Gelombang Sisi Miring Dimensi Melintang

keterangan :

B	= Lebar Puncak 0,9 m
t1	= Tebal Lapis Utama 0,9 m
t2	= Tebal Lapis Sekunder 0,6 m
L	= Lebar Pelindung Kaki 1,3 m
-H	= Elevasi gelombang -1,1943 m
EMWL	= Elevasi Mean Sea Level +1,0984 m
EDasar	= Elevasi Dasar Laut -3 m
EPuncak	= Elevasi Puncak 2,7 m
W	= Berat Batu Lapis Utama/Inti 0,148 ton
W/10	= Berat Batu Lapis Sekunder 0,0148 ton
W/200	= Berat Batu Inti 0,00074 ton



Gambar 7 Desain Bangunan Pemecah Gelombang Tampak Atas

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan analisis penelitian, hasil perencanaan bangunan pemecah gelombang pada Pantai Depok, Kecamatan Sleman, Kabupaten Bantul, Yogyakarta, dapat disimpulkan:

1. Nilai *Run Up* gelombang sebesar 1,337 m, tinggi kebebasan sebesar 0,3 m, serta elevasi *Mean Sea Level* (MSL) sebesar 1,0984 m, maka dapat ditentukan elevasi pemecah gelombang sebesar 2,7 m dan tinggi (H) bangunan pemecah gelombang sebesar 5,7 m.
2. Berat batu pelindung untuk bangunan pemecah gelombang ditentukan sebesar 0,1476 ton dengan jumlah batu pelindung untuk setiap satuan luas (10 m^2) sebanyak 58 butir.
3. Untuk lebar dan tebal lapis lindung bangunan pemecah gelombang utama sebesar 0,9 m
4. Untuk lebar lapis lindung sekunder bangunan pemecah gelombang sebesar 0,6 m.
5. Untuk lapis pelindung kaki bangunan pemecah gelombang memiliki tebal sebesar 0,4 m dan lebar sebesar 1,3 m.

Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, saran penelitian lebih lanjut guna mempertimbangkan dampak jika dibangun pemecah gelombang, seperti penumpukan sedimen di sekitar daerah dibangunnya pemecah

UNESA Universitas Negeri Surabaya

gelombang. Selain itu, perlu diketahui bangunan pemecah gelombang tersebut ekonomis dan efektif untuk dibangun dengan mempertimbangkan biaya yang digunakan. Perlu juga dilakukan analisa terhadap perkuatan bangunan pemecah gelombang serta mekanisme tanah di sekitar daerah penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Abda, M. K. (2019). Mitigasi Bencana Terhadap Abrasi Pantai Di Kuala Leuge Kecamatan Aceh Timur. *Jurnal Samudra Geografi*, *02*(01), 1–4.

Adi, A. P., Manik, H. M., & Pujiyati, S. (2017). Integrasi Data Multibeam Batimetri Dan Mosaik Backscatter Untuk Klasifikasi Tipe Sedimen. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, *7*(1), 77–84. https://doi.org/10.24319/jtpk.7.77-84

CERC (*Coastal Engineering Research Centre*), 1984, Shore Protection Manual, Dept.Of The Army, Washington DC.

Di, G., Glagah, P., & Progo, K. (2017). *Perencanaan Stabilitas Lapis Lindung Tertapond Pada Pemecah*. 40–49.

Dinyanti, S. (2021). Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember. *Digital Repository Universitas Jember*, *September 2019*, 2019–2022. http://id.wikipedia.org/wiki/angin

Imbar, S. E. J. (2020). Analisis Deformasi Gelombang Pada Pantai Minahasa Barat. *Jurnal Sipil Statik*, *8*(1), 65–70.

Jansen, T., Thambas, A. H., Teknik, F., Sipil, J., Sam, U., & Manado, R. (2021). *PERENCANAAN PEMECAH GELOMBANG (BREAKWATER) DI DAERAH PANTAI DESA SAONEK KABUPATEN RAJA AMPAT*. *9*(4), 717–724.

Manuel, A., Ihsan Jasin, M., & Mamoto, J. D. (2017). Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Pada Daerah Pantai Bulo Desa Rerer Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa. *Jurnal Sipil Statik*, *5*(6), 325–334. http://eprints.undip.ac.id/

Opa, E. T. (2011). Perubahan Garis Pantai Desa Bentenan Kecamatan Pusomaen, Minahasa Tenggara. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan Tropis*, *7*(3), 109. https://doi.org/10.35800/jpkt.7.3.2011.187

Purwoko, T, 2020, Abrasi Pantai Depok Bantul, iNewsYogya, Online, https://yogya.inews.id/berita/abrasi-pantai-depok-bantul-10-warung-terancam-ambruk

Triatmodjo, B, 1999, Teknik Pantai, Yogyakarta, Beta Offset.

Triatmodjo, B, 2010, Perencanaan Pelabuhan, Yogyakarta, Beta Offset.

Triatmodjo, B, 2012, Perencanaan Bangunan Pantai, Yogyakarta, Beta Offset.

Septian, M., Mursanto, A. D. I., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., & Surakarta, U. M. (2017). *Perencanaan bangunan pemecah gelombang pada pantai kuwaru, dusun kuwaru, desa poncosari, kecamatan srandakan, kabupaten bantul*.

Wigati, R., Priyambodho, B. A., & Sasmita, S. I. (2018). Perencanaan Pemecah Gelombang (Breakwater) Sisi Miring Di Pelabuhan Merak Dengan Menggunakan Batu Pecah Dan Tetrapod. *Jurnal Fondasi*, *7*(2). https://doi.org/10.36055/jft.v7i2.4078

Yuwono, Nur, 1982, Teknik Pantai Vol.2., Yogyakarta, UGM.

Yuwono, Nur, Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai, Yogyakarta, UGM.

UNESA Universitas Negeri Surabaya

UNESA
Universitas Negeri Surabaya