

**DESAIN *BREAKWATER* SISI MIRING SEBAGAI UPAYA MENGANTISIPASI
LIMPASAN AIR LAUT PADA BANGUNAN *REVTMENT*
DI PANTAI MALABERO KOTA BENGKULU**

Welendri Yannovita¹⁾, Besperi²⁾, Gusta Gunawan³⁾

¹⁾²⁾³⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNIB, Jl. W. R. Supratman,
Kandang Limun, Bengkulu 38371, Telp. (0736)344087
email: whellendrian20@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merencanakan bangunan pemecah gelombang dan berat batu lapis menggunakan batu pecah di Pantai Malabero Kota Bengkulu. Pengumpulan data dilakukan secara primer dan secara sekunder. Metode pengolahan data primer yang digunakan yaitu survei langsung di lapangan (H_s dan T_s) sedangkan data sekunder menggunakan metode analisis data angin, analisis data pasang surut dan topografi. Hasil dari perhitungan penelitian *breakwater* mempunyai elevasi puncak 5,55 m, lebar puncak 3,71 m pada bagian kepala dan 3,91 m pada bagian lengan. Berat unit lapis pelindung *breakwater* bagian kepala $W= 3,331\text{ton}$ $W/10= 331\text{kg}$ $W/200= 16\text{ kg}$ dan bagian lengan $W=3,87\text{ ton}$, $W/10= 387\text{ kg}$ $W/200= 19\text{ kg}$. Jumlah lapis pelindung tiap 10 m^2 sebanyak 13 buah untuk di kepala dan 12 buah untuk di lengan.

Kata kunci: pantai malabero, *breakwater*

Abstract

This research aims to design of sideways breakwater as an effort to anticipate the water overflow On The Revetment Building At Malabero Beach Bengkulu City. The data used is primary data and secondary data. Primary Data Processing Method Used in Field Direct Namely Collection (H_s and T_s), while the secondary data analysis method using wind data, analysis data tides and topography. The results of the breakwater have the elevation of 5,55m, width 3,71 m on the head and 3,91 m on the arms. Weight unit protective cover breakwater head $W=3,31\text{ tons}$, $W/10=331\text{ kg}$, $W/200=16\text{ kg}$ and the arms $W= 3,87\text{tons}$, $W/10= 387\text{ kg}$, $W/200= 19\text{ kg}$. With 13 and 12 slides of cover in each 10 m^2 on the head and arm.

Keywords: malabero beach, *breakwater*

PENDAHULUAN

Pantai Malabero telah banyak mengalami kerusakan berupa perubahan garis pantai akibat abrasi. Besarnya hempasan gelombang merupakan salah satu faktor penyebab mudahnya kawasan tersebut mengalami erosi dan *overtopping*. Permasalahan yang terjadi di kawasan tersebut perlu dicarikan solusi bagaimana upaya menghindari *overtopping* pada bangunan *revetment*, karena akibat adanya *overtopping* konstruksi akan mengalami gerusan pada bagian belakang yang mengakibatkan konstruksi menjadi labil bahkan hancur.

Pemerintah setempat telah berupaya untuk mencegah semakin besarnya kerusakan dan penyempitan wilayah daratan. Salah satu cara yaitu dengan menggunakan konstruksi pengaman pantai dalam bentuk konstruksi *revetment*, akan tetapi sudah mengalami kerusakan dan sedimentasi sehingga rawan mengalami *overtopping*.

Pada kajian ini peneliti tertarik mendesain bangunan pemecah gelombang pada lokasi dengan batu buatan *breakwater* menggunakan material batu alam di sejajar pantai.

Syahputra (2014) melakukan penelitian tentang analisis struktur bangunan *breakwater* tipe di Tapak Paderi Kota Bengkulu. Refi (2013) dengan menganalisis bangunan *breakwater* dengan menggunakan *armor* batu, *tetrapod*, dan *a-jack*. Handika (2017) melakukan penelitian tentang *redesign* bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) tipe campuran pantai sungai suci kabupaten Bengkulu tengah. Oleh sebab itu peneliti tertarik untuk melakukan perencanaan terhadap bangunan pengaman pantai yang sudah ada dengan menambahkan bangunan pemecah gelombang menggunakan *breakwater* sisi miring. Analisis dilakukan dengan memperhitungkan gaya alam seperti pasang

surut dan tinggi gelombang untuk mendapatkan desain yang ideal.

Pantai

Pantai adalah daerah perairan (laut atau danau yang dibatasi oleh surut terendah dan pasang tertinggi, sedangkan laut adalah daerah perairan yang dibatasi air surut sampai ke kedalaman tertentu. Ditinjau dari profil pantai, daerah ke arah pantai dari garis gelombang pecah dibagi menjadi tiga daerah yaitu *inshore*, *foreshore* dan *backshore* (Umar, 2011).

Konversi kecepatan angin

Angin yang berhembus diatas permukaan air akan memindahkan energi air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang tadinya tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil diatas permukaan air (Hariyoni dkk, 2013).

$$R_L = U_w/U_L \quad (1)$$

$$U_w = R_L U_L \quad (2)$$

$$U_A = 0,71 U_w^{1,23} \quad (3)$$

Keterangan:

R_L = Hubungan antara angin di darat dan di laut

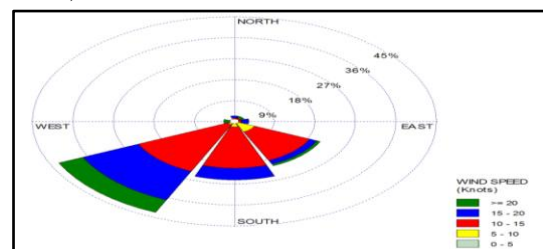
U_w = Kecepatan angin di darat (m/dt)

U_L = Kecepatan angin di laut (m/dt)

U_A = Faktor tegangan angin (m/dt)

Mawar angin

Mawar angin atau *wind rose* adalah diagram hasil pengelompokan angin dan arah angin setiap bulan selama beberapa tahun terakhir berdasarkan arah dan kecepatannya (Nadia, 2013).



Sumber: Aldin, 2015

Gambar 1. Mawar-Angin (*Wind Rose*)

Fetch

$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha} \quad (4)$$

Keterangan:

F_{eff} = *Fetch* rata – rata efektif (Panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*).

α = Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

Gelombang

Gelombang di laut bisa dibangkitkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), letusan gunung berapi atau gempa di laut (tsunami), dan lain sebagainya. Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai (Mamoto dkk, 2013).

Tabel 1. Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linear

Keterangan	Gelombang dilaut dangkal	Gelombang di laut transisi	Gelombang di laut dalam
d/L	$d/L \geq 1/2$	$1/20 < d/L < 1/2$	$d/L \leq 1/20$
Tanh (2 π d/L)	$\approx 2\pi d/L$	Tanh (2 π d/L)	≈ 1
Cepat rambat gelombang	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh \left[\frac{2\pi d}{L} \right]$	$C = C_0 = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Panjang Gelombang	$L = T\sqrt{gd}$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \left[\frac{2\pi d}{L} \right]$	$L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56T^2$

Sumber: Wireksoo, 2005

Refraksi gelombang

Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Di daerah dimana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, yaitu di laut dalam, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut. Tetapi di laut transisi dan dangkal, dasar laut mempengaruhi

gelombang (Zendrato, Terunajaya 2015) diberikan dengan rumus:

$$L_0 = 1,56 \times T^2 \quad (5)$$

Gelombang laut dalam ekuivalen

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen, yaitu tinggi gelombang di laut dalam apabila gelombang tidak mengalami refraksi. Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen diberikan oleh bentuk (Triadmodjo, 1999):

$$H'_0 = K_r H_0 \quad (6)$$

Keterangan:

H'_0 = Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen

H_0 = Tinggi gelombang laut dalam

K_r = Koefisien refraksi

Gelombang pecah

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pengaruh kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang (Syahputra, 2014).

Run-up dan run-down gelombang

Run up gelombang didefinisikan sebagai level pencapaian tertinggi gelombang laut pada sebuah struktur yang mempunyai permukaan miring, diukur secara vertikal dari muka air diam (*Still Water Level*, SWL). Sedangkan *run down* gelombang merupakan level pencapaian terendah gelombang laut pada sebuah struktur yang mempunyai permukaan miring, juga diukur secara vertikal dari muka air diam (Refi, 2013).

$$I_r = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{1/2}} \quad (7)$$

Keterangan:

I_r = Bilangan *Irribaren*

Θ = Sudut kemiringan struktur

H = Tinggi gelombang di lokasi bangunan

L_o = Panjang gelombang di laut dalam

Fluktuasi muka air laut

Elevasi muka air laut merupakan parameter sangat penting di dalam perencanaan bangunan pantai (Hariyoni dkk, 2013). Muka air laut berfluktuasi dengan periode yang lebih besar dari periode gelombang angin. Beberapa proses alam yang terjadi dalam waktu yang bersamaan membentuk variasi muka air laut dengan periode panjang. Hariyoni dkk, (2013) juga menjelaskan bahwa elevasi tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter yaitu pasang surut, *wave setup*, *wind set-up* dan kenaikan muka air laut karena pemanasan global.

Pasang surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut akibat adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi, Perubahan pasang surut seiring dengan perubahan posisi diantara ketiganya. (Wijaya dan Suntoyo, 2013).

Christina dan Putuhena, (2009) menjelaskan pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe, yaitu:

1. *Diurnal Tide* (Pasang Surut Harian Tunggal), yang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari satu malam (12 jam 24 menit).
2. *Semi Diurnal Tide* (Pasang Surut Harian Ganda), yaitu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari satu malam (kurang lebih 24 jam).
3. *Mixed Tide Prevailing Semi Diurnal* (Pasang Surut Campuran Condong Ke Harian Ganda) dalam satu hari terjadi dua kali pasangan dan dua kali surut.
4. *Mixed Tide Prevailing Diurnal* (Pasang Surut Campuran Condongan Ke Harian Tunggal)

Kenaikan muka air karena gelombang (*wave set up*)

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah, akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air diam di sekitar lokasi gelombang pecah. Kemudian dari titik dimana gelombang pecah permukaan permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai. Naiknya muka air laut disebut *wave set up*, sedangkan turunnya muka air laut dikenal dengan *wave set down* (Christina dan Putuhena, 2009).

Kenaikan muka air karena angin (*wind set up*)

Angin dengan kecepatan besar (badai) yang terjadi diatas permukaan laut bisa membangkitkan fluktuasi muka air laut yang besar di sepanjang pantai jika badai tersebut cukup kuat dan daerah pantai dangkal dan luas. Penentuan elevasi muka air rencana selama terjadinya badai adalah sangat kompleks yang melibatkan interaksi antara angin dan air, perbedaan tekanan atmosfer dan beberapa parameter lainnya. Perbedaan tekanan atmosfer selalu berkaitan dengan perubahan arah dan kecepatan angin; dan angin tersebut yang menyebabkan fluktuasi muka air laut (Zendrato, Terunajaya 2015).

Design Water Level (DWL)

Elevasi muka air rencana tergantung pada pasang surut, *wave set*, tsunami dan pemanasan global. Mengingat bahwa kemungkinan terjadinya secara bersamaan adalah sangat kecil. Selain itu kepentingan bangunan ini tidak sangat tinggi. Oleh karena itu elevasi muka air rencana hanya didasarkan pada pasang surut, *wave set-up* dan pemanasan global. Berikut adalah rumus mencari nilai DWL (Wijaya, 2015):

$$DWL = HWL + SW + \Delta h + SLR \quad (8)$$

Keterangan:

DWL = tinggi muka air rencana

HWL = *high water level* (muka air pasang tertinggi)

SLR = *sea level rise* (kenaikan muka air laut)

SW = *wave set-up*

Δh = kenaikan elevasi muka air

Pemecah gelombang lepas pantai

Pengurangan tenaga gelombang yang menghantam pantai dapat dilakukan dengan membangun pemecah gelombang sejajar pantai. Gelombang yang datang akan menghantam pemecah gelombang akan pecah pada suatu tempat agak jauh dari pantai, sehingga energy gelombang yang sampai di pantai cukup kecil (Hidayat, 2006).

Bangunan pengaman pantai

Bangunan pengaman pantai merupakan konstruksi yang dibangun sejajar atau tegak lurus dengan garis pantai yang berfungsi untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus. Hidayat (2006) menjelaskan bahwa bangunan laut dan pantai yang dibangun dapat digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus maupun untuk kepentingan lainnya seperti fasilitas untuk menarik wisatawan khususnya untuk daerah pantai wisata.

Klasifikasi bangunan

Sesuai dengan fungsinya, bangunan pantai dikelompokkan dalam tiga kelompok, yaitu (Triatmodjo, 2010 dalam Wijaya, 2015):

- a. Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai. Yang termasuk kelompok ini adalah dinding pantai (*revetment*).
- b. Konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan menyambung ke pantai. Yang termasuk kelompok ini adalah groin (*groyne*) dan *jetty*.
- c. Konstruksi yang dibangun lepas pantai dan kira-kira sejajar dengan garis pantai.

Yang termasuk kelompok ini yaitu pemecah gelombang (*breakwater*).

Revetment

Revetment adalah bangunan yang memisahkan daratan dan perairan pantai, yang terutama berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat. Daerah yang dilindungi adalah daratan tepat di belakang bangunan. Dinding pantai biasanya berbentuk dinding vertikal, sedang *revetment* mempunyai sisi miring. Bangunan ini ditempatkan sejajar atau hampir sejajar dengan garis pantai, dan bisa terbuat dari pasangan batu, beton, tumpukan pipa beton, turap, kayu atau tumpukan batu (Kakistina, 2009).

Breakwater

Pemecah gelombang adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan dari gangguan gelombang. Pemecah gelombang dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai. Tipe pertama digunakan untuk perlindungan perairan pelabuhan, sedangkan tipe kedua untuk perlindungan pantai terhadap erosi (Triatmodjo, 2008).

Material pembentuk *breakwater*

Material dalam pembuatan *breakwater* ada beberapa jenis yang bisa digunakan untuk membuat lapisan-lapisan, diantaranya adalah:

- a. Batu alam (*Querry Stone*)
Batu alam adalah bahan yang paling sering digunakan sebagai inti lapis pelindung karena tidak memerlukan pencetakan seperti pada batu lapis pelindung buatan. (Refi, 2013).
- b. Pelindung buatan (*Artificial Armour Unit*)
Batu alami kadang-kadang susah didapat dengan massa yang berat dalam jumlah yang sangat banyak, untuk mengatasinya maka dibuat batu buatan

(*artificial*) dari beton dengan bentuk tertentu. Batu buatan ini bisa juga berupa *tetrapod*, *tribar*, *hexapod*, *dolos*, *A-jack*, dan sebagainya (Refi, 2013).

Pasang surut air laut

Menurut Pariwono (1989), fenomena pasang surut diartikan sebagai naik turunnya muka laut secara berkala akibat adanya gaya tarik benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi. Sedangkan menurut Dronkers (1964) pasang surut laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan.

METODE PENELITIAN

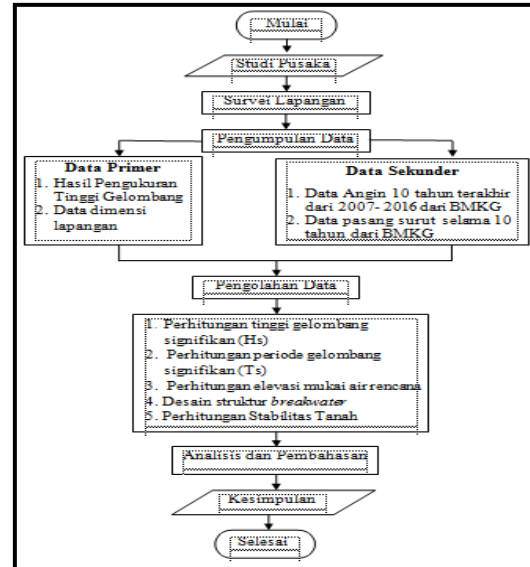
Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pantai Malabero Kota Bengkulu.

Pengumpulan data

- Data primer berupa data tinggi gelombang dan dimensi bangunan lama.
- Data sekunder berupa data angin BMKG selama 10 tahun dari tahun 2007-2016, data pasang surut 10 tahun dan peta topografi.

Tahapan pelaksanaan penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan struktur

Analisis berat lapis lindung *breakwater* menggunakan batu alam

Analisis berat batu lindung untuk bagian ujung atau kepala bangunan *breakwater* dengan keadaan gelombang belum pecah (2,69 meter).

(menggunakan beton batu pecah):

Lapisan pelindung luar:

$$W = \frac{2,65 \times 2,69^3}{2 \times \left(\frac{2,65}{1,03} - 1\right)^3 \times 2} = 3,31 \text{ ton}$$

Lapisan pelindung kedua:

$$\frac{W}{10} = \frac{3,31}{10} = 0,331 \text{ ton} = 331 \text{ kilogram}$$

Berat batu lapis inti (core):

$$\frac{W}{200} = \frac{3,31}{200} = 0,016 \text{ ton} = 16 \text{ kilogram}$$

Perhitungan berat lapis lindung *breakwater* bagian lengan

Analisis berat batu lindung untuk bagian lengan atau badan bangunan *breakwater* dengan keadaan gelombang sudah pecah (3,17 meter).

Lapisan pelindung luar:

$$W = \frac{2,65 \times 3,17^3}{2,8 \times \left(\frac{2,65}{1,03} - 1\right)^3 \times 2} = 3,87 \text{ ton}$$

Lapisan pelindung kedua:

$$\frac{W}{10} = \frac{3,87}{10} = 0,387 \text{ ton} = 387 \text{ kilogram}$$

Berat batu lapis inti (*core*):

$$\frac{W}{200} = \frac{3,87}{200} = 0,019 \text{ ton} = 19 \text{ kilogram}$$

$$\begin{aligned} \text{Elevasi} &= \text{HWL} + R_u + 0,5 \\ &= 1,5 + 3,55 + 0,5 \\ &= 5,55 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{bangunan}} &= \text{Elevasi}_{\text{puncak bangunan}} - \text{Elevasi}_{\text{dasar laut}} \\ &= +5,55 - (-3,5) \\ &= 9,05 \text{ m} \end{aligned}$$

Analisis lebar puncak

Bagian ujung atau kepala :

$$B = n \times K_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} = 3 \times 1,15 \left[\frac{3,31}{2,65} \right]^{\frac{1}{3}} = 3,71 \text{ m}$$

Bagian lengan atau badan :

$$B = n \times K_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} = 3 \times 1,15 \left[\frac{3,87}{2,65} \right]^{\frac{1}{3}} = 3,91 \text{ m}$$

Jadi lebar puncak *breakwater* adalah 3,71 m untuk bagian ujung atau kepala, dan 3,91 m untuk bagian lengan atau badan.

Analisis tebal lapis lindung

Lapisan pelindung luar:

$$t = n \times K_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} = 2 \times 1,15 \left[\frac{3,31}{2,65} \right]^{\frac{1}{3}} = 2,48 \text{ m}$$

Lapisan pelindung kedua:

$$t = n \times K_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} = 2 \times 1,15 \left[\frac{0,331}{2,65} \right]^{\frac{1}{3}} = 1,15 \text{ m}$$

Pelindung kaki

Pelindung kaki berfungsi untuk melindungi tanah pondasi terhadap erosi yang timbul oleh serangan gelombang besar. Batu

pelindung terdiri dari batu pecah dengan berat sebesar $W/10$. Perhitungan sebelumnya didapat berat lapis pelindung utama bagian kepala dengan lengan masing-masing 3,31 ton dan 3,87 ton.

1. Berat batu pelindung kaki untuk bagian kepala:

$$\frac{W}{10} = \frac{3,31}{10} = 0,331 \text{ ton} = 331 \text{ kg}$$

2. Berat batu pelindung kaki untuk bagian lengan:

$$\frac{W}{10} = \frac{3,87}{10} = 0,387 \text{ ton} = 387 \text{ kg}$$

3. Lebar pelindung kaki dapat dihitung dengan rumus:

$$B = 2 \times H$$

Perhitungan lebar kaki bagian kepala:

$$\begin{aligned} B &= 2 \times 2,69 \\ &= 5,38 \text{ meter} \end{aligned}$$

Perhitungan lebar pelindung kaki bagian lengan:

$$\begin{aligned} B &= 2 \times 3,17 \\ &= 6,34 \text{ meter} \end{aligned}$$

4. Perhitungan tinggi pelindung kaki bagian kepala

$$\begin{aligned} T &= 2 \times 1,02 \left[\frac{3,31}{2,65} \right]^{\frac{1}{3}} \\ &= 2,19 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= 2 \times 1,02 \left[\frac{3,87}{2,65} \right]^{\frac{1}{3}} \\ &= 2,31 \text{ m} \end{aligned}$$

Analisis jumlah batu lindung bagian kepala bangunan *breakwater*

$$N = 10 \times 2 \times 1,15 \left[1 - \frac{37}{100} \right] \times \left[\frac{2,65}{3,31} \right]^{\frac{2}{3}} = 12,5 \approx 13$$

Analisis jumlah batu lindung bagian lengan atau badan bangunan *breakwater*

$$N = 10 \times 2 \times 1,15 \left[1 - \frac{37}{100} \right] \times \left[\frac{2,65}{3,87} \right]^{\frac{2}{3}} = 11,26 \approx 12$$

Jadi, hasil perhitungan jumlah butir tiap satuan luas 10 m^2 adalah 13 butir untuk

bagian ujung atau kepala, dan 12 butir untuk bagian lengan atau badan.

Stabilitas struktur

Perhitungan gaya gelombang dinamis:

$$\begin{aligned} R_m &= \frac{1}{2} \times \gamma_a \times d_s \times H_b \\ &= \frac{1}{2} \times 1,03 \times 2,69 \times 3,17 \\ &= 4,39 \text{ ton} \end{aligned}$$

Momen gaya gelombang dinamis:

$$\begin{aligned} M_m &= R_m \times (d_s + H_b/2) \\ &= 4,39 \times (2,69 + 3,17/2) \\ &= 18,77 \text{ tm} \end{aligned}$$

Perhitungan gaya hidrostatik

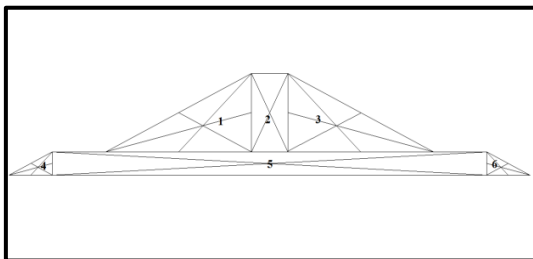
Gaya gelombang dinamis:

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{1}{2} \times \gamma_a \times (d_s + H_b)^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,03 \times (2,69 + 3,17)^2 \\ &= 17,68 \text{ ton} \end{aligned}$$

Momen gaya hidrostatik:

$$\begin{aligned} M_s &= \frac{1}{6} \times \gamma_a \times (d_s + H_b)^3 \\ &= \frac{1}{6} \times 1,03 \times (2,69 + 3,17)^3 \\ &= 34,54 \text{ tm} \end{aligned}$$

Perhitungan gaya dan momen



Gambar 3. Gambar gaya yang bekerja pada *breakwater*

Tabel 4.7 Perhitungan Gaya Dan Momen Yang Terjadi (Kepala)

GAYA	LUAS (m ²)	V (ton)	H (ton)	LENGAN (m)	MV (ton m)	MH (ton m)
1	47.06	124.71		19.57	2440.53	
2	25.45	67.44		26.34	1776.48	
3	47.06	124.71		33.10	4127.83	
4	4.80	12.71		2.92	37.1122	
5	96.16	254.83		26.34	6712.27	
6	4.80	12.71		49.75	632.306	
R _s			17.68			34.54
R _m			4.39			18.77
Jumlah		597.11	22.07		15726.5	53.31

Keterangan:

V : Gaya vertikal akibat berat sendiri
(V = luas x γ batu)

H : Gaya horizontal

MV : Momen vertikal (MV = V x lengan)

MH : Momen horizontal

Kontrol stabilitas keseluruhan konstruksi

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas Guling} &= \frac{\sum MV}{\sum MH} > 2 \\ &= \frac{15726,5}{53,31} = 295 > 2 \text{ OKE!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas Geser} &= \frac{\sum V \times \mu_s}{\sum H} > 1,5 \\ &= \frac{597,11 \times 0,4}{22,07} = 10,82 > 1,5 \text{ OKE!} \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari data hasil penelitian mengenai perancangan *breakwater* sisi miring sebagai upaya mengantisipasi limpasan air laut pada bangunan *revetment* di pantai malabero yaitu hasil perhitungan *breakwater* menggunakan batu pecah mempunyai elevasi puncak 5,55 m, lebar puncak 3,71 m pada bagian kepala dan 3,91 m pada bagian lengan. Berat unit lapis pelindung *breakwater* batu pecah bagian kepala W=3,31 ton, W/10= 331 kg, W/200= 16 kg dan bagian lengan W=3,87 ton, W/10= 387 kg, W/200= 19 kg. Perencanaan ini telah memenuhi syarat stabilitas terhadap bahaya guling sebesar 295 > 2 dan geser sebesar 10,82 > 1,5.

DAFTAR PUSTAKA

- Christina, J., dan Putuhena, M, V. 2009. *Stability Evaluation of Sea Wall Construction at Erie Village Location Nusaniwe District Amboina City*. Jurnal Teknologi. Vol.6, No.2. UKIM. Ambon.
- Dronkers, J.J. 1964. *Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.

- Hariyoni., Sisinggih, D., dan Marsudi, S. 2010. **Studi Perencanaan Bangunan Pengendalian Akresi dan Abrasi di Pantai Tanjungwangi Kabupaten Banyuwangi**. Jurnal Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya, Malang.
- Hidayat, N. 2006. **Konstruksi Bangunan Laut dan Pantai sebagai Alternatif Perlindungan Daerah Pantai**. Jurnal SMARTek. Vol.4. No.1. Universitas Tadulako, Palu.
- Mamoto, J. D., Jasin, M, I, dan Tawas, H, J. 2013. **Perencanaan Jetty di Muara Sungai Ranoyapo Amorang**. Jurnal Sipil Statik. Vol.1. No.6. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Nadia, P. 2013. **Analisis Pengaruh Angin terhadap Tinggi Gelombang pada Struktur Bangunan *Breakwater* di Tapak Paderi Kota Bengkulu**. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil. Universitas Bengkulu.
- Pariwono, J.I. 1989. **Gaya Penggerak Pasang Surut dalam Pasang Surut**. Ed. Ongkosongo, O.S.R. dan Suyarso. Jakarta: P3O-LIPI.
- Refi, A. 2013. **Analisis *Breakwater* Pelabuhan Teluk Bayur dengan Menggunakan Batu Alam, *Tetrapod*, dan *A-Jack***. Jurnal Momentum, Volume 15. No. 2. Institut Teknologi Padang.
- Syahputra, D. 2014. **Analisis Struktur Bangunan *Breakwater* Tipe Campuran (Studi Kasus di Tapak Paderi Kota Bengkulu)**. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Bengkulu.
- Triatmodjo, B. 1999. **Teknik Pantai**. Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2010. **Perencanaan Bangunan Pantai**. Beta Offset, Yogyakarta.
- Umar. 2011. **Kajian Pengaruh Gelombang terhadap Kerusakan Pantai Matang Danau Kabupaten Sambas**. Jurnal Teknik Sipil Untan. Vol.2. No.2. Universitas Tanjungpura.
- Wijaya, H. T. 2015. **Analisis Bangunan Revetment yang Ekonomis untuk Samudera Lepas (Studi Kasus Pantai Pondok Kelapa Bengkulu Tengah)**. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- Wijaya, H. G., dan Suntoyo, W. 2013. **Studi Perlindungan *Pipeline* PT. Pertamina Gas di Pesisir Indramayu, Jurnal Teknik Pomits**. Vol.2. No.2. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wirekso, U.L., dan Inayah, N. 2005. **Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai di Daerah Mundu-Balongan (dengan Menggunakan Bantuan Program Genesis)**. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Diponegoro.
- Zendrato, N.L.H., Terunajaya. 2015. **Analisis Efektivitas Penggunaan *Breakwater* dengan Lapis Pelindung Bambu dan *Tetrapod* untuk Mereduksi Energi Gelombang Laut di Pelabuhan Kuala Tanjung**. Jurnal Teknik Sipil. Universitas Sumatera Utara, Medan.

