

**ANALISIS BREAK WATER PADA PELABUHAN TELUK BAYUR  
DENGAN MENGGUNAKAN BATU ALAM, TETRAPOD, DAN A-JACK**

**OLEH:**

**Ahmad Refi  
Dosen Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Padang**

---

**ABSTRAK**

Setelah kejadian gempa pada September 2009, propinsi Padang Sumatera Barat terus berbenah memperbaiki sarana dan prasarana daerahnya, diantaranya fasilitas Pelabuhan. Sebagai propinsi yang maju serta berkembang dengan potensi sumber daya alam yang berlimpah baik dalam bentuk curah cair (*Curde Palm Oil, CPO*) maupun curah kering (*Batu Bara, Biji Besi, Semen dll*), PT. Pelabuhan Indonesia II (Persero) selaku Badan Usaha Negara (BUMN) yang ditunjuk oleh pemerintah untuk mengolah serta mengembangkan fasilitas Pelabuhan secara maksimal. Terdapat banyak fasilitas yang sedang atau akan dibangun di Pelabuhan tersebut salah satunya akan dibangun *breakwater* untuk menahan/meredam gelombang serta meminimalisir sedimentasi yang akan masuk ke kolam pelabuhan.

Kajian ini membahas tentang *breakwater* di Pelabuhan Teluk Bayur dengan bentuk *breakwater* sisi miring (*breakwater rubblemound*). Dalam Kajian ini, digunakan tiga macam armor pada lapisan armornya, yaitu batu, tetrapod, dan A-Jack. Hasilnya menunjukkan bahwa armor batu memiliki berat yang paling besar daripada armor tetrapod dan A-Jack. Selain itu desain *breakwater* dengan menggunakan lapisan armor batu memiliki elevasi puncak *breakwater* yang paling besar dibandingkan dengan *breakwater* yang menggunakan lapisan armor tetrapod atau A-Jack. Tinggi run up pada batu yang lebih besar akan menjadikan elevasi puncak dari *breakwater* dengan armor batu lebih besar dari kedua jenis armor lainnya.

Kata Kunci : *Breakwater, Armor, Rubblemound*

---

### 1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data statistik pertumbuhan ekonomi Indonesia meningkat dengan pesat. Banyak propinsi dengan sumberdaya yang potensial salah satunya adalah Sumatera Barat. Untuk menunjang pertumbuhan ekonomi tersebut, diperlukan sarana-sarana penunjang seperti pelabuhan dikarnakan pelabuhan merupakan pintu gerbang perekonomian suatu daerah. Pelabuhan yang berperan penting dalam pertumbuhan ekonomi Sumatera Barat salah satunya adalah Pelabuhan Teluk Bayur. Pelabuhan Teluk Bayur merupakan salah satu pelabuhan laut yang berada di Propinsi Sumatera Barat yaitu di kota Padang. Pelabuhan ini telah beroperasi semenjak penjajahan Belanda pada tahun 1888 sampai saat ini. Sehingga pelabuhan ini telah mampu meningkatkan pertumbuhan perekonomian daerah khususnya kota Padang. Pemanfaatan Pelabuhan Teluk Bayur sampai saat ini relatif banyak sebagai pelabuhan laut diantaranya adalah untuk transportasi batubara, semen, minyak mentah sawit (CPO), container dan barang. Sebagai respon dan komitmen terhadap pertumbuhan ekonomi tersebut, Pelabuhan Teluk Bayur telah melakukan penataan serta pengembangan fasilitas pelabuhan baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang yang tertuang dalam Masterplan 2004 dan yang akan dikembangkan pada Masterplan tahun 2012 dimana akan terdapat penataan serta penzoningan kawasan berdasarkan komoditi dalam jangka panjang. Dalam penataan serta pengembangan fasilitas pelabuhan tersebut salah satu elemen yang sangat penting ialah bangunan pemecah gelombang dalam hal ini BREAKWATER. Dimana fungsi breakwater adalah bangunan penahan/meredam gelombang yang akan masuk kedalam kolam dan alur pelabuhan.

Pada Kajian ini akan direncanakan *breakwater* sebagai bangunan pemecah gelombang untuk penunjang pengembangan

fasilitas Pelabuhan Teluk Bayur. Analisis yang dilakukan memperhitungkan berbagai gaya alam yang terdapat di sekitar pantai seperti pasang surut dan gelombang.

### 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang, maka secara khusus permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara penanggulangan masalah yang berhubungan dengan gelombang diarea kolam dan alur pelabuhan berkaitan terhadap penataan dan pengembangan Pelabuhan Teluk Bayur.
2. Berapa dimensi dari bangunan penahan gelombang *Breakwater* yang direncanakan berdasarkan kebutuhan
3. Jenis material yang direncanakan dalam pembangunan *Breakwater* tersebut.

### 1.3 Maksud dan Tujuan

Tujuan dari Kajian ini adalah untuk mendesain *breakwater* di Pelabuhan Teluk Bayur sebagai salah satu pendukung dalam penataan serta pengembangan Pelabuhan Teluk Bayur bertitik terhadap keamanan dari segi gelombang dan sedimentasi di sekitar alur dan kolam pelabuhan. Sebelum mendesain, terlebih dahulu dilakukan analisis gaya-gaya di sekitar pantai terhadap bentuk dan dimensi *breakwater* yang akan dibangun.

### 1.4 Manfaat

Dengan kondisi pantai yang terpengaruh terhadap gelombang dimana sangat berdampak terhadap kestabilan alur dan kolam serta sedimentasi yang ditimbulkan oleh pola arus, maka perlunya perlindungan terhadap alur dan kolam pelabuhan dengan direncanakan dimensi konstruksi bangunan pemecah gelombang *Breakwater*, sehingga diharapkan dengan adanya bangunan perlindungan ini kolam dan alur

pelabuhan akan lebih aman dari gelombang dan sedimentasi.

### 1.5 Batasan Masalah

Untuk membatasi pembahasan pada Kajian ini, maka penyusun hanya berfokus terhadap “ Perhitungan Dimensi Konstruksi Bangunan Pemecah Gelombang (*Breakwater*) dan dalam rancangan tersebut akan meliputi hal-hal berikut :

1. Menyiapkan data-data yang diperlukan, meliputi :
  - a. Data batimetri
  - b. Data lingkungan
  - c. Data gelombang
2. Desain *breakwater* dengan menggunakan metode *rubblemound*.

### 1.6 Metodologi Penulisan

Dalam proses penyusunan laporan ini, berbagai macam data yang dibutuhkan dikumpulkan dengan berbagai metode, antara lain :

#### 1. Studi pustaka

Studi pustaka dilakukan terkait dengan pemahaman konsep dari seluruh rangkaian hal yang dibahas dalam Kajian ini.

#### 2. Studi peta

Studi peta dilakukan terkait dengan *input* data yang dibutuhkan dalam pemodelan dengan menggunakan data batimetri dari lokasi yang ditinjau.

#### 3. Studi dokumen proyek

Dokumen proyek digunakan sebagai sumber data untuk proses analisis seperti *layout* (peta) dan data lingkungan

### **Breakwater Sisi Miring**

Pada *breakwater* sisi miring, energi gelombang diredam secara gravitasi karena gelombang pecah baik di permukaan batu atau melalui celah-celahnya. *Breakwater* sisi miring dibuat dengan tumpukan batu alam atau material buatan (*artificial*). *Breakwater* sisi miring

dilindungi oleh beberapa lapis pelindung. Lapisan-lapisan pelindung ini dapat disesuaikan ukuran materialnya sehingga dapat lebih ekonomis. Umumnya terdapat tiga lapisan utama pada *breakwater* jenis ini yaitu :

#### 1. Lapisan armor (*armour layer*)

Lapisan ini merupakan lapisan terluar yang berfungsi sebagai penahan langsung serangan gelombang yang datang.

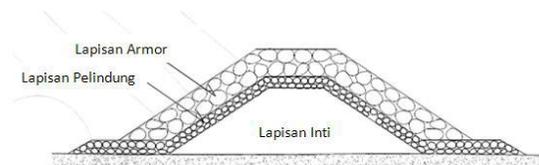
#### 2. Lapisan pelindung (*under layer / filter layer*)

Lapisan ini terletak dibawah dari armor layer. Fungsi utama dari lapisan ini adalah memperkuat daya tahan lapisan terluar, menyerap energi gelombang dan juga menjaga agar material pada lapisan dibawahnya (lapisan inti) tidak terlempar keluar oleh gelombang yang masuk melalui celah lapisan terluar.

#### 3. Lapisan inti (*core layer*)

Lapisan inti ini terletak di bagian paling dalam dari lapisan *breakwater* sisi miring. Lapisan inti diisi dengan pasir dan batu-batu dengan ukuran kecil.

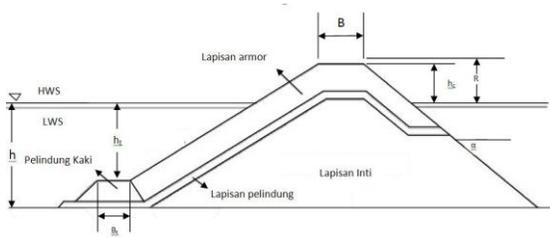
**Gambar 2-1** dibawah ini menunjukkan ilustrasi mengenai lapisan-lapisan yang terdapat pada *breakwater* sisi miring



**Gambar 2-1** Lapisan pada *Breakwater* sisi miring

### 2.2.1 Potongan Melintang *Breakwater* Sisi Miring

**Gambar 2.2** di bawah ini adalah potongan melintang dari *breakwater* sisi miring



**Gambar 2-2** Potongan Melintang Breakwater Sisi Miring

Keterangan :

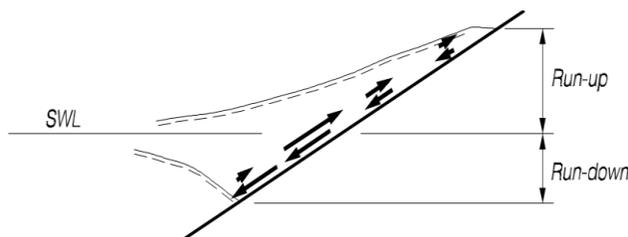
$h$  : kedalaman perairan relatif terhadap muka air  
 $h_c$  : tinggi puncak *breakwater* relatif terhadap muka air

$R$  : tinggi permukaan bebas relatif terhadap muka air

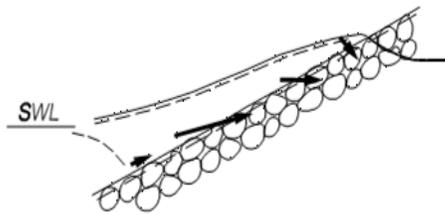
**Run Up dan Run Down Gelombang**

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.

Besarnya rayapan gelombang pada *breakwater* diperlukan sebagai salah satu parameter untuk menentukan ketinggian *breakwater* dan untuk menentukan kestabilan unti armor pada lapisan utama. Run up dan run down gelombang secara lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 2-4** dan **2-5** di bawah ini.



**Gambar 2-3** Ilustrasi Run Up dan Run Down Gelombang



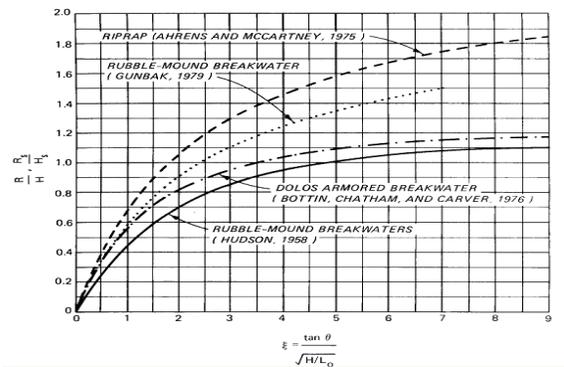
**Gambar 2-4** Run up dan run down pada permukaan yang kasar

Parameter similitas pantai atau bilangan Iribaren didefinisikan sebagai berikut :

$$\xi = \frac{\tan \theta}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}}$$

- $\xi$  : parameter similitas pantai
- $\theta$  : sudut kemiringan sisi *breakwater*
- $H$  : tinggi gelombang di lokasi bangunan
- $L_0$  : panjang gelombang di laut dalam

Run up gelombang pada struktur juga bergantung pada jenis gelombang pecah (*wave breaking*). Dari parameter similitas pantai, run up gelombang dapat ditentukan melalui grafik di bawah ini (**Gambar 2-6**).



**Gambar 2-5** Grafik Run Up terhadap Parameter Similitas Pantai

Grafik diatas dipakai untuk menentukan run up gelombang untuk berbagai jenis material yang digunakan untuk membentuk lapisan-lapisan pada *breakwater*. Material pembentuk

*breakwater* akan dijelaskan pada subbab di bawah ini.

#### 2.2.4 Material Pembentuk *Breakwater*

Dalam pemilihan material untuk bangunan, ada beberapa hal yang menjadi pertimbangan, antara lain sebagai berikut :

a. Karakteristik material

Meliputi *specific gravity*, kekuatan material, daya tahan terhadap beban gelombang yang berulang, tahan terhadap perkaratan (korosi) dan fleksibilitas terhadap kekuatan tarik dan tekan.

b. Durabilitas dan adaptibilitas material

Durabilitas adalah kemampuan relatif lamanya waktu suatu material dapat bertahan pada lingkungan tempat material tersebut berada..

c. Ketersediaan material

Tipe *breakwater* yang akan digunakan ditentukan oleh ketersediaan material di dekat lokasi pekerjaan. Ketersediaan material di tempat yang jauh dari lokasi akan membutuhkan biaya pengangkutan material yang lebih besar

d. Biaya material

Meliputi biaya satuan material, biaya pengangkutan ke lokasi dan biaya perawatannya. Beberapa jenis material yang biasanya digunakan dalam pekerjaan konstruksi antara lain adalah pasir, batu, semen, aspal, baja, kayu, plastik (*fiber*) dan geotekstil. Untuk pembuatan *breakwater*, ada beberapa jenis material yang bisa digunakan untuk membuat lapisan-lapisan pada bagian *breakwater*, diantaranya adalah batu alam, dan batu buatan (*artificial*).

##### 1. Batu alam (*quarry stone*)

Batu alam adalah bahan yang paling sering digunakan sebagai inti lapis pelindung karena tidak memerlukan pencetakan seperti pada batu lapis pelindung buatan. Mengingat jumlah yang diperlukan sangat besar maka ketersediaan batu di sekitar lokasi pekerjaan harus diperhatikan. Ketersediaan batu dalam jumlah besar dan biaya

pengangkutan dari lokasi batu ke lokasi proyek yang ekonomis akan mengarahkan pada pemilihan *breakwater* tipe tumpukan batu.



**Gambar 2-6** *Breakwater* dengan lapisan pelindung menggunakan batu alam  
Arsip Indonesia Port Corporation (IPC)

##### Unit batu lapis pelindung buatan (*artificial armour unit*)

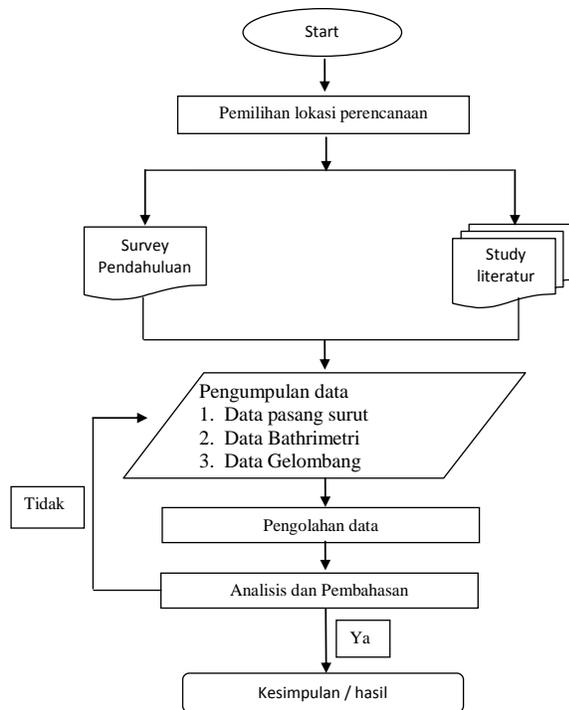
Kadang-kadang sulit untuk mendapatkan batu dengan massa yang berat dalam jumlah yang sangat banyak. Untuk mengatasinya maka dibuat batu buatan (*artificial*) dari beton dengan bentuk tertentu. Batu buatan ini bisa berbentuk sederhana (kubus) yang memerlukan berat yang cukup besar, atau bentuk kubus yang lebih ringan tetapi lebih mahal dalam pembuatannya. Batu buatan ini bisa juga berupa tetrapod, tribar, hexapod, dolos, A-jack, dan sebagainya.



**Gambar 2-7** Breakwater dengan lapisan pelindung menggunakan batu buatan (bton cyclop), Arsip Indonesia Port Corperation (IPC)

**Tahap Penelitian**

Tahapan penelitian dimulai dengan mempelajari kondisi eksisting berdasarkan masterplan yang akan dikembangkan dalam jangka panjang. Selanjutnya mempelajari literature yang berkaitan dengan permasalahan. Melakukan survey pendahuluan yang bertujuan untuk menentukan wilayah survey dan mencari data-data eksisting yang dibutuhkan dalam seperti data pasang surut, data gelombang dan data bathrimetri dimana data tersebut berkaitan erat terhadap bangunan yang akan direncanakan seperti dimensi, elevasi serta material yang akan digunakan,. Selanjutnya, sistematika penelitian dapat dilihat pada diagram berikut ini :

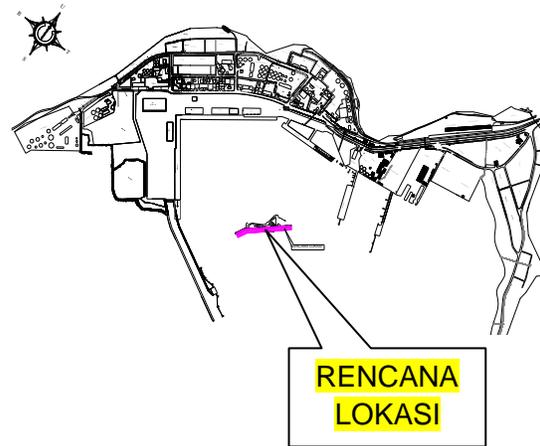


**Gambar 3.4 :** Flowchart kegiatan

**Umum**

Breakwater yang akan didesain pada Kajian ini merupakan breakwater yang berfungsi sebagai pelindung kolam pelabuhan dari gelombang yang timbul serta menahan sedimentasi yang berasal dari arus balik atau putar sehingga melindungi dapat melindungi kapal dalam melakukan aktifitas bongkar muatannya.

**Gambar 4.1** dibawah ini memperlihatkan layout dari breakwater tersebut, Arsip Indonesia Port Corperation (IPC)



**Kondisi Lingkungan**

Sebelum mendesain *breakwater*, perlu diketahui terlebih dahulu kondisi lingkungan di daerah sekitar pembangunan *breakwater*. Kondisi lingkungan yang dibutuhkan adalah elevasi muka air dan gelombang.

1. Elevasi Muka Air

Faktor utama yang berpengaruh terhadap elevasi muka air di sekitar *breakwater* adalah elevasi pasang surut. Berdasarkan data pasang surut yang telah dipaparkan pada Bab 3 diketahui elevasi muka air penting sebagai berikut :

**Tabel 4-1** Elevasi Penting Akibat Pasang Surut

Nilai Elevasi Penting diikatkan Pada LWS (Cm)			
Highest water Spring (HWS)	223.98	Jmlh. kejadian	1
Mean highest water Spring	202.96	Jmlh. kejadian	493
Mean highest water Level	160.01	Jmlh. kejadian	14303
Mean Sea Level (MSL)	97.53	Jmlh. kejadian	175320
Mean Low Water Level (MLWL)	36.32	Jmlh. kejadian	14303
Mean Low Water Spring	14.29	Jmlh. kejadian	493
Lowest Water Level (LWS)	0	Jmlh. kejadian	1
Tanggung Pasang	110.56	Jmlh. kejadian	

Untuk desain digunakan acuan LWS, dalam hal ini bernilai 0.97 m dari MSL, atau berjarak 2.23 m dari HWS.

2. Gelombang

Data gelombang yang akan digunakan dalam desain merupakan data gelombang hasil pengolahan yang didapat dari Stasiun Metereologi Maritim Teluk Bayur berdasarkan simulasi pemodelan CGWAVE yang telah memperhitungkan proses transformasi gelombang sekitar pantai.

Data gelombang ini diambil dari simulasi terhadap empat arah gelombang dominan yang paling berpengaruh terhadap struktur *breakwater*. Berikut diberikan data gelombang.

Tabel 4-2 Tabel Gelombang

kedalaman Breakwater (m)	tinggi gelombang per arah (m)				gelombang rencana (m)
	south south west	south west	west south west	west	
0	0	0	0	0	0
-1	0.67	0.67	0.67	0.66	0.67
-2	1.31	1.31	1.31	1.3	1.31
-3	1.95	1.94	1.95	1.95	1.95
-3.5	2.27	2.27	2.3	2.24	2.3

(Sumber, BMKG Maritim Teluk Bayur)

suatu gelombang monokromatik yang bergerak dengan kecepatan jalar (C) di air dengan kedalaman (d). Dalam gambar tersebut juga ditunjukkan tinggi gelombang (H), dan panjang gelombang (L), periode gelombang dapat ditentukan dengan persamaan :

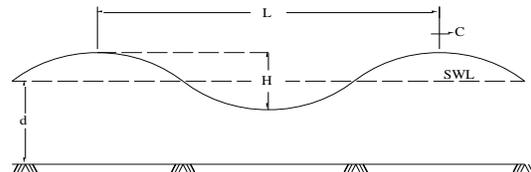
$$T = \frac{L}{C}$$

Dimana :

T = Periode (dt)

L = Panjang gelombang (m)

C<sub>1</sub> = Kecepatan rambat gelombang (m/dt)

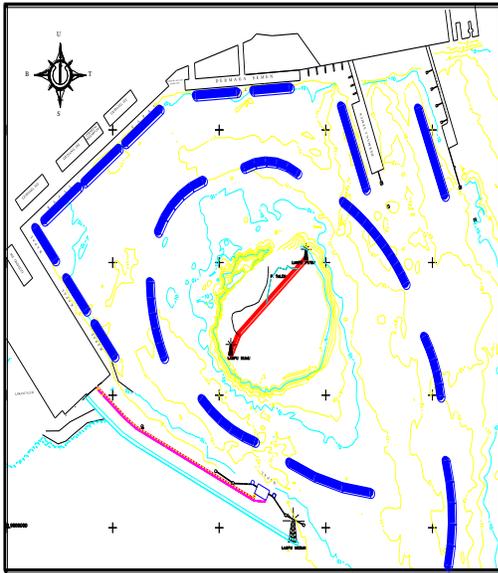


3. Data Bathrimetri

Data Bathrimetri yang akan digunakan dalam desain merupakan data bathrimetri yang didapat dengan menggunakan alat Ekosounding hasil pengolahan yang didapat berupa angka-angka dengan draft dasar laut dan dapat juga dilihat pola gerak alur berdasarkan kontur dasar laut dan untuk menentukan kedalaman dari struktur bangunan *breakwater*.



Gambar 4.2, hasil peta Bathrimetri, Arsip Indonesia Port Cooperation (IPC)



**Gambar 4.3,** Pola gerak Kapal dan Arus, Arsip Indonesia Port Corperation (IPC)

### 4.3 Desain Struktur Breakwater

#### 4.3.1 Struktur Offshore Breakwater

##### a. Kemiringan Lereng Struktur ( $\theta$ )

Offshore breakwater ini dibuat dengan cara menumpukan bebatuan sehingga terbentuk breakwater, karena breakwater dibangun dengan cara tersebut maka kemiringan lereng struktur akan menentukan kekuatan dan stabilitas dari struktur tersebut. Semakin landai lereng struktur maka breakwater tersebut akan semakin kuat, dan begitu juga sebaliknya.

##### b. Material yang digunakan

Material yang digunakan dalam pembangunan breakwater ini antara lain :

##### Armor

Armor yang digunakan dalam desain breakwater ini ada tiga alternatif, yaitu batu, tetrapod, dan A-Jack.

##### Lapisan Pelindung 1

Material yang digunakan untuk lapisan pelindung 1 adalah batu untuk ketiga jenis armor yang berada di atasnya.

##### Lapisan Pelindung 2

Material yang digunakan untuk lapisan pelindung 2 adalah sama seperti lapisan pelindung 1 yakni batu, namun dengan ukuran/berat yang lebih kecil dibandingkan dengan batu di lapisan pelindung 1

##### Lapisan Inti

Material yang digunakan untuk lapisan inti adalah batu dengan berat yang paling kecil dibandingkan dengan batu di lapisan pelindung 1 dan 2. Pada lapisan ini, batu-batu tersebut akan dibungkus dengan geotube agar batu tidak mudah tergerus air.

Breakwater dibangun dengan menumpukan bebatuan dengan berat tertentu berdasarkan tinggi gelombang rencana. Berat armor breakwater dihitung dengan formula Hudson, yaitu:

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

dimana:

W	:	Berat Armor
w <sub>r</sub>	:	Berat unit armor
H <sub>d</sub>	:	Tinggi gelombang rencana
K <sub>d</sub>	:	Koefisien Stabilitas
$\theta$	:	Kemiringan lereng struktur
S <sub>r</sub>	:	Rasio berat unit armor terhadap berat unit air laut

**Tabel 4-3** Tabel lapisan pelindung

no	lapisan pelindung	n	penempatan	lengan bangunan		ujung kepala bangunan		kemiringan o
				KD		KD		
				gelombang pecah	gelombang tidak pecah	gelombang pecah	gelombang tidak pecah	
1	Batu pecah	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	2.0
	bersudut kasar	1	acak	1.0	2.9	1.0	2.3	2.0
						1.9	3.2	1.5
	bersudut kasar		acak	2.0	4.0	1.6	2.8	2.0
						1.3	2.3	3.0
	bulat halus	>3	acak	2.2	4.5	2.1	4.2	2.0
	bersudut kasar	2	khusus	5.8	5.0	5.3	6.4	2.0
Paralelepipedum	2	khusus	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0				
					5.0	6.0	1.5	
2	Tetrapod dan Quadripod	2	acak	7.0	8.0	4.5	5.5	2.0
						3.5	4.0	3.0
						8.3	9.0	1.5
3	Tribar	2	acak	9.0	10.0	7.8	8.5	2.0
						6.0	6.5	3.0
4	Dolos	2	acak	15.8	31.8	8.0	16.0	2.0
						7.0	14.0	2.0
5	Kubus dimodifikasi	2	acak	6.5	7.5	5.0	5.0	
6	Hexapod	2	acak	8.0	9.5	5.0	7.0	
7	Tribar	1	seragam	12.0	15.0	7.5	9.5	
8	Batu Pecah (KKR)	-	acak	2.2	2.5			

Catatan:

- n : jumlah susunan butir batu dalam lapis pelindung
- \*1 : penggunaan n = 1 tidak disarankan untuk kondisi gelombang pecah
- \*2 : sampai ada ketentuan lebih lanjut tentang nilai KD, penggunaan KD dibatasi pada kemiringan 1 : 1,5 sampai 1 : 3
- \*3 : batu ditempatkan dengan sumbu panjangnya tegak lurus permukaan bangunan

c. Elevasi breakwater non-overtopping

Elevasi puncak bangunan pengaman pantai tergantung pada limpasan (overtopping) yang diinginkan. Elevasi puncak bangunan dihitung berdasarkan kenaikan (runup) gelombang yang tergantung pada karakteristik gelombang, kemiringan bangunan, porositas dan kekasaran lapisan pelindung. Elevasi muka air tertinggi (HWS) akan dijadikan sebagai dasar untuk menetapkan elevasi breakwater yang diukur dari elevasi muka air terendah (LWS). Selain elevasi muka air, koefisien runup dan tinggi gelombang rencana dibutuhkan juga. Elevasi Breakwater dihitung dengan rumus :

$$\text{Elev} = \text{HWS} + \text{Ru}$$

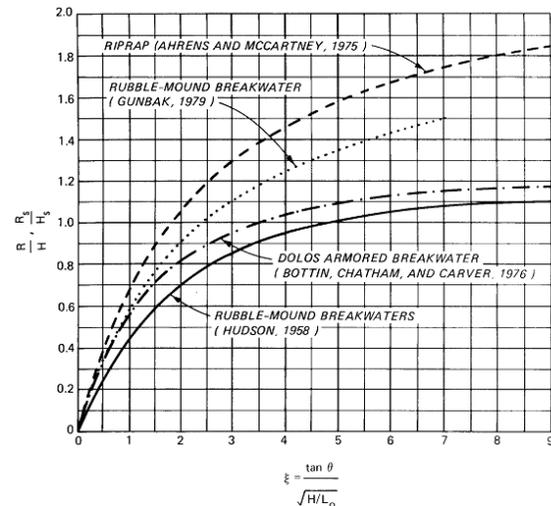
dimana:

HWS : *Highest Water Spring*, yang diukur dari LWS (*Lowest Water Spring*)

Ru : Runup gelombang

C : Koefisien runup bergantung pada kemiringan struktur dan kekasaran material.

Hd : Tinggi gelombang rencana



Tabel 4.4 Grafik Koefisien Run Up ( c )

Untuk Armor batu dan tetrapod menggunakan grafik bagian Gunbak

Untuk Armor A-Jack menggunakan grafik bagian Dolos Armored Breakwater

**Berat Armor dengan Formula Hudson :**

$$W = \frac{\rho_s H^3}{K_D (\Delta - 1)^3 \cot \theta} ; \Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

- Berat Armor dengan Formula van der Meer (armor batu):

h = -5 m

L0 = 137.91 m

Hs = 3.23 m

T = 18.09 s

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 \cdot S^{0.2} P^{0.18} N_z^{-0.1} \xi_m^{-0.5} \quad \text{Plunging waves : } \xi_m < \xi_{mc}$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 \cdot S^{0.2} P^{-0.13} N_z^{-0.1} (\cot \alpha)^{0.5} \xi_m^P \quad \text{Surging waves : } \xi_m > \xi_{mc}$$

$$\xi_m = s_m^{-0.5} \tan \alpha \quad \xi_{mc} = (6.2 P^{0.31} (\tan \alpha)^{0.5})^{1/(P+0.5)}$$

Dilihat di grafik bagian Gunbak, Ru/Hs = 1.35, maka nilai

$$Ru = 1.35 \times 1.95 = 2.63 \text{ m.}$$

- Berat Armor dengan Formula van der Meer (armor tetrapod):

$$H = -3 \text{ m}$$

$$L0 = 113.69 \text{ m}$$

$$Hs = 1.95 \text{ m}$$

$$T = 18.09 \text{ s}$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = (3.75 N_{od}^{0.5} / N_z^{0.25} + 0.85) s_{orm}^{-0.2}$$

Dilihat di grafik pada bagian Gunbak, Ru/Hs = 1,35, maka nilai

$$Ru = 1.35 \times 1.95 = 2.63 \text{ m.}$$

- Berat Armor dengan Formula Holtzhausen dan Zwanborn (Amor Jack)

$$H = -3 \text{ m}$$

$$L0 = 113.69 \text{ m}$$

$$Hs = 1.95 \text{ m}$$

$$T = 18.09 \text{ s}$$

$$N_{od} = 6250 \left[ \frac{H_s}{\Delta^{0.74} D_n} \right]^{5.26} S_{op}^3 W_p^{20} S_{op}^{0.45} + E$$

Dilihat di grafik pada bagian dolos, Ru/Hs = 1.1, maka nilai

$$Ru = 1.1 \times 1.95 = 2.14 \text{ m.}$$

- Tebal Lapisan

$$r = n K_{\Delta} \left( \frac{W}{w_r} \right)^{\frac{1}{3}}$$

dimana :

r : Tebal lapisan utama

n : Jumlah batu pada lapisan utama

no	batu pelindung	n	penempatan	koefisien lapisan (Kd)	porositas p %
1	Batu Alam (halus)	2	Random (Acak)	1.0	38
2	Batu Alam (kasar)	2	Random (Acak)	1.2	37
3	Batu Alam (kasar)	>3	Random (Acak)	1.1	40
4	Kubus	2	Random (Acak)	1.1	47
5	Tetrapod	2	Random (Acak)	1.0	50
6	Quadripod	2	Random (Acak)	1.0	49
7	Hexapod	2	Random (Acak)	1.2	47
8	Tribar	2	Random (Acak)	1.0	54
9	Dolos	2	Random (Acak)	1.0	63
10	Tribar	1	seragam	1.1	47
11	Batu Alam		Random (Acak)		37

(KΔ): Koefien Lapisan

**Tabel 4.5** Tabel Koefisien Pelapis (KΔ)

- Lebar Puncak (bp)

$$b_p = n K_{\Delta} \left( \frac{W}{w_r} \right)^{\frac{1}{3}}$$

dimana bp adalah lebar puncak

- f. Pelindung Kaki (Lk)

$$\left( \frac{L_k}{L_{Hd}} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{Hd}{20 r (Sr - 1)}$$

dimana :

Lk : panjang pelindung kaki

LHd : Panjang gelombang pada kedalaman

Hd

- Elevasi Struktur

Elevasi Struktur = HWS + kedalaman + Kenaikan muka air akibat tekanan atmosfer (= 0.5 m) + Kenaikan muka air akibat pemanasan global (= 0.5 m) + storm surge (= 0.8 m)+ Free Board (= 1 m)

#### 4.3.2 Penentuan Elevasi Puncak Breakwater

Elevasi puncak breakwater ditentukan berapa tingginya dihitung dari muka air tertinggi yang mungkin terjadi ditambah dengan run up

gelombang. Elevasi muka air tertinggi ditentukan dari penjumlahan kejadian berikut :

- Muka air tertinggi pasang surut (HWS) = 1.1 m
- Peningkatan muka air akibat perubahan tekanan atmosfer = 0.5 m
- Storm surge = 0.8 m
- Peningkatan muka air akibat pemanasan global = 0.5 m
- Free Board = 1 m

Dengan menggunakan komponen seperti ini, bisa didapat elevasi puncak yang cukup konservatif.

#### 4.4 Perhitungan Dimensi Material Breakwater

Perhitungan dimensi material breakwater dari mulai armour layer sampai core layer menggunakan persamaan.

##### Armour Layer

Untuk menghitung armour unit batu dan tetrapod dapat dilakukan melalui dua persamaan, yaitu persamaan Hudson dan persamaan van der Meer. Dari kedua persamaan ini, diambil nilai tertinggi. Untuk armor A-Jack menggunakan dua persamaan yaitu persamaan Hudson dan Zwanborn. Berikut diberikan contoh perhitungannya.

- Persamaan Hudson

$$\begin{aligned} H &= -3 \text{ m} \\ H &= 1.95 \text{ m} \\ \rho_s &= 2500 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_w &= 1025 \text{ kg/m}^3 \\ \cot \theta &= 1.5 \\ KD &= 2.5 \text{ (armor batu pada trunk) ; 2} \\ &= 8 \text{ (armor tetrapod pada head dan trunk)} \end{aligned}$$

$$= 15 \text{ (armor A-Jack pada head dan trunk)}$$

$$W = \frac{\rho_s H^3}{K_D (\Delta - 1)^3 \cot \theta} ; \Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

- Armor batu

$$W = \frac{2500 \cdot 1.95^3}{2.5 \left( \frac{2500}{1025} - 1 \right)^3 \cdot 1.5} = 1658.85 \text{ kg}$$

- Armor Tetrapod

$$W = \frac{2500 \cdot 1.95^3}{8 \left( \frac{2500}{1025} - 1 \right)^3 \cdot 1.5} = 518.4 \text{ kg}$$

- Armor A-Jack

$$W = \frac{2500 \cdot 3.23^3}{15 \left( \frac{2500}{1025} - 1 \right)^3 \cdot 1.5} = 276.46 \text{ kg}$$

- Persamaan van der Meer Armor Batu

$$\begin{aligned} h &= -3 \text{ m} \\ H &= 1.95 \text{ m} \\ L &= 113.68 \text{ m} \\ \rho_s &= 2500 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_w &= 1025 \text{ kg/m}^3 \\ S &= 2 \\ P &= 0.5 \\ Nz &= (10 \text{ jam} \times 3600 \text{ s}) / 18.09 \text{ s} \\ &= 1990.05 \\ \Delta &= (\rho_s / \rho_w) - 1 = \\ &= (2500/1025) - 1 = 1.43 \\ Sm &= 1.95 / 113.68 = 0.017 \\ \tan \alpha &= 1/1.5 \end{aligned}$$

$$\xi_m = s_m^{-0.5} \tan \alpha \quad \xi_{mc} = (6.2 P^{0.31} (\tan \alpha)^{0.5})^{1/(P+0.5)}$$

$$\xi_m = 0.017^{-0.5} \cdot \frac{1}{1.5} = 5.11$$

$$\xi_{mc} = \left( 6.2 \cdot 0.5^{0.31} \left( \frac{1}{1.5} \right)^{0.5} \right)^{1/(0.5+0.5)} = 4.08 \quad \xi_m > \xi_{mc}$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 \cdot S^{0.2} P^{0.18} N_z^{-0.1} \xi_m^{-0.5} \quad \text{Plunging waves : } \xi_m < \xi_{mc}$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 \cdot S^{0.2} P^{-0.13} N_z^{-0.1} (\cot \alpha)^{0.5} \xi_m^P \quad \text{Surging waves : } \xi_m > \xi_{mc}$$

$$D_{n50} = \frac{H_s}{\Delta \cdot 1.0 \cdot S^{0.2} \cdot P^{-0.13} \cdot N_z^{-0.1} \cdot (\cot \alpha)^{0.5} \cdot \xi_m^P}$$

$$D_{n50} = \frac{1.95}{1.43 \cdot 1.0 \cdot 2^{0.2} \cdot 0.5^{-0.13} \cdot 1990.05^{-0.1} (1.5)^{0.5} \cdot 11^{0.5}} = 0.83$$

$$W = \rho_s \cdot g \cdot (D_{n50})^3$$

$$W = 2500 \cdot 9.81 \cdot 0.83^3 = 1411 \text{ kg}$$

$$\text{Nod} = 0.25$$

$$\text{Som} = 1.95 / 113.68 = 0.017$$

$$\text{Wp} = 0.33$$

$$E = 0$$

$$N_{od} = 6250 \left[ \frac{H_s}{\Delta^{0.74} D_n} \right]^{5.26} S_{op}^3 W_p^{20} S_{op}^{0.45} + E$$

$$D_n = \left( \frac{0.25 \cdot 1.43^{3.892}}{6250 \cdot 0.017^3 \cdot 0.33^{20} \cdot 0.017^{0.45} \cdot 1.95^{5.26}} \right)^{\frac{1}{5.26}} = 0.51$$

$$W = \rho_s \cdot g \cdot (D_n)^3$$

- Persamaan van der Meer Armor Tetrapod

$$h = -3 \text{ m}$$

$$H = 1.95 \text{ m}$$

$$L = 113.68 \text{ m}$$

$$\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_w = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Nod} = 0.25$$

$$N_z = (10 \text{ jam} \times 3600 \text{ s}) / 18.09 \text{ s} = 1990.05$$

$$\Delta = (\rho_s / \rho_w) - 1 = (2500/1025) - 1 = 1.43$$

$$\text{Som} = 1.95 / 113.68 = 0.017$$

$$\tan \alpha = 1/1.5$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left( 3.75 N_{od}^{0.5} / N_z^{0.25} + 0.85 \right) s_{om}^{-0.2}$$

$$D_n = \frac{H_s}{\Delta \cdot \left( 3.75 \cdot \frac{N_{od}^{0.5}}{N_z^{0.25}} + 0.85 \right) s_{om}^{-0.2}}$$

$$D_n = \frac{1.95}{1.43 \cdot \left( 3.75 \cdot \frac{0.25^{0.5}}{1990.05^{0.25}} + 0.85 \right) 0.017^{-0.2}} = 0.53$$

$$W = \rho_s \cdot g \cdot (D_{n50})^3$$

$$W = 2500 \cdot 9.81 \cdot 0.53^3 = 368.15 \text{ kg}$$

- Persamaan Zwanborn Armor A-Jack

$$h = -3 \text{ m}$$

$$H = 1.95 \text{ m}$$

$$\Delta = (\rho_s / \rho_w) - 1 = (2500/1025) - 1 = 1.43$$

$$W = 2500 \cdot 9.81 \cdot 0.51^3 = 318.4 \text{ kg}$$

#### Lapisan Pelindung 1

Dalam kasus ini walaupun jenis armor yang dipakai berbeda-beda, tetapi untuk material pada lapisan pelindung 1 digunakan material yang sama yaitu batu dengan ukuran Warmor/10. Contoh pada kedalaman 3 meter, berat batu lapisan pelindung 1 dengan armor batu, tetrapod dan A-Jack masing-masing sebesar 141.1 kg, 51.8 kg dan 16.5 kg.

#### Lapisan Pelindung 2

material pada lapisan pelindung 2 digunakan material yang sama yaitu batu dengan ukuran Warmor/100. Contoh pada kedalaman 3 meter, berat batu lapisan pelindung 2 dengan armor batu, tetrapod dan A-Jack masing-masing sebesar 14.11 kg, 5.18 kg dan 1.65 kg.

#### Lapisan Core

material pada lapisan inti digunakan material yang sama yaitu batu dengan ukuran Warmor/200. Contoh pada kedalaman 5 meter, berat batu lapisan inti dengan armor batu, tetrapod dan A-Jack masing-masing sebesar 7.055 kg, 2.59 kg dan 0.825 kg. Di lapisan inti ini akan dibungkus dengan geotube agar material pada lapisan ini tidak tergerus oleh gelombang.

#### Pelindung Kaki

Untuk melindungi bagian kaki breakwater maka digunakan pelindung kaki dengan dimensi berat Warmor/10. Contoh pada kedalaman 5 meter, berat batu pelindung kaki dengan armor batu, tetrapod dan A-Jack masing-masing sebesar 141.1 kg, 51.8 kg dan 16.5 kg.

#### 4.4.1 Perhitungan Ketebalan Lapisan Breakwater

Perhitungan dimensi ketebalan lapisan breakwater menggunakan persamaan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya

##### Armour Layer

Untuk lapisan armor, tebal lapisan bergantung pada jenis armor yang digunakan. Untuk armor jenis A-jack, tebal lapisan yang digunakan disesuaikan dengan dimensi armor A-Jack yang dipakai. Untuk armor jenis batu dan tetrapod, ketebalan lapisan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$t = n \cdot k_{\Delta} \cdot \left[ \frac{W_{armor}}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Contohnya untuk kedalaman 3 meter, dimana digunakan 2 lapis, tebal lapisannya :

$$t = 2.1 \cdot \left[ \frac{1411}{2500} \right]^{\frac{1}{3}} = 1.65 \text{ m}$$

##### Lapisan Pelindung 1

Pada breakwater ini, bagian lapisan pelindung 1 seluruhnya menggunakan batu sebagai material pengisinya, sehingga tebal lapisan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$t = n \cdot k_{\Delta} \cdot \left[ \frac{W_1}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Contohnya untuk kedalaman 3 meter, dimana digunakan 2 lapis batu, tebal lapisannya :

$$t = 2.1 \cdot \left[ \frac{141.1}{2500} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.77 \text{ m}$$

##### Lapisan Pelindung 2

Pada breakwater ini, bagian lapisan pelindung 2 seluruhnya menggunakan batu sebagai material pengisinya, sehingga tebal lapisan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$t = n \cdot k_{\Delta} \cdot \left[ \frac{W_2}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Contohnya untuk kedalaman 3 meter, dimana digunakan 2 lapis batu, tebal lapisannya :

$$t = 2.1 \cdot \left[ \frac{14.11}{2500} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.356 \text{ m}$$

##### Pelindung Kaki

Untuk pelindung kaki digunakan persamaan :

$$\frac{H_d}{r(S_r - 1)} = 20 \left( \frac{B_p}{L_d} \right)^{2/3}$$

Contohnya pada kedalaman 3 meter, tebal pelindung kaki :

$$\begin{aligned} H &= 1.95 \text{ m} \\ r &= 0.92 \text{ m} \\ S_r &= (2500/1025) = 2.43 \\ L &= 113.68 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{H_d}{r(S_r - 1)} = 20 \left( \frac{B_p}{L_d} \right)^{2/3}$$

$$\frac{1.95}{0.92(2.43 - 1)} = 20 \left( \frac{B_p}{113.68} \right)^{2/3}$$

$$B_p = 2.496 \text{ m}$$

##### Lebar Puncak

Untuk menghitung lebar puncak breakwater dapat digunakan persamaan tebal lebar minimum sebagai berikut :

$$B = 3. k_{\Delta} \cdot \left[ \frac{W_{armor}}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}}$$

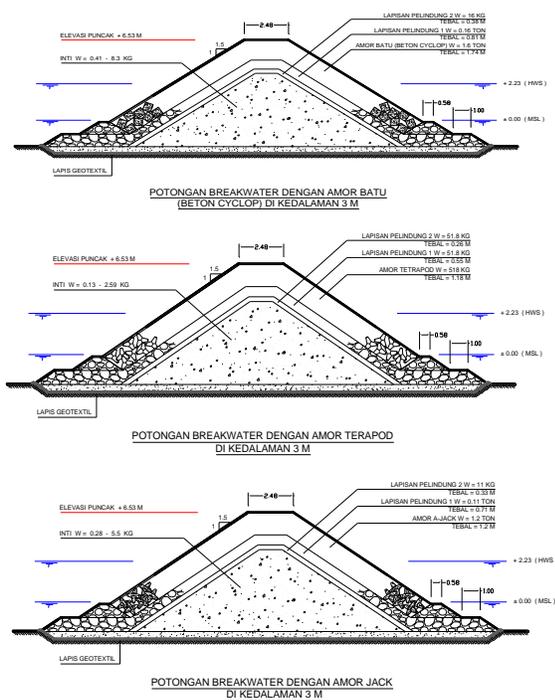
Contohnya pada kedalaman 3 meter, lebar puncak breakwater dengan armor batu:

$$B = 3.1 \cdot \left[ \frac{1411}{2500} \right]^{\frac{1}{3}} = 2.48 \text{ m}$$

Contohnya pada kedalaman 3 meter, lebar puncak breakwater dengan tetrapod :

$$B = 3.1 \cdot \left[ \frac{1411}{2500} \right]^{\frac{1}{3}} = 2.48 \text{ m}$$

#### 4.5 Gambar Breakwater



#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari pengerjaan Kajian ini adalah :

1. Tinggi gelombang terbesar diperairan laut disekitar rencana yang terjadi di sekitar *Breakwater* adalah 2.5 m.
2. Pada desain, digunakan tiga armor, yaitu batu, tetrapod dan A-Jack. Dari ketiga jenis armor tersebut, batu menjadi armor yang paling berat, diikuti oleh tetrapod dan A-Jack. Berat batu paling besar mencapai 1658.85 kg. Berat tetrapod paling besar mencapai 518.4 kg. Berat A-Jack paling besar mencapai 276.46 kg.
3. Struktur *Breakwater* yang paling baik untuk daerah Perairan Pelabuhan Teluk Bayur berdasarkan kondisi eksisting serta data Bathrimetri ialah type struktur *Breakwater* sisi miring (*rubblemound breakwater / sloping breakwater*) dengan Tinggi struktur pada breakwater yang menggunakan armor batu (*beton cyclop*) untuk lapisan armornya pada bagian ujung (head) adalah sebesar 6.53 m.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Triatmojo, ( 1999 ), Teknik Pantai.
- U.S. Coastal Engineering Research Center, (1975), Shore Protection manual vol I. Washington : US Army Corp Engineer.
- Goda, Yoshima. 2000. Random Seas and Design of Maritime Structure. Singapore : World Scientific.
- Final Report Master Plan Pengembangan Pelabuhan Teluk Bayur tahun 2004, Padang Sumatera Barat.
- Rencana Master Plan Pengembangan Pelabuhan Teluk Bayur tahun 2012, Padang Sumatera Barat.
- BMKG, Stasiun Meteorologi Maritim Teluk Bayur, Padang, <http://stamartlb.blogspot.com>

Arsip RJPP Pengembangan Pelabuhan PT.  
Pelabuhan Indonesia II (Persero) Cabang Teluk  
Bayur, [Indonesia Port Corperation](#) ( *IPC* )  
2012.