

Desain dan Konstruksi Pemecah Gelombang dengan Sisi Miring

Design and Construction of Sloping Breakwater

Maria Angelin Naiborhu^{a,1*}, Yani Nurita Purnawanti^{b,2}, Silvia Dewi Kumalasari^{c,3}

^{a,b,c}Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta, Indonesia

^{1*}maria.n@hire.co.id, ²yaninurita@gmail.com, ³silviadewikumalasari@gmail.com

*corresponding e-mail

This is an open access article under the terms of the CC-BY-NC license

ABSTRACT

Sloping breakwater is the type of breakwater requires large volume of rock and protection armor. Material increase during construction is often occur due to several factors. The main influenced factor is wave condition during construction. The main purpose of this research is to investigate the increasement of the materials due to breakwater profile changes caused by wave action during construction stage based on literature study of real construction data of breakwater construction at one of the thermal power plant in South Java Sea. This research is expected to provide an overview for designers to determine the cross-profile of a breakwater which is constructible and select the appropriate construction method to reduce the risk of excessive material increase during construction, especially for breakwaters located in deep and rough sea.

Keywords: *breakwater; design; profile; material volume; construction method*

ABSTRAK

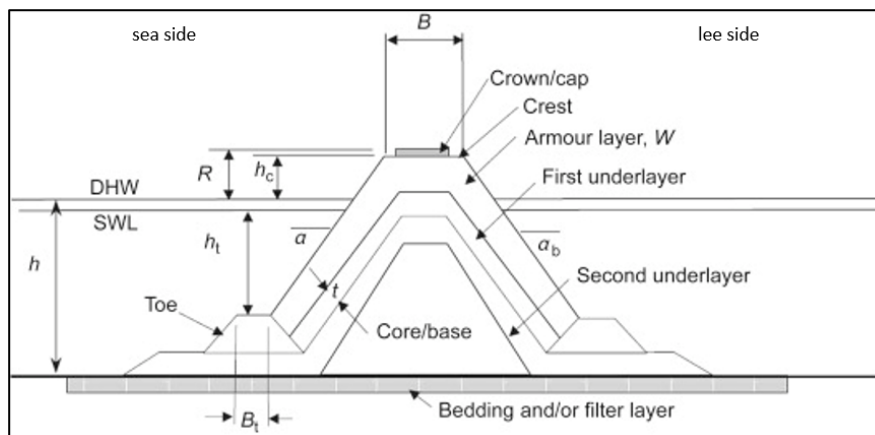
Pemecah gelombang dengan sisi miring merupakan jenis pemecah gelombang yang membutuhkan volume batu dan armor pelindung dalam jumlah besar. Pada saat konstruksi sering kali terjadi penambahan volume material secara signifikan yang disebabkan beberapa faktor. Salah satu faktor yang paling mempengaruhi adalah kondisi gelombang pada saat konstruksi. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kenaikan volume material yang disebabkan oleh perubahan profil pemecah gelombang karena kondisi gelombang selama pelaksanaan konstruksi dengan menggunakan studi literatur dari data konstruksi struktur pemecah gelombang pada salah satu pembangkit listrik tenaga termal di pesisir pantai Selatan Jawa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran bagi praktisi untuk dapat menentukan profil melintang pemecah gelombang yang dapat dikonstruksi dan pemilihan metode konstruksi yang tepat untuk mengurangi resiko penambahan material yang berlebih pada saat konstruksi terutama untuk pemecah gelombang yang berada di perairan dalam dan memiliki gelombang tinggi.

Kata Kunci: pemecah gelombang; desain; profil; volume material; metode konstruksi

A. Pendahuluan

Pemecah gelombang dengan sisi miring merupakan jenis pemecah gelombang yang membutuhkan volume batu dan armor pelindung dalam jumlah besar. Potongan melintang struktur pemecah gelombang terdiri dari batuan inti yang relatif padat dan dilapisi oleh satu atau dua lapisan batuan ataupun armor buatan dari beton yang berfungsi untuk melindungi lapisan dibawahnya sehingga armor pada lapisan terluar memiliki berat satuan yang paling besar (Palmer & Christian, 1998). Perhitungan berat satuan untuk batuan dan armor pada struktur pemecah gelombang telah banyak diformulasikan secara empiris selama bertahun-tahun. Salah satu formula yang paling banyak diterapkan adalah formula Hudson (Hudson, 1959) karena proses perhitungannya yang sederhana. Formula lain yang juga umum dipergunakan adalah formula Van Der Meer (Van der Meer, 1988), dimana formula ini memperhitungkan stabilitas statis dan dinamis dari batuan armor struktur pemecah gelombang yang tidak diperhitungkan dalam formula Hudson.

Dari formula-formula tersebut akan diperoleh berat unit batuan dan armor untuk setiap lapisan struktur pemecah gelombang yang kemudian menjadi dasar dalam menghitung geometri dan tebal potongan lapisan struktur pemecah gelombang (Gambar 1).



Sumber: (Allen & Moore, 2016)

Gambar 1 Contoh potongan melintang struktur pemecah gelombang dengan sisi miring

Dengan memperhitungkan berat dan tebal potongan lapisan struktur pemecah gelombang (batuan inti/*core rock*, lapisan kedua atau sering disebut lapisan pelindung/*filter layer* dan *armor layer*), geometri dan potongan melintang serta memanjang struktur, maka dapat diperoleh estimasi volume material yang dibutuhkan untuk membangun struktur pemecah gelombang. Akan tetapi, sering kali desain yang dihasilkan hanya mempertimbangkan stabilitas armor terhadap tinggi gelombang dan hanya memberi

perhatian kecil terhadap faktor konstruksi.

Pada saat konstruksi sering kali terjadi penambahan volume material secara signifikan yang disebabkan beberapa faktor. Salah satu faktor yang paling mempengaruhi adalah kondisi gelombang pada saat konstruksi. Besar kenaikan volume material yang disebabkan faktor gelombang tersebut akan dibahas dalam jurnal ini dengan menggunakan data konstruksi struktur pemecah gelombang pada salah satu pembangkit listrik tenaga termal di pesisir pantai Selatan Jawa. Kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran bagi praktisi untuk dapat menentukan profil melintang pemecah gelombang yang dapat dikonstruksi dan pemilihan metode konstruksi yang tepat untuk mengurangi resiko penambahan material yang berlebih pada saat konstruksi terutama untuk pemecah gelombang yang berada di perairan dalam dan memiliki gelombang tinggi.

Kajian sebelumnya mengenai kerusakan yang terjadi pada struktur pemecah gelombang sisi miring pernah di uraikan oleh Campos et al., (2020). Kerusakan yang terjadi pada struktur pemecah gelombang sisi miring dapat didefinisikan sebagai kehilangan fungsi struktur secara parsial atau keseluruhan yang biasanya terkait dengan ketidakstabilan hidraulik lapisan batu dan armor. Struktur pemecah gelombang jenis ini memiliki perilaku sistem granular yang statis sampai pada kondisi dimana energi gelombang menyebabkan pergerakan lapisan batu dan armor. Dalam kondisi ini, bagian struktur pemecah gelombang yang berdekatan dengan muka air cenderung berpindah ke arah kaki struktur pemecah gelombang. Ketidakstabilan hidraulik lapisan batuan dan armor merupakan proses yang rumit karena melibatkan energi gelombang, pemicu pergerakan batu dan armor serta perkembangan kerusakan lapisan struktur pemecah gelombang.

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai desain dan konstruksi pemecah gelombang dengan sisi miring ini pernah di uraikan oleh Hidayat, (2006), bahwa kerusakan pantai bila tidak teratasi secara dini, maka lambat laun akan berdampak terhadap kerusakan daerah pantai yang diperpanjang hingga mencapai daerah sempadan pantai tersebut. Yannovita et al., (2017) juga menjelaskan bahwa 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 . Beberapa peneliti seperti Refi, (2013), menjelaskan 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. Syhaputra et al., (2014) juga menjelaskan bahwa, berdasarkan nilai

tinggi gelombang, periode gelombang, dan elevasi muka air tersebut, maka desain breakwater yang aman di pantai Tapak Paderi adalah menggunakan breakwater tipe campuran dengan dimensi elevasi pondasi pemecah gelombang adalah 5,608 meter. Selain itu Ichsan & Suleman, (2018), juga menjelaskan bahwa untuk menangani sedimentasi di Pantai Botubarani, Gorontalo, break water dengan tipe bangunan berupa puing-puing gunung. Ketinggian permukaan air piring adalah 1.694 m dan untuk lapisan terlindung tetrapoda terpilih.

B. Metode Penelitian

Tujuan utama desain struktur pemecah gelombang adalah menentukan ukuran batuan dan armor, geometry, potongan melintang dan memanjang dari setiap lapisan. Proses desain pada umumnya menggunakan formula empiris dan standar seperti yang diberikan dalam *Permanent International Association of Navigation Congresses* (Burcharth et al., 2003) dan *British Standard, Maritime Structure Part 7: Guide to the design and construction of breakwaters* (BSI, 1991).

Dalam perhitungan desain perlu dipertimbangkan secara khusus faktor lingkungan terkait penurunan tanah dasar dan pola gelombang pada saat pelaksanaan konstruksi, terutama pada tahap penempatan batuan inti (*core rock*). Struktur pemecah gelombang yang sedang dibangun dapat mempengaruhi refraksi dan difraksi gelombang serta pola arus yang dapat menyebabkan gerusan dan perubahan batimetri terutama pada lokasi ujung pemecah gelombang selama tahapan konstruksi (Hickson & Rodolf, 2010). Hal ini dapat menyebabkan peningkatan volume material yang dibutuhkan.

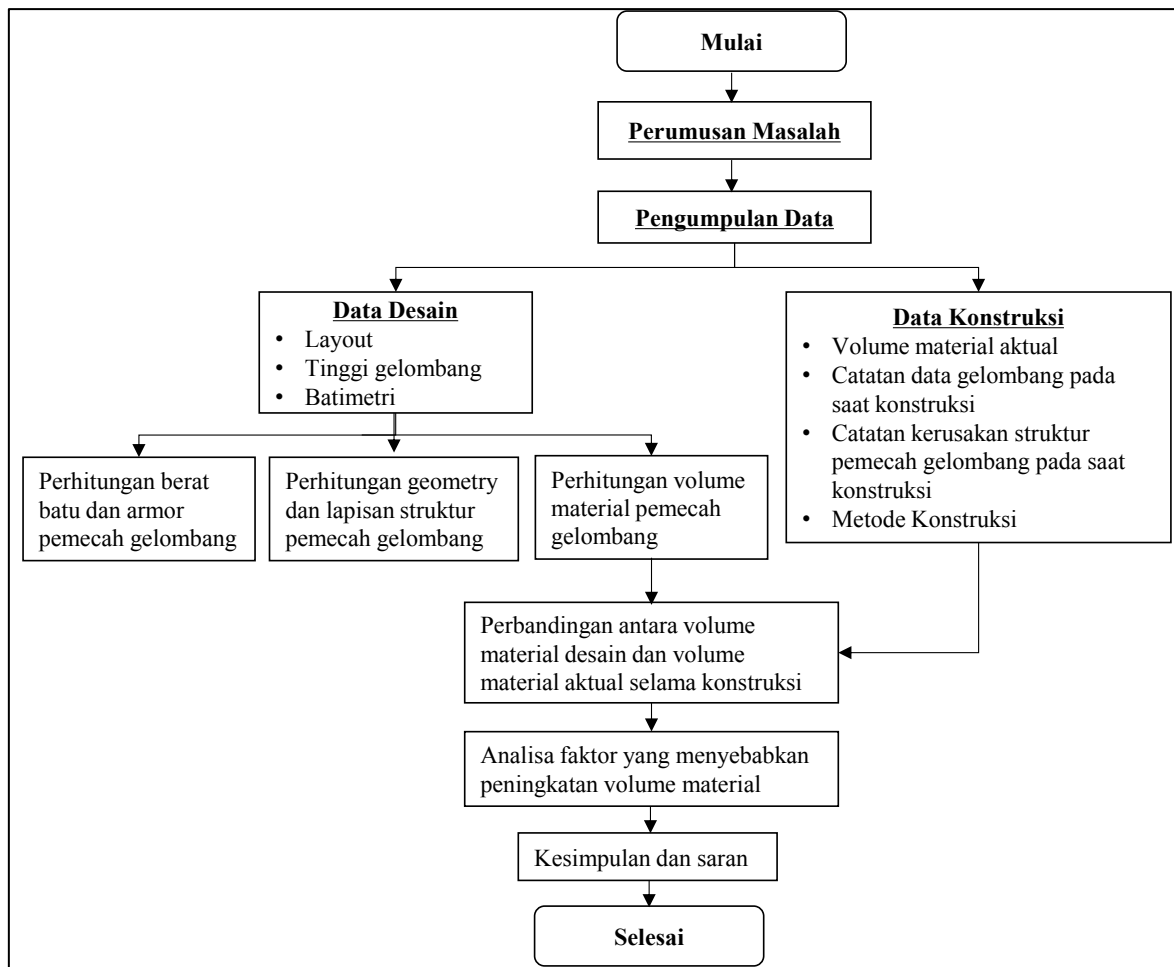
Dikarenakan sebagian besar material batuan berada dibawah air, maka konstruksi dan inspeksi menjadi sulit dilakukan, terutama di area dengan gelombang tinggi seperti di pesisir Pantai Selatan Jawa. Moore (Allen & Moore, 2016) memberikan panduan yang berguna untuk melakukan desain pemecah gelombang yang akan dikonstruksi, dimana desain dan perilaku struktur pada laut dalam harus mempertimbangkan kepraktisan konstruksi dan kemungkinan perbedaan yang signifikan dalam iklim gelombang. Pemecah gelombang di perairan dalam harus diuji modelnya dengan keadaan laut yang sesuai.

Pemaparan pada kajian ini akan membahas faktor yang menyebabkan perbedaan volume material yang signifikan antara perhitungan desain dan pelaksanaan konstruksi pemecah gelombang yang dilihat dari aspek kondisi gelombang pada saat pelaksanaan konstruksi. Data yang dibutuhkan dalam kajian ini terbagi menjadi dua bagian besar yaitu

data desain dan data konstruksi yang masing-masing mencakup data sebagai berikut:

1. Data Desain
 - a. Tata letak/*layout* pemecah gelombang
 - b. Peta batimetry
 - c. Tinggi gelombang desain
2. Data Konstruksi
 - a. Data gelombang pada saat konstruksi
 - b. Catatan kerusakan struktur pemecah gelombang pada saat konstruksi
 - c. Volume material terpasang
 - d. Metode konstruksi

Data tersebut diatas diperoleh dari studi literatur terhadap data pelaksanaan desain dan konstruksi pemecah gelombang di salah satu pembangkit listrik tenaga termal yang berada di pesisir Pantai Selatan Jawa pada tahun 2009-2012. Data desain diperlukan untuk menghitung berat batu dan armor dengan formula Hudson. Selanjutnya data volume material desain dan konstruksi akan dibandingkan untuk melihat besarnya peningkatan volume material yang dibutuhkan. Selanjutnya dari data metode konstruksi dan catatan kerusakan struktur selama konstruksi dapat dianalisa faktor penyebab yang juga merupakan faktor yang mempengaruhi peningkatan jumlah volume material yang dibutuhkan. Garis besar proses analisa dapat dilihat pada bagan alir di Gambar 2.



Gambar 2 Bagan alir analisa faktor yang mempengaruhi peningkatan jumlah volume material struktur pemecah gelombang

1. Perhitungan Berat Satuan Batuan dan Armor

Perhitungan berat satuan armor dolos dihitung dengan menggunakan formula Hudson sebagai berikut

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

Dimana:

- | | | |
|----------------|---|--|
| W | = | berat armor unit (kg) |
| W _r | = | berat jenis batuan atau beton (kg/m ³) |
| W _w | = | berat jenis air laut (kg/m ³) |
| H | = | tinggi gelombang (m) |
| K _d | = | koefisien stabilitas |
| S _r | = | W _r /W _w |

$$\cotg \theta = \cotg \text{ dari kemiringan sisi miring pemecah gelombang}$$

Nilai koefisien stabilitas (K_d) untuk berbagai jenis bentuk batuan dan armor beton diambil dengan mengacu kepada British Standard 6349-7:1991 (BSI, 1991). Untuk berat batuan pada lapisan kedua (selanjutnya dalam jurnal ini akan disebut sebagai *bedding layer*), yaitu lapisan yang berada di bawah lapisan dolos, dapat dihitung dengan mengacu kepada *GB Standard: Code for Design and Construction of Breakwaters* yaitu W/10-W/20 dan untuk berat batuan inti (*core rock*) berada pada rentang W/400-W/200.

Akan tetapi ada perbedaan dalam penentuan berat unit batuan pada *bedding layer* berdasarkan British Standard 6349-7:1991 (lihat Tabel 1), dimana berat unit batuan dibawah lapisan dolos adalah W/5-W/10 yang akan memberikan berat unit batuan yang lebih berat. Untuk selanjutnya, perhitungan berat batuan bedding layer akan mengacu kepada *GB Standard* agar dapat menyesuaikan dengan kondisi desain aktual.

Tabel 1 Ukuran berat batuan pada lapisan kedua

Unit Armor	Berat Batuan Di Lapisan Bawah
Dolos	W/5 – W/10
Tetrapod	W/10 – W/20
Acropod	W/7,5 – W/15

Sumber: (BSI, 1991)

2. Perhitungan Geometry Lapisan Melintang Struktur Pemecah Gelombang

Perhitungan geometry dilakukan pada titik-titik tinjau yang memiliki tinggi gelombang (H) dan kedalaman perairan (d) yang berbeda.

a. Elevasi puncak pemecah gelombang

Elevasi puncak pemecah gelombang dihitung berdasarkan data pasang surut dan gelombang dengan formula pada pers.2 berikut:

$$E_t = HWS + RunUp + Freeboard \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- E_t = elevasi atas pemecah gelombang (m)
- HWS = elevasi muka air tinggi (m)
- H = tinggi gelombang rencana pada posisi tinjauan (m)
- RunUp* = rambatan gelombang pada pemecah gelombang (m)
- Free board* = tambahan ketinggian untuk keamanan (= 0.5 m)

b. Lebar bidang datar puncak pemecah gelombang (*crest*)

Rumus yang digunakan mengacu kepada British Standard 6349-7:1991:

$$B = n.k_{\Delta} \left(\frac{W}{W_r} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

W = berat armor unit (kg)

n = jumlah lapisan, dalam menentukan lebar bidang datar harga n minimum 3.

K_Δ = koefisien lapisan

Untuk perhitungan lebar lapisan batuan inti (*core rock*), lebar atas lapisan dihitung dengan mempertimbangkan ruang gerak peralatan pada saat konstruksi.

c. Tebal Lapisan

$$r = n.k_{\Delta} \left(\frac{W}{W_r} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

W = berat unit armor atau batu (kg)

n = jumlah lapisan armor atau batu

k_Δ = koefisien lapisan

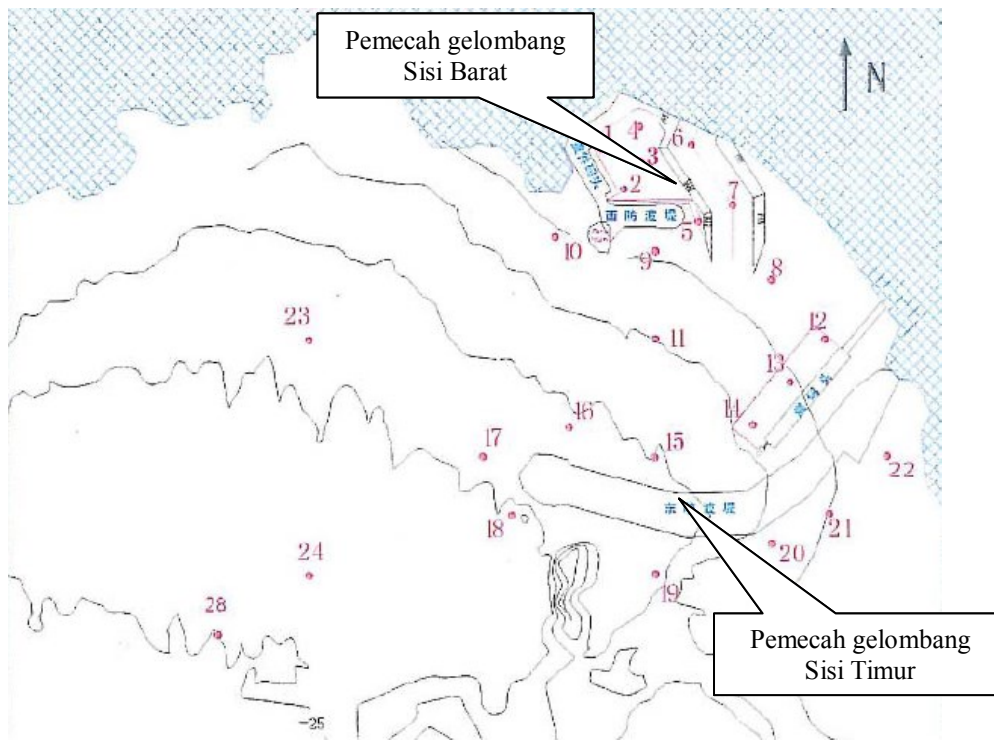
C. Hasil dan Pembahasan

1. Komponen Struktur Pemecah Gelombang

Potongan melintang struktur pemecah gelombang sisi miring yang dibahas pada kajian ini terdiri dari batuan inti (*core rock*), beberapa lapisan pelindung (*filter layers*) dan lapisan armor (*armor layers*). Batuan inti terdiri dari material batuan terkecil yang dilindungi oleh lapisan pelindung. Lapisan pelindung kemudian ditutup dengan lapisan armor beton dolos yang ditempatkan secara acak.

Tata letak pemecah gelombang yang dibahas ditampilkan pada Gambar 3, dimana pemecah gelombang yang akan dibahas terletak pada sisi Timur dengan Panjang struktur 759 m. Untuk dapat menghitung struktur pemecah gelombang, maka perlu ditentukan titik-titik tinjau (titik nomor 17-22) di sepanjang struktur pemecah gelombang sisi Timur. Titik-titik tinjau tersebut memiliki kedalaman perairan dan tinggi gelombang yang berbeda sehingga menghasilkan geometry struktur yang berbeda pula. Tinggi gelombang di setiap titik tinjau diperoleh dari hasil transformasi gelombang dari laut dalam menuju perairan dangkal dengan menggunakan perangkat lunak untuk periode ulang tinggi gelombang 50

tahun dengan probabilitas terlampaui 1% ($H_{1\%}$). Tinggi gelombang perairan dalam (H) dalam kasus ini adalah 9,61 m dan tinggi gelombang serta kedalaman perairan di setiap titik tinjau disajikan pada Tabel 2.



Gambar 3 Tata letak struktur pemecah gelombang dan titik-titik tinjau pada pemecah gelombang sisi Timur

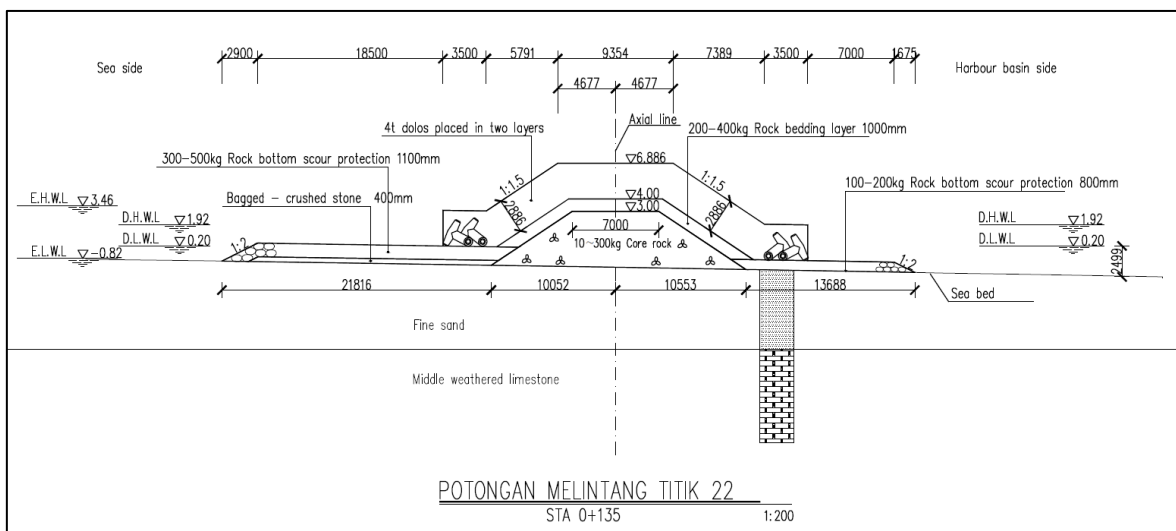
Dari persamaan (1), (2), (3) dan (4), diperoleh geometri potongan melintang struktur pemecah gelombang untuk setiap titik tinjau sebagaimana dirangkum dan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Dimensi Potongan Melintang Struktur Pemecah Gelombang

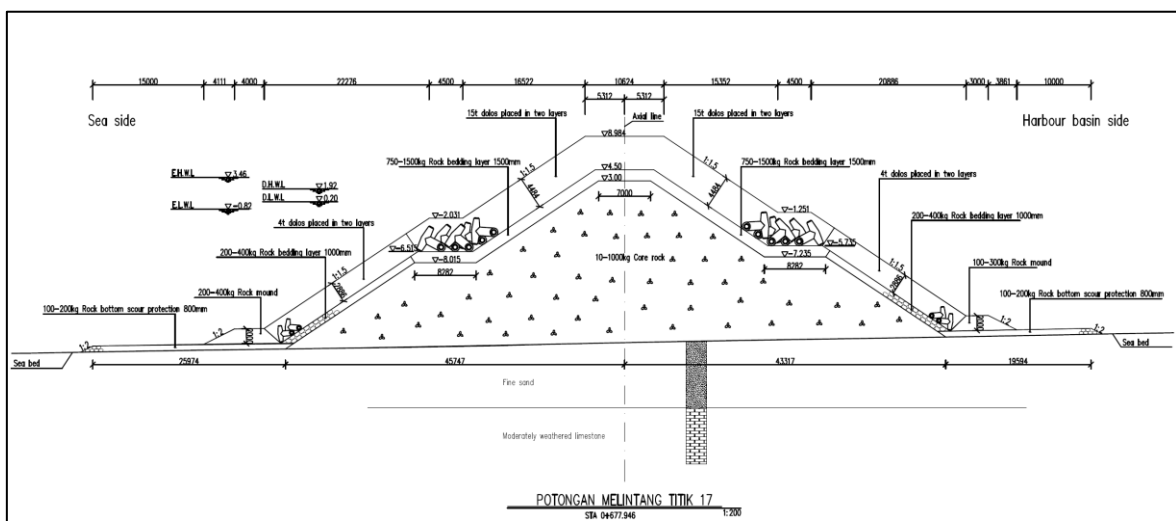
Hasil Perhitungan	Titik-22	Titik-21	Titik-20	Titik-19	Titik-18	Titik-17
Kedalaman Perairan (d) dihitung dari pasang tertinggi (HWS), m	5,46	8,46	11,96	19,46	23,46	23,46
Tinggi Gelombang (H), m	4,26	5,78	6,45	8,04	8,28	7,94
Berat Armor Dolos (ton)	4	4	8	15	20	20
Jumlah lapisan Dolos, n	2	2	2	2	2	2
Tebal Lapisan Dolos (m)	2,886	2,886	3,636	4,484	4,935	4,935
Berat Unit <i>Bedding Layer-1</i> (ton)	0,2-0,4	0,2-0,4	0,4-0,8	4 (dolos)	4 (dolos)	4 (dolos)
Jumlah lapisan batu, n	2	2	2	2	2	2
Tebal Lapisan <i>Bedding Layer-1</i> (m)	1,0	1,0	1,2	2,886	2,886	2,886
Berat Unit <i>Bedding Layer-2</i> (ton)	-	-	-	0,75-	1,0-2,0	1,0-2,0

Hasil Perhitungan	Titik-22	Titik-21	Titik-20	Titik-19	Titik-18	Titik-17
Jumlah lapisan batu, n	-	-	-	2	2	2
Tebal Lapis <i>Bedding Layer</i> -2 (m)	-	-	-	1,5	1,7	1,7
Berat Unit Batuan Inti (ton)	0,01-0,3	0,01-0,3	0,01-0,5	0,01-1,0	0,01-1,0	0,01-1,0
Lebar atas batuan inti (m)	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Elevasi Puncak (m)	6,886	7,155	7,155	7,260	8,984	8,984
Kemiringan sisi miring (°)	33,69	33,69	33,69	33,69	33,69	33,69

Dari perhitungan geometri potongan melintang, maka dapat dibuat gambar potongan melintang untuk setiap perubahan kontur dasar laut dengan tipikal gambar potongan struktur pemecah gelombang seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4 Potongan melintang struktur pemecah gelombang pada titik 22



Gambar 5 Potongan melintang struktur pemecah gelombang pada titik 17

2. Perhitungan Volume Material Struktur Pemecah Gelombang

Dari gambar potongan melintang dan potongan memanjang struktur pemecah gelombang sisi timur, maka dapat dihitung volume material yang dibutuhkan untuk setiap jenis ukuran batuan dan armor. Volume material yang dihitung berdasarkan gambar potongan melintang dan memanjang disajikan pada Tabel 3.

Untuk dapat membandingkan dengan data aktual maka volume material untuk armor beton dolos yang dihitung dari gambar desain dinyatakan dalam m³. Volume material desain dihitung dengan memberikan faktor keamanan 1,2 untuk mengakomodasi penurunan lapisan tanah dasar laut dan material yang terbawa oleh gelombang pada saat konstruksi.

Tabel 3 Perbandingan volume material desain dan aktual

No.	Material	Satuan	Volume		Perbedaan Volume (%)
			Desain	Aktual	
A Armor Beton					
1	Dolos 20 t	m ³	12.439	10.432	-16
2	Dolos 15 t	m ³	40.889	43.944	7
3	Dolos 8 t	m ³	11.750	11.891	1
4	Dolos 4t	m ³	22.923	23.115	1
Total Volume		m ³	88.001	89.382	1,5
B Batu					
1	Rock bedding layer 1-2 t	m ³	13.666	16.312	19
2	Rock bedding layer 0,75-1,5 t	m ³	43.886	58.276	33
3	Rock bedding layer 0,2-0,4 t	m ³	1.194	1.710	43
4	Rock bedding layer 0,4-0,8 t	m ³	7.000	11.528	65
5	Rock mound 0,1-0,3 t	m ³	7.295	8.239	13
6	Rock mound 0,2-0,4 t	m ³	5.943	16.034	170
7	Rock bottom scour protection 0,1-0,2 t	m ³	24.011	42.215	76
8	Rock bottom scour protection 0,3-0,5 t	m ³	6.102	10.581	73
9	Core rock 0,01-0,3 t	m ³	5.164	8.804	70
10	Core rock 0,01-0,5 t	m ³	28.106	47.922	71
11	Core rock 0,1-1,0 t	m ³	399.374	685.888	72
12	Armour stone 0,4-0,6 t	m ³	1.263	2.314	83
Total Volume		m ³	543.004	909.823	67,6

3. Faktor Penyebab Kenaikan Volume Material

Dari hasil pengolahan data pada Tabel 3 tersebut, dapat dilihat peningkatan volume terbesar terjadi untuk material yang memiliki berat unit dibawah 1 ton. Volume peningkatan terbesar terjadi untuk material *core rock* dengan peningkatan sebesar 309.970 m³ (atau sebesar 71%) yang memberikan kontribusi terbesar untuk peningkatan volume material secara keseluruhan.

Dari Tabel 3, dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran batuan, semakin besar peningkatan volume material yang dibutuhkan karena batuan tersebut dapat dengan mudah terseret dan berguling akibat *run-down* gelombang dari gelombang yang datang. Kehilangan material batuan dengan berat dan ukuran yang lebih kecil akan mempengaruhi kestabilan material batuan yang lebih besar karena terjadi penambahan ruang kosong (*void*) antar batuan besar sehingga ketika mendapat energi gelombang akan menyebabkan batuan dengan ukuran lebih besar menjadi lebih mudah berguling kearah kaki (*toe*) pemecah gelombang.

Untuk material lapisan *core rock* yang belum diberi lapisan pelindung, tinggi gelombang selama proses konstruksi yang dapat menyebabkan pergeseran posisi material dapat dihitung dengan formula Hudson. Dari hasil perhitungan seperti yang disajikan pada Tabel 4, dapat dilihat bahwa berat material *core rock* desain akan dengan mudah mengalami ketidakstabilan hidraulik pada saat konstruksi jika tinggi gelombang lebih dari 1,0 m. Hal yang serupa juga terjadi untuk material *bedding layer*.

Tabel 4 Tinggi gelombang ijin pada saat konstruksi lapisan *core rock*

Berat Unit <i>Core Rock</i> (ton)	Rentang Tinggi Gelombang Ijin (m)
0,01-0,3	0,3-0,9
0,01-0,5	0,3-1,0
0,1-1,0	0,6-1,4

Berdasarkan catatan konstruksi, metode konstruksi *rock dumping* dengan dump truck dari darat diterapkan pada saat penempatan *core rock* dan *bedding layer* seperti dapat dilihat pada Gambar 6a. Pada saat gelombang tinggi datang dan kondisi *bedding layer* belum dilindungi oleh lapisan dolos, maka lapisan *bedding layer* yang terbentuk dapat mengalami kerusakan atau perubahan profil karena material batumannya mengalami

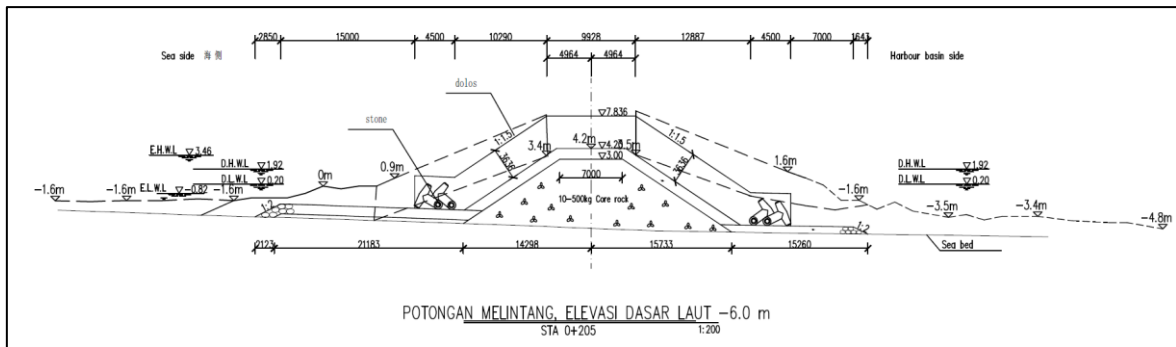
ketidaksetimbangan hidraulik karena terkena energi gelombang secara langsung (lihat Gambar 6b). Kerusakan pada lapisan *bedding layer* dapat berlanjut sampai ke lapisan *core rock*. Kejadian berulang inilah yang menjadi faktor utama peningkatan volume material struktur pemecah gelombang untuk kasus ini.



Gambar 6a. Proses *rock dumping* untuk lapisan *bedding layer*; 6b. Kerusakan lapisan *bedding layer* akibat gelombang.

Selain faktor gelombang, metode konstruksi *rock dumping* dengan menggunakan dump truck akan menemukan kesulitan dalam membentuk profil melintang struktur pemecah gelombang terutama pada bagian *rock bottom protection* karena pembentukan profil mengalami keterbatasan dalam jangkauan alat dalam hal ini adalah excavator. Untuk struktur pemecah gelombang yang berada di kedalaman lebih dari 5 m, pembentukan profil *rock bottom protection* dengan menggunakan excavator sudah tidak dapat dilakukan. Kesulitan pembentukan profil ini juga menjadi salah satu faktor yang menyebabkan meningkatnya material yang dibutuhkan.

Pada kondisi sebenarnya, profil struktur pemecah gelombang yang terbentuk dapat dikatakan berbeda dengan profil desain. Dari hasil pengukuran diperoleh profil aktual struktur pemecah gelombang. Jika dibandingkan dengan gambar desain, kondisi aktual menunjukkan profil struktur yang memiliki kemiringan yang lebih landai seperti ditunjukkan dengan garis terputus pada Gambar 7. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa profil kemiringan baru yang terbentuk merupakan kemiringan yang tercapai karena material batuan pada lapisan *core rock* dan *bedding layer* bergerak akibat terkena energi gelombang secara langsung sampai pada posisi dimana energi gelombang sudah tidak mempengaruhi atau memberi pengaruh kecil terhadap kestabilan hidraulik material tersebut. Hal ini tentu saja menyebabkan penambahan volume material untuk dapat mencapai elevasi puncak masing-masing lapisan sesuai desain.



Gambar 7 Perbandingan profil desain dan aktual struktur pemecah gelombang

D. Simpulan

Dari hasil evaluasi terhadap data desain dan konstruksi dapat disimpulkan bahwa profil struktur pemecah gelombang pada gambar desain secara umum sulit untuk dikonstruksi pada kondisi perairan yang dalam dan gelombang tinggi, terutama pada saat melakukan konstruksi lapisan *core rock* yang memiliki berat bervariasi antara 0.01-1,0 ton per unit. Hal ini disebabkan karena batuan tersebut cenderung bergeser dari posisi rencana akibat terpapar langsung energi gelombang. Perubahan profil terbangun pemecah gelombang umumnya diawali oleh lapisan *core rock* yang tidak sesuai dengan profil desain. Dalam contoh kasus ini, perubahan profil dan peningkatan volume aktual material terhadap volume desain terutama disebabkan oleh peningkatan volume material lapisan *core rock* sebesar 71%. Agar hasil konstruksi mendekati profil desain, maka pemilihan metode konstruksi yang tepat sangat berpengaruh.

E. Daftar Pustaka

- Allen, S. N., & Moore, G. A. C. (2016). Construction methodologies and challenges for marine concrete structures. In *Marine Concrete Structures* (pp. 115–133). Woodhead Publishing.
- B. S. I. (1991). *Maritime structures—Part 7: Guide to the design and construction of breakwaters*. Law BS 6349, 6349(196), 254.
- Burcharth, H. F., Hedar, P. A., Ouemeraci, H., Martinez, A., Hamer, B. A., Lamberti, A., Anglin, C. D., van Gent, M., Gilman, J. P., & van Impe, J. (2003). *State-of-the-art of Designing and Constructing Berm Breakwaters*. PIANC General Secretariat.
- Campos, Á., Castillo, C., & Molina-Sanchez, R. (2020). Damage in Rubble Mound Breakwaters. Part I: Historical Review of Damage Models. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(5), 317.
- Hickson, R. E., & Rodolf, F. W. (2010). Design and construction of jetties. *Coastal*

Engineering Proceedings, 1(1), 26.

Hidayat, N. (2006). Konstruksi Bangunan Laut dan Pantai Sebagai Alternatif Perlindungan Daerah Pantai. *SMARTek*, 4(1).

Hudson, R. Y. (1959). Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters. *Reprint of the Original Paper as Published in the Journal of the Waterways and Harbors Division of ASCE, Proceedings Paper 2171*.

Ichsan, I., & Suleman, A. H. (2018). Analisis perencanaan break water dalam penanganan sedimentasi pantai di Desa Botubarani. *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 1(1), 82–93.

Palmer, G. N., & Christian, C. D. (1998). Design and construction of rubble mound breakwaters. *Transactions of the Institution of Professional Engineers New Zealand: Civil Engineering Section*, 25(1), 19.

Refi, A. (2013). Analisis Break Water Pada Pelabuhan Teluk Bayur Dengan Menggunakan Batu Alam, Tetrapod, Dan A-Jack. *Jurnal Momentum*, 15(2).

Syhaputra, D., Mawardi, M., & Besperi, B. (2014). *Analisis Struktur Bangunan Breakwater Tipe Campuran (Studi Kasus di Tapak Paderi Kota Bengkulu)*. Fakultas Teknik. UNIB.

Van der Meer, J. W. (1988). *Rock slopes and gravel beaches under wave attack*. Delft, the Netherlands, Delft Hydraulic. Lab., Nov. 1988, 396.

Yannovita, W., Besperi, B., & Gunawan, G. (2017). Desain Breakwater Sisi Miring Sebagai Upaya Mengantisipasi Limpasan Air Laut Pada Bangunan Revetment Di Pantai Malabero Kota Bengkulu. *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 1–10.