



SIMULASI MODEL FISIK EFEKTIVITAS PEMECAH GELOMBANG TETRAPOD DAN DOLOS

PHYSICAL MODEL SIMULATION OF RUBBLE-MOUND TETRAPOD AND DOLOSSE BREAKWATER EFFECTIVENESS

Maratus Khasanah Humairah¹⁾* Sugeng Widada²⁾ Rikha Widiaratih³⁾

^{1,2,3)}Departemen Oseanografi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto No. 13, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia 50275

*Correspondent E-mail: khasanahumairah@gmail.com

Diterima: 22 Juli 2021; Direvisi: 07 Juni 2022; Disetujui: 17 Juni 2022

ABSTRACT

In order to create calm ocean water, breakwater is essential for reducing wave energy. Rubble-mound breakwater with tetrapod and dolosse armor can be a solution in reducing ocean wave energy. This research aims to understand the effectiveness of rubble-mound tetrapod and dolosse breakwater in reducing wave energy with sea level condition variation in a laboratory. The method of this research is an experimental method that uses a breakwater physical model with various scenarios. Testing scenarios are determined based on water depth, wave period (T), and armour structure. The results of this research showed that rubble-mound tetrapod breakwater is the most effective breakwater with an average reducing percentage of 86.7%. Rubble-mound tetrapod and dolosse breakwater physical model have high effectiveness because they are built by rubble mound structure that forms a sloping side. These structures are effective in reducing wave energy because the waves get in between rock slits. So, the wave energy reduces when it passes through the breakwater. This research can give some information and analysis in planning a breakwater effectively and efficiently in the ocean.

Keywords: breakwater physical model, tetrapod, dolosse, wave energy

ABSTRAK

Dalam menciptakan perairan laut yang tenang, breakwater penting dalam upaya meredam energi gelombang. Struktur breakwater batu pecah dengan lapis lindung (armor) berupa tetrapod dan dolos dapat menjadi solusi dalam peredaman energi gelombang laut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat efektivitas redaman energi pada bangunan breakwater batu pecah dengan struktur lapis lindung tetrapod dan dolos dengan menggunakan variasi kondisi muka air laut di laboratorium. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan menggunakan model fisik breakwater dengan 4 skenario di dalamnya. Skenario pengujian ditentukan berdasarkan variasi kedalaman, periode gelombang (T), dan jenis struktur dari breakwater. Hasil penelitian menunjukkan bahwa breakwater tetrapod menjadi breakwater yang lebih efektif dengan persentase redaman rata-rata sebesar 86.7%. Model fisik breakwater ini memiliki efektivitas yang tinggi karena breakwater tersusun oleh armor berupa tumpukan batu pecah serta tetrapod maupun dolos yang membentuk sisi miring. Struktur ini efektif dalam meredamkan gelombang karena pada dasarnya gelombang yang melewati armor berupa batu pecah maupun tetrapod dan dolos akan teredam energinya saat melewati celah-celah breakwater tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi dan analisis ke depannya dalam melakukan pembangunan breakwater yang efektif dan efisien di laut.

Kata Kunci: model fisik breakwater, tetrapod, dolos, energi gelombang

PENDAHULUAN

Gelombang merupakan salah satu fenomena alam yang terjadi di laut berupa gerak naik turunnya permukaan air yang menjalar sebagai akibat dari adanya gangguan-gangguan seperti gempa, letusan gunung berapi, dan longsoran di laut. Adapun yang terjadi rutin secara periodik di laut adalah gelombang yang diakibatkan oleh angin. Gelombang di alam bervariasi mulai dari yang kekuatannya atau energinya kecil hingga yang berkekuatan besar. *Breakwater* sekarang ini menjadi salah satu bangunan pantai yang dibuat untuk peredaman energi gelombang serta perlindungan pantai dari bencana pesisir (Liang *et al.*, 2017). *Breakwater* memiliki beberapa macam jenis untuk nantinya dibuat sesuai dengan kebutuhan yang ada di lapangan. Salah satu jenis *breakwater* adalah *breakwater* sisi miring dengan batu lapis lindung. Pemasangan *breakwater* yang dilengkapi dengan lapis lindung bertujuan untuk menjaga stabilitas dari bangunan itu sendiri. Beberapa jenis lapis lindung digunakan dalam pemasangan bangunan pemecah gelombang dengan sisi miring. Batu lapis lindung yang digunakan diantaranya adalah tetrapod dan dolos. Tetrapod merupakan struktur non-penguat yang secara skematis terbentuk dari empat lengan dengan berpusat pada satu titik sentral (Fabiao *et al.*, 2013). Adapun dolos memiliki karakteristik penguncian yang kuat antar unitnya ketika disusun (Bilyay *et al.*, 2017). Lapis lindung berbentuk tetrapod dan dolos ini nantinya akan mempengaruhi stabilitas dari bangunan pemecah gelombang.



Gambar 1. Struktur Lapis Lindung Dolos pada Sebuah *Breakwater*

Breakwater biasanya dibangun pada perairan di depan pelabuhan supaya terhindar dari adanya gangguan energi gelombang yang besar setelah gelombang pecah (CERC, 1984). Hal ini dapat dilihat pada Pelabuhan Adikarto, Pantai Glagah, Yogyakarta yang menggunakan *breakwater* untuk meredam energi gelombang supaya menciptakan perairan yang tenang. *Breakwater* di Pelabuhan

Adikarto dibangun dengan menggunakan lapis lindung (*armour*) berupa tetrapod. Dalam pengujian keefektifan dari *breakwater* di pelabuhan Adikarto dapat dilakukan dengan pendekatan model fisik di laboratorium. Dalam mempelajari fenomena peredaman gelombang di alam, pendekatan eksperimen telah banyak dilakukan untuk membuat fenomena gelombang menjadi lebih sederhana dengan tujuan keperluan praktis. Kajian tentang energi gelombang yang dipengaruhi *breakwater* di lapangan dapat dianalisis dengan pendekatan eksperimen (Ajiwibowo, 2018). Salah satu cara untuk menganalisis struktur pantai khususnya *breakwater* batu pecah dan lapis lindung ini adalah dengan menggunakan pemodelan *breakwater* tiga dimensi berbasis laboratorium (Dentale *et al.*, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat efektivitas redaman energi pada bangunan *breakwater* batu pecah dengan struktur lapis lindung tetrapod dan dolos dengan menggunakan variasi kondisi muka air laut di laboratorium (*wave flume*). Dalam penerapannya, diharapkan penelitian ini dapat membantu analisis ke depannya dalam membuat bangunan pantai yang efektif dan efisien di lapangan. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Gedung J Lantai 1, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro.

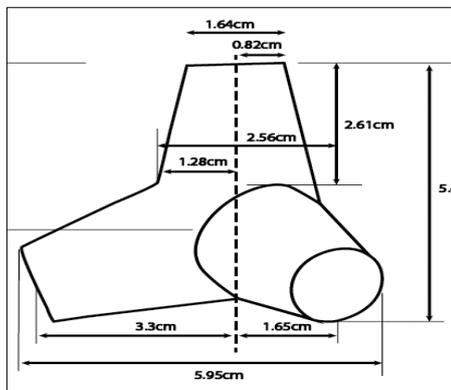
METODOLOGI

Metode penelitian ini adalah menggunakan metode eksperimen yaitu metode ilmiah untuk mencari hubungan sebab akibat (hubungan kausal) antara dua faktor yang sengaja ditimbulkan oleh peneliti melalui sebuah eksperimen dengan mengeliminasi atau mengurangi faktor-faktor lain yang mengganggu (Wardhani *et al.*, 2013). Metode eksperimen ini menggunakan pendekatan untuk mencari hubungan sebab akibat dari fenomena yang ada di lapangan untuk diujikan atau dilakukan eksperimen di laboratorium. Pendekatan dalam penelitian ini adalah dengan memodelkan bangunan yang ada di lapangan untuk dibuat dan diuji dalam skala laboratorium. Uji model fisik dapat dilakukan di dalam *flume* gelombang 2D dengan bangkitan gelombang menggunakan tipe gelombang regular (Ginting *et al.*, 2019). Dalam penelitian ini, metode dalam menganalisis kekuatan bangunan pemecah gelombang dilihat dari pengukuran energi gelombang yang teredam oleh *breakwater*.

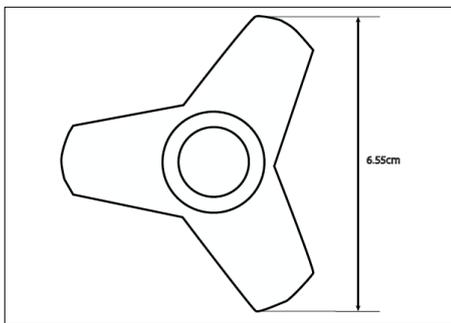
Perencanaan Bangunan Pemecah Gelombang

Bangunan pemecah gelombang dibuat dengan menggunakan kaidah kesebangunan geometrik, yaitu kaidah kesebangunan dimana model fisik

memiliki bentuk dan ukuran panjang yang sebangun dengan prototipe. *Breakwater* dibuat dengan 2 struktur lapis lindung (*armor*) yang berbeda, yaitu tetrapod dan dolos. Tetrapod dan dolos dibuat berdasarkan ketentuan berat untuk selanjutnya dibuat dimensi panjang lainnya dengan memperhatikan dimensi sesungguhnya di lapangan sebelum diskalakan (Triatmodjo, 2007). Skala yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah 1:40.



(a)



(b)

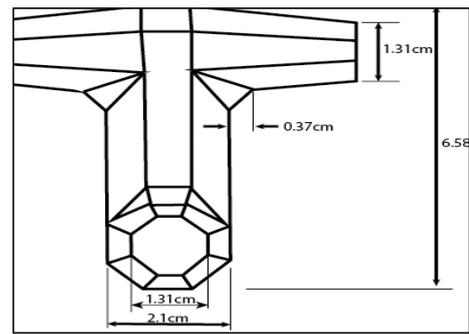
Gambar 2 Dimensi Tetrapod dengan Skala 1:40
(a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas



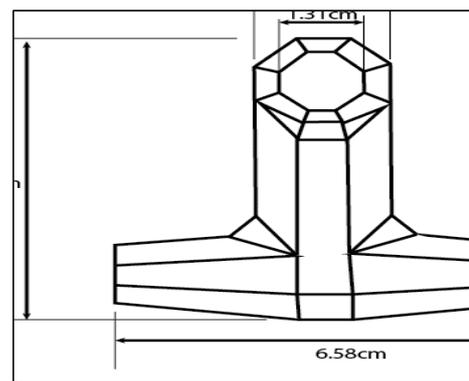
Gambar 3 Model Fisik Tetrapod
Skala 1:40

Adapun dalam uji model fisik ini digunakan juga *breakwater* tipe dolos sebagai pembanding dalam mengetahui efektivitas dari struktur *breakwater*. Dolos juga dibuat dalam skala

laboratorium (1:40) dengan memperhatikan dimensi sesungguhnya di lapangan sebelum diskalakan.



(a)



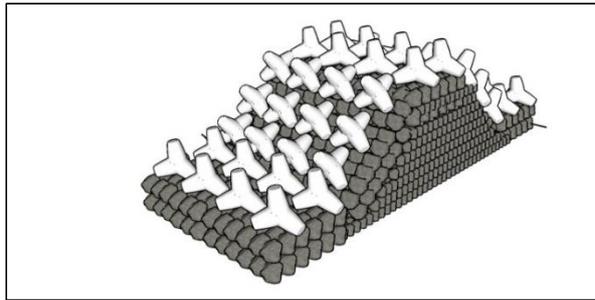
(b)

Gambar 4 Dimensi Dolos dengan Skala 1:40
(a) Tampak Atas, (b) Tampak Sisi

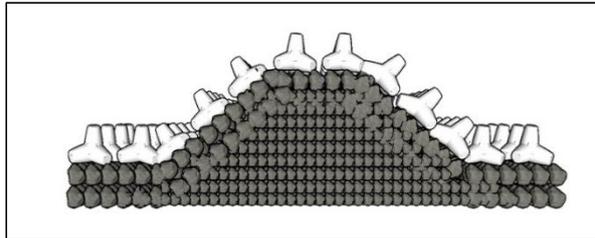


Gambar 5 Model Fisik Dolos
Skala 1:40

Dalam penerapannya di lapangan *breakwater* biasanya dilengkapi dengan batuan pecah sebagai lapisan dalam sebelum dipasang *armor* (pelindung). Hal ini juga berkaitan dengan salah satu fungsi *armor*, yaitu sebagai pelindung bangunan pemecah gelombang yang dilapisinya (Cappieti, 2015). Pada penelitian ini digunakan juga batuan pecah sebagai struktur utama dari *breakwater* sebelum diberikan lapisan tetrapod dan dolos.

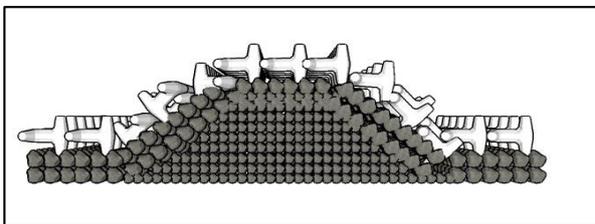


(a)

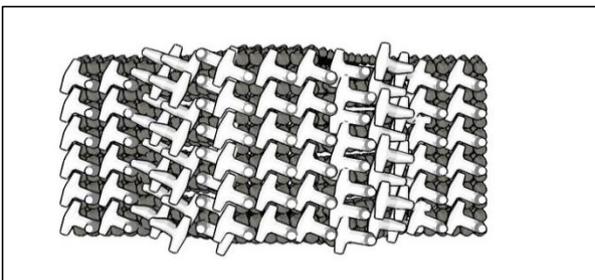


(b)

Gambar 6 Desain Rubble Mound Tetrapod Breakwater skala 1:40 (a) Tampak Diagonal (b) Tampak Depan

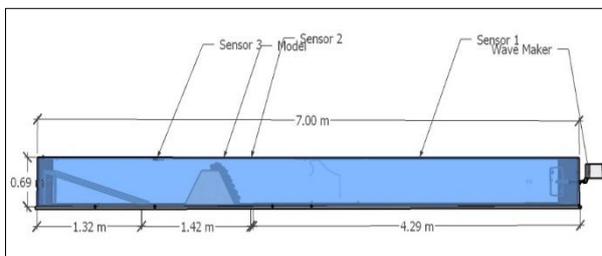


(a)



(b)

Gambar 7 Desain Rubble Mound Dolosse Breakwater skala 1:40 (a) Tampak Depan (b) Tampak Atas



Gambar 8 Pemodelan Fisik di Wave flume

Skenario Pengujian Model Fisik Breakwater

Skenario pengujian model fisik breakwater ini dibuat dengan tujuan untuk membandingkan keefektifan dari masing-masing struktur pelindung breakwater.

Tabel 1 Skenario Pengujian Model Fisik Breakwater

Skenario	Struktur Pelindung Breakwater	Kondisi Elevasi Muka Air	Kedalaman air (cm)	Periode Gelombang (s)
I	Tetrapod	MSL	15	1
				0,9
				0,8
II	Tetrapod	HHWL	15 + 2 = 17	1
				0,9
				0,8
III	Dolos	MSL	15	1
				0,9
				0,8
IV	Dolos	HHWL	15 + 2 = 17	1
				0,9
				0,8

Perhitungan Koefisien Refleksi dan Transmisi

Perhitungan Koefisien Refleksi (K_r) dan Koefisien Transmisi (K_t) dapat diketahui dengan tinggi gelombang datang (H_i), tinggi gelombang refleksi (H_r), dan tinggi gelombang transmisi (H_t) yang telah didapat. Tinggi gelombang tersebut didapat dari rumus sebagai berikut:

$$H_i = \frac{(H_{maks})_i + (H_{min})_i}{2} \dots\dots\dots (1)$$

$$H_r = \frac{(H_{maks})_r - (H_{min})_r}{2} \dots\dots\dots (2)$$

$$H_t = \frac{(H_{maks})_t + (H_{min})_t}{2} \dots\dots\dots (3)$$

(sumber: Paotonan dan Yuwono, 2011)

Sehingga bisa diketahui bahwa perhitungan tinggi gelombang refleksi didapatkan dari nilai tinggi gelombang maksimum dan minimum yang tepat berada di depan model fisik bangunan. Adapun koefisien Refleksi dan Transmisi dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} \dots\dots\dots (4)$$

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

H_r = tinggi gelombang refleksi

H_i = tinggi gelombang datang

H_t = tinggi gelombang transmisi

(sumber: Setiawan dan Ginting, 2018)

Penentuan Energi Gelombang yang Teredam

Metode pengumpulan data untuk mencari nilai energi gelombang didapatkan dari nilai tinggi gelombang. Energi gelombang menjalar sebelum dan sesudah diredamkan oleh bangunan pemecah gelombang sisi miring yang telah dilapisi tetrapod dan dolos dibandingkan dari hasil perhitungan. Dalam menentukan energi gelombang dapat ditentukan sebagai berikut:

$$E = \frac{\rho g H^2}{8} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

- E = energi gelombang total (Joule)
 - g = percepatan gravitasi 9.81 (m/s²)
 - H = tinggi gelombang (m)
 - ρ = massa jenis air 1000 (kg/m³)
- (sumber: Ginting, 2018)



Gambar 9 Uji Model Fisik *Breakwater* Tetrapod (Skala 1:40)



Gambar 10 Uji Model Fisik *Breakwater* Dolos Skala 1:40

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koefisien Refleksi

Pengaruh Tinggi Gelombang Refleksi (*H_r*) terhadap Koefisien Refleksi (*K_r*)

Gelombang diasumsikan datang pada perairan transisi di *wave flume* sebelum nantinya menjalar

menuju pantai. Gelombang digerakkan oleh mesin rotor di *wave flume* dengan mengatur kecepatan mesin rotor tertentu. Setiap kecepatan rotor per menit yang telah diatur menghasilkan gelombang dengan periode tertentu pula. Gelombang yang menjalar ini memiliki tinggi gelombang (*H*) tertentu yang diukur dengan menggunakan sensor ultrasonik. Sensor ultrasonik dipasang pada 3 bagian, yaitu di dekat mesin penggerak gelombang, di depan bangunan *breakwater*, dan di belakang *breakwater*. Pada penelitian kali ini, model fisik *breakwater* dipasang untuk meredam energi gelombang untuk melihat seberapa efektif tipe *breakwater* tertentu. Gelombang yang datang mengenai penghalang seperti *breakwater* akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya dimana teori ini disebut sebagai teori refleksi gelombang (Triatmodjo, 1999). Oleh karena itu, gelombang yang datang mengenai *breakwater* pada uji model fisik ini memiliki nilai koefisien refleksi (*K_r*) tertentu. Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, - didapatkan bahwa tinggi gelombang datang yang dinyatakan sebagai *H_i* serta tinggi gelombang refleksi yang dinyatakan dengan *H_r* dipengaruhi oleh tinggi gelombang maksimum dan minimum yang ditangkap oleh sensor ultrasonik.

Tinggi gelombang datang (*H_i*) dan tinggi gelombang refleksi pada penelitian ini dapat dibedakan berdasarkan nilai gelombang maksimum dan minimum. Perbedaannya apabila gelombang datang (*H_i*) diketahui berdasarkan pengukuran tinggi gelombang pada sensor 1 yang letaknya masih jauh di depan bangunan atau dekat dengan mesin penggerak. Adapun tinggi gelombang refleksi (*H_r*) diketahui berdasarkan tinggi gelombang yang terukur oleh sensor 2 atau sensor yang tepat berada di depan bangunan. Keempat skenario yang telah diuji memiliki nilai koefisien refleksi yang berkisar antara 0,636 - 0,857 Adapun pada hasil penelitian ini juga ditunjukkan bahwa semakin tinggi gelombang datang (*H_i*) maka gelombang yang direfleksikan (*H_r*) juga semakin tinggi sehingga nilai koefisien refleksi (*K_r*) cenderung lebih besar nilainya.

Selain itu, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa uji model fisik *breakwater* tetrapod dan dolos dengan tumpukan batu di dalamnya memiliki kemampuan yang cukup besar dalam memantulkan gelombang. Hal ini diperkuat dengan pernyataan bahwa koefisien refleksi bekisar dari nilai 0 - 1 dimana semakin besar nilai koefisen refleksi maka semakin besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang Triatmodjo (1999). *Breakwater* yang dibuat pada penelitian ini terdiri dari tumpukan batu pecah dan struktur lapis lindung tertentu sehingga memiliki nilai koefisien

refleksi yang cukup besar dengan memantulkan sebagian besar energi gelombang menjadi gelombang refleksi tertentu di depan bangunan. Berdasarkan hasil skenario I hingga IV dapat dilihat bahwa yang skenario yang memiliki koefisien refleksi (K_r) paling besar adalah skenario II dimana nilai K_r pada skenario tersebut memiliki nilai rata-rata 0,807 Adapun nilai K_r yang paling besar terjadi pada skema dengan kondisi kedalaman air 17 cm dan periode gelombang 0,9 detik untuk *breakwater* tetrapod dengan nilai K_r sebesar 0,857 pada skenario II (Tabel 2). Skema ini menjadi skema yang paling efektif dalam merefleksikan gelombang sehingga gelombang yang mengenai *breakwater* dipantulkan kembali dan terdeteksi sebagai gelombang refleksi tepat di depan bangunan.

Tabel 2 Hasil Nilai Koefisien Refleksi

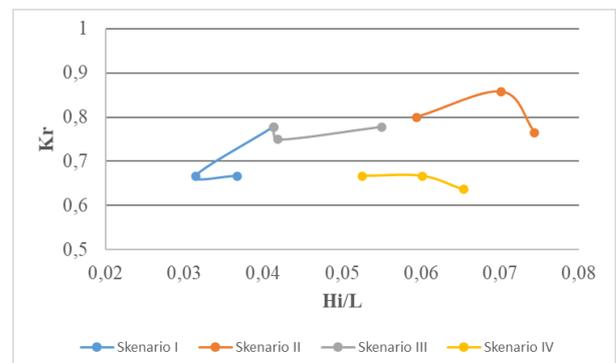
Skenario	d (m)	T (s)	Hi (m)	Hr (m)	L (m)	Kr
I	0,15	1	0,045	0,035	1,089	0,777
	0,15	0,9	0,03	0,02	0,955	0,667
	0,15	0,8	0,03	0,02	0,817	0,667
II	0,17	1	0,085	0,065	1,143	0,764
	0,17	0,9	0,07	0,06	0,997	0,857
	0,17	0,8	0,05	0,04	0,841	0,8
III	0,15	1	0,045	0,035	1,089	0,778
	0,15	0,9	0,04	0,03	0,955	0,75
	0,15	0,8	0,045	0,035	0,817	0,778
IV	0,17	1	0,06	0,04	1,143	0,667
	0,17	0,9	0,06	0,04	0,997	0,667
	0,17	0,8	0,055	0,035	0,841	0,636

Hubungan antara Kecuraman Gelombang (H_i/L) terhadap Koefisien Refleksi (K_r)

Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan, kecuraman gelombang memiliki nilai yang terdistribusi secara linier, dimana semakin tinggi kedalaman (d) maka kecuraman gelombang juga semakin tinggi pula. Kecuraman gelombang di depan bangunan memiliki pengaruh tertentu terhadap nilai koefisien refleksi (K_r). Kecuraman gelombang sendiri merupakan pembagian antara gelombang datang (H_i) terhadap panjang gelombang (L) yang terukur. Panjang gelombang (L) ini dipengaruhi oleh kedalaman perairan (d). Dalam penelitian uji model fisik ini, nilai panjang gelombang (L) hanya berbeda ketika kedalaman perairan diatur 15 cm dan 17 cm. sehingga pengujian pada skenario I dan III memiliki nilai

panjang gelombang (L) yang sama, dan skenario II dan IV juga memiliki nilai panjang gelombang (L) yang sama. Kecuraman gelombang (H_i/L) di depan bangunan pada penelitian ini berkisar antara nilai 0,031 – 0,074. Pada skenario I dan III (Gambar 11) dimana *breakwater* diuji pada kedalaman perairan 15 cm menunjukkan bahwa semakin besar nilai kecuraman gelombang (H_i/L) di depan bangunan maka gelombang yang direfleksikan juga semakin besar sehingga nilai K_r menjadi semakin besar pula. Hal ini dikarenakan gelombang yang memiliki kecuraman besar cenderung lebih mudah pecah saat mengenai *breakwater*. Dengan gelombang yang semakin mudah pecah saat mengenai *breakwater* ini, gelombang yang dipantulkan *breakwater* atau gelombang refleksi semakin besar. Hasil ini didukung dengan pernyataan Achiari *et al.*, (2020) yang menyatakan bahwa semakin besar kecuraman gelombang (H_i/L) maka besarnya energi gelombang yang dipantulkan (K_r) juga semakin besar pula dimana keduanya menunjukkan hubungan yang berbanding lurus.

Adapun pada skenario II dan IV dimana *breakwater* diuji pada kedalaman 17 cm menunjukkan hasil bahwa semakin besar nilai kecuraman gelombang (H_i/L) maka nilai koefisien refleksi (K_r) relatif lebih kecil nilainya. Hal ini disebabkan semakin tinggi kedalaman perairan (d) maka nilai panjang gelombang (L) juga semakin besar, sehingga kecuraman gelombang yang merupakan pembagian terhadap panjang gelombang (L) ini akan menjadi kecil nilainya. Hal ini juga sesuai dengan penelitian Herbich & Douglas dalam Achiari *et al.*, (2020) yang menyatakan bahwa semakin dalam perairan maka nilai K_r menjadi semakin kecil.



Gambar 11 Hubungan Antara Koefisien Refleksi (K_r) dengan Kecuraman Gelombang (H_i/L)

Koefisien Transmisi

Pengaruh Tinggi Gelombang Datang (H_i) terhadap Koefisien Transmisi (K_t)

Gelombang yang menjalar di belakang bangunan *breakwater* setelah diredamkan disebut sebagai transmisi gelombang. Gelombang yang menjalar di belakang bangunan setelah diredamkan ini memiliki nilai koefisien tertentu yang disebut sebagai koefisien transmisi (Kt). Besar nilai koefisien transmisi (Kt) ini dipengaruhi oleh tinggi gelombang maksimum dan minimum yang datang setelah diredamkan di belakang bangunan. Besar nilai gelombang yang datang (H_i) juga mempengaruhi koefisien transmisi (Kt) yang merupakan hasil pembagian dari tinggi gelombang transmisi (H_t) terhadap tinggi gelombang datang tersebut (H_i). Hal ini juga dikemukakan oleh Achiri et al., (2020) yang menyatakan bahwa tinggi gelombang transmisi merupakan tinggi gelombang yang diteruskan di belakang pemecah gelombang dimana koefisien transmisinya dinyatakan sebagai pembagian antara tinggi gelombang transmisi terhadap tinggi gelombang datang. Adapun pada penelitian ini, didapatkan bahwa nilai koefisien transmisi (Kt) berkisar antara 0,058 – 0,556.

Berdasarkan hasil nilai koefisien transmisi yang diperoleh dapat diketahui bahwa pada uji eksperimen *breakwater* ini mampu meredam gelombang dengan baik. Gelombang datang (H_i) yang semakin besar tingginya membuat gelombang yang diteruskan atau ditransmisikan di belakang bangunan (H_t) juga semakin besar. Nilai koefisien transmisi (Kt) yang merupakan pembagian H_t terhadap H_i cenderung lebih besar pula ketika gelombang tersebut datang (H_i) dengan nilai yang lebih besar dibandingkan ketika gelombang datang (H_i) lebih kecil. Meskipun begitu, kedalaman air juga memberikan pengaruh terhadap hasil ini. Dimana pada penelitian ini menggunakan variasi kedalaman air 15 cm dan 17 cm. Kedalaman air (d) memberikan dampak pada gelombang yang datang (H_i). Semakin dalam air di *wave flume* maka *breakwater* juga semakin banyak yang terendam air sehingga ketika gelombang datang cenderung terlimpas dan diteruskan di belakang bangunan sehingga nilai transmisi juga semakin besar. Seperti yang dapat dilihat pada hasil bahwa skenario I dan II dengan pengujian struktur tetrapod yang divariasikan kedalamannya menunjukkan hasil pada skenario II dengan kedalaman 17 cm memiliki nilai transmisi yang lebih besar yaitu 0,556 dibandingkan pada skenario I yaitu 0,253. Hal ini menunjukkan bahwa kedalaman air (d) berpengaruh juga terhadap adanya limpasan air dan gelombang yang diteruskan di belakang bangunan menjadi lebih besar. Begitu juga dengan skenario III dan IV dengan pengujian struktur dolos menunjukkan hasil yang sama dimana pada

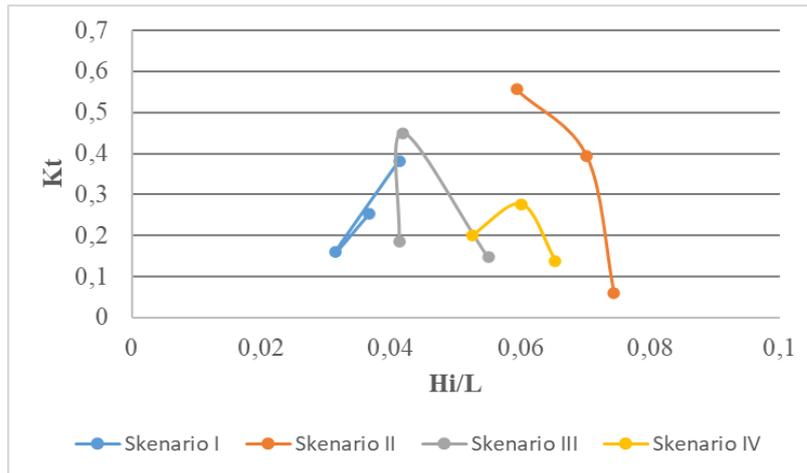
skenario IV yang diuji pada kedalaman 17 cm memiliki nilai transmisi yang lebih besar yaitu 0,200 dibandingkan skenario III yaitu sebesar 0,186 (Tabel 3).

Tabel 3 Hasil Koefisien Transmisi

Skenario	d (m)	T (s)	H _i (m)	H _t (m)	L (m)	K _t
I	0,15	1	0,045	0,025	1,089	0,382
	0,15	0,9	0,03	0,01	0,955	0,16
	0,15	0,8	0,03	0,01	0,817	0,253
II	0,17	1	0,085	0,01	1,143	0,058
	0,17	0,9	0,07	0,035	0,997	0,394
	0,17	0,8	0,05	0,04	0,841	0,556
III	0,15	1	0,045	0,015	1,089	0,186
	0,15	0,9	0,04	0,025	0,955	0,45
	0,15	0,8	0,045	0,01	0,817	0,146
IV	0,17	1	0,06	0,015	1,143	0,2
	0,17	0,9	0,06	0,02	0,997	0,276
	0,17	0,8	0,055	0,015	0,841	0,138

Hubungan Kecuraman Gelombang (H_i/L) terhadap Koefisien Transmisi (Kt)

Besar kecuraman gelombang (H_i/L) yang mengenai suatu *breakwater* dapat mempengaruhi gelombang yang ditransmisikan di belakang struktur. Oleh karenanya, kecuraman gelombang (H_i/L) ini juga erat kaitannya terhadap nilai koefisien transmisi (Kt) yang terdeteksi di belakang bangunan *breakwater*. Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, didapatkan bahwa nilai kecuraman gelombang (H_i/L) berkisar antara 0,0314 – 0,0743. Dapat diketahui bahwa kecuraman gelombang (H_i/L) yang semakin besar nilainya atau dapat pula dikatakan semakin curam suatu gelombang, artinya gelombang semakin mudah pecah. Gelombang yang semakin mudah pecah saat mengenai *breakwater* pada saat sudah mengenai struktur bangunan, maka gelombang yang ditransmisikan menjadi cenderung kecil karena sudah pecah saat menghantam struktur sehingga nilai Kt pun juga semakin kecil. Hubungan antara koefisien transmisi (Kt) dengan kecuraman gelombang (H_i/L) ini sesuai dengan pernyataan bahwa pada dasarnya, semakin besar nilai kecuraman gelombang maka nilai koefisien transmisi semakin kecil karena gelombang semakin mudah pecah pada saat melewati struktur (Sofyan et al., 2013).



Gambar 12 Hubungan Antara Koefisien Transmisi (K_t) dengan Kecuraman Gelombang Gelombang Datang (H_i/L)

Energi Gelombang

Berikut merupakan data hasil rata-rata energi gelombang beserta persentase redaman *breakwater* pada setiap skenarionya ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Energi Rata-rata Gelombang dan Persentase Redaman (Skenario I-IV)

Tipe <i>Breakwater</i>	Periode (s)	Koefisien Refleksi (K_r)		Koefisien Transmisi (K_t)		Peredaman energi (%)	
		d=15 cm	d=17 cm	d=15 cm	d=17 cm	d=15 cm	d=17 cm
Tetrapod	1	0,778	0,765	0,382	0,059	78,698	95,731
	0,9	0,667	0,857	0,160	0,394	85,381	90,413
	0,8	0,667	0,800	0,253	0,556	98,280	71,864
Dolos	1	0,778	0,667	0,187	0,200	83,605	88,701
	0,9	0,750	0,667	0,450	0,277	84,000	88,620
	0,8	0,778	0,636	0,147	0,138	95,649	77,428

Efektivitas Redaman Energi oleh *Breakwater*

Gelombang memiliki besar energi tertentu ketika menjarar. Dalam keperluan praktis, energi gelombang perlu diredamkan kaitannya untuk menciptakan perairan yang tenang. Pada uji model fisik ini, redaman energi gelombang menjadi salah satu fokus utama untuk menguji dan melakukan eksperimen terhadap *breakwater* yang sudah dibuat. Analisis terhadap redaman energi gelombang dilakukan dengan membandingkan

energi gelombang sebelum dan sesudah mengenai *breakwater*. Besar energi gelombang yang teredam mempengaruhi besar efektivitas dari *breakwater* itu sendiri. Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa pada skenario I didapatkan rata-rata energi gelombang sebelum diredamkan *breakwater* adalah sebesar 1,316 Joule, rata-rata energi sesudah diredamkan adalah sebesar 0,153 Joule, dengan rata-rata persentase redaman energi sebesar 87,452%. Pada skenario II, didapatkan rata-rata energi gelombang sebelum diredamkan *breakwater* adalah sebesar 2,756 Joule, rata-rata energi sesudah diredamkan adalah sebesar 0,373 Joule, dengan rata-rata persentase redaman energi sebesar 86,002%. Pada skenario III, didapatkan rata-rata energi gelombang sebelum diredamkan *breakwater* adalah sebesar 1,369 Joule, rata-rata energi sesudah diredamkan adalah sebesar 0,170 Joule, dengan rata-rata persentase redaman energi sebesar 87,751%. Adapun pada skenario IV, didapatkan rata-rata energi gelombang sebelum diredamkan *breakwater* adalah sebesar 3,053 Joule, rata-rata energi sesudah diredamkan adalah sebesar 0,471 Joule, dengan rata-rata persentase redaman energi sebesar 84,916%.

Hasil menunjukkan bahwa persentase redaman dari *breakwater* tetrapod maupun dolos menunjukkan hasil yang baik dikarenakan mampu meredam energi gelombang hingga mencapai angka lebih dari 80%. Selain itu, persentase redaman di antara kedua tipe *breakwater* ini memiliki nilai yang tidak jauh berbeda, menandakan bahwa kedua tipe *breakwater* dinilai sama baiknya dalam meredam gelombang. Hal ini disebabkan karena *breakwater* yang tersusun atas tumpukan batu pecah sisi miring dengan lapis lindung *armour* ini dapat mengikat dan mengunci struktur satu dengan yang lain, sehingga

gelombang yang menjalar pun dapat diredamkan dengan baik. Tumpukan batu pecah (*rubble mound*) dinilai dapat cukup efektif dalam meredamkan gelombang yang menjalar ketika gelombang tersebut masuk di antara celah-celah batuan. Lapis lindung (*armour*) berupa tetrapod dan dolos juga sama baiknya dalam meredamkan energi gelombang yang menjalar di antara celah-celah struktur satu dengan yang lain. Sehingga energi gelombang pun bisa ditangkap dan diredam sehingga menghasilkan perairan yang sudah tenang di belakang bangunan.

Berdasarkan Triatmodjo (1999), dinyatakan bahwa nilai koefisien stabilitas (*KD*) dolos lebih besar untuk pemasangan *breakwater* pada kondisi gelombang tidak pecah. Hal ini disebabkan dolos mampu mengunci lebih kuat antara satu butir pelindung dengan pelindung lain. Namun, dari hasil penelitian ini, persentase redaman yang dihasilkan dolos tidak jauh berbeda dengan tetrapod meskipun pada skenario III dengan *breakwater* dolos yang dipasang pada kedalaman 15 cm memiliki nilai redaman yang paling besar di antara semua skenario yaitu sebesar 87,75%. Hasil ini dapat dipengaruhi oleh kondisi *wave flume* itu sendiri maupun alat sensor yang menangkap tinggi gelombang memiliki nilai akurasi yang masih kecil. Meskipun begitu, dengan kisaran nilai persentase redaman oleh kedua jenis *breakwater* dinilai efektif dalam meredam energi gelombang datang.

KESIMPULAN

Model fisik *breakwater* tetrapod dan dolos memiliki efektivitas yang tinggi dalam meredam energi gelombang. Parameter gelombang seperti kedalaman air (*d*), tinggi gelombang (*H*), dan periode (*T*) berpengaruh terhadap efektivitas dari struktur *breakwater*. Berdasarkan pada hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pada skenario I didapatkan persentase redaman sebesar 87,45%, skenario II sebesar 86,00%, skenario III sebesar 87,75%, dan skenario IV sebesar 84,91%. Dari uji eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini, didapatkan bahwa tetrapod lebih efektif dalam meredam energi gelombang. Model fisik *breakwater* tetrapod dan dolos keduanya memiliki efektivitas yang tinggi karena tersusun atas struktur tumpukan batu pecah yang membentuk sisi miring dengan lapis lindung berupa *armour* tetrapod dan dolos. Struktur ini efektif dalam meredamkan gelombang yang menjalar ketika gelombang tersebut masuk di antara celah-celah batuan sehingga energi gelombang berkurang ketika sudah melewati *breakwater* tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang terkait dan terlibat dalam penelitian ini. Tulisan ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian yang dilakukan penulis dalam rangka penyusunan tugas akhir di Laboratorium Hidrodinamika, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Diponegoro.

DAFTAR PUSTAKA

- Achiari, H., A. L. Ahmad, D. M. Sulaiman. (2020). Analisis Refleksi Dan Transmisi Gelombang Pada Pemecah Gelombang Tiang Pancang. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(3), 723-737. doi.org/10.29244/jitkt.v12i3.27591
- Ajiwibowo, H. (2018). Pemodelan Fisik 3-D Pada Floating – Type *Breakwater*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1), 25-34. doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.16912
- Bilyay, E., B. Ozbahceci, G. Kiziroglu, S. Bacanli. (2017). A New Approach to *Breakwater* Design – 2B Block. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(35)
- Cappiotti, L., D.J. Sherman, J.T. Ellis. (2013). Wave Transmission and Water Setup Behind an Emergent Rubble-Mound *Breakwater*. *Journal of Coastal Research*, 29(3), 694-705. doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00166.1
- CERC, U. A. (1984). *Shore Protection Manual*. Washington DC: US Army Corps of Engineers
- Dentale, F., G. Donnarumma, E. P. Carratelli. (2014). Numerical wave interaction with tetrapods *breakwater*. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 6(4), 800-812
- Fabiao, J., A. Trigo-Teixeira, M.A.V.C. Araújo. (2013). Hydraulic Stability of Tetrapod *Armour* Layers. Physical Model Study. in 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research
- Ginting, J.W.R. (2018). Efisiensi Model Fisik Peredaman Energi Gelombang Dengan Permeable *Breakwater*. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 9(1), 1-16
- Ginting, J.W.R., I.A.I.D.R. Putra, E.M. Simanjuntak. (2019). Model Fisik Redaman Energi Gelombang Dengan *Breakwater* Tiang. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 10(1)
- Liang, B., S. Ma, X. Pan, D. Y. Lee. (2017). Numerical modelling of wave run-up with interaction between wave and dolosse *breakwater*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 79, 294–298.

- Paotonan, C. dan N. Yuwono. (2011). Disipasi Energi Gelombang Yang Merambat Melalui Struktur Bawah Air. *Dinamika Teknik Sipil*, 11(2), 107-111
- Setiawan, I.K.D. dan J.W.R. Ginting. (2018). Refleksi Gelombang Pada Pemecah Gelombang Tenggelam Blok Beton Berkait. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 9(1), 33-42
- Sofyan, H.D. Armono, Sujantoko. (2013). Uji Model Fisik Composite *Breakwater* pada Berbagai Spektrum Gelombang. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset
- Triatmodjo, B. (2007). *Perencanaan Pelabuhan*, Yogyakarta: Beta Offset
- Wardhani, S. R., B. Rochaddi, Purwanto. (2013). Studi Model Fisik Stabilitas Desain *Breakwater* Terhadap Hempasan Gelombang di Pantai Glagah Yogyakarta. *Jurnal Oseanografi*, 2(1), 57-65