

## Analisis Stabilitas *Artificial Reefs* Tipe Hexagonal

Muhammad Rifqi Hanif<sup>1\*</sup>, Haryo Dwito Armono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kelautan Fakultas, Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Kampus ITS Keputih Sukolilo 60111 Kota Surabaya

\*[murihanrifqi@gmail.com](mailto:murihanrifqi@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i2.15246>

### ABSTRACT

*In solving the problem of abrasion and also protecting marine ecosystems, it is necessary to come up with an idea, namely a wave energy retaining structure that is also capable of being a habitat for marine biota. Therefore, in this study, artificial coral reefs were tested which are considered capable to solve these problems, plus those which at the same time rehabilitate damaged coral reef ecosystems. The artificial reefs model in this test is a hexagonal type with one layer arrangement. To get the success value ( $K_D$ ) of artificial reefs, it is seen from the percentage of damage caused by the influence of height and wave period. Then the  $K_D$  value was calculated using the Hudson formula so that it was found that the hexagonal type artificial reefs had a  $K_D$  value = 1.2.*

**Key words :** *Artificial reefs, breakwater, submerged breakwater, stability, coefficient stability*

### PENDAHULUAN

Kerusakan terumbu karang umumnya terjadi karena aktivitas pembangunan seperti pertanian (*run off nutrient* dan sedimen melalui sungai), industri, pengerukan pantai, penangkapan ikan dengan sianida dan bahan peledak, serta penambangan terumbu karang untuk bahan bangunan (Dahuri *et al.*, 2004). Selain sebagai tempat tinggal bagi habitat laut, terumbu karang juga berperan dalam meredam energi gelombang yang datang ke pantai.

Pemecah gelombang terumbu adalah struktur batu berambang rendah yang dibangun untuk stabilisasi pantai dan perlindungan pantai (Ahrens, 1989). Struktur ini dirancang untuk memungkinkan limpasan gelombang dan transmisi serta beberapa pergerakan batu dan deformasi struktur selama persyaratan perlindungan pantai terpenuhi. Fleksibilitas desain ini dapat mengurangi biaya struktur; akan tetapi, kinerja hidrolis dan struktural pemecah gelombang terumbu harus diprediksi dengan andal (Kobayashi *et al.*, 2013).

Terumbu buatan (*artificial reefs*) sering digunakan untuk pelestarian dan rehabilitasi habitat laut (Jensen, 2002). Dalam pemanfaatan hal ini menunjukkan bahwa terumbu buatan merupakan

solusi untuk menjaga kelestarian ekosistem biota laut yang ada di pantai. Selain untuk menjaga kelestarian ekosistem, ternyata terumbu buatan juga dapat menampung komunitas yang berbeda dengan terumbu alami, dan juga dapat mengubah atau memodifikasi keragaman spesies di daerah sekitarnya (Connell, 2001).

Secara konvensional, terumbu karang buatan hanya berfungsi sebagai habitat baru tempat ikan mencari makan (*feeding ground*), tempat memijah, tempat berkembang biak (*spawning ground*) dan pembesaran (*nursery ground*) berbagai biota, tetapi terumbu karang buatan dapat juga digunakan sebagai peredam energi gelombang atau dikenal dengan istilah *artificial reef breakwater*, sehingga dapat melindungi daerah dibelakangnya tanpa mengurangi estetika pantai semula (Armono, 2004). Pembahasan tentang breakwater yang tidak mengganggu estetika pantai ini disebut pula sebagai *submerged breakwater* yang mana breakwater yang pada asalnya ambangnya selalu diletakkan di atas muka air laut, pada kondisi sekarang elevasinya diturunkan hingga terletak di bawah air (Aono & Cruz, 1996; Hayakawa *et al.*, 1998; Kawasaki & Iwata, 1998).

### Article History:

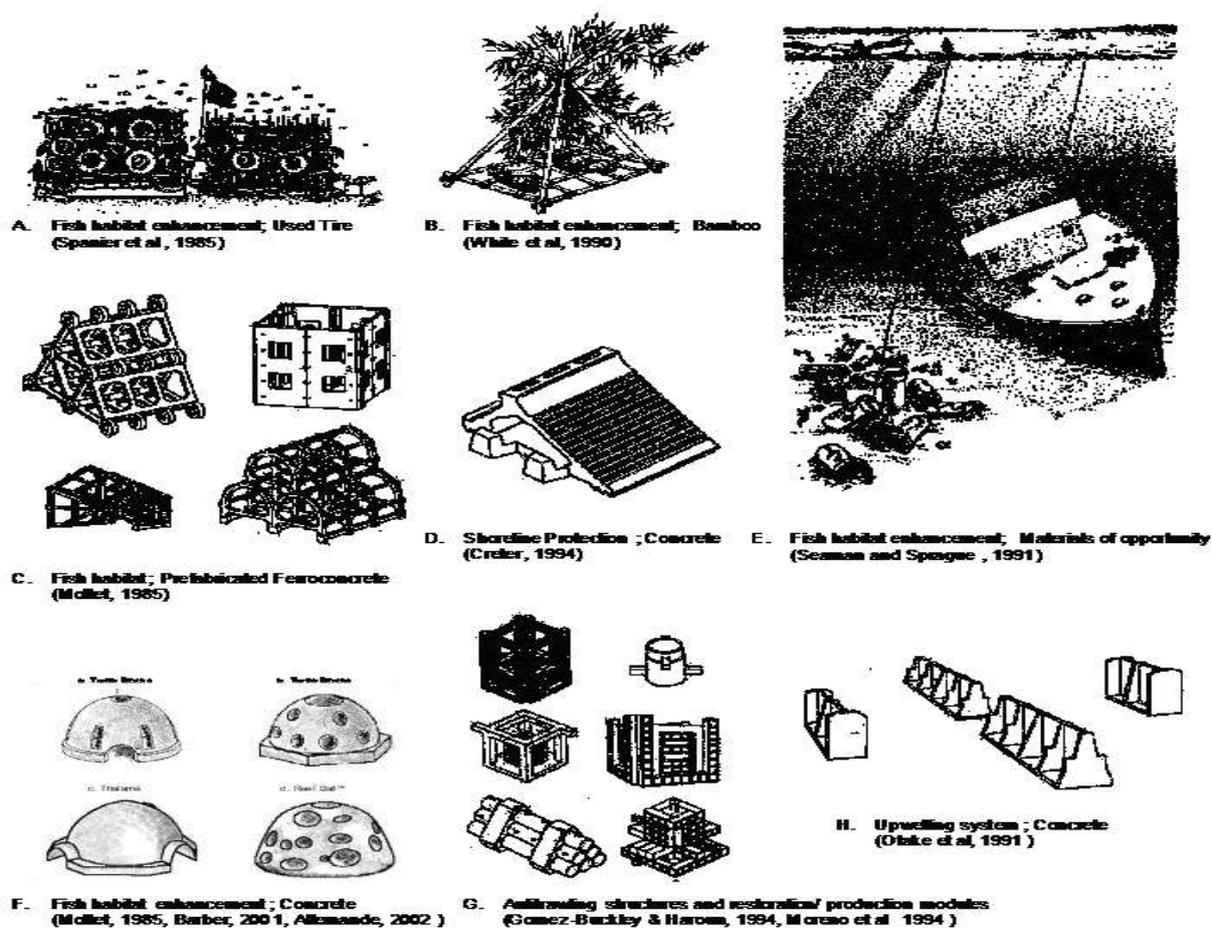
**Received:** Jun, 13<sup>th</sup> 2022; **Accepted:** August, 5<sup>th</sup> 2022

Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

### Cite this as:

Hanif, M.R. & Armono, H.D. (2022). *Analisis Stabilitas Artificial Reefs Tipe Hexagonal*. *Rekayasa* 15 (2). 192-198 pp.  
doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i2.15246>

© 2022 Hanif



Gambar 1. Berbagai Macam Bentuk Terumbu Buatan (Armono, 2003)

Semakin banyaknya penelitian yang membahas tentang terumbu karang buatan, maka semakin variatif pula bentuk dan model yang diusulkan, tujuannya adalah untuk mendapatkan kesesuaian dan efektifitas sebagai struktur penahan energi gelombang. Termasuk usulan terkait model terumbu karang buatan dicetuskan oleh (Akhwady *et al.*, 2012) yang mana bentuknya adalah adopsi dari bentuk model silinder dan bentuk model *turtle reef* sehingga muncul model baru yaitu *bottle reef*. Adapun pada penelitian kali ini akan diuji artificial reefs dengan model hexagonal dan ini merupakan lanjutan analisis dari penelitian (Winarto, 2017). Dipilih bentuk hexagonal karena hidraulik dipandang lebih stabil dan lebih baik dibanding bentuk yang lain (misal silinder, piramid, kubus).

Kerusakan terumbu karang umumnya terjadi karena aktivitas pembangunan seperti pertanian (*run off nutrient* dan sedimen melalui sungai), industri, pengerukan pantai, penangkapan ikan dengan sianida dan bahan peledak, serta penambangan terumbu karang untuk bahan bangunan (Dahuri *et al.*, 2004). Pada Gambar 1

berikut ini akan ditampilkan berbagai macam bentuk dan jenis bahan terumbu buatan serta aplikasi pemakaiannya di lapangan.

Penelitian ini akan dilakukan pengujian dengan menggunakan gelombang irregular spektrum JONSWAP dengan variasi dari tinggi dan periode gelombang. Variasi dari tinggi dan periode gelombang ditentukan untuk mendapatkan hasil nilai KD dari terumbu karang buatan. *Artificial Reefs* diuji dengan susunan yang berbeda untuk dilihat berapa persen tingkat kerusakan dari masing-masing susunan jika dikenai gelombang. Dengan mengetahui stabilitas dari *Artificial Reefs* ini bisa mengetahui ketahanannya saat diterapkan di laut yang sebenarnya.

### METODE PENELITIAN

Pengujian stabilitas dilakukan di laboratorium *wave flume* ITS dengan lebar 0.8 m, dalam 0.6 m, dan panjang 25 m. Stabilitas dihitung dengan melihat persentase kerusakan atau pergeseran artificial reefs dari posisi semula. Data dari *wave probe* digunakan untuk mendapatkan nilai

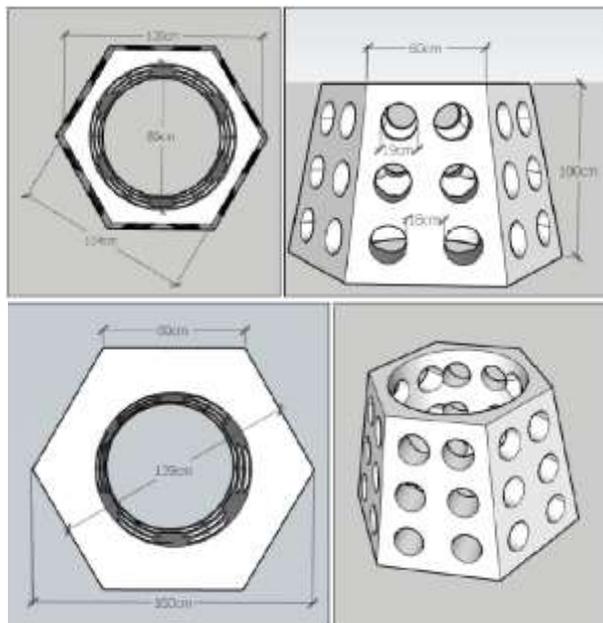
gelombang yang dikeluarkan dari *wave generator*, menggunakan bantuan dari *software water tide meter*. Data gelombang dari *water tide meter* kemudian diolah dengan menggunakan program wawan pada software MATLAB untuk mendapatkan parameter gelombang yang diinginkan. Setelah itu, nilai  $K_D$  dari artificial reefs didapatkan dengan menggunakan rumus Hudson.

**Model Artificial Reefs**

Pengujian ini dilakukan dengan pemodelan fisik *artificial reefs* tipe hexagonal di *Wave Flume* ITS. Peran utama dari pemodelan fisik adalah untuk meminimalisir efek skala dengan memahami dan menerapkan penyerupaan yang tepat dan untuk meminimalkan efek laboratorium melalui model dengan benar-benar mencermati operasinya (Hughes et al., 2008). Model hexareef dibuat dengan skala 1:10 dengan ukuran seperti yang terdapat pada Tabel 1. Adapun desain model dari hexareef ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.

Tabel 1. Perbandingan Dimensi Prototipe dan Model Artificial Reefs

Ukuran	Prototipe	Model
Panjang (m)	1.04	0.104
Lebar Atas (m)	0.89	0.89
Lebar Bawah (m)	1.39	0.139
Tinggi (m)	1	0.1

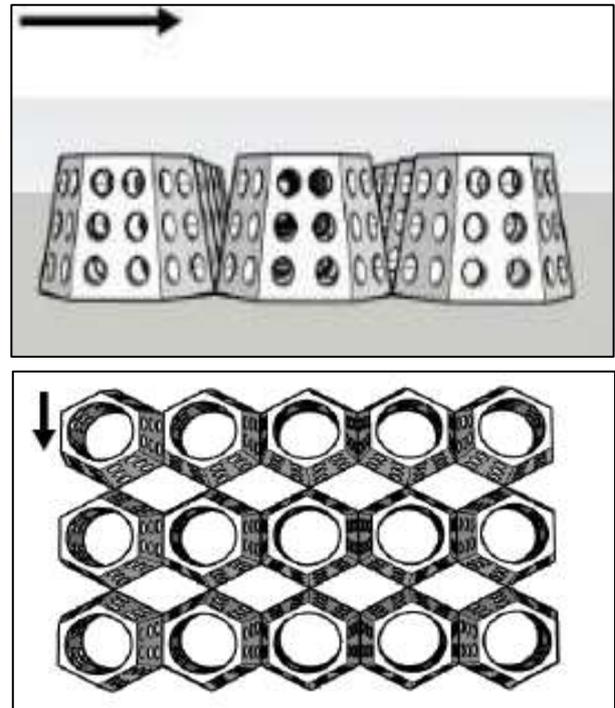


**Gambar 2.** Desain Model *Artificial Reefs* Tipe Hexagonal

**Peletakan Artificial Reefs dan Skenario Uji**

Untuk model susunan hexareef yang diuji stabilitasnya pada penelitian ini adalah dengan 3

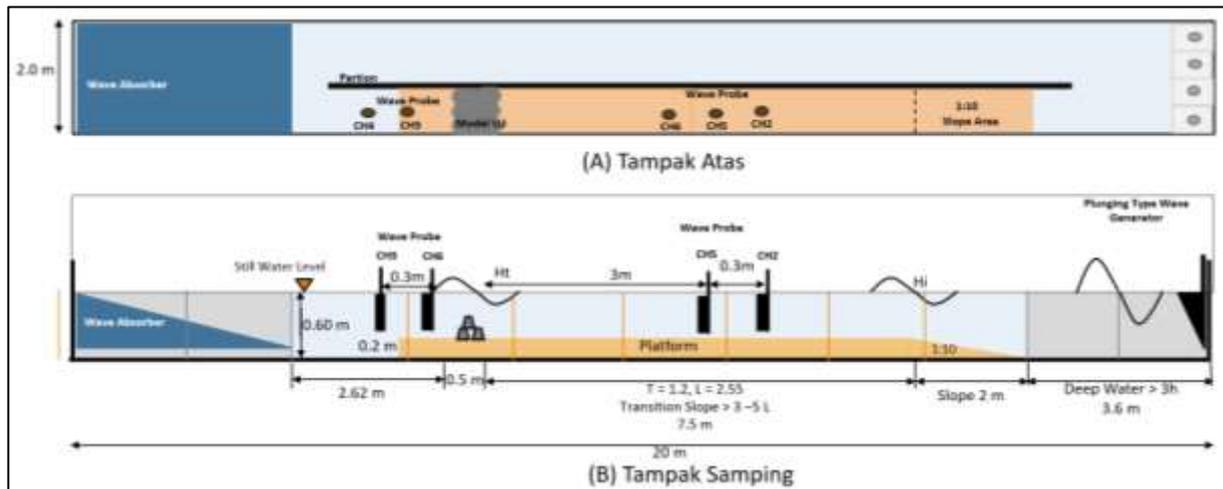
hexareef berjejer ke samping dan 5 hexareef berjejer ke belakang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini. Sehingga lebar total dari susunan ini adalah 3.12 m dan tingginya tetap 0.1 m. Besarnya  $\theta$  yang digunakan sebagai kemiringan *platform* pada pengujian ini adalah  $11.2^\circ$ . Sehingga untuk peletakan pengujian *artificial reefs* pada *wave flume* dapat dilihat seperti Gambar 4 berikut ini.



Gambar 3. (a) Tampak Depan dan (b) Tampak Atas Model Susunan Hexareef

Tabel 2. Skenario Uji *Artificial Reefs* Tipe Hexagonal

Jenis Gelombang	Kedalaman (m)	Tinggi Gelombang (m)	Periode Gelombang (s)
Ireguler	0.6	0.06	1
		0.08	1
		0.1	1.2
		0.12	1



Gambar 4. Desain Pengujian *Hexareef* pada Saluran Gelombang (*wave flume*) - (A) tampak atas (B) tampak samping

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis Dimensi**

Analisis dimensi dilakukan untuk menentukan pengaruh *non-dimensional variable* terhadap koefisien stabilitas  $K_D$ . Definisi dan dimensi karakteristik dalam hal Massa (M), Panjang (L), dan Waktu (T) dari variabel utama yang mempengaruhi stabilitas artificial reefs adalah sebagai berikut:

- $M_a$  = Massa armour unit, M
- $\gamma_a$  = Berat spesifik armour unit,  $M/L^2T^2$
- $W_a$  = Berat armour unit,  $ML/T^2$
- $\Delta$  = shape factor dari armour unit, tidak berdimensi
- $\rho_w$  = Massa jenis air,  $M/L^3$
- $\rho_a$  = Massa jenis armour,  $M/L^3$
- $H$  = Tinggi gelombang, L
- $T$  = Periode gelombang, T
- $g$  = Percepatan gravitasi,  $L/T^2$
- $D$  = Ketinggian puncak breakwater, L
- $\cot \theta$  = Perbandingan kemiringan platform uji, tidak berdimensi
- $d$  = Parameter kerusakan, tidak berdimensi

Analisis ini hanya membahas gelombang normal hingga bagian *artificial reefs non-overtopping*. Dengan 12 variabel dan 3 dimensi dasar yang terlibat (*repeating variable*). Teorema Buckingham Pi memprediksi bahwa *artificial reefs* secara stabil seharusnya merupakan fungsi dari 9 suku Pi tak berdimensi. *Repeating variable* pada beberapa parameter yang berpengaruh terhadap stabilitas artificial reefs yang dipilih adalah  $M_a$ ,  $H$ , dan  $T$ . *Repeating variable* merupakan variabel yang *independent* yang masing-masingnya memiliki satu

dimensi dasar yang saling melengkapi. Sedangkan variabel yang lain dianggap sebagai variabel *dependent*. Untuk menghasilkan 9 suku Pi tak berdimensi maka perlu dibentuk dari kombinasi antara *dependent variable* dengan *repeating variable* yang telah dipilih, seperti berikut ini.

Kemudian menjadi

$$\pi_1 = \varphi(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \text{ dan } \pi_9) \quad (1)$$

Atau

$$\frac{\gamma_a H^2 T^2}{M_a} = \varphi \left( \frac{W_a T^2}{M_a H}, \Delta, \frac{\rho_w H^3}{M_a}, \frac{\rho_a H^3}{M_a}, \frac{g T^2}{H}, \frac{D}{H}, \cot \theta, d \right) \quad (2)$$

Kemudian dilakukan *compounding* dengan

$$\pi_1 \cdot \pi_2 = \frac{\gamma_a H^2 T^2}{M_a} \times \frac{H}{g T^2} = \frac{\gamma_a H^3}{W_a} \quad (3)$$

Lalu persamaan (3) dikalikan dengan  $\frac{1}{(\pi_3)^3}$  dan  $\frac{1}{\pi_8}$  sehingga didapatkan

$$\frac{\gamma_a H^3}{W_a \Delta^3 \cot \theta} = \varphi \left( \frac{W_a T^2}{M_a H}, \frac{\rho_w H^3}{M_a}, \frac{\rho_a H^3}{M_a}, \frac{D}{H}, d \right) \quad (4)$$

$$\frac{\gamma_a H^3}{W_a \Delta^3 \cot \theta} = K_D \quad (5)$$

**Analisis Prosentase Kerusakan (%S)**

Stabilitas *breakwater* secara umum dipengaruhi oleh dimensi geometri struktur terumbu yang meliputi tinggi struktur, lebar puncak (B), *freeboard* (F), *slope* dasar perairan, karakteristik gelombang yang meliputi tinggi (H), periode (T) dan jenis gelombang, pola arus, dan kedalaman perairan. Kerusakan terumbu akan meningkat dengan bertambahnya tinggi gelombang dan arus, dan akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman (Armono, 2006).

Jika ditinjau dari faktor lingkungan, faktor utama yang berpengaruh terhadap stabilitas *breakwater* adalah tinggi gelombang, periode gelombang, dan durasi (jumlah gelombang) badai. Tinggi gelombang berpengaruh terhadap stabilitas terumbu karena tinggi gelombang terkait dengan besar energi gelombang yang dihasilkan. Adapun terkait dengan keseimbangan struktur dikatakan stabil ketika mampu menahan sampai 1000 gelombang (Van der Meer, 1988).

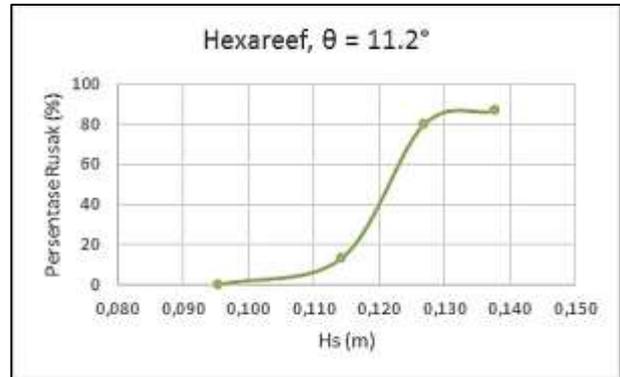
Para peneliti telah banyak mencoba beberapa metode untuk memperkirakan hal-hal terkait dengan kriteria kerusakan struktur bangunan laut akibat terjangan gelombang. Kerusakan pada struktur bangunan laut (*breakwater*) itu didefinisikan sebagai hancur, hilang, atau melorotnya *armour*. *Armour* juga didefinisikan rusak apabila barisan *armour* berubah dari semula (Palmer & Christian, 1998). Meer juga mendefinisikan tentang kerusakan *breakwater* adalah sebagai jatuh dan berpindahnya unit *armour* dari posisi awal. Pada unit terumbu yang tidak mempunyai *interlocking* maka kerusakan satu unit terumbu karena berpindah dari posisi awal akan memicu terjadinya penyebaran kerusakan pada keseluruhan struktur (Matsuda, S., Matsumoto, A., Nishigori, W., Hanzawa, M., Matsuoka, 2003). Penelitian (Erick James Roehl, 1997) dikatakan bahwa stabilitas *artificial reefs* terhadap penggulingan menunjukkan daya tahannya terhadap gaya gelombang arah horizontal (*lateral forces*). Kerusakan dari *artificial reefs* dapat dilihat dengan pengamatan terhadap persentase kerusakannya (% S). Disepakati pada penelitian ini bahwa *artificial reefs* sudah dikatakan rusak apabila struktur bergeser 1 cm saja dari posisi semula. Untuk menghitung persentase kerusakan dari *artificial reefs* dapat menggunakan rumus sebagai berikut. Untuk hasil % S *artificial reefs* terhadap tinggi gelombang yang mengenainya adalah seperti yang tampak pada Tabel 3 berikut ini.

$$\% S = \frac{\text{Jumlah Terumbu Berpindah}}{\text{Jumlah Banyak Terumbu}} \times 100\% \quad (6)$$

**Tabel 3.** Persentase Nilai Kerusakan Hexareef

H <sub>s</sub> (m)	T <sub>p</sub> (s)	Nilai Kerusakan (S)	Persentase Kerusakan (%S)
0.095	2.88	0/15	0
0.114	2.94	2/15	13.33
0.127	1.95	12/15	80
0.138	3.49	13/15	86.67

Berikut ini digambarkan grafik pada Gambar 5 terkait dengan hubungan besar tinggi gelombang (H<sub>s</sub>) dengan persentase kerusakan (% S) dari hexareef. Pada Gambar 5 tampak bahwa tinggi gelombang berbanding lurus dengan persentase kerusakan dari *artificial reefs*. Semakin tinggi gelombang maka semakin besar pula persentase kerusakan dari *artificial reefs*.



Gambar 5. Perbandingan H<sub>s</sub> terhadap Nilai Kerusakan Hexareef

**Analisis Koefisien Stabilitas (K<sub>D</sub>)**

Selain dengan meninjau %S, stabilitas suatu struktur sangat ditentukan dengan Nilai Koefisien Stabilitasnya (K<sub>D</sub>). K<sub>D</sub> dapat dihitung dengan menggunakan rumus Hudson sebagai berikut:

$$K_D = \frac{\gamma_a H^3}{W \Delta^3 \cot \theta} \dots \dots \dots (7)$$

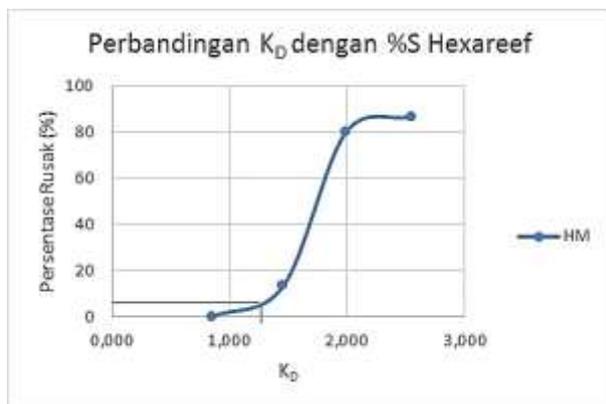
Dengan:

- W = berat *armour unit* (Newton)
- γ<sub>a</sub> = berat spesifik dari *armour blocks* (N/m<sup>3</sup>)
- H = Tinggi gelombang yang mengenai struktur (m)
- K<sub>D</sub> = koefisien stabilitas
- Δ = kerapatan daya apung relatif tak berdimensi  $\left(\frac{\rho_a}{\rho_w} - 1\right)$
- ρ<sub>a</sub> dan ρ<sub>w</sub> = massa jenis struktur dan air
- θ = sudut dasar perairan terhadap bidang horizontal

Dengan melihat persamaan (7) di atas, dapat dilihat parameter-parameter yang berpengaruh terhadap Nilai K<sub>D</sub>. Hal ini selaras dengan persamaan (5) pada pembahasan analisis dimensi yang sebelumnya telah dipaparkan. Dari hasil pengujian, didapatlah perhitungan K<sub>D</sub> dari *artificial reefs* menggunakan rumus Hudson (7). Nilainya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 berikut ini.

**Tabel 4.** Nilai  $K_D$  Hexareef

$H_s$ (m)	% kerusakan	W (N)	Cot $\theta$	$Y_a$ (N/m <sup>3</sup> )	$\rho_a$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_w$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$S_r$	$(S_r - 1)^3$	Koefisien Stabilitas ( $K_D$ )
0.095	0	8.42	5.05	17505.198	1750.520	1000	1.751	0.423	0.847
0.114	13.33	8.42	5.05	17505.198	1750.520	1000	1.751	0.423	1.454
0.127	80	8.42	5.05	17505.198	1750.520	1000	1.751	0.423	1.988
0.138	86.67	8.42	5.05	17505.198	1750.520	1000	1.751	0.423	2.544

**Gambar 6.** Perbandingan  $K_D$  dengan Persentase Kerusakan pada Hexareef

Dengan melihat grafik dari pengaruh tinggi gelombang terhadap kerusakan dan nilai  $K_D$  terhadap kerusakan pada Gambar 5 dan 6 dapat diketahui bahwa tinggi gelombang dan  $K_D$  berbanding lurus terhadap persentase kerusakan dari hexareef. Ini menunjukkan bahwasanya semakin tinggi gelombang yang mengenai struktur maka nilai  $K_D$  juga akan meningkat, dan persentase kerusakannya pun semakin besar. Nilai  $K_D$  yang menjadi perhitungan pada umumnya adalah nilai yang didapatkan ketika struktur dianggap stabil yaitu pada kerusakan 5 % yaitu sebesar 1.2.

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini diujikan *artificial reefs* tipe hexagonal untuk diketahui nilai  $K_D$ nya. Stabilitas suatu struktur dapat dilihat dari persentase kerusakan struktur tersebut akibat tinggi dan periode gelombang yang mengenainya. Nilai  $K_D$  dapat dihitung dengan rumus Hudson. Kemudian hasilnya didapatkan bahwasanya tinggi gelombang dan  $K_D$  berbanding lurus dengan persentase kerusakan struktur. Semakin tinggi gelombang maka nilai  $K_D$  pun juga semakin besar. Untuk  $K_D$  hexareef pada kerusakan 5 % didapatkan sebesar 1.2.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian yang didukung oleh Hibah Penelitian Terapan dari Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional, Pemerintah Republik Indonesia Tahun 2021.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens, J. P. (1989). *Stability Of Reef Breakwaters*. 115(2), 221–234.
- Akhwady, Rudhy., Mukhtasor., Armono, H.D., Musta'in, M. (2012). *Pengaruh Beda Porositas Terumbu Buatan Tipe Silinder Berongga (Bottle Reef TM) Sebagai Submerged Breakwater Terhadap Kinerja Peredaman Gelombang*. 17(2), 74–80.
- Aono, T., & Cruz, E. C. (1996). *Fundamental Characteristics of Wave Transformation Around Artificial Reefs*. 1–3.
- Armono, H.D., S. (2006). *Perlindungan Pantai Ramah Lingkungan Dengan Terumbu Buatan*.
- Armono, H. (2003). *Hemispherical Shape Artificial Reefs. Ph.D Disertasi, Queen University, Ontario Canada*.
- Armono, H. (2016). *Terumbu Buatan Hexagonal untuk Perlindungan Pantai Ramah Lingkungan*.
- Armono, H. D. (2004). *Wave Transmission over Hemispherical Shape Artificial Reefs. 4th Conference of Marine Technology - MARTEC, September 2004, 7–8*.
- Connell, S. D. (2001). *Urban structures as marine habitats: An experimental comparison of the composition and abundance of subtidal epibiota among pilings, pontoons and rocky reefs*. *Marine Environmental Research*, 52(2), 115–125. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(00\)00266-X](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(00)00266-X)

- Dahuri, R., Jacob, R.S., Siterpu, P. G. (2004). Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Terpadu, Pesisir dan Laut secara. *Pradnya Pramita. Jakarta.*
- Erick James Roehl. (1997). *The Stability of Manufactured Artificial Reefs.*
- Hayakawa, N., Hosoyamada, T., & Yoshida, S. (1998). *Numerical Simulation of Wave Fields around The Submerged Breakwater with SOLA-SURF Method.*
- Hughes, S. A., Harbor, T., Cohen, J., & Acuff, H. F. (2008). *Physical Model Study of Wave Action Physical Model Study of Wave Action in New Thomsen Harbor , Sitka , Alaska. February.*
- Jensen, A. (2002). Artificial reefs of Europe: Perspective and future. *ICES Journal of Marine Science*, 59(SUPPL). <https://doi.org/10.1006/jmsc.2002.1298>
- Kawasaki, K., & Iwata, K. (1998). *Numerical Analysis Of Wave Breaking Due To Submerged Breakwater In.*
- Kobayashi, N., Pietropaolo, J., & Melby, J. A. (2013). Deformation of Reef Breakwaters and Wave Transmission. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 139(4), 336–340. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ww.1943-5460.0000180](https://doi.org/10.1061/(asce)ww.1943-5460.0000180)
- Matsuda, S., Matsumoto, A., Nishigori, W., Hanzawa, M., Matsuoka, M. (2003). Crown Height Effect of Flat Type Concrete Armor Blocks. *Proceedings of The Thirteenth (2003) International Offshore and Polar Engineering Conference, I.*
- 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), 19–30.
- Shore protection manual. (2011). In *Shore protection manual: Vol. II.* <https://doi.org/10.5962/bhl.title.47830>
- van der Meer, J. W. (1988). *Stability of cubes, tetrapods and accropode.* 1988(m), 59–68. <https://doi.org/10.1680/dob.13513.0007>
- Winarto, A. (2017). Pengaruh Konfigurasi Terumbu Buatan Bentuk Hexagonal pada Transmisi Gelombang. *Neuro-Oncology*, 1–62.