

Pengaruh Tinggi Puncak Struktur *Hexagonal Artificial Reef* Terhadap Kemampuan Redaman Gelombang

M Baharuddin Fahmi¹, Haryo Dwito Armono^{1*}, Muhammad Zikra¹, Harish Wirayuhanto²

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

²Prodi Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji
Kota Tanjung Pinang 29115 Kepulauan Riau

*armono@oe.its.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i2.14848>

ABSTRACT

Generally, the purpose of artificial reefs is to rebuild naturally occurring coral reefs that have been destroyed. Without sacrificing the attractiveness of the protected beach, these manmade reefs functioned as new habitats for marine life and protected coasts by reducing wave energy. on the other side man-made artificial reefs can perform as submerged breakwaters, their ability to dampen incoming waves must be investigated. In this paper, the researchers present a new shape in the form of a hexagonal artificial reef. The wave attenuation performance index is calculated using the wave attenuation performance rating. The research focuses on the effect of structural height (h/d) on transmission wave value using a physical testing method on a scale of 1:10 at the wave flume of the Department of Marine Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology, Surabaya. The test results indicate that the smallest transmission coefficient (KT) was produced on artificial reefs Configuration A-3 with the greatest submerged depth ($h/d=0.75$). The parameter results indicate that the greater the wave steepness (H/gT^2) and the significantly larger the immersion depth (h/d), the better the wave reduction.

Key words : artificial reef, submerged breakwater, wave steepness, Hexareef

PENDAHULUAN

Terumbu buatan atau terumbu buatan multifungsi adalah struktur terendam di bawah permukaan laut (dalam pengaruh pasang surut) yang sengaja ditempatkan atau dibangun dari bahan alami atau buatan manusia untuk meniru beberapa karakteristik terumbu alami dengan tujuan biologis, sosio-ekonomi atau rekayasa teknik (pemecah gelombang terendam) dalam satu waktu atau dalam jangka waktu yang lama (Harris, 2003; Armono, 2004; Loksha *et al.*, 2013; Blacka *et al.*, 2013; Lindberg & Seaman, 2011; Seaman & Lindberg, 2009). Keberadaan ekosistem terumbu karang pada perairan mampu mendorong tingginya tingkat produktivitas perikanan (ikan-ikan karang) yang bernilai ekonomi tinggi. Sebab terumbu karang berfungsi sebagai tempat pemijahan (*spawning ground*), daerah asuhan (*nursery ground*) dan tempat mencari makan (*feeding ground*) oleh kebanyakan ikan (Zurba,

2019). Pada hasil studi Tahun 2018 (Hadi *et al.*, 2018), terumbu dengan kategori kondisi jelek sebesar 36.17% (386 lokasi), kondisi terumbu cukup baik sebesar 34.3% (366 lokasi), terumbu dengan kondisi baik sebesar 22.96% (245 lokasi), sedangkan dengan terumbu dengan kondisi sangat baik sebesar 6.56% (70 lokasi). Perubahan ekosistem terumbu karang ini dapat mempengaruhi kestabilan pesisir pantai, sebab adanya ekosistem terumbu karang berfungsi sebagai peredam tinggi gelombang yang menuju arah pantai.

Upaya pengembalian fungsi dari ekosistem terumbu karang dilakukan dengan metode transplantasi karang ataupun menggunakan struktur terumbu karang buatan. Pada struktur terumbu karang buatan, selain sebagai tempat untuk menginisiasi terumbu baru, juga difungsikan sebagai pemecah gelombang. Pada pemecah

Cite this as:

Fahmi, M.B., Armono, H.D., Zikra, M & Wirayuhanto, H (2022). Pengaruh Tinggi Puncak Struktur *Hexagonal Artificial Reef* Terhadap Kemampuan Redaman Gelombang . Rekayasa 15 (2). 114-120 pp.
doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i2.14848>

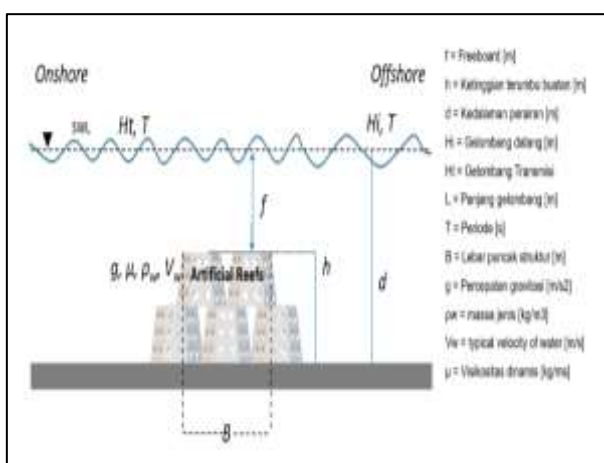
© 2022 Fahmi

Article History:

Received: Jun, 13th 2022; **Accepted:** August, 5th 2022
Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

gelombang terumbu karang buatan (*artificial reefs breakwater*), pemecah gelombang diletakkan pada lepas pantai atau pada jarak yang telah ditentukan dari garis pantai dengan maksud sebagai perlindungan pantai dengan metode kerja mengurangi beban hidraulik dari energi gelombang guna mempertahankan keseimbangan dinamis garis pantai (Pilarczyk, 2003). Sedangkan menurut (Armono, 2004), pemecah gelombang terumbu karang buatan (*artificial reefs breakwater*) merupakan struktur pemecah gelombang ambang terbenam (*submerged breakwater*) dengan karakteristik serupa terumbu karang alami pada segi fisik dan ekologi dengan fungsi sebagai tempat berlindungnya hewan laut.

Gambar 1 merupakan tipikal penempatan terumbu buatan yang difungsikan sebagai pemecah gelombang ambang rendah (*submerged breakwater*), dimana gaya – gaya yang bekerja pada kinerja peredaman gelombang pada daerah pantai dipengaruhi beberapa parameter teknis seperti tinggi (H) dan periode (T) gelombang, sedangkan parameter struktur pemecah gelombang dipengaruhi parameter teknis seperti tinggi struktur (h) dan lebar puncak (B). Namun, pada penelitian terdahulu, penilaian kemampuan kinerja dari pemecah gelombang pada terumbu buatan (pemecah gelombang terendam) dipengaruhi oleh berbagai faktor kritis antara lain kedalaman terendam (f/d atau h/d) dan lebar puncak (B) (Armono *et al.*, 2021, Seabrook & Hall, 1998). Namun, menurut (Dattatri *et al.*, 1978) pada pemecah gelombang berpori seperti yang dikembangkan pada pemecah gelombang terumbu buatan, faktor porositas dari struktur menjadi faktor kritis yang dipertimbangkan.



Gambar 1. Tipe *Breakwater* Terumbu Buatan

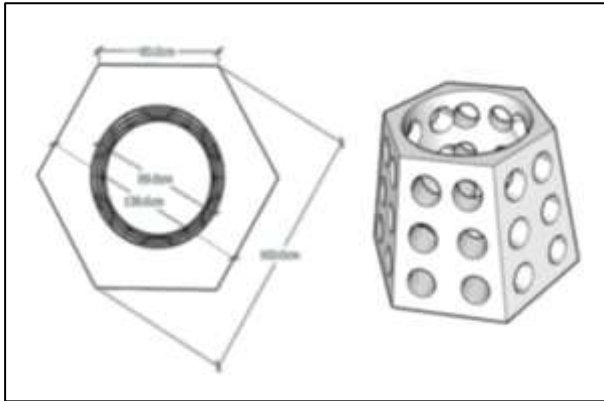
Kinerja struktur terendam dievaluasi berdasarkan parameter non-dimensi yang didefinisikan sebagai rasio antara gelombang yang ditransmisikan (H_i) di atas struktur dengan gelombang yang masuk (H_t). Karena tinggi gelombang sebanding dengan akar kuadrat energi gelombang, transmisi gelombang dilambangkan dengan K_T . Semakin kecil K_T semakin baik struktur dalam mereduksi energi gelombang. Pada penelitian ini difokuskan untuk melihat pengaruh tinggi struktur terumbu buatan heksagonal (h/d) terhadap kemampuan peredaman gelombang yang dilakukan dengan uji fisik pada kolam gelombang, sehingga akan didapatkan hubungan antara parameter kecuraman gelombang datang (*wave steepness*) pada setiap variasi susunan struktur dengan koefisien transmisi (K_T).

METODE PENELITIAN

Pengujian model fisik dilakukan di saluran gelombang (*Flume Tank*) yang berada di Laboratorium Energi Laut Departemen Teknik Kelautan FTK ITS. Model merupakan purwarupa dengan skala 1:10 dengan tinggi 10 cm dengan lebar kaki struktur sisi datar sebesar 25 cm dan 30 cm untuk sisi lancip. Struktur memiliki lebar puncak sebesar 18,5 cm. Pengujian fisik kinerja peredaman gelombang terhadap Terumbu Buatan Heksagonal di saluran gelombang (*flume tank*) dengan lebar 80 cm, dalam 60 cm dan panjang 25 m yang dilengkapi dengan pembangkit gelombang yang dioperasikan dari komputer kontrol pusat. Pembangkit gelombang mampu menghasilkan gelombang beraturan dan tidak beraturan. Selain itu juga terdapat sebuah peredam gelombang pasif ditempatkan di ujung saluran untuk meminimalkan energi gelombang yang dipantulkan.

Gambar 2 memberikan rincian metode eksperimen, pengaturan perangkat akuisisi tinggi gelombang dan posisi terumbu buatan heksagonal di saluran gelombang mengacu pada pedoman pengujian model fisik pemecah gelombang oleh Hydralab (Wolters *et al.*, 2010). Pada uji fisik ini, digunakan sebuah platform dengan ketinggian 20 cm, jarak platform dari pembangkitan gelombang 3,6 m, kemiringan transisi dari kedalaman kolam ke perairan dalam menuju perairan dangkal (platform) 1:10 dan jarak penempatan struktur Terumbu Karang Buatan Heksagonal $> 3-5$ panjang gelombang (7,5 m). Sedangkan untuk probe gelombang (*wave probe*) dipasang di depan dan

belakang struktur sebanyak 2 buah dengan jarak antar probe 30 cm. Gelombang yang dibangkitkan pada pengujian fisik ini adalah gelombang acak dengan rentang kecuraman gelombang (H/gT^2) berkisar 0,0014 – 0,0102 yang memiliki kesesuaian dengan karakteristik perairan di kawasan Indonesia (Akhwady et al., 2012).



Gambar 2. Purwarupa Terumbu Karang Buatan Heksagonal (*Hexareef*)

Analisis Dimensi

Pada permasalahan eksperimen atau pemodelan fisik, analisis dimensi digunakan untuk menyeleksi atau mengurai suatu kompleksitas variable - variabel eksperimen menjadi variabel - variabel yang lebih sederhana dan paling berpengaruh sehingga dapat mengefisienkan waktu dalam eksperimen melakukan uji coba variabel - variabel yang ada. Selain itu, analisis dimensi juga dapat digunakan untuk memandu dalam menarik sebuah kesimpulan tentang adanya kemungkinan hubungan antara variabel pada suatu

permasalahan dari perubahan dimensi dalam sistem fisik tersebut. Mengacu pada

Gambar 1, variabel dimensi yang mempengaruhi transmisi gelombang K_t dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$K_t = f(h, g, \rho_w, T, H_i, H_t, d, B, V_w, \mu) \tag{1}$$

Dimana ρ_w dan μ , adalah densitas massa dan viskositas dinamis air di sekitar terumbu, sedangkan g adalah percepatan gravitasi. Memecahkan persamaan (2) dengan metode matriks (Sharp,J.J.,1991) menghasilkan suku berikut:

$$\frac{gT^2}{h}, \frac{H_i}{h}, \frac{H_t}{h}, \frac{d}{h}, \frac{B}{h}, \frac{V_w T}{h}, \frac{\mu T}{h^2 \rho} = \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7 \tag{2}$$

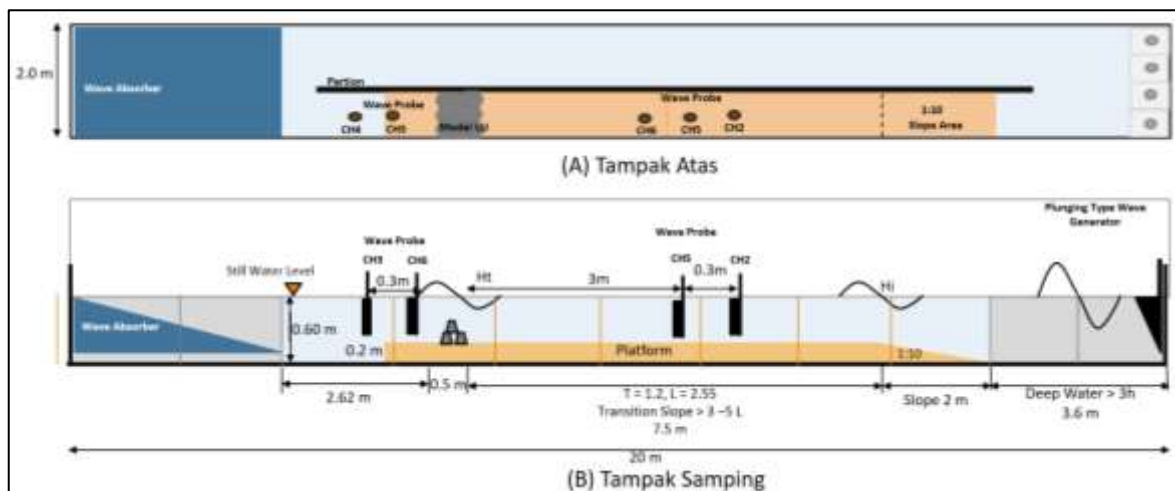
Dari persamaan 3 kemudian dilakukan proses compounding sebagai berikut;

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \frac{H_i}{gT^2} \cdot \frac{h}{d} \cdot \frac{B}{d} \tag{3}$$

Analisis pada penelitian Terumbu Buatan Berbentuk Hexagonal ini akan menunjukkan adanya hubungan transmisi gelombang dengan pertimbangan parameter kecuraman gelombang (wave steepness: $\frac{H_i}{gT^2}$) dan rasio ketinggian struktur terhadap kedalaman perairan ($\frac{h}{d}$).

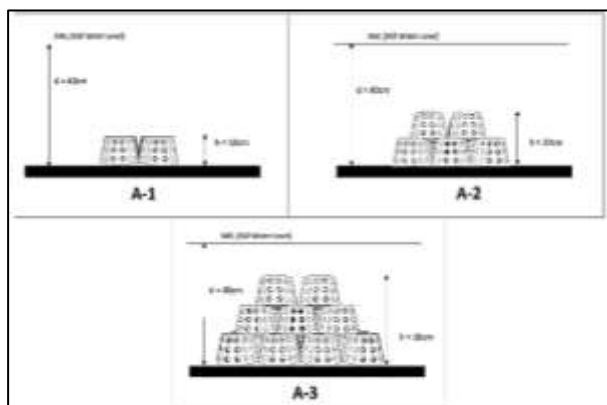
Konfigurasi dan Konstruksi Model

Gambar 4 menunjukkan konfigurasi dari model terumbu heksagonal ditempatkan di platform dengan serangkaian tinggi gelombang dan periode gelombang yang telah dijelaskan sebelumnya, dimana gelombang acak yang dibangkitkan oleh pembangkit gelombang dilakukan selama 600detik atau setara 300 gelombang. Konfigurasi struktur



Gambar 3. Desain pengujian *Hexareef* pada saluran gelombang (*wave flume*) - (A) tampak atas (B) tampak samping

pada Gambar 4 menunjukkan beda lebar puncak struktur, dimana pada semua konfigurasi struktur mempunyai lebar 2 terumbu heksagonal pada puncaknya (16 cm). Sedangkan ketinggian struktur dibuat variasi, dimana pada konfigurasi A-1 tinggi struktur 1 terumbu heksagonal (10 cm), Konfigurasi A-2 dengan 2 terumbu heksagonal (20 cm) dan Konfigurasi A-3 menggunakan 3 terumbu heksagonal (30 cm), dengan muka air tetap pada 40 cm dari dasar struktur terumbu.



Gambar 4. Susunan Model Terumbu Buatan Heksagonal pada *Wave Flume* untuk Variasi Tinggi Struktur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Koefisien Transmisi

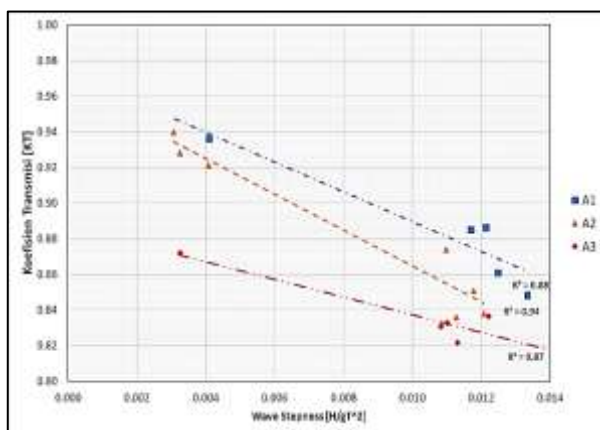
Data gelombang hasil pengujian berupa nilai fluktuasi muka air pada *flume tank* yang terekam *wave probe* dan analisis nilai nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode puncak gelombang (T_p) menggunakan WAVAN (Kamphuis, J. W., 2000). Data ketinggian gelombang signifikan (H_s) pada CH1 (gelombang datang) dan CH3 (gelombang transmisi) digunakan untuk menghitung nilai koefisien transmisi (K_t) (Gambar 3). Nilai H_t merupakan nilai tinggi gelombang setelah melewati struktur atau tertransmisikan, sedangkan nilai H_i adalah tinggi gelombang datang sebelum struktur yang tercatat pada *wave probe* pertama setelah pembangkit gelombang (CH2) (Gambar 3).

Pada penelitian ini akan dikorelasikan dengan nilai kecuraman gelombang atau *wave steepness* dengan koefisien transmisi. Pada Gambar 5 merupakan grafik korelasi antara nilai K_t dengan H/gT^2 pada seluruh variasi pengujian struktur menunjukkan nilai koefisien transmisi pada kisaran 0,85 – 0,94 untuk konfigurasi A-1; nilai K_t 0,82 – 0,87 untuk konfigurasi A-2 sedangkan untuk konfigurasi A-3, nilai K_t berkisar 0,84 – 0,94 untuk A-3. Keseluruhan konfigurasi model menunjukkan

bahwa peningkatan kecuraman gelombang (H/gT^2) akan menghasilkan nilai koefisien transmisi yang semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara koefisien transmisi dan kecuraman gelombang berbanding terbalik.

Berdasarkan hasil analisis regresi linier, konfigurasi A-1 menunjukkan korelasi antara kecuraman gelombang dan koefisien transmisi gelombang dengan nilai $r = 0,88$. Korelasi pada Konfigurasi A-2 dengan nilai $r = 0,94$ atau tertinggi dari ketiga konfigurasi tersebut. Sementara itu, pada konfigurasi A-3 menunjukkan nilai korelasinya $r = 0,87$. Pada nilai kecuraman gelombang yang tinggi, gelombang menjadi tidak stabil dan mudah pecah di atas struktur. Oleh karena itu, koefisien transmisi menurun dengan bertambahnya kecuraman gelombang.

Kecuraman gelombang datang (H_i) memiliki pengaruh penting terhadap fenomena pecahnya gelombang. Gelombang datang dengan kecuraman tinggi (H/gT^2) dapat mengakibatkan gelombang pecah oleh pemecah gelombang terendam, dan pada saat proses gelombang pecah tersebut selalu disertai dengan kehilangan energi. Sehingga gelombang yang lebih curam kemungkinan akan dilemahkan lebih banyak daripada gelombang yang memiliki kecuraman rendah (Dattatri *et al.*, 1978; Armono *et al.*, 2021).

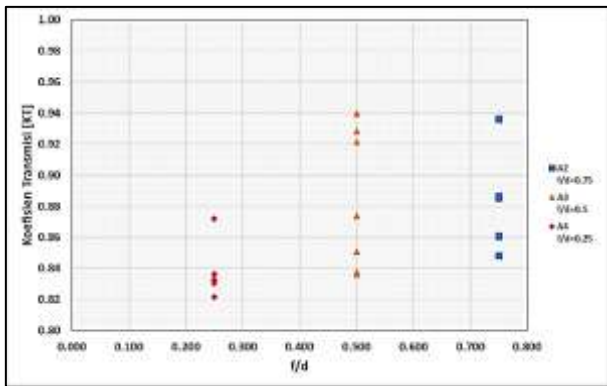


Gambar 5. Korelasi antara Kecuraman Gelombang (*Wave Steepness*) dengan Koefisien Transmisi (K_t) pada Tiap Konfigurasi

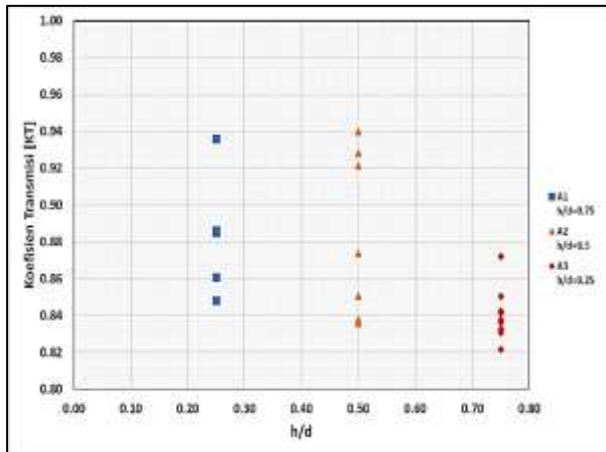
Pengaruh *Relative Freeboard* (f/d) dan Ketinggian Relatif (h/d)

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan hubungan antara koefisien transmisi dengan kedalaman terendam (f/d) dan Ketinggian Relatif (h/d) pada seluruh konfigurasi struktur. Pada konfigurasi A-1 dengan ketinggian struktur 10 cm

atau freeboard 30 cm ($f/d=0,75$ atau $h/d=0,75$) nilai koefisien transmisi pada kisaran 0,85 – 0,94. Pada Konfigurasi A-2 mempunyai tinggi struktur 20 cm atau freeboard 20 cm ($f/d=0,5$ atau $h/d=0,5$) nilai KT 0,82 – 0,87 dan konfigurasi A-3 dengan ketinggian struktur 30cm atau freeboard 10 cm ($f/d=0,25$ atau $h/d=0,75$) nilai KT berkisar 0,84 – 0,94. Hasil tersebut menunjukan bahwa kenaikan kedalaman rendaman (h/d) menyebabkan pengurangan gelombang yang lewat semakin besar. Hal tersebut disebabkan kedalaman perendaman yang lebih tinggi, sehingga ukuran dari tinggi freeboard menjadi lebih lebih kecil; jarak antara permukaan air ke ketinggian puncak struktur.



Gambar 6. Hubungan Nilai KT dengan Kedalaman Terendam (f/d) Puncak Struktur Terumbu Buatan Heksagonal

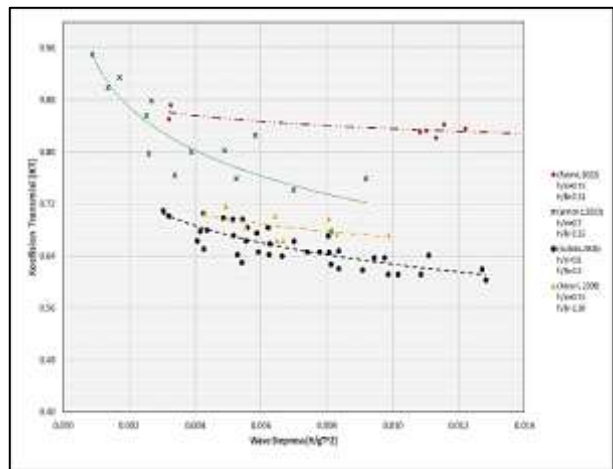


Gambar 7. Hubungan Nilai KT dengan Ketinggian Relatif (h/d) Puncak Struktur Terumbu Buatan Heksagonal

Oleh karena itu, gelombang yang lewat terpengaruh adanya keberadaan struktur, dimana gelombang yang lewat di atas struktur mengakibatkan fenomena gelombang pecah atau menciptakan turbulensi dan mengurangi

gelombang yang melewati struktur (Wirayuhanto *et al.*, 2021; Armono *et al.*, 2021). Pada kondisi dimana transmisi tidak didominasi oleh energi gelombang yang merambat melalui terumbu, nilai relatif freeboard merupakan variabel yang paling berpengaruh. Pengaruh perubahan tinggi gelombang sebagai mode transmisi yang dominan bergeser antara perambatan gelombang di atas puncak gelombang ke *runup* dan *overtopping*. Pada terumbu terendam, nilai freeboard relatif menunjukkan hasil mampu menghamburkan energi gelombang besar lebih efektif daripada gelombang kecil. Pada terumbu yang memiliki nilai freeboard relatif dengan benar menunjukkan bahwa gelombang yang lebih besar memiliki koefisien transmisi yang lebih tinggi (Ahrens, 1987).

Pengukuran kinerja pemecah gelombang terendam berdasarkan kemampuannya menghasilkan koefisien transmisi (KT) yang kecil. Pada penelitian ini, konfigurasi terumbu heksagonal yang menghasilkan koefisien transmisi rentang terkecil adalah konfigurasi A-3 dengan nilai koefisien transmisi berkisar 0,84 – 0,94. Konfigurasi ini memiliki kedalaman perendaman (h/d) lebih besar dari konfigurasi lainnya pada proporsi terumbu (h/B) yang sama.



Gambar 8. Kinerja Berbagai Unit Terumbu Buatan Sebagai Pemecah Gelombang Terendam

Gambar 8 menunjukan berbagai penelitian terumbu buatan sebagai pemecah gelombang, yaitu Terumbu Buatan Model Kubus (Abrori *et al.*, 2009), Model Silinder Berongga (Sudoto, 2008) dan Reef Ball (Armono & Hall, 2003). Hasil pengujian menunjukkan kecenderungan yang sama antara model kubus, model silinder beronggan reef ball, dimana koefisien transmisi gelombang cenderung meningkat dengan berkurangnya kecuraman

gelombang dan sebaliknya koefisien transmisi menurun dengan meningkatnya kecuraman gelombang. Terumbu buatan heksagonal memiliki berkinerja lebih kecil daripada terumbu buatan berbentuk silinder, kubus dan reef ball, karena memiliki KT yang lebih besar untuk nilai kecuraman gelombang yang sama. Terumbu Buatan Reef Ball buatan juga memiliki garis regresi yang lebih curam dibandingkan dengan bentuk Terumbu Buatan Heksagonal, Kubus dan Silinder. Pada kisaran kecuraman gelombang 0,002 – 0,004, terumbu heksagonal menghasilkan koefisien KT pada kisaran 0,85 – 0,87 sedangkan untuk bentuk reef ball dan silinder menghasilkan nilai KT masing-masing sebesar 0,76 – 0,88 dan 0,70 – 0,71.

Pada Gambar 5, hasil untuk ketinggian gelombang datang yang bervariasi. Secara umum, disipasi energi gelombang meningkat dan koefisien transmisi menurun ketika tinggi gelombang meningkat dan kecepatan partikel fluida meningkat (Lee *et al.*, 2011). Kondisi menurunnya kecepatan pada orbital gelombang berakibat menaiknya permukaan air yang berakibat pecahnya gelombang pada struktur dan berakibat hilangnya energi gelombang dan menurunnya elevasi permukaan air (gelombang) setelah melewati struktur (Wirayuhanto & Armono, 2021). Pada nilai kecuraman gelombang yang tinggi (kecuraman kritis), gelombang menjadi tidak stabil dan mudah pecah di atas struktur dan karena proses pemecah gelombang selalu disertai dengan kehilangan energi, gelombang yang lebih curam kemungkinan akan diredam lebih banyak daripada gelombang yang lebih datar (*wave steepness* kecil). Oleh karena itu, koefisien transmisi menurun dengan bertambahnya kecuraman gelombang (Dattatri *et al.*, 1978; Seelig, 1980; van der Meer, Jentsje W. Daemen, 1994; Seabrook & Hall, 1998; Armono *et al.*, 2021).

Tinggi struktur terumbu buatan (*submergence depth*) juga mempengaruhi koefisien transmisi. Koefisien transmisi menurun dengan bertambahnya ketinggian struktur. Semakin tinggi puncak struktur, semakin baik kinerja struktur dalam meredam gelombang. Gelombang yang lewat di atas struktur yang terendam cenderung pecah pada struktur dan menimbulkan turbulensi yang menyebabkan berkurangnya energi gelombang yang datang. Semakin tinggi struktur dan semakin dekat jarak ke permukaan air, semakin baik kinerjanya dalam meredam gelombang. Ketika struktur tinggi, energi

gelombang terhalang, diserap, dipantulkan, dan ditransmisikan sebagian di belakang struktur (Iwasaki & Numata, 1970; Dattatri *et al.*, 1978; Seelig, 1980; Armono & Hall, 2003; Akhwady *et al.*, 2012; Armono *et al.*, 2021). Uji model heksagonal menunjukkan bahwa koefisien transmisi cenderung menurun dengan meningkatnya ketinggian puncak struktur terumbu buatan. Semakin tinggi susunan struktur terumbu heksagonal, semakin baik struktur tersebut dalam meredam gelombang.

KESIMPULAN

Kinerja terumbu buatan heksagonal yang berfungsi sebagai pemecah gelombang terendam telah disajikan pada makalah ini. Pengaruh tinggi dan periode gelombang datang, serta konfigurasi terumbu karang pada transmisi gelombang. Penurunan tinggi gelombang yang datang dipengaruhi oleh kecuraman gelombang, kedalaman perendaman, dan geometri terumbu. Koefisien transmisi terkecil yang dihasilkan pada terumbu buatan berbentuk heksagonal adalah 0,83. Analisis parameter menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kecuraman gelombang (H/gT^2), kedalaman perendaman (h/d) menghasilkan pengurangan gelombang yang lebih baik. Konfigurasi A-3 dengan kedalaman terendam terbesar ($h/d=0.75$) memiliki kinerja terbaik.

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

- Abrori, I. Z., Armono, H. D., & Zikra, M. (2009). Terumbu karang buatan bentuk silinder berongga sebagai breakwater terbenam dalam mereduksi gelombang. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah 2009*, 571–580.
- Ahrens, J. P. (1987). *Characteristics Of Reef Breakwaters*.
- Akhwady, R., Mukhtasor, Armono, H. D., & Musta'in, M. (2012). (Bottle Reef TM) Sebagai Submerged Breakwater Terhadap Kinerja Peredaman Gelombang. *Ilmu Kelautan*, 17(2), 74–80.
- Armono, H. D. (2004). Artificial Reefs as Shoreline

- Protection Structures. *Seminar Teori Dan Aplikasi Teknologi Kelautan IV, iii*, 1–14.
- Armono, H. D., & Hall, K. R. (2003). Wave transmission on submerged breakwaters made of hollow hemispherical shape artificial reefs. *Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering, 2003*, 313–322.
- Armono, H. D., Winarto, A., Sujantoko, & Suastika, I. K. (2021). A laboratory study on wave transmission over hexagonal artificial reef. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 799(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/799/1/012011>
- Armono, Haryo Dwito. (2004). Artificial Reefs as Shoreline Protection Structures. *Seminar Teori Dan Aplikasi Teknologi Kelautan IV, iii*, 1–14.
- Blacka, M. J., Shand, T. D., Carley, J. T., & Mariani, A. (2013). A Review of Artificial Reefs for Coastal Protection in NSW A Review of Artificial Reefs for Coastal Protection in NSW (Issue June).
- Dattatri, J., Raman, H., & Shankar, N. J. (1978). Performance Characteristics of Submerged Breakwaters. *Coastal Engineering*, 2153–2171.
- Hadi, T. A., Giyanto, Prayudha, B., Hafizt, M., & Agus, B. S. (2018). *Terumbu Karang Indonesia*.
- Harris, L. E. (2003). Artificial reef structures for shoreline stabilization and habitat enhancement. *Proceedings of the 3rd International Surfing Reef Symposium, Raglan, New Zealand June 22-25, 2003., Category 3*, 176–178.
- Iwasaki, T., & Numata, A. (1970). Experimental Studies on Wave Transmission of a Permeable Breakwater Constructed by Artificial Blocks. *Coastal Engineering in Japan*, 13, 25–29. <https://doi.org/10.1080/05785634.1970.11924107>
- Lee, C. P., Ker, W. K., & You, J. R. (2011). Journal of the Chinese Institute of Engineers Wave field with a submerged porous breakwater. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 26(March 2014), 333–342. <https://doi.org/10.1080/02533839.2003.9670785>
- Lindberg, W. J., & Seaman, W. (2011). *Guidelines and Management Practices for Artificial Reef Siting, Use, Construction, and Anchoring in Southeast Florida* (Issue June).
- Loksha, Sundar, V., & Sannasiraj, S. A. (2013). Artificial Reefs: A Review. *The International Journal of Ocean and Climate Systems*, 4(2), 117–124. <https://doi.org/10.1260/1759-3131.4.2.117>
- Pilarczyk, K. W. (2003). Design of low-crested (submerged) structures – an overview –. *6th Intern. Conf. on Coastal and Port Engineering in Developing Countries*, 1–19.
- Seabrook, S. R., & Hall, K. R. (1998). Wave Transmission at Submerged Rubblemound Breakwaters. *Coastal Engineering*, 2000–2013.
- Seaman, W., & Lindberg, W. J. (2009). Artificial Reefs. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 226–233. <https://doi.org/10.1016/B978-0123744473-9.00668-8>
- Seelig, W. N. (1980). *Two-Dimensional Tests of Wave Transmission and Reflection Characteristics of Laboratory Breakwaters*.
- Sharp, J. J. (1981) *Hydraulic Modelling*, Butterworths, London, UK.
- van der Meer, Jentsje W. Daemen, I. F. R. (1994). Stability and Wave Transmission at Low-Crested Rubble-Mound Structures. *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 120(1), 1–19.
- Wirayuhanto, H., & Armono, H. D. (2021). Pengaruh Konfigurasi Terumbu Buatan Bentuk Heksagonal pada Kemampuan Peredaman Gelombang. *Rekayasa*, 14(1), 106–113. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i1.10042>
- Wirayuhanto, H., Armono, H. D., Ridlwan, A., & Febrianto, T. (2021). Efek Koefisien Transmisi akibat Variasi Wave Steepness pada Hexagonal Artificial Reef. *Rekayasa*, 14(3), 367–372. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i3.12485>
- Wolters, G., Van Gent, M., Allsop, W., Hamm, L., & Mühlestein, D. (2010). HYDRALAB III: Guidelines for physical model testing of rubble mound breakwaters. *Coasts, Marine Structures and Breakwaters: Adapting to Change - Proceedings of the 9th International Conference*, 2, 659–670. <https://doi.org/10.1680/cmsb.41318.0062>
- Zurba, N. (2019). *Pengenalan Terumbu Karang, Sebagai Pondasi Utama Laut Kita* (1st ed.). UNIMAL PRESS.