

UJI MODEL HIDROLIKA KINERJA PEMECAH GELOMBANG APUNG BETON DENGAN KONFIGURASI GANDA

HYDRAULIC MODEL TEST OF PERFORMANCE OF CONCRETE FLOATING BREAKWATER WITH DOUBLE CONFIGURATION

Irham Adrie Hakiki^{1)*}, Leo Eliasta Sembiring^{2)*}

¹⁾Balai Teknik Pantai, Kementerian PUPR

Jl. Gilimanuk Singaraja KM 122, Buleleng, Bali, Indonesia

²⁾Subdirektorat Perencanaan Teknis Sungai dan Pantai, Kementerian PUPR

Jl. Pattimura No. 20 Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, Indonesia

*Corresponden email: adriehakiki@gmail.com; leo.sembiring@gmail.com

Diterima: 19 Agustus 2019; Direvisi: 10 September 2019; Disetujui: 27 November 2020

ABSTRACT

Development of floating breakwater technology is increasing along with the rising interest of floating infrastructure. Different kind of materials and shapes were researched for optimizing the performance of floating breakwater. In comparison of structure with a similar dimension, the more rigid one gave a better performance. Large and rigid structure are possible to construct with the usage of concrete. However, when there is a limit to the structure dimension, whether it is caused by construction or transportation method, the alternatives for improving performance are needed. This research proposed a double configuration setup to cope with the said limitation. The breakwater performance is tested with physical model in laboratory by comparing performance of single pontoon with double pontoon for various structure spacing. Pontoon size are 1.2 m in length, 0.3 m in width, and 0.15 m in height and tested with many combinations of irregular waves. For double configurations model, the spacing of 30 cm, 60 cm, and 90 cm are used. Based on tested result, there are improvement up to 20% by using the double configuration. The improvement determined by ratio of structure spacing with wavelength. Larger ratio resulted a better performance in condition where the spacing did not exceed 0,65 length of wavelength.

Keywords: Floating breakwater, concrete pontoon, double pontoon, physical modelling

ABSTRAK

Teknologi pemecah gelombang apung semakin banyak dikembangkan seiring dengan meningkatnya ketertarikan dalam konstruksi struktur apung untuk berbagai fungsi infrastruktur. Penelitian untuk berbagai jenis material dan geometri dilakukan untuk optimasi kinerja pemecah gelombang apung. Pada struktur dengan dimensi yang mirip, struktur yang lebih kaku memberikan kinerja yang lebih baik. Pemecah gelombang apung yang besar dan kaku dapat dikonstruksi dengan beton. Akan tetapi, ketika terdapat batasan dimensi untuk aplikasi pemecah gelombang, baik yang disebabkan oleh faktor metode konstruksi ataupun transportasi, metode alternatif untuk meningkatkan kinerja perlu untuk dikembangkan. Penggunaan konfigurasi ganda diajukan untuk mengatasi batasan tersebut. Kinerja struktur ditinjau dengan model fisik skala laboratorium dengan membandingkan kinerja konfigurasi struktur tunggal dengan struktur ganda untuk berbagai jarak penempatan. Pemecah gelombang yang diuji berukuran 1,2 m x 0,3 m x 0,15 m dan diujikan pada gelombang acak dengan berbagai kombinasi tinggi gelombang dan periode. Variasi jarak penempatan untuk konfigurasi ganda adalah 30 cm, 60 cm, dan 90 cm. Berdasarkan hasil uji diketahui bahwa konfigurasi ganda dapat meningkatkan kinerja struktur sampai 20%. Kinerja tersebut dipengaruhi oleh rasio jarak antar modul dan panjang gelombang. Rasio yang semakin membesar menghasilkan performa yang semakin baik pada kondisi jarak antar struktur yang tidak melebihi 0,65 dari panjang gelombang.

Kata kunci: Pemecah gelombang apung, ponton beton, ponton ganda, uji model fisik

PENDAHULUAN

Pemecah gelombang merupakan salah satu struktur pengaman pantai yang umum digunakan untuk melindungi suatu kawasan dengan cara melemahkan energi gelombang (US Army Corps of Engineers, 1984). Dewasa ini mulai banyak ketertarikan dalam dunia teknik untuk mengembangkan suatu struktur apung berdimensi besar dan difungsikan untuk berbagai macam infrastruktur seperti hotel, bandara, jembatan, dan struktur lainnya (Wang dan Tay, 2011). Sejalan dengan peningkatan ketertarikan rekayasa ke arah struktur apung, teknologi pemecah gelombang dengan struktur apung juga menjadi topik yang banyak dikaji.

Kelebihan pemecah gelombang apung dibanding pemecah gelombang konvensional (*rubble mound*) didapat ketika struktur ditempatkan semakin jauh ke lepas pantai. Peningkatan kebutuhan sumber daya dalam konstruksi pemecah gelombang apung lebih kecil dibandingkan pemecah gelombang konvensional seiring dengan bertambahnya kedalaman perairan, baik dari sisi teknis maupun ekonomi. Akan tetapi hal tersebut berlaku mulai dari kedalaman perairan tertentu, yang pada umumnya dikategorikan ke dalam perairan dalam (Fousert, 2006). Oleh sebab itu, beberapa penelitian mengarah pada optimasi penerapan pemecah gelombang apung di area perairan dangkal.

Penelitian terhadap performa pemecah gelombang apung yang optimal banyak dilakukan dengan mengubah variasi bentuk dan material. Armono dkk. (2012) melakukan uji model fisik skala laboratorium terhadap pemecah gelombang apung dari *High-density polyethylene* (HDPE) yang disusun dalam beberapa konfigurasi untuk keperluan budidaya rumput laut dan perikanan. Azhar dan Khoirunnisa (2015) juga melakukan uji model fisik skala laboratorium terhadap pemecah gelombang apung tipe *floaton* HDPE. Gemilang dan Kurniadi (2016) melakukan pengujian model fisik di laboratorium dengan menggunakan material *fiberglass*. Variasi bentuk pemecah gelombang apung dilakukan dengan mengubah dimensi penampang, geometri penampang struktur atau dengan menambahkan suatu komponen pada struktur. Chen dkk. (2012) melakukan modifikasi terhadap pemecah gelombang apung yang berbentuk kotak dengan menambahkan plat di bawah struktur. Ji dkk. (2015) melakukan pengujian untuk tipe baru pemecah gelombang apung yaitu dengan struktur silinder ganda yang ditambah suatu sangkar fleksibel yang dapat diisi bola-bola sebagai peredam.

Berdasarkan penelitian-penelitian terhadap berbagai geometri dan material tersebut, didapat bahwa dalam pengujian pemecah gelombang apung banyak menggunakan material modular untuk kemudahan konstruksi serta menghasilkan dimensi yang besar untuk mencapai performa terbaiknya karena pemecah gelombang apung memiliki batasan dalam kemampuan meredam gelombang (McCartney, 1985). Penggunaan material modular memiliki konsekuensi membuat struktur menjadi fleksibel. Struktur fleksibel membuat munculnya masalah baru dalam bentuk sambungan. Beberapa masalah yang ditimbulkan yaitu pergerakan relatif yang besar, kegagalan pada sambungan akibat pembebanan, atau potensi tabrakan antar modul akibat percepatan gelombang. Pada prinsipnya struktur yang fleksibel akan lebih mengikuti gerak partikel gelombang karena sifat penggunaan sambungan (Han, 2007). Selain itu, dari peninjauan beberapa hasil penelitian yang telah diuraikan, terdapat kemungkinan bahwa kinerja struktur fleksibel tidak lebih baik dari struktur kaku meskipun memiliki dimensi yang lebih besar. Akan tetapi hal ini perlu dibuktikan dengan pengujian dengan dimensi yang mirip.

Penggunaan struktur fleksibel perlu diminimalkan bila ingin mengurangi efek buruk tersebut. Akan tetapi jika menggunakan struktur yang masif dan kaku, permasalahan muncul pada metode konstruksi dan pemasangannya yang semakin sulit. Selain itu struktur yang masif akan membuat gaya yang perlu ditahan oleh struktur semakin besar.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mencari metode alternatif untuk meningkatkan performa dari pemecah gelombang apung berdasarkan masalah - masalah yang teridentifikasi. Pendekatan yang digunakan adalah dengan menggunakan ponton ganda dari material beton yang dipasang dalam konfigurasi dua baris. Material beton dipilih agar didapat suatu struktur yang kaku dan masif untuk menghilangkan efek buruk dari struktur fleksibel, sedangkan permasalahan konstruksi dan transportasi dikompensasi dengan dimensi struktur yang lebih kecil. Dengan dimensi yang lebih kecil maka kinerja struktur juga menjadi lebih terbatas. Oleh karenanya, peningkatan kinerja struktur dilakukan dengan penempatan ponton ganda dalam konfigurasi dua baris. Dengan pendekatan demikian, dihipotesiskan bahwa kemampuan redaman akan meningkat akibat energi gelombang yang ditransmisikan oleh struktur pada baris pertama akan dilemahkan kembali oleh struktur pada baris kedua. Pengaruh jarak penempatan serta perbandingan performanya terhadap struktur tunggal diuji dengan model fisik di laboratorium Balai Litbang Pantai, Buleleng, Bali.

METODOLOGI

Pemecah gelombang apung tipe reflektif

Salah satu jenis pemecah gelombang apung adalah tipe reflektif yang melemahkan gelombang dengan memantulkan gelombang datang sehingga hanya sedikit energi gelombang yang dibolehkan lewat (PIANC, 1994). Ditinjau dari hukum kekekalan energi, pada saat gelombang berinteraksi dengan suatu struktur terjadi suatu proses fisik yang mempengaruhi perubahan energi. Hubungan energi gelombang dengan proses fisik yang terjadinya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$E_I = E_T + E_R + E_D \dots\dots\dots(1)$$

dimana E_I adalah energi yang dimiliki gelombang datang, E_T adalah energi dari gelombang yang ditransmisikan, E_R adalah energi dari gelombang yang dipantulkan, dan E_D adalah energi yang terdisipasi akibat proses turbulensi.

Pada pemecah gelombang apung tipe reflektif pelemahan energi dilakukan dengan memperbesar gelombang refleksi yang terjadi. Hal ini dilakukan dengan membuat struktur apung yang berfungsi sebagai tembok yang akan memantulkan gelombang. Pada laut dalam, profil gerak partikel gelombang mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kedalamannya, sehingga energi gelombang dominan terjadi akibat proses fisik yang terjadi di permukaannya (Dean dan Dalrymple, 1991). Dengan memberi penghalang pada daerah sekitar permukaan air saja sudah mencukupi untuk memantulkan energi atau mendisipasi energi yang dapat mengurangi energi gelombang yang ditransmisikan. Pada tipe reflektif struktur penghalang harus kaku agar eksitasi gelombang tidak banyak mempengaruhi pergerakan struktur, sehingga mayoritas dari energi terpantulkan. Dari proses fisik yang terjadi tersebut kinerja dari pemecah gelombang apung tipe reflektif diformulasikan sebagai berikut (PIANC, 1994).

$$C_t = f \left(\frac{d}{H}, \frac{H}{L}, \frac{W}{L}, \frac{h}{d}, \frac{hG}{h}, \frac{kW}{mg}, \theta, \frac{W\sqrt{gd}}{\lambda} \right) \dots(2)$$

dimana C_t menyatakan koefisien transmisi; $\frac{d}{H}, \frac{H}{L}$ menyatakan parameter gelombang; $\frac{W}{L}, \frac{h}{d}$ menyatakan parameter geometri struktur; $\frac{hG}{h}, \frac{kW}{mg}$ menyatakan parameter struktur mooring; $\theta, \frac{W\sqrt{gd}}{\lambda}$ menyatakan parameter viskositas

Sesuai dengan persamaan (2) di atas, kinerja struktur dipengaruhi oleh dimensi dan material pembangunnya. Penelitian terhadap efek dimensi oleh Macagno (1954) dan Wiegel (1960) menunjukkan bahwa lebar struktur dan kedalaman relatif memberikan pengaruh yang cukup besar

dalam menentukan kinerja pemecah gelombang apung. Penelitian yang dilakukan Kolahdoozan dkk. (2014) untuk mengetahui pengaruh dimensi dan geometri pemecah gelombang apung terhadap kinerja redaman struktur memberikan hasil - hasil yang mirip dengan kesimpulan tersebut.

Oleh karena itu, penentuan dimensi untuk benda uji mengacu pada hasil - hasil penelitian tersebut.

Benda uji

Dalam pengujian ini dibuat model uji yang merepresentasikan skala 1:10 dari prototip. Skala model mengacu pada keserupaan dinamik dan faktor skala mengacu pada bilangan Froude (Wolters, 2011). Dengan skala tersebut, benda uji berupa ponton beton memiliki dimensi 1,2 x 0,3 x 0,15 m dan berat 30 kg (disajikan pada Gambar 1a). Kemudian jangkar beton sebagai penjaga posisinya memiliki dimensi 0,25 x 0,15 x 0,1 m dan berat 7 kg (disajikan pada Gambar 1b) yang dihubungkan ke modul dengan rantai seberat 100 gr/10 cm dan digunakan sepanjang 1,05 m untuk tiap posisinya. Penjagaan struktur dengan jangkar membuat struktur dapat bergerak bebas pada 6 derajat kebebasan.

Skenario uji

Uji model fisik untuk menguji performa ponton beton dalam meredam gelombang dilakukan pada saluran gelombang dengan berbagai skenario gelombang acak yang dibangkitkan oleh mesin pembangkit gelombang acak tipe *segmented piston-type wave generator* dengan kapasitas pembangkitan gelombang maksimum dapat mencapai 35 cm pada kedalaman air 70 cm. Parameter dari skenario gelombang adalah tinggi gelombang signifikan, H_s yaitu tinggi rata-rata dari 1/3 gelombang tertinggi. T_p adalah periode puncak energi gelombang berada. Bentuk spektrum gelombang yang digunakan adalah spektrum JONSWAP. Detail skenario gelombang yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1. Saluran gelombang yang digunakan memiliki panjang 28,56 m, lebar 2 m, dan kedalaman air 0,58 m, seragam sepanjang saluran. Pada ujung saluran dibuat profil kemiringan pantai dengan tumpukan batu pecah untuk meredam energi gelombang dengan menggunakan prinsip disipasi energi. Pada ujung saluran dibuat profil pantai untuk meredam energi gelombang sehingga meminimalkan efek pantulan yang terjadi di dalam saluran.

Pengujian dilakukan untuk 4 konfigurasi (Gambar 2) dengan pemilihan jarak berdasarkan kelipatan ukuran lebar ponton, yaitu:

- 1 Uji 1 modul struktur apung
- 2 Uji 2 modul ganda dengan jarak $s=30$ cm
- 3 Uji 2 modul ganda dengan jarak $s=60$ cm

4 Uji 2 modul ganda dengan jarak $s=90$ cm

Konfigurasi tersebut diujikan dengan 4 tinggi gelombang dan 8 (delapan) periode gelombang, sehingga untuk tiap konfigurasi diuji dengan 32 skenario gelombang (SK). Detil skenario gelombang yang diujikan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Skenario gelombang acak yang diujikan pada model pemecah gelombang

No	H (cm)	T (s)	No	H (cm)	T (s)
SK1	3	0.95	SK17	7	0.95
SK2	3	1.26	SK18	7	1.26
SK3	3	1.58	SK19	7	1.58
SK4	3	1.90	SK20	7	1.90
SK5	3	2.21	SK21	7	2.21
SK6	3	2.53	SK22	7	2.53
SK7	3	2.85	SK23	7	2.85
SK8	3	3.16	SK24	7	3.16
SK9	5	0.95	SK25	10	0.95
SK10	5	1.26	SK26	10	1.26
SK11	5	1.58	SK27	10	1.58
SK12	5	1.90	SK28	10	1.90
SK13	5	2.21	SK29	10	2.21
SK14	5	2.53	SK30	10	2.53
SK15	5	2.85	SK31	10	2.85
SK16	5	3.16	SK32	10	3.16

Perekaman data dilakukan dengan 4 (empat) buah *wave probe* dengan 2 (dua) alat dipasang di depan struktur untuk merekam gelombang datang dan 2 (dua) alat dipasang di belakang struktur untuk merekam gelombang transmisi dengan jarak pasang antar alat adalah 1 m dan jarak alat dari struktur baik ke arah depan maupun belakang adalah 1 m. Penempatan *wave probe* berada dalam jarak yang disyaratkan Kirkegaard (2011) untuk pengambilan data yang optimal dan meminimalkan polusi saat analisis data. Peletakan *wave probe* terhadap model uji untuk konfigurasi 1 (satu) modul ditunjukkan pada Gambar 3. Peletakan *wave probe* terhadap model uji untuk konfigurasi 2 (dua) modul dengan berbagai jarak antar modul ditunjukkan pada Gambar 4. Perekaman data dilakukan dalam frekuensi sampling 25 Hz dengan durasi pengujian sampai mendapatkan 500 kejadian gelombang

untuk setiap skenarionya. Untuk tiap skenarionya hanya dilakukan satu kali uji untuk pengambilan data. Data hasil pengukuran berupa rekaman data seri waktu muka air gelombang. Data dianalisis dalam domain frekuensi dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) sehingga didapatkan parameter spektrum yang merepresentasikan kondisi gelombang yang direkam sewaktu pengujian. Parameter yang digunakan dalam analisis adalah H_{m0} dan T_p . H_{m0} didefinisikan sebagai empat kali dari akar momen ke-0 dari spektrum gelombang atau dapat juga didefinisikan sebagai tinggi gelombang signifikan, H_s .



Gambar 1 Benda uji (a: model ponton beton pemecah gelombang apung, b: model jangkar)

Kinerja struktur pemecah gelombang apung dinyatakan dengan koefisien transmisi (K_t) yang didefinisikan dari H_t/H_i yaitu perbandingan gelombang yang ditransmisikan (H_t) dengan gelombang datang (H_i). Parameter spektrum (H_{m0} dan T_p) pada *wave probe* 1 dan 2 dirata-ratakan dan hasil rata-rata ini menjadi gelombang datang, kemudian parameter *wave probe* 3 dan 4 dirata-ratakan dan hasil rata-rata ini menjadi gelombang transmisi. Penggunaan nilai rata-rata dimaksudkan untuk mengurangi polusi yang ada pada data akibat efek refleksi.



a. Pelaksanaan uji 1 modul



b. Pelaksanaan uji 2 modul jarak 30 cm

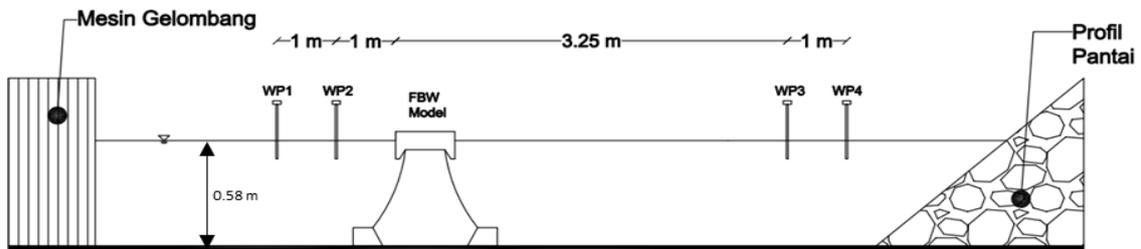


c. Pelaksanaan uji 2 modul jarak 60 cm

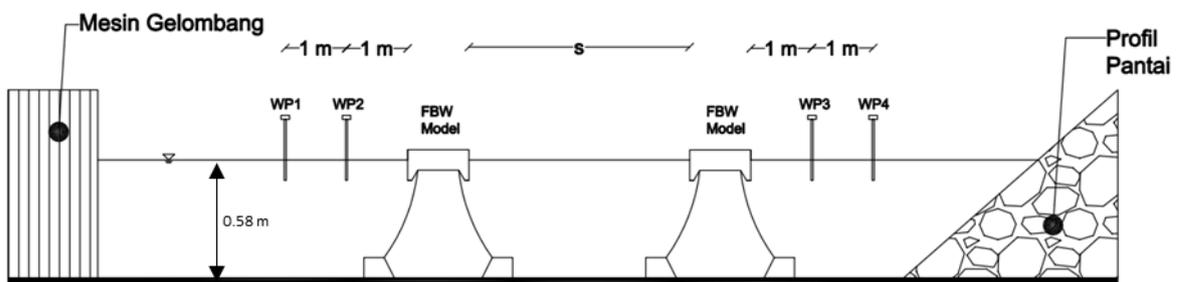


d. Pelaksanaan uji 2 modul jarak 90 cm

Gambar 2 Pelaksanaan uji model fisik dengan beberapa konfigurasi peletakan



Gambar 3 Skema uji konfigurasi 1 baris



Gambar 4 Skema uji konfigurasi 2 baris

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efek konfigurasi dan spasi

Hasil uji model disajikan pada Gambar 5 dalam bentuk perbandingan parameter gelombang (H_s dan T_p) terhadap koefisien transmisi (K_t) yang menyatakan kinerja struktur dalam meredam energi gelombang. Secara umum, kinerja terbaik struktur berada pada rentang pada periode pendek

dengan kinerja struktur sangat dipengaruhi konfigurasi penempatan struktur dengan konfigurasi terbaik diperoleh dari konfigurasi ganda dengan jarak spasi antar struktur (s) 90 cm.

Kinerja pemecah gelombang apung dengan konfigurasi tunggal berada pada rentang $K_t=0,6$ sampai 0,97. Konfigurasi ini memberikan hasil yang terburuk. Penggunaan konfigurasi ganda mencatatkan adanya kenaikan kinerja, namun efek

yang terekam berbeda – beda tergantung dari jarak spasi yang digunakan. Pada konfigurasi $s = 30$ cm, peningkatan kinerja sekitar 0,1 teramati untuk $H_s = 10$ cm, sedangkan untuk gelombang lainnya memiliki kinerja yang mirip dengan konfigurasi tunggal. Kemudian pada konfigurasi $s = 60$ cm, tercatat adanya kenaikan kinerja sebesar 0,05 pada seluruh gelombang dengan periode kurang dari 1 detik, tetapi pada periode lain masih teramati pola yang mirip dengan konfigurasi tunggal. Kinerja terbaik teramati pada konfigurasi $s = 90$ cm dengan kinerja berada di rentang $K_t = 0,45$ sampai 0,8. Peningkatan kinerja terjadi pada semua skenario gelombang untuk konfigurasi ini.

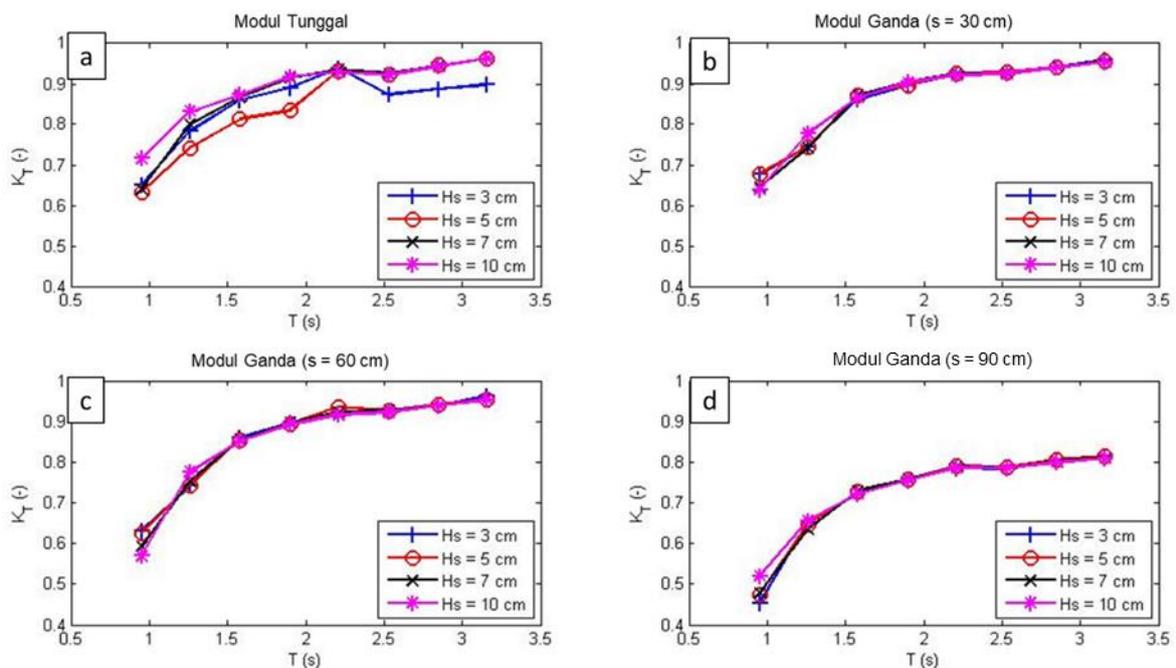
Berdasarkan hasil uji ini, kinerja pemecah gelombang apung cenderung menurun seiring dengan membesarnya periode. Hal ini menyatakan bahwa pemecah gelombang apung memiliki batasan dalam meredam gelombang dan hanya efektif pada suatu rentang periode tertentu. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang terdahulu dilakukan (McCartney, 1985; Koutandos dkk., 2005; Fousert 2006; van Tol, 2008; Peña dkk., 2011; Biesheuvel, 2013).

Penggunaan konfigurasi ganda mampu untuk menurunkan nilai koefisien transmisi dengan kecenderungan koefisien transmisi menurun dengan semakin bertambahnya jarak. Kecenderungan nilai transmisi yang lebih kecil

pada periode pendek juga terjadi pada pengujian konfigurasi 2 (dua) baris. Perbedaan kinerja terbesar untuk setiap konfigurasi terjadi pada saat gelombang dengan periode pendek. Pada konfigurasi terbaik untuk set data ini (jarak antar modul, $s=90$ cm) didapat peningkatan sampai dengan 20% bila dibandingkan dengan konfigurasi tunggal.

Kemudian, pengaruh periode gelombang pada kinerja struktur lebih berdampak dibanding tinggi gelombang. Pola tersebut sama-sama didapat pada pengujian dengan konfigurasi 1 (satu) baris dan 2 (dua) baris struktur dengan berbagai jarak, yaitu koefisien transmisi meningkat seiring bertambahnya periode, namun pada konfigurasi 2 (dua) baris pengaruh tinggi gelombang menjadi semakin tidak signifikan.

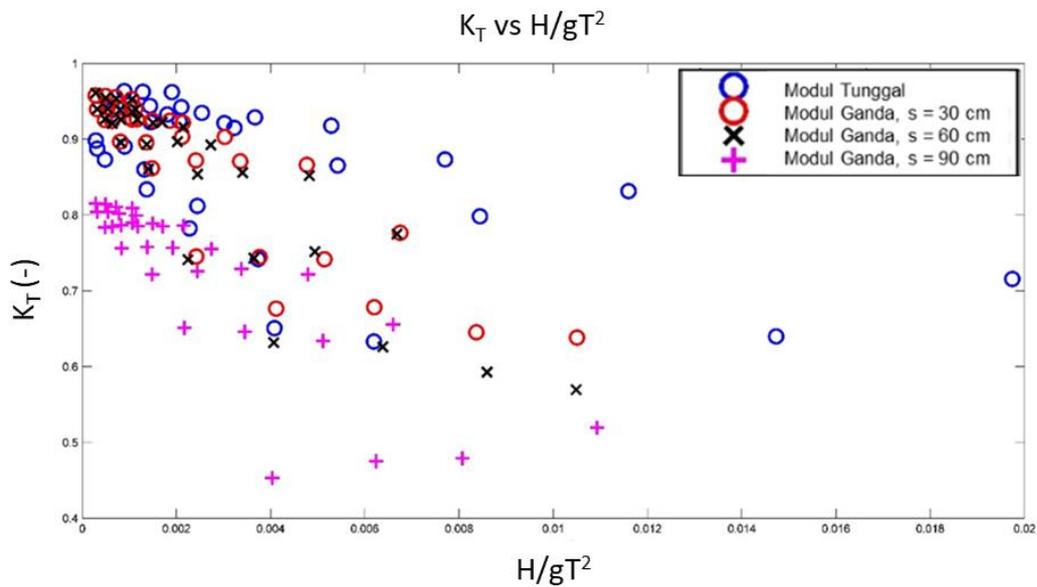
Hubungan tinggi gelombang dengan periode dinyatakan dalam tingkat kecuraman gelombang. Pada pengujian konfigurasi 1 (satu) baris, untuk nilai periode yang sama, gelombang yang lebih tinggi cenderung mengalami kenaikan transmisi. Semakin curam gelombang maka nilai transmisi akan semakin besar. Sedangkan pada pengujian konfigurasi 2 (dua) baris, pada periode yang sama, perubahan tinggi gelombang tidak memberikan perubahan yang signifikan pada nilai transmisi. Gelombang yang semakin curam tidak banyak berpengaruh pada transmisi gelombang.



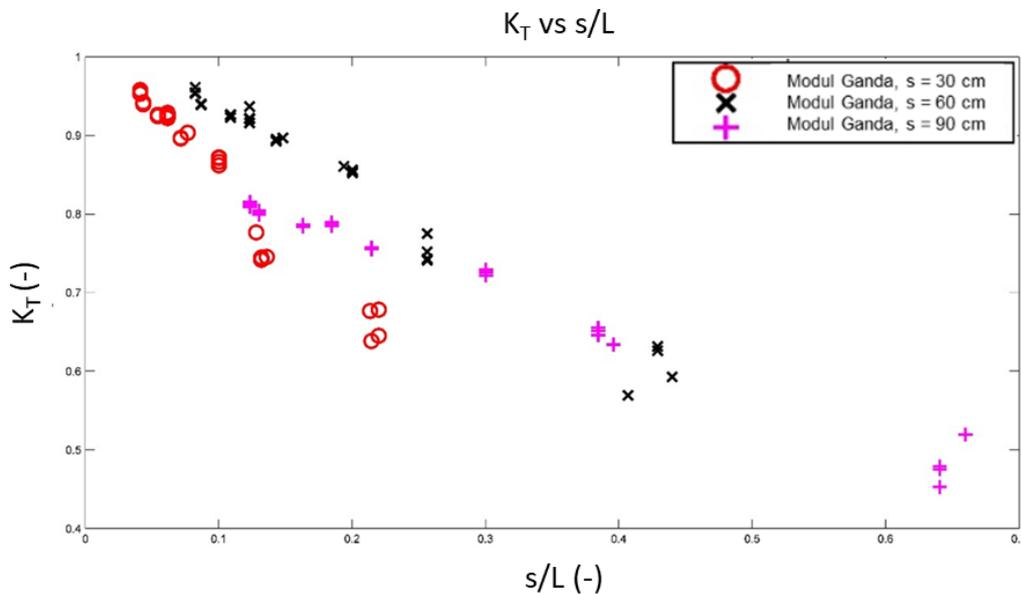
Gambar 5 Hubungan koefisien transmisi dengan periode gelombang untuk beberapa konfigurasi. a) Modul tunggal; b) Modul ganda dengan spasi 30 cm; c) Modul ganda dengan spasi 60 cm; d) Modul ganda dengan spasi 90 cm;

Untuk memperjelas kejadian ini, disajikan grafik koefisien transmisi (K_t) yang dibandingkan dengan bilangan tak berdimensi H/gT^2 yang disajikan pada Gambar 6. Bilangan ini menyatakan tingkat kecuraman gelombang, dengan angka yang semakin besar berarti gelombang semakin curam, kemudian H menyatakan tinggi gelombang H_{m0} , pada *wave probe* 1 dan 2 yang telah dirata-ratakan dan T menyatakan periode gelombang T_p pada *wave probe* 1 dan 2 yang telah dirata-ratakan. Dari Gambar 6 terlihat bahwa banyak nilai H/gT^2 yang berbeda namun memiliki nilai K_t yang mirip. Kejadian tersebut ternyata di alami juga pada hasil pengujian dengan kondisi 1 baris.

Dengan munculnya kecenderungan kejadian yang mirip pada pengujian 1 (satu) baris, hubungan performa pemecah gelombang apung tidak dapat dikatakan berbanding lurus dengan kecuraman gelombang untuk seluruh kondisi gelombang, meski data pengujian memiliki kecenderungan peningkatan nilai H/gT^2 yang menghasilkan transmisi yang semakin kecil untuk setiap konfigurasi. Kecenderungan ini berlaku saat perubahan kecuraman diakibatkan oleh perubahan periode gelombang, sedangkan perubahan kecuraman yang diakibatkan tinggi gelombang tidak banyak mempengaruhi nilai transmisi.



Gambar 6 Hubungan koefisien transmisi dengan H/gT^2



Gambar 7 Hubungan koefisien transmisi dengan jarak antar modul relatif terhadap panjang gelombang

Untuk meninjau pengaruh jarak antar modul terhadap kinerja pemecah gelombang apung, dilakukan perbandingan antara koefisien transmisi (K_t) dengan jarak antar modul relatif terhadap panjang gelombang (s/L). Sesuai dengan Dean dan Dalrymple (1991), panjang gelombang dapat ditetapkan melalui hubungan dispersi (Dean & Dalrymple, 1991).

Dari hasil yang disajikan pada Gambar 7, nilai transmisi memiliki kecenderungan untuk mengecil seiring bertambahnya nilai s/L , namun pada nilai s/L yang mirip, nilai K_t terbaik didapat pada penggunaan jarak 30 cm kemudian diikuti jarak 90 cm, dan jarak 60 cm. Hubungan yang tidak linier ini diperkirakan disebabkan oleh efek sekunder yaitu turbulensi oleh gelombang yang dipantulkan terhadap modul-modul struktur ataupun gelombang sekunder yang dibangkitkan akibat pergerakan struktur yang bergerak bebas pada 6 derajat kebebasan. Efek ini didefinisikan sebagai gelombang radiasi. Pada kasus ini, gelombang tidak dapat dikategorikan kecil terhadap dimensi struktur, sehingga efek dari gelombang radiasi yang terjadi termasuk pada kasus non-linier (Hu dkk, 2002). Gelombang radiasi dapat menyebabkan osilasi tambahan pada struktur dan efeknya bervariasi tergantung jarak penempatannya (Zhang dkk, 2020).

Koutandos dkk, (2005) melakukan pengujian yang mirip dengan ini namun menggunakan struktur yang dikunci pergerakannya. Jarak antar struktur adalah 9.5 m dengan dimensi struktur memiliki panjang 2.8, lebar 2 m, dan tinggi 1.5 m. Hasil studinya menunjukkan bahwa struktur mengalami kenaikan performa pada nilai s/L yang meningkat sampai pada rasio 1.2. Peristiwa ini dinyatakan sebagai akibat resonansi massa air pada daerah antara dua struktur. Pengujian Koutandos dkk (2005) cenderung memberikan kinerja yang lebih baik pada rasio s/L yang sama dibanding penelitian ini yang dimungkinkan akibat penggunaan struktur tidak bergerak sehingga tidak terjadi efek gelombang sekunder akibat pergerakan struktur.

Efek material dan dimensi

Penelitian Azhar dan Khoirunnisa (2016) mendapatkan $K_t=0.74$ untuk struktur fleksibel yang tersusun dari *floaton HDPE* dengan lebar 0.15 m. Gemilang dan Kurniadi (2016) mendapatkan $K_t=0.7$ untuk pengujian struktur *fiberglass* dengan lebar 0.15 m. Sufyan dkk. (2004) mendapatkan $K_t=0.78$ untuk lebar struktur 3.6 m dan $K_t=0.89$ untuk lebar 1.2 m pada struktur rakit HDPE untuk budidaya rumput laut. Dengan penggunaan material yang sama (ponton beton) namun dengan lebar yang lebih besar (4 m setara dengan 0,4 m pada uji model ini) Peña dkk. (2011) mendapatkan $K_t=0.35$. Penelitian-penelitian tersebut

menggunakan dimensi, geometri dan kondisi uji yang berbeda, sehingga perbandingan langsung cukup sulit untuk dilakukan. Namun, ada beberapa informasi yang dapat diolah dan menjadi pembandingan untuk penelitian ini.

Pertama, dengan meninjau aspek lebar struktur. Pada umumnya kinerja pemecah gelombang apung akan meningkat dan memberikan performa yang lebih baik seiring semakin lebarnya struktur. Akan tetapi jika membandingkan penelitian Sufyan dkk. (2004) dengan Azhar dan Khoirunnisa (2016), dengan penggunaan material yang sama, yaitu HDPE, menunjukkan kinerja yang lebih buruk meskipun memiliki lebar struktur yang lebih besar.

Kedua, penelitian Azhar dan Khoirunnisa (2016) memiliki dimensi yang mirip dengan penelitian Gemilang dan Kurniadi (2016). Akan tetapi menggunakan material yang digunakan adalah *fiberglass* yang disusun menjadi struktur monolit, sedangkan struktur HDPE pada umumnya tersusun dari modul - modul sehingga lebih fleksibel. Pada perbandingan ini dapat diketahui bahwa kinerja struktur dengan *fiberglass* lebih baik.

Ketiga, jika membandingkan penelitian Gemilang dan Kurniadi (2016) dengan penelitian Peña dkk. (2011) yang menggunakan struktur yang lebih kaku diketahui bahwa seiring bertambahnya lebar maka kinerja struktur meningkat. Hal ini diperkuat dengan penelitian yang menyimpulkan bahwa kinerja akan meningkat seiring bertambahnya lebar relatif struktur terhadap panjang gelombang (Hegde dkk, 2007).

Dengan membandingkan penelitian - penelitian tersebut dengan hasil uji ini didapatkan hubungan konsisten bahwa struktur yang lebih lebar dan kaku memiliki kecenderungan performa yang lebih baik.

Kemudian kinerja struktur juga dapat ditingkatkan dengan memodifikasi bentuk sehingga *added mass* struktur berubah dan mengubah respon arah heave (Deng dkk, 2019). Implikasi dari hal tersebut dengan penelitian ini adalah bentuk struktur pada uji ini juga dapat memberikan pengaruh sehingga jika dibandingkan dengan struktur berdimensi mirip dan terdapat perbedaan kinerja, maka faktor *added mass* ini yang berpotensi menjadi penyebabnya.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah penggunaan konfigurasi dua baris mampu meningkatkan kinerja pemecah gelombang apung hingga 20% dibanding dengan penggunaan satu baris. Kinerja struktur memiliki kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya nilai

parameter H/gT^2 yang merepresentasikan tingkat kecuraman gelombang. Namun kecenderungan ini berlaku saat perubahan nilai kecuraman dipengaruhi oleh perubahan periode. Perubahan nilai kecuraman akibat perubahan tinggi gelombang tidak memberikan efek yang signifikan pada kinerja redaman.

Perbedaan jarak antar modul dalam konfigurasi 2 baris memberikan pengaruh dalam peredaman energi gelombang. Struktur yang memiliki rasio s/L yang semakin besar cenderung menghasilkan nilai transmisi yang semakin kecil pada kondisi jarak antar struktur yang tidak melebihi 0,65 panjang gelombang. Untuk beberapa kondisi rasio s/L yang mirip, terjadi hubungan yang tidak linear antara jarak antar struktur dengan nilai transmisi.

Fenomena non-linear yang teramati dalam pengujian ini berpotensi disebabkan oleh peristiwa turbulensi yang terjadi pada daerah antar struktur akibat pemantulan gelombang dan atau gelombang yang dibangkitkan oleh struktur (gelombang radiasi) pada kondisi gelombang uji yang tidak dapat dikategorikan kecil terhadap dimensi struktur. Untuk membuktikan hal tersebut dapat dilakukan pengujian dengan pengaturan uji pada zona dimana asumsi kondisi linier valid berlaku.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari hasil penelitian Balai Litbang Pantai tentang Teknologi Modular Apung yang difungsikan sebagai pemecah gelombang. Penelitian didanai oleh DIPA TA 2016. Terima kasih kami ucapkan kepada tim pelaksana dan tim program sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Armono, H. D., Supriadi, H., Sujantoko, Sholihin, & Suastika, K. (2012). Pemanfaatan Floating Breakwater High Density Polyethylene untuk Budidaya Rumput Laut. In *Kongres Nasional Pengelolaan Sumber Daya Pesisir, Laut dan Pulau-pulau Kecil* (pp. 1–14). Mataram.
- Azhar, R. M., & Khoirunnisa, N. (2016). Model Fisik Pemecah Gelombang Terapung. In *Prosiding Seminar Hasil Litbang Puslitbang Sumber Daya Air TA 2015*.
- Biesheuvel, A. C. (2013). *Effectiveness of Floating Breakwaters Wave*. Master Thesis. Delft University of Technology, Delft.
- Chen, Z.-J., Wang, Y.-X., Dong, H.-Y. & Zheng, B.-X. (2012). Time-domain hydrodynamic analysis of pontoon-plate floating breakwater. *Water Science and Engineering*, 5(3), 291–303. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2012.03.005>
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (1991). *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists* (Vol. 2). WORLD SCIENTIFIC. <https://doi.org/10.1142/1232>
- Deng, Z., Wang, L., Zhao, X., & Huang, Z. (2019). Hydrodynamic performance of a T-shaped floating breakwater. *Applied Ocean Research*, 82, 325–336. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2018.11.002>
- Fousert, M. W. (2006). *Floating Breakwater Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System*. Delft University of Technology.
- Gemilang, R. I. A., & Kurniadi, Y. N. (2016). Efektifitas Redaman Energi Gelombang Akibat Adanya Breakwater Terapung Ditinjau dari Model Fisik dan Studi Numerik. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 2(3), 1–11.
- Han, H. L. (2007). A Novel 6DOF Rigid Connector for Large Floating Platforms. In *Proceedings of the 26th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (pp. 1–10). <https://doi.org/10.1115/OMAE2007-29557>
- Hegde, A. V., Kamath, K., & Magadum, A. S. (2007). Performance Characteristics of Horizontal Interlaced Multilayer Moored Floating Pipe Breakwater. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 133(4), 275–285. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-950x\(2007\)133:4\(275\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-950x(2007)133:4(275))
- Hu, P., Wu, G. X., & Ma, Q. W. (2002). Numerical simulation of nonlinear wave radiation by a moving vertical cylinder. *Ocean Engineering*, 29(14), 1733–1750. [https://doi.org/10.1016/S0029-8018\(02\)00002-1](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(02)00002-1)
- Ji, C.-Y., Chen, X., Cui, J., Yuan, Z.-M., & Incecik, A. (2015). Experimental study of a new type of floating breakwater. *Ocean Engineering*, 105(July), 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.06.046>
- Kirkegaard, J. (2011). Waves. In *Users Guide to Physical Modelling and Experimentation* (pp. 19–38). CRC Press. <https://doi.org/doi:10.1201/b11335-3>

- Kolahdoozan, M., Alizadeh, M. J., Tahershamsi, A., & Abdolali, A. (2014). Experimental Study of the Performance of Floating Breakwaters with Heave Motion. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 47(June), 59–70. DOI: [10.7508/ceij.2014.01.005](https://doi.org/10.7508/ceij.2014.01.005)
- Koutandos, E., Prinos, P., & Gironella, X. (2005). Floating breakwaters under regular and irregular wave forcing: reflection and transmission characteristics. *Journal of Hydraulic Research*, 43:2(February 2013), 174–188. <https://doi.org/10.1080/00221686.2005.9641234>
- Macagno, E.-O. (1954). Houle dans un canal présentant un passage en charge. *La Houille Blanche*, 9(1), 10–37.
- McCartney, B. L. (1985). Floating Breakwater Design. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 111(2), 304–318.
- Peña, E., Ferreras, J., & Sanchez-Tembleque, F. (2011). Experimental study on wave transmission coefficient, mooring lines and module connector forces with different designs of floating breakwaters. *Ocean Engineering*, 38(10), 1150–1160. <https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2011.05.005>
- PIANC. (1994). *Floating breakwaters: a practical guide for design and construction*. General Secretariat of PIANC. Retrieved from https://books.google.co.id/books/about/Floating_Breakwaters.html?id=5U45KWhGCSAC&redir_esc=y
- Sufyan, A., Armono, H. D., & Sambodho, K. (2004). *Studi Transmisi Gelombang dan Stabilitas Anchor Pada Budidaya Rumput Laut*, 1–6.
- US Army Corps of Engineers. (1984). *SHORE PROTECTION MANUAL* (Vol. I). Vicksburg, Miss.: Dept. of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center.
- van Tol, P. T. G. (2008). *Floating breakwaters A theoretical study and preliminary design of a dynamic wave attenuating system*. Master Thesis. Delft University of Technology.
- Wang, C. M., & Tay, Z. Y. (2011). Very large floating structures: Applications, research and development. *Procedia Engineering*, 14, 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.007>
- Wiegel, R. L. (1960). Transmission of wave past a rigid vertical thin barrier. *J. Waterway and Harbors Div.*, 86(1), 1–12.
- Wolters, G. (2011). Breakwaters. In *Users Guide to Physical Modelling and Experimentation* (pp. 39–66). CRC Press. <https://doi.org/doi:10.1201/b11335-4>
- Zhang, Y., Li, M., Zhao, X., & Chen, L. (2020). The effect of the coastal reflection on the performance of a floating breakwater-WEC system. *Applied Ocean Research*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102117>