

WAVE ENERGY DISSIPATION THROUGH ON SUBMERGED STRUCTURE

DISIPASI ENERGI GELOMBANG YANG MERAMBAT MELALUI STRUKTUR BAWAH AIR

Chairul Paotonan¹⁾, dan Nur Yuwono²⁾

¹⁾ Staf pengajar Program Studi Teknik Kelautan, FT Unhas, email: paotonan_ch@yahoo.com

²⁾ Staf pengajar Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, FT UGM

ABSTRACT

One of the solution can be applied to cope the erosion and abrasion of the beach is submerged structure. This structure has advantages are small in dimension and not gratingly to seaward view. The main parameter regarding to the submerged structure performance to protect coastal area at behind that structure is amount of wave energy dissipation. This research intent on investigate the influence of wave and structure parameter to the wave energy dissipation on submerged structure. This research was conducted in wave flume by physical modeling. Wave flume equipped by wave maker and automatic wave recording. Wave high, period and length of the structure was varied five of variation respectively. Result of this research shown that the parameters are influential to the wave dissipation on submerged structure are wave and structure parameters. The greater the H/L , B/L , and H_b/L^2 , the greater the coefficient of wave energy dissipation (K_{ED}) on submerged structure.

Keywords : wave energy dissipation, submerged structure, erosion, and abrasion

ABSTRAKSI

Salah satu solusi yang dapat diaplikasikan untuk mengatasi erosi dan abrasi pantai adalah struktur bawah air (submerged structure). Struktur bawah air memiliki keuntungan, yakni hemat dalam penggunaan material dan tidak mengganggu pemandangan ke arah laut. Parameter penting kaitannya dengan kinerja struktur bawah air dalam melindungi daerah di belakang bawah air adalah besarnya energi gelombang yang diredam oleh struktur tersebut. Hal inilah yang menjadi pokok kajian dalam penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi pengaruh parameter gelombang dan struktur terhadap peredaman gelombang yang merambat melalui struktur bawah air. Penelitian ini adalah penelitian eksperimental yang dilakukan dalam saluran gelombang (*wave flume*) yang dilengkapi dengan alat pembangkit gelombang dan alat ukur gelombang. Untuk memperoleh tujuan yang telah ditetapkan, maka dalam penelitian ini dilakukan variasi tinggi gelombang sebanyak 5 variasi, periode gelombang 5 variasi dan panjang bangunan 5 variasi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa parameter yang berpengaruh terhadap peredaman energi gelombang yang melalui struktur bawah air adalah parameter gelombang dan parameter bangunan yang dalam hal ini panjang bangunan pada arah perambatan gelombang. Semakin besar nilai H/L dan H_b/L^2 , sema-kini besar energi gelombang yang diredam oleh struktur bawah air.

Kata-kata Kunci : disipasi energi gelombang, struktur bawah air, erosi, abrasi

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki daerah pantai yang cukup panjang, sekitar 81.000 km dan berada pada urutan kedua di dunia setelah Kanada, Triatmodjo (1999). Pantai adalah daerah yang cukup potensial ditinjau dari segi ekonomi. Daerah pantai dapat dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan yang bermuara pada pertumbuhan perekonomian negara secara umum. Daerah pantai dapat dimanfaatkan untuk kegiatan perdagangan, industri, pariwisata, pemukiman, transportasi dan lainnya. Permasalahan yang dihadapi bangsa ini terkait dengan daerah pantai adalah mundurnya garis pantai dan hilangnya fasilitas-fasilitas umum serta pemukiman penduduk yang diakibatkan oleh serangan gelombang laut yang cukup ekstrim. Dalam beberapa tahun terakhir terdapat banyak daerah pantai di Indonesia yang mengalami kerusakan akibat tingginya gelombang laut. Salah satu contohnya adalah di Pantai Takalar Sulawesi Selatan (Gambar 1).



Gambar 1. Mundurnya garis pantai yang diakibatkan oleh serangan gelombang.

Gambar 1 adalah erosi pantai yang menyebabkan hilangnya beberapa rumah penduduk di pantai Takalar Sulawesi Selatan. Apabila erosi pantai seperti pada Gambar 1 dibiarkan, mundurnya garis pantai akan semakin besar, dan pemukiman penduduk dapat hilang secara keseluruhan. Salah satu solusi yang dapat diaplikasikan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan membangun struktur bawah air (*submerged structure*). Struktur bawah air dibangun dengan orientasi sejajar dengan garis pantai, sehingga biasa disebut krib sejajar pantai.

Struktur bawah air memiliki beberapa keuntungan dibandingkan struktur yang menerus ke permukaan (*emerged breakwater*) diantaranya adalah biaya pembangunan relatif murah, respon garis pantai yang ada di belakangnya relatif seragam, tidak mengganggu pemandangan ke arah laut sehingga cocok untuk melindungi daerah obyek wisata, dan gelombang tidak dimatikan secara total sehingga daerah di belakangnya masih dapat digunakan untuk tempat rekreasi. Efektivitas dari struktur bawah air dalam melindungi pantai dari erosi dan abrasi, dapat dilihat dari seberapa besar energi gelombang yang diredam oleh bangunan tersebut. Semakin besar energi gelombang yang diredam, semakin baik bangunan tersebut dalam melindungi pantai dari serangan gelombang. Oleh sebab itu, dipandang perlu untuk melakukan kajian-kajian terkait dengan peredaman gelombang melalui struktur bawah air.

Tujuan penelitian ini adalah untuk pengaruh parameter gelombang, panjang struktur bawah air pada arah perambatan gelombang dan pengaruh kombinasi parameter gelombang dan panjang bangunan terhadap peredaman energi gelombang yang merambat melalui struktur bawah air.

Penelitian tentang struktur bawah air, secara umum telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Beberapa penelitian yang pe-

nulis sampaikan dalam penelitian ini diantaranya adalah Nizam (1987), meneliti tentang transmisi gelombang melalui struktur bawah air. Darma (1994), meneliti tentang unjuk kerja artificial reef sebagai struktur bawah air (pemecah gelombang bawah air). Sulaiman (1996), pengaruh transpormasi gelombang di atas terumbu buatan terhadap kerusakan struktur. Tanaka (1976), melakukan penelitian pada struktur dengan puncak terendam dan puncak menerus ke permukaan dengan menggunakan gelombang monokromatik dan mengusulkan suatu kurva tentang transmisi gelombang. Adams dan Sonu (1986) melakukan penelitian tentang transmisi gelombang yang merambat melalui puncak struktur bawah air di Santa Monica, California melalui pemodelan fisik 3 dimensi (3D) dengan menggunakan gelombang acak (*radom wave*). Paotonan (2006), melakukan kajian tentang kinerja susunan bamboo sebagai pemecah gelombang terapung dan memperkenalkan tentang konsep konservasi fluks energi gelombang yang merambat melalui penghalang dan dapat diaplikasikan untuk struktur bawah air. Paotonan (2009), melakukan kajian secara teoritik dan eksperimental perambatan gelombang melalui pemecah gelombang bawah dengan focus kajian adalah transmisi dan refleksi gelombang. Dari penelitian sebelumnya, pada umumnya kajian lebih difokuskan pada transmisi gelombang melalui struktur bawah air. Sementara besarnya gelombang yang diredam, belum dikaji secara komprehensif.

Struktur bawah air adalah suatu bentuk pemecah gelombang yang dibuat dengan puncak struktur berada di bawah muka air. Efektifitas atau kinerja dari suatu struktur bawah air dapat dilihat dari seberapa besar energi gelombang yang dapat diredam oleh struktur tersebut. Besarnya energi yang diredam oleh struktur bawah air dapat dilihat dari koefisien absorpsi K_D atau koefisien energi absorpsi (disipasi) K_{ED} gelombangnya. Semakin besar nilai K_D atau K_{ED} , berarti semakin efektif struktur tersebut dalam meredam gelombang dan sebaliknya. Koefisien absorpsi didefinisikan sebagai besarnya tinggi gelombang yang diredam oleh struktur bawah air. Sedangkan koefisien energi absorpsi gelombang adalah besarnya energi gelombang yang diredam oleh struktur bawah air.

Ditinjau dari kedalaman perairan dimana gelombang menjalar, maka gelombang dikelompokkan dalam 3 kategori yaitu gelombang air dangkal, transisi dan air dalam. Batasan dari ketiga kategori tersebut didasarkan pada rasio antara kedalaman dan panjang gelombang (d/L). Gelombang air dalam jika d/L lebih besar dari 0,5, gelombang air transisi jika $0,05 \leq d/L \leq 0,5$ dan gelombang air dangkal untuk $d/L < 0,05$. Berdasarkan rasio antara tinggi gelombang dan panjang gelombang dikenal gelombang amplitudo kecil atau gelombang Airy dan gelombang amplitudo berhingga (*Stock, Cnoidal, Solitary*). Teori gelombang Airy diturunkan berdasarkan anggapan bahwa perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjangnya atau kedalamannya sangat kecil, sedangkan teori gelombang amplitudo berhingga memperhitungkan besarnya rasio antara tinggi gelombang terhadap panjang dan kedalaman airnya.

Karakteristik gelombang yang memegang peranan penting kaitannya dengan bangunan yang ada di daerah pantai dan laut adalah energi gelombang. Semakin besar energi gelombangnya, maka daya rusaknya pun semakin besar. Berdasarkan teori gelombang amplitudo kecil (*small amplitude wave theory*), energi total dalam satu gelombang adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial gelombang. Energi kinetik adalah energi akibat adanya kecepatan partikel air, oleh gerakan gelombang. Energi potensial adalah energi yang terjadi akibat perpindahan muka air oleh adanya gelombang dan dirumuskan seperti pada Persamaan 1 (Dean and Dalrymple, 1993, Silvester, 1974, Sorenson, 1978, Triatmodjo, 1999):

$$E = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2}{8} \quad (1)$$

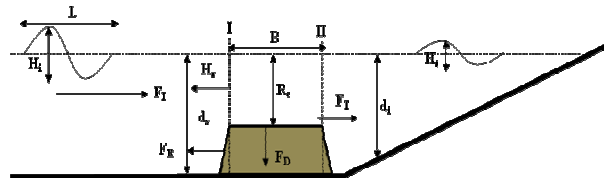
Dengan E , H dan ρ masing-masing adalah energi gelombang, tinggi gelombang dan massa jenis air. Gelombang laut ti-

dak mentransfer massa, namun mentransfer energi. Laju transpor energi disebut dengan fluks energi dan dirumuskan dengan :

$$F = EnC \quad (2)$$

Dimana C adalah kecepatan menjalar gelombang, $n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right)$, d adalah kedalaman air, k adalah bilangan gelombang ($2\pi/L$) dan L panjang gelombang.

Gelombang yang merambat melalui suatu penghalang seperti struktur bawah air, sebagian erginya akan direfleksikan oleh penghalang tersebut, sebagian akan diteruskan ke belakang struktur melalui puncak struktur dan sebagian lagi akan diredam (Gambar 2).



Gambar 2. Sketsa gelombang yang merambat melalui struktur bawah air

Dari Gambar 2 diperoleh, d_s , d_r , B , R_c , F_i , F_r , F_t , F_D dan F_T masing-masing adalah kedalaman air di kaki struktur, kedalaman air di belakang struktur, lebar struktur, kedalaman air di atas puncak struktur, fluks energi gelombang datang, fluks energi gelombang yang direfleksikan, fluks energi tepat merambat di atas mercu struktur, fluks energi yang hilang akibat gesekan dan turbulensi dan fluks energi gelombang yang ditransmisikan. Berdasarkan konsep konservasi energi, maka berlaku (Paotonan C, 2006) :

$$F_i = F_r + F_t + F_D \quad (3)$$

atau

$$F_D = F_i - (F_r + F_t) \quad (4)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan 1 dan 2, serta mengasumsikan dasar laut di belakang dan di depan struktur sama, maka berlaku :

$$F_D = \frac{1}{8} \rho g H_i^2 C_g - \left(\frac{1}{8} \rho g H_r^2 C_g + \frac{1}{8} \rho g H_t^2 C_g \right) \quad (5)$$

Dimana H_i , H_r , dan H_t masing-masing adalah tinggi gelombang datang, refleksi dan transmisi. Jika struktur diletakkan di laut dangkal, maka Persamaan 5 menjadi :

$$F_D = \frac{1}{8} \rho g H_i^2 \sqrt{g d_s} - \left(\frac{1}{8} \rho g H_r^2 \sqrt{g d_s} + \frac{1}{8} \rho g H_t^2 \sqrt{g d_s} \right) \quad (6)$$

Apabila Persamaan 6 dibagi dengan fluks energi gelombang datang, maka diperoleh :

$$\frac{H_D^2}{H_i^2} = 1 - \left(\frac{H_r^2}{H_i^2} + \frac{H_t^2}{H_i^2} \right) \quad (7)$$

$$K_{ED} = 1 - (K_{ER} + K_{ET}) \quad (8)$$

Dimana H_D , K_{ED} , K_{ER} , dan K_{ET} masing-masing adalah tinggi gelombang disipasi (redaman), koefisien energi gelombang redaman, koefisien energi gelombang refleksi dan koefisien energi gelombang transmisi. Koefisien energi redaman K_{ED} dapat dihitung jika koefisien energi refleksi dan transmisi diketahui. Koefisien energi gelombang refleksi dan gelombang transmisi dapat diketahui jika tinggi gelombang refleksi H_r , tinggi gelombang transmisi H_t dan tinggi gelombang datang H_i diketahui. Tinggi gelombang datang, refleksi dan transmisi dapat dihitung dengan terlebih dahulu mengukur elevasi muka air di depan dan di belakang bangunan. Berdasarkan tinggi gelombang maksimum H_{max} dan tinggi gelombang minimum H_{min} yang diukur pada be-

berapa titik di depan dan di belakang model diperoleh (Dean dan Danrymple, 1993) :

$$H_r = \frac{(H_{\max})_i + (H_{\min})_i}{2} \quad (9)$$

$$H_r = \frac{(H_{\max})_i - (H_{\min})_i}{2} \quad (10)$$

$$H_t = \frac{(H_{\max})_t + (H_{\min})_t}{2} \quad (11)$$

Indek I dan t pada Persamaan 9 sampai 10 menunjukkan lokasi, yaitu i di depan model dan t di belakang model. Secara visual, Gambar 2, menunjukkan bahwa peredaman gelombang yang direpresentasikan oleh koefisien energi gelombang redaman K_{ED} dipengaruhi oleh parameter gelombang (tinggi H_i dan periode T) serta parameter struktur (kedalaman air di atas puncak, R_c , lebar puncak B , dan kedalaman air di kaki struktur, d_s). Oleh karena panjang gelombang merupakan fungsi dari kedalaman air di kaki struktur dan periode gelombang, maka parameter T dan d_s dapat digantikan dengan L .

Agar hasil penelitian yang diperoleh dapat berlaku umum, sehingga dapat diaplikasikan pada kondisi nyata di lapangan, maka dalam penelitian ini koefisien energi gelombang transmisi dipetakan terhadap beberapa parameter nondimensional, yang mengandung parameter gelombang dan struktur. Berdasarkan analisis nondimensional parameter yang menggunakan metode step-wise, diperoleh bahwa parameter nondimensional yang besar pengaruhnya terhadap nilai K_{ED} adalah kelandaian gelombang H_i/L , kedalaman relative, R_c/d_s , dan panjang relative, B/L . Dengan demikian, secara matematis nilai K_{ED} dapat ditulis :

$$K_{ED} = f\left(\frac{H_i}{L}, \frac{R_c}{d_s}, \frac{B}{L}\right) \quad (12)$$

Dalam bentuk kombinasi parameter nondimensional, K_{ED} dapat dipetakan terhadap kombinasi dari parameter nondimensional yang ada pada bagian sebelah kanan Persamaan 11.

CARA PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian yang berbasis laboratorium yang dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, Pusat Studi Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta. Penelitian dimulai dengan merumuskan secara teoritis konsep peredaman energi gelombang yang melalui struktur bawah air untuk mendapatkan parameter-parameter yang harus divariasikan dan parameter yang harus diukur. Konsep dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah konsep konservasi energi. Setelah parameter yang akan divariasikan dan akan diukur telah diketahui, selanjutnya dilakukan perancangan dan pembuatan model termasuk penentuan skala model. Setelah model uji siap, maka dilakukan kalibrasi alat pembangkit gelombang dan alat ukur gelombang. Setelah itu, dilakukan pengujian model, dengan cara memvariasikan tinggi gelombang sebanyak 5 variasi, periode gelombang 5 variasi dan panjang struktur bawah air 4 variasi. Sementara kedalaman air di kaki dan di atas puncak struktur adalah konstan atau tidak divariasikan.

Data yang diukur selama simulasi adalah data tinggi gelombang, yang mana secara otomatis terekam oleh alat pencatat gelombang. Fasilitas laboratorium yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu flume gelombang yang dilengkapi dengan alat pembangkit gelombang dan alat pencatat gelombang secara otomatis. Sedangkan model struktur bawah air yang digunakan adalah tetrapod. Fasilitas laboratorium dapat dilihat pada Gambar 3.

Setelah tetrapod dibuat, selanjutnya dimasukkan ke dalam flume gelombang dan dibentuk sesuai dengan ukuran yang dikehendaki seperti yang disajikan pada Gambar 4. Apabila struktur telah dimasukkan dalam flume gelombang, selanjutnya gelombang dibangkitkan dengan tinggi dan periode gelombang yang dikehendaki. Tinggi gelombang di depan dan di belakang model

direkam dengan menggunakan alat pencatat tinggi gelombang. Setelah semua data terkumpul, maka dilakukan analisis yang meliputi perhitungan panjang gelombang, perhitungan H_i , H_r , H_t , K_{ER} , K_{ET} dan K_{ED} . Selanjutnya, grafik hubungan antara H_i/L , dengan K_{ED} , grafik hubungan antara B/L dan K_{ED} dibuat.



(a). flume gelombang



(b). wave probe



(c). automatic wave recorder

Gambar 3. Fasilitas laboratorium



Gambar 4. Model uji dengan $R_c/d_s = 0,25$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan memvariasikan tinggi gelombang H , periode gelombang T pada kedalaman air tertentu d_s , serta memvariasikan panjang struktur searah perambatan gelombang B , selanjutnya mengukur tinggi gelombang di depan dan di belakang model struktur bawah air, maka tinggi gelombang datang H_i , refleksi H_r dan transmisi H_t dapat dihitungkan. Dengan diketahuinya H_i , H_r dan H_t , maka K_{ER} , K_{ET} dan K_{ED} dapat dihitungkan pula. Oleh karena dalam presentasi K_{ER} , K_{ET} dan K_{ED} merupakan fungsi panjang gelombang, maka panjang gelombang dihitungkan dengan menggunakan Persamaan 4.1.

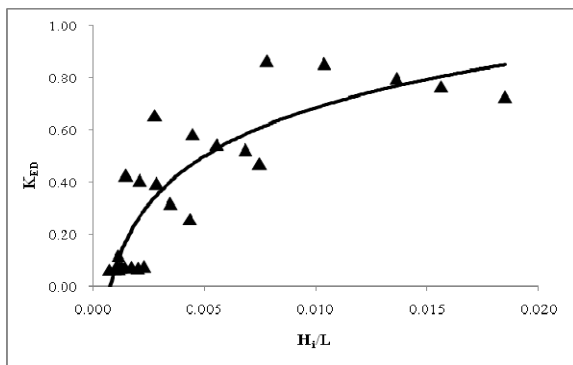
$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d_s}{L}\right) \quad (13)$$

Dimana L , T , dan d_s , masing-masing adalah panjang gelombang, periode gelombang dan kedalaman air di depan bangunan. Adapun nilai H_i , H_r , H_t , K_{ER} , K_{ET} dan K_{ED} dapat dilihat pada Tabel 1.

Dengan diketahuinya nilai K_{ED} , selanjutnya dibuat kurva hubungan antara kecuraman gelombang H_i/L dengan K_{ED} seperti pada Gambar 5.

Tabel 1. Hasil perhitungan L , H_i , H_r , H_t , K_{ER} , K_{ET} dan K_{EA}

| B (m) | T (s) | L (m) | H_i (m) | H_r (m) | H_t (m) | K_r | K_t | K_{ET} | K_{ER} | K_{EA} |
|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|----------|----------|----------|
| 1.0 | 1.30 | 0.09 | 0.01 | 0.05 | 0.10 | 0.51 | 0.26 | 0.01 | 0.73 | |
| | | 0.12 | 0.01 | 0.08 | 0.07 | 0.52 | 0.27 | 0.01 | 0.72 | |
| | | 0.14 | 0.01 | 0.07 | 0.08 | 0.55 | 0.31 | 0.01 | 0.69 | |
| | | 0.15 | 0.01 | 0.08 | 0.06 | 0.56 | 0.32 | 0.00 | 0.68 | |
| | | 0.16 | 0.01 | 0.08 | 0.09 | 0.60 | 0.36 | 0.01 | 0.63 | |
| 1.4 | 2.00 | 0.06 | 0.01 | 0.04 | 0.14 | 0.60 | 0.36 | 0.02 | 0.62 | |
| | | 0.10 | 0.02 | 0.05 | 0.17 | 0.61 | 0.38 | 0.03 | 0.59 | |
| | | 0.12 | 0.02 | 0.06 | 0.14 | 0.63 | 0.39 | 0.02 | 0.59 | |
| | | 0.15 | 0.02 | 0.08 | 0.16 | 0.70 | 0.48 | 0.02 | 0.49 | |
| | | 0.15 | 0.01 | 0.08 | 0.09 | 0.71 | 0.51 | 0.01 | 0.49 | |
| 0,20 | 1.8 | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 0.04 | 0.75 | 0.56 | 0.00 | 0.44 | |
| | | 0.06 | 0.00 | 0.08 | 0.04 | 0.77 | 0.59 | 0.00 | 0.41 | |
| | | 0.07 | 0.00 | 0.08 | 0.04 | 0.81 | 0.65 | 0.00 | 0.34 | |
| | | 0.12 | 0.01 | 0.11 | 0.11 | 0.82 | 0.67 | 0.01 | 0.32 | |
| | | 0.14 | 0.02 | 0.12 | 0.12 | 0.88 | 0.77 | 0.02 | 0.21 | |
| 2.2 | 3.33 | 0.05 | 0.00 | 0.03 | 0.07 | 0.91 | 0.82 | 0.01 | 0.17 | |
| | | 0.07 | 0.00 | 0.05 | 0.07 | 0.96 | 0.92 | 0.00 | 0.07 | |
| | | 0.09 | 0.01 | 0.07 | 0.08 | 0.97 | 0.94 | 0.01 | 0.05 | |
| | | 0.11 | 0.00 | 0.08 | 0.03 | 0.97 | 0.95 | 0.00 | 0.05 | |
| | | 0.12 | 0.01 | 0.10 | 0.05 | 0.98 | 0.96 | 0.00 | 0.04 | |
| 2.6 | 3.97 | 0.05 | 0.00 | 0.06 | 0.08 | 0.98 | 0.96 | 0.01 | 0.03 | |
| | | 0.07 | 0.01 | 0.08 | 0.17 | 0.98 | 0.96 | 0.03 | 0.01 | |
| | | 0.08 | 0.02 | 0.10 | 0.18 | 0.98 | 0.96 | 0.03 | 0.01 | |
| | | 0.10 | 0.02 | 0.11 | 0.18 | 0.98 | 0.96 | 0.03 | 0.01 | |
| | | 0.10 | 0.01 | 0.12 | 0.14 | 0.98 | 0.96 | 0.02 | 0.02 | |



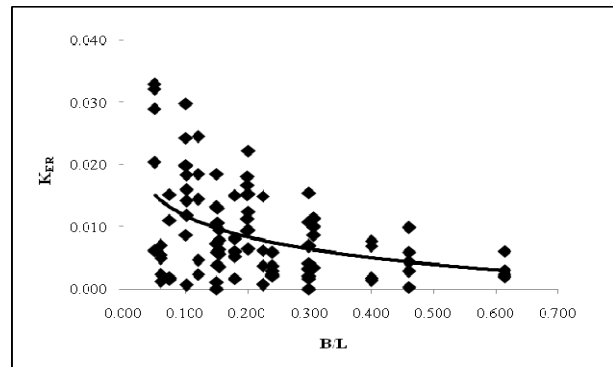
Gambar 5. Hubungan antara kecuraman gelombang H_i/L dengan koefisien redaman energi gelombang K_{ED}

Dari Gambar 5 diperoleh bahwa seiring peningkatan nilai kecuraman gelombang H_i/L , menyebabkan peningkatan nilai koefisien peredaman energi gelombang. Hal ini dikarenakan semakin curam gelombang atau semakin tinggi gelombang dibandingkan panjangnya, efek dari struktur bawah air semakin terasa, bahkan dapat menyebabkan gelombang pecah pada bangunan. Energi gelombang pada saat setelah pecah berkurang secara drastis karena adanya turbulensi, sehingga energi gelombang yang diredam semakin besar. Sementara itu, pengaruh B/L terhadap energi gelombang yang direfleksikan K_{ER} dapat dilihat pada Gambar 6.

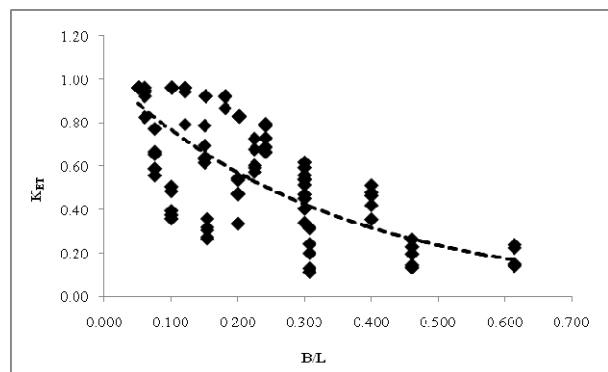
Dari Gambar 7 diperoleh bahwa peningkatan nilai B/L juga menyebabkan penurunan koefisien energi gelombang yang ditransmisikan (energi gelombang yang lewat ke belakang). Penurunan K_{ET} akibat peningkatan B/L ini, lebih dominan dipengaruhi oleh karena peningkatan B/L , gesekan antara fluida di atas mercu bangunan dengan material struktur bawah air semakin besar. Semakin besar gesekan antara fluida dengan struktur, menyebabkan pengurangan energi gelombang yang semakin besar sehingga gelombang yang lewatpun menjadi kecil. Disamping itu, peningkatan B/L menyebabkan turbulensi dalam selah-sela struktur semakin besar, sehingga energi gelombang semakin berkurang.

Dari Gambar 6 diperoleh bahwa peningkatan nilai B/L menyebabkan penurunan nilai K_{ER} . Apabila K_{ER} menurun, maka nilai K_{ED} akan sangat tergantung pada nilai K_{ET} . Nilai K_{ER} pada Gambar 6 cukup kecil, hal ini dikarenakan model struktur yang digunakan adalah tetrapod dengan porositas yang cukup besar,

sehingga gelombang banyak diredam akibat gesekan dan turbulensi di dalam struktur. Adapun hubungan antara B/L dengan K_{ET} dapat dilihat pada Gambar 7.

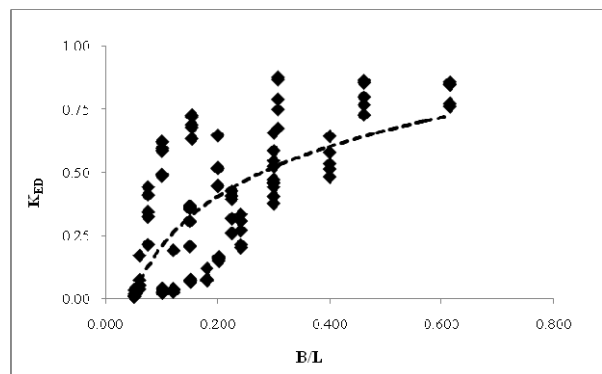


Gambar 6. Hubungan antara B/L dengan koefisien energi gelombang refleksi K_{ER}



Gambar 7. Hubungan antara B/L dengan koefisien energi gelombang transmisi K_{ET}

Sebagai konsekuensi dari penurunan K_{ER} dan K_{ET} seiring meningkatnya nilai B/L adalah koefisien peredaman energi gelombang akan meningkat, sebagaimana dirumuskan pada Persamaan 8, yaitu $K_{ED} = 1 - (K_{ER} + K_{ET})$. Semakin kecil nilai K_{ER} dan K_{ET} , menyebabkan peningkatan K_{ED} . Adapun kurva hubungan antara B/L dengan K_{ED} dapat dilihat pada Gambar 8.

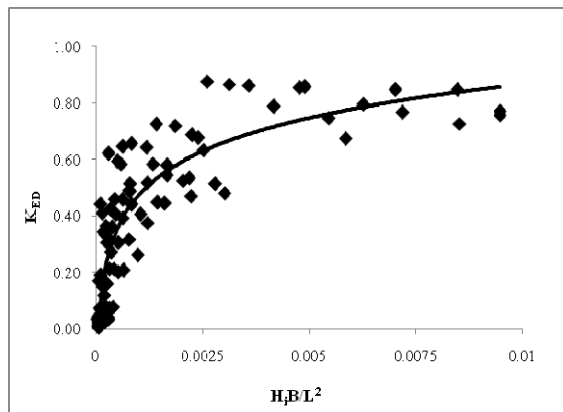


Gambar 8. Hubungan antara B/L dengan koefisien energi gelombang redaman K_{ED}

Dari Gambar 8, diperoleh kurva K_{ED} cenderung meningkat seiring peningkatan nilai B/L , atau dengan kata lain, semakin panjang struktur bawah air dibandingkan panjang gelombangnya, energi gelombang yang diredam oleh struktur bawah air semakin besar. Oleh sebab itu, dalam mendesain struktur bawah air, pan-

jang struktur sangat penting peranannya dalam hal peredaman energi gelombang.

Sebagai hasil akhir dari penelitian ini adalah penyajian koefisien redaman energi gelombang dalam bentuk grafis sebagai fungsi dari kombinasi parameter gelombang dan lebar bangunan (9).



Gambar 9. Hubungan antara $H_i B/L^2$ dengan koefisien energi gelombang redaman K_{ED}

Dari Gambar 9 diperoleh bahwa, semakin besar nilai $H_i B/L^2$, terjadi peningkatan nilai K_{ED} . Arti fisik dari kurva K_{ED} pada Gambar 9 adalah, semakin panjang bangunan dan semakin tinggi gelombang dibandingkan panjang gelombang, semakin besar energi gelombang yang diredam oleh struktur bawah air.

Dengan semakin besarnya energi gelombang yang diredam oleh struktur bawah air, maka energi gelombang yang mencapai pantai semakin mengecil. Kecilnya energi gelombang yang mencapai pantai, menyebabkan kerusakan pantai berupa erosi dan abrasi dapat reduksi. Atau dengan kata lain, semakin besar redaman energi gelombang oleh bangunan, pantai di belakang bangunan akan semakin aman dari erosi dan abrasi gelombang laut. Jika kondisi kedalaman air tertentu di atas puncak bangunan diketahui, tinggi gelombang datang diketahui dan periode serta kedalaman air dimana bangunan akan diletakkan juga diketahui, maka panjang bangunan dapat ditentukan agar diperoleh suatu peredaman energi gelombang tertentu dengan menggunakan grafik pada Gambar 9.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, berikut ini disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Peredaman energi gelombang melalui struktur bawah air dipengaruhi oleh kedalaman air di atas puncak struktur, tinggi

gelombang datang, panjang gelombang datang, dan panjang struktur.

2. Semakin besar nilai kecuraman gelombang (H_i/L), panjang relatif (B/L) dan kombinasi antar parameter ($H_i B/L^2$), semakin besar energi gelombang yang diredam oleh struktur bawah air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada DIKTI (DP2M) dan LP2M Universitas Hasanuddin atas bantuan dana penelitian yang diberikan melalui skim Hibah Bersaing hingga penelitian ini dapat diselesaikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Gadjah Mada secara khusus kepada Kepala Pusat Studi Ilmu Teknik UGM dan Kepala Laboratorium Hidrolika dan Hidrologi PSIT UGM atas dukungan fasilitas laboratorium untuk pemodelan fisik terkait penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, C., and Sonu, C. (1986). "Wave transmission across submerged near-surface breakwaters." *Proc. 20th Coast. Engrg. Conf.*, ASCE, 1,729-1,738.
- Darma S. (1994). "Unjuk Kerja Terumbu Buatan (Artificial Reef) Sebagai Peredam Energi Gelombang." Thesis S2, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Dean, R.G. and Dalrymple, R.A. (1993). *Water Wave Mechanics for Engineer and Scientist*. World Scientific Publishing, Singapore.
- Nizam. (1987). *Refleksi dan Transmisi Gelombang Pada Pemecah Gelombang Bawah Air*. Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Paotonan C. (2006). "Unjuk Kerja Susunan Bambu Sebagai Pemecah Gelombang Terapung." Thesis S2, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Paotonan C. (2010). "Pendekatan Teoritis dan Eksperimental Perambatan Gelombang Melalui Pemecah Gelombang Bawah Air." *PIT XXVII HATHI*, Surabaya 29 -31 Juli 2010.
- Tanaka, N. (1976). "Effects of submerged rubble-mound breakwater on wave attenuation and shoreline stabilization." *Proc. 23rd Jap. Coast. Engrg. Conf.*, 152-157 (in Japanese).
- Silvester R. (1974). *Coastal Engineering*. Vol. 1 & 2, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Sorenson R.M, (1978). *Basic Coastal engineering*. John Wiley & sons. Inc, Canada.
- Sulaiman M. (1996). "Pengaruh Transformasi Gelombang di Atas Terumbu Buatan Terhadap Kerusakan Struktur." Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Triatmodjo B. (1999). *Teknik Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta.