

PENDEKATAN ANALITIS GELOMBANG MELALUI PEMECAH GELOMBANG TIPE *PILECAP*

Chairul Paotonan

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90425; Telp 0411-585637; HP. 081392375678
Email: paotonan_ch@yahoo.com

Abstrak

Pemecah gelombang digunakan untuk melindungi kolam pelabuhan dan daerah pantai di belakangnya. Belakangan ini, tipe pemecah gelombang yang banyak digunakan di Indonesia adalah pemecah gelombang tipe tumpukan batu, baik batu alam maupun batu buatan. Pemecah gelombang tipe ini memiliki kelemahan berupa dimensi yang besar, terutama jika pemecah gelombang diletakkan pada kedalaman air yang dalam. Salah satu tipe pemecah gelombang yang dapat dikembangkan untuk mengatasi permasalahan dimensi bangunan yang besar adalah pemecah gelombang tipe *pilecap*. Masalahnya adalah kinerja dari pemecah gelombang tipe ini dalam meredam gelombang belum diketahui. Oleh sebab itu, dalam tulisan ini dilakukan kajian untuk mengetahui kinerja pemecah gelombang tipe *pilecap* dalam meredam gelombang. Kinerja pemecah gelombang tipe ini dalam meredam gelombang dapat dilihat dari nilai koefisien transmisi gelombangnya (K_T). Metode yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian ini adalah pendekatan analitis untuk mendapatkan nilai koefisien transmisi pada berbagai variasi nilai parameter gelombang dan struktur. Parameter gelombang yang divariasikan adalah panjang gelombang (L) dan kedalaman air (h). Sedangkan parameter struktur adalah sarat (S) dan panjang struktur (B). Koefisien transmisi gelombang melalui pemecah gelombang tipe *pilecap* dapat dihitung dengan rumus : $K_T = e^{-\beta \frac{Bd}{Lh}}$. Semakin besar rasio antara panjang bangunan dengan panjang gelombang (B/L) dan rasio sarat struktur dengan kedalaman air (d/h) menyebabkan penurunan nilai koefisien transmisi (K_T). Peningkatan nilai kombinasi parameter B/L dan d/h menyebabkan penurunan nilai K_T yang cukup signifikan.

Kata kunci: pemecah gelombang, *pilecap*; koefisien transmisi

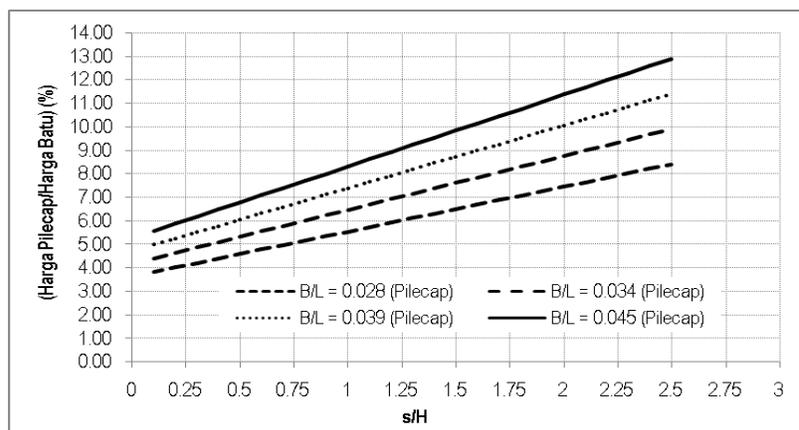
Pendahuluan

Pemecah gelombang adalah struktur pantai yang digunakan untuk meredam energi gelombang. Pemecah gelombang biasanya digunakan untuk melindungi pelabuhan atau daerah pantai yang mengalami erosi dan abrasi. Pada era Pemerintah Republik Indonesia masa jabatan 2015-2019 membentuk Kementerian baru yang khusus untuk membidangi kemaritiman. Hal ini didasari oleh karena letak geografis Indonesia yang sebagian besar wilayahnya adalah lautan. Salah satu program pemerintah Indonesia terkait kemaritiman adalah “Tol Laut”. Konsep Tol Laut adalah membangun transportasi laut dengan kapal dan sistem logistik kelautan, yang berputar tanpa henti dari Sabang sampai Merauke dengan tujuan untuk efisiensi dan pemerataan. Agar konsep tol laut ini dapat direalisasikan, maka terdapat 7 masalah yang harus diselesaikan, yaitu permasalahan muatan, permasalahan Kapal, permasalahan pelabuhan, permasalahan regulasi, permasalahan muatan dan kapal, permasalahan kapal dan pelabuhan, dan permasalahan pelabuhan dan muatan.

Pelabuhan sedapat mungkin dapat melayani kapal yang akan melakukan bongkar muat dengan waktu yang sesingkat mungkin, sehingga biaya operasional penanganan muatan dapat diminimalisasi. Artinya, fasilitas pelabuhan baik fasilitas darat dan perairan harus dapat mendukung kegiatan tersebut. Permasalahan yang dihadapi oleh beberapa pelabuhan di Indonesia adalah kedalaman perairan pelabuhan yang relatif dangkal sehingga kapal tidak dapat masuk ke pelabuhan. Pedangkalan pelabuhan dapat diatasi dengan pengerukan. Namun, pengerukan membutuhkan biaya yang mahal, bersifat siklik dan dapat mengganggu operasional pelabuhan. Alternatif lain adalah meletakkan dermaga lebih maju ke arah laut agar diperoleh kedalaman air yang memadai untuk sandar kapal. Masalah lain yang timbul adalah pada

kedalaman yang besar, potensi terjadinya gelombang besar juga cukup besar pula. Kondisi ini akan menyebabkan terganggunya bongkar muat kapal. Oleh sebab itu, diperlukan pemecah gelombang (*breakwater*) untuk melindungi kolam pelabuhan terutama untuk daerah-daerah yang berpotensi mengalami gelombang besar.

Tipe pemecah gelombang yang banyak digunakan di Indonesia adalah pemecah gelombang tumpukan batu (batu batu alam maupun batu buatan). Masalahnya, pemecah gelombang tipe ini adalah dimensi bangunan yang besar terutama jika bangunan diletakkan pada kedalaman yang besar. Besarnya dimensi bangunan, menyebabkan biaya pembangunan yang besar pula. Salah satu tipe gelombang yang dapat dikembangkan untuk mengatasi permasalahan dimensi pemecah gelombang yang besar adalah pemecah gelombang tipe *pilecap*. Pemecah gelombang tipe ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu tiang-tiang dan bangunan atas. Tiang dan bangunan atas dapat terbuat dari material baja maupun beton bertulang. Dimensi pemecah gelombang tipe ini relative kecil dibandingkan pemecah gelombang tumpukan batu sehingga biaya pembangunannya menjadi lebih murah dibandingkan pemecah gelombang tumpukan batu. Sebagai ilustrasi, jika diketahui suatu area pelabuhan akan dibangun pemecah gelombang pada kedalaman 20 m, tinggi gelombang 3 m, dan periode gelombang 8 detik dan menggunakan 2 (dua) tipe pemecah gelombang, yaitu tumpukan batu alam dan *pilecap*. Berdasarkan data gelombang dan tanah diperoleh dimensi pemecah gelombang untuk masing-masing alternatif serta kebutuhan biaya untuk kedua tipe pemecah gelombang tersebut juga diperoleh. Adapun perbandingan anggaran berdasarkan estimasi kasar dari kedua tipe pemecah gelombang tersebut diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan biaya *pilecap* dengan tumpukan batu

Gambar 1 adalah merupakan estimasi kasar dari kedua tipe pemecah gelombang yang diperbandingkan (*pilecap* dan tumpukan batu alam). Absis dari Gambar 1 adalah rasio antara sarat *pilecap* (s) dengan tinggi gelombang (H). Sarat adalah kedalaman bangunan atas *pilecap* yang terendam di dalam air. Gambar 1 memperlihatkan bahwa semakin besar sarat *pilecap*, semakin besar biaya yang dibutuhkan. Terlihat pula pada Gambar 1 bahwa untuk nilai s/H konstan, diperoleh bahwa semakin besar rasio lebar puncak *pilecap* (B) dengan panjang gelombang (L) anggaran pembangunan semakin besar pula. Artinya, semakin besar dimensi *pilecap* semakin besar pula anggaran yang dibutuhkan. Perbandingan biaya antara *pilecap* dengan tumpukan batu alam, untuk pemecah gelombang yang diletakkan pada kedalaman 20 m, tinggi gelombang 3 m dan periode gelombang 8 detik serta rentang nilai s/H antara 0.10 sampai 2.50 dan antara nilai B/L adalah 0.028 sampai 0.045, diperoleh persentasi biaya *pilecap* terhadap biaya tumpukan batu alam berkisar antara 3.83% sampai 12.89%. Artinya untuk data gelombang dan tanah yang diberikan serta lokasi pemecah gelombang 8 detik, persentasi biaya maksimum dari *pilecap* dengan tumpukan batu adalah 12.89%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa biaya pembangunan pemecah gelombang *pilecap* jauh lebih rendah dibandingkan dengan pemecah gelombang tumpukan batu. Oleh sebab itu dalam makalah ini dilakukan kajian efektivitas *pilecap* dalam meredam energy gelombang.

Dasar Teori

1. Elevasi muka air dan panjang gelombang

Gelombang air adalah naik turunnya muka air laut sebagai fungsi dari ruang dan waktu. Berdasarkan teori

gelombang linier, elevasi muka air sebagai fungsi jarak dan waktu, $\eta(x,t)$ dirumuskan dengan persamaan (Dean dan Danrimple, 1994) :

$$\eta(x,t) = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (1)$$

Dimana :

- H = tinggi gelombang (m)
- L = panjang gelombang (m)
- T = periode gelombang (detik)
- h = kedalaman air (m)
- t = waktu (waktu)
- x = jarak (m)

Persamaan 1 memperlihatkan profil muka air yang mengikuti fungsi cosinus, dimana dalam tinjauan dua dimensi memperlihatkan adanya puncak dan lembah muka air. Jarak antara satu puncak dengan puncak atau lembah dengan lembah muka yang berurutan disebut panjang gelombang. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu panjang gelombang disebut periode gelombang. Panjang gelombang sinusoidal secara matematis ditulis (Dean dan Danrimple, 1994) :

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

Persamaan 2 di atas tidak dapat diselesaikan dengan cara langsung. Namun hanya bisa dilakukan dengan cara atau metode iterasi periode gelombang dan kedalaman air dimana gelombang merambat diketahui. Persamaan 1 adalah persamaan elevasi muka yang merambat dari arah kiri ke kanan sumbu sumbu simetri. Untuk gelombang yang merambat dari arah kanan ke kiri dirumuskan dengan :

$$\eta(x,t) = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} + \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (3)$$

2. Kecepatan dan Percepatan Partikel Gelombang

Dalam perambatannya, partikel gelombang memiliki kecepatan dan percepatan baik pada arah perambatannya maupun pada arah yang tegak lurus dengan perambatan gelombang tersebut. Berdasarkan teori gelombang linier, kecepatan horisontal U dan kecepatan vertikal W gelombang masing-masing ditulis seperti berikut :

$$U = \frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \cos(kx - \sigma t) \quad (4)$$

$$W = \frac{H}{2} \sigma \frac{\sinh k(h+z)}{\cosh kh} \sin(kx - \sigma t) \quad (5)$$

Dimana :

- H = tinggi gelombang
- k = bilangan gelombang ($2\pi/L$)
- h = kedalaman air
- σ = frekuensi sudut gelombang ($2\pi/T$)
- z = jarak lokasi tinjauan tekanan diukur dari permukaan ke dasar (m)
- x = jarak horisontal
- t = waktu

Sementara itu, percepatan horisontal dan percepatan vertikal partikel gelombang (u dan w) merupakan turunan pertama dari kecepatan terhadap waktu, dan masing-masing ditulis seperti berikut :

$$u = \frac{H}{2} \sigma^2 \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \sin(kx - \sigma t) \quad (6)$$

$$w = -\frac{H}{2} \sigma^2 \frac{\sinh k(h+z)}{\cosh kh} \cos(kx - \sigma t) \quad (7)$$

3. Gaya Gelombang

Secara sederhana, gaya gelombang dapat didefinisikan sebagai perkalian antara massa dengan kecepatan gelombang. Oleh sebab itu gaya gelombang pada arah horisontal dan vertikal pada suatu struktur dengan volume V dan massa jenis fluida ρ , masing-masing dapat ditulis :

$$F_x = \rho V \cdot u \quad (8)$$

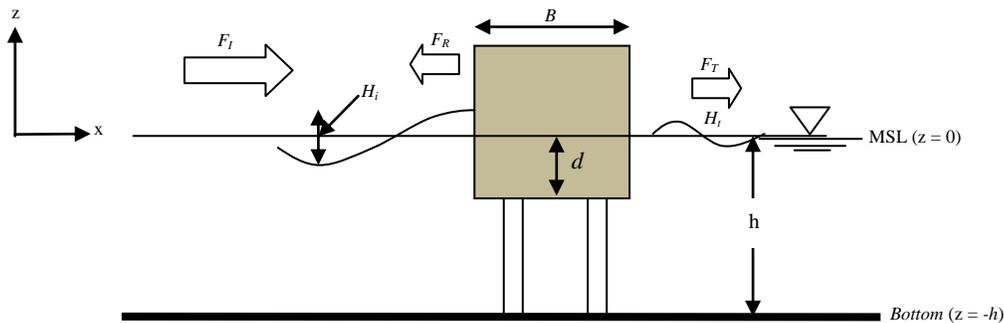
$$F_z = \rho V \cdot w \quad (9)$$

Dengan mensubstitusi Persamaan 6 ke Persamaan 8 dan Persamaan 7 ke Persamaan 9, diperoleh gaya gelombang yang diderita oleh struktur pada arah horisontal dan vertikal adalah :

$$F_x = \rho V \frac{H}{2} \sigma^2 \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \sin(kx - \sigma t) \quad (10)$$

$$F_z = -\rho V \frac{H}{2} \sigma^2 \frac{\sinh k(h+z)}{\cosh kh} \cos(kx - \sigma t) \quad (11)$$

Untuk menjelaskan gaya yang bekerja pada *pilecap*, maka ditinjau suatu obyek dalam fluida yang bergelombang dengan ukuran panjang, lebar dan sarat adalah B , b , dan d seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. Distribusi tekanan gelombang pada obyek di dalam fluida yang bergelombang

Gambar 2 memperlihatkan bahwa gelombang datang dengan gaya F_I membentur struktur *pilecap* sehingga sebagian gayanya akan direfleksikan oleh struktur, F_R dan sebagian lainnya akan terus ke belakang bangunan F_T dan secara matematis ditulis :

$$F_I = F_T + F_R \quad (8)$$

Gaya yang direfleksikan atau diredam oleh struktur adalah besarnya gaya gelombang datang yang diderita oleh struktur. Gaya gelombang maksimum arah horisontal dan vertikal dalam satu panjang gelombang sepanjang kedalaman air persatuan lebar puncak gelombang masing-masing dirumuskan dengan :

$$F_x = \rho L h \frac{H_i}{2} \sigma^2 \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad (9)$$

$$F_z = -\rho L h \frac{H_i}{2} \sigma^2 \frac{\sinh k(h+z)}{\cosh kh} \quad (10)$$

Resultan dari gaya horizontal dan vertical dapat ditulis dalam bentuk berikut ini :

$$F_i = \sqrt{\left(\rho L h \frac{H_i}{2} \sigma^2 \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh}\right)^2 + \left(-\rho L h \frac{H_i}{2} \sigma^2 \frac{\sinh k(h+z)}{\cosh kh}\right)^2} \quad (11)$$

atau

$$F_i = \rho L h \frac{H_i}{2} \frac{\sigma^2}{\cosh kh} \quad (12)$$

Resultan gaya gelombang per satuan lebar puncak gelombang yang diderita oleh struktur *pilecap* seperti pada Gambar 1.2, adalah :

$$F_R = \rho B d \frac{H_i}{2} \frac{\sigma^2}{\cosh kh} \quad (13)$$

Dengan membagi Persamaan dengan F_i , diperoleh persamaan berikut ini :

$$\frac{F_T}{F_i} + \frac{F_R}{F_i} = 1 \quad (14)$$

atau

$$K F_T = 1 - \frac{F_R}{F_i} \quad (15)$$

Dengan mensubstitusi Persamaan 12 dan 13 ke Persamaan 15 dan menyederhanakannya, diperoleh :

$$K F_T = 1 - \frac{B d}{L h} \quad (16)$$

Nilai $K F_T$ pada Persamaan 16 merepresentasikan gaya gelombang yang melewati struktur *pilecap* ke belakang struktur dan gaya ini akan banyak dipengaruhi oleh parameter berikut ini:

$$K F_T = f\left(\beta, \frac{H_t}{H_i}\right) \quad (17)$$

Dengan β , H_t , dan H_i masing-masing adalah konstanta yang mengakomodir gesekan dan turbulensi, tinggi gelombang transmisi dan tinggi gelombang datang. Dengan demikian Persamaan 16 dapat ditulis ulang dalam bentuk berikut ini :

$$\frac{H_t}{H_i} = K_t = \beta \left(1 - \frac{B d}{L h}\right) \quad (18)$$

Persamaan 18 memperlihatkan formulasi perbandingan antara tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang dan dinamakan koefisien transmisi K_t . Secara fisik, nilai β akan tergantung pada tinggi dan periode gelombang datang (H_i dan T), serta gesekan dan turbulensi yang diberi simbol f . Nilai f sulit untuk diperoleh secara analitik. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengujian laboratorium untuk mendapatkan nilai f . Untuk penyederhanaan, Persamaan 18 dapat ditulis dalam bentuk berikut :

$$K_t = e^{-\beta \frac{B d}{L h}} \quad (19)$$

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan analitik melalui formulasi gaya gelombang yang bekerja pada struktur *pilecap* persatuan lebar dan formulasi gaya gelombang dalam satu panjang gelombang tanpa adanya struktur *pilecap*. Konsep dasar yang digunakan dalam perumusan gaya yang bekerja yakni gaya adalah perkalian antara massa dengan percepatan. Percepatan yang digunakan adalah percepatan partikel gelombang, baik pada

arah horizontal maupun pada arah vertical. Dengan demikian formulasi yang yang diperoleh adalah gaya gelombang pada arah horizontal F_x dan gaya gelombang pada arah vertical F_z . Gaya total yang digunakan adalah resultan dari kedua gaya tersebut. Setelah gaya gaya tanpa dan dengan adanya *pilecap* dirumuskan, selanjutnya dilakukan koefisien transmisi dirumuskan dengan menerapkan konsep bahwa gaya yang datang membentur *pilecap* akan sama dengan penjumlahan dari gaya yang direfleksikan oleh *pilecap* dengan gaya yang diteruskan oleh *pilecap* ke belakang.

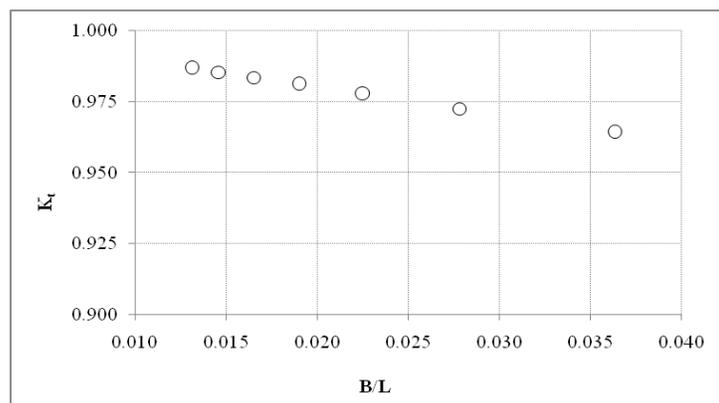
Hasil Penelitian

Fungsi tujuan dari penelitian ini adalah koefisien transmisi, yaitu merepresentasikan perbandingan antara tinggi gelombang di belakang *pilecap* dengan tinggi gelombang yang datang membentur *pilecap*. Berdasarkan Persamaan 19, koefisien transmisi dapat diestimasi dengan cara menetapkan nilai β dan memvariasikan nilai periode gelombang, kedalaman air, sarat serta panjang *pilecap* searah penjalaran gelombang. Adapun hasil perhitungan koefisien transmisi, K_t untuk berbagai nilai β , d , B, T dan i dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1: Hasil hitungan K_t

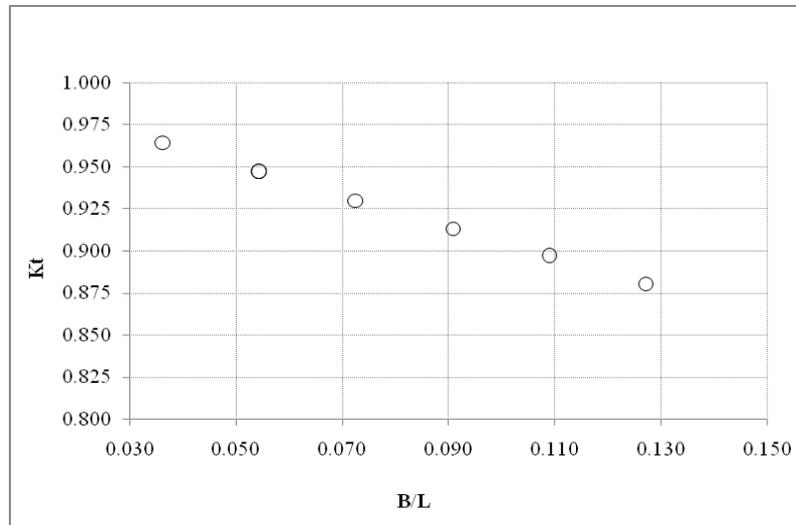
β	h	d	B	T	L	B/L	d/h	K_t
10.0	20.0	2.0	2.0	6.0	55.0	0.036	0.100	0.964
10.0	20.0	2.0	2.0	7.0	72.0	0.028	0.100	0.973
10.0	20.0	2.0	2.0	8.0	88.8	0.023	0.100	0.978
10.0	20.0	2.0	2.0	9.0	105.2	0.019	0.100	0.981
10.0	20.0	2.0	2.0	10.0	121.2	0.016	0.100	0.984
10.0	20.0	2.0	2.0	11.0	136.9	0.015	0.100	0.986
10.0	20.0	2.0	2.0	12.0	152.4	0.013	0.100	0.987
10.0	20.0	2.0	3.0	6.0	55.0	0.054	0.100	0.947
10.0	20.0	2.0	2.0	6.0	55.0	0.036	0.100	0.964
10.0	20.0	2.0	3.0	6.0	55.0	0.054	0.100	0.947
10.0	20.0	2.0	4.0	6.0	55.0	0.073	0.100	0.930
10.0	20.0	2.0	5.0	6.0	55.0	0.091	0.100	0.913
10.0	20.0	2.0	6.0	6.0	55.0	0.109	0.100	0.897
10.0	20.0	2.0	7.0	6.0	55.0	0.127	0.100	0.881
10.0	20.0	2.0	4.0	6.0	55.0	0.073	0.100	0.930
10.0	20.0	3.0	4.0	6.0	55.0	0.073	0.150	0.897
10.0	20.0	4.0	4.0	6.0	55.0	0.073	0.200	0.865
10.0	20.0	5.0	4.0	6.0	55.0	0.073	0.250	0.834
10.0	20.0	6.0	4.0	6.0	55.0	0.073	0.300	0.804
10.0	20.0	7.0	4.0	6.0	55.0	0.073	0.350	0.775
10.0	20.0	8.0	4.0	6.0	55.0	0.073	0.400	0.748

Berdasarkan Table 1, selanjutnya dibuat grafik hubungan antara rasio panjang struktur dengan panjang gelombang (B/L) terhadap nilai koefisien transmisi, K_t untuk nilai sarat dan panjang struktur serta kedalaman air konstan seperti yang diperlihatkan pada gambar berikut.

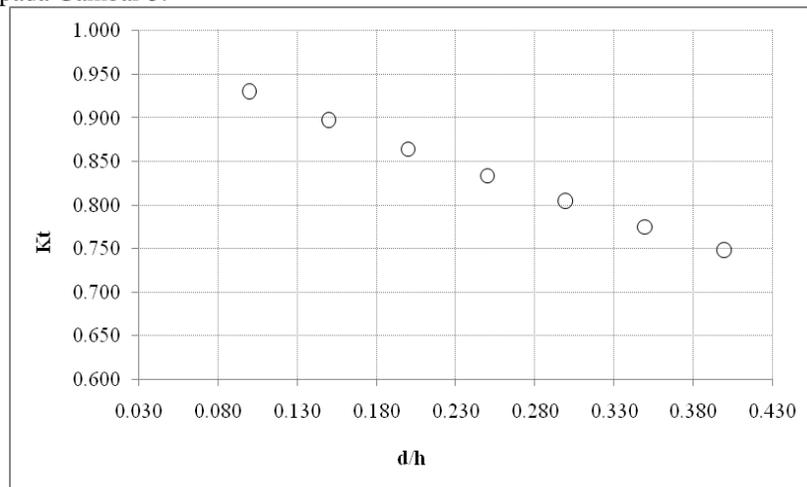


Gambar 3. Pengaruh B/L terhadap nilai K_t (β , B , d , dan h konstan)

Gambar 3 memperlihatkan bahwa semakin besar nilai B/L menyebabkan kecenderungan nilai K_t menurun. Peningkatan nilai B/L pada Gambar 3 disebabkan oleh mengecilnya nilai panjang gelombang L atau gelombanya semakin pendek. Dengan demikian penurunan nilai K_t pada Gambar 3 murni disebabkan oleh memendeknya panjang gelombang akibat periode gelombang, T mengecil pada nilai parameter struktur dan nilai $\beta = 10$ konstan. Jadi dapat disimpulkan bahwa pemecah gelombang *pilecap* cenderung akan baik meredam gelombang untuk gelombang-gelombang yang pendek atau periode kecil. Berdasarkan Tabel 3 juga dapat dibuat grafik pengaruh panjang struktur terhadap koefisien transmisi seperti pada gambar berikut ini .

Gambar 4. Pengaruh B/L terhadap nilai K_t (β , L , d , dan h konstan)

Peningkatan nilai B/L pada Gambar 4 disebabkan oleh adanya peningkatan nilai panjang struktur B untuk parameter lainnya seperti β , L , d , dan h konstan. Nilai β , L , d , dan h , masing-masing adalah 10; 55 m; 20 m dan 2 m. Penurunan nilai K_t pada Gambar 4 lebih besar dibandingkan pada Gambar 3. Artinya, penambahan panjang struktur pada panjang gelombang konstan menyebabkan penurunan nilai K_t yang cukup signifikan. Hal ini dikarenakan peningkatan nilai B/L menyebabkan gesekan antara fluida dan struktur menjadi meningkat sehingga gelombang yang lewat ke belakang bangunan mengecil. Selain pengaruh rasio panjang struktur dengan panjang gelombang terhadap koefisien transmisi, pengaruh rasio antara sarat struktur dengan kedalaman air juga ditabulasikan Tabel 1 dan hasilnya disajikan dalam bentuk garfik seperti pada Gambar 5.

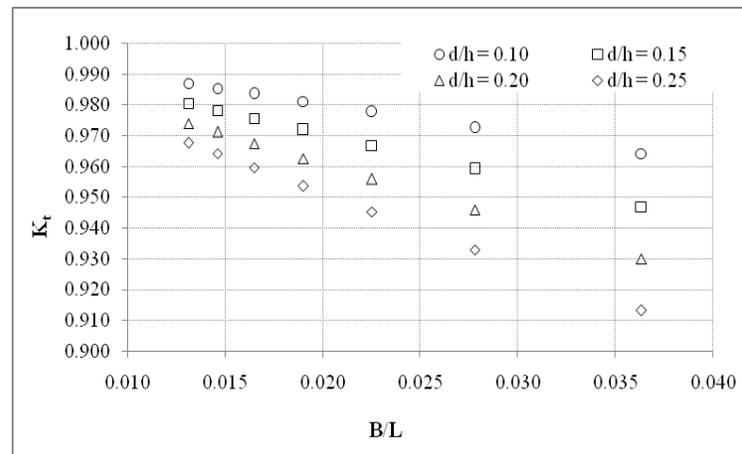
Gambar 5. Pengaruh d/h terhadap nilai K_t (β , B , L , d , dan h konstan)

Gambar 4 memberikan gambaran pengaruh rasio sarat struktur dengan kedalaman air terhadap nilai koefisien transmisi. Nampak pada Gambar 5 bahwa semakin besar nilai d/h , semakin kecil nilai K_t . Artinya semakin besar sarat struktur d , menyebabkan peredaman terhadap gelombang semakin besar sehingga menyebabkan penurunan nilai K_t dan menyebabkan mengecilnya gelombang yang ditransmisikan. Dengan meningkatnya sarat struktur, menyebabkan luas permukaan struktur yang diterpa oleh gelombang semakin besar. Peningkatan luas terpa gelombang menyebabkan semakin meningkatnya gelombang yang direfleksikan sehingga gelombang transmisi mengecil. Gambar 3 sampai 5 memperlihatkan pengaruh B/L dan d/h terhadap K_t secara parsial. Untuk mengetahui pengaruh B/L dan d/h terhadap K_t secara simulatan atau secara kombinasi maka dilakukan hitungan terhadap nilai K_t dengan memvariasikan nilai B/L dan d/h dan hasilnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1: Hasil hitungan K_t (pengaruh kombinasi B/L dan d/h)

β	h	d	B	T	L	B/L	d/h	K_t
10.0	20.0	2.0	2.0	6.0	55.0	0.036	0.100	0.964
10.0	20.0	2.0	2.0	7.0	72.0	0.028	0.100	0.973
10.0	20.0	2.0	2.0	8.0	88.8	0.023	0.100	0.978
10.0	20.0	2.0	2.0	9.0	105.2	0.019	0.100	0.981
10.0	20.0	2.0	2.0	10.0	121.2	0.016	0.100	0.984
10.0	20.0	2.0	2.0	11.0	136.9	0.015	0.100	0.986
10.0	20.0	2.0	2.0	12.0	152.4	0.013	0.100	0.987
10.0	20.0	3.0	2.0	6.0	55.0	0.036	0.150	0.947
10.0	20.0	3.0	2.0	7.0	72.0	0.028	0.150	0.959
10.0	20.0	3.0	2.0	8.0	88.8	0.023	0.150	0.967
10.0	20.0	3.0	2.0	9.0	105.2	0.019	0.150	0.972
10.0	20.0	3.0	2.0	10.0	121.2	0.016	0.150	0.976
10.0	20.0	3.0	2.0	11.0	136.9	0.015	0.150	0.978
10.0	20.0	3.0	2.0	12.0	152.4	0.013	0.150	0.981
10.0	20.0	4.0	2.0	6.0	55.0	0.036	0.200	0.930
10.0	20.0	4.0	2.0	7.0	72.0	0.028	0.200	0.946
10.0	20.0	4.0	2.0	8.0	88.8	0.023	0.200	0.956
10.0	20.0	4.0	2.0	9.0	105.2	0.019	0.200	0.963
10.0	20.0	4.0	2.0	10.0	121.2	0.016	0.200	0.968
10.0	20.0	4.0	2.0	11.0	136.9	0.015	0.200	0.971
10.0	20.0	4.0	2.0	12.0	152.4	0.013	0.200	0.974
10.0	20.0	5.0	2.0	6.0	55.0	0.036	0.250	0.913
10.0	20.0	5.0	2.0	7.0	72.0	0.028	0.250	0.933
10.0	20.0	5.0	2.0	8.0	88.8	0.023	0.250	0.945
10.0	20.0	5.0	2.0	9.0	105.2	0.019	0.250	0.954
10.0	20.0	5.0	2.0	10.0	121.2	0.016	0.250	0.960
10.0	20.0	5.0	2.0	11.0	136.9	0.015	0.250	0.964
10.0	20.0	5.0	2.0	12.0	152.4	0.013	0.250	0.968

Berdasarkan Tabel 2, selanjutnya dibuat grafik hubungan antara kombinasi parameter B/L dan d/h terhadap nilai K_t dan hasilnya disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh d/h terhadap nilai K_t (β , B , L , d , dan h konstan)

Gambar 6 memperlihatkan bahwa untuk nilai B/L konstan, semakin besar nilai d/h menyebabkan semakin menurunnya nilai K_t atau semakin baik struktur dalam meredam gelombang. Terlihat pula bahwa untuk nilai B/L yang relatif kecil, perubahan nilai K_t untuk penambahan d/h cenderung kecil. Lain halnya untuk nilai B/L yang besar, perubahan nilai d/h memberikan perubahan nilai K_t yang cukup besar. Artinya, penambahan nilai B/L dan d/h secara kombinasi menyebabkan penurunan nilai K_t yang cukup signifikan.

Daftar Notasi

B	= panjang struktur, m
b	= lebar bangunan searah puncak gelombang, m
d	= sarat struktur, m
F_I	= gaya gelombang datang, N
F_R	= gaya gelombang yang diredam, N
F_T	= gaya gelombang yang ditransmisikan, N
F_x	= gaya gelombang pada arah x, N
F_z	= gaya gelombang pada arah vertikal, N
g	= percepatan gravitasi bumi, m/s^2
H_i	= tinggi gelombang datang, m
H_r	= tinggi gelombang refleksi, m
H_t	= tinggi gelombang transmisi, m
h	= kedalaman air, m
k	= bilangan gelombang, $1/m$
L	= panjang gelombang, m
MSL	= muka air rerata, m
T	= periode gelombang, m
t	= waktu, detik
U	= kecepatan partikel gelombang arah horizontal, m/s
u	= percepatan partikel gelombang arah horizontal, m/s^2
V	= volume struktur, m^3
W	= kecepatan partikel gelombang arah vertikal, m/s
w	= percepatan partikel gelombang arah vertikal, m/s^2
x	= jarak horisontal, m
z	= jarak vertikal, m
β	= koefisien yang mengakomodir gesekan dan turbulensi,
η	= fluktuasi muka air, m
σ	= frekwensi sudut gelombang, $1/detik$

Daftar Pustaka

- Dean, R.G. and Dalrymple, R.A. 1993, *Water Wave Mechanic for Engineer and Scientist*, World Scientific Publishing, Singapore.
- Horikawa. K., 1978, *Coastal Engineering*, University of Tokyo Press, Tokyo.
- Hsu T.H, 1994, *Applied Offshore Structural Engineering*, Gulf Publishing Company, USA
- 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*, Tesis. Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Triatmodjo B. 1996, *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Wood A.M.MK and Halcrow S.W, 1981, *Coastal Hydraulics*, MacMillan Press LTD, London
- Wiegel R.L, 1964, *Oceanographical Engineering*, Prentice.Inc/Engle Wood Cliffs N.J, USA
- Walukow J.O.V. 2000, *Kajian Transmisi Gelombang Melalui Rangkaian Plat Horizontal Sebagai Pemecah Gelombang Apung*, Tesis. Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ker K.W, Lee C.P, March/Appri 2002 Inetraction of Waves and Porous Tension Leg Platform, *Journal Of Waterway, Port, Coastal and Ocean engineering*, pp.88-95.
- Yuwono N. 1986. *Teknik Pantai*, Vol. I, Biro Penerbit KMTS Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yuwono N. 1992, *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*, Lab. Hidrolika dan Hidrologi, PAU IT Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yuwono N. 1996, *Perencanaan Model Hidraulik*, Lab. Hidrolika dan Hidrologi, PAU IT Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yuwono N. 2004, The Use Of Reef Breakwater and Floating Breakwater For Coastal Protection, *Kumpulan Hasil Penelitian*, PAU IT Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.