

KAJIAN BENTUK DINDING DERMAGA UNTUK MEREDUKSI REFLEKSI GELOMBANG

Study on Quaywall Shapes for Reducing Wave Reflections

Ahmad Rifqi Asrib¹, Nizam², Nur Yuwono²

*Program Studi Teknik Sipil
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada*

ABSTRACT

Wave disturbance in many harbours can increase significantly due to reflections from breakwaters and other harbour structures including quay. Vertical walls which are often chosen, could cause high reflections. Interference of incident and reflected waves makes loading-unloading difficult, and often dangerous for smaller vessels. Therefore, design of low reflection quaywalls as an alternative constructions to secure appropriate calmness of basin in both ordinary sea conditions or storm is needed.

The aim of this research was to examine the non-conventional quaywall to reduce reflected waves. This was done by conducting physical model tests. The influence of some parameters on the reflected waves absorption was studied. Quaywalls made from iron post with various gap width between post and 1:2 sloping crushed stone structure were studied. Regular waves having various wave heights and periods were used for the investigation.

The result of the research showed that the reflected waves was partly affected by gap width between post, post width, and sloping crushed stone structure. Wave absorption was also significantly affected by the period and the height of the incoming waves. Reflection coefficient minimum for iron bar with gaps and crushed stone were between 0.24 and 0.35. For iron bar only the reflection coefficient minimum was between 0.32 and 0.46.

Key words : *basin - reflection - quaywall shapes.*

1. *Fakultas Pendidikan dan Teknologi Kejuruan IKIP Ujung Pandang*
2. *Fakultas Teknik UGM Yogyakarta*

PENGANTAR

Kolam labuh sebagai daerah perairan tempat berlabuhnya kapal-kapal memiliki berbagai bangunan yang diperlukan untuk perlindungan, seperti pemecah gelombang dan *jetty*. Selain itu pula, pelabuhan juga memiliki fasilitas sebagaimana layaknya terminal laut seperti dermaga tempat kapal dapat bersandar untuk melakukan aktifitas bongkar muat barang, dan menaik-turunkan penumpang.

Walaupun telah dilengkapi dengan bangunan pemecah gelombang untuk mengurangi energi gelombang dari laut lepas, namun kolam labuh belum sepenuhnya dapat dikatakan tenang. Hal ini disebabkan oleh masih adanya gelombang laut lepas yang tidak teredam dan lolos melalui pintu masuk pelabuhan sehingga menyebabkan terjadinya gangguan gelombang pada kolam pelabuhan yang secara signifikan akan meningkat akibat adanya refleksi dari pemecah gelombang, dan struktur bangunan pelabuhan lainnya termasuk dermaga. Struktur bangunan dermaga dengan faktor koefisien refleksi yang rendah merupakan salahsatu alternatif untuk menjaga ketenangan kolam pelabuhan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji bentuk dinding dermaga vertikal non konvensional yang tidak rata untuk mengurangi refleksi gelombang dengan memperhatikan pola refleksi gelombang pada berbagai keadaan tinggi gelombang dan periode gelombang serta bentuk dinding dermaga. Penelitian diterapkan pada model hidraulik dua dimensi. Untuk itu akan ditetapkan parameter pokok yang menyebabkan terjadinya proses refleksi gelombang oleh bentuk model dinding dermaga serta akan dikaji hubungan antara parameter gelombang dengan karakteristik bentuk model dinding dermaga.

Menurut Standar Teknis untuk Sarana-sarana Pelabuhan di Jepang (OCDI, 1991), untuk menjaga ketenangan kolam pelabuhan, maka perlu dilakukan perencanaan bangunan penyerap gelombang yang tepat. Bangunan itu diharapkan dapat mengurangi pengaruh fenomena laut, seperti difraksi gelombang, limpasan gelombang, dan refleksi gelombang, khususnya pada daerah perairan dari pintu masuk pelabuhan menuju ke kolam pelabuhan. Langkah-langkah perlu diambil untuk mengamankan ketenangan kolam sesuai dengan

ukuran dan jenis kapal, di samping *incident waves*, juga pengaruh gelombang pantai dan refleksi gelombang dari sebuah dinding pemecah gelombang atau dinding dermaga perlu dipertimbangkan.

Gelombang yang sampai ke pantai dan membentur suatu bangunan pantai seperti dermaga sebagian energinya akan direfleksikan, sebagian lagi dihancurkan (berubah ke bentuk lain). Besarnya energi gelombang yang direfleksikan dan yang dihancurkan dipengaruhi oleh karakteristik gelombang yang datang, yaitu tinggi gelombang datang (H_i), periode gelombang (T), kedalaman air (d), dan bentuk dinding bangunan pantai yang diterjang gelombang (CERC, 1984).

Mc Bride dkk (1993) pada penelitian awalnya meninjau disain hidraulik pintu masuk pelabuhan dan menganalisis kasus-kasus praktis refleksi gelombang, mengidentifikasi struktur bangunan refleksi rendah berdasarkan data kinerja yang telah ada. Model numerik dan fisik pintu masuk pelabuhan menunjukkan bahwa gangguan pada pelabuhan dapat dikurangi jika faktor refleksi gelombang dikurangi hingga menghasilkan koefisien refleksi $K_r \leq 0,40$.

Mc Bride dkk (1995) mencoba menguji kinerja bangunan kaisan yang berlubang sepanjang kedalaman air dalam merefleksikan gelombang. Ternyata bahwa bangunan itu relatif lebih sensitif terhadap perubahan muka air. Kemudian dilakukan modifikasi dengan mengisi ruang kosong hingga kedalaman 30 % sampai 50 % dari ketinggian struktur untuk menguji kepekaan terhadap perubahan tinggi muka air. Setiap struktur diuji dengan 2 macam tinggi muka air dan diperoleh bahwa pembatasan volume ruang dapat meningkatkan K_r . Pengaruh refleksi gelombang terbesar adalah pada saat muka air terendah.

Refleksi gelombang pada dinding vertikal datar juga dikaji dalam penelitian yang dilakukan oleh Mc Bride dkk (1995) dan Allsop (1995), menyatakan bahwa K_r , yaitu akar kuadrat perbandingan energi gelombang yang terefleksi dengan energi gelombang yang datang berada di antara 0,85 dan 0,90 dengan tinggi dan periode gelombang datang menunjukkan pengaruh yang relatif kecil.

Koefisien refleksi untuk beberapa bentuk bangunan selalu diestimasi berdasarkan test model yang dilakukan di laboratorium, sebab dengan analisis teori tidak dapat dilakukan untuk menguji

refleksi gelombang yang bercampur dengan sebagian gelombang pecah yang diakibatkan oleh struktur (Goda, 1985).

Tanimoto dkk dalam Goda (1985) telah melakukan pengujian dengan model fisik tentang besarnya koefisien refleksi gelombang datang *irregular* yang menerjang bangunan beton kaisan yang diberi lubang pada dinding depannya. Hasilnya menunjukkan bahwa koefisien refleksi minimum $(K_r)_{\min} = 0,30$ terjadi jika lebar relatif lubang $B/L = 0,15$ dan akan bertambah sekitar 0,70 apabila lebar relatif lubang mendekati kurang dari 0,05.

Koefisien refleksi (K_r) merupakan parameter refleksi gelombang yang didefinisikan sebagai perbandingan antara tinggi gelombang terpantul (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i) , atau akar total energi gelombang refleksi (E_r) dan energi gelombang datang (E_i)

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} \quad (1)$$

Koefisien refleksi bervariasi dari 1 apabila terjadi refleksi sempurna sampai 0 apabila tidak ada refleksi.

CARA PENELITIAN

Pada bangunan pantai, proses fisik yang terjadi sangat ditentukan oleh gaya akibat percepatan gravitasi (Vries, 1977). Oleh karena itu, kriteria kesebangunan yang harus dipenuhi adalah kriteria sebangun dinamik menurut kondisi bilangan Froude yang diekspresikan sebagai ratio antara gaya inerti dan gaya gravitasi.

Pengujian model untuk kajian refleksi gelombang terhadap bentuk bangunan pantai dilakukan dengan *undistorted model*, yaitu model dengan skala horisontal sama dengan skala vertikal.

Hubungan antara parameter pada model diekspresikan dalam bilangan tak berdimensi. Di samping itu bilangan tak berdimensi juga dipergunakan untuk menggambarkan hasil-hasil penelitian. Penelitian ini mempergunakan analisis dimensi dengan metode Langhaar karena variabel yang berpengaruh relatif sedikit. Parameter

yang dipelajari dievaluasi dengan analisis suaian untuk mendapatkan hubungan antara parameter yang terkait.

Mengingat fasilitas yang ada maka penelitian ini dilakukan dengan pembatasan sebagai berikut : (1) sudut datang gelombang tegak lurus terhadap dinding model, (2) bahan dinding model terbuat dari besi siku yang dipasang vertikal, (3) stabilitas model tidak diamati, (4) gelombang yang mengenai model adalah gelombang *regular*, (5) pengukuran tinggi gelombang dilakukan pada saat stabil, yaitu pada saat naik turunnya elevasi muka air tetap, (6) rongga di belakang tiang diisi material batu pecah (*model B*), (7) rongga di belakang tiang dibiarkan kosong (*model C*).

Pada penelitian ini sudut lereng batu pecah didalam rongga diambil tetap sebesar 1 : 2, berat jenis batu pecah tidak divariasikan. Jadi, hasil yang diharapkan akan diperoleh dari penelitian ini adalah koefisien refleksi gelombang yang mengenai model dinding dermaga dengan berbagai variasi bentuk dan lebar bukaan tertentu.

Dalam penelitian ini diumpamakan prototipe dinding dermaga adalah tiang berbentuk siku. Model tiang dibuat dari besi siku dengan lereng dari tumpukan batu pecah. Kedalaman kolam labuh pada umumnya adalah minimal 4,50 m dan tinggi gelombang kritis pada saat bongkar muat berkisar antara 0,30 m - 1,50 m. Dari data pengujian dengan kedalaman (d) = 15 cm tinggi gelombang yang terjadi berkisar antara 0,90 cm - 6,575 cm. Berdasarkan hal itu maka skala model yang digunakan adalah 1 : 30.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : besi siku dengan ukuran (25.25.3) mm, kayu lapis/*plywood* tebal 10 mm, batu looster, material batu pecah, cat pilox, paku list 1 cm, dan baut.

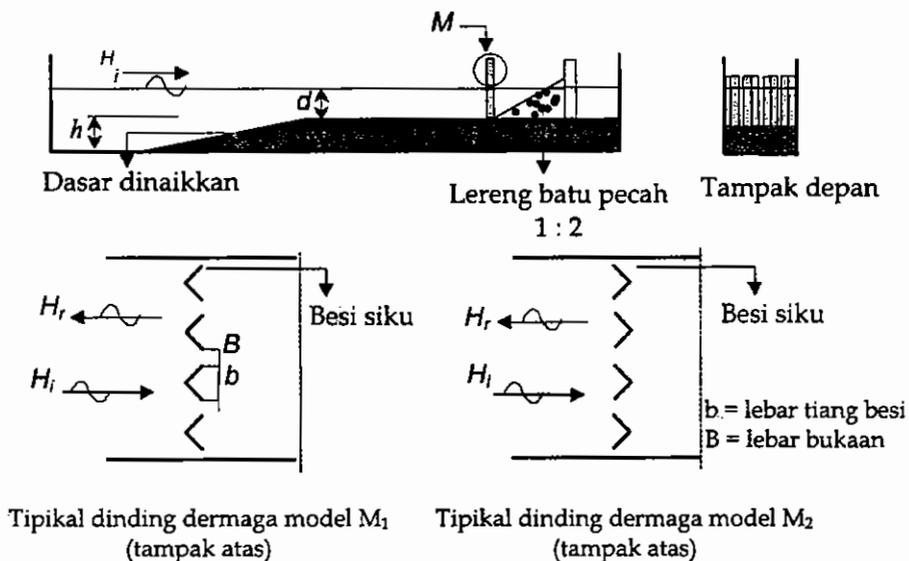
Penelitian dilakukan di laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Alat yang digunakan adalah saluran gelombang dengan alat pembangkit gelombang, mistar ukur, meteran kain/plastik, *stop watch*, kamera, dan tabel pencatatan.

Pelaksanaan penelitian untuk setiap seri pengujian adalah sebagai berikut :

- a. model tiang dermaga dipasang secara vertikal dengan lebar bukaan tertentu (B) dan dengan posisi siku tiang tertentu (M),

- b. model tiang dermaga dijepit dengan menggunakan sekrup yang mudah dibuka ataupun dipasang kembali (bagian atas dan bawah) agar lebar bukaan tidak berubah selama pengujian,
- c. saluran gelombang kemudian diisi air dengan kedalaman tertentu,
- d. model tanpa lereng di belakang tiang (model C) selanjutnya ditabrak dengan gelombang yang dibangkitkan dari pembangkit gelombang, mulai dari tinggi gelombang yang kecil berangsur-angsur membesar,
- e. setelah pengujian untuk satu model selesai, diganti dengan model yang menggunakan lereng batu pecah di belakang tiang (model B) dan selanjutnya pengujian dilakukan seperti langkah di atas dengan variasi B dan M .

Kedalaman air yang digunakan adalah 0,15 m, sedangkan variasi lebar bukaan (B) yang diambil adalah 0,05 m, 0,12 m, 0,22 m, dan 0,37 m. Sebagai perbandingan dilakukan pengujian untuk posisi tiang yang terpasang rapat (model E) dan yang tanpa menggunakan tiang (model A dan model D). Selain itu, posisi siku tiang juga divariasi yaitu M_1 dengan posisi siku tiang di depan dan M_2 dengan posisi siku



Gambar 1. Model dinding dermaga

tiang di belakang. Hal ini dilakukan untuk kedua model yang diuji yaitu model B dan model C.

Data yang dikumpulkan pada saat pengujian adalah periode gelombang (T), kedalaman air (d), tinggi gelombang di setiap titik pengamatan (H_{max} dan H_{min}), lebar bukaan (B), lebar tiang (b), dan lebar rongga di belakang tiang (x).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada model B_{M1} , efektifitas maksimum penyerapan energi gelombang datang terjadi pada saat lebar bukaan (B) sekitar sepertiga dari lebar tiang (b) dermaga atau $B/b = 0,31$. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 2. Pada $H_v/L=0,030$ koefisien refleksi model dinding dermaga tanpa tiang (*model A*) adalah 0,37, sedangkan jika menggunakan tiang dengan lebar bukaan relatif (B/b) =0,31, diperoleh $K_r=0,26$. Berarti telah terjadi reduksi refleksi gelombang sebesar 30 %.

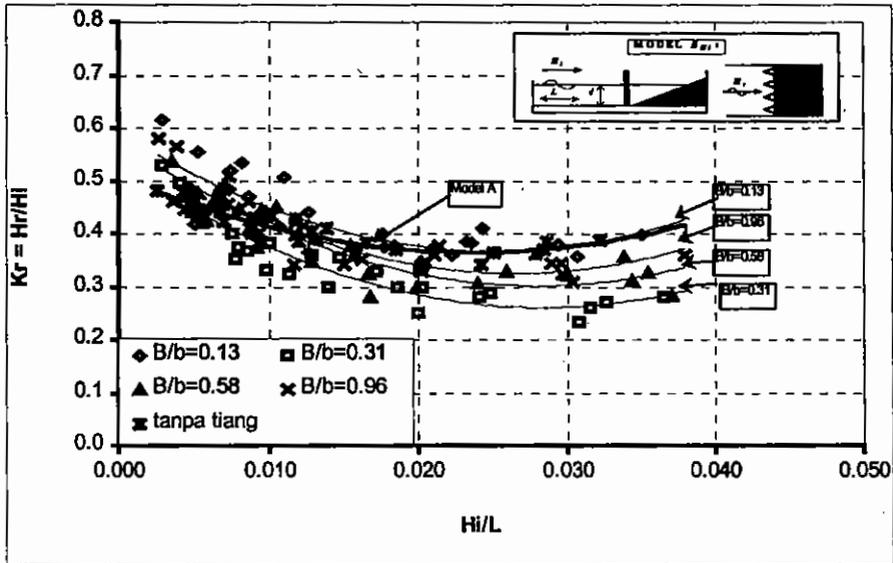
Demikian pula halnya dengan model B_{M2} seperti yang terlihat pada gambar 3, reduksi refleksi gelombang yang terjadi sama, yaitu sebesar 30 %. Efektifitas maksimum penyerapan energi gelombang terjadi pada saat lebar bukaan relatif (B/b) = 0,96.

Tabel 1. Tipe dan Pengujian Model

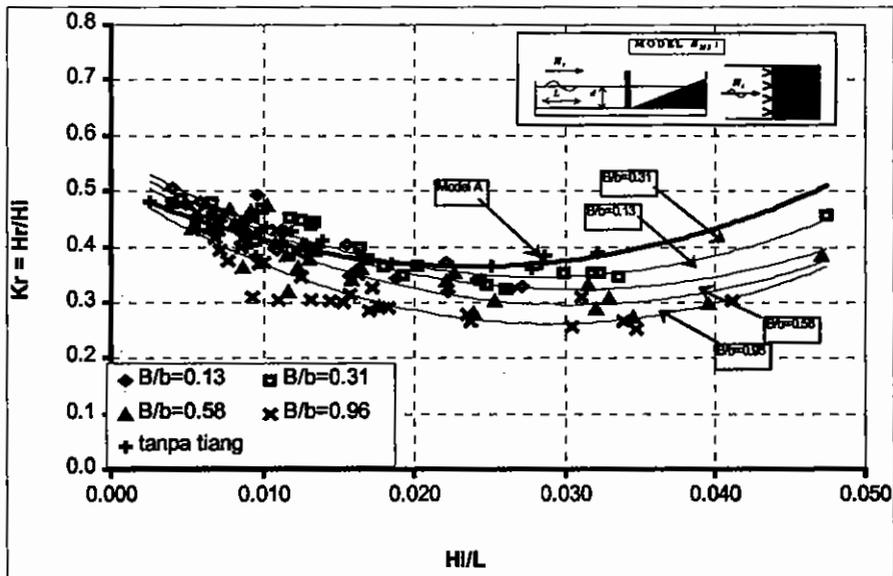
Type Model	No. Model	Jarak Tiang (B) (cm)	$\frac{B}{b}$	Kedalaman air (d)(cm)	Sketsa Pengujian
A	-	-	-	15,00	
B_{M1}	1.	0,50	0,13	15,00	
	2.	1,20	0,31	15,00	
	3.	2,20	0,58	15,00	
	4.	3,70	0,97	15,00	
B_{M2}	1.	0,50	0,13	15,00	
	2.	1,20	0,31	15,00	
	3.	2,20	0,58	15,00	
	4.	3,70	0,97	15,00	
C_{M1}	1.	0,50	0,13	15,00	
	2.	1,20	0,31	15,00	
	3.	2,20	0,58	15,00	
	4.	3,70	0,97	15,00	
C_{M2}	1.	0,50	0,13	15,00	
	2.	1,20	0,31	15,00	
	3.	2,20	0,58	15,00	
	4.	3,70	0,97	15,00	
D	-	-	-	15,00	
E	-	0,00	0,00	15,00	

Adanya perbedaan pada bentuk tiang (M_1 dan M_2) ternyata tidak berpengaruh nyata terhadap usaha untuk mereduksi refleksi gelombang datang. Bentuk dengan posisi siku tiang berada dibelakang (M_2) agak lebih baik dibandingkan dengan bentuk dengan posisi siku tiang berada didepan (M_1).

Hal ini ditunjukkan oleh perbandingan efektifitas penyerapan energi gelombang pada model BM2. parameter lebar bukaan yang relatif (B/b) lebih besar, yaitu 0,96. Dapat dikatakan bahwa dengan model B_{M2} dapat dilakukan penghematan pemakaian jumlah tiang dengan efektifitas penyerapan energi gelombang yang tetap sama.



Gambar 2. Hubungan K_r dan H_i/L untuk Model B_{M1}



Gambar 3. Hubungan K_r dan H_i/L untuk Model B_{M2}

Dari hasil analisis suaian linear satu peubah koefisien refleksi pada model B_{M1} diperoleh berikut ini.

$$K_r^1 = 359,56(H/L)^2 - 18,02(H/L) + 0,593 \Rightarrow R^2 = 0,675 \Rightarrow R = 0,8215 \quad (1a)$$

$$K_r^2 = 334,68(H/L)^2 - 18,97(H/L) + 0,530 \Rightarrow R^2 = 0,8585 \Rightarrow R = 0,9266 \quad (1b)$$

$$K_r^3 = 351,86(H/L)^2 - 19,67(H/L) + 0,577 \Rightarrow R^2 = 0,838 \Rightarrow R = 0,9155 \quad (1c)$$

$$K_r^4 = 351,54(H/L)^2 - 18,63(H/L) + 0,5726 \Rightarrow R^2 = 0,8 \Rightarrow R = 0,8945 \quad (1d)$$

$$K_r^A = 256,12(H/L)^2 - 12,165(H/L) + 0,509 \Rightarrow R^2 = 0,827 \Rightarrow R = 0,9094 \quad (1e)$$

Analisis suaian linear satu peubah koefisien refleksi pada model B_{M2} menghasilkan yang berikut ini.

$$K_r^1 = 249,52(H/L)^2 - 15,19(H/L) + 0,554 \Rightarrow R^2 = 0,8436 \Rightarrow R = 0,9185 \quad (2a)$$

$$K_r^2 = 238,47(H/L)^2 - 14,34(H/L) + 0,5588 \Rightarrow R^2 = 0,866 \Rightarrow R = 0,9305 \quad (2b)$$

$$K_r^3 = 269,71(H/L)^2 - 16,38(H/L) + 0,5445 \Rightarrow R^2 = 0,739 \Rightarrow R = 0,8599 \quad (2c)$$

$$K_r^4 = 297,93(H/L)^2 - 17,236(H/L) + 0,511 \Rightarrow R^2 = 0,739 \Rightarrow R = 0,8597 \quad (2d)$$

$$K_r^A = 256,12(H/L)^2 - 12,165(H/L) + 0,509 \Rightarrow R^2 = 0,827 \Rightarrow R = 0,9094 \quad (2e)$$

Refleksi gelombang antara model B_{M1} dan model B_{M2} tidak begitu banyak berbeda, tetapi sudah dipengaruhi oleh adanya variasi lebar bukaan terutama untuk gelombang pendek.

Gambar 4 dan 5 juga menunjukkan bahwa pada kondisi H/L yang semakin besar, maka perbedaan besarnya koefisien refleksi pada model tanpa tiang (*model D*) dan model tanpa lebar bukaan (*model E*) semakin besar dibandingkan dengan model yang menggunakan tiang dengan variasi jarak spasi tiang (C_{M1} dan C_{M2}). Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi H/L yang semakin besar, koefisien refleksi yang semakin besar dipengaruhi oleh perbandingan tinggi gelombang dengan panjang gelombang.

Adanya tiang dermaga dengan berbagai variasi lebar bukaan dapat mereduksi refleksi gelombang datang. Hal ini nampak dengan adanya perbedaan koefisien refleksi yang nyata antara model yang menggunakan tiang (C_{M1} dan C_{M2}) dengan model tanpa tiang (*model D*) dan model yang tanpa lebar bukaan (*model E*).

Efektifitas model C_{M1} dan C_{M2} lebih terlihat terutama pada saat H/L lebih besar dari 0,015. Tiang yang dipasang rapat secara vertikal (*model E*) menyebabkan energi gelombang yang terefleksi lebih besar jika dibandingkan dengan model yang tanpa menggunakan tiang (*model D*). Hal ini menunjukkan bahwa adanya bentuk siku pada dinding dermaga yang dipasang rapat dapat menyebabkan

akumulasi refleksi gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan yang rata.

Hasil analisis suaian linear satu peubah koefisien refleksi pada model C_{M1} diperoleh berikut ini.

$$K_r^1 = 361,61(H_i/L)^2 - 7,767(H_i/L) + 0,399 \Rightarrow R^2 = 0,601 \Rightarrow R = 0,7754 \quad (3a)$$

$$K_r^2 = 354,13(H_i/L)^2 - 6,7875(H_i/L) + 0,3595 \Rightarrow R^2 = 0,745 \Rightarrow R = 0,863 \quad (3b)$$

$$K_r^3 = 375,96(H_i/L)^2 - 5,6761(H_i/L) + 0,419 \Rightarrow R^2 = 0,7336 \Rightarrow R = 0,857 \quad (3c)$$

$$K_r^4 = 426,66(H_i/L)^2 - 7,309(H_i/L) + 0,479 \Rightarrow R^2 = 0,7526 \Rightarrow R = 0,8675 \quad (3d)$$

$$K_r^D = 773,76(H_i/L)^2 - 8,0337(H_i/L) + 0,522 \Rightarrow R^2 = 0,8878 \Rightarrow R = 0,942 \quad (3e)$$

$$K_r^E = 902,68(H_i/L)^2 - 9,181(H_i/L) + 0,4263 \Rightarrow R^2 = 0,8749 \Rightarrow R = 0,935 \quad (3f)$$

Hasil analisis suaian linear satu peubah koefisien refleksi pada model C_{M2} diperoleh berikut ini.

$$K_r^1 = 395,2(H_i/L)^2 - 9,0194(H_i/L) + 0,4127 \Rightarrow R^2 = 0,699 \Rightarrow R = 0,836 \quad (4a)$$

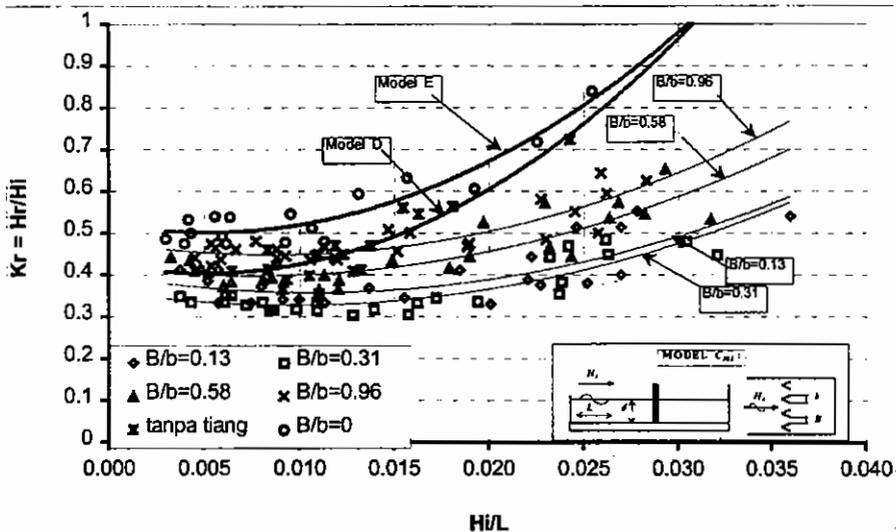
$$K_r^2 = 330,21(H_i/L)^2 - 4,999(H_i/L) + 0,4042 \Rightarrow R^2 = 0,672 \Rightarrow R = 0,8198 \quad (4b)$$

$$K_r^3 = 466,95(H_i/L)^2 - 9,4405(H_i/L) + 0,4535 \Rightarrow R^2 = 0,648 \Rightarrow R = 0,805 \quad (4c)$$

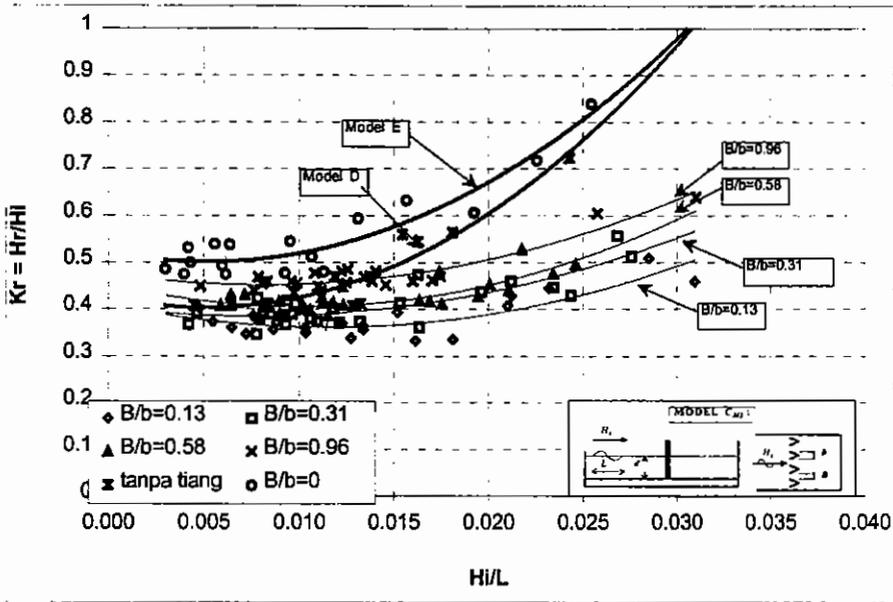
$$K_r^4 = 294,69(H_i/L)^2 - 3,9738(H_i/L) + 0,4645 \Rightarrow R^2 = 0,8437 \Rightarrow R = 0,92 \quad (4d)$$

$$K_r^D = 773,76(H_i/L)^2 - 8,0337(H_i/L) + 0,522 \Rightarrow R^2 = 0,8878 \Rightarrow R = 0,942 \quad (4e)$$

$$K_r^E = 902,68(H_i/L)^2 - 9,181(H_i/L) + 0,4263 \Rightarrow R^2 = 0,8749 \Rightarrow R = 0,935 \quad (4f)$$



Gambar 4. Hubungan K_r dan H_i/L untuk Model C_{M1}



Gambar 5. Hubungan K_r dan H_i/L untuk Model C_{M2}

Model C_{M1} dan model C_{M2} , nampak tidak begitu banyak perbedaannya, koefisien refleksi gelombang menunjukkan nilai yang jauh lebih besar dan penyerapan energi gelombang tidak jauh berbeda. Namun, pengujian ini juga sudah dipengaruhi oleh adanya variasi lebar bukaan terutama untuk gelombang pendek.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal yang menyangkut bentuk dinding dermaga yang dapat mereduksi refleksi gelombang yang terjadi.

Bentuk dinding dermaga yang menggunakan tiang berbentuk siku cukup efektif untuk mereduksi refleksi gelombang, terutama untuk gelombang besar dengan periode pendek.

Refleksi energi gelombang dipengaruhi oleh bentuk fisik dinding dermaga yang dicirikan oleh lebar bukaan, lebar tiang dan

adanya lereng batu pecah dibelakang tiang, selain oleh sifat gelombang, yang dicirikan oleh periode, panjang, dan tinggi gelombang.

Bentuk dinding dermaga dengan posisi siku tiang dibelakang serta menggunakan lereng batu pecah (model B_{M2}) lebih efektif untuk mereduksi refleksi gelombang (lihat pada gambar 2, 3, 4 dan 5). Efektifitas maksimum penyerapan energi gelombang terjadi pada lebar bukaan relatif sama dengan 0,96.

Besarnya koefisien refleksi minimum akibat adanya pengaruh bentuk tiang dan lereng batu pecah berkisar antara 0,24 - 0,35, dan yang diakibatkan oleh pengaruh bentuk tiang saja berkisar antara 0,32 - 0,46.

DAFTAR PUSTAKA

- C.E.R.C., 1984, *Shore Protection Manual*, 4th ed., Volume I and Volume II, Coastal Engineering Research Center, Dept. of the Army WESCE, Vicksburg.
- Dean, R.G., and R.A. Dalrymple, 1984, *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Goda, Y., 1985, *Random Seas and Design of Maritime Structures*, University of Tokyo Press, Japan.
- McConnell, K.J., Allsop N.W.H. & Ethelston D.M., 1996, *Wave Reflections from Coastal Structures : Development and Application of New Approaches*, Proc. 10th APD IAHR Congress, Langkawi.
- Nur Yuwono, 1994, *Perencanaan Model Hidraulik*, Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi, PAU IT UGM, Yogyakarta.
- OCDI, 1991, *Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan*, Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Japan.
- Silvester, R., 1974, *Coastal Engineering 1 & 2*, Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.
- Triatmodjo, B., 1996, *Pelabuhan*, Cetakan pertama, Beta Offset, Yogyakarta.

Vries, M.D., 1977, *Scale Models in Hydraulics Engineering*, International Institute for Hydraulics and Environmental Eng., Delft, Netherland.