



STUDI KARAKTERISTIK GELOMBANG PADA FLOATING BREAKWATER TIPE TERPANCANG DAN TAMBAT

STUDY ON WAVE CHARACTERISTICS OF FLOATING BREAKWATER FOR PILING AND TETHERED TYPE

Sujantoko¹⁾*, Wisnu Wardhana¹⁾, Eko Budi Djatmiko¹⁾, Haryo Dwito Armono¹⁾, Wahyu Suryo Putro¹⁾, Rizki Haryono A.¹⁾

¹⁾ Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Jl. Arief Rahman Hakim, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

*Correspondent Email: sujantoko@oe.its.ac.id

Diterima: 04 Desember 2020 ;Direvisi: 22 Februari 2021; Disetujui: 16 Maret 2021

ABSTRACT

Floating breakwater (PGT) is designed to be applied as a wave barrier to reduce beach abrasion and wave energy so that waves coming to the beach have their energy reduced. Compared to conventional breakwater structures, PGT structures are more advantageous if the area to be protected from impact waves has a large enough depth. This structure is more flexible because the elevation follows the tides, so this structure can be used as a wharf at the same time. It is also free from the scouring and sedimentation that often occurs on the feet of conventional breakwater structures. This study aims to attenuate and reflect waves from various PGT configurations of piling and mooring types, by testing the physical model of PGT in the wave flume laboratory of the Department of Ocean Engineering ITS, at a water depth of 80 cm, a wave height of 3.5-5.5 cm, a wave period of 0.5-2 seconds, and the angle of the mooring rope (45°, 60°, 90°). PGT is arranged in a variety of longitudinal and transverse directions to the coast. Based on the experiment, it is known that the effect of configuration and width on the PGT structure on wave transmission and reflection is influenced by the mooring angle. Configuration 3 with the largest width can give the best transmission coefficient $K_t = 0.797$ at 45° mooring angle and reflection coefficient $K_r = 0.572$ at 90° mooring angle. In type 3 fixed-configuration gives the greatest value $K_t = 0.431-0.623$ and $K_r = 0.053-0.997$ compared to other configurations. Because in configurations 1 and 2 the back of the structure is not supported by piles, so a swing occurs which generates waves. While the effect of the slope of the wave, K_t will increase as the number of waves slopes decreases, conversely the value of K_t decreases with the increase in the slope of the wave.

Keywords: Floating breakwater, piling, tethered, mooring

ABSTRAK

Pemecah gelombang terapung (PGT) dirancang untuk diaplikasikan sebagai penahan gelombang untuk mengurangi abrasi pantai dan meredam energi gelombang sehingga gelombang yang datang ke pantai berkurang energinya. Dibandingkan dengan pemecah gelombang konvensional, struktur PGT lebih menguntungkan jika daerah yang akan dilindungi dari hantaman gelombang mempunyai kedalaman yang cukup besar. Struktur ini lebih fleksibel karena elevasinya mengikuti gerak pasang-surut, sehingga struktur ini dapat sekaligus digunakan sebagai dermaga. Selain itu PGT juga bebas dari scouring dan sedimentasi yang sering terjadi di kaki struktur pemecah gelombang konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk redaman dan refleksi gelombang dari berbagai konfigurasi PGT tipe pancang dan tambat, dengan melakukan uji model fisik PGT di laboratorium wave flume Departemen Teknik Kelautan ITS, pada kedalaman air 80 cm, tinggi gelombang 3,5 – 5,5 cm, periode gelombang 0,5 - 2 detik, dan sudut tali tambat (45°, 60°, 90°). PGT ini disusun bervariasi ke arah memanjang dan melintang terhadap pantai. Berdasarkan eksperimen diketahui bahwa pengaruh konfigurasi dan lebar pada struktur PGT terhadap transmisi dan refleksi gelombang dipengaruhi oleh sudut mooring. Konfigurasi 3 dengan lebar terbesar mampu memberikan nilai yang terbaik koefisien transmisi $K_t=0.797$ pada sudut mooring 45° dan koefisien refleksi $K_r=0.572$ pada sudut mooring 90°. Pada tipe terpancang konfigurasi 3 memberikan nilai terbesar $K_t=0,431 - 0,623$ dan $K_r=0,053 - 0,997$ dibanding konfigurasi lainnya. Karena pada konfigurasi 1 dan 2 pada bagian belakang struktur tidak ditopang oleh tiang pancang sehingga terjadi ayunan yang membangkitkan gelombang. Sedangkan pengaruh kemiringan gelombang, K_t akan meningkat seiring berkurangnya angka kemiringan gelombang, sebaliknya nilai K_t menurun dengan bertambahnya angka kemiringan gelombang.

Kata Kunci: Pemecah gelombang terapung, terpancang, tertambat, tali tambat

PENDAHULUAN

Permasalahan utama didaerah pantai adalah abrasi pantai. Abrasi ini disebabkan oleh aktivitas gelombang laut yang mengikis daerah pantai. Salah satu metode menanggulangi abrasi pantai adalah penggunaan pemecah gelombang dimana struktur tersebut berfungsi sebagai peredam energi gelombang pada daerah tertentu. Gempuran gelombang yang besar dapat diredam dengan cara mengurangi energi gelombang datang, sehingga gelombang yang menuju pantai energinya menjadi kecil. Untuk itu diperlukan konstruksi pemecah gelombang yang berfungsi untuk memecahkan, merefleksikan dan mentransmisikan energi gelombang. Ada berbagai macam jenis pemecah gelombang yang telah dikenal yakni *rubble mound breakwater*, *caisson breakwater*, *composite breakwater* dan *floating breakwater* (Fousert, 2006).

Pemecah Gelombang Terapung (PGT) atau dikenal dengan *floating breakwater* mempunyai keuntungan dibandingkan dengan jenis bangunan yang lain, yakni struktur tersebut dapat digunakan pada kondisi tanah dasar lembek (McCartney, 1985) dan kedalaman laut lebih dari 10 *feet* (Hales, 1981), PGT menghasilkan interferensi minimal pada sirkulasi air, sedimen transport dan migrasi ikan (Kelly, 1999), efektif meredam gelombang kurang dari 2 meter (Tsinker, 1995), struktur ini juga dapat dipindahkan dan disusun kembali dengan mudah dengan layout yang berbeda ke lokasi lain (Hales, 1981; Murali dan Mani, 1997; Dai et al., 2018), tidak menyebabkan *scouring* (McCartney, 1985). Namun demikian, PGT juga mempunyai kerugian, diantaranya kurang efektif mereduksi gelombang untuk gelombang pendek. Secara praktis batas atas periode gelombang adalah 6 detik dengan frekuensi 1,6 radian/detik; jika *mooring* struktur gagal, akan menyebabkan bencana (Kelly, 1999); dan struktur ini memerlukan biaya perawatan yang tinggi dibandingkan dengan *breakwater* konvensional (Tsinker, 1995).

PGT mereduksi energi gelombang dengan cara menghancurkan gelombang tersebut melalui interaksinya dengan gelombang. Studi mengenai transmisi dan refleksi gelombang telah dilakukan oleh beberapa peneliti, baik dengan model fisik maupun numerik terhadap berbagai macam PGT dengan berbagai karakteristik gelombang, tipe *breakwater* dan bentuk geometris struktur yang ditinjau. Secara garis besar ada empat tipe PGT, yakni: *pontoon*, *tethered float*, *mat* dan *box* (McCartney, 1985).

Penelitian PGT biasanya dititikberatkan pada kinerjanya, yaitu kemampuan struktur meredam gelombang (koefisien transmisi), stabilitas struktur

dan sistem *mooring* dalam berbagai kondisi gelombang, konfigurasi struktur dan kedalaman lokasi (Mangor, 2004). Penelitian yang dilakukan Ofuya (1968) dengan tiga variasi sarat ponton (s/d) menunjukkan bahwa transmisi gelombang melalui ponton sangat dipengaruhi oleh tinggi gelombang datang (H_i), panjang gelombang (L), lebar struktur (B), kedalaman air di depan struktur (d), dan sarat ponton (s). Nilai koefisien transmisi akan mencapai minimum pada $B/L = 0,55$ dan kedalaman relatif (s/d) 0,27. Penelitian Priadi *et al.* (1988) pada PGT tipe ponton menunjukkan bahwa sarat ponton (s) akan memberikan pengaruh yang besar terhadap nilai koefisien transmisi apabila lebih besar dari sepertiga kedalaman air. Dirgayusa dan Yuwono (1997) meneliti transmisi gelombang melalui susunan pipa horisontal dan diketahui bahwa semakin panjang pipa yang digunakan, transmisi gelombang semakin kecil serta semakin kecil diameter pipa yang digunakan maka semakin kecil pula transmisi gelombang yang terjadi.

Prinsip penelitian Dirgayusa dan Yuwono (1997) diteliti lebih lanjut oleh Walukow (2000), pada rangkaian pelat horisontal, dapat diketahui bahwa transmisi gelombang yang terjadi pada PGT rangkaian pelat berkisar antara 29% ($B/L=0,90$) sampai dengan 94% ($B/L=0,15$). Energi yang ditransmisikan oleh PGT jenis ini dipengaruhi oleh parameter gelombang datang (H , L), panjang struktur (B), kedalaman air (d), dan jarak antar pelat (s). Semakin panjang pelat yang digunakan maka semakin kecil energi gelombang yang ditransmisikan. Semakin dangkal perairannya, semakin kecil pula energi gelombang yang ditransmisikan.

Heng (2006) meneliti PGT tipe *stepfloat* dengan spesifikasi panjang 80 cm, lebar 25 cm, tinggi 13 cm dan dipancang dengan sistem *pile* pada kedalaman 20 cm. Heng melaporkan bahwa *breakwater* jenis ini mampu mereduksi gelombang antara 50-70%. Sujantoko *et al.* (2019a) meneliti efek sudut tali tambat dan kedalaman air terhadap tegangannya pada PGT tipe gergaji berpori, didapatkan bahwa semakin besar sudut tali tambat semakin besar tegangan yang dialami oleh tali tambat dan PGT jenis ini memberikan tegangan tali tambat lebih kecil dibandingkan dengan jenis ponton. Perilaku dinamis PGT jenis gergaji berpori juga telah diteliti Sujantoko *et al.* (2019b), dapat diketahui bahwa gerakan *surge*, *pitch* dan *yaw* tidak dipengaruhi oleh gelombang sisi sehingga nilai Respons Amplitude Operators (RAO) sangat kecil hampir mendekati nol. Gerakan PGT hanya berpengaruh terhadap gerakan *sway*, *heave* dan *roll*.

Tingkat efektifitas suatu struktur penahan gelombang dapat ditentukan dari jumlah energi

gelombang yang ditransmisikan melewati struktur tersebut, makin kecil pengurangan energi gelombangnya maka koefisien transmisi gelombang makin besar. Perumusan model hubungan koefisien transmisi gelombang diperoleh dengan menganalisa hasil pengukuran gelombang transmisi dan gelombang datang dengan didasarkan pada variabel pengujian yaitu tinggi dan periode gelombang datang, susunan dan jenis PGT tipe pancang dan tambat.

METODOLOGI

Perancangan dan Skala Model PGT

Perancangan model fisik PGT harus dilakukan sebaik mungkin agar benar-benar bisa mewakili karakteristik prototipe yang sebenarnya. Maka hal yang harus dilakukan dalam perancangan model struktur adalah menentukan skala dimensi antara prototipe dan model fisik dengan berpedoman pada hukum kesamaan geometrik, kesamaan dinamik, dan kesamaan kinematik. Selain itu juga dipertimbangkan skala berat karena akan berpengaruh terhadap daya apung (*bouyancy*). Berdasarkan hal tersebut maka diperoleh skala 1:10 seperti terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Dimensi prototipe dan model PGT

Dimensi	Prototipe	Model
Panjang (m)	1,00	0,10
Lebar (m)	1,00	0,10
Tinggi (m)	1,00	0,10

Tabel 2 Skala parameter prototipe dan model PGT

Parameter	Prototipe	Model
Tinggi gel (m)	0,35 - 0,55	0,035 - 0,055
Periode gel (det)	1,58 - 6,32	0,50 - 2,00
Kedalaman air (m)	8,00	0,80

Model PGT dalam pengujian ini dirancang menggunakan bahan dasar fiberglass. Pemilihan bahan dasar model tersebut berdasarkan pertimbangan kekuatan, proses pembuatan, dan mudah diperoleh. Pencetakan bentuk model dilakukan berdasarkan penskalaan yang telah dibuat dan menyesuaikan dengan dimensi laboratorium.

Model PGT yang sudah didisain, sebelum dilakukan uji lab dilakukan kalibrasi. Kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan distribusi massa yang dibuat dengan distribusi massa yang diinginkan. Parameter untuk menentukan distribusi massa adalah dengan melihat letak pusat massa (*centre of gravity*, CG) dan jari-jari girasi struktur. Selain itu daya apung (*bouyancy*) juga ditinjau untuk melihat massa total dari model. Model akan dinyatakan valid apabila model sudah terkalibrasi

dan memiliki dimensi yang sama dengan struktur terskala. Pada model kali ini digunakan nilai toleransi sebesar 5 persen dari nilai yang ditargetkan.

Konfigurasi PGT

Perilaku transmisi gelombang dan refleksi gelombang dipengaruhi oleh susunan PGT terhadap arah gelombang. Oleh sebab itu dalam studi ini susunannya dibuat bervariasi dengan tujuan agar dapat diketahui sejauh mana pengaruh susunan PGT terhadap efisiensi transmisi dan refleksi gelombang. Pada studi ini susunan penempatan PGT direncanakan, seperti yang tampak pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Wave Flume

Peralatan yang dipakai dalam penelitian ini adalah *Wave Flume* (kolam uji gelombang) dengan panjang 20 m, lebar 2m dan tinggi 2m, dilengkapi dengan pembangkit gelombang tipe *plunger*. Gelombang yang dibangkitkan dapat berupa gelombang *reguler* maupun *irreguler*. Tinggi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 0,3 m dengan periode gelombang berkisar 0,5 - 3,0 detik untuk gelombang *reguler*. Gelombang *irreguler* spektrum yang mampu dibangkitkan adalah Jonswap, Pierson-Moskowitz, ISSC, dan ITTC dengan tinggi dan periode gelombang maksimum adalah 0,15 m dan 2 detik.

Wave probes

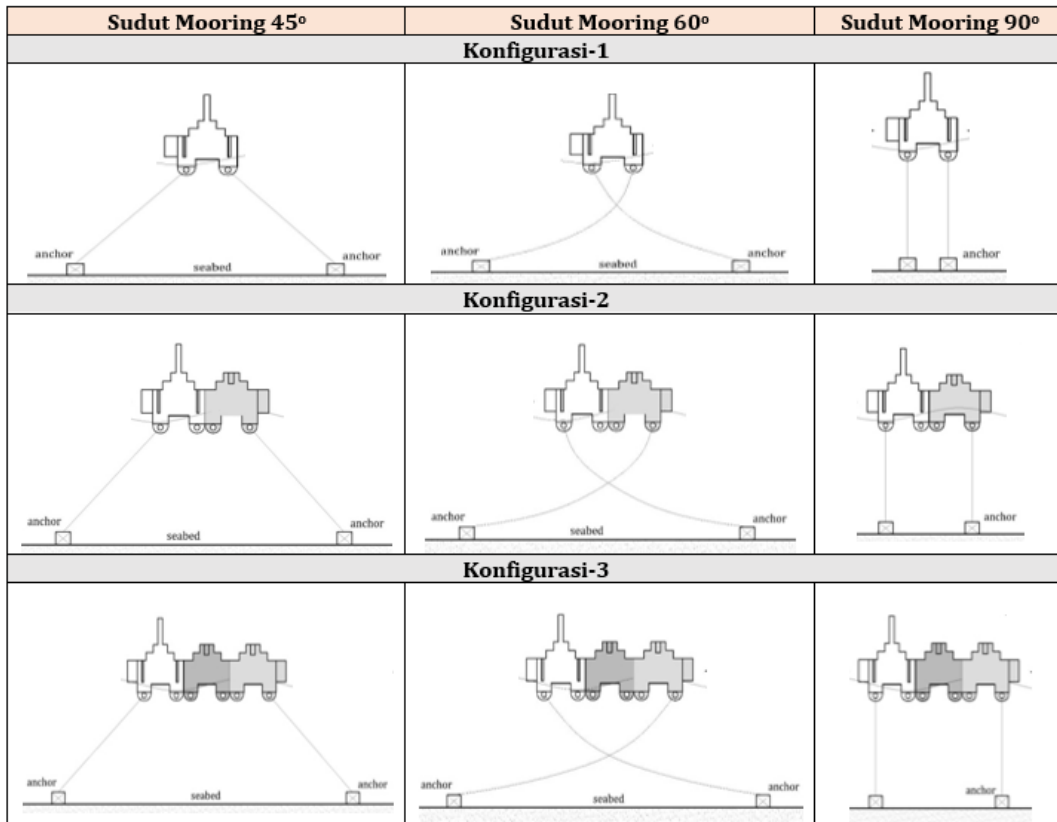
Wave probes merupakan alat pengukur tinggi gelombang, jika alat tersebut tercelup ke dalam air maka elektroda tersebut akan mengukur konduktivitas volume air. Konduktivitas tersebut berubah secara proporsional sesuai dengan variasi perubahan elevasi muka air. Jumlah *wave probes* yang digunakan pada penelitian ini dipasang 4 buah (Gambar 3). *Wave probe* yang digunakan pada eksperimen ini tipe *Water Tide Meter WTM-902*, berbahan *Stainless Steel 304* dan *PTFE String AWG 30*. Kapasitas sensor maksimum 800mm, resolusi 1mm dan kemampuan merekam 60 data/detik.

Kalibrasi Peralatan

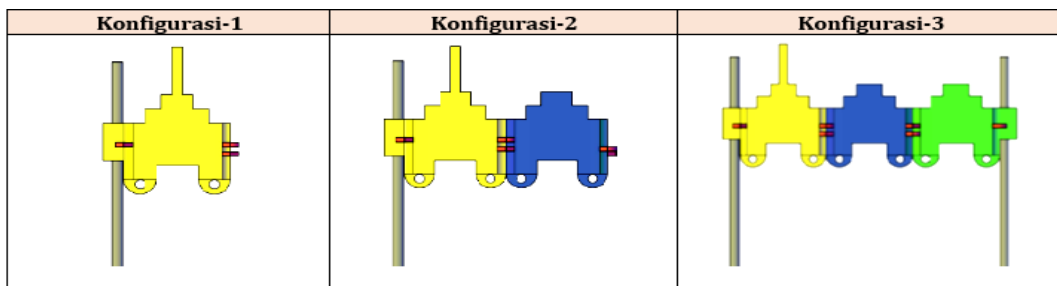
Guna memperoleh pemodelan fisik yang sesuai dengan kondisi prototipenya, maka perlu dilakukan kalibrasi untuk mengurangi kesalahan saat pengujian model. Karena fungsi dari *wave probe* sangat mempengaruhi hasil dari pengujian ini, maka proses kalibrasi terhadap *wave probe* harus dilakukan. Proses kalibrasi dilakukan dengan cara mencatat posisi *zero point* dari *wave probe* dan kemudian merekam kalibrasinya dengan menaikkan dan menurunkan *wave probe* sejauh 15 cm dari posisi *zero point*. Setelah proses pencatatan kalibrasi selesai, maka *wave probe* harus

dikembalikan pada posisi awal. Kalibrasi ini dilakukan untuk mencari hubungan antara perubahan elektrode yang tercelup dalam air

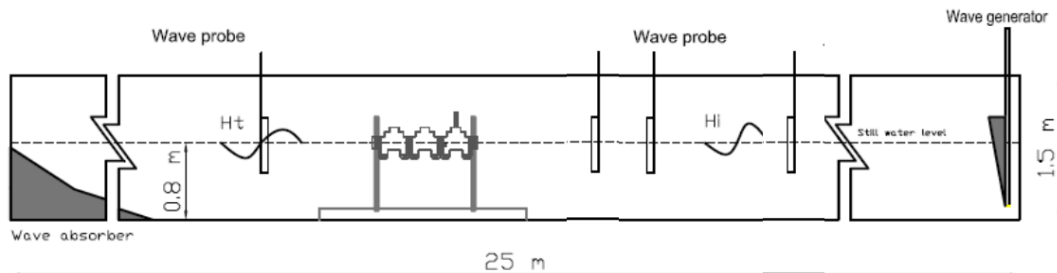
dengan perubahan voltase yang tercatat dalam recorder.



Gambar 1 Konfigurasi uji model PGT tipe Tambat



Gambar 2 Konfigurasi uji model PGT tipe Pancang



Gambar 3 Posisi penempatan model PGT dan wave probes pada wave flume

Pengujian Model

Pengujian model fisik dilakukan untuk mendapatkan transmisi dan refleksi gelombang pada PGT tipe pancang dan tambat. Pengujian dilakukan pada gelombang *reguler*, rentang tinggi gelombang ditentukan antara 10 - 20 cm, serta rentang periode antara 0,5 - 3,0 detik. Pencatatan data memerlukan waktu sesuai dengan periode gelombang, apabila mengacu pada kriteria minimum 10 gelombang (Neelamani, 2002) atau 25 gelombang sesuai kaidah statistik, maka pengambilan data memerlukan waktu paling sedikit 30 detik sampai 1 menit. Pada penelitian ini pengujian dilakukan selama 2 menit pada setiap skenario model. Dalam uji transmisi dan refleksi, dilakukan penghitungan koefisien transmisi K_t , yaitu rasio tinggi gelombang transmisi (H_t) terhadap gelombang datang (H_i) dan koefisien refleksi K_r .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transmisi dan Refleksi Gelombang pada PGT Tipe Tambat

Penentuan koefisien transmisi hasil eksperimen dilakukan dengan program WAVAN (*Wave Analysis*) versi 1.1 (Kamphuis, 2000) dan koefisien refleksi gelombang, ditentukan berdasarkan energi gelombang datang dan refleksi yang terjadi dengan menggunakan metode Goda dan Suzuki (1976) dengan cara memisahkan gelombang datang dan gelombang refleksi. Hasil perhitungan koefisien transmisi dan refleksi pada PGT tipe tambat untuk konfigurasi 1-3 pada berbagai sudut *mooring* (45° , 60° dan 90°) ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut ada hubungan nilai koefisien transmisi K_t dan koefisien refleksi K_r terhadap perubahan parameter uji, yakni lebar model dan sudut *mooring*. Secara umum pengaruh dari parameter model hampir konstan ditinjau dari lebar model. Ditinjau dari sistem *mooring* dapat ditunjukkan bahwa pada kedalaman konstan untuk lebar model yang berbeda, sudut *mooring* 45° cenderung memiliki nilai rata-rata K_t terkecil, yakni 0,797, 0,759 dan 0,704 pada PGT konfigurasi 1, 2 dan 3 secara berturut-turut. Sedangkan pada K_r untuk sudut *mooring* 90° memiliki nilai rata-rata tertinggi, yakni 0,450, 0,404 dan 0,547 pada konfigurasi 1, 2 dan 3. Efek ini disebabkan PGT dipasang tegak lurus terhadap arah datang gelombang sehingga dapat memberikan peredaman gelombang yang optimal.

Berdasarkan hal tersebut dapat dijelaskan bahwa konstruksi PGT jika diaplikasikan di lapangan dengan sudut *mooring* 45° akan memberikan redaman gelombang yang lebih baik (K_t kecil) namun jika nilai K_r diamati pada semua

konfigurasi pada sudut *mooring* 45° tersebut akan memberikan efek refleksi gelombang yang sedikit lebih baik dari sudut *mooring* 60° . Dalam hal ini yang harus diperhatikan adalah lokasi pemasangan PGT. Jika yang dilindungi terhadap hantaman gelombang adalah daerah pelabuhan, maka efek refleksi dan transmisi gelombang harus menjadi prioritas, karena efek refleksi gelombang akan mempengaruhi gerak kapal. Jika waktu terjadinya gelombang pantul bersamaan dengan periode natural gelombang, maka akan terjadi resonansi gelombang yang dapat mengakibatkan stabilitas kapal terganggu. Jika PGT digunakan untuk mengurangi erosi atau abrasi pantai, maka efek refleksi dan transmisi harus seoptimal mungkin, sehingga dampak efek refleksi gelombang tidak menjadi perhatian utama. Semakin besar refleksi dan semakin kecil transmisi gelombang, maka PGT akan memberikan perlindungan pantai yang optimal.

Selain pengaruh konfigurasi PGT dan sudut *mooring* terhadap koefisien transmisi K_t dan koefisien refleksi K_r , pengaruh kemiringan H/gT^2 dan lebar model PGT terhadap panjang gelombang secara khusus juga dianalisa. Hubungan antar parameter tersebut ditunjukkan pada Gambar 4 s.d. Gambar 7.

Pengaruh kemiringan gelombang terhadap koefisien transmisi dapat dilihat pada Gambar 4 s.d. 9. Kemiringan gelombang pada sudut *mooring* 45° , 60° dan 90° pada konfigurasi 1 memberikan nilai koefisien transmisi yang terkecil, yang diikuti oleh konfigurasi 2 dan 3 secara berturut-turut (Gambar 4 s.d. Gambar 6). Jika diamati tiap sudut *mooring* (Gambar 7 s.d. Gambar 9) pengaruh sudut *mooring* akan nampak jelas pengaruhnya pada tiap konfigurasi PGT. Pada sudut *mooring* 45° misalnya, konfigurasi 2 dan 3 memberikan nilai transmisi yang lebih baik daripada konfigurasi 1. Hal ini disebabkan faktor lebar model PGT, semakin besar lebar model terhadap arah datang gelombang maka gelombang yang dapat diredam akan semakin besar, artinya transmisi gelombangnya semakin kecil. Selain itu stabilitas struktur dalam menahan gelombang pada sudut *mooring* 45° lebih baik daripada sudut *mooring* yang lain.

Berdasarkan fenomena ini dapat diketahui bahwa kemiringan gelombang berpengaruh terhadap transmisi gelombang. Semakin tinggi kemiringan gelombang maka akan semakin rendah koefisien transmisi gelombangnya. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Ofuya, 1968; McCartney, 1985; Murali & Mani, 1997).

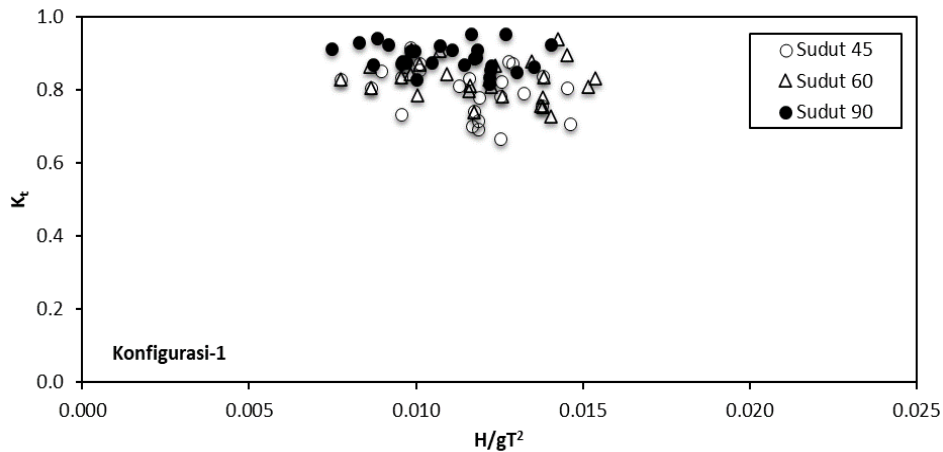
Selanjutnya pada Gambar 10 s.d. Gambar 15 ditunjukkan hubungan kemiringan gelombang terhadap koefisien refleksi gelombang. Pada

konfigurasi 1, 2 dan 3 pada berbagai sudut mooring diketahui bahwa pada sudut 90o memberikan refleksi gelombang yang terbaik diikuti sudut mooring 45o dan 60o seperti juga telah ditunjukkan pada Tabel 3. Sedangkan pengaruh sudut mooring ini semakin jelas ketika diamati pengaruhnya tiap sudut mooring terhadap semua konfigurasi PGT (Gambar 13 s.d. Gambar 15). Pada sudut mooring

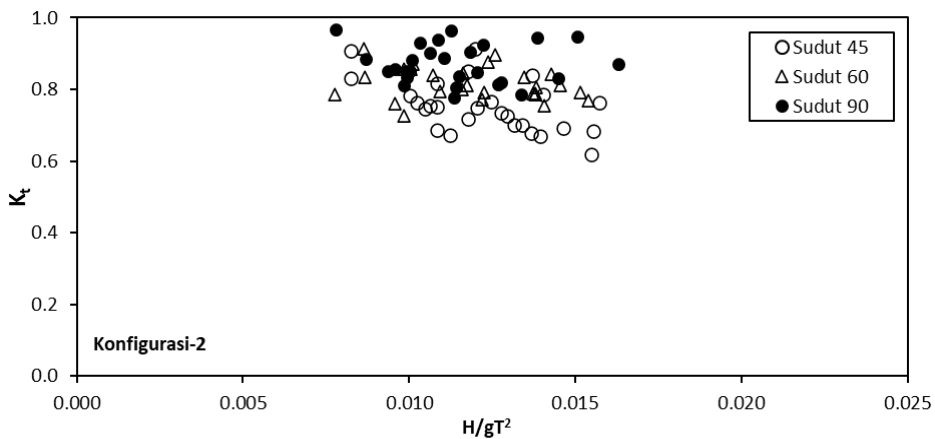
45o misalnya, konfigurasi 3, 2 dan 1 memberikan refleksi gelombang yang terbaik secara berturut-turut. Artinya gelombang secara optimal akan dipantulkan oleh konfigurasi 3 tersebut. Hal ini disebabkan lebar model PGT cukup besar terhadap gelombang datang dibandingkan konfigurasi lainnya.

Tabel 3 Koefisien transmisi dan refleksi gelombang PGT tipe tambat

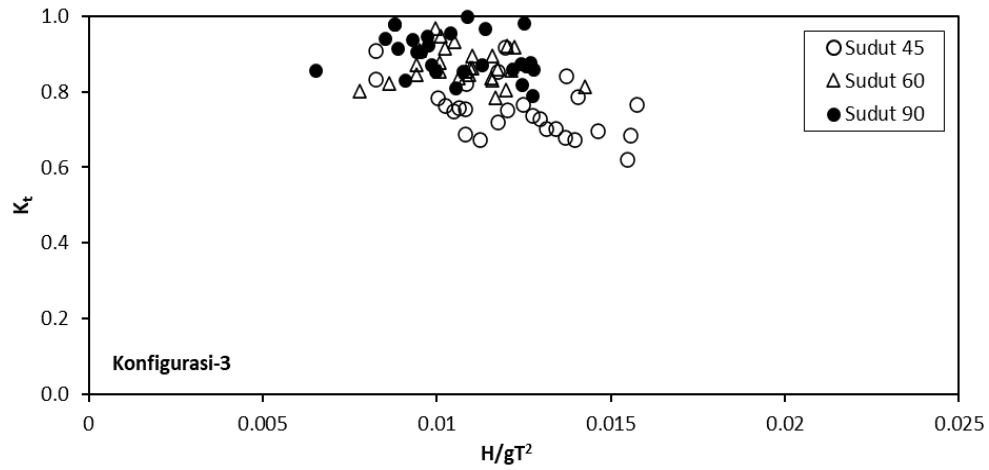
Model PGT	Sudut Mooring	K _t (koefisien Transmisi)			K _r (koefisien Refleksi)		
	θ°	min	max	avg	min	max	avg
Konfigurasi 1 B=10cm	45	0.665	0.914	0.797	0.163	0.275	0.206
	60	0.728	0.940	0.827	0.131	0.199	0.157
	90	0.817	0.954	0.890	0.148	0.263	0.450
Konfigurasi 2 B=20cm	45	0.650	0.934	0.759	0.237	0.592	0.426
	60	0.784	0.968	0.867	0.226	0.533	0.373
	90	0.789	0.998	0.898	0.228	0.572	0.404
Konfigurasi 3 B=30cm	45	0.593	0.807	0.704	0.400	0.741	0.572
	60	0.726	0.913	0.815	0.333	0.706	0.518
	90	0.746	0.928	0.831	0.388	0.725	0.547



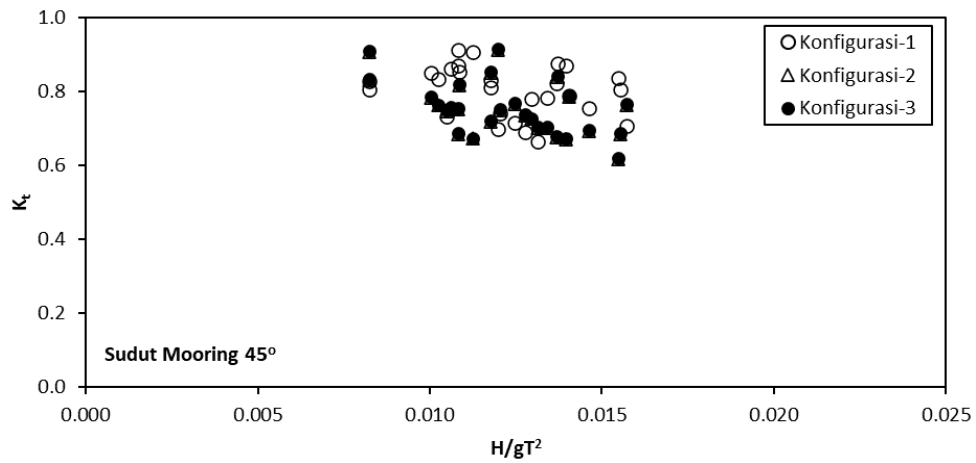
Gambar 4 Koefisien transmisi K_t pada berbagai sudut mooring PGT tipe tambat: konfigurasi-1



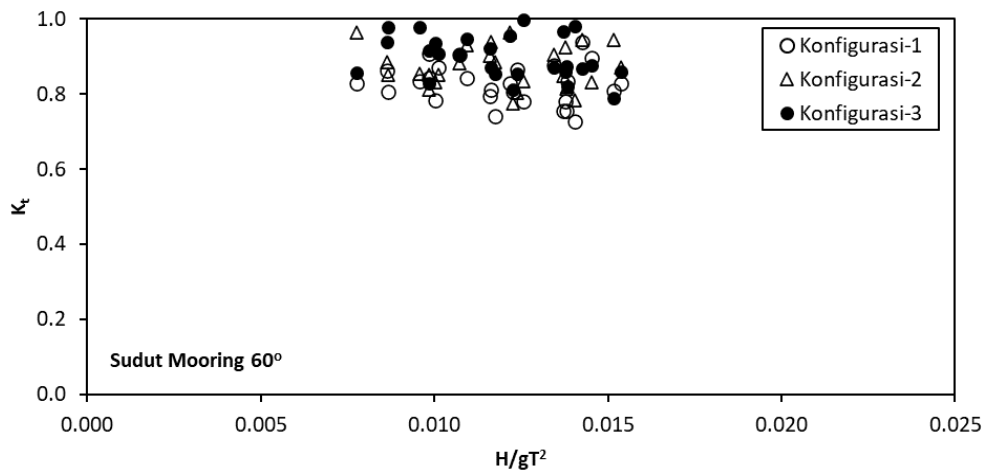
Gambar 5 Koefisien transmisi K_t pada berbagai sudut mooring PGT tipe tambat: konfigurasi-2



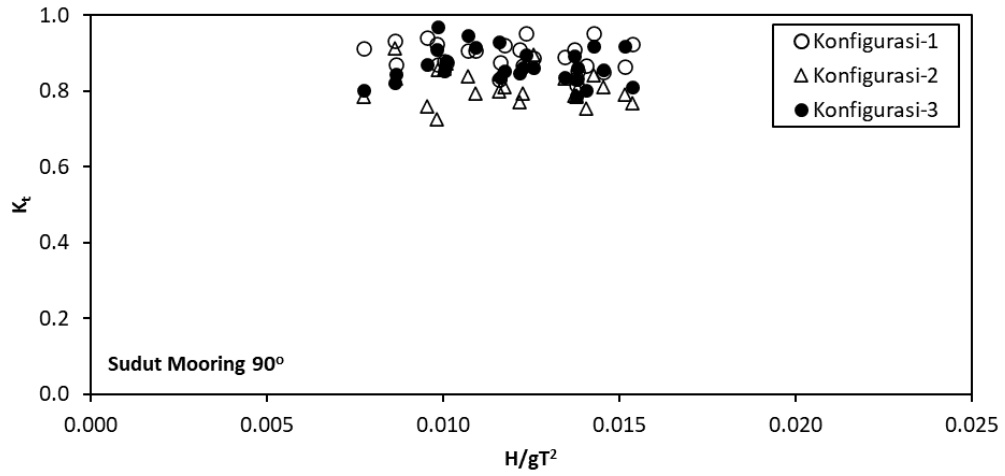
Gambar 6 Koefisien transmisi K_t pada berbagai sudut *mooring* PGT tipe tambat: konfigurasi-3



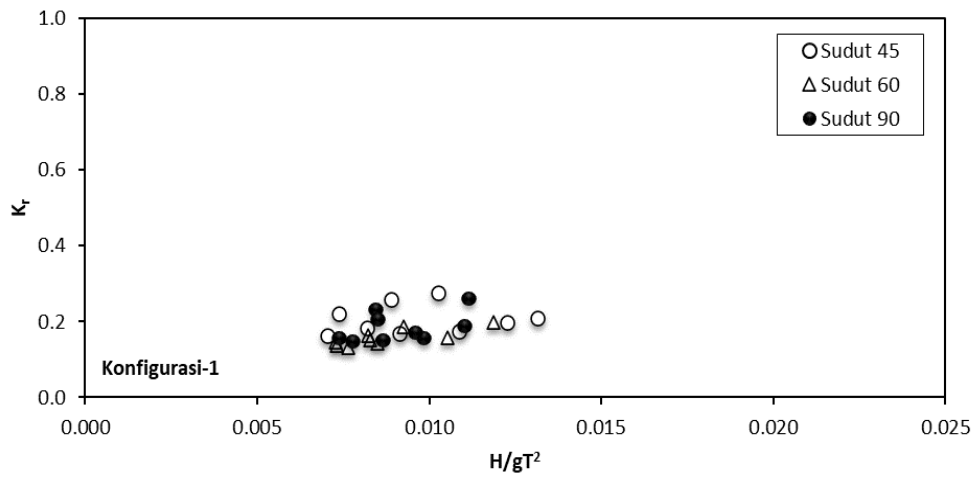
Gambar 7 Koefisien transmisi K_t pada berbagai konfigurasi PGT tipe tambat : sudut *mooring* 45°



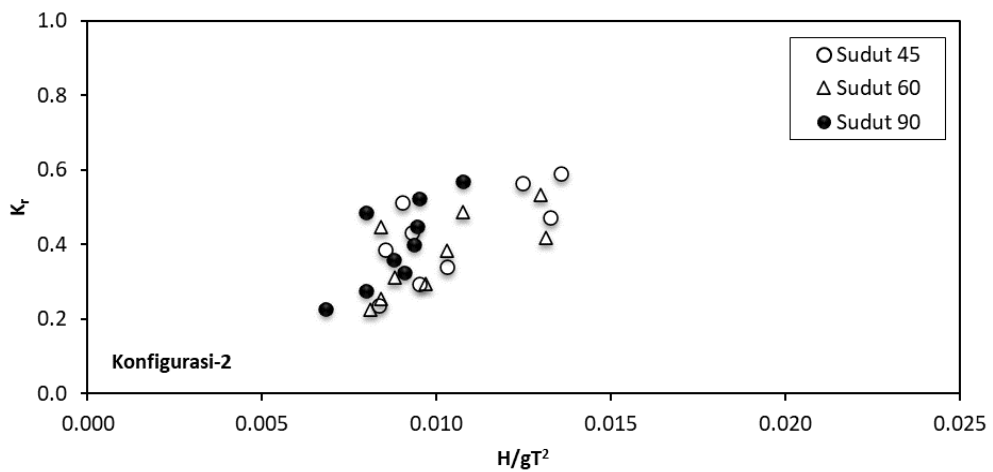
Gambar 8 Koefisien transmisi K_t pada berbagai konfigurasi PGT tipe tambat: sudut *mooring* 60°



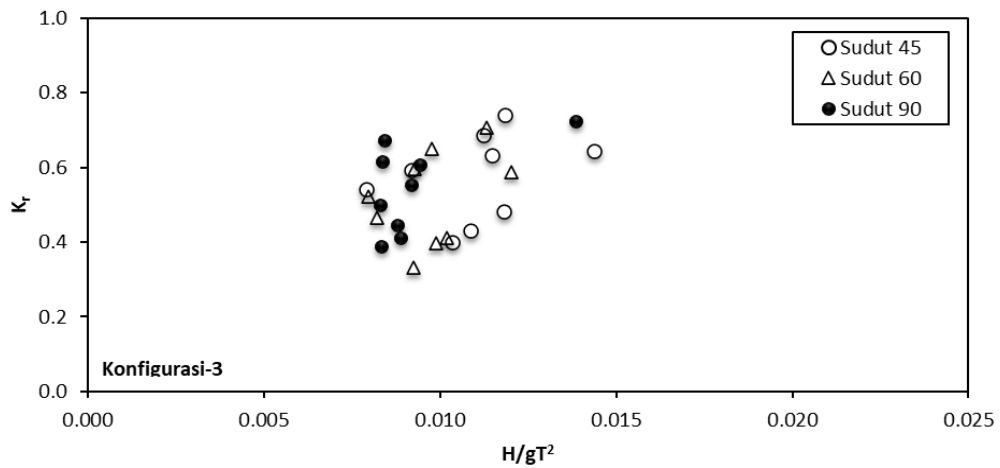
Gambar 9 Koefisien transmisi K_t pada berbagai konfigurasi PGT tipe tambat: sudut *mooring* 90°



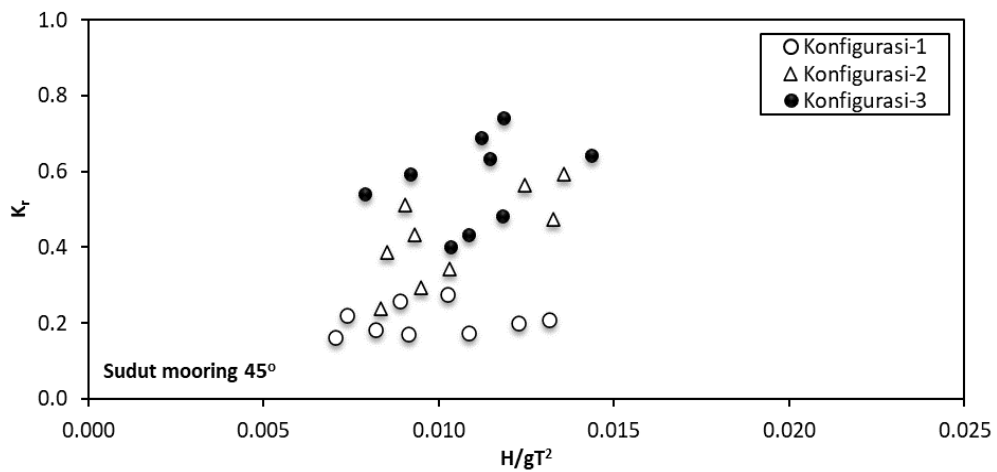
Gambar 10 Koefisien refleksi K_r pada berbagai sudut *mooring* pada PGT tipe tambat: konfigurasi-1



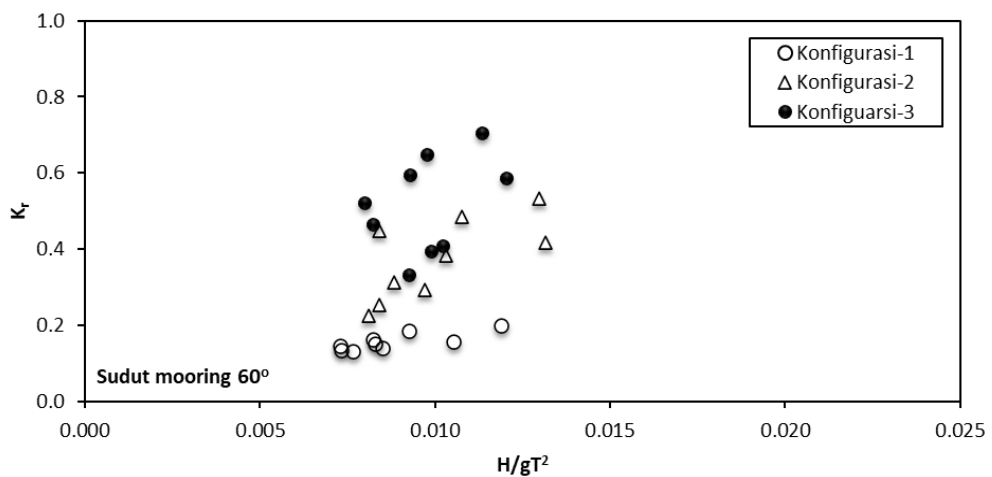
Gambar 11 Koefisien refleksi K_r pada berbagai sudut *mooring* pada PGT tipe tambat: konfigurasi-2



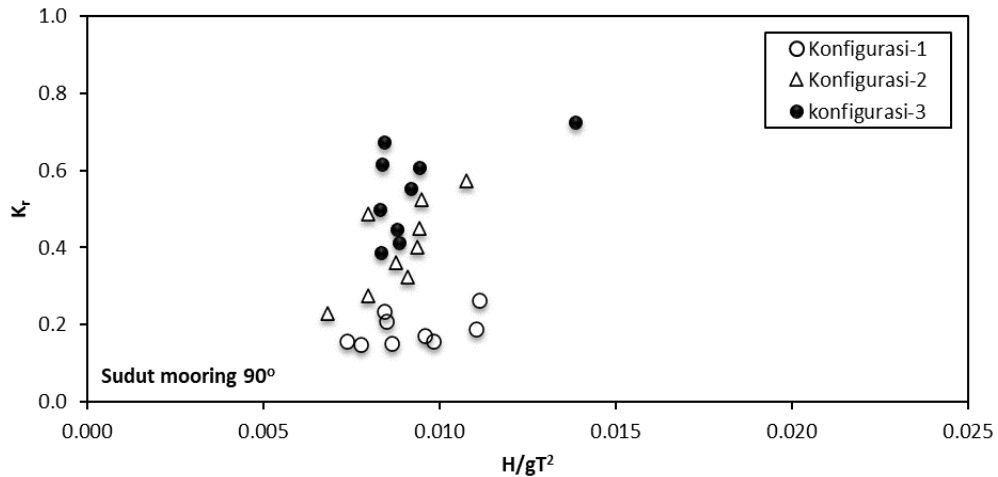
Gambar 12 Koefisien refleksi K_r pada berbagai sudut *mooring* pada PGT tipe tambat: konfigurasi-3



Gambar 13 Koefisien refleksi K_r pada berbagai konfigurasi PGT tipe tambat: sudut *mooring* 45°



Gambar 14 Koefisien refleksi K_r pada berbagai konfigurasi PGT tipe tambat: sudut *mooring* 60°



Gambar 15 Koefisien refleksi K_r pada berbagai konfigurasi PGT tipe tambat: sudut *mooring* 90°

Transmisi dan Refleksi Gelombang PGT Tipe Pancang

Pengaruh kemiringan gelombang (H/gT^2) terhadap koefisien transmisi (K_t) dan koefisien refleksi (K_r) dari berbagai konfigurasi PGT tipe pancang dapat ditentukan dari parameter tinggi gelombang datang signifikan (H) dan periode gelombang (T). Hubungan parameter-parameter ini ditunjukkan pada Gambar 16 s.d. Gambar 19.

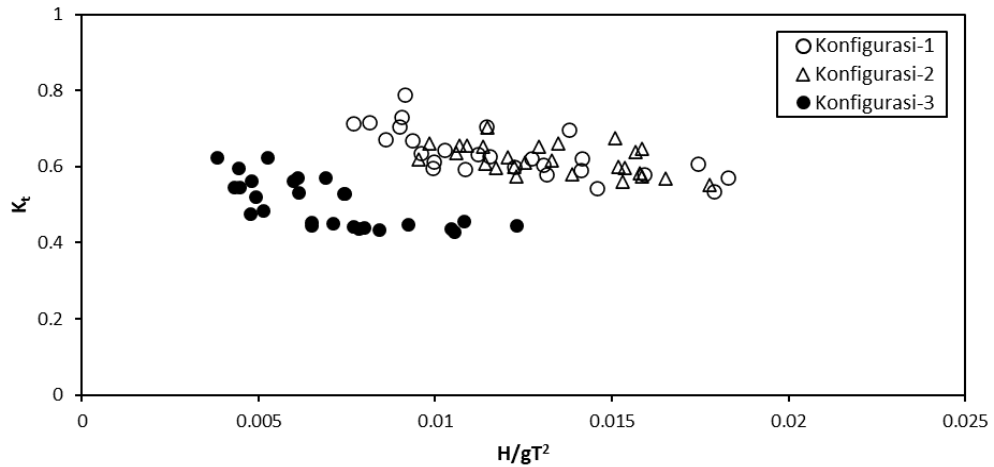
Pada berbagai konfigurasi PGT tipe pancang dapat dilihat bahwa konfigurasi 3 memberikan redaman gelombang yang lebih baik dari konfigurasi yang lainya (Gambar 16). Transmisi gelombang yang terendah didapatkan pada nilai kemiringan gelombang yang tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa kemiringan gelombang yang kecil cenderung diteruskan dan membentuk gelombang transmisi yang besar. Hasil tersebut sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya, yang menunjukkan hubungan antara koefisien transmisi dengan kemiringan gelombang. Perilaku ini menunjukkan bahwa nilai koefisien transmisi meningkat dengan berkurangnya angka kemiringan gelombang, sebaliknya nilai koefisien transmisi menurun dengan bertambahnya angka kemiringan gelombang. Pada Gambar 16 diketahui bahwa redaman gelombang yang paling besar terjadi pada konfigurasi 3, yakni PGT dengan susunan 3 deret, dengan koefisien transmisi 0,43 – 0,62. Sedangkan konfigurasi 1 nilai K_t adalah 0,54 – 0,79 dan konfigurasi 2 K_t adalah 0,53 – 0,71.

Secara teori jika struktur PGT bertambah lebar maka nilai K_t akan cenderung turun karena jarak tempuh gelombang yang lebih panjang sehingga

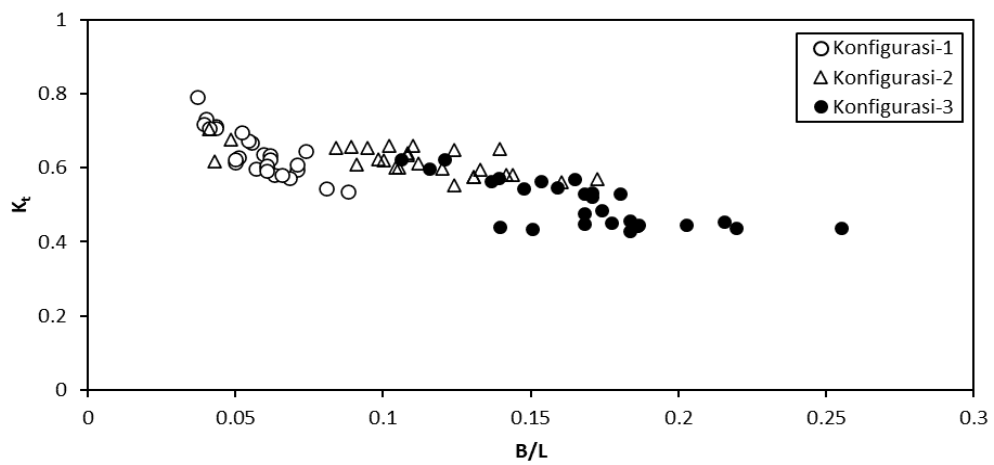
reduksi gelombang yang dihasilkan semakin besar pula. Namun demikian kondisi ini tidak terjadi pada konfigurasi 2, karena saat gelombang mengenai struktur PGT bagian depan gelombang akan teredam. Proses ini berlangsung hingga setengah lebar struktur PGT, gelombang akan terbangkitkan kembali. Hal ini karena tidak adanya *pile* yang menahan struktur bagian belakang sehingga terjadi ayunan yang terjadi berfungsi sebagai pembangkit gelombang.

Berdasarkan Gambar 17 dapat diketahui pengaruh lebar struktur relatif terhadap koefisien transmisi adalah berbanding terbalik. Artinya semakin lebar struktur maka koefisien transmisi akan semakin kecil pula. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Heng (2006).

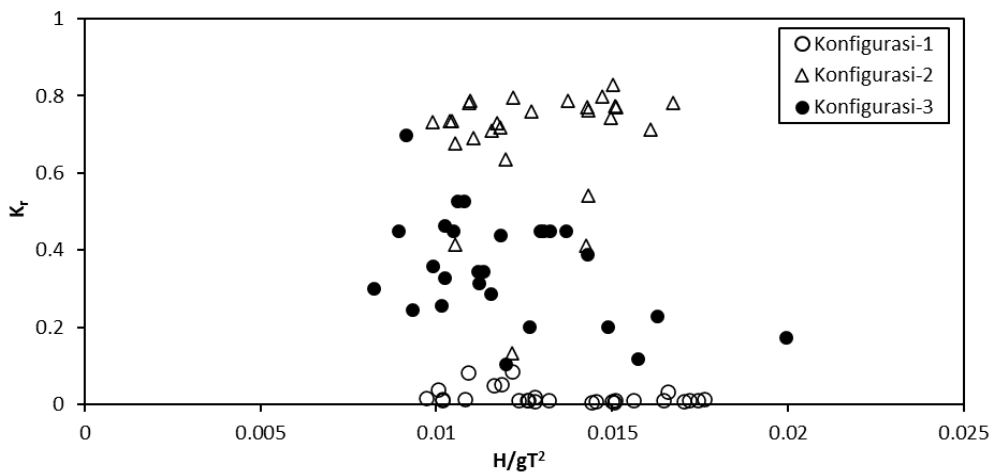
Pengaruh kemiringan gelombang terhadap koefisien refleksi pada lebar struktur model PGT tipe pancang dapat dilihat pada Gambar 18 dan Gambar 19 dibawah. Secara umum dapat dikatakan bahwa gelombang akan dipantulkan kembali dengan baik, jika struktur cukup stabil ketika gelombang menerpanya. Berdasarkan eksperimen dapat ditunjukkan bahwa semakin lebar susunan model PGT gelombang yang akan dipantulkan semakin besar. Konfigurasi 3 memberikan efek refleksi gelombang yakni 0,053 – 0,99 cukup besar dibandingkan dengan konfigurasi lainya. Karena pada konfigurasi 1 dan 2 pada bagian belakang struktur tidak ditopang oleh tiang pancang sehingga tidak mampu menahan hempasan gelombang yang datang.



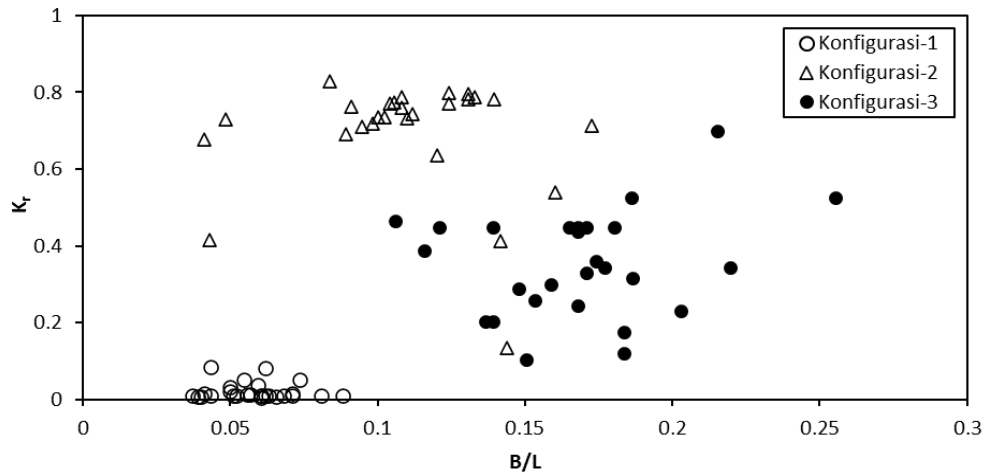
Gambar 16 Koefisien transmisi K_t sebagai fungsi kemiringan gelombang pada PGT tipe pancang



Gambar 17 Koefisien transmisi K_t terhadap Lebar model pada berbagai konfigurasi PGT tipe pancang



Gambar 18 Koefisien refleksi K_r sebagai fungsi kemiringan gelombang pada PGT tipe pancang



Gambar 19 Koefisien refleksi K_r terhadap Lebar model pada berbagai konfigurasi PGT tipe pancang

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang struktur PGT tipe tambat dan pancang yang diuji transmisi dan refleksi gelombangnya dengan eksperimen. Berdasarkan hasil eksperimen dapat disimpulkan bahwa pengaruh konfigurasi dan lebar struktur PGT tipe tambat terhadap transmisi dan refleksi gelombang dipengaruhi oleh sudut *mooring*. Pada konfigurasi 3 dengan lebar struktur terbesar (30 cm) mampu memberikan koefisien transmisi 0,79 pada sudut *mooring* 45° dan koefisien refleksi 0,57 pada sudut *mooring* 90°. Nilai ini cukup baik dibandingkan dengan konfigurasi 1 dan 2.

Konfigurasi 3 PGT tipe pancang memberikan koefisien transmisi $K_t = 0,43 - 0,62$. Sedangkan konfigurasi 1 dengan nilai $K_t = 0,54 - 0,79$ dan $K_t = 0,53 - 0,70$ pada konfigurasi 2. Sedangkan refleksi gelombang $K_r = 0,053 - 0,99$ pada konfigurasi 3 adalah cukup besar dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Karena pada konfigurasi 1 dan 2 tidak adanya tiang pancang yang menahan struktur bagian belakang sehingga terjadi ayunan yang membangkitkan gelombang.

Pengaruh kemiringan gelombang pada PGT tipe tambat dan pancang, nilai koefisien transmisi meningkat dengan berkurangnya angka kemiringan gelombang, sebaliknya nilai koefisien transmisi menurun dengan bertambahnya angka kemiringan gelombang.

Secara umum hasil rancangan PGT ini mempunyai keunggulan karena pada sisi bagian depan dibuat berundak, sehingga mampu memecah gelombang datang dan dapat menurunkan energi gelombang datang. Namun demikian struktur ini dalam aplikasi di lapangan perlu perencanaan yang baik, karena stabilitas dan daya apung sangat mempengaruhi kinerjanya.

Sebagai penyempurnaan penelitian ini perlu dilanjutkan untuk melengkapi evaluasi kinerja PGT, antara lain pengaruh kedalaman air, variasi tinggi dan periode gelombang datang serta spektrum gelombang.

DAFTAR PUSTAKA

Briggs M.J., Ye, W., Demirbilek, Z., & Zang, J. (2002) Field and numerical comparisons of the RIBS floating breakwater. *Journal of Hydraulic Research*, 2002, 40(3), 289-301.

Dai, J., Wang, C. M., Utsunomiya, T., & Duan, W. (2018). Review of recent research and developments on floating breakwaters. *Ocean Engineering*, 158, 132-151. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.03.083>

Dirgayusa, I. G. N. P. & Yowono, N. (1997). Transmisi gelombang melalui pemecah gelombang susunan pipa horizontal. *Media Teknik*, 19(3), 37-44.

Fousert, M.W. (2006). *Floating Breakwater: A Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenuating System* (Master Thesis). Delft University of Technology, Delft, Netherland.

Goda, Y. & Suzuki, T. (1976). Estimation of Incident and Reflected Waves in Random Wave Experiments. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(15), 828-845.

Hales, L.Z. (1981). *Floating Breakwater: State of the art Literature Review (Technical Report No. 81-1)*. Vickburg: Missisipi: U.S. Army Coastal Engineering Research Center.

- Heng, L. C. (2006). *System Performance of A Composite Stepped-Slope Floating Breakwater* (Thesis). Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia.
- Kamphuis, J. W. (2000). *Introduction to Coastal Engineering and Management* (Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 16). World Scientific Singapore.
- Kelly, H. (1999). *Discussion about Floating Breakwaters*, Naval Facilities Engineering Command, Norfolk, Virginia.
- McCartney, B.L. (1985). Floating breakwater design. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 111 (2), 304-318.
- Mangor, K. (2004). *Shoreline Management Guidelines*. DHI Water & Environment.
- Murali, K. & Mani, J.S. (1997). Performance of cage floating breakwater. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 123 (4), 172-179. DOI:10.1061/(ASCE)0733-950X(1997)123:4(172)
- Neelamani, S. & Rajendran, R. (2002). Wave interaction with t-type breakwaters. *Ocean Engineering* 29 (2), 151-175. [https://doi.org/10.1016/S0029-8018\(00\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(00)00060-3)
- Ofuya, A.O. (1968). *On Floating Breakwaters* (Research Report No. CE-60). Kingston: Queen's University.
- Priadi, T.H. (1988). Parameterisasi sistem peredaman energi gelombang dengan pemecah gelombang apung. Makalah dalam *Seminar Hidraulika dan Hidrologi Wilayah Pantai, PAU Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*.
- Sujantoko, Djatmiko, E.B., Wardhana, W., Armono, H.D., Sholihin, & Ali, M.F. (2019a). Experimental Study on the Effect of Mooring Angle on Mooring Tension of Porous Saw Type Floating Breakwater. The 7th *International Seminars on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management*, 94-99.
- Sujantoko, Djatmiko, E.B., Wardhana, W., Armono, H.D., & Wahyudi. (2019b). Dynamic Behavior Analysis of Porous Saw Floating Breakwater Under Regular Waves. The 7th *International Seminars on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management*, 236-240.
- Tsinker, G. (1995). *Marine Structures Engineering: Specialized Applications*. New York: An International Thomson Publishing Company.
- Walukow, J.O.V. (2000). *Kajian Transmisi Gelombang Melalui Rangkaian Plat Horizontal Sebagai Pemecah Gelombang Apung* (Tesis). Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

