



## APLIKASI SUSUNAN PEMECAH GELOMBANG TIANG PANCANG BERCELAH DALAM MENENTUKAN TRANSMISI GELOMBANG

### *DETERMINING WAVE TRANSMISSION BASED ON SPACED PILE BREAKWATER STRUCTURE*

Ida Ayu Irawati Diah Ratna Putra<sup>1)</sup>\* Juventus Welly R Ginting<sup>1)</sup> Eduardo Meyrianso  
Simanjuntak<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Balai Penelitian dan Pengembangan Pantai,  
Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan  
Rakyat

Jl. Gilimanuk-Singaraja KM 122, Ds. Musi, Kec. Gerokgak, Buleleng – Bali

\*Corresponden author: [diahratnaputra@gmail.com](mailto:diahratnaputra@gmail.com)

Diterima: 22 April 2019; Direvisi: 1 Oktober 2019; Disetujui: 23 Desember 2019

#### ABSTRACT

*Pile breakwater is an effective type of breakwater to reduce wave energy. To find out the effectiveness of the structure of the pile breakwater can be carried out physical modeling experiments in the laboratory. The structure is tested based on the variation of gap between piles (rows)/Diameter ( $b/D$ ), distance between piles (columns) / Diameter ( $B/D$ ), arrangement of laying piles ( $N$ ), and gap width between pile groups stake ( $G$ ). Besides structure, period ( $T$ ) and wave height ( $H$ ) are also varied. This physical model test is carried out in a flume with regular wave at a depth of 60 cm. From the results of physical modeling it can be seen the value of the transmission coefficient ( $K_t$ ) which is determined based on variations in the gap structure between the piles (rows) /Diameter ( $b/D$ ), the arrangement of laying piles ( $N$ ), and the width of the gap between the pile groups ( $G$ ) which is used as a reference to determine the effectiveness of the pile breakwater structure. Physical modelling of the pile is the optimum value of the transmission coefficient ( $K_t$ ) to reduce the waveform shown in the variation of the structure of the distance between the pile rows ( $b/D$ ) 0.5, 58.1 cm Gap, and configuration of the pile structure N2 (three rows pile breakwater).*

**Key Word:** Breakwater, Pile Breakwater Structure, Transmission Coefficient ( $K_t$ )

#### ABSTRAK

*Struktur tiang pancang merupakan salah satu tipe pemecah gelombang yang efektif untuk meredam energi gelombang. Untuk mengetahui efektifitas struktur tiang pancang dapat dilakukan percobaan permodelan fisik di laboratorium. Struktur tersebut diujikan berdasarkan variasi jarak celah antar tiang pancang (baris)/Diameter ( $b/D$ ), jarak antar tiang pancang (kolom)/Diameter ( $B/D$ ), susunan peletakan tiang pancang ( $N$ ), dan lebar celah antara group tiang pancang ( $G$ ). Selain struktur, periode ( $T$ ) dan tinggi gelombang ( $H$ ) juga divariasikan. Uji model fisik ini dilakukan pada kolam saluran gelombang (wave flume) dengan bangkitan gelombang regular pada kedalaman 60 cm. Dari hasil pemodelan fisik tersebut dapat diketahui nilai dari koefisien transmisi ( $K_t$ ) yang ditentukan berdasarkan variasi struktur jarak celah antar tiang pancang (baris)/Diameter ( $b/D$ ), susunan peletakan tiang pancang ( $N$ ), dan lebar celah antara group tiang pancang ( $G$ ) yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan efektif atau tidaknya struktur pemecah gelombang tiang pancang. Uji model fisik tiang pancang ini nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) yang optimum untuk meredam gelombang di tunjukan pada variasi struktur jarak antar baris tiang pancang ( $b/D$ ) 0,5, Gap 58,1 cm, dan konfigurasi pemancangan struktur tiang pancang N2 (tiga baris pemancangan tiang).*

**Kata Kunci:** Struktur Pemecah Gelombang, Tiang Pancang, Koefisien Transmisi ( $K_t$ )

## PENDAHULUAN

Pantai adalah wilayah yang harus dilindungi keindahan alamnya. Pantai juga merupakan bagian dari lingkungan kawasan pesisir yang dinamis dan selalu berubah. Proses perubahan yang terjadi di pantai merupakan akibat kombinasi berbagai gaya yang bekerja di pantai meliputi angin, gelombang, dll (Triatmodjo, 1999). Permasalahan pantai yang sering terjadi adalah abrasi dan erosi, yang mungkin disebabkan oleh perubahan kondisi lingkungan (Reedijk & Muttray, 2007). Untuk menanggulangi permasalahan pantai yang diakibatkan oleh gelombang maka dibuatlah struktur perlindungan pantai untuk pemecah gelombang. Pemecah Gelombang (*breakwater*) didefinisikan sebagai struktur yang berfungsi untuk melindungi pantai, pelabuhan, atau kolam dari gelombang (CEM, 2008). Ada beberapa tipe bangunan pemecah gelombang (*breakwater*), yaitu pemecah gelombang dengan sisi miring, tegak, atau gabungan. Pemecah gelombang tiang pancang termasuk tipe pemecah gelombang dengan sisi tegak. Pemecah gelombang (*breakwater*) merupakan bangunan laut yang dibuat untuk melindungi pantai dari gelombang, biasanya dibuat pada jarak tertentu sesuai dengan kondisi garis pantai.

Tiang pancang merupakan salah satu tipe pemecah gelombang yang efektif untuk meredam gelombang. Struktur tiang pancang yang berbentuk silinder dengan susunan satu atau dua baris yang rapat bisa menjadi pilihan untuk mengurangi gelombang pada pelabuhan kecil (Rao, Shirlal, & Rao, 2002). Selain untuk meredam gelombang, struktur tiang pancang lebih ekonomis dari pada struktur pemecah gelombang konvensional (Rao et al., 2002). Uji model fisik struktur tiang pancang sebagai peredam gelombang sudah banyak diuji laboratorium. Uji model fisik tiang pancang yang terbaru seperti susunan pemecah gelombang tiang pancang dengan menggunakan tiang berbentuk persegi panjang (Zhu, 2011), pemecah gelombang menggunakan lebih dari satu susunan tiang berbentuk silinder (Ji & Suh, 2010), dan susunan dua baris tiang pancang dengan variasi tiang berongga (Rao et al., 2002).

Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam gelombang sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi), sebagian diteruskan (transmisi) dan sebagian dihancurkan (dissipasi) melalui pecahnya gelombang, kekentalan fluida, gesekan dasar dan lain-lainnya (Triatmodjo, 1999). Dalam penelitian kali ini dilakukan serangkaian

percobaan pemodelan fisik untuk mengetahui nilai Koefisien Transmisi ( $K_t$ ) yang dijadikan acuan mengetahui seberapa efektif struktur tiang pancang dalam fungsinya untuk mengurangi transmisi gelombang dan memberikan rekomendasi struktur tiang pancang yang paling efektif untuk mengurangi transmisi gelombang sesuai variasi pengujian struktur tiang pancang yang telah di uji laboratorium.

Tiang pancang yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan tiang pancang berbentuk silinder. Dimensi tiang pancang akan divariasikan sesuai dengan diameter tiang, jarak/*gap* antar dudukan (modul) tiang pancang dan jarak peletakan antar tiang (baris dan kolom). Sebelumnya, (Hayashi & Kano, 1966) melakukan uji model tiang pancang dengan mempertimbangkan susunan baris dan kolom untuk di perairan dangkal. Uji model fisik dilakukan didalam *flume* gelombang dengan bangkitan gelombang menggunakan tipe gelombang regular. Uji model fisik *breakwater* tiang pancang ini juga pernah dilakukan oleh (Douglas, 1988) yang penelitiannya difokuskan pada susunan tiang pancang untuk satu baris tiang dan dua baris tiang. Lalu susunan tiang tersebut dibandingkan untuk mengetahui efektifitas salah satu susunan tersebut untuk mereduksi gelombang transmisi. Menurut (Douglas, 1988) dari hasil penelitiannya, susunan yang berpengaruh untuk mereduksi gelombang transmisi adalah susunan dengan dua baris tiang. Selain meninjau susunan baris untuk struktur tiang pancang, dapat juga di tinjau dengan variasi jenis tiang yang berlubang atau sering disebut *perforated pile breakwater* seperti yang sudah pernah dilakukan oleh (Koftis, Prinos, & Aftias, 2012). Tujuan penelitian ini adalah mengetahui efektifitas struktur tiang pancang dalam mereduksi gelombang transmisi dengan variasi jarak celah antar tiang pancang (baris) / diameter ( $b/D$ ), lebar celah antara group tiang pancang ( $G$ ), konfigurasi susunan tiang pancang ( $N$ ) dimana variasi  $N$  ada dua yaitu:  $N_1$  untuk dua baris susunan tiang pancang dan  $N_2$  untuk tiga baris susunan tiang pancang. Hasil penelitian dapat dimanfaatkan dalam perencanaan perlindungan pantai akibat permasalahan gelombang. Kegiatan pengujian model fisik 2D tiang pancang ini dilaksanakan di Laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Pantai Buleleng, Provinsi Bali.

## METODOLOGI

### Penyekalaan Model Uji

Pemodelan fisik biasanya dibuat dalam skala yang lebih kecil dibanding prototipenya (model dengan skala penuh). Skala model dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ruang laboratorium yang tersedia, kapasitas pompa dan sistem sirkulasi air. Untuk dapat beroperasi sebuah model harus berada pada kapasitas faktor-faktor tersebut, pengaturan skala menjadi sangat menentukan apakah sebuah model dapat beroperasi atau tidak. Uji model fisik tiang pancang ini menggunakan skala 1:10 dengan menggunakan pipa PVC diameter 6 cm. Untuk mendapatkan suatu bangunan tiang pancang yang dapat meredam gelombang secara optimal, maka diperlukan kajian terkait dengan desain struktur tiang. Desain tiang pancang ini ditentukan berdasarkan pertimbangan hasil penentuan skala pengujian ( $nL = 1:10$ ). Terdapat enam modul (penyangga) yang diajukan berdasarkan jarak antar kolom dan jarak antar baris dari masing-masing tiang. Dari hasil variasi yang telah ditetapkan maka model yang akan disimulasikan sebanyak 216 skenario. Berikut merupakan tabel ringkasan variasi parameter uji model tiang pancang (Tabel 1) dan skenario uji model fisik tiang pancang (Tabel 2).

### Struktur Tiang Pancang dan *Set-Up* Saluran Gelombang

Tiang pancang yang digunakan untuk uji model fisik ini terbuat dari cetakan semen berbentuk silinder. Struktur tiang pancang akan divariasikan berdasarkan jarak antar *gap* penyangga tiang pancang, jarak *gap* antar tiang pancang (baris dan kolom), dan peletakan (*layout*) tiang pancang. Perencanaan pembuatan saluran gelombang untuk uji pemodelan fisik 2D tiang pancang menggunakan skala 1:10. Ukuran saluran gelombang yang akan dibangun memiliki panjang 40 m, lebar 3 m, dan tinggi 1 m. Uji model fisik tiang pancang menggunakan dua jenis instrumen pengukuran untuk uji model. Untuk mengukur parameter gelombang digunakan pemantik gelombang (*wave probe*) yang berjumlah delapan unit. pembagian peletakan *wave probe* sebagai berikut; tiga unit *wave probe* dipasang sebelum struktur tiang untuk mengetahui refleksi gelombang yang terjadi, untuk lima unit *wave probe* berikutnya diletakan pada bagian belakang struktur untuk mengetahui transmisi gelombang yang terjadi.

**Tabel 1** Dimensi Struktur Tiang Pancang dan Gelombang Rencana

No	Variabel	Simbol	Jumlah Variasi	Nilai Variasi	Satuan
1	Jarak celah antar tiang pancang (kolom) / Diameter	B/D	3	0,1; 0,5 ;1.0	
2	Jarak celah antar tiang pancang (baris) / Diameter	b/D	2	0,5; 1,0	
3	Lebar celah antara group tiang pancang	G	3	33; 50; 58,1	Cm
4	<i>Layout</i> tiang pancang	N	2	N1; N2	
5	Tinggi gelombang datang	h	2	15; 20	Cm
6	Periode gelombang	t	3	2; 2,5; 3	S
7	Kedalaman perairan	d	1	60	Cm

**Tabel 2** Skenario Model Uji Tiang Pancang

Modul	Layout	d (cm)	h (cm)	t (s)	B/D	b/D	Gap (cm)
1	N1; N2	60	20; 15	2; 2,5; 3	0,1; 0,5; 1	0,5; 1	33; 50; 58,1
2	N1; N2	60	20; 15	2; 2,5; 3	0,1; 0,5; 1	0,5; 1	33; 50; 58,1
3	N1; N2	60	20; 15	2; 2,5; 3	0,1; 0,5; 1	0,5; 1	33; 50; 58,1
4	N1; N2	60	20; 15	2; 2,5; 3	0,1; 0,5; 1	0,5; 1	33; 50; 58,1
5	N1; N2	60	20; 15	2; 2,5; 3	0,1; 0,5; 1	0,5; 1	33; 50; 58,1
6	N1; N2	60	20; 15	2; 2,5; 3	0,1; 0,5; 1	0,5; 1	33; 50; 58,1

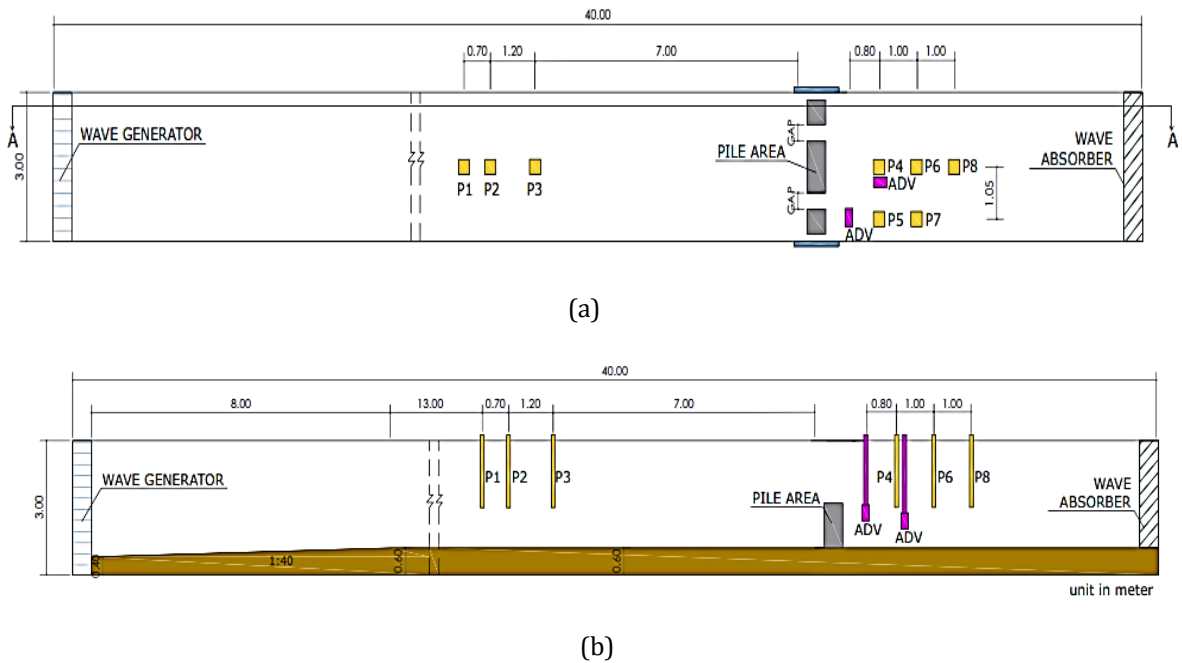
Untuk pengukuran arus digunakan dua unit *Acoustic Doppler Velocimeter* (ADV) yang diletakkan di celah struktur tiang pancang dan diletakkan di depan struktur tiang pancang. Untuk menentukan jarak peletakan antar *wave probe* mengacu pada hasil percobaan yang dilakukan oleh (Mansard & Funke, 1980).

Struktur tiang pancang terdiri atas sekelompok tiang yang dipasang pada sebuah penyangga sehingga jarak antar tiang dapat disesuaikan. Peletakan tiang pancang pada *wave flume* menggunakan penyangga atau yang dalam penelitian ini disebut modul. Modul ini dicetak dengan beton yang dimensinya diambil berdasarkan variasi parameter jarak antar kolom dan jarak antar baris. Bangkitan gelombang yang digunakan untuk uji model *breakwater* tiang pancang ini adalah bangkitan gelombang reguler dengan mesin bangkitan gelombang *piston multi segmen* yang bisa membangkitkan gelombang reguler dan irregular. Untuk mempermudah observasi

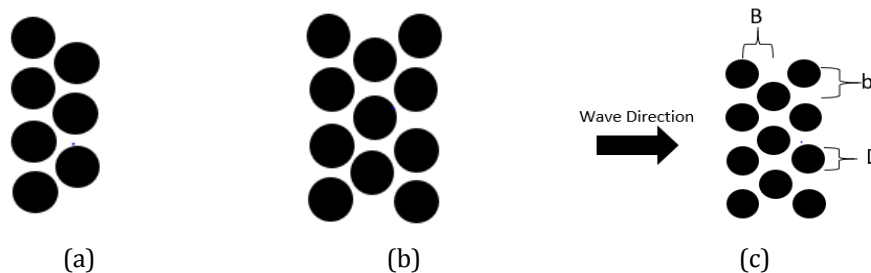
gelombang refleksi dan transmisi gelombang, pada uji model fisik ini menggunakan alat bantu video kamera. Setelah modul dimasukkan pada *wave flume* selanjutnya disusun konfigurasi peletakan tiang (*layout*) yang dalam penelitian ini di sebut N. Jumlah variasi N pada tiang pancang ini sebanyak dua variasi yaitu N1 (dua baris pemancangan tiang) dan N2 (tiga baris pemancangan tiang). Untuk *set up wave flume* akan ditunjukkan pada Gambar 1 Untuk konfigurasi pemasangan tiang pancang ditunjukkan pada Gambar 2.

**Running Uji Model**

Untuk mendapatkan suatu bangunan tiang pancang yang dapat meredam gelombang secara optimal, maka diperlukan kajian terkait dengan desain struktur tiang. Dari hasil variasi yang telah ditetapkan maka model yang akan disimulasikan sebanyak 216 skenario.



Gambar 1 Set-up Saluran Gelombang 2D Model Fisik Tiang Pancang



Gambar 2 Gambar (a) Menunjukkan konfigurasi struktur (*layout*) yang dalam penelitian disebut N1, Gambar (b) Menunjukkan konfigurasi struktur (*layout*) yang dalam penelitian disebut N2, dan Gambar (c) Penjelasan geometri struktur tiang pancang

Gelombang yang digunakan pada pengujian ini menggunakan tipe gelombang regular. Durasi waktu pengujian struktur tiang pancang ini selama 3 menit. Setelah itu dilanjutkan dengan pergantian modul dan variasi peletakan tiang pancang (N) sesuai skenario uji, durasi waktu yang diperlukan untuk pergantian hingga running untuk skenario berikutnya selama  $\pm 3$  jam.

### Pengolahan Data ANSSIG

ANSSIG (Program Analisis Refleksi Gelombang) adalah perangkat lunak yang dikembangkan di lingkungan Balai Litbang Pantai. Program ini memiliki fungsi utama untuk memisahkan gelombang terpantul, gelombang transmisi, dan energi yang teredam dengan gelombang datang yang terjadi bersamaan (*co-existing*) pada saat pengujian.

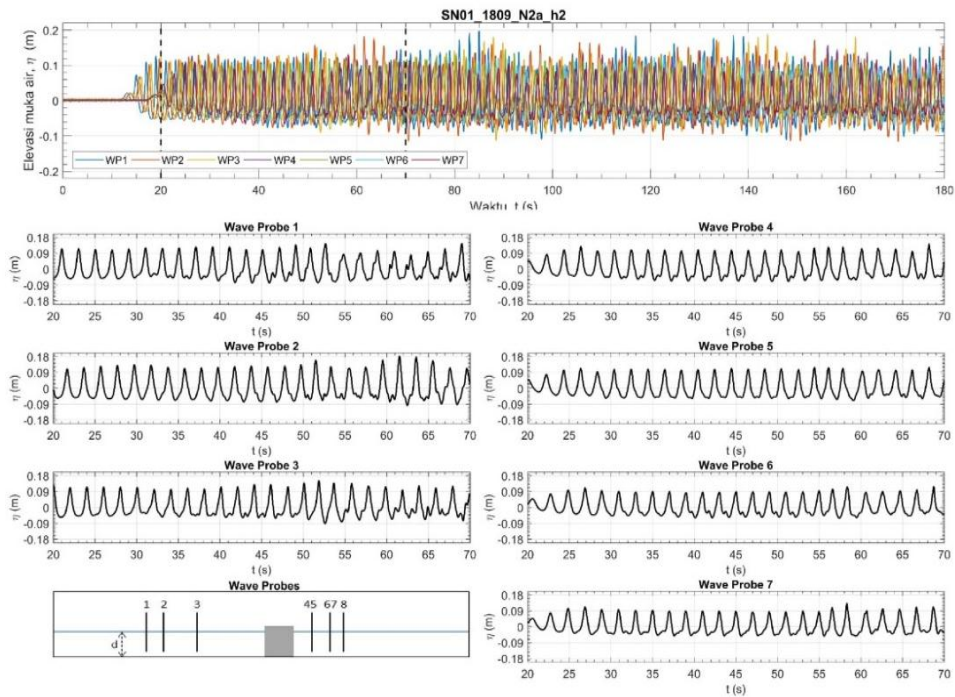
Pemisahan spektrum gelombang dilakukan dengan pemrosesan sinyal data domain waktu menjadi berdomain frekuensi dengan menggunakan *Nonequispaced Fast Fourier Transform* (NFFT). Menggunakan 25 untuk frekuensi sampling. Program ANSSIG disusun berdasarkan teori pemisahan spektrum gelombang refleksi dan insiden dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (Mansard & Funke, 1980). Pengolahan data gelombang dengan ANSSIG mensyaratkan akuisisi data gelombang dengan penggunaan minimal tiga *wave probe* atau lebih (Zelt, Skjelbreia, & Wave Technologies, 1993) namun menerapkan batas maksimum pemasangan *wave probe* sebanyak delapan unit. Selanjutnya, data gelombang diinputkan pada software ANSSIG dapat diambil dari hasil pengukuran data gelombang menggunakan software HR DAQ dengan format \*.csv, jarak antar *wave probe*, dan *Nonequispaced Fast Fourier Transform* (NFFT) pada penelitian ini menggunakan 516 dan kedalaman muka air 60 cm. Output program yang digunakan pada analisis penelitian ini adalah berupa grafik *time series* yang output parameternya berupa koefisien refleksi ( $K_r$ ), koefisien transmisi ( $K_t$ ), tinggi gelombang insiden spektrum ( $H_{sig,in}$ ), dan periode gelombang puncak ( $T_p$ ) yang kemudian dikonversi menjadi periode gelombang spektrum ( $T_{m-1,0}$ ). Untuk menyimpan hasil output ANSSIG bisa disimpan melalui opsi "save result" dalam format \*.xls.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Instrumen Gelombang (*wave probe*)

Hasil pengukuran data gelombang pada pengujian ini didapat dari software akuisisi data gelombang HR DAQ yang di tunjukan pada

Gambar 3. Input parameter yang di proses pada software HR DAQ ini adalah tinggi gelombang, periode, dan durasi simulasi selama 180 s atau selama 3 menit. Output dari hasil software HR DAQ ini berupa grafik *time series*, yang dimana grafik ini sudah mencakup pengukuran masing-masing gelombang dengan menggunakan *wave probe*. Sumbu X pada grafik ini menyatakan waktu (t) perekaman data *wave probe* dalam satuan detik. Sumbu y grafik menyatakan elevasi muka air ( $\eta$ ) dalam satuan meter. Melalui grafik ini dapat diamati kecenderungan tinggi gelombang yang terbentuk pada saat gelombang mulai dibangkitkan sampai dengan akhir dari eksperimen. Berikut merupakan salah satu gambar dari hasil pengolahan data gelombang menggunakan software HR DAQ. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas dari gelombang di tiap *channel*, ditampilkan grafik perbesaran pada rentang waktu perekaman tertentu untuk masing-masing *channel wave probe* yang ditunjukan pada Gambar 3. Grafik menampilkan gelombang yang terekam di area yang dibatasi garis hitam (detik ke-20 sampai dengan detik ke-70) pada eksperimen. Pada rentang data 180 detik tinggi gelombang tampak sedikit meningkat secara merata yang diakibatkan oleh pantulan gelombang terhadap struktur tiang pancang dibandingkan gelombang durasi awal pada detik ke-0 sampai detik ke-20. Akan tetapi, perubahan tidak terlalu signifikan dibanding dengan tinggi gelombang bangkitan yang diinputkan pada *wave generator*. Pada durasi,  $t > 60$  s, gelombang telah mengalami amplifikasi oleh proses refleksi. Gelombang datang yang mencapai struktur tiang pancang akan dipantulkan kembali ke medan gelombang sebagai gelombang refleksi (berarah berlawanan dengan gelombang datang). Gelombang refleksi merambat ke arah piston *wave generator* dipantulkan kembali ke bersamaan dengan gelombang bangkitan, menghasilkan superposisi dengan karakteristik gelombang gabungan antara keduanya (terbentuk selimut gelombang). Proses tersebut berulang terus menerus selama eksperimen berlangsung, menghasilkan amplifikasi gelombang yang terus meningkat hingga akhir eksperimen. Fenomena refleksi akan menghasilkan tinggi gelombang yang terbentuk jauh lebih tinggi di atas target untuk tiap-tiap eksperimen. Untuk mengatasi hasil pengujian agar tetap sesuai dengan kondisi rencana, pada proses analisis gelombang datang dan analisis gelombang refleksi digunakan rentang 20-70 detik perekaman data dengan tinggi gelombang 0,09 m yang memungkinkan untuk dianggap sebagai gelombang laut dalam.



**Gambar 3** Hasil Data Gelombang Tiap-Tiap Instrument Gelombang (Wave Probe) Pada Software HR DAQ

**Koefisien Transmisi (Kt)**

Ketika gelombang datang mengenai sebuah struktur penghalang tidak seluruh energi gelombang direfleksikan, sebagian energi diredam (didisipasi) oleh struktur dan sebagian energi diteruskan (ditransmisikan) ke perairan di belakang struktur. Disipasi energi gelombang merupakan parameter yang penting diketahui pada karakteristik suatu struktur yang menghalangi penjaralan gelombang. Energi gelombang yang diteruskan melewati struktur didefinisikan sebagai transmisi gelombang. Kinerja struktur dapat ditinjau dari perbandingan antara energi tersisa di belakang struktur yang diindikasikan dengan tinggi gelombang transmisi. Tinggi gelombang transmisi dapat diketahui dengan pengukuran tinggi gelombang maksimum ( $H_{maks}$ ) dan gelombang minimum ( $H_{min}$ ) di belakang struktur. (Dean & Dalrymple, 1984) menurunkan nilai tinggi gelombang transmisi menggunakan Persamaan 1 sebagai berikut :

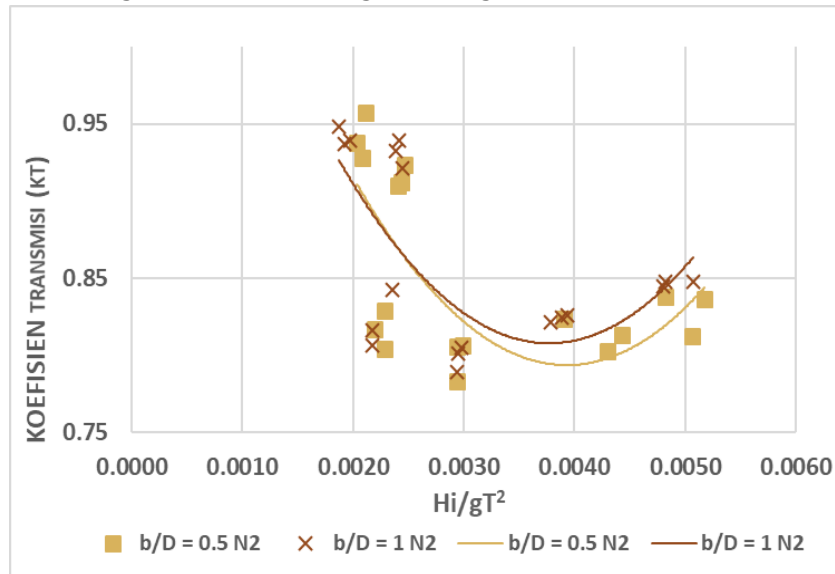
$$H_t = \frac{(H_{maks})_t + (H_{min})_t}{2} \tag{1}$$

Rasio antara gelombang yang diteruskan (ditransmisikan) melalui struktur penghalang dan gelombang datang, dinyatakan dengan koefisien transmisi ( $K_t$ ) seperti yang disajikan pada Persamaan 2 dibawah ini :

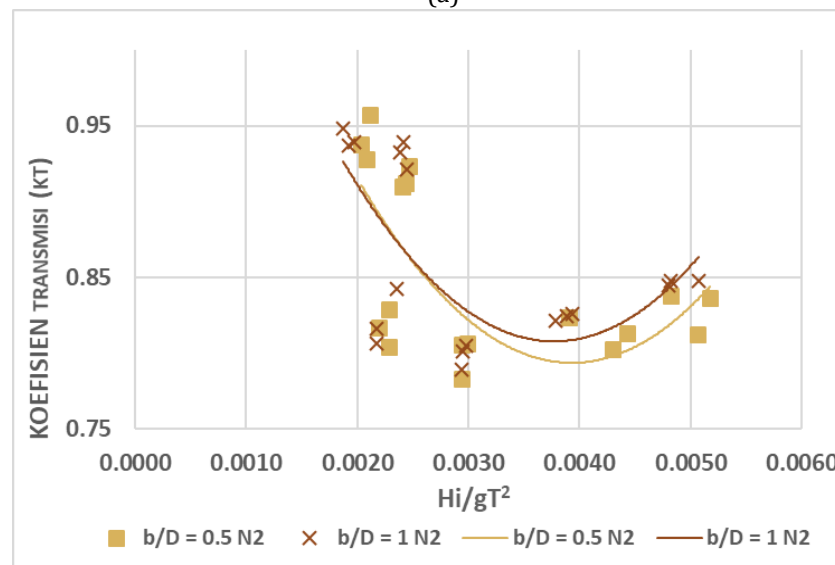
$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \tag{2}$$

Persamaan diatas dapat digunakan sebagai acuan untuk menghitung Koefisien Transmisi ( $K_t$ ), namun pada penelitian kali ini, hasil uji model fisik diolah menggunakan *software* ANSSIG yang dapat menghasilkan output koefisien transmisi ( $K_t$ ). Hasil data koefisien transmisi ( $K_t$ ) tersebut akan dijelaskan pada grafik yang berisi input parameter tinggi gelombang berbanding dengan panjang gelombang ( $H_i/gT^2$ ) dan koefisien transmisi ( $K_t$ ). Dari 216 skenario yang sudah diujikan hanya diambil beberapa variasi struktur yang dapat ditinjau dari jarak antar tiang pancang (baris) / Diameter ( $b/D$ ), lebar celah antara group tiang pancang ( $G$ ) dan konfigurasi layout tiang pancang ( $N1$  dan  $N2$ ). *Gap* dengan variasi 33 cm; 50 cm dan 58,1 cm. Konfigurasi layout yang digunakan menggunakan konfigurasi  $N1$   $N2$ . Faktor yang mempengaruhi besarnya penjaralan gelombang selain variasi gelombang, kerapatan struktur juga dapat mempengaruhi besarnya penjaralan gelombang. Perbedaan konfigurasi layout pada struktur tiang pancang untuk variasi  $N1$  lebih renggang dan untuk konfigurasi layout  $N2$  lebih rapat. Semakin rapat celah  $b/D$  dan konfigurasi *layout* ( $N$ ) yang digunakan maka dapat memperlambat

terjadinya penjalaran gelombang dan gelombang akan teredam saat mengenai struktur tiang pancang yang dapat di tunjukan pada gambar 4 dan gambar 5.



(a)



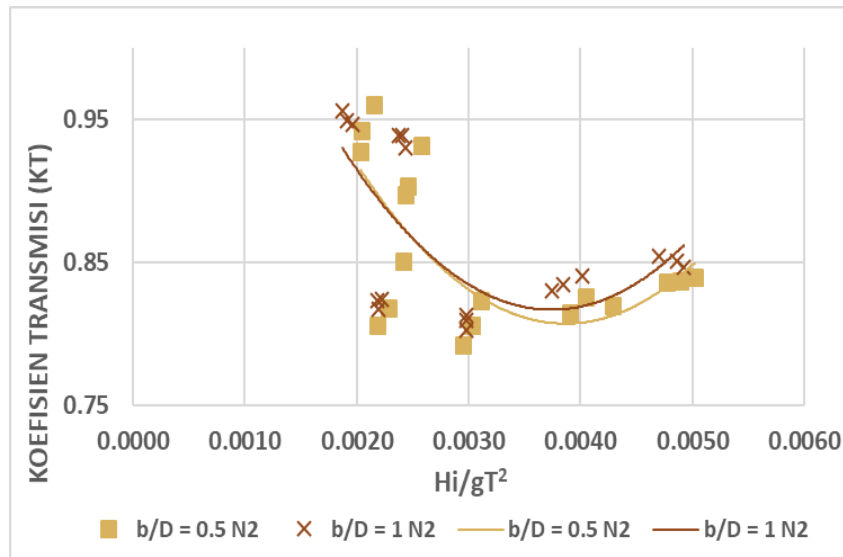
(b)

**Gambar 4** Gambar (a) Grafik Koefisien Transmisi (Kt) terhadap celah  $b/D$  pada N2 dan gambar (b) Grafik Koefisien Transmisi (Kt) terhadap celah  $b/D$  pada N1 pada gap 33 cm.

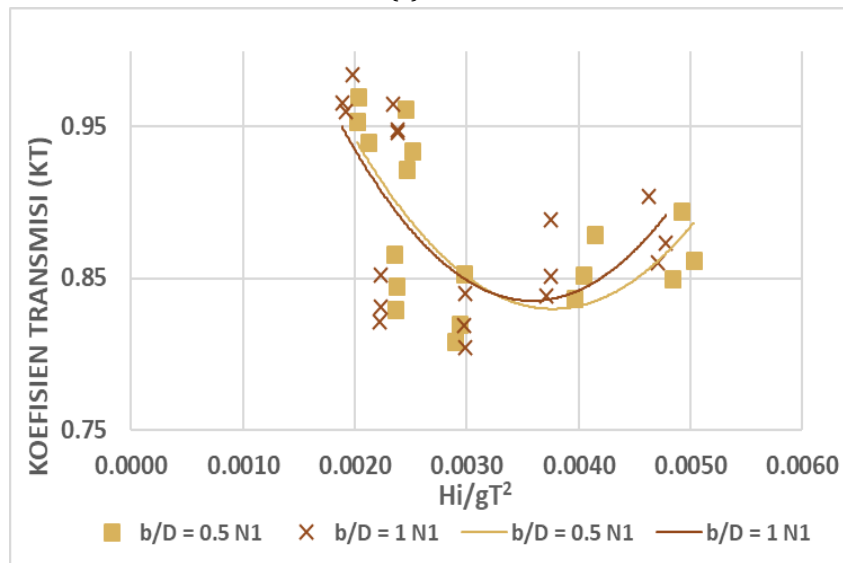
Gambar 4 menunjukkan dua grafik transmisi gelombang yang dimana pada grafik gambar (a) dengan variasi gap 33 cm menggunakan konfigurasi layout N2 dengan variasi struktur  $b/D = 0,5$  dan  $b/D = 1$  dapat menghasilkan nilai koefisien transmisi (Kt) berkisar antara 0,76 – 0,95. Grafik pada

Gambar 4 (b) dengan variasi gap 33 cm menggunakan konfigurasi layout N1 dengan

variasi struktur  $b/D = 0,5$  dan  $b/D = 1$  dapat menghasilkan nilai koefisien transmisi (Kt) 0,78-0,98. Hasil dari kedua nilai koefisien transmisi (Kt) pada gambar 4 (a) dan gambar 4 (b) yang dapat efektif untuk meredam gelombang ditunjukan pada gambar 4 (a) dengan dimensi struktur  $b/D = 0,5$  menggunakan konfigurasi pemancangan tiang N2 (tiga baris pemancangan tiang).



(a)



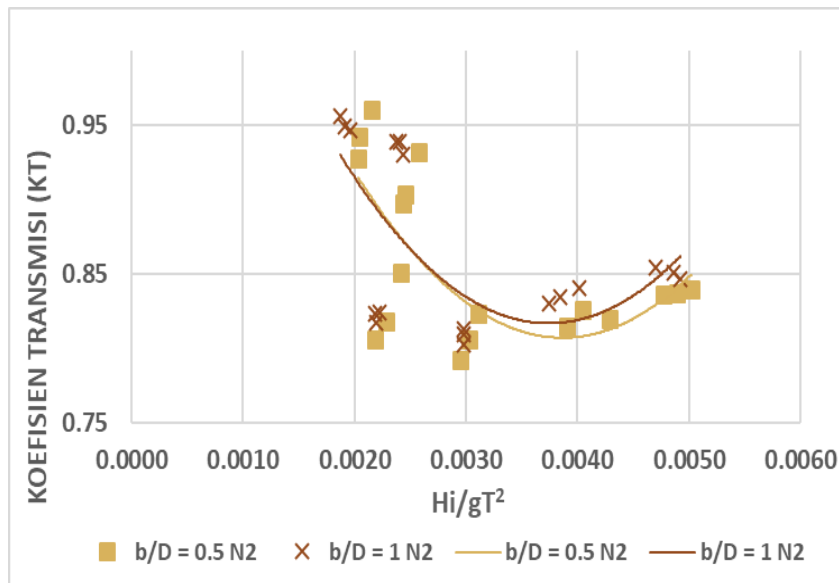
(b)

**Gambar 5** Gambar (a) Grafik Koefisien Transmisi (Kt) terhadap celah b/D pada N2 dan Gambar (b) Grafik Koefisien Transmisi (Kt) terhadap celah b/D pada N1 pada gap 50 cm.

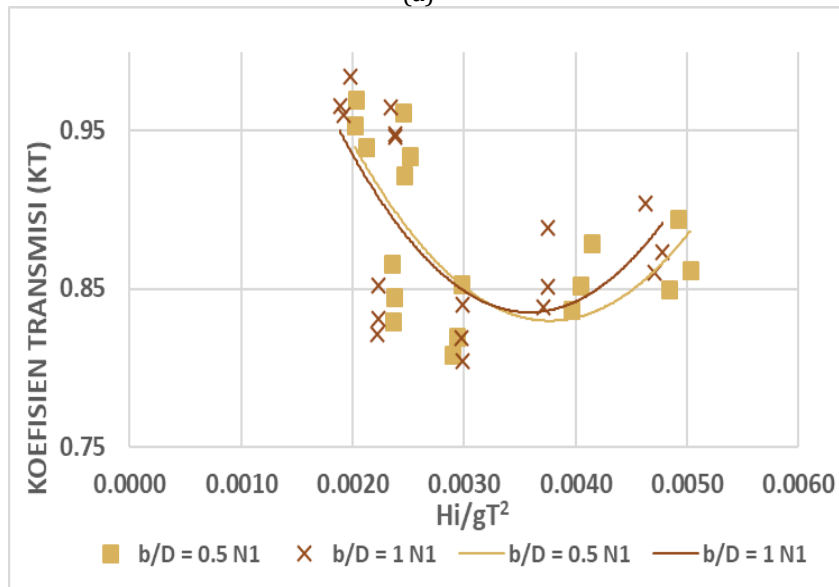
Gambar 5 menunjukkan Grafik 5 (a) dengan variasi *gap* 50 cm menggunakan konfigurasi layout N2 dengan variasi struktur  $b/D = 0,5$  dan  $b/D = 1$  dapat menghasilkan nilai koefisien transmisi (Kt) berkisar antara 0,79 - 0,95. Grafik (b) dengan variasi gap 50 cm menggunakan konfigurasi layout N1 dengan variasi struktur  $b/D = 0,5$  dan  $b/D = 1$  dapat menghasilkan nilai

koefisien transmisi (Kt) 0,8-0,98. Hasil dari kedua nilai koefisien transmisi (Kt) pada gambar gambar 5 (a) dan gambar 5 (b) yang dapat efektif untuk meredam gelombang ditunjukkan pada (a) dengan dimensi struktur  $b/D = 0,5$  menggunakan konfigurasi pemancangan tiang N2 (tiga baris pemancangan tiang).





(a)



(b)

**Gambar 6** Grafik (a) Grafik Koefisien Transmisi (Kt) terhadap celah  $b/D$  pada N2 dan Grafik (b) Koefisien Transmisi (Kt) terhadap celah  $b/D$  pada N1 pada gap 58,1 cm.

Gambar 6 (a) menunjukkan grafik dengan variasi *gap* 58,1 cm menggunakan konfigurasi layout N2 dengan variasi struktur  $b/D = 0,5$  dan  $b/D = 1$  dapat menghasilkan nilai koefisien transmisi (Kt) berkisar antara 0,76 - 0,95.

Gambar 6 (b) dengan variasi *gap* 58,1 cm menggunakan konfigurasi layout N1 dengan variasi struktur  $b/D = 0,5$  dan  $b/D = 1$  dapat menghasilkan nilai koefisien transmisi (Kt) 0,80-0,98. Nilai koefisien transmisi (Kt) yang diperoleh dengan dengan *gap* 58,1 cm ini ditunjukkan pada dimensi struktur  $b/D = 0,5$  dan menggunakan konfigurasi layout N2.

## KESIMPULAN

Setelah melakukan simulasi model fisik tiang pancang dengan variasi jarak celah antar tiang pancang (*baris*)/Diameter ( $b/D$ ), gelombang, dan *gap* yang sudah ditentukan maka, dapat dihasilkan nilai koefisien transmisi (Kt) yang optimum untuk meredam gelombang berdasarkan dari hasil uji laboratorium. Dari masing-masing grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 telah dihasilkan nilai koefisien transmisi (Kt) yang paling kecil ditunjukkan pada Gambar 6 grafik (a) dengan nilai 0,76 - 0,95 pada variasi struktur

jarak antar baris tiang pancang (b/D) 0,5, Gap 58,1 cm, dan konfigurasi pemancangan struktur tiang pancang N2 (tiga baris pemancangan tiang).

Jika dibandingkan dengan jarak celah antar tiang pancang (baris)/Diameter (b/D) 1 dan N1 (dua baris pemancangan tiang) hasilnya tidak seoptimum dengan jarak celah antar tiang pancang (baris)/Diameter (b/D) 0,5. Karena pada uji model fisik tiang pancang ini, kerapatan struktur sangat diutamakan agar struktur tiang pancang dapat bekerja secara efektif untuk meredam gelombang. Selain kerapatan pada struktur tiang, jumlah susunan untuk tiang pancang ini juga dapat berpengaruh untuk meredam gelombang. Semakin banyak susunan tiang yang dipakai maka semakin kecil nilai koefisien transmisi (Kt) yang didapatkan atau dengan kata lain struktur tiang pancang dapat meredam gelombang secara efektif.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada kepala Balai Litbang Pantai Dr. Leo Eliasta, S.T.,M.Sc., atas bimbingannya selama proses penelitian. Serta kepada teman-teman tim Kegiatan Penelitian Tiang Pancang 2018 dan staff laboratorium yang telah bekerjasama dengan baik sehingga pelaksanaan penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- CEM. (2008). *US Army Corps of Engineers*. PP - USA.
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (1984). *Water wave mechanics for engineers and scientists*.
- Douglas, B. (n.d.). *Chapter 165 copy*. 2229–2241.
- Hayashi, T., & Kano, T. (1966). Hydraulic Research on the Closely Spaced Pile Breakwater. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(10), 49. <https://doi.org/10.9753/icce.v10.49>
- Ji, C.-H., & Suh, K.-D. (2010). Wave interactions with multiple-row curtainwall-pile breakwaters. *Coastal Engineering - COAST ENG*, 57, 500–512. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.12.008>
- Koftis, T., Prinios, P., & Aftias, M. (2012). *EXPERIMENTAL STUDY OF A MULTIPLE-ROW PILE BREAKWATER*.
- Mansard, E. P. D., & Funke, E. R. (1980). *S~Ates*. 154–172.
- Rao, S., Shirlal, K. G., & Rao, N. B. S. (2002). Wave transmission and reflection for two rows of perforated hollow piles. *Indian Journal of Marine Sciences*, 31(4), 283–289.
- Reedijk, B., & Muttray, M. (2007). *Pile Row Breakwaters at Langkawi, 10 years of beach development*. [https://doi.org/10.1142/9789814282024\\_0050](https://doi.org/10.1142/9789814282024_0050)
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Penerbit Beta Offset PP - Yogyakarta.
- Zelt, J. A., Skjelbreia, J. E., & Wave Technologies. (1993). Estimating incident and reflected wave fields using an arbitrary number of wave gages. *Proceedings of the Coastal Engineering Conference*, 1, 777–788.
- Zhu, D. (2011). Hydrodynamic characteristics of a single-row pile breakwater. *Coastal Engineering*, 58(5), 446–451. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2011.01.003>