

EFISIENSI MODEL FISIK PEREDAMAN ENERGI GELOMBANG DENGAN PERMEABLE BREAKWATER

EFFICIENCY PHYSICAL MODEL OF WAVE ENERGY DAMPING WITH PERMEABLE BREAKWATER

Juventus W.R. Ginting

Balai Litbang Pantai, Pusat Litbang Sumber Daya Air
Jl. Gilimanuk - Singaraja KM.122, Musi, Gerokgak, Musi, Gerokgak, Kabupaten Buleleng, Bali, Indonesia
E-Mail: juventus.ginting@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menghitung efisiensi peredaman energi gelombang dengan menggunakan permeable breakwater sebagai salah satu alternative pengamanan Pantai. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan permodelan fisik di laboratorium untuk mendapatkan efisiensi yang optimal. Penyusunan skenario model dilakukan dengan mengubah skematisasi skenario model dengan mengubah karakteristik permeable brakwater (lebar b dan ketinggian h) terhadap ketinggian muka air d . serta periode gelombang T . Energi gelombang dihitung pada lokasi di depan struktur dan di belakang struktur. Setelah dilakukan perhitungan perbandingan energi gelombang pada kedua lokasi tersebut sehingga dapat diperoleh nilai efisiensi peredaman energi gelombang akibat adanya struktur tersebut. Pengaruh dimensi struktur terhadap peredaman energi gelombang tertinggi diperoleh dengan nilai peredaman enenergi tertinggi adalah pada saat kondisi $h/B = 1$ dimana kondisi tersebut ketinggian struktur sama dengan lebar struktur. Pada kondisi peredaman energi gelombang jika dibandingkan dengan kedalaman peairan (d) nilai peredaman energi terbesar adalah pada saat $d = 10$ cm Sehingga dalam pemanfaatanya sebagai peredam energi gelombang ketinggian struktur harus lebih tinggi dari ketinggian Mean sea level (MSL) diperarian yang akan ditempatkan struktur permeable breakwater.

Kata Kunci: Model Fisik, rekayasa hybrid, permeable breakwater, koefisien transmisi, peredaman gelombang

ABSTRACT

In this research calculates the efficiency of wave energy reduction by using permeable breakwater as an alternative coastal protection. The method used is to do physical modeling in the laboratory to get optimal efficiency. The preparation of the model scenario is done by changing the schematization of the model scenario by changing the permeable brackwater characteristics (width b and height h) to the water level d . and the T wave period. Wave energy is calculated at the location in front of the structure and behind the structure. After calculating the comparison of wave energy in the two locations, it can be obtained the efficiency value of wave energy reduction due to the existence of the structure. The influence of the structure dimension on the reduction of the highest wave energy is obtained with the highest energy reduction value when the condition $h / B = 1$ where the condition of the structure is the same as the width of the structure. In the conditions of damping the wave energy when compared to the water depth (d) the greatest energy reduction value is at $d = 10$ cm so that in its utilization as a wave energy damper the height of the structure must be higher than the mean Mean level level (MSL) in the area to be applied structure permeable breakwater will be placed.

Keywords: Physical model, hybrid engineering, permeable breakwater, transmission coefficient, wave reduction

PENDAHULUAN

Penanganan permasalahan pantai dengan menggunakan investasi besar atau *hard structure* dilakukan sebagai respon terhadap perubahan yang terjadi di pantai. Infrastruktur tradisional yang keras dan masif, masih seperti pemecah gelombang merupakan salah satu solusi yang sering digunakan dalam upaya untuk menyelesaikan masalah. Namun, struktur tersebut mahal dan sering terbukti kontraproduktif pada pantai berlumpur. Selain itu, penanganan dengan menggunakan *hard structure* tidak dapat mengembalikan sabuk *mangrove* yang hilang.

Pengaman pantai dengan mengembalikan bentuk sabuk *mangrove* telah dipromosikan secara luas sebagai sarana alternatif untuk meningkatkan ketahanan pesisir. Namun, *mangrove* hanya dapat berhasil dikembalikan pada kondisi abiotik yang optimal (kondisi perairan, ketinggian gelombang jumlah masukan sedimen). Kegagalan kerap terjadi pada tahap pengembalian kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan *mangrove*. *Mangrove* tidak dapat tumbuh, sehingga gagal untuk menstabilkan erosi garis pantai. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Deltares (Deltares, 2012) Tingkat dari keberhasilan jangka panjang dari *replantation mangrove* sangat rendah berkisar antara 5-10%.

Untuk melindungi garis pantai dari erosi harus diciptakan zona penyangga *mangrove*. Langkah pertama yang diperlukan adalah untuk menghentikan proses erosi dengan mengembalikan sedimen yang hilang sehingga mendapatkan garis pantai yang stabil. Pendekatan ini bernama rekayasa *hybrid*. (*hybrid engineering*) dalam hal ini teknik rekayasa digabungkan dengan proses yang ada di alam dan sumber daya yang tersedia, menghasilkan solusi dinamis yang mampu beradaptasi dengan keadaan yang berubah. Pendekatan rekayasa *hybrid* dapat diterapkan dalam berbagai situasi dan ekosistem (De Vriend HJ, 2012). Rekayasa *hybrid* itu berupa *Permeable Breakwater* dilakukan dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada disekitar pantai, seperti contoh yang digunakan di pantai Timbulsloko menggunakan bahan berupa ranting atau dahan dari *mangrove* yang dipotong serta disusun membentuk suatu *breakwater*. Selain menggunakan material ranting atau dahan *mangrove* dapat juga digunakan material seperti bambu yang merupakan tanaman industri yang dapat dibudidayakan sehingga jumlahnya cukup banyak jumlahnya jika diterapkan di daerah pesisir pantai.

Cara yang paling efektif untuk mengembalikan fungsi hutan *mangrove* adalah dengan membantu menciptakan lingkungan yang

paling efektif untuk *mangrove* tumbuh seraca alami. Filosofi untuk membiarkan *mangrove* ini tumbuh secara alami disebut sebagai "*Building with Nature*" atau "membangun dengan alam" yang mana lebih baik bekerja dengan alam daripada melawan alam. (Tonneijck, 2015). Ide sederhana tersebut diterapkan untuk menghentikan erosi pantai yaitu dengan mengembalikan keseimbangan sedimen di daerah pesisir. Dalam hal ini jumlah sedimen yang masuk harus lebih besar dari pada jumlah sedimen yang keluar (Winterwerp, 2014). Agar dapat menciptakan lingkungan *mangrove* yang dapat tumbuh dengan baik diperlukan pembangunan struktur *permeable* yang dapat menjaga kondisi perairan yang cukup tenang dan jumlah sedimen yang optimum yang membawa kandungan nutrisi. Fungsi dari *Permeable Breakwater* untuk melindungi *mangrove* dan menjaga sirkulasi jumlah sedimen yang ada di pantai. Sampai dengan fungsi akar *mangrove* tersebut matang (remaja) dapat hidup bertahan sendiri. Dengan menggunakan konsep *Building with Nature* diharapkan pasokan sedimen yang keluar dari perairan menjadi sedikit sehingga terjadi penumpukan sedimen di belakang struktur seperti di Gambar .**Error! Reference source not found.**



Gambar 1 Akumulasi Sedimen balik struktur *permeable* menunjukkan *mangrove* secara alami tumbuh di wilayah pesisir Demak saat air surut

Distribusi energi gelombang laut merupakan salahsatu aspek unik dari cara kerja *permeable breakwater* ini jika dibandingkan dengan menggunakan *hard structure* konvensional. Kemampuan dari struktur kedap air (*unpermeable*) atau konvensional ini dapat memantulkan keseluruhan energi gelombang. Hal ini juga dapat menciptakan gelombang yang lebih besar yang dapat menyebabkan erosi di sisi arah laut struktur yang kontraproduktif. Bila dibandingkan dengan struktur *permeable breakwater* yang hanya merefleksikan sebagian kecil dari energi gelombang laut. Dengan demikian dapat mempertahankan tingkat sedimen yang baik di kedua sisi struktur. Setelah cukup sedimen

yang terkumpul di belakang struktur kemudian struktur tambahan dapat dibangun di depan, sehingga perlahan-lahan bangunan akan dibangun semakin menjorok ke arah laut dan tanah reklamasi akan semakin meluas (Winterwerp, 2014).

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis terhadap efisiensi peredaman energi gelombang akibat adanya struktur *permeable breakwater* dengan beberapa bentuk geometrik struktur *permeable breakwater* untuk mengetahui karakteristik energi gelombang di sekitar *permeable breakwater* terhadap bentuk struktur.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadikan *permeable breakwater* menjadi alternatif pengaman pantai untuk daerah berlumpur yang ramah lingkungan, terutama dari bahan bakunya yang berupa ranting, batang pohon atau bambu yang dapat diperoleh dari daerah di sekitar pantai serta dapat dilakukan secara swadaya oleh nelayan atau penduduk di sekitar daerah pesisir di pantai berlumpur untuk mengembalikan kondisi perairan.

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur keras konvensional yang dibangun untuk menanggulangi kerusakan pantai seperti erosi dan melawan *storm surges* banyak diterapkan di kawasan pesisir utara Pulau Jawa. Namun banyak dari struktur tersebut malah memperburuk keadaan di daerah pesisir. Tidak hanya karena struktur keras tersebut menghalangi sedimen untuk sampai ke bibir pantai tetapi mengakibatkan juga terjadinya gerusan lokal di sekitar struktur itu sendiri dari peningkatan energi yang diakibatkan oleh refleksi gelombang (Tonneijck, 2015).

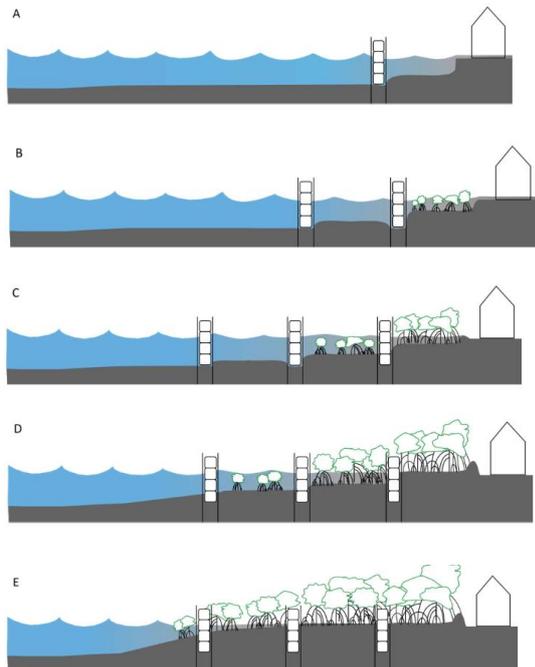
Pelindung pantai secara alami seperti hutan *mangrove* merupakan pelindung alami untuk daerah pantai berlumpur. Dengan terjadi peningkatan jumlah penduduk sehingga hutan *mangrove* mengalami perubahan fungsi *mangrove* menjadi daerah tambak dan pertanian. Akibat dari perubahan tersebut akan sulit mengembalikan fungsi semula hutan *mangrove*. Cara yang paling efektif untuk mengembalikan fungsi hutan *mangrove* adalah membantu menciptakan lingkungan yang paling efektif agar *mangrove* dapat tumbuh secara alami. Untuk dapat mengembalikan lingkungan secara alamiah menjadi hutan *mangrove* tidak harus dengan melawan alam dengan membangun *hard structure* dengan "*Building with Nature*" atau "membangun dengan alam" yang mana lebih baik bekerja dengan alam daripada melawan alam (Tonneijck, 2015). Dengan ide yang sederhana untuk menghentikan erosi pantai yaitu dengan

mengembalikan keseimbangan sedimen. Oleh karena itu jumlah sedimen yang masuk harus lebih besar dari pada jumlah sedimen yang keluar (Winterwerp, 2014). Agar dapat menciptakan lingkungan yang mana *mangrove* dapat tumbuh dengan baik diperlukan pembangunan struktur permeabel yang dapat menggantikan fungsi akar bakau sampai dengan fungsi akar bakau tersebut matang (remaja) yang mana bakau dapat hidup bertahan sendiri. Dengan menggunakan konsep *Building with Nature* diharapkan pasokan sedimen yang keluar dari perairan menjadi sedikit sehingga terjadi penumpukan sedimen di belakang struktur

Kemampuan permeabilitas dari groin belukar memiliki kemampuan untuk menangkap material sedimen yang berasal dari daratan. Sedimen yang ditangkap berasal dari aliran sungai ke laut sementara aliran sungai tetap mengalir ke laut. Tidak hanya itu kemampuan *permeable groin* ini dapat memungkinkan energi gelombang laut mengalami disipasi daripada mengalami refleksi, karena hal ini sudah diteliti oleh (Dijkema, 1988) bahwa meskipun secara vertikal aman, daya apung dari belukar tersebut meningkatkan kemampuan untuk menahan energi gelombang laut. Akibatnya ketinggian gelombang akan berkurang sebelum mencapai garis pantai (Winterwerp, 2014). Kemampuan dari groin belukar untuk mendisipasi energi gelombang laut adalah salah satu faktor kunci dalam menghadapi masalah erosi yang terjadi di daerah pantai berlumpur.

Distribusi energi gelombang laut adalah aspek unik dari groin belukar ini jika dibandingkan dengan solusi struktur kaku konvensional. Seperti dijelaskan sebelumnya kemampuan struktur kedap air atau konvensional ini dapat memantulkan keseluruhan energi gelombang. Hal ini juga dapat menciptakan gelombang yang lebih besar yang dapat menyebabkan erosi kontraproduktif di sisi arah laut dari struktur. Dibandingkan dengan struktur groin belukar yang hanya merefleksikan sebagian kecil dari energi gelombang laut. Dengan demikian dapat mempertahankan tingkat sedimen yang baik di kedua sisi struktur. Setelah cukup sedimen yang terkumpul di belakang struktur kemudian struktur tambahan dapat dibangun di depan, sehingga perlahan-lahan bangunan akan dibangun semakin menjorok ke arah laut dan tanah reklamasi akan semakin meluas (Winterwerp, 2014). Proses ini akan dijelaskan lebih lanjut pada Gambar 22. Gambar (A) menjelaskan sedimen mulai bertambah di belakang struktur. Selanjutnya Gambar (B) sedimen bertambah dan *mangrove* dapat tumbuh secara alami, penempatan struktur baru di depan struktur yang

lama juga mengalami proses sedimentasi. Gambar (C) dan (D) menunjukkan kelanjutan dari proses ini, perlahan-lahan diperoleh lahan ke arah laut. Pada skema terakhir Gambar (E) menunjukkan bahwa *permeable groin* dapat digantikan sepenuhnya oleh *mangrove* dan sabuk *mangrove* sudah terbentuk di belakang struktur.



Gambar 2 Proses membangun ke arah laut untuk membangun sabuk bakau (Lucas, 2017)

Konsep membangun bersama alam “*Building With Nature*” sudah diadopsi di Kabupaten Demak, Jawa Tengah dalam upaya untuk membangun kembali sabuk *mangrove* yang telah hilang dan untuk meningkatkan kembali ekonomi dan kesejahteraan rakyat. Sekitar 20 kilometer garis pantai di daerah ini terancam akibat adanya erosi, setelah keberhasilan *pilot project* di daerah Timbulsloko ratusan meter struktur ini telah dibangun dan dalam tahap desain Gambar .

Proyek ini merupakan bagian dari program *multiyear project*. Program ini tidak hanya membantu penduduk setempat di Demak, tetapi juga menguji teknik dan strategi yang berbeda untuk memperoleh hasil yang optimal. Desain berkelanjutan didasarkan pada *permeabel brushwood groin* yang telah berhasil digunakan di rawa-rawa garam di Belanda dan Jerman selama berabad-abad (Winterwerp, 2014). Ini juga telah dimodifikasi melalui *trial and error* selama proyek di Demak dan melalui investigasi yang sedang berlangsung di Suriname dan Vietnam selatan.

Hybrid Engineering merupakan sebuah pendekatan dari beberapa tahapan perlindungan

pesisir dengan tujuan akhir mengembalikan pertahanan alami pantai yaitu *mangrove*. *Hybrid Engineering* dibangun dengan menggunakan bahan-bahan yang tersedia secara lokal seperti kayu, bambu, ranting, dan dahan pohon *mangrove*. Struktur permeabel ini berfungsi untuk mengembalikan kondisi pantai melalui proses alami seperti sedimentasi sehingga kondisi hidrodinamika dan ekologi akan kembali seperti sediakala dan merangsang pertumbuhan lahan yang sebelumnya sudah terkikis oleh erosi (Sabarini, Astra, Harjo, & Maulana, 2014)



Gambar 3 Daerah Penerapan *Building with Nature* di daerah Timbulsloko, Kabupaten Demak, Prov. Jawa Tengah (Sumber: Google Earth 2017)

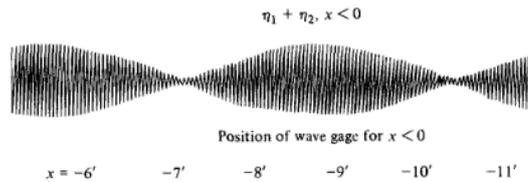
Struktur *permeabel* dapat ditempatkan di depan garis pantai, yang mana struktur dapat dilalui oleh air laut tetapi tidak memantulkan gelombang melainkan memecahnya. Sehingga, gelombang akan berkurang ketinggian dan energinya sebelum mencapai garis pantai. Struktur permeabel juga dapat memungkinkan lumpur untuk melewatinya, dan meningkatkan jumlah sedimen terperangkap pada atau dekat pantai. Perangkat ini meniru proses alam, yaitu meniru fungsi dari struktur sistem perakaran *mangrove* alami.

Teknik *Hybrid Engineering* diterapkan dalam bentuk petak-petak, yang dibangun secara perlahan tapi pasti untuk mengembalikan tanah yang terabrasi oleh laut. Teknik ini telah berhasil diterapkan di rawa-rawa pantai di Belanda selama berabad-abad. Teknik *Hybrid Engineering* saat ini semakin banyak diterapkan di seluruh dunia pada wilayah pesisir yang rentan, untuk menggantikan struktur keras dengan cara dan biaya yang lebih efektif. Namun, teknik ini hanya akan berhasil jika diterapkan dengan benar. Struktur *permeabel* baru perlu ditempatkan di ujung arah laut setelah sedimen sudah cukup banyak terperangkap di

pantai dan sudah memenuhi jumlah lahan yang tereklamasi.

Energi Gelombang

Energi total yang terkandung dalam gelombang terdiri dari dua jenis: energi potensial, yang dihasilkan dari pergerakan permukaan secara naik turun dan energi kinetik, karena partikel air di seluruh cairan bergerak. Total energi dan transmisi ini sangat penting untuk menentukan bagaimana penjalaran gelombang ke pantai, daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan gelombang, dan daya yang tersedia untuk alat penangkap energi gelombang.



Gambar 4 Pergerakan muka air yang bergerak perlahan untuk kasus refleksi yang hampir sempurna (Dean & Dalrymple, 1984)

Energi potensial

Energi potensial yang terjadi di gelombang air merupakan hasil dari pergerakan massa air dari titik ekuilibrium terhadap medan gravitasi. Bila muka air dalam kondisi diam dengan kondisi elevasi permukaan yang seragam, dapat ditunjukkan bahwa energi potensial minimum. Namun, perpindahan penumpukan partikel yang mengakibatkan perpindahan permukaan bebas akan mengharuskan gaya bekerja dan mengakibatkan peningkatan energi potensial.

Energi potensial akibat gelombang adalah perbedaan antara energi potensial dengan gelombang yang ada dan tanpa adanya gelombang, yaitu

$$(\overline{PE})_{waves} = (\overline{PE})_T + (\overline{PE})_{w/o} \dots\dots\dots(1)$$

Atau

$$(\overline{PE}) = (\overline{PE})_{waves} = \frac{\rho g H^2}{16} \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- PE = energi potensial gelombang
- ρ = Massa jenis air laut
- H = Ketinggian gelombang

Energi Kinetik

Energi kinetik disebabkan oleh partikel air yang bergerak; Energi kinetik yang terkait dengan satu kotak kecil cairan dengan massa *dm* ini

$$d(KE) = dm \frac{u^2+w^2}{2} = \rho dx dz \frac{u^2+w^2}{2} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan di intergralkan persamaan dapat disimpifikasi menjadi.

$$\overline{KE} = \frac{1}{16} \rho g H^2 \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

- KE = energi kinetik gelombang
- ρ = Massa jenis air laut
- H = Ketinggian gelombang

Ini sama dengan besarnya energi potensial, yang merupakan karakteristik sistem konservatif (*nondissipative*) pada umumnya. Total energi rata-rata per satuan luas permukaan gelombang adalah jumlah energi potensial dan kinetik. Menunjukkan *E* sebagai total energi rata-rata per satuan luas permukaan

$$\begin{aligned} E &= \overline{PE} + \overline{KE} \\ &= \frac{\rho g H^2}{16} + \frac{1}{16} \rho g H^2 \\ &= \frac{1}{8} \rho g H^2 \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

dimana:

- E = energi total rata-rata persatuan luas gelombang
- ρ = Massa jenis air laut
- H = Ketinggian gelombang

Energi Total

Total energi per gelombang per satuan lebar kemudian sederhana

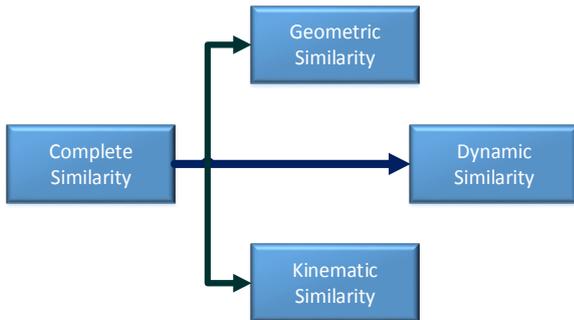
$$E_L = \frac{1}{8} \rho g H^2 L \dots\dots\dots(6)$$

Hal ini bermanfaat untuk menekankan bahwa baik potensi rata-rata (di atas panjang gelombang) maupun energi kinetik per satuan luas bergantung pada kedalaman air atau panjang gelombang, namun masing-masing hanya sebanding dengan kuadrat tinggi gelombang (Dean & Dalrymple, 1984).

Pemodelan Fisik Laboratorium

Permodelan dilakukan untuk memecahkan masalah karena adanya keterbatasan pada suatu *prototype*. Pemodelan fisik dilakukan apabila fenomena dari permasalahan yang ada pada prototipe sulit untuk diperoleh karena berbagai keterbatasan. Studi lapangan dapat menyediakan data yang akurat, tetapi biasanya membutuhkan biaya yang tinggi dan memuat *variable* alam yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data. Dengan model fisik, hal tersebut dapat divisualisasikan dan dapat dijamin keakuratannya. Hasil visualisasi tersebut mungkin merupakan hal yang tidak bisa dihasilkan secara teoritis atau dengan menggunakan perhitungan komputer (Hughes, 1993).

Model fisik mensyaratkan keserupaan antara keadaan di alam/*prototype* dan di model. Terkait dengan hal tersebut, keserupaan dapat didefinisikan bahwa sebuah model fisik dan *prototype*-nya tidak hanya sama secara geometri tetapi juga harus serupa secara kinematik dan dinamik.



Gambar 5 Syarat keserupaan model fisik

Syarat - syarat keserupaan adalah:

1 Keserupaan geometri

Keserupaan geometri bersangkutan dengan dimensi panjang {L} dan harus dipastikan sebelum pengujian model yang masuk akal dapat berlangsung. Definisi sebagai berikut: Sebuah model dan prototipe adalah serupa secara geometri jika dan hanya jika semua ukuran benda dalam ketiga koordinatnya mempunyai nisbah skala-linear yang sama (Munson, Young, & Okiishi, 2003). Syarat keserupaan geometri ialah bahwa semua titik yang homolog mempunyai nisbah skala-linear yang sama. Ini berlaku baik untuk

geometri fluida maupun untuk geometri model: Semua sudut dan semua arah aliran dipertahankan dalam keserupaan geometri Kiblat model dan prototipe terhadap sekelilingnya harus identik

Kita asumsikan seluruh satuan panjang di alam/prototipe (Ln) dan pada model (Lm) memiliki perbandingan NL atau kita sebut sebagai faktor skala:

$$N_L = \frac{L_n}{L_m} \dots\dots\dots(7)$$

Maka, skala model adalah kebalikan dari faktor skala, yaitu 1/NL Selanjutnya, perbandingan (rasio) dari luasan (NA) dan volume (NV) dapat dihitung sbb:

$$N_A = N_L^2 = \frac{L_n^2}{L_m^2}, N_V = N_L^3 = \frac{L_n^3}{L_m^3} \dots\dots\dots(8)$$

Model-model dengan keserupaan geometri adalah takterdistorsi (undistorted) di mana factor skala adalah selalau sama untuk kedua arah horizontal (NL) dan vertikal (Nh)

$$N_L = N_h \dots\dots\dots(9)$$

Oleh karena itu, untuk model distorsi: NL ≠ Nn

Keserupaan geometri diperlukan dalam model fisik, namun pemenuhan keserupaan geometri saja pada sebuah model fisik belum cukup

2 Keserupaan Kinematik

Keserupaan kinematik lebih relevan dibanding keserupaan geometri karena keserupaan kinematik mensyaratkan pergerakan partikel pada sebuah medan aliran harus sama pada prototipe dan model. Dengan kata lain, aspek waktu di alam (tn) dan di model (tm) harus sejalan dalam sebuah rasio yang konstan:

$$N_t = \frac{t_n}{t_m} \dots\dots\dots(10)$$

Maka, faktor skala untuk kecepatan, Nv dan percepatan Na dapat ditentukan sbb:

$$N_V = \frac{V_n}{V_m} = \frac{L_n/t_n}{L_m/t_m} = \frac{L_n/L_m}{t_n/t_m} = \frac{N_L}{N_t}$$

$$N_a = \frac{a_n}{a_m} = \frac{L_n/t_n^2}{L_m/t_m^2} = \frac{L_n/L_m}{(t_n/t_m)^2} = \frac{N_L}{N_t^2}$$

Keserupaan kinematik diperlukan dalam model fisik. Namun, pemenuhan keserupaan kinematik saja pada sebuah model fisik ternyata belum cukup

3 Keserupaan Dinamik

Aspek yang sangat penting dan belum dibahas dalam keserupaan geometri dan kinematik adalah aspek karakteristik fluida. Artinya, jika fluida yang digunakan di prototype dan di model adalah fluida yang sama, maka gaya-gaya yang bekerja pada medan aliran tidak dapat dipastikan keserupaannya. Artinya, keserupaan kinematik yang telah dibahas di atas hanya dapat terpenuhi jika percobaan model fisik tersebut dikerjakan pada fluida yang berbeda dengan di alam/prototipe. Persyaratan tambahan ini yang merupakan keserupaan gaya-gaya antara model dan alam disebut keserupaan dinamik. Keserupaan dinamik yang menyeluruh antara dua sistem dengan keserupaan geometrik dan kinematik membutuhkan keserupaan perbandingan seluruh vektor - vektor gaya yang bekerja pada kedua sistem tersebut (Chanson, 1999). Formulasi dari keserupaan dinamika berdasarkan pada Hukum NEWTON ke-2 yang menghasilkan persamaan keseimbangan gaya-gaya hidrodinamika sbb:

$$\vec{F}_l = \vec{F}_g + \vec{F}_\mu + \vec{F}_\sigma + \vec{F}_E + \vec{F}_\rho \dots \dots \dots (11)$$

\vec{F}_l = gaya inersia
 \vec{F}_g = gaya grafitasi
 \vec{F}_μ = gaya friksi
 \vec{F}_σ = gaya tegangan permukaan
 \vec{F}_E = gaya kompresi elastik
 \vec{F}_ρ = Gaya tekanan

Sehingga, keserupaan dinamik di model dan di prototype mensyaratkan:

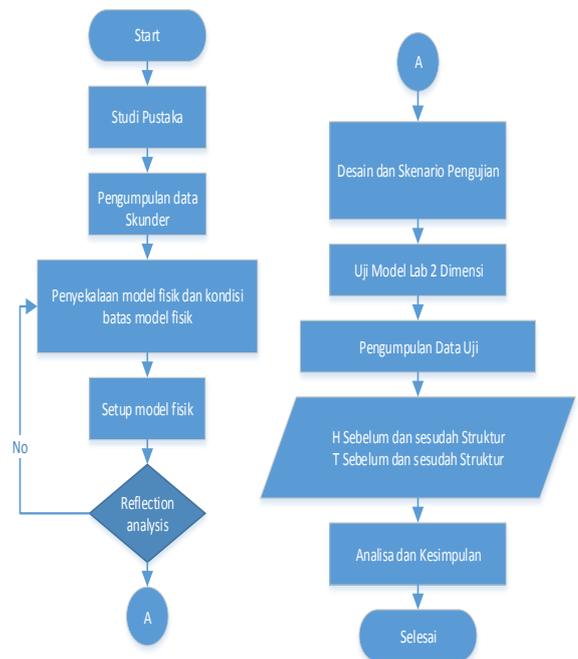
$$\frac{(\vec{F}_l)_n}{(\vec{F}_l)_m} = \frac{(\vec{F}_g + \vec{F}_\mu + \vec{F}_\sigma + \vec{F}_E + \vec{F}_\rho)_n}{(\vec{F}_g + \vec{F}_\mu + \vec{F}_\sigma + \vec{F}_E + \vec{F}_\rho)_m} \dots \dots \dots (12)$$

METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan dengan melakukan model fisik, di saluran flume kaca. Permodelan fisik dilakukan untuk memecahkan masalah karena adanya keterbatasan pada suatu

prototype (Hughes, 1993), seperti kerbatasan dalam ketelitian antara prototype dengan model fisik sehingga untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan teliti dilakukan permodelan fisik.

Permodelan fisik dilakukan untuk mengetahui perubahan karekteristik transformasi perubahan ketinggian gelombang terhadap struktur *Permeable Breakwater*. Untuk mengetahui perubahan transmisi gelombang disusun beberapa skenario model. berupa skematisasi dengan merubah karakteristik *brushwood groin* (lebar dan ketinggian) terhadap ketinggian muka air. Pengubah yang akan diamati adalah tinggi datang H_i , gelombang transmisi H_t terhadap bentuk struktur breakwater. Skenario model dengan variasi ketinggian struktur, ketinggian muka air, periode gelombang, dan lebar struktur.



Gambar 6 Alur pikir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap persiapan ini terdiri dari 3 bagian, yaitu:

1. Persiapan bahan percobaan dilakukan dengan mengumpulkan bahan berupa bambu dengan diameter 1 - 4 cm dan bambu dengan diameter 8 - 12 cm sebagai tiang penyangga
2. Persiapan peralatan laboratorium agar dapat berfungsi dengan baik. Pelaksanaan uji coba dilakukan di Laboratorium Balai penelitian dan Pengembangan pantai di Buleleng Bali, BALITBANG Kementerian PU-PR. Saluran kaca

memiliki panjang 40 m, lebar 0,6 m dan tinggi 1,2 m. Dengan variasi penempatan struktur pada saluran kaca, area uji model yang bisa dimanfaatkan sepanjang 34 m. Saluran Gelombang (*Wave Flume*). Dengan mesin pembangkit gelombang tipe piston yang digerakan oleh motor listrik yang mampu membangkitkan gelombang regular sampai dengan ketinggian 25 cm, periode 1 – 2,6 detik. Peredam gelombang yang terpasang pada saluran kaca terbuat dari tumpukan batu kosong

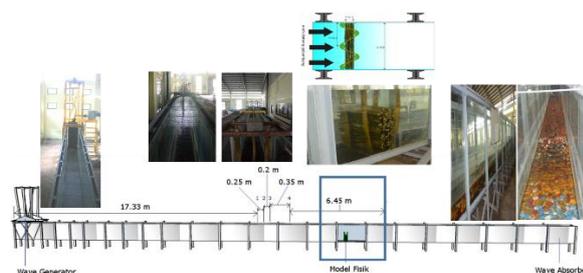
3. Persiapan alat pengukuran dan *processing data* di Laboratorium Balai Pantai telah dilakukan secara digital. Untuk parameter gelombang, jenis pengukuran yang dilakukan di antaranya: tinggi (H) dan periode gelombang (T). Prinsip kerja alat ukur dari *wave probe* adalah dengan melihat perbedaan voltase listrik sepanjang batang alat ukur yang terendam air dan tidak terendam air. Perbedaan voltase kemudian dikonversi menjadi ketinggian air atau h. sehingga sebelum dilakukan uji coba harus dilakukan kalibrasi sebelum pengukuran. Pada penelitian ini menggunakan empat buah *wave probe*. Posisi *wave probe* di tempatkan dua sebelum struktur dan dua sesudah struktur kemudian keempat *wave probe* akan disambungkan dengan data *Acquisition* untuk menggabungkan hasil pengukuran dari *wave probe*.

Pada penelitian ini dilakukan kajian perubahan karakteristik transformasi gelombang terhadap *Permeable Breakwater*. Skenario model dilakukan dengan mengubah karakter skematisasi. Skenario model dilakukan dengan merubah karakteristik *brushwood groin* (lebar *b* dan ketinggian *h*) terhadap ketinggian muka air *d* dan periode gelombang *T*.

Simulasi model gelombang yang dilakukan dengan menggunakan *regular wave*. *Wave flume* dilengkapi *wave absorber* di belakang struktur, yang mana tujuan pembuatan struktur tersebut untuk meredam gelombang agar tidak terefleksikan. Dengan demikian, pembacaan muka air oleh *wave probe* di belakang struktur tidak terpengaruh oleh gelombang refleksi. Pemasangan alat ukur gelombang (*wave probe*) sejumlah lima buah alat ukur, dimana empat *wave probe* di depan struktur (kita definisikan sebagai *wave probe* 1 sampai 4) dan satu *wave probe* di belakang struktur (*wave probe* 5).

Percobaan model fisik dilakukan di saluran kaca yang mana gelombang yang dibangkitkan dengan menggunakan generator tipe piston. Di bagian belakang struktur terdapat *wave absorber*

dibangun dengan panjang 10 meter dan kemiringan 6% (1:17) dibangun dengan bahan dari kerikil kasar dan dengan lapisan luar dengan roster bata (lubang angin) sebagai peredam gelombang. Sangat penting dalam pemodelan fisik bahwa energi gelombang yang sampai di ujung saluran kaca tidak terpantulkan kembali ke *wave probe* yang ada di belakang struktur karena akan berpengaruh terhadap ketinggian gelombang yang dibaca oleh *wave probe* tersebut. Apabila tidak ada *wave absorber* maka gelombang yang dipantulkan akan menjadi acak dan biasanya terjadi amplifikasi ketinggian gelombang. Dengan adanya *wave absorber* dapat menghasilkan sinyal yang konsisten sepanjang percobaan dan dalam interpersasi data akan semakin lebih mudah.



Gambar 7 Penempatan *Wave Generator* 1-5, *Wave Probe* dan *Wave Absorber*

Dengan memperoleh tinggi muka air di setiap *channel wave probe* maka akan dapat diketahui besarnya tinggi dan periode gelombang. Menurut Triatmodjo, B. (1999) penentuan besarnya tinggi gelombang dapat dilakukan dengan metode *zero up-crossing* yang mana satu tinggi gelombang terdiri dari satu tinggi muka air puncak dan satu tinggi muka air lembah yang melewati *still water level* (SWL). Hasil percobaan dan pembahasan.

Data hasil percobaan

Pengambilan data di laboratorium dengan menggunakan *wave probe* yang mana *wave probe* ini menggunakan prinsip mengukur konduktivitas listrik antara dua kabel paralel. Hal ini dilakukan dengan menggunakan konduktivitas air untuk menghasilkan hambatan yang akan dibaca oleh *data logger* dan akan diubah ke dalam bentuk ketinggian muka air atau gelombang. Pengambilan data percobaan Model fisik *permeable groin* dilakukan selama lima menit untuk setiap skenario percobaan. Kondisi skenario mewakili tiga kondisi bangunan yaitu muka air lebih rendah dari struktur, muka air sama dengan struktur, dan muka air lebih tinggi dari struktur.

Setelah data dikumpulkan, dengan menggunakan data analisis HR DAQ digunakan untuk melakukan sejumlah analisis. Fasilitas

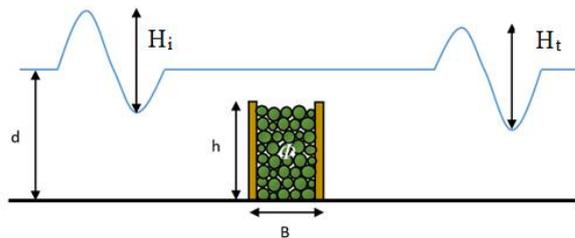
analisis memproses data berdasarkan sejumlah pilihan. Program utama analisis menggunakan dua fungsi analisis, analisis spektral *Fast Fourier Transform* dan yang lainnya bersifat statistik. File hasil analisis mencakup ringkasan kondisi pengujian, pemeriksaan validasi data, dan parameter statistik dan spektral selain tabel parameter berikut:

- 1 Frekuensi dan periode
- 2 Densitas energi
- 3 m_0 , m_2 , dan m_4
- 4 $H_{1/3}$
- 5 T_m

Selama analisis, tren data dapat dihapus dan dapat difilter dengan menggunakan filter (*low pass* atau *high pass*).

Parameter Tak Berdimensi

Untuk mendapatkan hubungan antar parameter yang berpengaruh pada proses peredaman energi gelombang blok beton berkait, dipergunakan analisa dimensi dengan metode Buckingham. Faktor-faktor yang diperkirakan berpengaruh terhadap transmisi dan refleksi gelombang antara lain:



Gambar 8 Parameter breakwater dan gelombang

dimana:

- K_t : transmisi gelombang
 d : kedalaman air
 h : tinggi puncak bangunan dari dasar
 B : lebar puncak
 H_i : tinggi gelombang datang
 H_t : tinggi gelombang setelah struktur
 g : gravitasi
 T : periode gelombang
 Φ : porositas

Dari pengelompokan parameter di atas ada 8 parameter dengan 2 parameter dasar sehingga akan diperoleh (8-2) bilangan tak dimensi. Dipilih h_i dan g sebagai variabel berulang dengan pangkat yang tidak diketahui dan ditetapkan suku π sebagai berikut:

$$\pi_1 = H_i^{a_1} g^{b_1} K_t$$

$$\pi_2 = H_i^{a_2} g^{b_2} d$$

$$\pi_3 = H_i^{a_3} g^{b_3} h$$

$$\pi_4 = H_i^{a_4} g^{b_4} T$$

$$\pi_5 = H_i^{a_5} g^{b_5} B$$

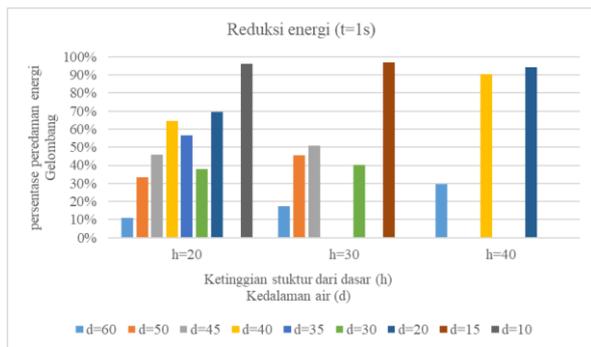
ANALISA DAN PEMBAHASAN

Perhitungan energi gelombang pada percobaan ini dengan menghitung energi gelombang di *Wave Probe* (WP) 1 dan WP 5. Ketinggian gelombang WP1 dianggap sebagai energi gelombang datang dan WP5 merupakan energi gelombang setelah struktur. Reduksi energi didapatkan dengan menghitung perbandingan energi gelombang dan energi gelombang setelah struktur.

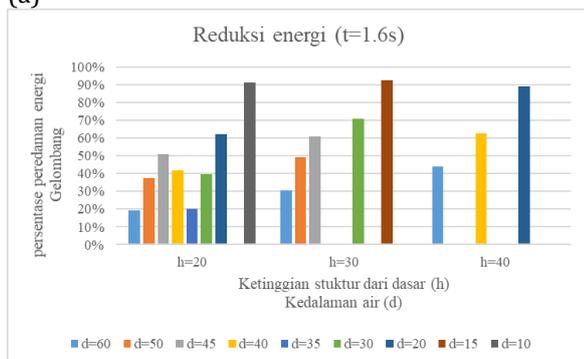
Untuk lebar struktur ($B = 15$ cm) ketinggian struktur ($h = 20$ cm) dengan variasi kedalaman muka air ($d = 60, 50, 45, 40, 35, 30, 20$ dan 10 cm). Di saat $d = 60$ cm dan $T = 1$ s peredaman energi sekitar 11% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $d = 40$ peredaman energi sekitar 65% kemudian pada saat $d=35$ peredaman energi berkurang menjadi 57% dan menjadi 38% saat $d=30$ cm, sedangkan pada saat $d=h=20$ cm peredaman energi menjadi 70 % dan semakin meningkat dengan berkurangnya kedalaman rata-rata peredaman energi untuk masing-masing kedalaman untuk lebar $B=15$, $h=20$, dan $T=1$ s adalah 52%.

Pada waktu $d=60$ cm dan $T=1.6$ s peredaman energi sekitar 19% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $d=45$ peredaman energi sekitar 51% kemudian pada saat $d=35$ peredaman energi berkurang menjadi 20% dan menjadi 40% saat $d=30$ cm sedangkan pada saat $d=h=20$ cm peredaman energi menjadi 62 % dan semakin meningkat dengan berkurangnya kedalaman. rata-rata peredaman energi untuk masing-masing kedalaman untuk lebar $B=15$, $h=20$, $T=1.6$ adalah 45%.

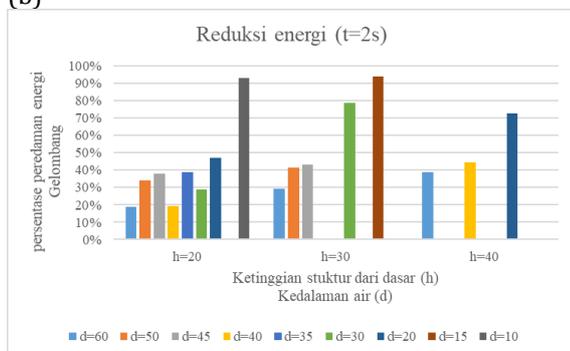
Pada waktu $d=60$ cm dan $T=2$ s peredaman energi sekitar 19% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $d=45$ peredaman energi sekitar 38% kemudian pada saat $d=40$ peredaman energi berkurang menjadi 19% dan menjadi 39% saat $d=35$ cm sedangkan pada saat $d=h=20$ cm peredaman energi menjadi 47 % dan semakin meningkat dengan berkurangnya kedalaman. rata-rata peredaman energi untuk masing-masing kedalaman untuk lebar $B=15$, $h=20$, $T=2$ s adalah 40%.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9 Grafik reduksi energi gelombang untuk lebar struktur 15 cm dengan perioda = 1s (a), 1,6s (b), dan 2s (c)

Untuk lebar struktur ($B = 15$ cm) ketinggian struktur ($h=30$ cm) dengan variasi kedalaman muka air ($d= 60, 50, 45, 30,$ dan 15 cm). disaat $d=60$ cm dan $T=1$ s peredaman energi sekitar 17% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=30$ peredaman energi menurun sekitar 40% kemudian pada saat $d =15$ cm peredaman energi menjadi 97%. rata-rata peredaman energi untuk masing-masing kedalaman untuk lebar $B=15, h=30, T=1$ s adalah 50%.

Pada saat $d=60$ cm dan $T=1.6$ s peredaman energi sekitar 17% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=30$ peredaman sekitar 71% kemudian pada saat $d =15$ cm peredaman energi menjadi 92%.

Dimana peredaman energi semakin meningkat dengan berkurangnya kedalaman. rata-rata peredaman energi untuk masing-masing kedalaman untuk lebar $B=15, h=30, T=1.6$ s adalah 61%.

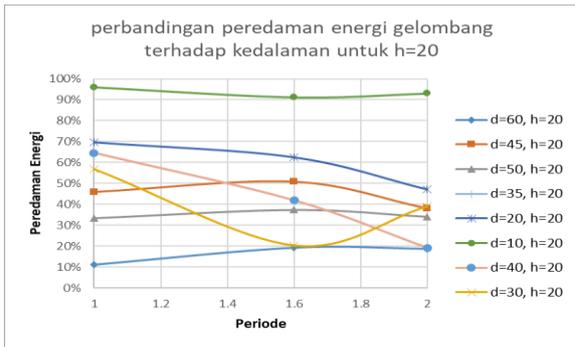
Pada saat $d=60$ cm dan $T=2$ s peredaman energi sekitar 39% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=30$ peredaman sekitar 79% kemudian pada saat $d =15$ cm peredaman energi menjadi 94%. Dimana peredaman energi semakin meningkat dengan berkurangnya kedalaman rata-rata peredaman energi untuk masing-masing kedalaman untuk lebar $B=15, h=30, T=2$ s adalah 57%.

Untuk lebar struktur ($B = 15$ cm) ketinggian struktur ($h=40$ cm) dengan variasi kedalaman muka air ($d= 60, 40,$ dan 20 cm). disaat $d=60$ cm dan $T=1$ s peredaman energi sekitar 30% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=40$ peredaman energi menurun sekitar 90% kemudian pada saat $d =20$ cm peredaman energi menjadi 94%. rata-rata peredaman energi untuk masing-masing kedalaman untuk lebar $B=15, h=40, T=1$ s adalah 71%.

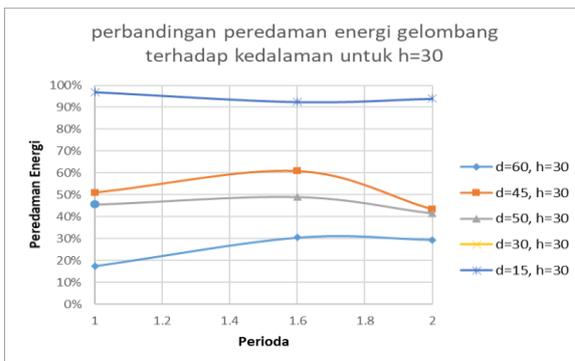
Disaat $d=60$ cm dan $T=1.6$ s peredaman energi sekitar 44% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=40$ peredaman energi menurun sekitar 63% kemudian pada saat $d =20$ cm peredaman energi menjadi 89% rata-rata peredaman energi untuk masing-masing kedalaman untuk lebar $B=15, h=40, T=1.6$ s adalah 65%.

Disaat $d=60$ cm dan $T=2$ s peredaman energi sekitar 39% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=40$ peredaman energi menurun sekitar 44% kemudian pada saat $d =20$ cm peredaman energi menjadi 73% rata-rata peredaman energi untuk masing-masing kedalaman untuk lebar $B=15, h=40, T=2$ s adalah 52%.

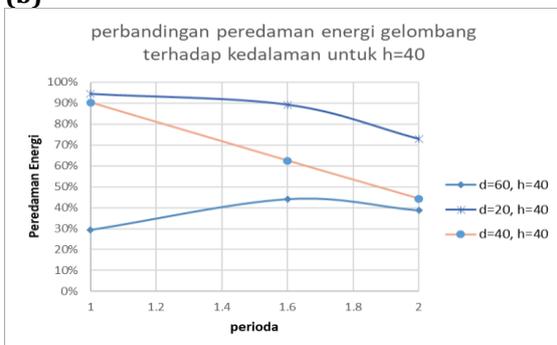
Dari Gambar 10, diperoleh peredaman energi gelombang tertinggi dengan ketinggian struktur $h=20$ cm terjadi pada saat kedalaman $d=10$ cm. Dimana pada saat tersebut kondisi perairan $d= \frac{1}{2} h$, begitu juga pada saat kondisi $h=30$ dan 40 peredaman energi tertinggi diperoleh pada saat kondisi $d= \frac{1}{2} h$. pada kondisi $d=h=20$ cm peredaman energi relatif menurun dengan meningkatnya periode gelombang.



(a)



(b)

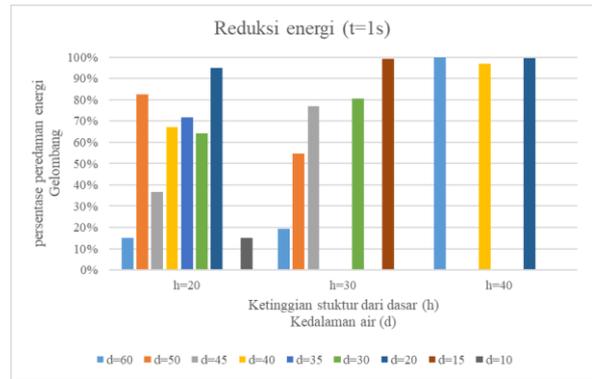


(c)

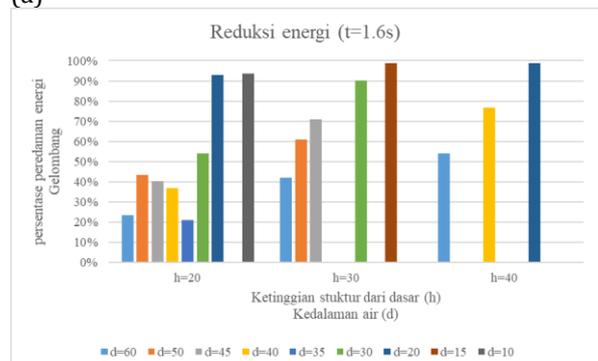
Gambar 10 Perbandingan peredaman energi untuk tiap periode perkedalaman pada saat $B=15$ dengan kedalaman perairan (h) = 20 cm (a), h = 30 cm (b), dan h = 40 cm (c)

Energi peredaman gelombang relatif meningkat dengan berkurangnya kedalaman dan pada umumnya pada saat $T=1,6$ s energi gelombang akan meningkat dan akan turun pada saat $T=2$ tetapi nilai $T=2>T=1$. Tetapi berbeda pada saat $d=40$ dan $d=30$ yang mana energi di $T=1>T=1,6$ s.

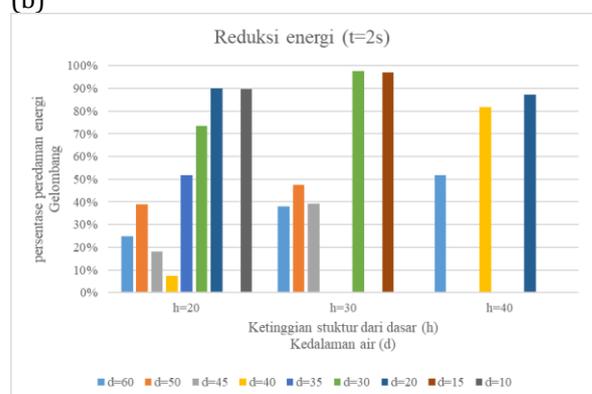
Nilai reduksi energi peredaman gelombang untuk lebar struktur 15 cm dengan ketinggian 20 cm adalah sebesar 46%. Untuk variasi ketinggian struktur 30 cm peredaman energi sebesar 56%, sedangkan untuk ketinggian struktur 40 cm peredaman energi sebesar 63%.



(a)



(b)



(c)

Gambar 11 Grafik reduksi energi gelombang untuk lebar struktur 30 cm dengan periode = 1s (a), 1,6s (b), dan 2s (c)

Untuk lebar struktur ($B = 30$ cm) ketinggian struktur ($h=20$ cm) dengan variasi kedalaman muka air ($d = 60, 50, 45, 40, 35, 30, 20$ dan 10 cm). Di saat $d=60$ cm dan $T=1$ s peredaman energi sekitar 15% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Di saat $d=50$ peredaman energi meningkat secara signifikan mencapai 82%. Pada saat $d=45$ peredaman energi turun menjadi 37% kemudian meningkat dengan berkurangnya kedalaman. Pada saat $d=10$ peredaman energi berkurang menjadi 15%. Peredaman energi tertinggi terjadi pada saat $d=20$ yaitu sebesar 95%, rata-rata peredaman energi untuk masing-masing kedalaman untuk lebar $B=30, h=20, T=1$ adalah 56%.

Pada waktu $d=60$ cm dan $T=1,6s$ peredaman energi sekitar 23% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Di saat $d=50$ peredaman menjadi 40 % dan menurun lagi hingga $d=35$ yaitu menjadi 21% yang kemudian peredaman energi meningkat menjadi 45 saat $d=30$ dan mencapai puncaknya di saat $d=20$ yaitu sebesar 93%. Rata-rata peredaman energi untuk masing kedalaman untuk $B=30$, $h=20$, $T=1,6$ adalah 51%.

Pada waktu $d=60$ cm dan $T=2s$ peredaman energi sekitar 25% disaat $d=50$ peredaman energi meningkat menjadi 50% dan untuk $d=45$ peredaman energi semakin menurun hingga mperedaman energi terendah sekitar 7% untuk $d=40$ kemudian peredaman energi meningkat lagi dari $d=35$ samoai dengan $d=10$. Peredaman energi maksimal terjadi pada saat $d=20$ dan $d=10$ dimana peredaman nergi mencapai 90%. Peredamaan energi rata-rata untuk $B=30$, $h=20$, $T=2$ adalah sekitar 49%.

Untuk lebar struktur ($B = 30$ cm) ketinggian struktur ($h=30$ cm) dengan variasi kedalaman muka air ($d= 60, 50, 45, 30,$ dan 15 cm). disaat $d=60$ cm dan $T=1s$ peredaman energi sekitar 19% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=30$ peredaman energi menurun sekitar 81% kemudian pada saat $d =15$ cm peredaman energi menjadi 99%. Rata-rata peredaman energi untuk $B=30$, $h=30$, $T=1s$ adalah 66%.

Pada saat $d=60$ cm dan $T=1.6$ s peredaman energi sekitar 42% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=30$ peredaman sekitar 90% kemudian pada saat $d =15$ cm peredaman energi menjadi 99%. Dimana peredaman energi semakin meningkat dengan berkurangnya kedalaman. Rata-rata peredaman energi untuk $B=30$, $h=30$, $T=1.6s$ adalah 73%.

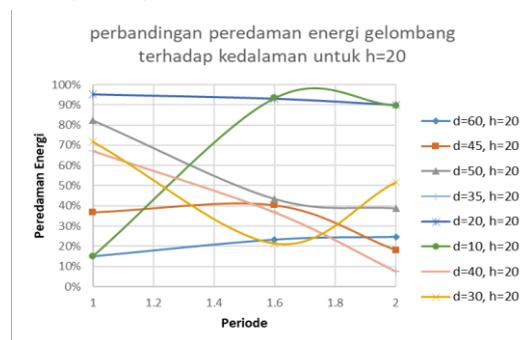
Pada saat $d=60$ cm dan $T=2$ s peredaman energi sekitar 38% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=30$ peredaman sekitar 98% kemudian pada saat $d =15$ cm peredaman energi menjadi 97%. Dimana peredaman energi semakin meningkat dengan berkurangnya kedalaman Rata-rata peredaman energi untuk $B=30$, $h=30$, $T=2s$ adalah 64%.

Untuk lebar struktur ($B = 30$ cm) ketinggian struktur ($h=40$ cm) dengan variasi kedalaman muka air ($d= 60, 40,$ dan 20 cm). disaat $d=60$ cm dan $T=1s$ peredaman energi sekitar 99% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=40$ peredaman energi menurun sekitar 97% kemudian pada saat $d =20$ cm peredaman energi menjadi 99%. Rata-

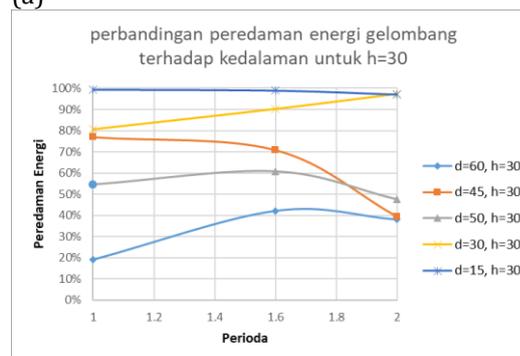
rata peredaman energi untuk $B=30$, $h=40$, $T=1s$ adalah 99%.

Disaat $d=60$ cm dan $T=1.6s$ peredaman energi sekitar 54% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=40$ peredaman energi menurun sekitar 77% kemudian pada saat $d =20$ cm peredaman energi menjadi 99%. Rata-rata peredaman energi untuk $B=30$, $h=40$, $T=1.6s$ adalah 77%.

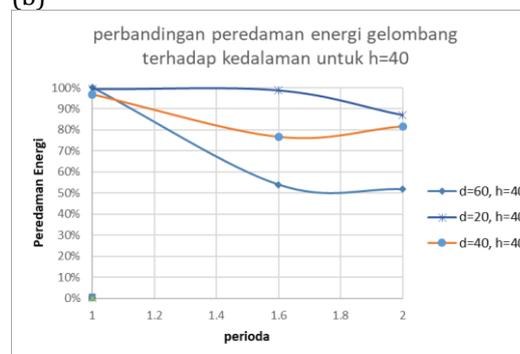
disaat $d=60$ cm dan $T=2s$ peredaman energi sekitar 52% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=40$ peredaman energi meningkat sekitar 82% kemudian pada saat $d =20$ cm peredaman energi menjadi 87%. Rata-rata peredaman energi untuk $B=30$, $h=40$, $T=2s$ adalah 74%.



(a)



(b)



(c)

Gambar 12 Perbandingan peredaman energi untuk tiap periode perkedalama pada saat $B=30$ dengan kedalaman perairan (h) = 20 cm (a), $h = 30$ cm (b), dan $h = 40$ cm (c)

Dari Gambar 12, diperoleh peredaman energi gelombang tertinggi dengan ketinggian struktur $h=20$ cm terjadi pada saat kedalaman $d=20$ cm, dimana pada saat tersebut kondisi perairan $d= \frac{1}{2} h$, dan saat $d=10$ cm begitu juga pada saat kondisi $h=30$ dan $h=40$ peredaman energi tertinggi diperoleh pada saat kondisi $d= \frac{1}{2} h$. pada kondisi $d=h=20$ cm peredaman energi relative menurun dengan meningkatnya periode gelombang. Sedangkan pada kondisi $d=30, h=30$ peredaman energi meningkat dengan meningkatnya periode

sedangkan untuk ketinggian struktur 40 cm peredaman energi sebesar 83%.

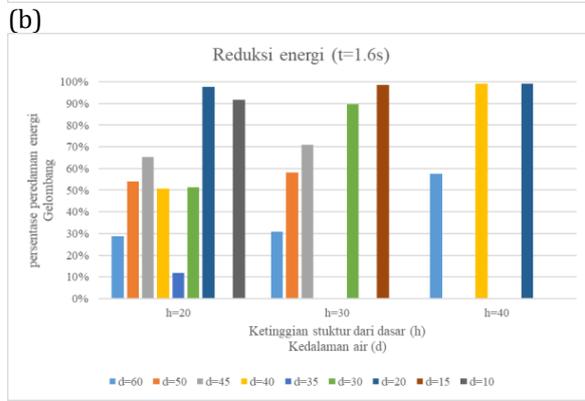
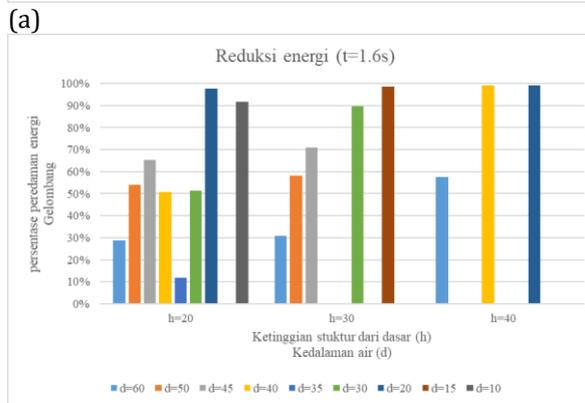
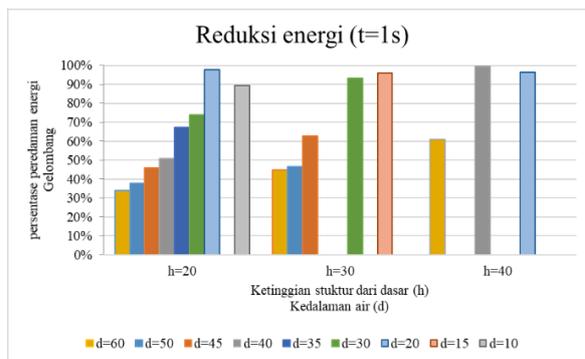
Untuk lebar struktur ($B = 15$ cm) ketinggian struktur ($h=20$ cm) dengan variasi kedalaman muka air ($d= 60, 50, 45, 40, 35, 30, 20$ dan 10 cm). disaat $d=60$ cm dan $T=1$ s peredaman energi sekitar 19% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan, peredaman maksimum diperoleh pada saat $d=20$ yaitu sebesar 99%. Sedangkan pada saat $d=10$ peredaman energi berkurang menjadi 88%. Rata-rata peredaman energi untuk $B=45, h=20$, dan $T=1$ s adalah 67%.

Pada waktu $d=60$ cm dan $T=1.6$ s peredaman energi sekitar 29% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $d=45$ peredaman energi sekitar 65% kemudian pada saat $d=40$ peredaman energi berkurang menjadi 51% dan menjadi 12% saat $d=35$ cm sedangkan pada saat $d=h=20$ cm peredaman energi menjadi 97 % dan pada saat $d=10$ peredaman energi menjadi 92%. Rata-rata peredaman energi untuk $B=45, h=20$, dan $T=1.6$ s adalah 56%.

Pada waktu $d=60$ cm dan $T=2$ s peredaman energi sekitar 32%, pada saat kedalaman $d=50$ peredaman energi meningkat mejadi 48% kemudian disaat $d=45$ peredaman energi berkurang sekitar 42% kemudian pada saat $d=40$ peredaman energi semakin berkurang menjadi 22%. Peningkatan peredaman energi terjadi saat $d=30$ peredaman energi menjadi 72% dan terus meningkat dengan bertambahnyakedalaman. Pada saat $d=20$ peredaman energi menjadi 93% dan pada saat $d=10$ peredaman berkurang menjadi 87%. Rata-rata peredaman energi untuk $B=45, h=20$, dan $T=2$ s adalah 51%

Untuk lebar struktur ($B = 45$ cm) ketinggian struktur ($h=30$ cm) dengan variasi kedalaman muka air ($d= 60, 50, 45, 30$, dan 15 cm). disaat $d=60$ cm dan $T=1$ s peredaman energi sekitar 30% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=45$ peredaman energi menurun sekitar 68% kemudian pada saat $d =15$ cm peredaman energi menjadi 98%. Rata-rata peredaman energi untuk $B=45, h=30$, dan $T=1$ s adalah 67%

Pada saat $d=60$ cm dan $T=1.6$ s peredaman energi sekitar 31% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=30$ peredaman sekitar 90% kemudian pada saat $d =15$ cm peredaman energi menjadi 98%. Dimana peredaman energi semakin meningkat dengan berkurangnya kedalaman. Rata-rata peredaman energi untuk $B=45, h=30$, dan $T=1.6$ s adalah 70%.

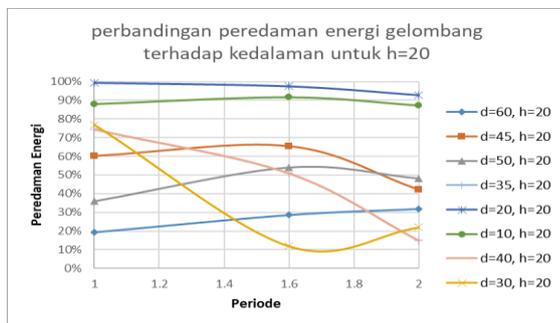


(c) **Gambar 13** Grafik reduksi energi gelombang untuk lebar struktur 45 cm dengan perioda = 1s (a), 1,6s (b), dan 2s (c)

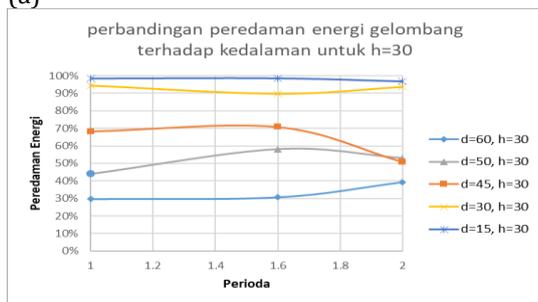
Nilai reduksi energi peredaman gelombang untuk lebar struktur 30 cm dengan ketinggian 20 cm adalah sebesar 52%. Untuk variasi ketinggian struktur 30 cm peredaman energi sebesar 68%,

Pada saat $d=60$ cm dan $T=2$ s peredaman energi sekitar 39%, untuk $d=50$ peredaman energi menjadi 53% dan berkurang sebesar 2% menjadi 52% semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=30$ peredaman energi sekitar 94% kemudian pada saat $d =15$ cm peredaman energi menjadi 97%. Rata-rata peredaman energi untuk $B=45$, $h=30$, dan $T=2$ s adalah 67%.

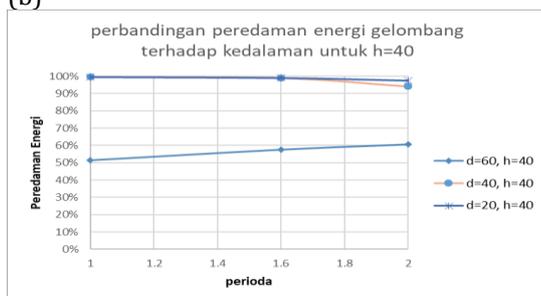
Untuk lebar struktur ($B = 15$ cm) ketinggian struktur ($h=40$ cm) dengan variasi kedalaman muka air ($d= 60, 40,$ dan 20 cm). disaat $d=60$ cm dan $T=1$ s peredaman energi sekitar 51% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=40$ peredaman energi menurun sekitar 99% kemudian pada saat $d =20$ cm peredaman energi menjadi 99%. Rata-rata peredaman energi untuk $B=45$, $h=40$, dan $T=2$ s adalah 84%.



(a)



(b)



(c)

Gambar 14 Perbandingan peredaman energi untuk tiap periode perkedalaman pada saat $B=45$ dengan kedalaman perairan (h) = 20 cm (a), $h = 30$ cm (b), dan $h = 40$ cm (c)

Tabel 1 Rekapitulasi peredaman energi untuk masing-masing kondisi

Lebar Struktur (B)	Periode Gelombang (T)	Ketinggian struktur (h)	Peredaman energi gelombang (...)
B1 (15 cm)	T1 (1 s)	h=20	52%
		h=30	50%
		h=40	71%
	T2 (1.6 s)	h=20	45%
		h=30	61%
		h=40	65%
	T3 (2 s)	h=20	40%
		h=30	57%
		h=40	52%
B2 (30 cm)	T1 (1 s)	h=20	56%
		h=30	66%
		h=40	99%
	T2 (1.6 s)	h=20	51%
		h=30	73%
		h=40	77%
	T3 (2 s)	h=20	49%
		h=30	64%
		h=40	74%
B3 (40 cm)	T1 (1 s)	h=20	67%
		h=30	67%
		h=40	84%
	T2 (1.6 s)	h=20	56%
		h=30	70%
		h=40	85%
	T3 (2 s)	h=20	51%
		h=30	67%
		h=40	84%

Disaat $d=60$ cm dan $T=1.6$ s peredaman energi sekitar 57% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=40$

peredaman energi menurun sekitar 99% kemudian pada saat $d = 20$ cm peredaman energi menjadi 99%. Rata-rata peredaman energi untuk $B=45$, $h=40$, dan $T=1.6$ s adalah 84%.

Disaat $d=60$ cm dan $T=2$ s peredaman energi sekitar 57% dan semakin meningkat dengan menurunnya kedalaman perairan. Disaat $h=d=40$ peredaman energi menurun sekitar 99% kemudian pada saat $d = 20$ cm peredaman energi menjadi 99%. Rata-rata peredaman energi untuk $B=45$, $h=40$, dan $T=2$ s adalah 85%.

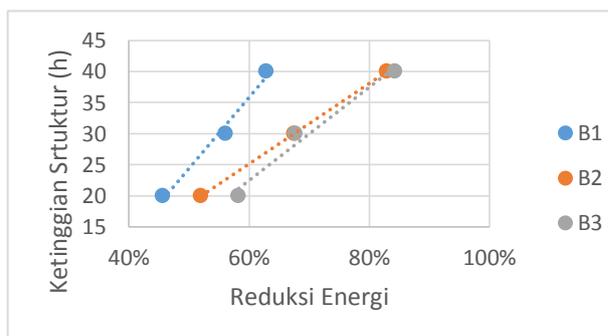
Dari Gambar , diperoleh peredaman energi gelombang tertinggi dengan ketinggian struktur $h=20$, $d=20$ dan pada saat kedalaman $d=10$ cm. Dimana pada saat tersebut kondisi perairan $d= \frac{1}{2} h$, begitu juga pada saat kondisi $h=30$ dan 40 peredaman energi tertinggi diperoleh pada saat kondisi $d= \frac{1}{2} h$. pada kondisi $d=h=20$ cm peredaman energi relative menurun dengan meningkatnya periode gelombang.

Nilai reduksi energi peredaman gelombang untuk lebar struktur 40 cm dengan ketinggian 20 cm adalah sebesar 58%. Untuk variasi ketinggian struktur 30 cm peredaman energi sebesar 68%, sedangkan untuk ketinggian struktur 40 cm peredaman energi sebesar 84%.

Pengaruh dimensi struktur *permeable breakwater* dalam hal ini adalah ketinggian struktur (h) dan lebar puncak (B) dalam peredaman energi ditampilkan dalam tabel 2.

Tabel 2 Peredaman energi untuk berbagai ketinggian stuktur dan lebar struktur

ketinggian struktur (h) cm	B1	B2	B3
20	46%	52%	58%
30	56%	68%	68%
40	63%	83%	84%



Gambar 15 Grafik reduksi energi terhadap ketinggian struktur untuk berbagai lebar stuktur (B).

KESIMPULAN

Dari hasil ujicoba di laboratorium diperoleh peredaman energi gelombang untuk berbagai kondisi ketinggian puncak bangunan dari dasar dan lebar struktur seperti ditampilkan pada table peredaman energi untuk berbagai ketinggian stuktur dan lebar struktur dari perbandingan antara ketinggian struktur dengan lebar puncak struktur (h/B) nilai peredaman enenergi tertinggi adalah pada saat kondisi $h/B = 1$ dimana kondisi tersebut ketinggian struktur sama dengan lebar struktur. Sedangkan untuk kondisi $h/B = 0.5$ dan 2 dimana rasio antara ketinggian struktur lebih besar dari lebar atau sebaliknya lebar struktur lebih besar dari ketinggian struktur maka nilai peredaman energi yang diperoleh sekitar 56-58%. Berdasarkan hasil penelitian ini nilai peredaman energi yang terbesar adalah dengan kondisi struktur ketinggian stuktur sama dengan lebar struktur atau kondisi $h/B = 1$ dimana pada model fisik ini diperoleh pada ketinggian struktur 30 cm dan lebar struktur 30 cm dan pada saat kondisi ketinggian struktur 40 cm dan lebar struktur 40 cm. Kondisi peredaman energi gelombang jika dibandingkan dengan kedalaman peairan (d) nilai peredaman energi terbesar adalah pada saat $d = 10$ cm atau pada saat ketinggian muka air paling rendah sedangkan peredaman energi gelombang terbesar pada saat kondisi struktur terendam semua atau pada saat kondisi *sumbmerge*. Sehingga dalam pemanfaatannya sebagai peredam energi gelombang ketinggian struktur harus lebih tinggi dari ketinggian *Mean sea level* (MSL) diperarian yang akan ditempatkan struktur *permeable breakwater*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya Kepada Kepala Balai Litbang Pantai Dr. Leo Eliasta Sembiring, S.T, M.Sc. dan M. Cahyono, P.hD selaku Dosen Pembimbing, disela-sela rutinitasnya namun tetap meluangkan waktunya untuk memberikan petunjuk, saran dan arahan sejak rencana penelitian. Serta teman-teman Laboratorium Balai Litbang Pantai terutama Septian Putro yang telah membantu dalam pengerjaan penelitian ini di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Chanson, H. 1999. Physical modelling of hydraulics. *The Hydraulics of Open Channel Flow*, 261–283. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-075065978-9/50021-0>

- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. 1984. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists. Advanced Series on Ocean Engineering* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1142/9789812385512>
- De Vriend HJ, v. K. 2012. *Building with Nature: Thinking, acting and interacting differently. Ecoshape*. The Netherlands: Building with Nature.
- Deltares, N. 2012, April 12. *Building With Nature For Coastal resilience*. Retrieved Agustus 30, 2016, from <https://publicwiki.deltares.nl/display/BWN1/BwN+for+coastal+resilience>
- Dijkema, K. G. 1988. *The use of European marshaccretion*. Louisiana: Research Institute for Nature Management.
- Hughes, S. A. 1993. *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*, Volume 7 of Advanced series on ocean engineering. Singapore: World Scientific, 1993.
- Lucas, P. 2017. *Measuring and Modelling Wave Damping by Permeable Groins*. Stuttgart: Master's Thesis Universität Stuttgart Auslandsorientierter Studiengang Wasserwirtschaft.
- Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. 2003. *Fundamentals of Fluid Mechanics Fourth Edition*. Erlangga. Retrieved from <https://books.google.co.id/books?id=vzKrt6qd2a8C>
- Sabarini, E. K., Astra, A. S., Harjo, A., & Maulana, M. B. 2014. *Laporan Kegiatan Keterlibatan Masyarakat Dalam Pengelolaan Kawasan Pesisir dan Laut Studi Kasus: Kawasan Perlindungan Pesisir Desa Timbulsloko, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak*. Bogor: Wetlands International Indonesia.
- Tonneijck, F. W. 2015. *Building with Nature Indonesia Securing Eroding Delta Coastlines. R1.5_R1.6 Design & Engineering plan incl. Hardware plan*. Nedherland: Ecoshape.
- Winterwerp, J. W. 2014. *A sustainable solution for massive coastal erosion in Central Java*. Netherlands: Wetlands International.