

REHABILITASI PANTAI DENGAN PEMECAH GELOMBANG TIANG PANCANG DARI BAMBUL BULAT BERSEKAT

Dede M. Sulaiman¹ dan Agustia Arum Larasari²

¹Peneliti, Balai Litbang Pantai, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Buleleng, Bali
E-mail: dedems@gmail.com

²Staf, Balai Litbang Pantai, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Buleleng, Bali
E-mail: agustiaarum@gmail.com

Abstrak. Dua model pemecah gelombang tiang pancang terdiri dari model lurus dan model zigzag yang tersusun dari bambu bulat, telah diuji transformasi gelombangnya pada saluran gelombang 2D di Laboratorium Balai Litbang Pantai, Buleleng, Bali. Kedua model terdiri dari empat baris tiang, pada baris terakhir dekat ke pantai dipasang sekat setinggi permukaan air laut rata-rata. Pembangkit gelombang yang digunakan adalah *segmented piston type-wave generator* yang menghasilkan gelombang regular maupun irregular. Data gelombang dipantau menggunakan tiga unit *wave probe* pada dua kondisi muka air HWL (55 cm) dan MSL (44 cm). Eksperimen dan analisis pada penelitian ini menggunakan gelombang regular dan irregular spektrum JONSWAP. Hasil analisis terhadap nilai koefisien transmisi (K_t) untuk model lurus dan model zigzag untuk semua kondisi muka air menunjukkan perbedaan yang tipis. Hal ini menyimpang dari hipotesis semula yang diperkirakan model zigzag lebih efektif dalam meredam energi gelombang dari pada model lurus. Namun demikian, peran sekat impermeable menunjukkan pengaruh yang besar terhadap koefisien transmisi. Pada struktur bersekat, pada seluruh formasi dan variasi lebar celah antar tiang, K_t mengalami penurunan berkisar 10-20% saat HWL dan 13-26% saat MSL. Efisiensi penggunaan sekat meningkat pada muka air yang lebih rendah.

Kata Kunci: bambu bulat bersekat, pemecah gelombang, pelindung pantai, tiang pancang

I. PENDAHULUAN

Struktur pelindung pantai yang efektif dan stabil dengan material yang mudah dan murah, merupakan bangunan pantai yang tengah dikembangkan untuk pantai berlumpur. Dalam beberapa hal jenis pantai ini termasuk yang memiliki tingkat kepentingan yang rendah dan tak masuk dalam skala prioritas penamangan (PERMEN PUPR, 2015). Struktur pemecah gelombang tiang pancang dari material bambu bulat bersekat (selanjutnya disebut PEGAR 3B) ini merupakan bangunan pemecah gelombang ambang rendah dari rangkaian tiang bambu bulat yang dipasang vertikal yang ditancapkan ke dasar laut dengan sekat yang disisipkan pada lajur yang terdekat ke pantai. Material yang digunakan adalah bambu bulat yang merupakan bahan bangunan lokal yang mudah diperoleh dan secara ekonomis terjangkau masyarakat. Di beberapa lokasi bisa dapat diganti dengan kayu dolken, pipa PVC, atau pipa besi yang disesuaikan dengan ketersediaan.

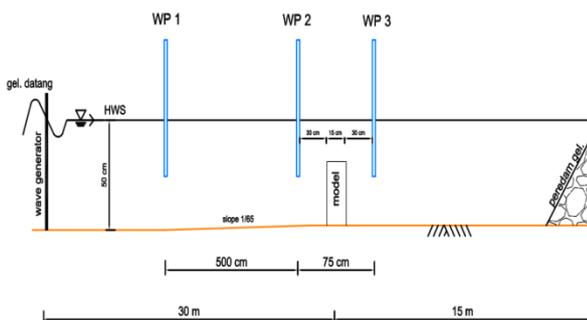
Penelitian transmisi gelombang pada struktur PEGAR 3B ini mengacu kepada beberapa penelitian sejenis antara lain Zhang dkk. (2014), Halide dkk. (2004), dan Albers dan Lieberman (2011). Halide dkk.(2004) melakukan permodelan numerik untuk perancangan peredam gelombang dengan bambu sebagai pelindung tanaman mangrove. Dalam kesimpulannya memaparkan antara lain kerapatan bambu per m^2 sampai dengan 4 bambu/ m^2 memiliki peredaman paling ekonomis dengan tingkat redaman 50% dari energi gelombang datang; biaya perlidungan pantai sekitar US\$ 22.5 per m panjang, secara signifikan lebih murah dibanding pemecah gelombang konvensional. Dalam kesimpulannya Halide dkk. (2004) juga menyarankan pemancangan bambu dilakukan sampai kedalaman tidak kurang dari 60 cm untuk menghindari batang tercabut dan gerusan, serta menyembul setinggi 100 cm di atas dasar perairan. Albers dan Lieberman (2011) melakukan uji model fisik 2D pada flume untuk mengetahui koefisien transmisi pada *groin* yang terbuat

dari bambu. Eksperimen dilakukan dengan berbagai variasi kerapatan dan penggunaan material pengisi. Sedangkan untuk memperoleh gambaran pengaruh struktur terhadap perkembangan garis pantai di belakangnya dilakukan melalui studi numerik.

Inovasi dari pengembangan PEGAR 3B ini dilakukan melalui penggunaan bahan berbentuk bulat panjang seperti bambu, kayu dolken, pipa pvc, dan pipa besi dengan diameter sesuai kondisi gelombangnya. Dengan menggunakan tiang-tiang vertikal yang dipasang berjejer, maka terbentuk struktur pemecah gelombang tiang pancang permeable. Inovasi lain dilakukan dengan memasang sekat pada jajaran tiang yang terdekat ke arah pantai dengan gedeg bambu sehingga terbentuk struktur yang impermeable. Sekat impermeable ini diperlukan sebagai penahan sedimen yang telah mengendap di belakang struktur, supaya tidak terbawa arus balik ke lepas pantai.

II. METODE PENELITIAN

Uji model fisik Pegar 3B dilakukan pada saluran gelombang dua dimensi (2D flume) yang mempunyai panjang 45 m, lebar 1 m, dan kedalaman 1 m. Saluran gelombang bermaterial beton dengan dinding kaca di sekitar lokasi penempatan model. Struktur pegar 3B dimodelkan dengan skala 1:10, tersusun atas barisan tiang bambu yang dipancangkan di atas kayu multiblok berukuran 100 x 15 cm.

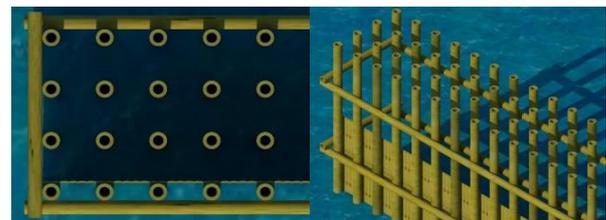


Gambar 1. Setup uji model 2D PEGAR 3B

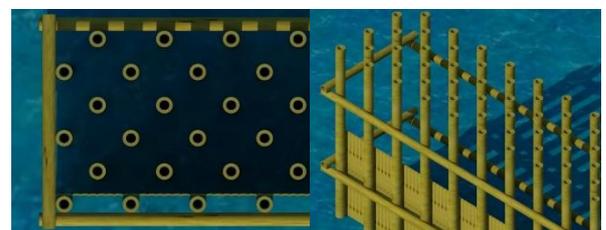
Saluran gelombang dilengkapi dengan *segmented piston type - wave generator* yang dapat membangkitkan gelombang regular maupun irregular. Data gelombang dicatat secara otomatis menggunakan seperangkat wave probe pada dua kondisi muka air: HWL (55 cm) dan MSL (44 cm). Eksperimen dilakukan dengan melewati gelombang melalui pegar tiang pancang kemudian mengukur tinggi gelombang insiden dan transmisi. Model terdiri dengan material bambu berdiameter 1 cm dan kayu multiblok tebal 2 cm sebagai dasar tempat bambu dipancangkan. Serta sekat pembatas dipasang melintang flume yang terbuat dari lembaran metal tipis dengan tinggi dan lebar sama seperti struktur pegar. Skenario yang diujikan terlihat seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Skenario penelitian

Formasi tiang	Jarak antar tiang, b	Periode, T (detik)	Tinggi gelombang, H (cm)
Lurus	1 D	1.2, 1.6, 2.0	6, 10
	2 D	1.2, 1.6, 2.0	6, 10
	4 D	1.2, 1.6, 2.0	6, 10
Zigzag	2 D	1.2, 1.6, 2.0	6, 10
	2 D	1.2, 1.6, 2.0	6, 10
Lurus dengan sekat	1 D	1.2, 1.6, 2.0	6, 10
	2 D	1.2, 1.6, 2.0	6, 10
Zigzag dengan sekat	4 D	1.2, 1.6, 2.0	6, 10
	2 D	1.2, 1.6, 2.0	6, 10



(a)



(b)

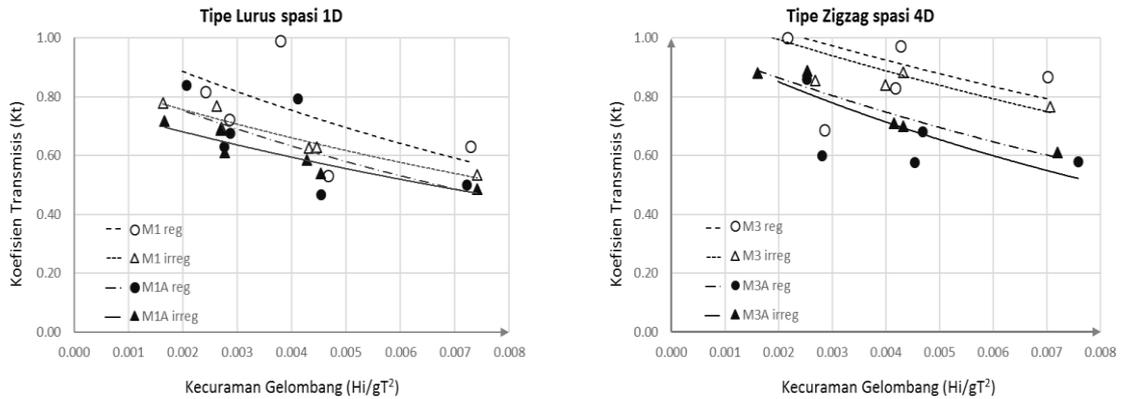
Gambar 2. Model PEGAR 3B: (a) tipe lurus; (b) tipe zigzag

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

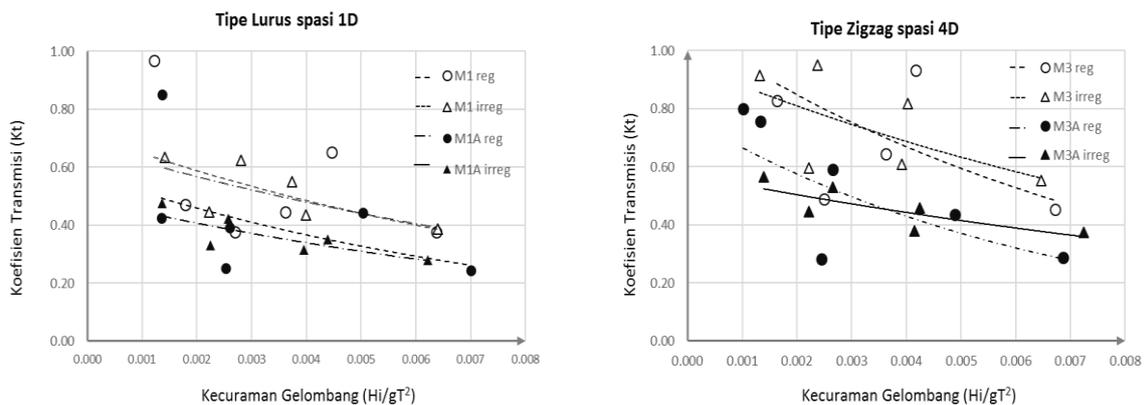
A. Koefisien Transmisi

Nilai koefisien transmisi (K_t) sebagai fungsi dari kecuraman gelombang (H_i/gT^2) untuk skenario muka air HWL dan MSL diperlihatkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Transmisi gelombang mengalami penurunan seiring kenaikan kecuraman gelombang. Dengan kata lain, apabila tinggi gelombang diasumsikan konstan, maka keberadaan struktur tidak berpengaruh banyak pada gelombang-gelombang panjang.

Pada struktur bersekat, bila dibandingkan dengan struktur tanpa sekat, pada seluruh formasi dan variasi lebar celah antar tiang, koefisien transmisi mengalami penurunan berkisar 10-20% saat HWL dan 13-26% saat MSL. Efisiensi penggunaan sekat meningkat pada muka air yang lebih rendah. Adanya sekat impermeable mengurangi massa air yang melimpas melewati struktur. Dengan adanya penurunan volume air yang melimpas, energi gelombang yang menjalar ke perairan di belakang struktur ikut mengecil. Penurunan transmisi juga disebabkan oleh transformasi gelombang menjadi gelombang refleksi akibat mengenai struktur vertikal. Namun, pada penelitian ini tidak dianalisis besaran refleksi yang terbentuk.

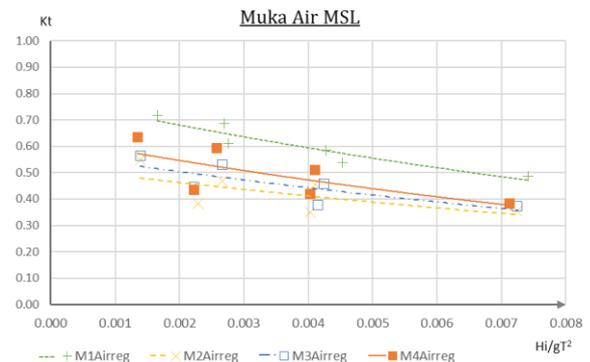


Gambar 3. Hubungan koefisien transmisi dan kecuraman gelombang untuk muka air HWL



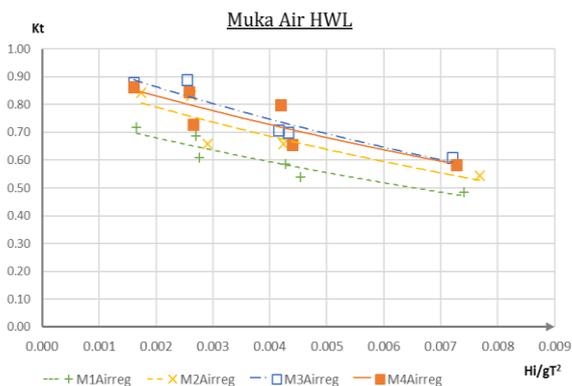
Gambar 4. Hubungan koefisien transmisi dan kecuraman gelombang untuk muka air MSL

Tinggi muka air juga memiliki pengaruh yang signifikan pada penelitian ini. K_t terendah pada muka air HWL yang berada pada nilai 0.47 (formasi lurus 1D bersekat). Sedangkan pada muka air MSL K_t terendah berada di angka 0.24 (formasi lurus 1D bersekat). Rerata perbedaan transmisi gelombang antara muka air HWL dan MSL sebesar 21%. Dari hasil tersebut, tampak bahwa pegar tiang pancang berhasil mereduksi tinggi gelombang dengan cukup signifikan pada muka air rendah. Semakin dalam perairan nilai koefisien transmisi akan semakin besar.



(b)

Gambar 5. Perbandingan tren transmisi gelombang pada PEGAR 3B: (a) HWL ; (b) MSL



(a)

Dari seluruh variasi formasi dan lebar celah, struktur pegar lurus dengan spasi 1D tampak menunjukkan transmisi gelombang yang paling baik pada muka air HWL. Sedangkan pada pegar variasi lainnya tidak menunjukkan perbedaan nilai K_t yang signifikan. Namun, pada muka air MSL dengan pemberian sekat di belakang struktur, transmisi gelombang terkecil dihasilkan oleh pegar lurus spasi 2D. Pada kondisi ini pegar lurus spasi 1D justru memiliki trend nilai K_t tertinggi seperti pada Gambar 5.

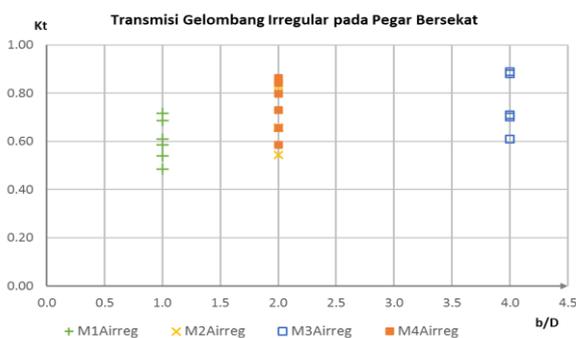
Berdasarkan perbandingan antar variasi celah, transmisi gelombang pada pegar tiang pancang sangat dipengaruhi oleh lebar celah antar tiang. Gelombang transmisi yang lebih rendah dapat diperoleh pada susunan tiang yang lebih rapat. Jika dipandang pegar sebagai sebuah kesatuan, struktur dengan susunan tiang yang lebih rapat memiliki proyeksi luas penampang (A_p) yang lebih luas serta memiliki pengaruh pada besaran koefisien *drag* (seret). Struktur dengan kerapatan lebih tinggi mempunyai tahanan hidraulik (dalam bentuk *drag force*) yang akan meredam energi gelombang dengan lebih efektif.

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_w A_p U^2 \quad (1)$$

dengan C_D = koefisien drag ρ_w = kerapatan air; A_p = proyeksi luas tampang; dan U = kecepatan maksimum partikel air.

B. Kerapatan Tiang Bambu

Dengan memposisikan transmisi gelombang sebagai fungsi dari lebar celah b/D seperti pada Gambar 6, dapat dilihat pengaruh dari formasi penancangan dan jarak antar bambu. Pada variasi tiang pancang lurus dan zigzag spasi 2D, transmisi pada formasi lurus cenderung sedikit lebih kecil. Pada sisi lain, celah antar tiang (b) tampak memiliki pengaruh yang lebih dominan. Pada penelitian ini transmisi gelombang di belakang struktur lebih banyak dipengaruhi oleh kerapatan tiang dibandingkan formasi pemancangannya. Kerapatan tiang yang tinggi membutuhkan bilah bambu lebih banyak di tiap luasan struktur yang berimbang pada naiknya biaya konstruksi.



Gambar 6. Koefisien transmisi (K_t) sebagai fungsi lebar celah (b/D)

Dari hasil analisis kebutuhan bambu per meter persegi, PEGAR 3B tipe zigzag dengan spasi 40 cm merupakan model yang paling efektif dan paling sedikit membutuhkan batang bambu, yaitu 9 batang bambu bulat untuk tiap meter persegi. Efektifnya struktur permeable ini dalam meredam gelombang serta kecilnya jumlah bambu yang diperlukan telah menarik perhatian Konsorsium Ecoshape untuk menerapkan struktur PEGAR 3B ini di Program *Building with*

Nature dalam penanganan erosi pantai di Timbulsloko, Demak tahun ini.

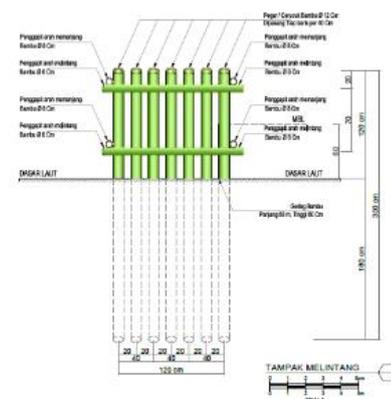
C. Inovasi Penggunaan Material Lokal

Pengembangan PEGAR 3B ini merupakan respons dari tantangan perlunya struktur pelindung pantai yang stabil, efektif dalam meredam gelombang, mudah pembangunannya, ramah lingkungan, dan menggunakan material setempat. PEGAR 3B merupakan tipe pemecah gelombang tiang pancang yang tersusun dari rangkaian bambu bulat dipasang vertikal yang ditaman ke dasar laut, sangat disarankan diterapkan pada pantai berlumpur dan pantai berpasir. Inovasi lain dilakukan dengan memasang sekat atau penutup pada sisi lajur yang terdekat ke pantai dengan gedeg bambu sehingga terbentuk struktur yang impermeable yang tingginya sampai elevasi permukaan air laut rata-rata (MSL). Sekat gedeg bambu ini diperlukan sebagai penahan sedimen yang telah mengendap di belakang struktur, supaya tidak terbawa arus balik ke lepas pantai.

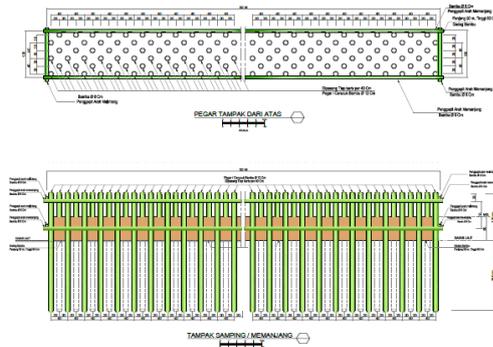
Dalam upaya reboisasi hutan mangrove, saat mangrove muda yang baru ditanam belum memiliki sistem akar yang kuat menahan gempuran gelombang, diperlukan struktur pelindung sementara yang mampu menahan gelombang besar sampai tumbuhan tersebut bertahan mandiri secara alami. PEGAR 3B mampu meredam dan mereduksi energi gelombang sehingga tercipta kondisi perairan pantai yang lebih tenang yang memungkinkan tumbuh kembangnya mangrove.

D. Prototip PEGAR 3B Pada Program BwN di Demak

Mengacu kepada hasil uji model fisik transformasi gelombang melalui PEGAR 3B, jenis pelindung pantai tiang pancang permeable ini sangat cocok diterapkan di pantai dengan kondisi gelombang moderat ($H \leq 2m$) dan kemiringan pantai yang landai. Dari kedua tipe PEGAR 3B, tipe zigzag disetujui untuk diterapkan pada Program *Building with Nature*, program kerjasama yang digagas Pemerintah Belanda dalam upaya rehabilitasi pantai di Kabupaten Demak. Gambar prototip lapangan PEGAR 3B untuk Pantai Bogorame, Demak ditunjukkan pada Gambar 7. dan Gambar 8



Gambar 7. Tampang melintang PEGAR 3B untuk Pantai Bogorame, Demak



Gambar 8. Tampang memanjang PEGAR 3B untuk Pantai Bogorame, Demak

pemerintah. Namun demikian, untuk bisa diterima dan dikenal masyarakat pesisir, diperlukan peran pemerintah dengan melakukan sosialisasi dan pembuatan proyek percontohan penanganan erosi dengan PEGAR 3B ini.

E. Menuju Perlindungan Pantai Mandiri

Terbatasnya dana pemerintah dalam menanggulangi kerusakan pantai telah mendorong disusunnya skala prioritas penanganan erosi pantai melalui Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 08/SE/M/2010 yang direvisi pada tahun 2015 menjadi.

Tabel 2. Estimasi kebutuhan bambu per m² untuk setiap tipe PEGAR 3B

PEGAR 3B	Lebar struktur (w)	Panjang struktur (Ls)	Jarak dari pantai (Lx)	Lebar celah (Lg)	Jumlah bambu/m ²
Tipe I spasi 20 cm	1,0 m	50 m	50-75 m	10-15 m	10 btg@8 m
Tipe I spasi 30-40 cm	1,20 m	50 m	50-75 m	10-15 m	11 btg@8m
Tipe Z spasi 20 cm	1,0 m	50 m	50-75 m	10-15 m	7 btg@8 m
Tipe Z spasi 30-40 cm	1,20 m	50 m	50-75 m	10-15 m	9 btg@8 m

Tabel 3. Komparasi biaya pemasangan PEGAR (Sulaiman, 2012)

Material	Blok beton (50x50x50) cm	Geotube (20x2x1.5) m	Geobag (90x60x30) cm	Bambu bulat (Ø 10-12) cm
Per m	Rp. 42,000,000.	Rp. 5,000,000.	Rp. 2,000,000.	≤ Rp. 500,000.
Rp. 2 M	≤ 50 m	400 m	1000 m	≥ 4000 m

PERMEN PUPR (2015), penentuan prioritas penanganan tersebut cenderung memberikan bobot lebih besar kepada tingkat kepentingan. Dengan skor paling tinggi diberikan untuk kepentingan tingkat Nasional, Provinsi, Kabupaten, dan terakhir tingkat kepentingan pedesaan dengan koefisien kepentingan paling kecil. Berdasar faktor koefisien kepentingan tersebut, separah apapun kerusakan yang terjadi di pelosok desa, tidak akan mendapatkan prioritas dengan skor tinggi, yang menjadi syarat layak dilakukannya penanganan. Karena itu, melalui struktur pelindung pantai sederhana dari material bambu yang terjangkau masyarakat ini diharapkan makin banyak daerah pantai yang rusak segera ditangani secara mandiri tanpa harus menunggu lama bantuan.

F. Bambu Bulat sebagai Bahan Utama PEGAR 3B

Bambu adalah tanaman jenis rumput-rumputan dengan rongga dan ruas di batangnya. Bambu memiliki banyak tipe, nama lain dari bambu adalah buluh, awi (Sunda), dan eru. Tanaman bambu merupakan

salah satu tanaman dengan pertumbuhan paling cepat. Hal ini karena bambu memiliki sistem rhizoma-dependen yang unik, dalam sehari bambu dapat tumbuh sepanjang 60 cm (24 Inchi) bahkan lebih, tergantung pada kondisi tanah dan klimatologi tempat ia ditanam (Farrelly, 1984). Dibandingkan dengan kayu, bambu memiliki keunggulan yang sangat menarik jika digunakan sebagai bahan bangunan yaitu seratnya yang lebih elastis dan sangat kuat menahan beban, baik beban tekan, tarik, beban lekuk, maupun beban geser. Bambu berkualitas tinggi lebih kuat dibandingkan baja (Roach, 1996), sehingga dapat digunakan sebagai bahan bangunan.

Pada umumnya, bagian bangunan yang dapat dibuat dari bambu jauh lebih murah jika dibandingkan dengan bahan bangunan lain untuk kegunaan yang sama. Bambu terdapat hampir di seluruh Indonesia. Bambu biasanya kurang tahan lama karena mengandung banyak kanji yang disukai oleh rayap dan menjadi tempat tumbuh yang baik bagi cendawan akibat suhu dan kelembaban tinggi di daerah tropis. Bambu memiliki 50 - 55% lebih banyak selulosa daripada kayu. Tanpa perhatian pada pengawetan maka konstruksi bambu hanya bertahan 2- 3 tahun saja,

sedangkan melalui proses pengawetan dan pemeliharaan yang baik mampu bertahan lama > 15 tahun.

G. Biaya Pembuatan PEGAR 3B

Penanganan erosi pantai secara struktur, yaitu dengan memasang bangunan pelindung pantai, baik menggunakan unit armor batu alam maupun menggunakan batu buatan seperti blok beton dan bahan geotekstil, memerlukan biaya yang tidak murah. Mahalnya penanganan erosi pantai dapat dilihat dari harga per m mulai dari yang termahal seperti armor dari beton (sekitar Rp.40-50 jt/m); PEGAR geotube (Rp. 5 jt/m); dan PEGAR geobag rangka bambu sekitar Rp. 2 jt/m (Sulaiman, 2012). Sedangkan untuk PEGAR 3B dengan seluruh bahan terbuat dari bambu, biayanya jauh lebih murah yaitu sekitar Rp. 0,5 jt/m terlihat pada Tabel 3.

Terbatasnya dana pemerintah dalam menanggulangi kerusakan pantai telah mendorong disusunnya skala prioritas penanganan erosi pantai melalui Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum tahun 2010. Penentuan prioritas penanganan tersebut cenderung memberikan bobot lebih besar kepada tingkat kepentingan, skor paling besar diberikan untuk kepentingan tingkat Nasional, Provinsi, Kabupaten, dan terakhir tingkat kepentingan pedesaan dengan koefisien kepentingan paling kecil. Berdasar faktor koefisien kepentingan tersebut, separah apapun kerusakan yang terjadi di pelosok Desa, tidak akan mendapatkan prioritas dengan skor tinggi, yang menjadi syarat layak dilakukannya penanganan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Koefisien transmisi, yang merupakan perbandingan antara tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang berperan penting dalam mengendalikan proses dinamika arus dan respon perubahan di pantai. Semakin tinggi gelombang yang diteruskan, semakin besar dayanya terhadap pantai. Karena itu, melalui kajian model bangunan pemecah gelombang tiang pancang, baik tipe lurus maupun tipe zigzag menghasilkan koefisien transmisi yang efektif dalam meredam energi gelombang di pantai. Pemecah gelombang tiang pancang dari bambu bulat bersekat berperan sebagai pelindung pantai.
2. Transmisi gelombang di belakang struktur lebih banyak dipengaruhi oleh kerapatan tiang dibandingkan formasi pemancangannya (lurus atau zigzag). Kerapatan tiang yang tinggi membutuhkan bilah bambu lebih banyak di tiap luasan struktur yang berimbas pada naiknya biaya konstruksi. Berdasarkan analisis kebutuhan bambu per m², diperoleh bahwa tipe zigzag membutuhkan jumlah bambu yang lebih sedikit dari pada tipe lurus.
3. Sekat impermeable yang dipasang pada baris tiang terdekat ke pantai berperan penting dalam

meningkatkan efisiensi PEGAR 3B sebagai pelindung pantai. Pada struktur bersekat, bila dibandingkan dengan struktur tanpa sekat, pada seluruh formasi dan variasi lebar celah antar tiang, daya redam struktur meningkat sampai 20% saat muka air tinggi dan mencapai 26% saat muka air rata-rata. Efisiensi penggunaan sekat meningkat pada muka air yang lebih rendah. Adanya sekat impermeable mengurangi massa air yang melimpas melewati struktur. Dengan adanya penurunan volume air yang melimpas, energi gelombang yang menjalar ke perairan di belakang struktur ikut mengecil.

B. Saran

1. Melalui struktur pelindung pantai sederhana dari material bambu yang terjangkau masyarakat ini diharapkan makin banyak daerah pantai yang rusak segera ditangani secara mandiri tanpa harus menunggu bantuan pemerintah. Namun demikian, unuk bisa diterima dan dikenal masyarakat pesisir, diperlukan peran pemerintah melalui sosialisasi dan proyek percontohan penanganan erosi dengan PEGAR 3B ini.
2. Selain bambu, material lain seperti kayu dolken mungkin lebih murah daripada menggunakan bambu. Demikian juga pipa paralon yang diisi beton syklop dapat digunakan sebagai bahan penyusun PEGAR 3B.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih baik kepada perorangan maupun instansi atas data, informasi, dan bahan-bahan sehingga tulisan ini bisa tersusun. Terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kepala Balai Litbang Pantai-PUSAIR, dan Tim Laboratorium Balai Litbang Pantai, atas bantuan dan kerjasamanya, sehingga pelaksanaan uji model PEGAR 3B ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Albers, T. & von Lieberman, N., 2011, *Current and Erosion Modelling Survey*, GIZ GMBH-Management of Natural Resources in the Coastal Zone of Soc Trang Province, Bonn: GIZ GmbH
- American Shore & Beach Preservation Association, 2011, *Reintroducing Structures for Erosion Control on the Open Coasts of America*, White Paper.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015, *Pedoman Penilaian Kerusakan Pantai dan Prioritas Penanganannya, Revisi Surat Edaran Nomor 08/SE/M/2010*, Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Farrelly, D., 1984. The Benefits of Bamboo, *The Sciences* Vol. 24, No. 6, hlm 11-12.
- Halide, H.; Brinkman, R. & Ridd, P., 2004, "Designing

Bamboo Wave Attenuators for Mangrove Plantations”, *Indian Journal of Marine Sciences*, Vol. 33 No. 3, hlm. 220-225.

Roach, M., 1996, “The Bamboo Solution: Tough as Steel, Sturdier than Concrete, Full-size in a Year”, *Discover Magazine*.

Sulaiman, D. M., 2012, *Rehabilitasi Pantai dengan PEGAR Geotube dan Geobag*, Prosiding Workshop Penanganan Erosi Pantai, Buleleng.

Zhang, S.X. dan Xi Li, 2014, “Design formulas of transmission coefficients for permeable breakwaters”, *Water Science and Engineering*, Vol. 7 No.4 , hlm 457-467.