

PENANGGULANGAN KERUSAKAN PANTAI TERDAMPAK EROSI DENGAN PEMECAH GELOMBANG AMBANG RENDAH

Cahyo Nur Rahmat Nugroho¹⁾, Agustia A. Larasari¹⁾, Puty P. Mathilda¹⁾,
R. Indra Gemilang¹⁾, dan Dede M. Sulaiman²⁾

¹⁾ Staf Balai Litbang Pantai, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kem. PUPR

²⁾ Peneliti Balai Litbang Pantai, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kem PUPR

E-mail: balaipantai@yahoo.co.id

Abstrak

Keberhasilan penerapan bangunan Pemecah Gelombang Ambang Rendah (PEGAR), di luar syarat batas dan kriteria desain struktur tersebut, sangat ditentukan oleh tata letak pemasangannya, yang meliputi tata letak vertikal dan horizontal. Tata letak vertikal terkait dengan posisi elevasi puncak struktur PEGAR terhadap permukaan laut, baik untuk permukaan air laut rata-rata maupun untuk permukaan air laut tertinggi. Tata letak horizontal berkaitan dengan penempatan PEGAR dalam hal jarak optimal dari pantai ke posisi PEGAR, panjang struktur, dan lebar celah antara PEGAR. Ketiga parameter ini menentukan limpasan dan terperangkapnya sedimen di belakang struktur ambang rendah tersebut. Makalah ini menyajikan ringkasan pengalaman lapangan yang berguna untuk pengembangan PEGAR sebagai salah satu metode perlindungan pantai yang efektif. Tujuan pengembangan struktur ambang rendah ini adalah antara lain untuk membuat konsep pedoman pelaksanaan PEGAR sebagai struktur pantai yang disukai yang berlaku untuk semua jenis bahan yang biasa digunakan dalam struktur perlindungan pantai.

Kata Kunci: Pemecah gelombang ambang rendah, karung geotekstil, erosi pantai, perlindungan pantai

PENDAHULUAN

Salah satu upaya dalam mendapatkan teknologi perlindungan pantai yang efektif dan ramah lingkungan adalah dengan mengembangkan bangunan pemecah gelombang ambang rendah (selanjutnya disebut PEGAR). Struktur PEGAR ini adalah struktur pemecah gelombang lepas pantai dengan elevasi puncak di bawah atau sedikit muncul di atas muka air rerata (Buccino dan Calabrese, 2007). Penggunaan struktur pemecah gelombang lepas pantai di Indonesia, sebagai struktur pengaman pantai sampai saat ini masih kurang populer dibandingkan dengan jenis bangunan pengaman pantai lainnya seperti groin, revetmen, atau pun tembok laut. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain struktur pemecah gelombang ini dikenal sebagai metode perlindungan pantai yang sangat mahal dan dampak estetika yang ditimbulkannya sangat mengganggu terutama untuk pantai wisata. Namun, melalui inovasi dimensi dan materialnya, dan beberapa eksperimen baik di laboratorium maupun lapangan, telah dihasilkan struktur PEGAR yang memiliki efektifitas perlindungan dengan biaya konstruksi yang lebih murah dari pada pemecah gelombang konvensional. Dari segi bahan, batu alam dan kubus beton dan beton pracetak lainnya, saat ini telah banyak diproduksi geotekstil dengan berukuran besar seperti karung geotekstil atau karung pasir berbentuk bantal guling yang lebih ekonomis.

Awal dari penelitian dan pengembangan bangunan PEGAR dimulai pada Tahun 2009 melalui uji model fisik di laboratorium dan dilanjutkan dengan uji lapangan dengan pembangunan prototip. Sedangkan uji model fisik terkait pola arus dan hidro-dinamika di belakang struktur PEGAR dilakukan di Laboratorium Hidraulik Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada pada tahun 2013. Penempatan prototip dilakukan di tiga tipe pantai, masing-masing mewakili tipe pantai berpasir dengan kemiringan curam; pantai berpasir landai, dan pantai berlumpur. Sebanyak 10 prototip PEGAR karung geotekstil telah dipasang di tiga lokasi pantai berbeda dengan desain disesuaikan dengan tipe dan karakteristik pantai. Pantai Pasir Putih Anyer, untuk kondisi pantai berpasir dengan gelombang besar dan curam, Pantai Tanjung Kait untuk pantai landai dengan gelombang sedang, dan pantai Pisangan, Karawang, untuk kondisi pantai berlumpur. Melalui tulisan ini disajikan rangkuman hasil penelitian dan berbagai capaian dan kajian yang berguna untuk diterapkan dalam upaya mendapatkan metode perlindungan pantai yang efektif, terjangkau, dan ramah lingkungan. Tujuan akhir dari pengembangan struktur PEGAR ini adalah menjadikan PEGAR sebagai metode perlindungan pantai pilihan masyarakat yang mampu mengendalikan sekaligus mengembalikan kondisi pantai yang rusak menjadi stabil dengan biaya terjangkau.

Sesuai dengan namanya, PEGAR merupakan struktur pelindung pantai yang selalu dilimpasi gelombang. Lapis lindung bagian luar atau *armor* pada PEGAR masih mengalami hantaman yang menyebabkan gelombang pecah (Pascual dkk., 2007). PEGAR dapat dibedakan dengan Pemecah Gelombang Tenggelam (PG Tenggelam) dalam hal jarak ambang atau *freeboard* dan dapat dikelompokkan sebagai *reef breakwaters*. Jarak ambang (R_c) untuk PEGAR bisa bernilai negatif maupun positif, sedangkan R_c untuk PG Tenggelam selalu negatif. Berbeda dengan PEGAR, pada struktur PG konvensional lenturan (difraksi) gelombang di sekitar struktur lebih dominan dari pada PEGAR. Demikian pula pantulan gelombang ke arah laut lebih dominan terjadi pada PG konvensional. Perbedaan utama antara PG Konvensional dan PEGAR terletak pada jumlah energi gelombang yang bisa melimpas di atas struktur. PG menahan sebagian besar energi gelombang, sedangkan PEGAR meloloskan sebagian energi gelombang melimpas di atasnya menuju daerah bayangan di belakang struktur.

Keunggulan PEGAR sebagai metode pengamanan pantai antara lain adalah 1) dampak visual yang rendah terhadap lingkungan sekitar; 2) biaya pembangunan PEGAR relatif lebih murah dan sebanding dengan volume bahan yang digunakan; 3) dampak pengendapan sedimen di belakang struktur lebih lembut; 4) limpasan gelombang di atas PEGAR menghasilkan sirkulasi air yang baik di belakang struktur; 5) PEGAR mirip dengan terumbu karang menarik bagi ikan dan tumbuhan pantai lainnya. Namun demikian, PEGAR juga memiliki kelemahan dan kekurangan, antara lain adalah: 1) struktur tenggelam seperti PEGAR berbahaya terhadap lalu lintas perahu; 2) limpasan gelombang dan pecahnya gelombang di atas PEGAR akan menimbulkan kenaikan muka air, dikenal dengan *piling-up*, yang akan membangkitkan arus balik yang kuat di sekitar celah; 3) PEGAR hanya memberikan redaman gelombang parsial dan karena itu perlindungan terhadap pantai juga tidak sepenuhnya; 4) efisiensi struktur PEGAR terkait redaman energi gelombang dan transpor sedimen banyak dipengaruhi oleh jarak ambang PEGAR.

METODOLOGI STUDI

Uji Model Fisik dan Numerik

Uji model fisik pertamakali dilakukan pada Kolam Gelombang Balai Pantai di Ciparay, Kabupaten Bandung pada tahun 2009, untuk mengetahui respon pantai di belakang struktur. Pengujian selanjutnya yang lebih rinci dilakukan pada tahun 2013 di Laboratorium Teknik Sipil dan Lingkungan UGM untuk mengetahui pengaruh elevasi PEGAR terhadap transmisi gelombang dan pola arus di belakang struktur (Gambar 1). Jenis material yang digunakan terdiri dari tumpukan batu dan karung geotekstil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa respon pantai yang terbentuk di belakang struktur banyak dipengaruhi oleh jarak ambang, jarak struktur dari pantai, dan tinggi gelombang.



Gambar 1. Uji Model dinamika arus sekitar PEGAR di Lab Hidraulika TSL-UGM (Sulaiman, 2014)

Pada pengujian numerik, kajian keberadaan struktur PEGAR terhadap pola arus, transmisi gelombang, dan profil pantai yang terbentuk dilakukan dengan menggunakan MIKE 21. Modul yang digunakan adalah MIKE 21 SW (*Spectral Wave*) untuk model gelombang, MIKE 21 HD FM (*Bathymetry Meshing*) untuk pola arus, dan MIKE 21 FM ST untuk angkutan sedimen. Pemodelan secara numerik juga untuk mengetahui formasi terbaik dari struktur

PEGAR yang akan dipasang dalam kaitannya dengan pola arus yang timbul dan respon pantai yang akan terbentuk di belakang PEGAR.

Penerapan PEGAR di Beberapa Jenis Pantai

Pemasangan prototip PEGAR telah dilaksanakan di tiga lokasi pantai, yaitu pantai Pasir Putih, Anyer, Pantai Tanjung Kait, Tangerang, dan pantai Pisangan, Karawang. Prototip PEGAR karung geotekstil di pantai Anyer dilakukan dalam dua tahap, yaitu Tahap 1 dilakukan pada Desember 2010 (Gambar 2) dengan 3 buah PEGAR karung geotekstil dipasang bercelah pada posisi muka air rendah (LWL). Sedangkan pemasangan Tahap 2 dilakukan pada November 2011, dua buah prototip PEGAR karung geotekstil dipasang pada posisi muka air rerata (MSL) dengan jarak 50 m dari pantai.



Gambar 2. Pemasangan PEGAR karung geotekstil di pantai Pasir Putih, Anyer (Sulaiman dkk, 2012)

Pemasangan prototip PEGAR karung geotekstil di pantai Tanjung Kait dilakukan pada bulan Mei 2011 untuk mewakili pantai landai dengan kondisi gelombang relatif tenang, PEGAR karung geotekstil dipasang pada posisi sekitar 20 cm di atas muka air rata-rata. Sebanyak 3 buah PEGAR karung geotekstil dipasang dengan celah 10 m pada jarak dari pantai sekitar 120 m (Gambar 3).



Gambar 3. PEGAR karung geotekstil di pantai Tanjung Kait (Sulaiman dkk., 2012)

Penerapan PEGAR dari karung geotekstil di luar pengujian oleh Pusat Litbang Sumber Daya Air, diprakarsai oleh Pemerintah Daerah Kota Pekalongan dalam upaya menanganai masalah erosi pantai dan banjir rob di Kota

Pekalongan, yang telah mengikis dan menggenangi berbagai prasarana seperti jalan raya, tempat wisata, pertambakan, dan permukiman. Pada tahun 2012 Pemda Kota Pekalongan mulai melakukan penanganan dengan menerapkan metode baru, yaitu bangunan PEGAR dari material karung geotekstil. Dalam rentang waktu empat tahun, sebanyak 145 buah geotube yang mencakup 2,9 km panjang pantai, telah terpasang dan berhasil melindungi pantai Kota Pekalongan (Bashir Ahmad dkk., 2015). Endapan sedimen yang timbul di belakang PEGAR, telah membentuk pantai baru dan menambah lebar pantai ke arah laut (Gambar 4).

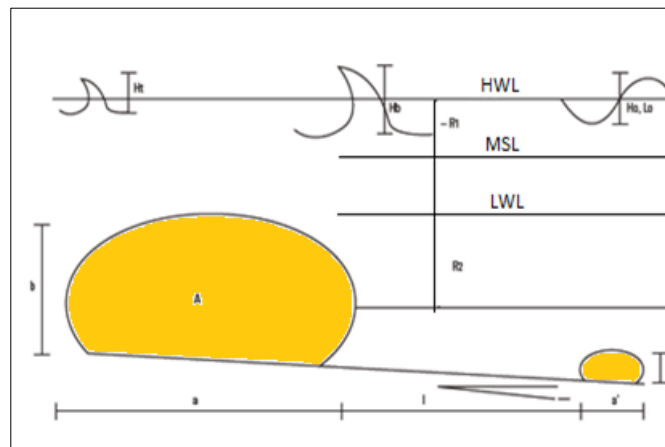


Gambar 4. Penanganan erosi dan banjir rob terpadu di Pantai Pekalongan (Bashir Ahmad dkk., 2015)

HASIL DAN PEMBAHASAN

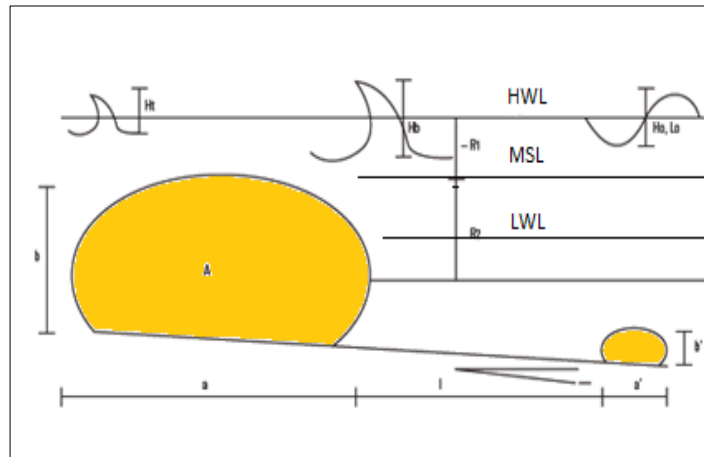
PEGAR Sebagai Stabilisator dan Penahan Pasir Isian

Apabila digunakan sebagai stabilisator pantai dan penahan pasir isian, maka penempatan PEGAR harus didesain dan ditempatkan pada posisi muka air rendah (LWL). Posisi PEGAR pantai Pasir Putih, Anyer terhadap elevasi muka air ditunjukkan pada Gambar 5. Derajat submergensi dari PEGAR sangat berpengaruh baik terhadap transmisi gelombang maupun terhadap profil pantai yang terbentuk di belakang struktur tersebut. Pada posisi LWL tersebut, bangunan pemecah gelombang termasuk struktur tenggelam penuh atau *fully submerged* dan sekitar enam bulan setelah pemasangan, ketiga PEGAR tersebut telah tertimbun pasir dan membentuk profil pantai baru (Sulaiman dkk., 2012). Kondisi pantai di sekitar PEGAR memperlihatkan profil yang landai yang menunjukkan kondisi pantai yang stabil dan berbeda dengan profil pantai sebelum dipasang PEGAR yang lebih terjal.



Gambar 5. Penempatan karung geotekstil pada posisi muka air rendah (diadaptasi dari Alvarez dkk., 2006)
PEGAR Sebagai Pengendali Erosi Pantai

Struktur pelindung pantai ambang rendah ini mereduksi energi gelombang yang datang dengan cara memicu dan memaksa gelombang pecah di atas dan pada saat kontak dengan struktur, sebagian energinya dipantulkan dan sebagian lagi diteruskan (Gambar 6). Efektivitas PEGAR dalam mengembalikan pantai yang tererosi sangat dipengaruhi selain parameter gelombang, juga oleh geometri dari struktur PEGAR, terutama tinggi jagaan, jarak dari pantai, dan panjang struktur. Hanson dan Kraus (1991) menunjukkan bahwa respon garis pantai terhadap keberadaan pemecah gelombang dikendalikan oleh sedikitnya 14 variabel, delapan diantaranya adalah variabel yang sangat berperan yaitu: 1) jarak dari pantai; 2) panjang struktur; 3) tinggi dan lebar mercu; 4) kemiringan dasar pantai; 5) tinggi gelombang; 6) periode gelombang; 7) orientasi sudut dari struktur; dan 8) arah gelombang dominan. Pendekatan praktis untuk menghasilkan PEGAR yang efektif sebagai pengendali erosi dan perhab pantai adalah dengan menempatkan struktur PEGAR pada posisi di atas MSL. Prototip PEGAR pantai Tanjung Kait (Sulaiman, 2012b) dan pantai Pisangan merupakan prototip lapangan yang memberikan respon pantai yang positif dengan terbentuknya salien atau lahan timbul, yang merupakan pantai baru yang terbentuk oleh adanya PEGAR.



Gambar 6. Puncak PEGAR pada posisi di atas muka air rerata (diadaptasi dari Alvarez dkk., 2006)

Syarat Batas Penggunaan PEGAR

PEGAR dari karung geotekstil adalah struktur pemecah gelombang terbuat dari karung geotekstil yang dipasang sejajar pantai dengan elevasi puncak lebih tinggi dari muka air laut rata-rata. Struktur ambang rendah tersebut digunakan untuk menanggulangi erosi pantai melalui peredaman dan limpasan gelombang sebelum mencapai pantai. Supaya struktur PEGAR yang akan dibangun bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya sebagai peredam energi gelombang, dan pemerangkap sedimen, dan pengendali erosi, maka terdapat beberapa batasan dan ketentuan yang harus dipenuhi, seperti diuraikan berikut ini.

Parameter Hidro-Oseanografi

Setiap teknologi yang digunakan, memiliki batas efektifitas dan persyaratan teknis yang harus dipenuhi sesuai dengan fungsinya. Di luar ketentuan tersebut, metode perlindungan pantai ini akan memberikan hasil yang tidak sesuai dengan harapan dan bahkan apabila tetap diterapkan akan mengalami kegagalan. Beberapa parameter hidro-oseanografi yang harus dipertimbangkan, adalah: 1) karakteristik pasang surut, terutama tunggang pasang di pantai yang akan dipasang PEGAR harus lebih kecil dari 110 cm; 2) tinggi gelombang signifikan maksimal 2 m; 3) kedalaman perairan pantai kurang dari 2 m; 4) kecepatan arus kurang dari 0,5 m/det; dan 5) lereng pantai $0,1\% < \tan \theta < 0,5\%$ (Sulaiman dkk., 2012).

Salah satu syarat efektifnya PEGAR karung geotekstil adalah menentukan tinggi mercu PEGAR terhadap elevasi muka air tenang (SWL) untuk seluruh tunggang pasang. Tinggi mercu dalam kaitannya dengan fluktuasi pasang surut muka air laut akan mengendalikan mekanisme pecah gelombang yang mempengaruhi reduksi energi gelombang.

Tata Letak Pemasangan PEGAR

Tingkat perlindungan PEGAR dipengaruhi oleh dimensi dan posisinya di lepas pantai. Karena itu, besar kecilnya *salient* atau *tombolo* yang terbentuk bervariasi sesuai dengan dimensi struktur. Perubahan morfologi pantai tersebut, tentu saja bisa berlangsung selama tersedia sedimen, baik secara alami maupun sebagai pasir isian. Tata letak struktur PEGAR dan respon garis pantai di belakangnya diilustrasikan pada Gambar 7. Salah satu kajian memberikan kriteria sebagai berikut:

$$\text{Terbentuk tombolo: } L/X > (1,0-1,5) \quad (1)$$

$$\text{Terbentuk salient: } L/X = (0,5-1,0) \quad (2)$$

Terbentuk salient untuk pemecah gelombang ganda atau bercelah:

$$GX/L^2 > 0,5 \quad (3)$$

dengan L adalah panjang pemecah gelombang, X adalah jarak dari pantai, dan G adalah lebar celah. Dengan melibatkan efek submergensi atau transmisi gelombang, Pilarczyk (2003) mengusulkan faktor $(1-K_t)$ ke dalam Persamaan (1) dan (2) di atas, sehingga formula untuk menghitung respon perubahan pantai untuk struktur PEGAR adalah sebagai berikut:

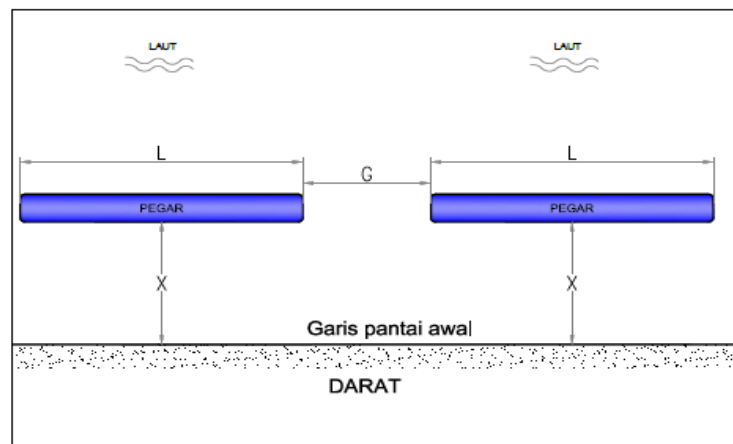
$$\text{Terbentuk tombolo: } L/X > (1,0-1,5)/(1-K_t) \quad (4)$$

$$\text{Terbentuk salient: } L/X < 1/(1-K_t) \text{ atau } X/L > (1-K_t) \quad (5)$$

Terbentuk salient untuk pemecah gelombang ganda (bercelah):

$$GX/L^2 > 0,5 (1-K_t) \quad (6)$$

dengan K_t adalah koefisien transmisi.



Gambar 7. Tataletak dan jarak pada PEGAR Bercelah (Sulaiman, 2017)

Metode Pengisian Langsung Dengan Pasir Setempat

Metode pengisian pasir secara langsung dilakukan apabila sumber pasir isian tersedia di lokasi PEGAR yang akan dipasang. Pengisian dengan pasir *in-situ* memerlukan beberapa persyaratan antara lain jarak pengambilan pasir dari struktur PEGAR yang akan diisi harus dari depan struktur arah laut dan cukup jauh, sehingga tidak mengganggu kestabilan struktur.

Metode Pengisian Tidak Langsung Melalui Kolam Tandon

Metode pelaksanaan pengisian karung geotekstil dengan kolam tandon ini dilakukan apabila pasir *in-situ* tidak tersedia, sehingga digunakan pasir *borrow* yang didatangkan dari darat. Kolam tandon berfungsi sebagai kolam pencampur dan penampung sementara. Selain syarat adanya kolam tampung dan pasir, syarat lain yang harus dipenuhi untuk terlaksana metode pengisian tidak langsung ini adalah adanya pasokan air yang memadai untuk bisa disedot dan dipompakan ke dalam karung karung geotekstil di laut. Komposisi campuran pasir dan air adalah 30 % dan pasir

70 % air, akan tetapi untuk lebih efektifnya pengisian pasir ke dalam karung geotekstil, disarankan 10% - 15% pasir dan 85% - 90% air (Sulaiman dkk., 2015).



Gambar 8. PEGAR karung geotekstil dan sedimen yang terbentuk di Pantai Sigandu, Batang (Sulaiman dkk., 2015)

Material Pengganti Batu Alam

Diantara bahan-bahan hasil inovasi tersebut, geotekstil merupakan bahan yang paling populer sebagai bahan bangunan pengaman pantai. Bahan pengaman alternatif yang lebih lembut dan murah seperti karung pasir geotekstil (*geotextile sand containers*, GSC) atau di pasaran lebih dikenal dengan karung geotekstil, banyak digunakan sebagai pengganti bahan konvensional yang mahal dan kaku (Recio dan Oumeraci, 2008).

Kelebihan utama geotekstil dibandingkan dengan bahan konvensional adalah harga bahan dan biaya pelaksanaan pekerjaan lebih murah, menggunakan bahan isian setempat, tidak memerlukan alat berat dan tenaga terlatih. Harga bahan dan pemasangan karung geotekstil sebagai bahan pemecah gelombang di Dubai, UAE, adalah sekitar sepertiga dari biaya untuk bahan konvensional (Weerakoon dkk., 2003). Sedangkan dari hasil penerapan PEGAR karung geotekstil di beberapa lokasi pantai, perbandingan biaya per m antara PEGAR karung geotekstil dengan struktur Pemecah Gelombang dari kubus beton, perhitungan Tahun 2011 menunjukkan bahwa biaya untuk PEGAR karung geotekstil hanya seperdelapan biaya pembangunan dengan kubus beton atau sekitar lima juta rupiah per m. Untuk PEGAR geobag rangka bambu, perhitungan kasar menghasilkan angka dua juta rupiah per m atau sekitar 40% lebih murah dari pada PEGAR karung geotekstil (Aditya dkk., 2017). Meskipun secara ekonomi lebih murah dari batu alam maupun material beton, akan tetapi dari segi ketahanan bahan dan waktu pakainya (*life time*), geotekstil sangat ditentukan oleh gerusan, benturan, dan robekan yang kebanyakan disebabkan oleh *vandalisme*. Gerusan dan benturan mengakibatkan hilangnya bahan dari permukaan geotekstil yang disebabkan oleh gelombang, arus, dan angkutan sedimen lainnya.



Gambar 9. Sedimentasi di belakang PEGAR karung geotekstil, Pantai Pasir Putih, Karawang (Sulaiman dkk., 2017)

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

- 1) PEGAR dari karung geotekstil didesain sebagai upaya perlindungan pantai yang mampu menghasilkan keseimbangan profil pantai. Rehabilitasi pantai melalui pemasangan PEGAR karung geotekstil, akan lebih efektif apabila dikombinasikan dengan penanaman vegetasi pantai. Kombinasi PEGAR karung geotekstil sebagai peredam gelombang dan vegetasi pantai di belakangnya akan mendorong proses sedimentasi dan mempercepat perubahan pantai ke arah laut. Pada perkembangannya, vegetasi pantai seperti mangrove akan berperan sebagai pelindung alami terhadap kondisi ekstrem di perairan pantai.
- 2) Selain berfungsi sebagai peredam dan pemecah gelombang, PEGAR dari karung geotekstil berperan sebagai pemerangkap dan penahan pasir pantai. Sedimen yang diangkut gelombang dan mengendap di belakang PEGAR, secara kontinyu menumpuk di pantai dan membentuk garis pantai baru yang disebut *salient* dan makin maju ke arah laut sampai menyatu dengan struktur PEGAR yang disebut sebagai tombolo.
- 3) Melalui upaya inovasi dimensi terhadap pemecah gelombang, yang memangkas tinggi struktur permukaan air berupa PEGAR, berdampak pada penurunan volume dan biaya yang lebih rendah, tanpa mengurangi efektivitas sebagai pengendali erosi pantai.

Rekomendasi

- 1) Untuk menghindari penurunan struktur dan memperpanjang usia pakai dari struktur yang terbuat dari bahan geotekstil, perlu pemasangan cerucuk dan rakit bamboo, penempatan posisi PEGAR yang tepat dari pantai, dan perlunya lapisan armor di bagian luar karung geotekstil.
- 2) Mengingat pada struktur PEGAR akan mengalami gerusan lokal di kaki bagian depan dan belakang struktur, maka diperlukan pemasangan pelindung kaki baik di depan maupun di belakang struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, B., Bastin Y. Angguniko, dan Dede M. Sulaiman, 2017, Penerapan PEGAR Karung Geotekstil Rangka Bambu di Pantai Timbulloko, Demak. Pustaka Sinar Harapan, 146 hlm, ISBN 978-979-416-994-0.
- Alvarez, E., Rubio, R. dan Ricalde H., 2006, Shoreline Restored with Geotextile Tubes as Submerged Breakwaters, *Geosynthetics Magazine*, Volume 24, Nomor 3, pp 1-8.
- Bashir Ahmad, .M., Marsudi Ismanto, Slamet Miftakhudin, Dede M. Sulaiman, 2015, Penanganan Erosi Pantai dan Banjir Rob di Kota Pekalongan. Prosiding PIT HATHI ke XXXII - Malang.
- Buccino, M., dan Calabrese, M., 2007, Conceptual Approach for Prediction of Wave Transmission at Low Crested Breakwaters, *Journal of Watrway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. ASCE, 133(3), May, pp 213-224.
- Hanson, H. and Kraus, N.C., 1990, Shoreline Response to a Single Transmissive Detached Breakwater, Proc. 22nd Coastal Engineering Conf. ASCE. The Hague.
- Oumeraci, H. dan Recio, J., 2010, Geotextile Sand Containers for Shore Protection, *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, ed. Y.C.Kim (World Scientific Publishing), Chapter 21, hal. 553-600.
- Pascual, C. V., F. L. Mera, and I. L. Rodriguez, 2007, Breakwaters stability analysis of low crested and submerged rubble mound breakwaters: relationship between flow characteristics and measured damage and stability formulae for low crested and submerged, *Proceedings of the 5th International Conference on Coastal Structures*, pp. 939-950.
- Pilarczyk, K.W., 2003. Design of Low Crested (Submerged) Structures- an Overview-, *Proceedings of COPEDEC VI*, Colombo, Sri Lanka.
- Sulaiman, Dede M., Mahdi E. Sudjana, Rian M. Azhar, dan Abimanyu, 2012a, Transpor Sedimen dan Perubahan Garis pantai Pasca Pemasangan Pemecah Gelombang Ambang Rendah di Pantai Anyer, Serang, Banten. *Jurnal Sabo* Vol. 3 No.1.
- Sulaiman, Dede M., 2012b, Rehabilitasi Pantai dengan PEGAR Karung Geotekstil, Studi Kasus Pantai Tanjung Kait, Tangerang, Banten, *Jurnal Keairan* Vol. 2. No. 2 Desember.
- Sulaiman, Dede M., 2014, *Kajian Piling-up dan Pola Arus di Belakang Pemecah Gelombang Ambang Rendah Bercelah*, Disertasi Doktor Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

- Sulaiman, Dede M., Soni Senjaya Effendi, Rian M. Azhar, Suprpto, 2015, Rehabilitasi Pantai dengan PEGAR Bercelah Studi Kasus Sigandu, Batang, Jawa Tengah. Prosiding PIT HATHI ke XXXII, Malang.
- Sulaiman, Dede M., Dedi Junarsa, Huda Bachtiar, Fegi Nurhabni, 2017, Lessons learned from deploying low crested breakwaters in north coast of Java, Proceedings of 9th International Conference on Asian and Pacific Coasts 2017, Pasay City, Philippines.
- Sulaiman, Dede M., 2017, Pegar Bercelah–Bangunan Pelindung dan Penumbuh Pantai, Deepublish, Yogyakarta Cetakan 1, Mei ISBN 978-602-453-090-7
- Weerakoon, S., Mocke, G.P., Smit, F., dan Zahed, K., 2003, Cost Effective Coastal Protection Works Using Sand Filled Geotextile Containers. Proceedings of COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka.