

**REHABILITASI PANTAI DENGAN PEMECAH GELOMBANG AMBANG
RENDAH BERBAHAN *GEOTUBE*
STUDI KASUS PANTAI TANJUNG KAIT, TANGERANG**

***BEACH REHABILITATION BY APPLICATION OF
GEO-TUBE LOW CRESTED BREAKWATERS
A CASE STUDY AT TANJUNG KAIT BEACH, TANGERANG***

Dede M.Sulaiman

Balai Pantai Pusat Litbang Sumber Daya Air
Jalan Sapan No. 37 Ciparay, Kabupaten Bandung
Email: dedems@ymail.com

Diterima: 21 Maret 2012; Disetujui: 28 September 2012

ABSTRAK

Makalah ini menyajikan hasil kajian prototipe PEGAR di lapangan, berdasarkan monitoring kinerja prototipe, dan perubahan profil pantai di belakang struktur. Struktur pemecah gelombang ambang rendah (PEGAR) akan berfungsi baik, apabila keberadaannya tidak hanya mampu memulihkan pantai yang tererosi yang berada di belakang struktur, tetapi juga mampu memperlebar pantai ke arah laut dengan terbentuknya salien atau lahan timbul. Demikian pula energi gelombang yang melewati struktur tersebut mengalami pelemahan yang memungkinkan terjadinya proses sedimentasi di pantai. Kriteria keberhasilan penerapan pemecah gelombang tenggelam hanya dapat diketahui dari hasil monitoring secara kontinu setelah struktur tersebut dibangun. Parameter hidraulika kelautan seperti tinggi dan periode gelombang, kemiringan pantai, dan tinggi jagaan dari struktur PEGAR sangat berpengaruh, baik terhadap transmisi gelombang maupun terhadap profil pantai yang terbentuk di belakang struktur PEGAR. Pemasangan tiga prototipe PEGAR Geotube dipantai Tanjung Kait pada elevasi muka air rata-rata (MSL), telah menunjukkan respons positif terhadap garis pantai di belakangnya. Hasil monitoring perubahan garis pantai telah menunjukkan terbentuknya lahan timbul yang disambut baik oleh masyarakat setempat. Setelah enam bulan pemasangan, profil pantai baru di belakang struktur tersebut maju sekitar 6-10 m dan volume pasir yang terendapkan dalam bentuk lahan timbul sekitar 4000 m³. Kondisi pantai di sekitar pemasangan prototipe geotube memperlihatkan profil pantai yang stabil dan berbeda dengan profil pantai sebelum dipasang struktur.

Kata kunci: *Prototipe, pemecah gelombang ambang rendah, perlindungan pantai, geotube, Pantai Tanjung Kait*

ABSTRACT

This paper presents study results of the PEGAR prototype based on monitoring results of prototype performance and shoreline response in the rear of the structure. PEGAR (Low-crested breakwater structure) is functioning appropriately when it is not only recovering eroded beaches behind the structure, but also expanding the shoreline seaward due to the formation of salien. Furthermore, wave energy passing the structure may dissipate and initiate a sedimentation process that may deposit sediment along the beach. Coastal hydraulics parameters such as wave height and period, coastal slope, and crest height of the PEGAR structure are excessively influencing both the wave transmission and beach profile formed behind the PEGAR structure. The construction of three geotube PEGAR prototypes at Tanjung Kait Beach at mean sea level (MSL) shows a positive response to the shoreline behind the structure indicating the formation of salien. After six months of construction, beach profile of the newly formed beach behind the structure had progressed by approximately 6 m - 10 m, whereas volume of sand deposit as indicated by the formation of salien is about 4000 m³. Beach conditions adjacent to the prototypes showed a stable beach profile, contrary to the beach profile before the geotubes were installed.

Keywords: *Prototype, low-crested breakwaters, coastal protection, geotube, Tanjung Kait Beach*

PENDAHULUAN

Permasalahan erosi pantai akhir-akhir ini telah mendapat perhatian luas dan serius dari pemerintah maupun masyarakat, karena dampak yang ditimbulkannya berakibat langsung pada kehidupan masyarakat antara lain kerusakan infrastruktur, permukiman, transportasi, tempat wisata, dan kehilangan properti pantai lainnya. Upaya penanggulangan erosi pantai di Indonesia telah banyak dilakukan antara lain dengan menggunakan struktur pelindung pantai berupa tembok laut, revetmen, tanggul laut, krib, dan pemecah gelombang. Dari total panjang struktur pengaman pantai yang telah diterapkan, tembok laut merupakan struktur yang paling banyak digunakan. Dari sekitar 69.244 m panjang pantai yang telah ditangani, sebagian besar dilakukan pengamanan dengan struktur yang berfungsi melindungi langsung pantai di belakangnya yaitu tembok laut 69%, seperti krib 18%, dan pemecah gelombang 9% (Supartanto dkk., 2002). Banyaknya penggunaan tembok laut sebagai struktur pengaman pantai karena jenis struktur tersebut memberikan kinerja yang mampu menanggulangi kerusakan pantai dengan dampak yang minimal terhadap pantai sekitarnya. Penggunaan pemecah gelombang dan tanggul laut sebagai bangunan pelindung pantai hanya tercatat di beberapa tempat, seperti di Pantai Barat Kalimantan Barat, Pantai Sanur, Pantai Nusa Dua, dan Pantai Kuta, Bali.

Penggunaan struktur pemecah gelombang lepas pantai di Indonesia, saat ini, masih kurang populer dibandingkan dengan jenis bangunan pengaman pantai lainnya seperti tembok laut, revetmen, atau krib. Kurangnya penggunaan struktur pemecah gelombang sebagai pelindung pantai 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. Dengan berbagai inovasi dimensi dan penggunaan bahan alternatif, maka telah berkembang struktur PEGAR, yaitu struktur pemecah gelombang ambang rendah berbahan *geotube* yang mampu merespon terhadap kendala biaya. Berdasarkan hasil pemantauan prototipe PEGAR di Pantai Tanjung Kait, Tangerang, struktur ambang rendah berbahan *geotube* tersebut telah memberikan respons perubahan garis pantai yang positif dengan terbentuknya salien atau oleh penduduk setempat disebut sebagai lahan timbul.

Penulisan makalah ini bertujuan menyampaikan hasil uji prototipe PEGAR di lapangan, berdasarkan hasil monitoring kinerja prototipe, dan respon pantai di belakang prototipe

PEGAR. Selain itu juga untuk mendapatkan teknologi perlindungan pantai alternatif yang inovatif baik dari segi dimensi maupun materialnya.

KAJIAN PUSTAKA

1 Dimensi dan derajat submergensi pegar

Adaptasi dimensi struktur pemecah gelombang lepas pantai telah menghasilkan struktur pemecah gelombang lepas pantai tenggelam (*submerged breakwaters*) atau sering juga disebut pemecah gelombang ambang rendah (*low-crested breakwaters*). Istilah pemecah gelombang ambang rendah (*low-crested breakwaters*) akan digunakan dalam makalah ini dan selanjutnya disebut PEGAR yang didefinisikan sebagai struktur pelindung pantai yang dibangun sejajar pantai dengan bagian puncak berada di bawah air mendekati permukaan atau sedikit muncul di atas permukaan air rata-rata (Buccino dan Calabrese, 2007). Beberapa literatur menunjukkan adanya kecenderungan penggunaan PEGAR di berbagai negara seperti di Amerika Utara, Jepang, dan Eropa (Durgappa, 2008). Keunggulan PEGAR antara lain mampu mengurangi permasalahan estetika, lebih murah, sirkulasi air yang lebih baik yang memungkinkan meningkatnya kualitas air dan produktivitas biologi, dan mengurangi efek hambatan terhadap angkutan sedimen (Kularatne dkk, 2008).

Parameter utama yang digunakan dalam menggambarkan geometri PEGAR ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam hal ini h = tinggi struktur, d = kedalaman air, dan $F = h-d$ merupakan tinggi jagaan, selisih antara tinggi struktur dan kedalaman air. Salah satu parameter penting dalam mendesain dan menentukan efektifitas pemecah gelombang adalah derajat submergensinya, dijelaskan dengan tiga parameter, yaitu: (1) derajat ketenggelaman (*submergence*) = d/h , (2) tinggi struktur relatif = h/d , dan (3) perbandingan antara tinggi jagaan terhadap kedalaman air = F/d . Derajat ketenggelaman merupakan rasio antara kedalaman air terhadap tinggi struktur PEGAR. Untuk struktur konvensional yang terekspos, dimana tinggi puncaknya melampaui kedalaman air, rasionya adalah kurang dari satu atau $d/h < 1.0$. Sedangkan untuk struktur ambang rendah, rasionya lebih dari satu atau $d/h > 1.0$. Tinggi struktur relatif, yang merupakan rasio antara tinggi struktur terhadap kedalaman air (h/d) juga dapat dipakai sebagai parameter nondimensi untuk menggambarkan derajat submergensi dan keterekposannya. Dengan memakai rasio tinggi relatif ini, derajat submergensi struktur adalah lebih kecil dari satu ($h/d < 1.0$ dan untuk struktur yang terekspos rasionya adalah satu) $h/d > 1.0$.

2 Pola dinamika gelombang dan arus sekitar PEGAR

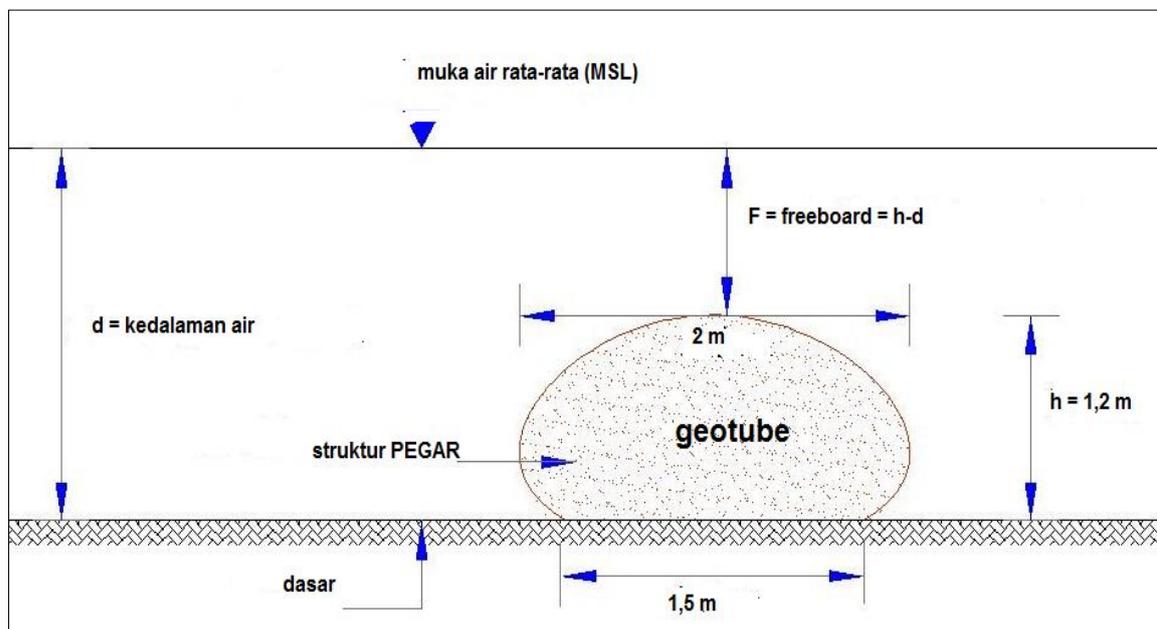
Gelombang yang menjaral dari perairan dalam menuju pantai, pada saat memasuki perairan dangkal akan mengalami transformasi yaitu: refraksi/difraksi, *shoaling* (pendangkalan), refleksi, dan transmisi (Dean dan Dalrymple, 2000). Sedangkan gelombang yang merambat menuju pantai yang melimpasi suatu kedalaman yang tiba-tiba berubah menjadi dangkal, seperti adanya struktur ambang rendah, maka gelombang akan mengalami beberapa daerah perubahan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Sebagian energi gelombang akan dipantulkan, ditransmisikan, dan sebagian lain akan terhancurkan. Persentase besarnya energi gelombang yang dipantulkan (refleksi), dihancurkan (disipasi) dan yang diteruskan (transmisi) sangat tergantung pada karakteristik gelombang datang (tinggi, periode, dan kedalaman air), jenis bangunan pantai (permukaan halus atau kasar, lurus air atau kedap air), dan geometri bangunan (tinggi mercu, lebar mercu bangunan, dan kemiringan).

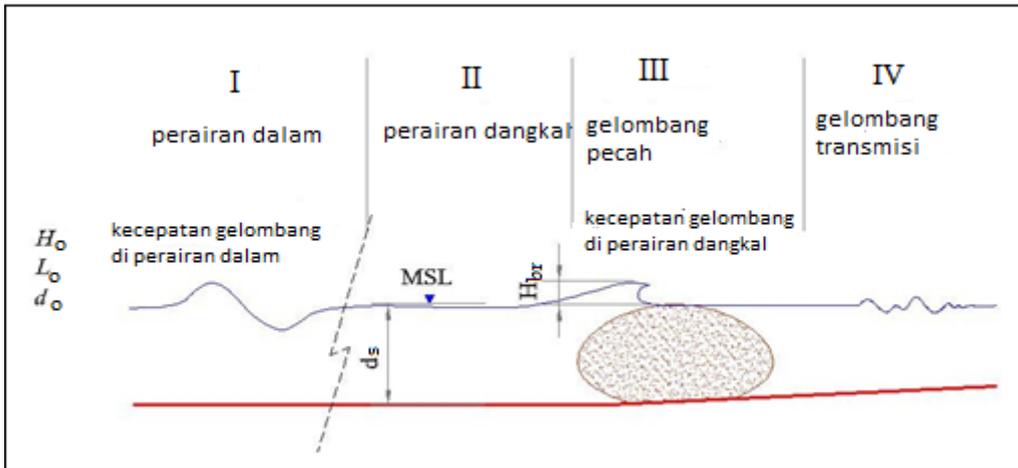
Gelombang laut adalah parameter hidrolika kelautan paling berperan dalam mengendalikan proses dinamika pantai dan perubahan maju mundurnya garis pantai. Manakala gelombang tersebut besar, maka gaya dan energi hempasannya akan besar pula. Gelombang yang pecah terkait erat dengan transpor dan pendistribusian sedimen sepanjang pantai. Pantai akan mengalami erosi yang ditunjukkan dengan mundurnya garis pantai dari posisi semula. Proses

erosi ini terjadi apabila tidak ada keseimbangan antara pasokan dan kapasitas angkutan sedimen. Pada sisi lain, pantai akan mengalami akresi berupa terakumulasinya sedimen di pantai, apabila pasokan sedimen ke daerah pantai melampaui kapasitasnya. Energi gelombang yang datang ke pantai bisa dikurangi sampai pada suatu kondisi yang dapat menumbuhkan profil pantai seimbang dengan struktur ambang rendah, sehingga membuat sedimen terakumulasi tanpa mengganggu transpor sedimen menyusur pantai.

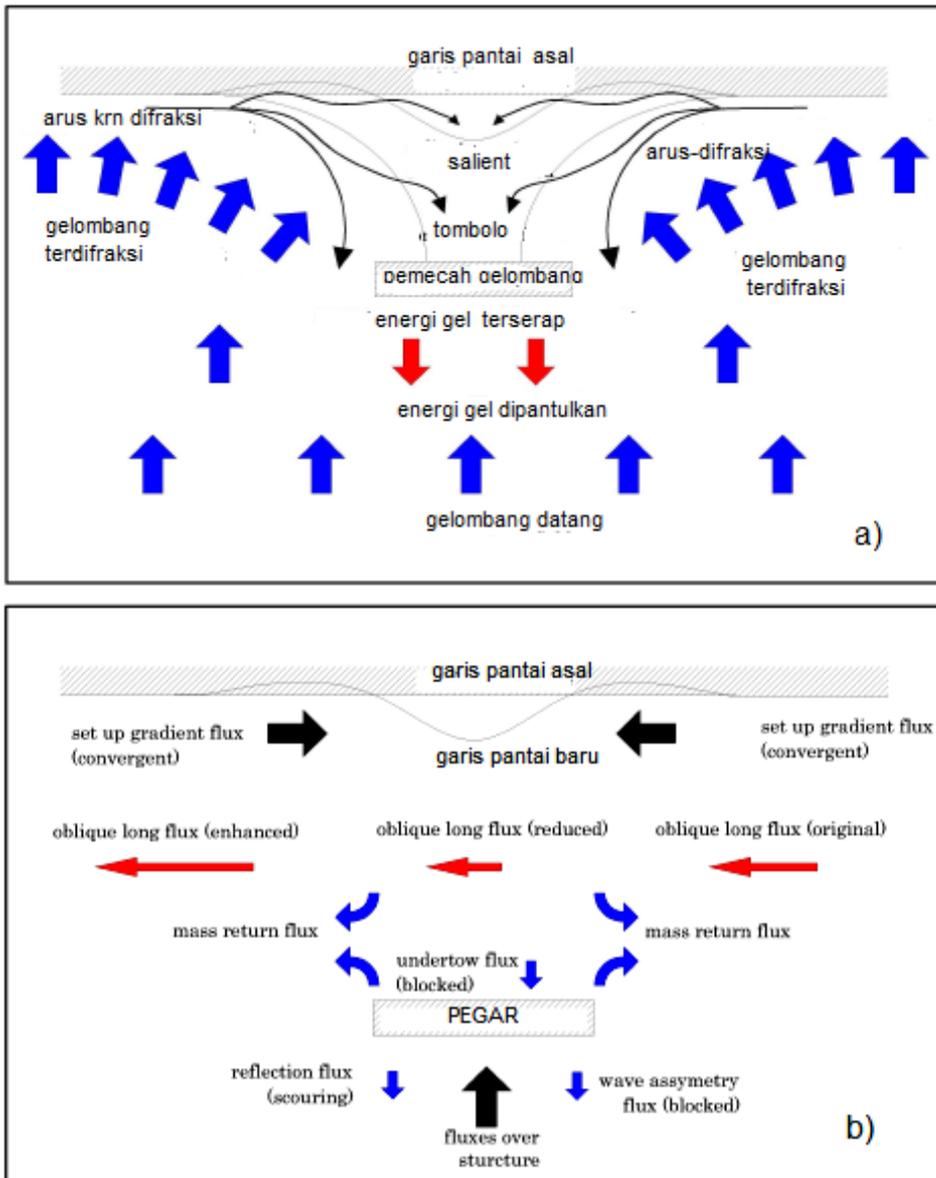
Pemecah gelombang lepas pantai (PG) adalah bangunan pelindung pantai yang dipasang tidak menempel di pantai. Puncak struktur PG biasanya berada di atas muka air tinggi, berperan menahan energi gelombang yang lewat dan karena itu mengurangi gerakan gelombang di belakang struktur. Pada struktur PG konvensional difraksi gelombang sekitar struktur lebih dominan daripada PEGAR dan karena itu gelombang refleksi ke arah laut lebih banyak terjadi. Difraksi gelombang menyebabkan puncak-puncak gelombang yang melewati struktur menyelaraskan diri dan tidak sejajar dengan garis pantai awal (Gambar 3a). Suatu proses difraksi yang ditunjukkan oleh tegangan radiasi, akan membangkitkan arus yang bergerak sejajar garis pantai dan mengangkut sedimen terlarut ke arah daerah bayangan di belakang struktur. Bentuk timbunan sedimen yang dikenal dengan salien akan tumbuh ke arah laut dan akan mencapai keseimbangannya sebagai salien atau tombolo, yaitu pertumbuhan salien yang mencapai struktur.



Gambar 1 Penampang PEGAR berbahan geotube (diadaptasi dari www.artificialreefs.org)



Gambar 2 Penjalaran gelombang dari perairan dalam ke pantai melalui struktur PEGAR



Gambar 3 Dinamika arus sekitar PG (a) dan sekitar PEGAR (b), adaptasi dari Caceres dkk. (2005)

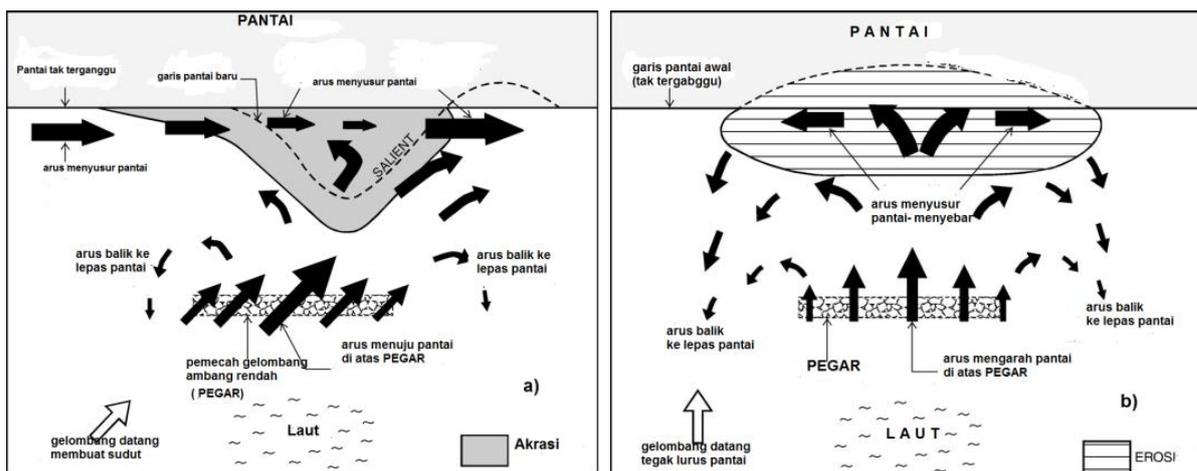
PEGAR adalah struktur pemecah gelombang lepas pantai dengan elevasi puncak di bawah atau sedikit muncul di atas muka air rata-rata. Struktur ambang rendah ini mendorong gelombang pecah dan selanjutnya mendisipasi energinya melalui gelombang pecah dan gesekan dasar. Perbedaan utama antara PG dan PEGAR 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. PEGAR membangkitkan arus konvergen yang mengalir di daerah bayangan karena adanya *setup* yang terbentuk di salah satu sisi yang mengarah ke pantai. Sedimen pasir secara perlahan terdeposit di daerah bayangan ini, dan dalam rentang waktu yang lebih lama terbentuk salien. Tipikal dinamika gelombang dan arus di sekitar struktur PEGAR dilukiskan pada Gambar 3b.

3 Transformasi gelombang dan respons pantai di belakang PEGAR

Respons garis pantai terhadap keberadaan pemecah gelombang dikendalikan oleh sedikitnya 14 variabel (Hanson dan Kraus, 1991) delapan di antaranya adalah variabel yang sangat berperan yaitu (1) jarak dari pantai; (2) panjang struktur;

(3) karakteristik transmisi dari struktur; (4) kemiringan dasar pantai; (5) tinggi gelombang; (6) periode gelombang; (7) orientasi sudut dari struktur; dan (8) arah gelombang dominan.

Analisis transformasi gelombang pada pemecah gelombang dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai variabel nondimensional dalam bentuk grafik. Proses transmisi gelombang didefinisikan sebagai K_t , yaitu rasio antara tinggi gelombang transmisi (H_t) dan tinggi gelombang datang (H_i). Gelombang refleksi didefinisikan sebagai K_r , yaitu rasio antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i). Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien transmisi tergantung dari tinggi relatif pemecah gelombang (h_c/H_i) dan kecuraman gelombang (*wave steepness, sp*). Efek tinggi gelombang datang, kemiringan sisi struktur, dan lebar puncak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya transmisi gelombang. Dalam melakukan penilaian terhadap respons garis pantai oleh adanya PEGAR, Ranasinghe dan Turner (2006) menunjukkan bahwa akresi garis pantai akan terjadi di belakang struktur PEGAR dengan angkutan sedimen menyusur pantai yang dominan (Gambar 4a), sedangkan erosi akan terjadi di belakang struktur PEGAR, bila arah angkutan sedimen dominan tegak lurus pantai (Gambar 4b).



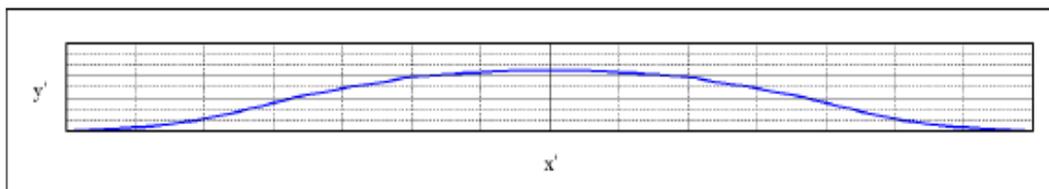
Gambar 4 Respons garis pantai akrasif (kiri) dan erosif (kanan) di sekitar PEGAR (Ranasinghe dan Turner, 2006)

Black dan Andrews (2001) memberikan suatu rumus empiris hubungan antara dimensi PEGAR dengan respon garis pantai yang terbentuk. Pertumbuhan bentuk salien diusulkan dalam formula sebagai berikut :

$$y' = -0.052 + \frac{1,187}{\left\{ 1 + e^{\left(x'^{-0.606} \ln 2^{1.65} - 1 \right)} \right\}} \quad 1)$$

dimana x' adalah jarak sepanjang garis pantai dan y' adalah jarak dari garis pantai asal ke garis pantai baru. Kedua harga x dan y telah dinormalisasi terhadap dimensi maksimum salien, karena itu formula tersebut hanya memprediksi bentuk dari salien (Gambar 5).

Penelitian model fisik dan numerik terhadap PEGAR telah dilakukan Ranasinghe dan Turner (2004) dan menyimpulkan bahwa struktur PEGAR yang terlalu dekat ke pantai menyebabkan erosi,



Gambar 5 Bentuk salien di belakang struktur ambang rendah (Black dan Andrew, 2001)

sedangkan yang agak jauh dari pantai terjadi akresi. Selain itu juga disimpulkan bahwa sudut gelombang datang dan tinggi mercu/*freeboard* berdampak penting terhadap besarnya respons garis pantai

4 Kemiringan pantai dan tipe gelombang pecah

Kemiringan pantai erat kaitannya dengan tipe gelombang pecah dan pola dinamika gelombang dan arus setelah gelombang pecah. Battjes (1974) mengklasifikasi tipe gelombang pecah berdasar parameter keserupaan nondimensi (*surf similarity*) yang dikenal sebagai bilangan Iribaren (ξ), seperti ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\xi_b = \tan\theta \left(\frac{H_b}{L_o} \right)^{-1/2} \quad 2)$$

dengan ξ_b adalah bilangan Iribaren di perairan dangkal, $\tan \theta$ adalah kemiringan dasar pantai, H_b adalah tinggi gelombang pecah, dan L_o adalah panjang gelombang perairan dalam. Dengan mengevaluasi persamaan tersebut, dapat ditentukan tipe gelombang pecah dan menganalisis mekanisme reduksi energi gelombangnya. Tipe gelombang pecah berdasarkan bilangan Iribaren adalah sebagai berikut :

- Tumpah (*Spilling*) : $\xi_b < 0,5$
- Terjun (*Plunging*) : $0,5 < \xi_b < 2,0$
- Ambruk (*Collapsing*) : $\xi_b > 2,0$
- Bergulung (*Surgings*) : $\xi_b > 2,0$

Dari keempat jenis gelombang pecah tersebut, tipe *spilling* dengan bilangan Iribaren kecil sangat menarik untuk disimak karena berkaitan dengan pola sedimentasi setelah melewati struktur ambang rendah. Tipe tumpah – merayap yang berkaitan dengan kemiringan pantai yang sangat landai dan penyusutan energi gelombang terdistribusi sepanjang pantai. Jenis gelombang pecah ini bersifat akratif, sangat mendukung bagi desain rehabilitasi pantai tererosi karena pasir yang terangkut dalam arah menuju pantai dan mengendapkannya di belakang struktur ambang rendah. Tipe gelombang pecah seperti *plunging*, *surgings*, dan *collapsing*, dengan bilangan Iribaren yang lebih besar, terjadi pada perairan

pantai dengan kemiringan terjal dan gelombang yang tinggi. Ketiga tipe gelombang pecah tersebut bersifat erosif dimana setelah pecah, gelombang akan mengikis dan mengangkut pasir ke arah laut. Kriteria tipe gelombang pecah dan kemiringan pantai merupakan masukan penting dalam mendesain tinggi jagaan PEGAR. Tinggi jagaan PEGAR yang sesuai akan memberikan dissipasi energi gelombang yang positif. Struktur PEGAR yang terlalu tinggi akan berdampak pada timbulnya refleksi gelombang yang menyebabkan ketidakstabilan dan gerusan lokal di depan PEGAR. Sedangkan apabila struktur PEGAR terlalu rendah, efek PEGAR sebagai peredam energi gelombang menjadi kurang efektif.

METODOLOGI

1 Karakteristik lokasi studi dan parameter desain

Pantai Tanjung Kait yang terletak di Kecamatan Mauk, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten, merupakan pantai berpasir hitam kecoklatan yang landai dengan kemiringan 0.03 (*slope* < 0.1 = landai). Gelombang pada saat badai mencapai 1 m. Berdasarkan karakteristik kemiringan pantai hasil survei didapatkan gelombang maksimum yang terjadi sebesar 90 cm (2 kali jarak MSL ke vegetasi terendah) dengan periode gelombang yang terjadi sebesar 4 detik. Garis Pantai Tanjung Kait mengalami erosi sekitar 10 m/tahun yang disebabkan erosi akibat eksploitasi sumber daya pesisir beberapa tahun terakhir. Kondisi pantai sebagian besar terdiri dari areal pertambakan yang telah ditinggalkan, tebing pantai terjadi karena hantaman dan gerusan gelombang tegak lurus pantai. Angkutan sedimen tegak lurus pantai *onshore-offshore* lebih dominan, sedangkan arah *long shored drift* ke arah Tenggara. Erosi pantai terjadi setelah konversi hutan mangrove menjadi areal pertambakan, tidak tampak vegetasi pantai yang tumbuh di sekitar pantai. Akibat erosi pantai banyak puing-puing bangunan dan lahan tambak yang ditinggalkan dan tidak terurus. Erosi pantai di Tanjung Kait termasuk tingkat erosi yang berat. Proses erosi pantai yang terjadi bersifat jangka panjang, yang disebabkan pelindung alami seperti vegetasi pantai

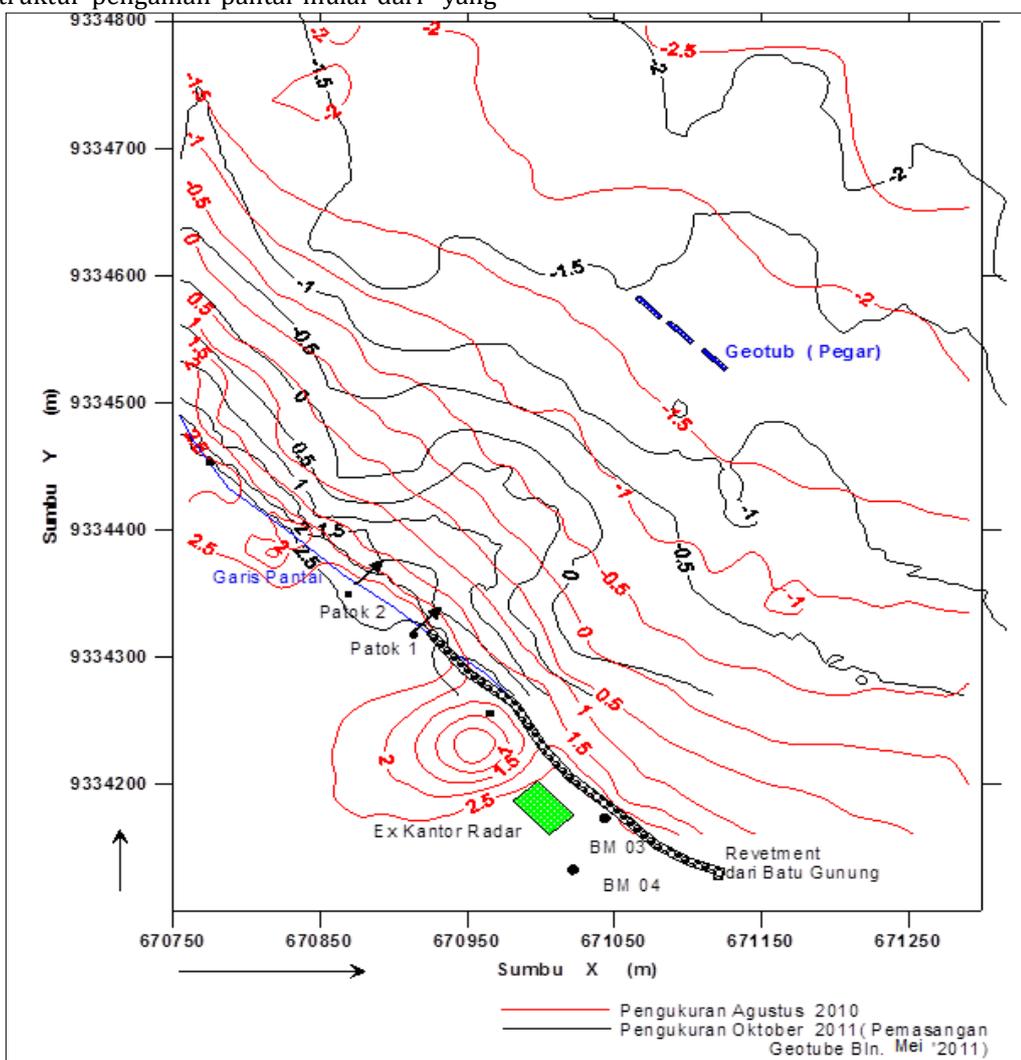
telah lama hilang karena pengaruh campur tangan manusia. Proses erosi tersebut, juga dipengaruhi oleh musim, dimana pada suatu musim terjadi badai dengan gelombang yang tinggi yang menyebabkan erosi pantai dengan tingkat kerusakan yang tinggi.

2 Penggunaan geotube sebagai material alternatif

Penerapan PEGAR *geotube* sebagai alternatif pelindung Pantai Tanjung Kait dapat terrealisasi atas kerjasama antara Balai Besar Wilayah Sungai Cidanau Ciujung Cidurian, Pusat Litbang Sumber Daya Air, dan PT. KPAM Jakarta, sebagai kontraktor pelaksana. Kerja sama ini berawal dari kegiatan "Advis Teknik Penanganan Erosi Pantai Tanjung Kait Tahun 2010", dimana salah satu rekomendasi penanganannya diusulkan menggunakan PEGAR berbahan *geotube* selain penanganan dengan revetmen dari batu alam.

Berbagai bahan bangunan bisa digunakan untuk struktur pengaman pantai mulai dari yang

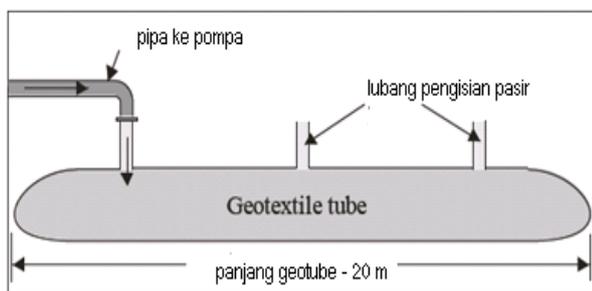
konvensional (batu alam dan blok beton) sampai hasil inovasi mutakhir seperti geotekstil dan gabion. Diantara bahan-bahan hasil inovasi tersebut, geotekstil merupakan bahan yang paling populer sebagai bahan bangunan pengaman pantai. Bahan pengaman alternatif yang lebih lembut dan murah seperti karung pasir geotekstil (*geotextile sand containers, GSC*) atau di pasaran lebih dikenal dengan *geotube*, banyak digunakan sebagai pengganti bahan konvensional yang mahal dan kaku (Oumeraci dan Recio, 2010). Di antara berbagai jenis pilihan untuk struktur ambang rendah, *geotube* dipilih karena kemampuannya dalam mensipasi sekaligus mereduksi energi gelombang, dan karena kelenturannya beradaptasi di dalam media pantai yang dinamis. Pertimbangan lainnya adalah modifikasi struktur *geotube* terhadap respons morfologi pantai cepat dan biaya pemasangan dan pemeliharaan relatif murah (Alvarez dkk, 2006).



Gambar 6 Peta situasi dan posisi PEGAR *geotube* di Pantai Tanjung Kait

Penggunaan geotekstil memberikan beberapa keuntungan yaitu 1) material geotekstil seperti *geotube* atau *Geotextile Sand Container* tersedia di pasaran dengan berbagai ukuran; 2) material geotekstil relatif ringan yang memungkinkan ongkos angkut ke lokasi relatif murah; 3) material pengisi seperti pasir diperoleh di lokasi proyek; 4) respons terhadap gelombang fleksibel; dan 5) dapat dipasang dengan menggunakan tenaga lokal tanpa memerlukan keahlian khusus.

Geotube yang dipasang berdimensi lebar, tinggi, dan panjang masing-masing 1,5 m, 1,2 m, dan 20 m (lihat Gambar 7). Sedangkan volume *geotube* setelah terisi pasir adalah 40 m³ dan berat total berisi pasir 76.000 kg/unit. Ketiga *geotube* dipasang berjejer sejajar garis pantai pada kedalaman 1,5 m, dengan celah 10 m, dan jarak dari pantai sekitar 120 m (Gambar 6). Elevasi puncak *geotube* berada pada posisi muka air rata-rata (MSL). Karena itu, pada kondisi air laut pasang atau air tinggi (HWL) PEGAR tersebut tenggelam, sedangkan pada kondisi air laut surut (LWL) struktur PEGAR tersebut nampak ke permukaan. Parameter disain yang digunakan untuk perencanaan PEGAR *geotube* ini didasarkan pada data yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan, yaitu: 1) tinggi gelombang pecah $H_b < 1,1$ m (70 % kejadian); 2) periode gelombang $T: 3 < T < 8$ (70 % kejadian); 3) kemiringan pantai $\tan \theta: 0,1 \% < \tan \theta < 0,6 \%$; 4) tunggang pasang 90 cm; 5) arah arus menyusur pantai, Barat laut – Tenggara; 6) angkutan sedimen, 65 000 m³/tahun; dan 7) diameter sedimen $D_{50} = 0,30$ mm.



Kelebihan utama geotekstil dibandingkan dengan bahan konvensional adalah biaya bahan dan pekerjaan lebih murah, menggunakan bahan isian setempat, tidak memerlukan alat berat dan tenaga terlatih (Ergin dkk., 2008). Biaya bahan dan pemasangan *geotube* sebagai bahan pemecah gelombang di Dubai, UAE, adalah sekitar sepertiga dari biaya untuk bahan konvensional (Weerakoon dkk., 2003). Namun demikian, dari segi ketahanan bahan 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 (Vogt, 2008).

3 Monitoring perubahan garis pantai dan kondisi PEGAR *geotube*

Monitoring terhadap kinerja prototipe PEGAR yang telah dipasang pada bulan Mei 2011 dilakukan untuk merekam perubahan parameter yang terjadi dan untuk mengetahui seberapa efektif struktur tersebut dalam melindungi pantai. Kegiatan monitoring dilakukan pada bulan Oktober 2011 dan bulan Desember 2011 dengan titik berat penelitian pada perubahan morfologi pantai. Kegiatan monitoring terdiri dari survei topografi, bathimetri, dan hidro-oseanografi. Pengukuran gelombang dan arus yang merupakan bagian dari survei hidro-oseanografi dilakukan di depan dan di belakang struktur PEGAR untuk memantau transmisi gelombang sebelum dan setelah melewati struktur.



Gambar 7 Tipikal *geotube* (kiri) dan contoh *geotube* di Pantai Pusong, Aceh (kanan) (Sumber : PT. KPAM)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Salien dan respons perubahan garis pantai

Pengamatan secara visual respons garis pantai setelah pemasangan struktur PEGAR, dapat dibandingkan foto kondisi pantai pada bulan Juli 2010, yaitu kondisi eksisting saat survei dan pengukuran situasi Pantai Tanjung Kait dan

kondisi pantai bulan September 2011 dan bulan Desember 2011. Salien yang terbentuk setelah terpasangnya struktur pada posisi tepat di belakang PEGAR *geotube* merupakan dampak positif dari keberadaan PEGAR di pantai tersebut dan oleh penduduk setempat disebut sebagai lahan timbul (Gambar 8 dan Gambar 10).

Respons garis pantai di belakang struktur PEGAR dianalisis berdasar hasil pengukuran profil melintang pantai bulan Oktober 2011 dan Desember 2011, yang selanjutnya dibandingkan dengan profil pantai Agustus 2010 (desain prototipe). Hasil monitoring perubahan profil pantai ditunjukkan pada Gambar 9. Analisis perhitungan volume pasir antara Patok 1 dan Patok 2 menunjukkan penambahan volume pasir sebesar 4000 m³ dalam jangka waktu 6 bulan sejak pemasangan PEGAR *Geotube* (Tabel 2). Salien yang terbentuk di belakang PEGAR, nampak berwarna kuning kecoklatan. Respons pantai di belakang

PEGAR dalam formasi salien, nampak seragam pada sisi kiri maupun sisi kanan pantai. Situasi salien yang seragam sepanjang pantai tersebut menunjukkan sumber sedimen yang mengendap di pantai berasal dari angkutan sedimen dalam arah tegak lurus pantai atau *onshore-offshore* (Gambar 10). *Geotube* telah menunjukkan kinerja baik dan berfungsi sebagai pemecah gelombang ambang rendah sejajar pantai. Seperti diharapkan, disipasi energi gelombang berlangsung melalui gelombang pecah yang terjadi karena adanya PEGAR *geotube*. Turbulensi timbul dalam arah menuju pantai yang memicu terakumulasinya sedimen.

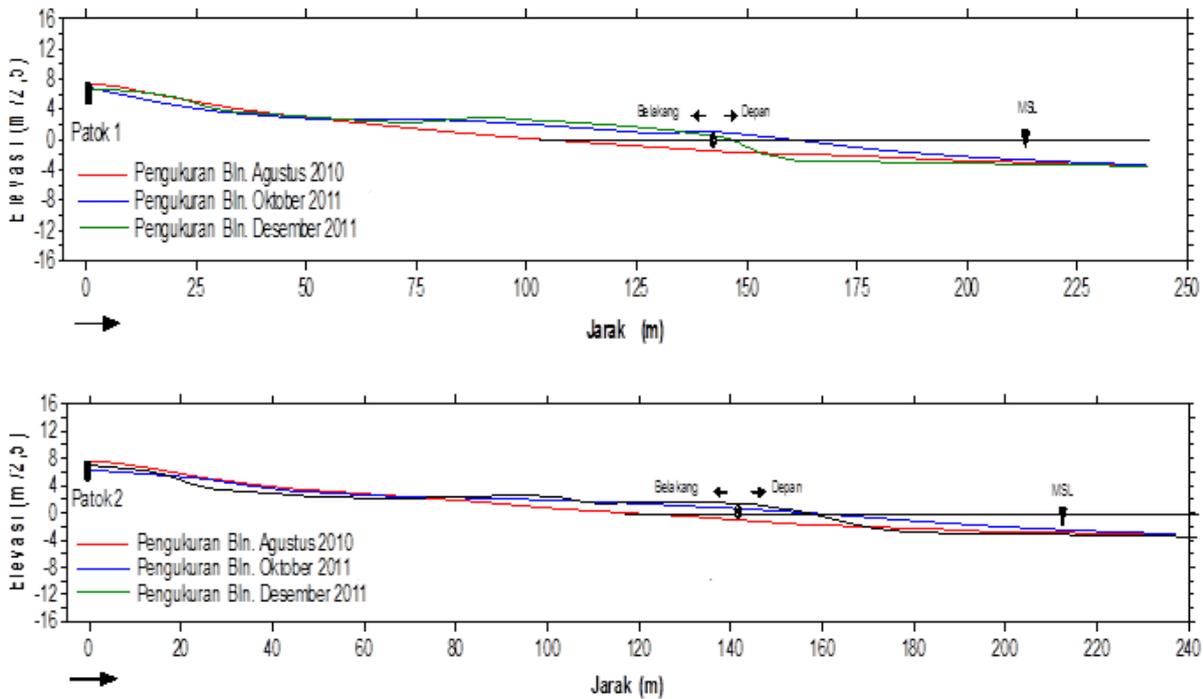


(a)



(b)

Gambar 8 Kondisi Pantai Tanjung Kait pada Juli 2010 (a) dan Oktober 2011(b)



Gambar 9 Profil melintang dan volume salien yang terbentuk setelah 6 bulan pemasangan *geotube*

2 Kondisi struktur PEGAR

Hasil monitoring terhadap kondisi PEGAR setelah empat bulan pasca pemasangan menunjukkan bahwa keberadaan ketiga PEGAR masih terpasang stabil, seluruh badan telah dipenuhi lumut berwarna hijau, seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Proses penimbunan sedimen di belakang dan di depan struktur PEGAR, diperkirakan sebagai berikut: (1) struktur telah berfungsi dengan baik dengan meredam dan mereduksi energi gelombang yang lewat di atasnya dan memungkinkan terjadinya proses sedimentasi di belakang struktur. Arah gelombang dan angkutan sedimen *onshore-offshore* mendominasi pergerakan dan sedimentasi di belakang struktur PEGAR; (2) pada saat air pasang, gelombang tinggi yang lewat dan pecah begitu melimpasi PEGAR, energinya berkurang bersamaan dengan mengecilnya tinggi gelombang. Pola arus yang terjadi setelah melewati PEGAR berubah lebih tenang, sedimen dalam bentuk suspensi selanjutnya mengendap pada saat air laut surut dan diangkut ke arah pantai pada saat air pasang.

3 Efektivitas PEGAR *geotube*

Geotube di Pantai Tanjung Kait, yang berperan sebagai struktur ambang rendah yang

dipasang sejajar pantai, telah menunjukkan kinerja baik sebagai struktur pelindung pantai alternatif ramah lingkungan. Tumbuhnya lahan timbul yang merupakan formasi salien sebagai dampak dari dipasangnya PEGAR *geotube*, telah menunjukkan bahwa teknologi perlindungan pantai alternatif tersebut telah bekerja meredam energi gelombang, melemahkannya, dan memungkinkan terjadinya akumulasi sedimen di pantai. Dampak positif terbentuknya lahan timbul tersebut, tentu saja sangat dipengaruhi kondisi lingkungan fisik di Pantai Tanjung Kait, seperti iklim gelombang, kemiringan pantai, angkutan sedimen, dan parameter geometri struktur PEGAR.

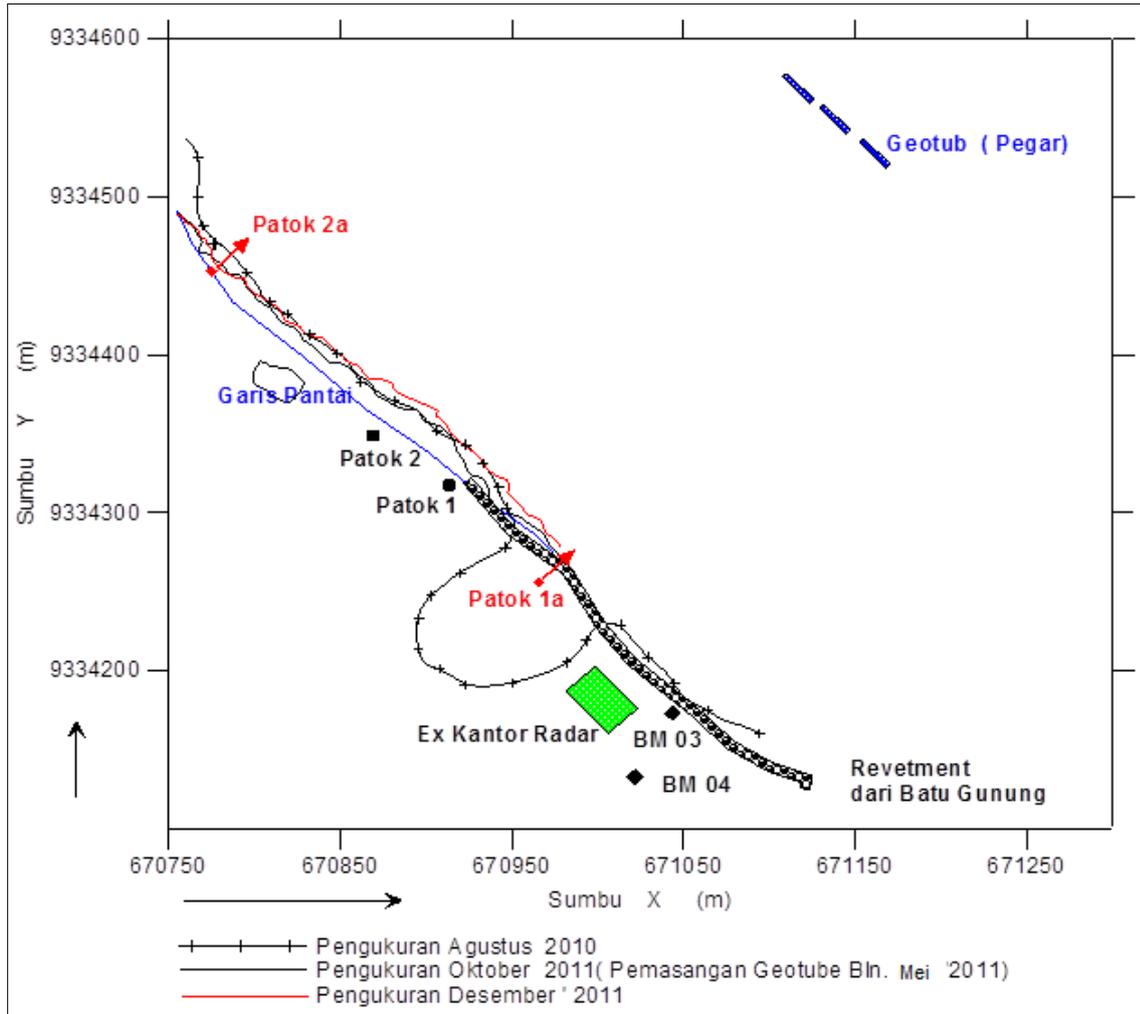
Dari kegiatan litbang perlindungan pantai ini, terdapat beberapa keterbatasan dari teknologi PEGAR *geotube* ini yang berpengaruh pada efektivitas struktur PEGAR sebagai pelindung pantai. Keterbatasan ini terkait erat dengan dimensi *geotube* yang digunakan, kondisi perairan pantai, dan parameter hidro-oseanografinya. Dimensi *geotube* yang digunakan pada prototipe PEGAR di lapangan, setelah terisi pasir adalah tinggi 1,2 m; lebar dasar 1,5 m; lebar puncak 2 m; dan panjang 20 m.



Gambar 10 Salien terbentuk di belakang Struktur PEGAR Tanjung Kait

Tabel 2 Volume erosi dan sedimentasi

No.	Pengukuran Bulan	Volume		Keterangan
		Patok	(m ³)	
1	Agustus 2010 - Oktober 2011	Patok 1 & Patok 2	3156,742	Sedimentasi
2	Oktober 2011 – Des 2011	Patok 1 & Patok 2	1037,144	Sedimentasi
Perubahan garis pantai				
1	Agustus 2010- Oktober 2011	Patok 1a & Patok 2a	2513,012	Erosi
2	Oktober 2011- Des 2011	Patok 1a & Patok 2a	2467,051	Sedimentasi



Gambar11 Perubahan garis pantai hasil monitoring Desember 2011



Gambar 12 Kondisi PEGAR Geotube Tanjung Kait dan gelombang pecah saat melewati geotube

Dengan dimensi *geotube* tersebut, PEGAR *geotube* yang telah diterapkan di lapangan akan efektif dan bekerja dengan baik untuk kondisi pantai sebagai berikut: (1) tinggi gelombang, $H < 3$ m dan periode gelombang $T = 4 - 8$ detik; (2) kecepatan arus $V < 0,5$ m/s; (3) tunggang pasang

(*tidal range*) $< 1,1$ m; (4) lereng pantai (*slope*) $0,1\% < \tan \theta < 0,5\%$; (5) kedalaman air < 2 m; dan diameter sedimen $0,20 \text{ mm} < D_{50} < 0,30 \text{ mm}$. Mengingat keterbatasan keterbatasan tersebut, maka upaya pengembangan selanjutnya perlu dilakukan sehingga struktur pelindung pantai ini

mampu melindungi dan merehabilitasi pantai pada kondisi gelombang lebih besar dari 3 m dan pada perairan pantai untuk kedalaman yang lebih besar.

Tingkat efisiensi dari desain sangat tergantung dari seberapa tepat dalam memperkirakan atau menentukan transmisi gelombang di belakang PEGAR *geotube*. Evaluasi terhadap respons pantai oleh adanya PEGAR *geotube*, data yang berasal dari analisis transmisi gelombang harus terkait dengan jarak PEGAR dari garis pantai, arah datang gelombang, panjang *geotube*, kemiringan pantai, laju angkutan sedimen, dan diameter sedimen. PEGAR *geotube* didesain untuk menjadi bagian dari upaya perlindungan pantai yang mampu membangkitkan keseimbangan profil pantai tanpa mengganggu dinamika pantai alami yang berlangsung daerah pantai tersebut. Upaya rehabilitasi pantai tererosi dengan menstabilkannya melalui pemasangan PEGAR *geotube*, akan lebih efektif lahan timbul dalam bentuk salien tersebut dikombinasikan dengan menanam vegetasi pantai. Kombinasi PEGAR *geotube* 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.

KESIMPULAN

Efektivitas struktur pemecah gelombang ambang rendah dalam mereduksi energi gelombang dipengaruhi oleh bentuk geometris dan konfigurasi penempatan PEGAR, serta kedalaman air, tinggi dan periode gelombang. Panjang pemecah gelombang dan jaraknya dari garis pantai menentukan perubahan garis pantai yang terbentuk.

Prototipe PEGAR yang telah dipasang di Pantai Tanjung Kait, telah berfungsi dengan baik dengan meredam dan mereduksi energi gelombang yang lewat di atasnya dan memungkinkan terjadinya proses sedimentasi di belakang struktur. Volume sedimen sebesar 4000 m³ dalam bentuk lahan timbul atau salien yang terbentuk 4 bulan setelah pemasangan menunjukkan struktur tersebut berfungsi baik dalam merehabilitasi pantai yang tererosi.

DAFTAR PUSTAKA

Alvarez, E., Rubio, R. dan Ricalde H. 2006. Shoreline restored with geotextile tubes as submerged breakwaters. *Geosynthetics Magazine*, Volume 24, Nimber 3, pp 1-8.

- Battjes, J. 1974. Surf Similarity. *Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp.466-480.
- Black, K. And Andrew, C. 2001. Sandy shoreline response to offshore obstacles part 2: Discussion of formative mechanism. *Journal of Coastal Research* 29, 94-101.
- 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.
- Caceres, I., Sanchez-Archilla, A., Alsina, J., Gonzalez-Marco, D. 2005. *Coastal dynamics around a submerged barrier*, 5th International Conference on Coastal Dynamics, pp 158-162.
- Coastal Engineering Research Center. 2003. *Coastal Engineering Manual*. Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi.
- Dattatri, J., Raman, H. and Shankar, N.J. 1978. Performance Characteristics of Submerged Breakwater. Proc. of the 16th Coastal Engineering Conf., Hamburg, Germany, pp.2153-2171.
- Dean, R.G. and Dalrymple, R.A. 2000. *Water Wave Mechanics for Engineerrs and Scientist*. CED Series on Ocean Engineering-Volume 2, World Scientific.
- Durgappa H.R. 2008. Coastal Protection Works. *Proceedings of COPEDEC VII, Dubai, UAE*.
- Ergin A.C., Yalçiner S., Pamukçu, and B. A. Derun. 2003. Transmission of waves Through the Breakwaters Constructed with Geotextile Tubes. *Proceedings of COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka*.
- Hanson, H. and Kraus, N.C. 1990. Shoreline Response to a Single Transmissive Detached Breakwater. *Proc. 22nd Coastal Engineering Conf.* ASCE. The Hague.
- Kularatne, S.R., Kamphuis, J.W., dan Dabees, M.A. 2008. Morphodynamics around Low Crested Breakwaters Transmission of Wave Through Breakwaters A Numerical Study. *Proc. of the 7th Coastal and Port Engineering Conference in Developing Countries*. Dubai, UAE, pp. 1-19.

- 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.
- Pilarczyk, K.W. 2003. Design of Low Crested (Submerged) Structures- an Overview-, *Proceedings of COPEDEC VI. Colombo, Sri Lanka*.
- Pusat Litbang Sumber Daya Air. 2010. *Advis Teknik Penanggulangan Erosi Pantai Tanjung Kait, Tangerang*. Laporan Akhir, Bandung.
- Pusat Litbang Sumber Daya Air. 2010. *Pembuatan Prototip Pemecah Gelombang Ambang Rendah*. Laporan Akhir, Bandung.
- Ranasinghe, R. and Turner, I.L. 2004. Process governing shoreline response to submerged breakwaters: Multifunction structures- a special case. *Coastal Engineering* 53 (1): 1984-1986.
- Ranasinghe, R. and Turner, I.L. 2006. Shoreline response to submerged structures: A review. *Coastal Engineering* 53 (1): 65-79.
- Supartanto, B., Sulaiman, D.M., Asikin, Triadi, B., Sihombing, M., Togatorop, A., Kurniati T., Ideris, I., Riandini, F., dan Simanungkalit, P. 2002. *Tinjauan Umum Pengembangan Rawa dan Pantai di Indonesia: Permasalahan dan Perspektif ke Depan*. Balai Rawa dan Pantai. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, ISBN 979-3197-03-X.
- Submerged Breakwaters*. www.artificialreefs.org/ (diakses 10 Desember 2009 jam 20.00)
- Vogt H. 2008. Long-term Weathering Behaviour of Geotextiles. *Proceedings of COPEDEC VI. Colombo, Sri Lanka*,
- 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*.