

APLIKASI PROTOTIPE TEKNOLOGI KARUNG GEOTEKSTIL MEMANJANG (KGM) SEBAGAI KONSTRUKSI ALTERNATIF PENANGGULANGAN ABRASI DI PANTAI PADEMAWU KABUPATEN PAMEKASAN

Dendy Mahabrur¹, Vivi Yovita Indriasari, Agus Sofyan, Dwiyo Nugroho, Rudhy Akhwady

¹Pusat Riset Kelautan; Komplek Bina Samudera Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara

ABSTRAK

Secara umum permasalahan yang terjadi di pantai Pademawu pesisir selatan Kabupaten Pamekasan adalah abrasi yang mengakibatkan kerusakan pantai. Hal ini berdampak pada wilayah pesisir sepanjang Pantai Pademawu, yang berdasarkan data citra tahun 2006 dan 2017 telah mengalami abrasi sejauh 50m. Melihat kondisi seperti ini, Pusat Riset Kelautan, Kementerian Kelautan dan Perikanan melakukan penelitian tentang bangunan perlindungan pantai dengan menggunakan struktur lunak berupa prototipe teknologi Karung Geotekstil Memanjang (KGM) atau yang biasa disebut dengan Geotube. Geotube yang digunakan memiliki dimensi tinggi 1,5m, lebar 4m dan panjang 20m. Desain perlindungan pantai ini terbagi menjadi 4 segmen dimana setiap segmen terdiri dari 2 geotube (2x20m) dan jarak antar segmen sebesar 20m. Tujuan dengan pemasangan teknologi KGM ini adalah untuk memulihkan pantai yang tererosi yang berada di belakang struktur dengan harapan terbentuknya tombolo (sedimentasi) atau lahan timbul. Kriteria keberhasilan penerapan KGM ini hanya dapat diketahui dari hasil monitoring secara berkala setelah struktur tersebut dibangun. Dari hasil pengukuran dilapangan sejak September 2018-Maret 2019 terdapat penambahan tinggi timbunan atau sedimentasi mencapai 55cm.

Kata Kunci : Abrasi, Perlindungan Pantai, Geotube, Sedimentasi

PENDAHULUAN

Pantai adalah daerah pertemuan antara daratan dan lautan yang tersusun dari bermacam material yang antara lain pasir-kerikil, lempung-lanau, bahkan batuan serta material-material lainnya. Lingkungan pantai merupakan suatu wilayah yang selalu mengalami perubahan. Perubahan lingkungan pantai dapat terjadi secara lambat hingga cepat, tergantung dari faktor-faktor yang mempengaruhinya. Perubahan garis pantai umumnya disebabkan tidak saja oleh faktor alam tetapi juga akibat kegiatan manusia (Azhar, 2011).

Faktor alam diantaranya adalah gelombang, arus, aksi angin, sedimentasi, sungai, kondisi tumbuhan pantai serta aktifitas tektonik dan vulkanik. Sedangkan perubahan pantai akibat kegiatan manusia (antropogenik) di antaranya konversi dan

alih fungsi lahan pelindung pantai untuk sarana pembangunan di kawasan pesisir yang tidak sesuai dengan kaidah yang berlaku sehingga keseimbangan transpor sedimen disepanjang pantai dapat terganggu, penambangan pasir yang memicu perubahan pola arus dan gelombang (Pusat Litbang Sumber Daya Air. 2010).

Wilayah Pesisir pantai Pademawu Kabupaten Pamekasan merupakan kawasan pesisir Selatan Pulau Madura yang berhadapan langsung dengan selat Madura. Daerah pesisir selatan pulau Madura ini umumnya didominasi oleh pantai berlumpur dan sebagian pantai berpasir. Begitu pula dengan pantai Pademawu Pamekasan ini, dengan karakteristik material pantai seperti ini, perubahan garis pantai karena abrasi

menjadi persoalan yang mulai dirasakan sejak awal tahun 2000an.

Berdasarkan data citra satelit pada tahun 2006 hingga 2017 terjadi perubahan garis pantai akibat abrasi yang mencapai 50 meter (Indriasari, 2018). Wilayah pesisir selatan Pamekasan ini memang di dominasi oleh aktifitas perekonomian masyarakat berupa lahan tambak garam, sehingga dengan semakin berkurangnya garis pantai akibat abrasi menjadi sebuah ancaman terhadap keberadaan tambak-tambak garam tersebut.

Beberapa jenis konstruksi proteksi erosi antara lain tumpukan batu, tetrapod, bronjong, atau sheet pile. Adapun konstruksi proteksi erosi tersebut di atas memiliki beberapa kekurangan, mulai dari kesulitan pelaksanaan konstruksi di lapangan, pengadaan material dan terutama dari segi tingginya biaya, hingga lamanya waktu konstruksi. Salah satu alternatif konstruksi proteksi erosi yang sesuai diaplikasikan pada kondisi ini adalah Geotube (Bergado, 2005, Chu, 2011, Koerner, 2005).

Terkait dengan hal tersebut, akan ditinjau penggunaan material Geotube dengan tujuan menganalisis efektifitas penggunaan material Geotube sebagai alternatif konstruksi proteksi erosi. Geotube adalah suatu konstruksi yang berbentuk selubung pipa besar yang diisi material pasir di dalamnya. Selubung tersebut terbuat dari material geotekstil kuat tarik tinggi (high strength geotextile) dengan spesifikasi tertentu. Geotube ini telah diaplikasikan secara luas sebagai konstruksi pemecah gelombang, tanggul, revetment, groin, dan jetty (Suhendra, 2012). Pada prinsipnya, fungsi geosintetik sebagai pembungkus Geotube adalah menahan tanah atau campuran yang berada di dalam, tapi pada saat yang bersamaan harus dapat mengalirkan air keluar tanpa membawa butiran tanah dari dalam.

Dengan adanya perubahan garis pantai akibat abrasi ini, maka Pusat Riset Kelautan telah menginisiasi instalasi

struktur lunak perlindungan pantai menggunakan material teknologi geotekstil. Teknologi ini telah diterapkan di banyak negara sebagai struktur alternatif pelindung pantai yang murah, mudah dan efisien dalam melindungi pantai. Konsep dari struktur geotekstil ialah menangkap sedimen diantara pantai dan struktur sehingga abrasi pantai dapat teratasi. Teknologi ini dinamakan Karung Geotekstil Memanjang (KGM) dan pada penelitian ini lebih menitik beratkan pada keefektifan struktur KGM dalam mempertahankan garis pantai.

BAHAN DAN METODE

Bahan :

1. Alat GPS Garmin Echosounder 585 untuk survey batimetri
2. Alat pengukur pasut (Tide Gauge)
3. GPS handheld
4. Alat pengukur jarak (meteran)
5. Patok titik pengukuran 40 buah.
6. Alat sondir untuk uji penekanan yang dilakukan untuk menganalisa daya dukung tanah dan mengukur kedalaman lapisan tanah keras.
7. Kamera video real time
8. Drone

Adapun tahapan pengumpulan data dilapangan meliputi:

1. Pengukuran batimetri
2. Pengukuran pasang surut
3. Pengukuran uji tanah atau sondir untuk mengetahui daya dukung tanah dan jenis material pengisi KGM.
4. Pengukuran ketinggian sedimentasi di 40 titik di belakang struktur KGM selama Bulan September 2018 hingga Maret 2019.
5. Perekaman video real time

Lokasi Kegiatan

Kegiatan instalasi prototipe bangunan perlindungan pantai dengan teknologi Karung Geotekstil Memanjang dilakukan di pantai Pademawu pesisir selatan Kabupaten Pamekasan. Instalasi KGM ini selesai dilaksanakan pada bulan Juli 2008

dan dimulainya pemasangan titik monitoring terhadap perubahan garis

pantai pada bulan Agustus 2008.



Gambar 1. Lokasi Kegiatan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pasang Surut

Data pasang surut dilakukan untuk mengetahui karakteristik pasang surut di lokasi pemasangan KGM (Karung Geotekstil Memanjang) dan juga berguna untuk perencanaan letak dan dimensi KGM pengaman pantai. Berdasarkan hasil analisis data pasang surut didapatkan kesimpulan bahwa tipe pasang surut di

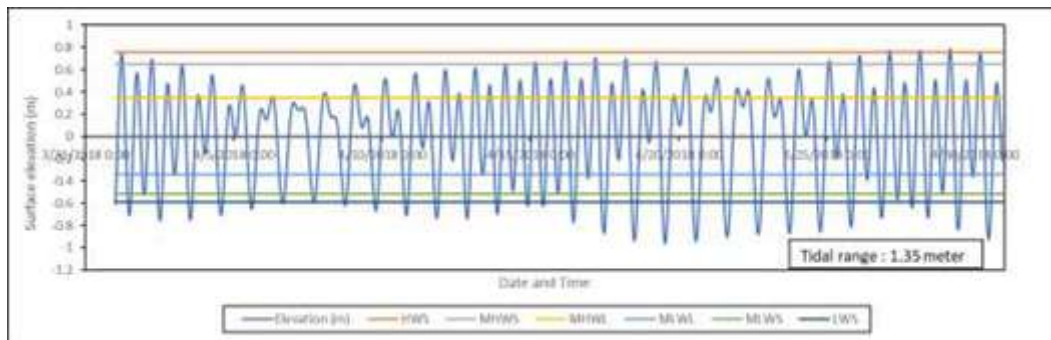
Pantai Pademawu Pamekasan adalah tipe Campuran Condong ke Harian Ganda (mixed, semidiurnal tides) dimana komponen pasang surut dominan ganda, hal tersebut dibuktikan oleh nilai $F = 0.479$ (Tabel 1) yang menentukan bahwa tipe pasang surut perairan Pademawu adalah pasang surut campuran condong harian ganda, dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan salah satu nya memiliki elevasi yang lebih rendah.

Tabel 1. Data Konstanta Pasang Surut di Perairan Pademawu

KONSTITUEN	AMPLITUDO (cm)	BEDA FASA (°)
M2	31.76	22.02
S2	14.53	-81.81
N2	3.87	170.8
K2	5.73	257.5
K1	12.73	-6.19
O1	9.46	-13.45
P1	3.53	255.51
M4	0.93	33.95
MS4	0.95	-43.19
SO	124.99	MSL
F/Tipe Pasut	0.479	Campuran Condonq Harian Ganda

Adapun tunggang pasang surut sebesar 1,35 meter yang menunjukkan selisih rata-rata dari perubahan elevasi pada saat purnama maupun perbani. Gambar 2 menunjukkan nilai elevasi pasang surut berdasarkan data peramalan selama 10 tahun, nilai HWS mencapai 0,75

meter, MHWS mencapai 0,65 meter, nilai MHWL sebesar 0,34 meter, nilai MLWL sebesar 0,33 dibawah MSL, nilai MLWS sebesar 0,51 meter dibawah MSL, dan nilai LWS mencapai -0,59 meter dibawah MSL. Sedangkan nilai MSL diperkirakan sebesar 1,24 meter.

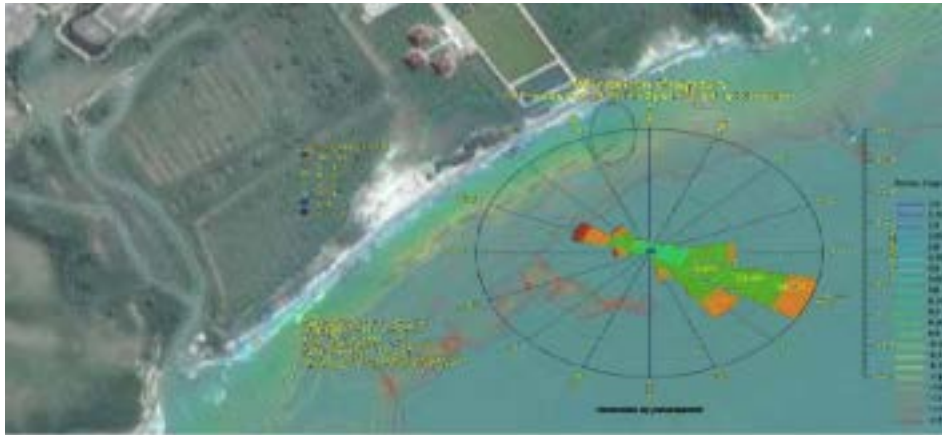


Gambar 2. Elevasi Pasang Surut Pantai Pademawu

Data Angin

Data angin diambil berdasarkan data jam jaman NASA untuk periode Januari 1989 – Maret 2018 dan diperoleh Windrose seperti Gambar 3. Dari data Windrose ini kejadian angin di Kabupaten Pamekasan periode 1989-2018 dapat disimpulkan bahwa angin dominan dari

arah antara timur-tenggara (ESE) dengan kecepatan rata-rata 4,52 m/s dan presentase kejadian 18,52%. Kecepatan angin tertinggi yang pernah terjadi adalah 16,2 m/s.



Gambar 3. Hasil Analisa Windrose 30 tahun jaman data angin NASA

Data Topografi

Pengukuran data topografi merupakan data kontur untuk mengetahui bentuk dan kedalaman pantai dilokasi pemasangan KGM. Data ini digunakan untuk mengetahui kondisi awal sebelum terpasangnya KGM dan kondisi setelah terpasangnya KGM dalam kurun waktu tertentu. Pengukuran detail dilakukan secara cross section dan long section dengan jarak pertitik 25 meter menyusur pantai Pamekasan sebelah Selatan dari Barat ke Timur dengan batasan muara yang ada di pantai tersebut. Pembuatan titik pendekatan/titik bantu dilakukan untuk mempermudah penarikan elevasi dan posisi terhadap BM. Dari data pengukuran topografi didapatkan nilai elevasi dan posisi yang bisa digunakan untuk menggambarkan kondisi morfologi lokasi kegiatan dan nantinya disesuaikan dengan rencana titik penempatan KGM yaitu berada di MSL (*Mean Sea Level*), Geotube akan difungsikan se-

bagai bangunan peredam gelombang air laut dan penangkap sedimen pasir.

Data Penyelidikan Tanah

Data karakteristik tanah digunakan untuk mengetahui stabilitas dan daya dukung tanah di sekitar lokasi KGM serta untuk material pengisian KGM agar mempermudah operasional instalasi KGM tanpa mendatangkan material isi atau pasir dari tempat lain. Adapun parameter pengambilan sedimen dasar dilakukan untuk mengetahui ukuran butiran pasir yang ada di lokasi penelitian. Pengambilan sampel dilakukan di 4 titik di lokasi seditar rencana aplikasi pelindung pantai. Gambar titik sampel dapat dilihat pada gambar 4. Analisa saringan pada sampel sedimen dasar dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. Hasil analisa saringan material yang cocok dengan ukuran material KGM dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. Lokasi pengambilan sampel sedimen dasar

Lokasi pemasangan KGM didominasi oleh material penyusun pantai soft sediment yang tersusun atas lumpur, pasir halus hingga kasar dan bongkah sedimen, dan belum mengalami kompaksi dan memiliki tingkat kerentanan sangat tinggi. Karakteristik ukuran butiran pasir

yang tersedia di lokasi berupa pasir halus >0,2mm, sehingga membutuhkan jenis geotube dengan ukuran pori yang lebih kecil agar pasir tidak mudah terbilas keluar dari pori-pori Geotube seperti terlampir dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kesesuaian butiran dan bukaan geotekstil

Sampe l No	D10	D60	D90	Cu	$1.5D_{10}Cu^{1/2}$	O90	$O90 < 1.5D_{10}Cu^{1/2}$	O90 < D 90
	mm	mm	mm					
1	0.095	0.22	0.4	2.32	0.22	0.063	O K	OK
2	0.100	0.245	0.45	2.45	0.23	0.063	O K	OK
3	0.095	0.22	0.4	2.32	0.22	0.063	O K	OK
4	0.105	0.105	0.5	1.00	0.16	0.063	O K	OK

Sumber : PT. Tetrasa Geosinindo

Parameter Perancangan

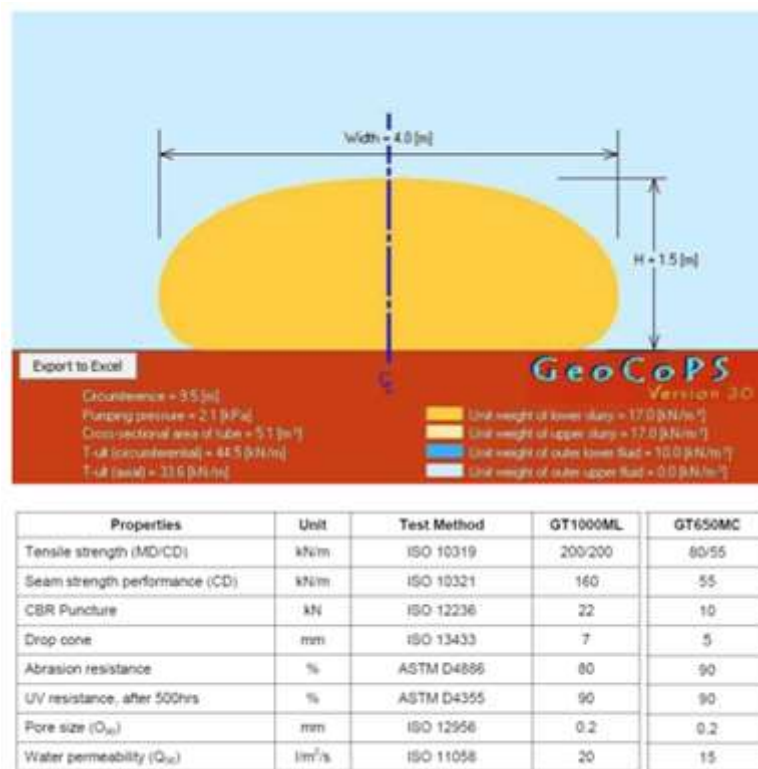
Geotube juga sering disebut geotekstil jika dilihat dari jenis bahan penyusunnya. Geotekstil merupakan bahan geosintetik yang paling banyak digunakan oleh manusia. Bentuknya seperti tekstil pada umumnya tetapi terdiri dari serat serat sintetis sehingga selain lentur juga tidak ada masalah penyusutan seperti pada material alam seperti : wol, katun ataupun sutra. Geotekstil berfungsi sebagai lapis

pemisah (separation), lapis penyaring (filtration), penyaluran air (drainage), perkuatan tanah (reinforcement), dan lapis pelindung (moisture barrier).

Parameter-parameter yang diperlukan dalam perancangan Geotube adalah properti material pengisi dan tinggi gelombang rencana, untuk menentukan dimensi dan properti fisik geotekstil yang dibutuhkan untuk membuat Geotube (Pilarczyk, 2000). Material geotekstil yang

digunakan sebagai bahan pembuat Geotube harus mempunyai kuat tarik yang tinggi untuk dapat menahan gaya pada saat proses pengisian tube. Selain itu, material ini juga harus mempunyai ukuran bukaan dan permeabilitas yang optimum agar air dapat dengan cepat keluar tapi material pengisi dapat tertahan. Perhitungan penentuan dimensi dan jenis material geosintetik dilakukan menggunakan bantuan program komputer yaitu GeoCops (Geosynthetic Confined Pressurized Slurry) (Leshchinsky & Leshchinsky,

1996). Program ini memberikan output berupa geometri Geotube, keliling, longitudinal, dan kekuatan material yang dibutuhkan. Perhitungan sudah memperhitungkan faktor reduksi yang meliputi kekuatan jahitan, ketahanan, rangkai, dan resiko instalasi. Hasil analisis GeoCops adalah sebagai berikut (Gambar 5). Dari hasil analisis di atas, kuat tarik ultimit geotekstil yang diperlukan untuk membentuk Geotube setinggi 1,5 m dan lebar 4m adalah sebesar 44,5 kN/m.



Gambar 5. Data Hasil Analisis Geotube dengan Software GeoCops
(Sumber : PT. Tetrasa Geosinindo)

Hasil analisis spesifikasi Geotube yang disesuaikan dengan kondisi lapangan dan perencanaan maka dihasilkan sebagai berikut:

1. Ukuran Geotube rencana yang akan digunakan adalah 1,5m (tinggi), 4m (lebar) dan 20m (panjang) per satuan Geotube.
2. Karakteristik ukuran butiran pasir

yang tersedia di lokasi berupa pasir halus, sehingga membutuhkan jenis geotube dengan ukuran pori yang lebih kecil agar pasir tidak mudah terbilas keluar dari pori-pori Geotube.

3. Berdasarkan analisa tim rancang bangun dilapangan maka jenis KGM yang sesuai dengan kriteria

diatas adalah yaitu GT 1000 ML dan GT 650 MC.

Proses Instalasi

Pengisian Geotube menggunakan sebuah hooper yang pada prinsipnya mengalirkan cairan pengisi dengan tekanan yang berasal dari pompa dan pengaruh ketinggian

(Peurifoy dan Schexnayder, 2002). Untuk memberikan output air bertekanan tinggi, digunakan sebuah pompa yang memiliki kapasitas 300 m³/jam. Kemudian dilakukan penggelaran material Geotube dan dilakukan pemompaan sampai tinggi rencana Geotube tercapai (Gambar 7).



Gambar 6. Lokasi Penempatan Geotube



Gambar 7. Aktivitas Proses Instalasi

Berbagai bahan bangunan untuk struktur pengaman pantai bisa digunakan mulai dari yang konvensional (batu alam dan blok beton) atau yang biasa disebut dengan *Hard Structure* 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 pelindung pantai, 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).

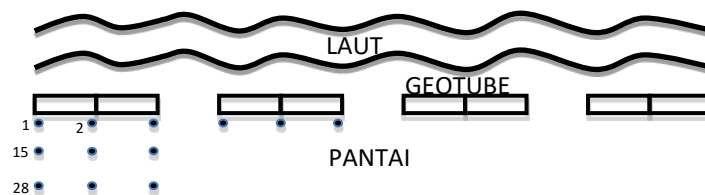
Keuntungan penggunaan geotekstil menurut Shidqi (2015) dalam bidang geoteknik antara lain;

- a. Bahan geotube merupakan senyawa polimer-polimer sintetik seperti polipropilin (PP), polyester (PET), polietilin (PE) dan lain sebagainya yang di dalamnya diisi pasir hingga padat serta senyawa tersebut lebih ramah lingkungan.
- b. Biaya yang dikeluarkan lebih murah daripada menggunakan break water.

- c. pemasangan geotube relatif lebih mudah daripada membangun bangunan pelindung pantai lainnya. Karena material geotube sudah ada dan tinggal diisi dengan pasir. Pemasangan yang lebih mudah tentu akan menghemat waktu dan biaya pemasangan

Perubahan Sedimentasi Pantai

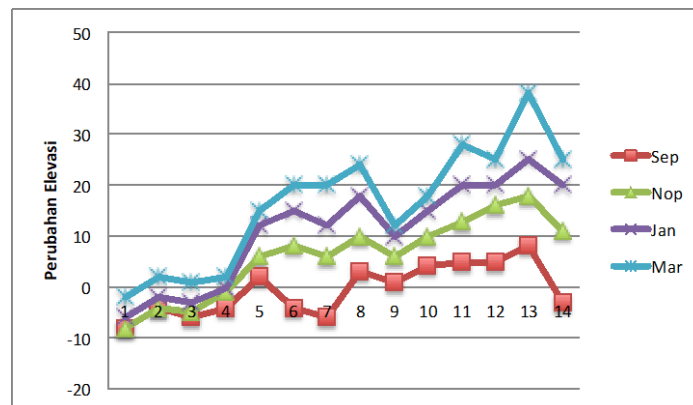
Monitoring terhadap kinerja prototype KGM yang telah dipasang pada bulan Juli 2018 dilakukan untuk merekam perubahan kondisi pantai dan untuk mengetahui seberapa efektif struktur tersebut dalam melindungi pantai. Kegiatan monitoring dilakukan pada bulan September 2018 hingga bulan Maret 2019 dengan titik berat penelitian pada perubahan morfologi pantai. Kegiatan monitoring ini dengan mengukur perubahan ketinggian tombolo/sedimentasi di titik-titik pengukuran yang telah ditentukan.



Gambar 8. Titik Pengukuran Sedimentasi

Pemasangan patok di titik pemantauan dimulai pada bulan Agustus 2018, dimana disemua titik pemantauan berada pada ketinggian patok yang sama (nol) sehingga nantinya di bulan September 2018-Maret 2019 akan terlihat berapa tombolo/sedimentasi yang tertimbun di titik tersebut. Tombolo yang terbentuk setelah terpasangnya struktur pada posisi tepat di belakang KGM merupakan dampak positif dari keberadaan KGM di pantai tersebut dan oleh penduduk setempat disebut sebagai lahan timbul.

Respons garis pantai di belakang struktur KGM dianalisis berdasar perubahan hasil pengukuran di tiap patok pantai di bulan September 2018 Hingga Maret 2019. Penempatan patok dibagi menjadi 3 (tiga) lajur yaitu 1m dibelakang KGM, 10m dibelakang KGM dan 20m dibelakang KGM. Perbedaan titik patok ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pola penambahan sedimentasi yang berada di belakang KGM. Hasil monitoring perubahan ketinggian sedimen pantai pada lajur 1 (1m dibelakang KGM) ditunjukkan pada Gambar 9.

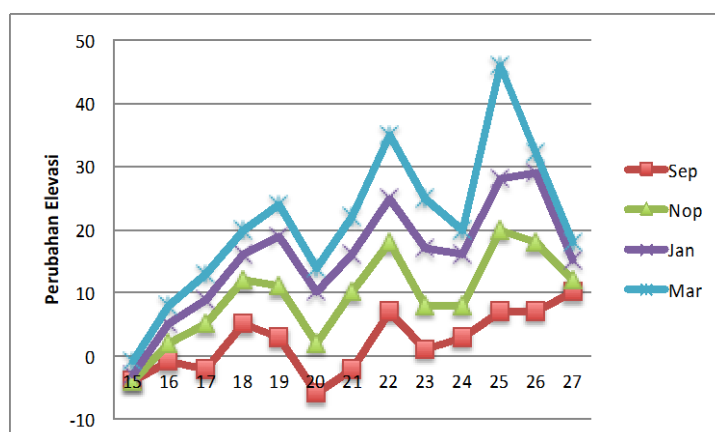


Gambar 9. Penambahan Tombolo di Lajur 1

Hasil monitoring di lajur 1 sebanyak 14 patok bahwa penambahan sedimentasi di Bulan September relatif tidak mengalami penambahan sedimen secara signifikan. Pada bulan Nopember perubahan tinggi sedimentasi di patok lajur 1 mulai terlihat terjadi perubahan dengan rata-rata 6,1cm. Pada periode monitoring berikutnya yaitu bulan Januari 2019, perubahan sedimentasi semakin bertambah dengan rata-rata perubahan sebesar 11,1cm dan pada bulan Maret 2019 terjadi penambahan sedimentasi rata-rata sebesar 16cm dibanding kondisi awal pada bulan Agustus 2018. Selain itu jika dilihat dari data sedimentasi per titik bahwa periode pengukuran bulan Maret 2019 terjadi peningkatan yang cukup signifikan khususnya di sisi barat yaitu titik no 13 yang mencapai 38cm dari kondisi awal.

Hasil monitoring di lajur 2 sebanyak 13 patok menunjukkan

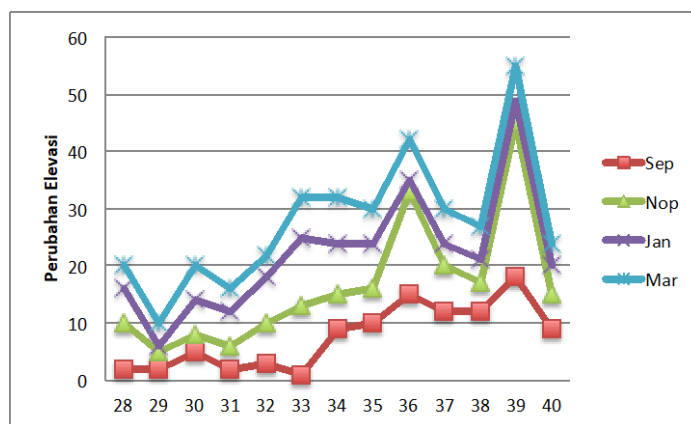
penambahan sedimentasi di Bulan September terjadi perubahan dengan rata-rata 2,1cm. Pada periode monitoring berikutnya yaitu bulan Nopember 2019, perubahan sedimentasi semakin bertambah dengan rata-rata perubahan sebesar 9,4cm. pada bulan Januari 2019 penambahan sedimentasi masih terus berlangsung dengan rata-rata penambahan sebesar 15,5cm dan pada bulan Maret 2019 terjadi penambahan sedimentasi rata-rata sebesar 21,2cm dibanding kondisi awal pada bulan Agustus 2018. Seperti halnya pola penambahan sedimen di lajur 1, bahwa sedimentasi per titik pada periode pengukuran bulan Maret 2019 terjadi peningkatan yang cukup signifikan di sisi barat khususnya di titik no 25 yang mencapai 46cm dari kondisi awal pada seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Penambahan Tombolo di Lajur 2

Pada monitoring sedimentasi di lajur 3 sebanyak 13 patok, penambahan sedimentasi di Bulan September terjadi perubahan dengan rata-rata 7,7cm. Untuk bulan Nopember 2019, perubahan sedimentasi semakin bertambah dengan rata-rata perubahan sebesar 16,4cm. Pada bulan Januari 2019 penambahan sedimentasi masih terus berlangsung dengan rata-rata penambahan sebesar

22,2cm dan pada bulan Maret 2019 terjadi penambahan sedimentasi rata-rata sebesar 27,7cm dibanding kondisi awal pada bulan Agustus 2018. Seperti halnya pola penambahan sedimen di lajur 1 dan 2, terjadi penambahan sedimentasi di sisi barat yang cukup signifikan khususnya di titik no 39 yang mencapai 55cm dari kondisi awal pada seperti terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Penambahan Tombolo di Lajur 3

Data pengukuran sedimen yang telah dilakukan dari patok 1 hingga patok 40 menunjukkan bahwa penambahan volume pasir di sisi barat dalam jangka waktu 7 bulan sejak September 2018 hingga Maret 2019, tombolo yang terbentuk di belakang KGM cenderung lebih banyak di belakang KGM sisi selatan. Situasi tombolo yang sedikit kurang seragam sepanjang pantai tersebut dikarenakan bentuk struktur KGM sisi selatan masih relatif baik (tidak ada perubahan bentuk) dibandingkan KGM di sisi utara yang telah mengalami kerusakan akibat material geotube yang robek seperti ditunjukkan pada gambar 12. Selain itu posisi geotube sisi selatan mendapatkan

sumber sedimen lebih banyak dari angkutan sedimen dalam arah tegak lurus pantai dibandingkan disisi utara.

Berdasarkan data monitoring pengukuran tombolo tersebut menunjukkan bahwa pada prinsipnya pemasangan KGM memiliki kinerja baik dan berfungsi sebagai pemecah gelombang sejajar pantai. Seperti diharapkan, disipasi energi gelombang berlangsung melalui gelombang pecah yang terjadi karena adanya KGM. Turbulensi timbul dalam arah menuju pantai yang memicu terakumulasinya sedimen di belakang struktur KGM seperti ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 12. Perubahan Bentuk Struktur KGM

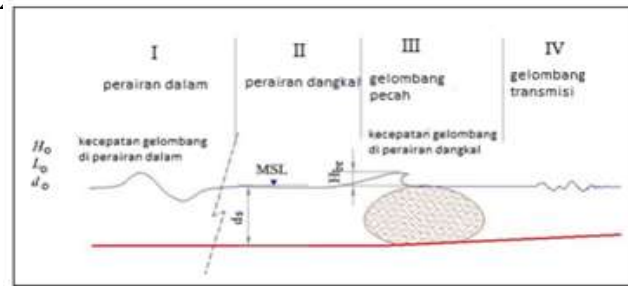
B



Gambar 13. Titik Tombolo di Belakang KGM

Pembentukan tombolo ini terjadi karena pada prinsipnya gelombang yang menjalar dari perairan dalam menuju pantai, pada saat memasuki perairan dangkal akan mengalami transformasi yaitu: refraksi/difraksi, shoaling (pendangkalan), refleksi, dan transmisi (Dean & 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 14.

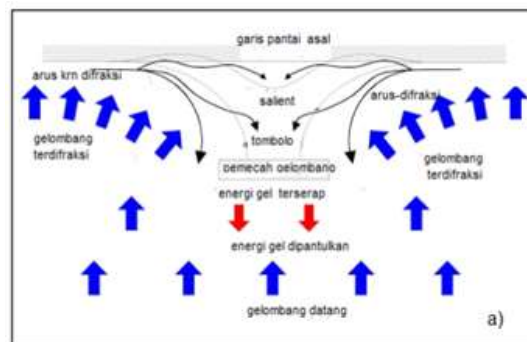


Gambar 14. Penjalaran gelombang dari perairan dalam ke pantai melalui struktur KGM

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).

Pemecah gelombang lepas pantai dalam hal ini KGM adalah bangunan pelindung pantai yang dipasang tidak menempel di pantai. Puncak struktur KGM berada di atas MSL, berperan menahan energi gelombang yang lewat dan karena itu mengurangi gerakan gelombang di belakang struktur. Pada struktur pemecah

gelombang konvensional difraksi gelombang sekitar struktur lebih dominan daripada KGM 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 15). 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 tombolo akan tumbuh ke arah laut dan akan mencapai keseimbangannya sebagai tombolo atau tombolo, yaitu pertumbuhan tombolo yang mencapai struktur (Sulaiman, 2012).



Gambar 15. Dinamika arus sekitar Pemecah Gelombang

Geotube di Pantai Pademawu, yang berperan sebagai struktur yang dipasang sejajar pantai, telah menunjukkan kinerja baik sebagai struktur pelindung pantai alternative ramah lingkungan. Tumbuhnya lahan timbul yang merupakan formasi tombolo sebagai dampak dari dipasangnya KGM, telah menunjukkan bahwa teknologi

perlindungan pantai alternative 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 Pademawu, seperti iklim gelombang,

kemiringan pantai, angkutan sedimen, dan parameter geometri struktur KGM.

KESIMPULAN

Struktur lunak bangunan perlindungan pantai dengan penempatan KGM (Karung Geotekstil Memanjang) dapat berfungsi secara efektif untuk mereduksi energi gelombang dengan memperhatikan bentuk geometris dan konfigurasi penempatan KGM, serta kedalaman air, tinggi dan periode gelombang. Instalasi Prototipe KGM yang telah dipasang di Pantai Pademawu, telah berfungsi dengan baik dengan meredam dan mereduksi energi gelombang dan berhasil menimbulkan tombolo atau sedimentasi di belakang struktur. Selama masa pemantauan terhadap perubahan garis pantai di bulan September 2018 hingga Maret 2019 didapatkan timbulnya lahan atau tombolo hingga ketinggian 55cm , hal ini 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.
- Azhar, R.M., et al. 2010. Studi Pengamanan Pantai Tipe Pemecah Gelombang Tenggelam Di Pantai Tanjung Kait. Program Magister Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Air, Institut Teknologi Bandung.
- Bergado, D.T. 2005. Protection, Mitigation and Rehabilitation of Coastal and Waterway Erosion Control. *Proceedings of the International Symposium on Tsunami Reconstruction with Geosynthetics*. Bangkok: ACSIG.
- Chu, J., Guo, W. and Yan, S.W. 2011. Geosynthetic Tubes and Geosynthetic Mats: Analyses and Application. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA* 42 (1), March 2011 ISSN 0046-5828. China: Nanyang Technological University.
- Dean, R.G. and Dalrymple, R.A. 2000. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientist*. CED Series on Ocean Engineering- Volume 2, World Scientific.
- Indriasari, V.Y., et al. 2019. Laporan Pelaksanaan Kegiatan Karung Geotekstil Memanjang (KGM) di Selatan Kabupaten Pamekasan, Pusat Riset Kelautan.
- Pusat Litbang Sumber Daya Air. 2010. Pembuatan Prototip Pemecah Gelombang Ambang Rendah. Laporan Akhir, Bandung.
- 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.
- Shidqi, M.M., and Sugiri, A., 2015. Bentuk-Bentuk Adaptasi Lingkungan Terhadap Abrasi Di Kawasan Pantai Sigandu Batang. *Jurnal Teknik Pwk* Volume 4 Nomor 4 hal. 702-715.
- Suhendra, A., et al. 2012. Aplikasi Geotube Sebagai Konstruksi Alternatif Penanggulangan Erosi Akibat Gelombang Pasang Bono. *Comtech* Vol.3 No. 1 Juni 2012: 718-728.
- Sulaiman, D.M.. 2012. Rehabilitasi Pantai Dengan Pemecah Gelombang Ambang Rendah Berbahan Geotube Studi Kasus Pantai Tanjung Kait, Tangerang. *Jurnal Teknik Hidraulik*. Vol. 3 No. 2. Desember 2012: 129-142.