

ANALISA STABILITAS STRUKTUR REVETMEN DI PANTAI KEDUNGU, TABANAN BALI

ANALYSIS OF REVETMENT CONSTRUCTION STABILITY IN KEDUNGU BEACH, TABANAN BALI

Vivi Yovita Indriasari¹⁾ Johan Risandi¹⁾ Rudhy Akhwady¹⁾

¹⁾ Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan
E-Mail: vivi_yovita@kcp.go.id

ABSTRAK

Lokasi studi di Pantai Kedungu yang memiliki gumuk pasir yang lebar dan vegetasi yang rapat. Biasanya tempat ini digunakan untuk pariwisata oleh penduduk setempat. Erosi yang terjadi disebabkan gelombang datang yang membentuk sudut, sehingga menimbulkan arus menyusur pantai (longshore current), dan angkutan sedimen sekitar pantai (litoral drift). Kondisi tersebut sudah sangat mengkhawatirkan, karena sudah mengikis sejumlah lahan milik warga. Sampai saat ini belum ada penanganan dari pemerintah, hanya upaya dari masyarakat setempat dengan membangun tembok laut dan saat ini juga dalam kondisi sudah mulai hancur. Berdasarkan analisa data yang sudah diambil di lapangan dan pemodelan numerik yang dilakukan didapat konsep penanganan permasalahan erosi, yaitu dengan pembuatan struktur pelindung pantai berupa revetmen. Dimana struktur tersebut berfungsi sebagai peredam gelombang datang dan mempertahankan garis pantai. Tujuan dari tulisan ini adalah memberikan gambaran mengenai stabilitas struktur revetmen terhadap erosi pantai. Analisa stabilitas memperhitungkan stabilitas terhadap guling, geser, daya dukung tanah dan penurunan. Dimensi dan desain pelindung pantai revetment aman terhadap guling ($SF = 7,669 > 2$), geser ($SF = 4,082 > 1,5$), daya dukung tanah ($17,498 > 3$). Hasil analisa stabilitas struktur revetment yang didisain, aman dan dapat diterapkan di lokasi studi. Analisa stabilitas struktur revetment ini diharapkan dapat mengurangi tingkat kerusakan struktur bangunan pantai dan bangunan sekitarnya.

Kata kunci: Erosi, revetment, garis pantai, stabilitas struktur, bangunan pantai

ABSTRACT

Study in Kedungu Beach which has a wide sand dunes and dense vegetation. This place is usually used for tourism by local residents. Causes of erosion is aware come in the form an angle, create longshore current, and litoral drif sediments. The condition is very alarming, because it erodes the amount of land owned by residents. Until now there is no goverment handling yet, only the efforts of the local community by building sea walls and currently also not in a proper condition. Based on the analysis of the data captured in the field and numerical modeling methods, resulting the methode to overcome the erotion problem, i.e. build coastal protection structures such as revetment, where the structure serves as an incoming wave damper and defend the coastline. The purpose of this paper is to provide an overview of the structure stability of revetment against coastal erosion. Stability analysis takes into account the stability of the rolling, sliding, and soil bearing capacity decrease. The dimension and design ofrevetment is secure from overturning ($SF = 7.669 > 2$); sliding ($SF = 4.082 > 1,5$) and bearing capacity support ($17.498 > 3$). From this analysis concluded that in the revetment structure design safe and can be applied in the study area. Analysis of the stability of the revetment structure is expected to reduce the level of damage to the building structure coast and surrounding buildings.

Keywords: erosion, revetments, coastal line, structure stability, coastal structure

PENDAHULUAN

Pantai Kedungu Banjar Kedungu, Desa Belalang, Kecamatan Kediri, Kabupaten Tabanan terletak di bagian Selatan Pulau Bali, sekitar 80 km dari Denpasar. Pantai tersebut merupakan pantai wisata dengan daya tarik atau atraksi wisata andalannya yaitu berselancar (*surfing*). Untuk menunjang aktivitas wisata, terdapat lahan parkir yang representatif yang mampu menampung kendaraan wisatawan yang datang berkunjung. Aktivitas nelayan tradisional berlokasi di bagian barat pantai Kedungu dengan ditunjang oleh keberadaan bangsal nelayan. Pantai ini juga digunakan sebagai lokasi melasti (salah satu upacara adat Hindu) dan rekreasi bagi masyarakat setempat. Pantai Kedungu juga memiliki hamparan pasir dan dikelilingi oleh pemandangan persawahan yang hijau, terdapat juga pemandangan tebing yang memiliki air terjun kecil dan dibawahnya terdapat tumpukan bebatuan besar yang indah. Air yang turun tersebut berasal dari persawahan yang ada di atasnya. (wisatabaliasri, 2011).

Pantai Kedungu memiliki gump pasir yang lebar dengan vegetasi yang rapat terutama jenis tumbuhan katang-katang yang berfungsi menstabilkan sedimen pantai. Namun demikian pantai ini rawan erosi yang disebabkan oleh serangan gelombang, baik ketika kondisi esktrim yang biasanya menyebabkan terjadinya arus tegak lurus pantai (*cross shore current*), maupun gelombang harian yang membentuk sudut sehingga menimbulkan arus menyusur pantai (*Longshore current*), dan angkutan sedimen sekitar pantai (*litoral drift*). Saat ini, erosi yang terjadi di lokasi studi sangat mengkhawatirkan, dimana beberapa lahan milik warga terkikis (Gambar 1).

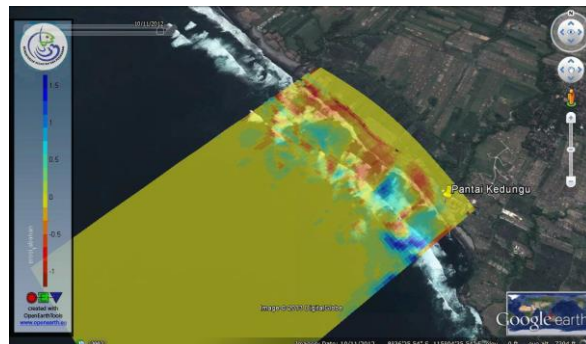


Gambar 1 Situasi garis pantai di Pantai Kedungu

Pada tahun 2011 terjadi erosi pantai esktrim yang menyebabkan rusaknya warung-warung yang dibangun tepat di bibir pantai. Warung-warung tersebut telah dibangun kembali pada

lokasi mundur sekitar 40 meter ke arah dari sebelumnya. Sampai sekarang, belum ada upaya penanganan yang serius dari pemerintah, hanya masyarakat setempat melakukannya secara swadaya dengan membangun tembok laut yang saat ini juga dalam kondisi sudah mulai hancur (Pembkab Tabanan, 2012).

Analisa data dan pemodelan numerik menunjukkan bahwa kondisi erosi sudah semakin meluas. Pada saat terjadi gelombang esktrim yang biasanya terjadi di awal tahun, terdapat potensi gelombang tersebut menjangkau dan menghancurkan gump pasir (Gambar 2) sehingga diperlukan penanganan segera. Hasil simulasi numerik, pada gambar 2 warna biru menunjukkan terjadinya deposisi. Sedangkan warna merah menunjukkan adanya erosi pada bagian tersebut. Melalui beberapa pertimbangan, antara lain nilai ekonomi daerah tersebut, biaya serta material yang tersedia di sekitar lokasi, maka struktur *revetmen* dipilih sebagai solusi yang tepat bagi penanganan abrasi Pantai Kedungu (P3TKP, 2013). Fungsi *revetmen* pada suatu lokasi adalah sebagai pengaman garis pantai secara langsung terhadap hantaman gelombang yang mengakibatkan abrasi dan sebagai pelindung pantai terhadap limpasan gelombang (*overtopping*) (Hariyoni, dkk, 2013).



sumber: Analisa hasil perhitungan

Gambar 2 Hasil simulasi numerik erosi dan deposisi di Pantai Kedungu

Salah satu informasi penting yang diperlukan dalam desain *revetmen* adalah stabilitas struktur terhadap kemungkinan kerusakan (*failure*) yang terjadi akibat gaya yang bekerja pada *revetmen* dan kondisi tanah. Analisa stabilitas bangunan pantai dengan *revetment* telah banyak dilakukan, diantaranya pada Hidayah, dkk, (2012) yang bertujuan untuk mengetahui perubahan garis pantai setelah pembangunan *revetment* di Pantai Jasri Kabupaten Karangasem Bali. Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan di Cilacap Jawa Tengah (Boonastria CMD, 2014) yang bertujuan untuk mencegah erosi dan *overtopping* pada pantai dengan menggunakan *revetment* tumpukan batu,

tetrapod dan *geotube*. Perencanaan bangunan pelindung pantai dimaksudkan untuk mencegah kemunduran garis pantai akibat erosi dan overtoping di lokasi studi. Perencanaan bangunan pantai untuk Pantai Bengkulu juga pernah dilakukan yang bertujuan untuk analisa stabilitas struktur pelindung pantai dengan material batu bronjong (Olga, 2013), dan perencanaan bangunan *seawall* pada Christina (2009) di pantai kota Ambon. Hasil dari beberapa penelitian ini menunjukkan dengan pengaplikasian bangunan pelindung pantai *revetment* dapat mengurangi kemunduran garis pantai akibat erosi dan analisa stabilitas dimaksudkan untuk mengurangi kegagalan konstruksi akibat daya dukung tanah di lokasi studi. Tulisan ini bertujuan menjelaskan aspek teknis yang digunakan dalam perencanaan struktur *revetment* pantai Kedungu. Fokus pada tulisan ini adalah analisa faktor geoteknik dan perhitungan desain stuktur dengan mempertimbangkan stabilitas bangunan.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data primer dan sekunder yang diperlukan untuk input desain *revetmen*. Data primer didapat dari pengukuran langsung di lapangan sebagai berikut:

a. Data topografi-batimetri.

Data profil darat dan laut diperoleh dengan menggunakan dua metode. Topografi pantai Kedungu diukur menggunakan total station sedangkan data topografi dasar perairan (batimetri) diperoleh dari pemeruman dengan *single beam echo sounder* (Gambar 3). Dari analisa informasi topografi-batimetri, diperoleh lokasi yang optimal untuk pemasangan *revetment*.



(a)



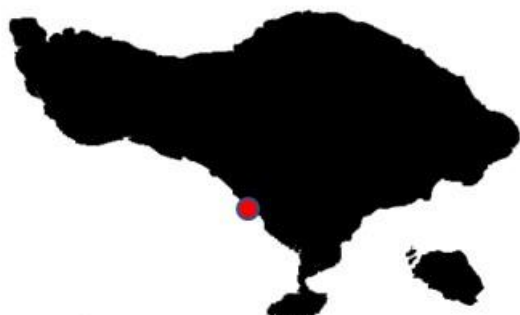
(b)

Gambar 3 Survey topografi (a) dan batimetri (b) kondisi tanah

Kondisi tanah pada penelitian ini didapat dari pengambilan data tanah dengan alat sondir (*Dutch Cone Penetrometer*) lokal berkapasitas 2,5ton yang dilengkapi dengan "rod" berdiameter $\frac{3}{4}$ dan bikonus (Gambar 4). Sondir dilakukan pada tiga titik di lokasi yang dianggap bisa mewakili kondisi daerah studi secara umum (Gambar 5). Pencatatan pembacaan dial dilakukan dengan interval 20 cm dan hasilnya berupa nilai konus dan hambatan pelekat yang disajikan dalam bentuk grafik. Apabila pada pembacaan manometer tekanan konus sudah mencapai 250 kg/cm^2 , maka pekerjaan dapat dihentikan atau dapat dianggap bahwa tekanan konus sudah mencapai tanah keras (Christady, 2011).



Gambar 4 Peralatan sondir yang digunakan



(a)



Gambar 5 (a) Lokasi penelitian dan (b) titik penyelidikan tanah

Selain tes sondir, dilakukan juga pengambilan sampel tanah menggunakan bor tangan. Pada pelaksanaan pekerjaan ini dipergunakan alat bor tangan type Iwan Auger (Gambar 6) dengan diameter 10 cm, yang dilengkapi dengan alat pengambil contoh tanah asli berupa tabung baja tipis dengan diameter 7 cm dan panjang tabung 50 cm. Pengeboran sebanyak 3 (tiga) titik dengan kedalaman masing-masing 3,00 meter atau sampai dimana alat tidak dapat menembus lapisan tanah lagi. Lokasi pengeboran sama dengan lokasi sondir. Pemboran dilakukan untuk melihat secara visual karakteristik lapisan tanah, jenis tanah dan warna tanah.



Gambar 6 Pekerjaan Bor yang dilakukan Arus dan Pasang Surut

Metode pengambilan data arus dengan menggunakan ADCP (*Acoustic Doppler Current Profile*) Merk Sontek Argonaut (Gambar 7).



Gambar 7 Penempatan ADCP

Pengambilan data arus dilakukan selama 3 x 24 jam dengan interval waktu perekaman data setiap 10 menit. Perletakkan ADCP dengan menggunakan metode *mooring*. Metode *Mooring* menurut Arief (1986), adalah metode pengukuran arus dengan menggunakan alat ukur yang dipasang dalam satu rangkaian yang terdiri dari pemberat, kabel, pengukur arus (ADCP) dan pelampung. Pengukuran arus beroperasi beberapa waktu lamanya secara otomatis dalam proses pengumpulan data. Rangkaian tersebut keseluruhannya berada di dalam air tanpa ada bagian yang muncul di permukaan. Tinggi gelombang yang dihasilkan dari pengukuran ADCP sebesar 2,10 m. Analisa struktur *revetment* menggunakan tinggi gelombang dari pengukuran ADCP.

Data elevasi pasang surut didapat dari pengukuran lapangan menggunakan rambu ukur tiap jam dan analisa data tekanan air yang berasal dari ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) yang dipasang pada kegiatan ini. Data tersebut digunakan untuk verifikasi hasil peramalan jangka panjang (20 tahun) dengan perangkat lunak TMD (*Tide Model Driver*) versi 1.2 tahun 2005 yang dikembangkan oleh Laurie Padman dan Erofeeva (2005). Elevasi muka air jangka panjang digunakan sebagai input muka air rencana dalam desain *revetment*.

Selain data primer, penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data pencatatan angin dan gelombang yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) di lokasi studi selama 10 tahun dari tahun 2004 sampai 2013. Data tersebut berasal dari satelit Meteofranc dengan lebar grid 0,5 pada koordinat Geografis S 8°36'29,9 – E 115°04'58,87".

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 8. Analisa stabilitas struktur dilakukan untuk mengecek kestabilan *revetment* terhadap kondisi tanah dan gaya-gaya yang bekerja pada struktur.

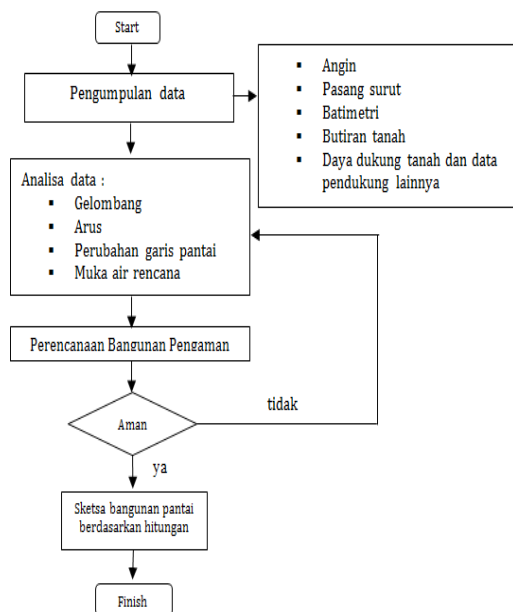
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Angin dan Hidro-oseanografi

Berdasarkan analisa data angin diketahui bahwa angin dominan terjadi dari arah tenggara dengan kecepatan >7,5 m/s (Gambar 9). Gelombang hasil analisa data BMKG diketahui dominan menjalar dari barat sampai barat daya (Gambar 10). Periode gelombang untuk tinggi gelombang antara 1,4 m – 2,1 m adalah sekitar 5,25 – 6,47 detik. Pada awal Januari tahun 2013 terjadi gelombang ekstrem dengan tinggi lebih dari 2 meter (kondisi badai) selama 43 jam. Hasil

pengukuran arah dan kecepatan arus yang dilakukan pada kedalaman 5 meter dengan ADCP, arah arus yang dihasilkan lebih dominan menuju arah barat daya dan besar kecepatan arus maksimal sebesar 0,51 m/s.

Pantai Kedungu mempunyai morfologi pantai yang cukup landai. Pantai diapit dua tanjung bebatuan sehingga pantai Kedungu dapat dikategorikan sebagai pantai gisik saku (*pocket beach*). Hasil pengamatan lapangan dan pemodelan numerik menunjukkan bahwa erosi pantai Kedungu terjadi pada area pantai (*beach*) dan gumuk pasir (*dunes*). Bentuk gisik saku pada pantai tersebut menyebabkan laju *transport* sedimen sangat kecil karena adanya pengaruh dari tanjung batu yang berada di kanan-kiri pantai.

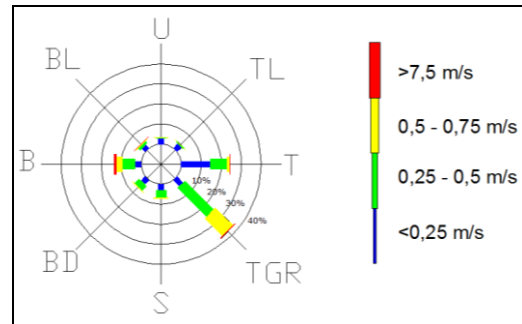


Gambar 8 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Tipe erosi pada pantai gisik saku biasanya terjadi akibat badai (*storm*). Pada saat badai, proses dominan yang terjadi adalah *transport* tegak lurus pantai (*cross-shore transport*). Gelombang datang dari arah tegak lurus pantai dengan cepat akan mengerosi bibir pantai dan gumuk pasir kemudian arus balik (*undertow*) mendeposisi material erosi kearah laut (Castelle dan Coco, 2013; Horta *et al*, 2013; Jeanson *et al*, 2013; Sancho-Garcia *et al*, 2013).

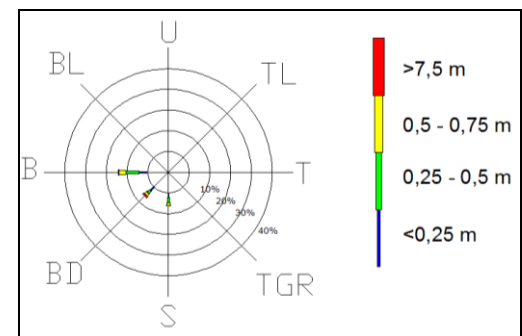
Hasil pengamatan pasang surut disajikan pada Tabel 1. Dengan mengambil MSL = 0,00 m sebagai datum vertikal, maka diperoleh tunggang pasang surut air laut di lokasi penelitian (HWS – LWS) adalah 3,06 m dengan tipe pasut adalah semi diurnal dimana dalam 24 jam akan terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut. Dalam perencanaan

revetment, data elevasi muka air sangat diperlukan untuk menentukan tinggi struktur.



Sumber : Hasil Analisa data

Gambar 9 Grafik Mawar Angin



Sumber: Hasil Analisa data

Gambar 10 Grafik Mawar Gelombang

Tabel 1 Elevasi Pasang Surut

Nama Elevasi	Acuan Magnitude (cm)
Tinggi air saat pasang (HWS)	160,56
Tinggi air rerata saat pasang (MHWS)	135,48
Muka air laut tinggi rerata (MHWL)	78,95
Muka air laut rerata (MSL)	0,00
Muka air laut rendah rerata (MLWL)	-79,31
Tinggi rerata air surut (MLWS)	-128,36
Tinggi air surut (LWS)	-146,16

Sumber : Hasil Analisa Data

Kondisi Tanah

Uji sondir dilakukan untuk memperoleh informasi kedalaman tanah keras yang berkaitan dengan kekuatan tanah pada lokasi tersebut untuk menahan beban bangunan yang didirikan di atasnya. Hasil sondir dinyatakan dengan qc,

yaitu perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya per satuan luas (kg/cm^2). Dari uji sondir, dapat ditentukan daya dukung tanah, tipe dan jenis serta kedalaman pondasi struktur SNI 2827 (2008). Lokasi sondir dapat dilihat pada Gambar 5(b). Analisa hasil sondir menunjukkan bahwa penetrasi konus 250 kg/cm^2 pada lokasi pengambilan data berada pada kedalaman yang bervariasi antara 1,60 meter sampai dengan 3,00 meter dari muka tanah lokal (Tabel 2).

Bagian Timur Pantai Kedungu (S-1) diketahui memiliki nilai rata-rata q_c yang paling tinggi dibanding sampel lain pada kedalaman 0- 0,8 m. Pada kedalaman 1,6 m, diperoleh nilai penetrasi konus yang diinginkan. Hasil berbeda diperoleh pada lokasi S-2 yang berada pada bagian tengah Pantai Kedungu. Pada kedalaman 0-0,8 m, variasi nilai konus di lokasi tersebut hanya setengah dari yang diperoleh di S-1. Akan tetapi, nilai konus maksimal diperoleh pada kedalaman yang sama yaitu 1,6 m. Bagian Barat Pantai Kedungu diketahui memiliki variasi q_c yang lebih banyak dari lunak sampai keras. Nilai q_c 250 kg/cm^2 berada pada lapisan tanah yang lebih dalam dari kedua lokasi sebelumnya, yaitu pada kedalaman 3 m. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada permukaan tanah (0-0,8 m), bagian Timur Pantai Kedungu memiliki struktur tanah yang lebih keras dibanding bagian tengah dan Barat. Lapisan tanah pada kedalaman mulai 1,60 meter sampai dengan 3,00 meter dari muka tanah setempat sudah cukup keras serta mempunyai daya dukung tanah ijin yang cukup tinggi.

Tabel 2 Hasil Sondir S-1,S-2, dan S-3

Titik Sondir	Kedalaman Sondir (m)	Nilai Konus (kg/cm^2)
S-1	0 – 0,8	45 – 98
	1 – 1,6	250
S-2	0 – 0,8	21 – 46
	1 – 1,6	250
S-3	0 – 2,4	9 – 122
	2,6 – 3	250

Sumber : Hasil uji lapangan

Hasil pengambilan sampel tanah dengan bor tangan menunjukkan rata-rata lapisan permukaan tanah didominasi oleh pasir gradasi halus sampai

sedang coklat kehitaman. Kemudian lapisan dibawahnya didominasi oleh cadas keras berpasir kasar kehitaman (Tabel 3).

Tabel 3 Hasil pengambilan sampel tanah

Titik Bor	Kedalaman Sampel(m)	Keterangan
BH1	0 – 1,5	pasir gradasi halus sampai sedang coklat kehitaman
	1,5 – 2,2	pasir gradasi halus sampai sedang coklat kehitaman bercampur karang lepas. Muka air tanah berada pada kedalaman – 1,50 meter dari muka tanah setempat
	2,2 – 3	cadas berpasir kasar kehitaman
BH2	0 – 1,2	pasir gradasi halus sampai sedang coklat kehitaman
	1,2 – 3	cadas berpasir kasar kehitaman
BH3	0 – 2,5	pasir gradasi halus sampai sedang coklat kehitaman
	2,5 – 3	cadas berpasir kasar kehitaman

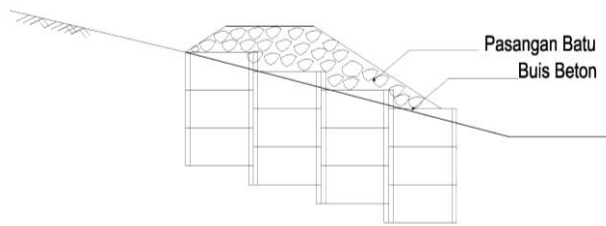
Sumber : Hasil uji lapangan

Jika dibandingkan hasil pengambilan data sondir dan data hasil pengambilan sampel tanah dapat diambil kesimpulan terjadinya loncatan nilai konus pada saat pengujian secara signifikan dikarenakan terdapat lapisan tanah cadas atau batuan karang yang keras. Kondisi tersebut yang mengakibatkan angka perlawanan konus pada pengujian sondir naik. Seperti pada titik sondir S-2 naik dari 46 menjadi 250 kg/cm^2 .

Survei topografi dan batimetri menunjukkan Pantai Kedungu tergolong pantai dengan morfologi yang landai, gelombang yang terjadi cukup besar karena berhubungan langsung dengan Samudera Indonesia. Lapisan permukaan pantai didominasi oleh pasir lepas, serta tingkat erosi yang terjadi cukup besar untuk daya dukung tanah ijin yang ada pada pinggir pantai, cukup besar mulai kedalaman rata-rata 1,50 meter dari muka tanah setempat. Sehingga pondasi dangkal sudah cukup untuk pembuatan bangunan pengaman pantai (*revetment*) (Bowles, 1983). Akan tetapi walaupun daya dukung axialnya cukup besar, harus tetap diperhatikan bahaya guling atau pergeseran akibat gaya horisontal yang ditimbulkan oleh gelombang pada waktu pasang.

STRUKTUR REVETMENT

Konstruksi *revetment* terdiri dari dua bagian, yaitu bagian bawah yang berfungsi sebagai pondasi dan bagian atas yang berfungsi sebagai penahan gelombang. Bagian bawah terdiri dari empat baris buis beton. Untuk alasan efisiensi biaya, dimensi buis beton yang digunakan adalah ukuran yang biasa didapat di pasaran, dengan diameter 100 cm, tinggi 50 cm dan tebal 8 cm (lihat Gambar 11). Bagian atas direncanakan berupa pasangan batu. Konstruksi bagian atas perlu dihubungkan dengan konstruksi bagian bawah dengan angkur yang terbuat dari besi beton ulir, sehingga menjadi satu kesatuan. Buis beton dibuat dengan tulangan susut agar tidak mudah retak dan mempunyai kekuatan yang cukup baik .



Sumber : Hasil Analisa Data

Gambar 11 Desain revetment

Setelah mendapatkan nilai bilangan *Irribaren*, digunakan grafik hubungan antara I_r dengan R_u/H (Gambar 12), sehingga dapat diperoleh tinggi rayapan gelombang di lokasi bangunan.

Dari Gambar 12, didapat angka $R_u/H = 1,24$ dan $R_u = 2,60$ m

Fungsi utama *revetment* adalah sebagai penahan gelombang dan erosi, untuk itu, struktur *revetment* direncanakan sebagai tipe struktur yang tidak terlampaui oleh gelombang (*non-overtopping* struktur). Sehingga elevasi puncak *revetment* ditentukan berdasarkan formula sebagai berikut (Triatmodjo, 1999):

$$\text{Elevasi Puncak} = HWS + R_u + P_g + H_u$$

PERENCANAAN STRUKTUR REVETMENT

Dimensi Revetment

Input untuk desain *revetment* diperoleh dari hasil analisa data lapangan hidro-oseanografi dan kondisi tanah yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya. Pada saat gelombang mengenai *revetment*, gelombang tersebut akan naik (*run up*) pada permukaan bangunan. Elevasi (tinggi) bangunan yang direncanakan tergantung pada *run up* dan limpasan yang diijinkan. *Run up* tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kedalaman air pada kaki bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan dan karakteristik bangunan (Triatmodjo, 1999).

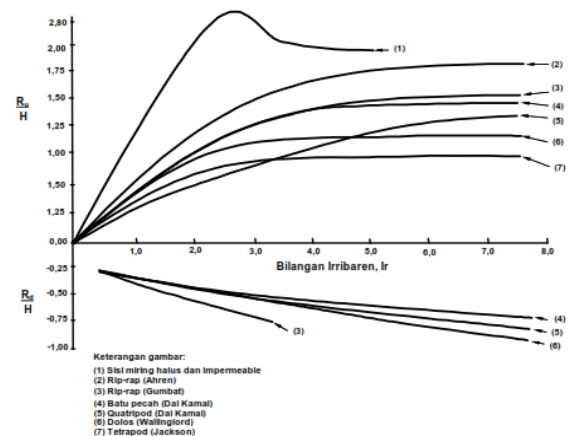
Run up gelombang pada struktur *revetment* dihitung berdasar pendekatan sebagai berikut:

- 1 Kemiringan dinding penahan reklamasi bagian luar ditentukan **1 : 2**
- 2 Tinggi gelombang 2,1 m yang merupakan tinggi gelombang tertinggi pada periode 10 tahun berdasarkan analisa data BMKG
- 3 *Run up* gelombang, dihitung menggunakan nilai I_r (Bilangan *Irribaren*)

$$I_r = \frac{\text{tg } \theta}{(H/L_o)^{0,5}} \quad (1)$$

Dimana:

- I_r = Bilangan *Irribaren*
 θ = Sudut kemiringan dinding penahan areal reklamasi
 H = Tinggi gelombang di lokasi bangunan = 2,1 m
 L_o = Panjang gelombang di laut dalam = $1,56T^2$ = 64,41m
 Dari rumus diatas didapat angka *Irribaren* = 2,277



Gambar 12 Grafik Runup gelombang (Triatmodjo, 1999)

Dimana:

HWS = *High Water Spring* (Tinggi air saat pasang)

R_u = Tinggi *Run Up* gelombang di lokasi bangunan

P_g = Kenaikan muka air laut karena pemanasan global

H_u = Ketinggian angka kebebasan (antara 25 - 30 cm)

Sehingga didapatkan elevasi *breakwater* sebagai berikut :

$$\text{Elevasi Puncak} = 1,60 + 2,60 + 0,2 + 0,25 = 4,65 \text{ m dari MSL.}$$

Lebar puncak bangunan dapat dihitung dengan rumus berikut ini :

$$B = n_p k_{\Delta} \left[\frac{W}{\rho_r} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

dengan :

B : lebar puncak (m)

n : jumlah butir batu ($n_{\text{minimum}} = 3$)

K_{p} : Koefisien lapis = 1,15

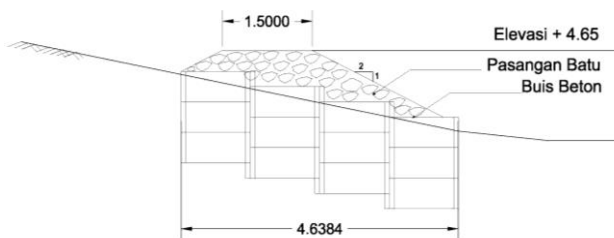
W: berat butir batu pelindung = 0,178 T

Pr : massa jenis armor (kg/m^3 atau ton/m^3)

$$B = 3 \times 1.15 \times \left[\frac{0.178}{2.64} \right] = 1.4 \approx 1.5 \text{ m}$$

Lebar puncak *revetment* = 1,5 m

Berdasarkan perhitungan perencanaan struktur *revetment* di dapat dimensi bangunan adalah seperti pada Gambar 13. Lebar puncak 1,5 m dengan kemiringan bangunan adalah 1:2 dan lebar dasar bangunan menjadi 4,638 m dan elevasi puncak *revetment* = 4,65 m.



Gambar 13 Bentuk perencanaan *revetment* berdasarkan hitungan (Sumber : Analisa hasil hitungan)

ANALISA STABILITAS

Dari desain *revetment* di atas, dilakukan analisa stabilitas bangunan, untuk memastikan keamanan bangunan dari kemungkinan turun, guling, geser dan daya dukung tanah setelah pelaksanaan pembangunan (Das, 2005).

1. Stabilitas terhadap guling (*overturning*)

Tekanan yang diakibatkan oleh gelombang akan mengakibatkan bangunan cenderung berotasi pada kaki bangunan. Kestabilan bangunan terjadi apabila momen gaya yang mengakibatkan struktur berotasi dapat ditahan oleh berat sendiri dari struktur tersebut. Stabilitas bangunan menahan guling harus lebih besar dari angka keamanan (F_s) = 2. Stabilitas bangunan terhadap guling dapat dihitung dengan persamaan :

$$FS_{(overturning)} = \frac{\sum MV}{\sum MH} > 2 \quad (3)$$

Dimana :

SMV : momen penahan yang berasal dari berat sendiri bangunan

SMH : momen pengguling yang berasal dari gelombang dan hidrostatik

2. Stabilitas terhadap geser (*sliding*)

Gaya yang bekerja secara vertikal akan menekan struktur. Apabila gaya penahan yaitu gaya horizontal yang berasal dari gelombang datang kecil dan tidak dapat menahan gaya yang menekan akan mengakibatkan pergeseran pada struktur. Stabilitas keamanan terhadap geser harus lebih besar dari angka keamanan (F_s) = 1,5. Stabilitas bangunan terhadap gaya geser dapat dihitung dengan persamaan :

$$FS_{(sliding)} = \frac{\sum V}{\sum H} > 1.5 \quad (4)$$

Dimana:

SV : gaya vertikal yang berasal dari berat sendiri bangunan

SH : gaya horizontal yang berasal dari gaya gelombang dan hidrostatik

3 Stabilitas terhadap daya dukung tanah (*bearing capacity*)

Tanah yang berada di bagian bawah bangunan akan mendapat tekanan akibat berat sendiri bangunan. Apabila daya dukung tanah lebih kecil dari beban yang bisa diterima tanah, bangunan akan mengalami kegagalan/runtuh. Stabilitas struktur terhadap daya dukung tanah harus lebih besar dari angka keamanan (F_s) = 3. Stabilitas bangunan terhadap daya dukung tanah dapat dihitung dengan persamaan :

$$FS_{(bearing\ capacity)} = \frac{q_u}{q_{max}} > 3 \quad (5)$$

Dimana :

q_{ult} = Daya dukung batas/tegangan ultimit (kg/m^2)

$q_{ult} = 1,3.c. N_c + \gamma b. N_q. D_f + 0,5. \gamma b. N_{\gamma}$.

N_c, N_q, N_{γ} merupakan angka yang didapat dari propertis tanah dalam penyelidikan tanah di laboratorium.

q_{max} = tekanan maksimum (kg/m²)

q_{max} dihitung menggunakan rumus :

$$q_{max} = \frac{\sum V}{B} \times \left(1 + \left(\frac{e}{B} \right) \right) \quad (6)$$

e adalah eksentrisitas yang dihitung menggunakan rumus :

$$e = \frac{B}{2} \left(\frac{\sum MV - \sum MH}{\sum V} \right) \quad (7)$$

dan B adalah lebar bangunan *revetment* (m)

4. Stabilitas terhadap penurunan tanah

$$S = \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \quad (8)$$

Dimana :

S = besarnya penurunan tanah dan struktur

C_c = koefisien kompresi

H = tebal segmen tanah (m)

e_0 = angka pori tanah

p_0 = tekanan akibat berat tanah (ton/m²)

Δp = penambahan tekanan pada tanah akibat bangunan (ton/m²)

Kontrol Terhadap Guling dan Geser

Untuk mengetahui keamanan struktur terhadap gaya guling dan geser perlu di cek stabilitasnya. Pada *revetment* yang direncanakan ini, gaya yang bekerja adalah akibat gelombang datang.

Pada saat gelombang merambat dari perairan dalam ke pantau dan mengenai bangunan, maka gelombang tersebut akan mengalami proses perubahan tinggi dan gelombang. Perubahan tersebut dikarenakan adanya proses refraksi, difraksi, pendangkalan dan pecahnya gelombang. Tinggi gelombang rencana yang dipakai dalam perencanaan ini adalah tinggi gelombang maksimum yang terjadi di lokasi bangunan. Dalam perencanaan ini memakai ketinggian air saat pasang. Apabila gelombang telah pecah sebelum mencapai lokasi bangunan maka gelombang rencana yang dipakai adalah tinggi gelombang pecah (H_b) di lokasi bangunan. Tinggi gelombang pecah ini dikaitkan dengan kedalaman perairan (ds) dan kemiringan dasar pantai (m). Apabila pantai relatif datar, maka tinggi gelombang pecah dapat ditentukan dengan rumus (Triatmodjo, 1999):

$$H_b = 0,78 ds \quad (9)$$

Elevasi dasar *revetment* direncanakan 0,00m. Ketinggian muka air pada ujung bangunan direncanakan pada elevasi HWS = 1,6 m dari dasar laut, sehingga di dapat $ds = 1,6$ m. Dari penjelasan diatas, maka untuk perhitungan gelombang rencana pada *revetment* adalah sebagai berikut:

$$ds = HWS = 1,6 \text{ m}$$

$$H_b = 0,78 ds = 1,28 \text{ m}$$

Gaya dan momen gelombang di lokasi bangunan dihitung dengan tahapan seperti berikut:

$$\text{Tinggi Bangunan} = 4,65 \text{ m}$$

$$\text{Lebar Puncak} = 1,50 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan Bangunan} = 1 : 2$$

$$\text{Lebar Dasar Bangunan} = 4,638 \text{ m}$$

$$\rho_{air} = 1,03 \text{ t/m}^3$$

Perhitungan Gaya Gelombang Dinamis dapat dihitung dengan rumus :

$$R_m = (1/2) \times \rho_{air} \times ds \times H_b$$

$$R_m = 1,0284 \text{ T}$$

Perhitungan Gelombang Dinamis dapat dihitung dengan rumus :

$$MM = R_m \times \left(ds + \frac{H_b}{2} \right) = 2,2870 \text{ tm} \quad (10)$$

Perhitungan Gaya Hidrostatik dapat dihitung dengan rumus :

$$R_s = \frac{1}{2} \times \rho_{air} \times (ds + H_b)^2 = 4,1773 \text{ T} \quad (11)$$

Momen gaya hidrostatik dapat dihitung dengan rumus :

$$M_s = \frac{1}{6} \times \rho_{air} \times (ds + H_b)^3 = 3,9556 \text{ Tm} \quad (12)$$

$$\text{Total gaya Guling (SH)} = R_s + R_m = 5,306 \text{ T}$$

$$\text{Total Momen Guling (MH)} = MM + M_s = 6,253 \text{ Tm}$$

Momen Penahan

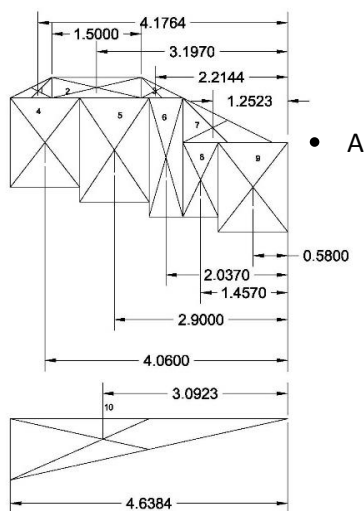
Pada perencanaan bangunan *revetment* ini gaya yang menahan adalah dari berat sendiri bangunan. Tahapan perhitungan momen penahan bangunan adalah sebagai berikut: berat bangunan dihitung dan dibagi menjadi beberapa bagian seperti pada Tabel 4 dan Gambar 14. Dalam perhitungan ini lengan momen pusat area beban bekerja terhadap titik A.

Tabel 4 Perhitungan Berat dan Momen Penahan bangunan

Gaya	Luas (m ²)	V(T)	Lengan (m)	MV (Tm)
1	0,51975	1,2474	4,1764	5,209641

Gaya	Luas (m ²)	V(T)	Lengan (m)	MV (Tm)
2	0,5198	1,24752	3,197	3,988321
3	0,51975	1,2474	2,2144	2,762243
4	1,74	4,176	4,06	16,95456
5	2,03	4,872	2,9	14,1288
6	1,1321	2,71704	2,037	5,53461
7	1,125	2,7	1,2523	3,38121
8	0,7424	1,78176	1,457	2,596024
9	1,74	4,176	0,58	2,42208
10	2,8342	-2,919226	3,0923	-9,02712
Jumlah		21,245894		47,95037

Sumber : Analisa Hasil Perhitungan



Gambar 14 Panjang lengan momen untuk perhitungan momen penahan struktur (Sumber : Analisa Hasil Perhitungan)

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas guling} &= \frac{\sum MV}{\sum MH} > 2 \\ &= 7,669 > 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas geser} &= \frac{\sum Vx\mu_s}{\sum H} > 1,5 \\ &= 1,633 > 1,5 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan terhadap stabilitas guling dan geser menunjukkan bangunan aman terhadap gaya yang bekerja pada bangunan. Angka stabilitas

guling dan geser struktur *revetment* hasil perhitungan lebih besar dari angka keamanan.

Kontrol kapasitas daya dukung tanah

Dalam menentukan analisa stabilitas terhadap daya dukung tanah, tahapannya adalah sebagai berikut :

$q_{ult} = 117,1093 \text{ t/m}^2$ (angka didapat dari hasil propertis tanah di laboratorium) dengan $B = 4,6384 \text{ m}$. Nilai eksentrisitas adalah :

$$e = \frac{B}{2} \left(\frac{\sum MV - \sum MH}{\sum V} \right)$$

$$e = 0,3567$$

Setelah nilai eksentrisitas, tentukan q_{max} dengan rumus :

$$q_{max} = \frac{\sum V}{B} \times \left(1 + \left(\frac{6e}{B} \right) \right)$$

$$q_{max} = 6,6927 \text{ t/m}^2$$

Stabilitas terhadap daya dukung adalah =

$$\frac{q_u}{q_{max}} = 17,498 > 3$$

Hasil stabilitas bangunan terhadap daya dukung tanah dinyatakan aman dengan angka stabilitas bangunan = 17,498 , lebih besar dari faktor keamanan > 3.

Cek Penurunan Tanah

Dalam perencanaan bangunan, penurunan tanah juga perlu dihitung untuk mengetahui seberapa besar penurunan yang akan terjadi pada bangunan dan dalam jangka berapa lama sehingga terhindar dari kegagalan bangunan. Penurunan tanah ini adalah akibat tekanan dari berat bangunan yang bekerja mengenai lapisan tanah sehingga mengakibatkan penurunan. Tahapan perhitungan penurunan tanah adalah sebagai berikut :

$$g_{sat} = 1,94 \text{ tm}^3$$

$$g' = g_{sat} - g_{air} = 0,91 \text{ t/m}^3$$

$$e_o = \text{angka pori tanah} = 0,719$$

$$C_c = 0,3 * (e_o - 0,27) = 0,1347$$

$$C_v = \text{Koefisien konsolidasi} = 0,005 \text{ cm}^2/\text{detik}$$

$$G_s = \text{berat jenis tanah} = 2,68$$

$$H = \text{tebal segmen tanah} = 3 \text{ m}$$

$$Z = H/2 = 1,5 \text{ m}$$

$$w = \text{kadar air} = 20,8 \%$$

$$\text{Berat total bangunan (V total)} = 21,2459 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Tekanan akibat berat bangunan pada tanah} =$$

$$p = \frac{V \text{ total}}{B} \tag{13}$$

$$P = 4,581 \text{ t/m}^2$$

Tekanan akibat berat lapisan tanah

$$P_0 = H \times \gamma' \tag{14}$$

$$P_0 = 2,73 \text{ t/m}^2$$

Penambahan tekanan (Δp) untuk $H/B = 0,62$

$$\Delta p = 0,7 p = 3,2066 \text{ t/m}^2$$

Penurunan (*settlement*) bisa dihitung

$$S = \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \frac{P_0 + \Delta p}{P_0}$$

$$S = 0,0934 \text{ m} = 9,34 \text{ cm}$$

Hasil kestabilan bangunan *revetment* ini dapat dilihat pada Tabel 5. Faktor keamanan stabilitas terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah dalam kondisi aman dan memenuhi persyaratan untuk dibangun.

Tabel 5 Hasil perhitungan faktor keamanan

Faktor Keamanan		kondisi
$FS_{(overturning)} = \frac{\sum MV}{\sum MH} > 2$	7,669	aman
$FS_{(sliding)} = \frac{\sum V}{\sum H} > 1.5$	4,082	aman
$FS_{(bearing capacity)} = \frac{q_u}{q_{max}} > 3$	17,498	aman
Penurunan	9,34 cm	aman

Sumber : Hasil Analisa data

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dan perhitungan di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Hasil sondir dan pengambilan sampel tanah dengan bor tangan menunjukkan kondisi tanah Pantai Kedungu memungkinkan untuk dilakukan pemasangan struktur dengan pondasi dangkal. Tanah keras dengan qc lebih besar dari 250 kg/cm² terdapat pada kedalaman sekitar 1,6 - 3 m dengan material berupa pasir gradasi halus sampai sedang coklat kehitaman.

Struktur *revetment* pasangan batu tersebut dimensinya adalah:

- 1 Tinggi bangunan adalah 4,65 m dan lebar puncak bangunan 1,5 m dengan kemiringan bangunan 1:2 .

- 2 Konstruksi *revetment* terdiri dari dua bagian, yaitu bagian bawah yang berfungsi sebagai pondasi dan bagian atas yang berfungsi sebagai penahan gelombang. Bagian bawah terdiri dari empat baris buis beton. Untuk alasan efisiensi biaya, dimensi buis beton yang digunakan adalah ukuran yang biasa didapat di pasaran. Bagian atas direncanakan berupa pasangan batu. Konstruksi bagian atas perlu dihubungkan dengan konstruksi bagian bawah dengan angkur yang terbuat dari besi beton ulir, sehingga menjadi satu kesatuan.

Hasil dari analisa stabilitas terhadap guling, geser, daya dukung tanah dan penurunan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa desain struktur *revetment* memenuhi syarat untuk dapat diterapkan di lokasi studi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada Pusat Riset Kelautan dan Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan atas terselenggaranya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, 1986. Observasi arus dengan teknik pengukuran arus tertambat, Oseana, Volume XI No. 2 Halaman : 48 – 59.
- Boonastria CMD, 2014. Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Untuk Mengatasi Kemunduran Garis Pantai Teluk Penyut Cilacap, Jawa Tengah, Jurnal Teknik Pomits Volume 1 Nomor 1
- Bowles, J. E, 1983, Analisa dan Disain Pondasi. Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Braja M Das, 2005. *Fundamentals of Geotechnical Engineering*, Nelson, Canada,
- Christady H, 2011. Mekanika Tanah I & II edisi kelima, Jogyakarta Gajahmada Universitas Press
- Christina J, 2009. *Stability Evaluation of Seawall Construction at Erie Village Location Nisaniwe District Amboina City*. Jurnal Teknologi Volume 6 Nomor 2.
- Diskanla Pemkab Tabanan, 2012, Laporan Survey Potensi Sumberdaya Pesisir di Kabupaten Tabanan.
- Hariyoni , Sisinggih D., Marsudi S., 2013. Studi Perencanaan Pengendalian Akresi dan Abrasi di Pantai Tanjung Wangi Kabupaten Banyuwangi. Jurnal Teknik Pengairan Volume 4 Nomor 1, hlm 20 – 29.

- Hidayah R., Suntoyo, Armoro HD., 2012. Analisa Perubahan Garis Pantai Jasri Kabupaten Karangasem Bali. *Jurnal Teknik ITS* Volume 1 Nomor 1.
- Horta, J., Moura, D., Gabriel, S., & Ferreira, Ó. (2013). Measurement of pocket beach morphology using geographic information technology: The MAPBeach toolbox. *Journal of Coastal Research*, 2(65), 1397-1402. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/1681906594?accountid=14681>.
- <https://wisatabaliasri.wordpress.com/2011/05/21/in-dahnya-panorama-alam-di-pantai-kedungu/>, diakses tanggal 28 Agustus 2012.
- Jeanson, M., Anthony, E. J., Dolique, F., & Aubry, A. (2013). Wave characteristics and morphological variations of pocket beaches in a coral reef–lagoon setting, Mayotte Island, Indian Ocean. *Geomorphology*, 182, 190-209. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.013>.
- Olga P, 2013. Analisa Stabilitas Struktur Pelindung Pantai Bronjong. *Jurnal Teknik Sipil* Volume 9 Nomor 1
- P3TKP, 2013. Laporan teknis kegiatan riset Pusat Pengkajian dan Perencanaan Teknologi Kelautan, "Studi Struktur Perlindungan Pantai".
- Sancho-García, A., Guillén, J. & Ojeda, E. (2013). Storm-induced readjustment of an embayed beach after modification by protection works. *Geo-Mar Lett* 33: 159. doi:10.1007/s00367-012-0319-6.
- SNI 2827. 2008. Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan Alat Sondir. Indonesia: Penerbit Badan Standart Nasional.
- Triatmodjo B, 1999. Teknik Pantai, Beta Offset, Yogyakarta.