

Evaluasi Stabilitas *Breakwater* pada Kecamatan Panjang

Rizqi Kurniawan¹⁾

Subuh Tugiono²⁾

Endro Prasetyo Wahono³⁾

Ahmad Zakaria⁴⁾

Abstract

The coast will be easily damaged due to large waves, causing damage to the area around the coastal area which is densely populated with various activities, namely Pantai Kecamatan Panjang, among others as ports, settlements, industry, trade, tourism and fishing activities. With so many activities, it should be accompanied by development that prioritizes conservation aspects to reduce the impact of environmental degradation. One of the efforts to overcome the impact of its degradation is to make a breakwater. This study aims to assess and study the failure of the protected layer unit at the breakwater on the coast of Kecamatan Panjang, so testing the stability of the protected layer using a physical model was carried out at the Hydraulics Laboratory of the University of Lampung using an experimental method. The results showed that the level of breakwater damage was 0% at 4,47 cm HHWL position with a plan wave height of 4 cm. So, the crushed rock will work well to protect the breakwater.

Key words: Breakwater, Armor Units, Physical Model, Stability

Abstrak

Tepian pantai akan mudah mengalami kerusakan akibat terjangan gelombang yang besar, sehingga menyebabkan rusaknya area sekitar wilayah pesisir yang padat dengan berbagai aktivitas yaitu Pantai Kecamatan Panjang, antara lain sebagai pelabuhan, pemukiman, industri, perdagangan, pariwisata serta aktivitas nelayan. Dengan banyaknya aktivitas tersebut sebaiknya diiringi dengan pembangunan yang mengedepankan aspek konservasi untuk menurunkan dampak degradasi lingkungan. Salah satu upaya untuk menanggulangi dampak degradasinya adalah dengan dibuat *breakwater*. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan mempelajari kegagalan unit lapis lindung pada *breakwater* pada pantai Kecamatan Panjang, maka pengujian stabilitas lapis lindung menggunakan model fisik dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Universitas Lampung menggunakan metode eksperimental. Hasil penelitian didapat tingkat kerusakan *breakwater* sebesar 0% pada posisi HHWL 4,47 cm dengan tinggi gelombang rencana 4 cm. Sehingga, batu pecah tersebut akan bekerja dengan baik untuk melindungi *breakwater*.

Kata kunci: *Breakwater*, Lapis Lindung, Model Fisik, Stabilitas

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: rizqikurniawan114@gmail.com

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Bojonegoro No 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Bojonegoro No 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Bojonegoro No 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Daerah tepian pantai akan mudah mengalami kerusakan akibat terjangan gelombang yang besar, sehingga menyebabkan rusaknya tempat tinggal, kebun-kebun, sarana dan prasarana umum, bahkan jalur perekonomian dan pada daerah yang berbatasan langsung dengan negara lain akan mengakibatkan berkurangnya batas negara. Salah satu daerah yang merupakan wilayah pesisir yang padat dengan berbagai aktivitas yaitu Pantai Kecamatan Panjang, antara lain sebagai pelabuhan, pemukiman, industri, perdagangan, pariwisata serta aktivitas nelayan. Dengan banyaknya aktivitas yang beragam di daerah tersebut seharusnya diiringi dengan pembangunan yang mengedepankan aspek konservasi untuk menurunkan dampak degradasi lingkungan.

Perencanaan suatu pemecah gelombang adalah menentukan berat unit lapis lindung yang tahan terhadap gelombang rencana. Stabilitas pemecah gelombang dipengaruhi oleh dua faktor yaitu, faktor lingkungan pantai dan karakter fisik struktur. Faktor lingkungan pantai antara lain tinggi gelombang (H_s), periode gelombang (T_s), durasi (jumlah) gelombang, arah gelombang datang dan kelompok gelombang. Faktor fisik struktur antara lain diameter nominal unit lapis lindung, bentuk dan kekasaran lapis lindung, kemiringan lereng, lebar puncak struktur, tinggi struktur dan permeabilitas inti.

Pemodelan fisik dapat dikatakan sebagai percobaan yang dilakukan dengan membuat bentuk model yang sama dengan prototipenya atau menggunakan model yang lebih kecil dengan kesebangunan atau similaritas yang cukup memadai. Pemodelan fisik dilakukan apabila fenomena dari permasalahan yang ada pada prototipe sulit untuk diperoleh karena berbagai keterbatasan. Studi lapangan dapat menyediakan data yang akurat, tetapi biasanya membutuhkan biaya yang tinggi dan memuat variable alam yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data. Efek-efek fisik antar elemen fluida merupakan hal yang sangat berpengaruh untuk suatu penelitian mengenai karakter fluida. Dengan model fisik, hal tersebut dapat divisualisasikan dan dapat dijamin keakuratannya. Hasil visualisasi tersebut mungkin merupakan hal yang tidak bisa dihasilkan secara teoritis atau dengan menggunakan perhitungan komputer (Hughes, 1993).

(Yuwono, 1992) mendefinisikan sebangun geometrik adalah suatu kesebangunan di mana bentuk yang ada di model sama dengan bentuk prototipe tetapi ukuran bisa berbeda. Perbandingan antara semua ukuran panjang antara model dan prototipe adalah sama. Ada dua macam kesebangunan geometrik, yaitu sebangun geometrik sempurna (tanpa distorsi) dan sebangun geometrik dengan distorsi (*distorted*). Pada sebangun geometrik sempurna skala panjang arah horizontal (skala panjang) dan skala panjang arah vertikal (skala tinggi) adalah sama, sedangkan pada *distorted* model skala panjang dan skala tinggi tidak sama. Jika memungkinkan sebaiknya skala dibuat tanpa distorsi, namun jika terpaksa, maka skala dapat dibuat distorsi. Sebangun geometrik dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} \quad (1)$$

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} \quad (2)$$

Sebangun kinematika adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan aliran di dua titik pada model dan prototipe pada arah yang sama adalah sama besar. Pada model tanpa distorsi, perbandingan kecepatan dan percepatan pada semua arah adalah sama, sedangkan pada model dengan distorsi perbandingan yang sama hanya pada arah tertentu saja, yaitu pada arah vertikal atau horizontal. Oleh sebab itu pada permasalahan yang menyangkut tiga dimensi sebaiknya tidak menggunakan distorted model. Skala kecepatan diberi notasi n_u , dan skala waktu n_T didefinisikan sebagai berikut :

$$n_u = \frac{u_p}{u_m} = \frac{n_L}{n_T} \quad (3)$$

$$n_T = \frac{T_p}{T_m} \quad (4)$$

Sebangun dinamik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan kinematika, serta perbandingan gaya-gaya yang bekerja pada model dan prototipe untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama adalah sama besar. Gaya-gaya yang dimaksud adalah gaya inersia, gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek, gaya kenyal dan tegangan permukaan. Beberapa sebangun dinamik yaitu sebangun dinamik Reynold (*Reynold number*) yang diekspresikan sebagai perbandingan gaya inersia terhadap gaya gesek, sebangun dinamik froude (*froude number*) yaitu perbandingan gaya inersia dan gaya gravitasi, bilangan Cauchy (*Cauchy Number*) yaitu perbandingan gaya inersia dan gaya elastik serta bilangan Weber (*Weber Number*) yaitu perbandingan antara gaya inersia dan gaya tegangan permukaan. Untuk penelitian refleksi terhadap gelombang yang merambat melalui pemecah gelombang terapung banyak dipengaruhi gaya gravitasi sehingga digunakan kesebangunan Froude. Dengan pertimbangan fasilitas yang ada di laboratorium, maka pada penelitian ini, akan menggunakan skala panjang yang sama dengan skala tinggi (*undistorted models*) dan menggunakan kesebangunan Froude.

$$F_r = \frac{(pL^3)(U^2/L)}{pgL^3} = \frac{U^2}{gL} \quad (5)$$

Dengan demikian bila gaya gravitasi memegang peranan penting dalam permasalahan, maka perbandingan gaya inersia dan gaya gravitasi pada model dan prototipe harus sama.

$$n_{F_r} = \frac{n_U}{n_L^{0,5}} \quad (6)$$

$$n_{F_r} = \frac{F_{rp}}{F_{rm}} = 1 \quad (7)$$

Oleh karena digunakan model tanpa distorsi, maka skala panjang gelombang n_L , skala panjang struktur n_B , skala kedalaman n_d dan skala sarat n_s adalah sama seperti berikut :

$$n_L = n_B = n_H = n_d = n_g \quad (8)$$

Sedangkan skala waktu n_t dan skala gravitasi ditulis seperti berikut :

$$n_t = n_L^{1/2} \quad (9)$$

$$n_g = 1 \quad (10)$$

Pemecah gelombang dapat mengalami berbagai kerusakan tergantung pada susunan dan konfigurasi strukturnya, kondisi gelombang yang menyerang dan tinggi muka air laut relatif selama terjadi serangan gelombang. Satu jenis kerusakan yang diidentifikasi Jensen adalah jenis kerusakan pada lapis lindung. Terjadinya kerusakan pada lapis lindung karena berpindahnya material lapis lindung dari kedudukannya semula akibat serangan gelombang. Material lapis lindung sampai berpindah karena bekerjanya gaya gelombang yang berlebihan terutama selama terjadi *run-down* dan *run-up* gelombang (Jensen, 1984).

Sementara (Bruun, 1985), menyatakan bahwa penyebab kerusakan pada pemecah gelombang karena longsornya lapis lindung. Kerusakan lapis lindung dapat pula disebabkan oleh karena terserang gelombang pecah (*plunging wave*), gelombang berantai (*wave trains*) yang terkonsentrasi, durasi gelombang yang cukup panjang, erosi pada bagian kaki pemecah gelombang, serta ketidaksesuaian material yang digunakan.

2. METODE PENELITIAN

Untuk penelitian ini dilakukan pemodelan fisik yang diuji di Laboratorium Hidrolika, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Lokasi penelitian terkait adalah Pantai Kecamatan Panjang, Bandar Lampung.



Gambar 1. Kecamatan Panjang

(Arikunto, 2006) dalam (Wardhani et al., 2013) mendefinisikan metode eksperimen adalah suatu cara untuk mencari hubungan sebagai akibat antar dua faktor yang sengaja ditimbulkan oleh peneliti dengan mengeleminasi atau mengurangi atau menyisihkan faktor-faktor lain yang mengganggu. Peneliti memanipulasi tinggi gelombang rencana buatan, mengontrol jumlah lapis lindung serta dimensi *breakwater*, dan mengobservasi pengaruhnya terhadap stabilitas bangunan *breakwater*.

Model hidraulik sering diperlukan untuk menguji kendala suatu bangunan pantai. Terkadang menjadi keharusan jika variabel hitungan yang digunakan dalam perencanaan sulit ditetapkan atau banyak yang belum diketahui secara pasti. Perencanaan juga menjadi menjadi kurang pasti kendalanya karena rumusan empirik saja belum cukup untuk menentukan secara pasti angka aman suatu bangunan. Lebih jauh lagi model hidraulik digunakan untuk menstimulasi kondisi yang akan dihadapi oleh model sehingga memungkinkan mengetahui kondisi yang bisa terjadi pada model, informasi tambahan ini sangat berguna untuk modifikasi bangunan untuk mencapai optimasi maupun antisipasi akibat serta pengembangan selanjutnya (Yuwono, 1994).

Pada saluran gelombang dibangun *layout breakwater* dengan skala tertentu lalu diisi air dengan ketinggian muka air tertentu, yaitu HHWL (*Highest High Water Level*) yaitu air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati, Dengan menggunakan *wave generator*, gelombang dibangkitkan dengan tinggi gelombang dan periode tertentu, dimana gelombang yang dibangkitkan merupakan gelombang rencana yang terjadi di daerah bangunan *breakwater*, Model *breakwater* memiliki kemiringan lereng vertikal berbanding horizontal adalah 1:1,5 sebagaimana kondisi *breakwater* dilapangan.

Akibat pembangkitan gelombang oleh *wave generator* terjadi penjalaran gelombang sampai ke model *breakwater*, gelombang yang menjalar inilah yang akan menyerang model *breakwater*. Berikut adalah dimensi model dan *prototype breakwater*.

Tabel 1. Dimensi Model

Item	Lapangan	Skala	Model
Lebar puncak	3,45 m	1 : 37,5	9,2 cm
Tinggi <i>breakwater</i>	3,05 m	1 : 37,5	8,13 cm
Lebar dasar	12,6 m	1 : 37,5	33,6 cm

Tabel 2. Skenario Percobaan Berdasarkan Parameter Keadaan Lingkungan

Item	Lapangan	Skala	Model
Kedalaman air	1,678 m	1 : 37,5	4,47 cm
Gelombang rencana	1,5 m	1 : 37,5	4 cm
Panjang gelombang	6,24 m	1 : 37,5	16,64 cm
Berat lapis luar	748 kg	1 : 52734,37	14,18 gr
Berat lapis dalam atau <i>filter</i>	74,8 kg	1 : 52734,37	1,418 gr
Periode gelombang	3,74 detik	1 : 6,12	0,62 detik
Kecepatan gelombang	1,66 m/s	1 : 6,12	27,12 cm/s

Unit lapis lindung yang dipakai pada model *breakwater* adalah batu pecah yang sudah terukur skala berat sebanyak 21 buah lapis lindung dan 2.874 buah lapis filter dengan berat jenis 2,6. Tinggi gelombang dilaboratorium didapat berdasarkan hasil pengamatan pada saluran dan pengamatan yang didapat dari perekaman selama pengujian berlangsung.

Menurut (Yuwono, 1994), pengukuran koefisien stabilitas batu pecah dilaksanakan untuk tujuan membuat referensi bahwa hasil penelitian saat ini sesuai dengan spesifikasi batu pecah atau tidak. Ketika hasil pengukuran koefisien stabilitas batu pecah sesuai dengan yang telah ditetapkan, maka hasil penelitian ini dapat dipastikan tidak benar. Koefisien stabilitas batu pecah dihitung dengan menggunakan Persamaan Hudson sebagai berikut :

$$W = \frac{\rho_a H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot(\alpha)} \quad (11)$$

Dimana, W = Berat unit Armor, H = Tinggi gelombang rencana, K_D = Koefisien Stabilitas, α = Sudut kemiringan struktur, S_r = Berat jenis relatif (p_a/p_w), p_a = Berat jenis unit armor, dan p_w = Berat jenis air.

Selanjutnya, dilakukan pengujian dan pengamatan selama 60 menit dan perekaman selama 5 menit dengan interval waktu 10 menit terhadap breakwater dalam pengamatan pengujian, guna mengetahui hubungan tinggi gelombang dengan jumlah kerusakan unit lapis lindung. Kerusakan didefinisikan dengan pergeseran atau perpindahan batu pecah.

Model *breakwater* dinyatakan layak diterima bila tidak melampaui batasan yang telah ditetapkan oleh perencana atau standar yang sudah ada, jika hasil penelitian ternyata kurang dari batas kelayakan, maka perlu diadakan perencanaan ulang terhadap desain.

Tabel 3. Batas Kelayakan Model Lapis Lindung

Pengujian	Batas Kelayakan	Keterangan
Stabilitas Lapis Lindung	Kerusakan $\leq 0,5\%$ pada H_s rencana	Standar PT. Semen Gresik (1991)
	Kerusakan $\leq 5\%$ pada H_s rencana	Standar CERC (1984)
	Kerusakan $\pm 2,5\%$ pada H_s rencana	Standar Van der Meer (1987)

Sumber : (Wardhani et al., 2013)

3. HASIL PENELITIAN

Refleksi Gelombang

Jika suatu gelombang yang mengalami pemantulan yang tidak sempurna membentur suatu penghalang, maka tinggi gelombang datang (H_i) akan lebih besar dari tinggi gelombang yang direfleksikan (H_r). Periode gelombang datang dan yang dipantulkan adalah sama, sehingga panjang gelombangnya juga sama. Karena pemantulan yang tidak sempurna, menyebabkan tidak ada node yang sebenarnya dari profil gelombang tersebut (Dean and Dalrymple, 1991) dalam (Almunawir, 2019). Dari hasil pengujian didapatkan karakteristik gelombang yang terjadi pada model *breakwater* berupa refleksi gelombang. Berdasarkan hasil pengamatan didapatkan berupa gelombang datang (H_i), gelombang refleksi (H_r), dan koefisien refleksi (K_r). besarnya gelombang datang sama dengan H_{max} dijumlahkan dengan H_{min} kemudian hasil penjumlahannya dibagi 2. Hasil pembagian tersebut merupakan besar tinggi gelombang datang (H_i), dapat dirumuskan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$H_i = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (12)$$

Tabel 4. Hasil Nilai Tinggi Gelombang Datang

Variasi	Periode Gelombang (detik)	$H_{\max}$ (cm)	$H_{\min}$ (cm)	H_i (cm)
1	0,83	3,6	3,3	3,45
2	0,56	3,9	3,7	3,8
3	0,5	4,2	3,8	4

Gelombang refleksi yang didefinisikan sebagai gelombang datang yang mengenai atau membentur suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya (Triatmodjo, 1999). Tinggi gelombang refleksi (H_r) dapat diselesaikan dengan persamaan berikut:

$$H_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2} \quad (13)$$

Tabel 5. Hasil Nilai Tinggi Gelombang Refleksi

Variasi	Periode Gelombang (detik)	$H_{\max}$ (cm)	$H_{\min}$ (cm)	H_r (cm)
1	0,83	3,6	3,3	0,15
2	0,56	3,9	3,7	0,1
3	0,5	4,2	3,8	0,2

Nilai besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi (K_r), yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i). Sehingga besarnya koefisien refleksi (K_r) adalah sebagai berikut:

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} \quad (14)$$

Tabel 6. Hasil Nilai Koefisien Refleksi

Variasi	H_i (cm)	H_r (cm)	K_r
1	3,45	0,15	0,0434
2	3,8	0,1	0,0263
3	4	0,2	0,0500

Dari tabel di atas, didapatkan bahwa nilai koefisien refleksi (K_r) masing-masing sebesar 0,0434; 0,0263; 0,0500.

Kerusakan Unit Lapis Lindung

Pemecah gelombang dapat mengalami berbagai kerusakan tergantung pada susunan dan konfigurasi strukturnya, kondisi gelombang yang menyerang dan tinggi muka air laut relatif selama terjadi serangan gelombang. Satu jenis kerusakan yang diidentifikasi (Jensen, 1984) adalah jenis kerusakan pada lapis lindung. Terjadinya kerusakan pada lapis lindung karena berpindahnya material lapis lindung dari kedudukannya semula akibat serangan gelombang. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Sugianto, 2012) bahwa untuk mengatasi keterbatasan data gelombang pada prototipe biasanya perencana melakukan peramalan gelombang dengan menggunakan data angin, karena data angin relative tersedia dan mudah diperoleh. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa untuk mendapatkan data gelombang digunakan kecepatan angin pada musim barat dengan durasi 3-6 jam, sedangkan pada musim timur antara 1-4 jam. Sehingga pada penelitian ini model diuji dengan serangan gelombang selama 60 menit atau sekitar 6 jam 12 menit pada prototipe dengan sekitar 6000 serangan gelombang. Didapat hasil perhitungan persentase kerusakan unit lapis lindung yang diuraikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Uji Stabilitas *Breakwater* Posisi HHWL 4,47 cm

Variasi	Tinggi Gelombang (cm)	T (detik)	Rusak	Persentase Kerusakan (%)
1	3,3	0,83	0	0
2	3,6	0,56	0	0
3	4	0,5	0	0

Kerusakan unit lapis lindung pada seluruh hasil pengujian maksimum sebanyak 0 buah dari 2.895 buah batu pecah terdiri dari 21 buah lapis lindung dan 2.874 buah filter yang terpasang atau sekitar 0 %. Artinya batu pecah tersebut akan dapat bekerja dengan baik untuk melindungi *breakwater*.

Perhitungan Koefisien Stabilitas Batu Pecah

Berat batu pecah yang digunakan 1,4184 gram (lapis dalam) dan 14,1843 gram (lapis luar) dengan berat jenis 2,6. Tinggi gelombang rencana yang dipakai adalah tinggi gelombang pada saat batu pecah tidak mengalami pergeseran atau perpindahan dimana kerusakannya 0%, berat jenis air 1 dan $\cot \alpha$ adalah 1,5. Dengan menggunakan rumus Persamaan Hudson maka nilai koefisien stabilitas dapat diperoleh.

$$K_D = \frac{\rho_a H^3}{W \times (S_r - 1)^3 \cot \% \emptyset} \quad (15)$$

Tabel 9. Nilai Koefisien Stabilitas Batu Pecah

Variasi	Nilai K_D
1	1,3919
2	1,6371
3	1,9094

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai koefisien stabilitas (K_D) maksimal untuk lapis lindung menggunakan batu pecah bersudut kasar adalah sebesar 1,9094 sehingga *breakwater* ini sudah dinyatakan aman, karena hasil nilai koefisien stabilitas berada dibawah angka aman batu pecah pada literatur, yaitu sebesar 2 (Triatmodjo, 1999).

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini jika *breakwater* pada pantai Kecamatan Panjang dibangun dengan dimensi lebar puncak 3,45 m, tinggi 3,05 m, berat unit armor $W = 748$ kg dan kemiringan 1:1,5 memiliki stabilitas hidraulik yang baik dan akan mempunyai kemampuan yang baik dalam menahan serangan gelombang yang mana memiliki tingkat kerusakan sebesar 0%. Dengan nilai K_D maksimum sebesar 1,9094 maka batu pecah dapat melindungi *breakwater* dengan cukup baik. Dan berdasarkan hasil pengamatan gelombang pada model *breakwater* didapatkan nilai koefisien refleksi (K_r) masing-masing sebesar 0,0434; 0,0263; 0,0500.

DAFTAR PUSTAKA

- Almunawir, A.A. 2019. Analisis Refleksi dan Disipasi Gelombang pada Pemecah Gelombang Berpori. Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Arikunto, S. 2006. Prosedur penelitian suatu pendekatan praktik. *Jakarta: Rineka Cipta*, 120–123.
- Bruun, P. 1985. *View on ScienceDirect Design and Construction of Mounds for Breakwaters and Coastal Protection*. 1st ed. Amsterdam: Elseiver. Science Publisher B.V.
- Dean, R.G. and Dalrymple, R.A. 1991. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. 2nd ed. Singapore: World Scientific.

- Hughes, S.A. 1993. *Physical models and laboratory techniques in coastal engineering*. 7th ed. Singapore: World Scientific.
- Jensen, O.J. 1984. *A monograph on rubble mound breakwaters*. Denmark: Danish Hydraulic Institute (DHI).
- Sugianto, D.N. 2012. Model Distribusi Data Kecepatan Angin dan Pemanfaatannya dalam Peramalan Gelombang di Perairan Laut Paciran, Jawa Timur. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 15.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. 2nd ed. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wardhani, S.R. Rochaddi, B., Kelautan, J.I., and Diponegoro, U., 2013. Studi Model Fisik Stabilitas Desain Breakwater terhadap Hempasan Gelombang di Pantai Glagah YOGYAKARTA. *Journal of Oceanography*, 2 (1), 57–65.
- Yuwono, N. 1992. *Teknik Pantai Volume I*. 1st ed. Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.
- Yuwono, N. 1994. Perancangan Bangunan Jetty, Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi. *PAU-ITUGM*.

