

# **Alternatif Desain *Layout Artificial Reefs Submerged Breakwater* Untuk Pengendalian Erosi di Pantai Pecatu, Bali Selatan**

**SYAHRUL MUHARAM JUNGJUNAN, FITRI SUCIATY**

Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional  
Email : mm1.syahrulmuharam@gmail.com

## **ABSTRAK**

*Pantai Pecatu merupakan salah satu daerah kunjungan wisata yang berada di Pulau Bali. Wilayah pantai ini terkenal dengan gelombang yang cukup tinggi yang sering dijadikan sebagai spot surfing oleh wisatawan. Namun berdasarkan penelitian dan survey yang dilakukan pada tahun 2011 diketahui Pantai Pecatu mengalami erosi yang cukup signifikan. Pemodelan hidrodinamika 2 Dimensi dengan menggunakan Delft3D dilakukan pada studi ini dengan tujuan untuk memperoleh gambaran faktor-faktor hidrodinamika yang berpengaruh terhadap erosi yang terjadi. Selanjutnya pada studi ini juga dilakukan perencanaan dua alternatif desain *Layout Artificial Reefs Submerged Breakwater* sebagai penanggulangan permasalahan erosi pantai. Simulasi pemodelan dilakukan untuk 3 skenario yaitu kondisi eksisting, alternatif satu, dan alternatif dua dengan durasi simulasi masing-masing selama satu tahun. Berdasarkan hasil simulasi, kedua alternatif desain *Layout* mampu meredam tinggi gelombang dari laut dalam dan mereduksi kecepatan arus di belakang *breakwater*. Namun desain *Layout 2* lebih baik dalam mereduksi kecepatan arus dan tinggi gelombang di belakang *breakwater*.*

**Kata kunci:** *submerged breakwater, hidrodinamika, tinggi gelombang, Delft3D.*

## **ABSTRACT**

*Pecatu Beach is one of the tourist areas in Bali. This coastal area is famous for its high waves which are often used as surfing spots. However, based on research and surveys conducted in 2011, it is known that Pecatu Beach has significant erosion. Two-dimensional hydrodynamic modeling using Delft3D was carried out in this study with the aim of obtaining an overview of the hydrodynamic factors that affect the erosion. Furthermore, in this study, two alternative *Layout* designs of *Artificial Reefs Submerged Breakwater* were also planned as the prevention of coastal erosion problems. Modeling simulations are carried out for 3 scenarios, i.e. existing conditions, alternative one, and alternative two with a simulation duration of one year each. Based on the simulation results, the two *Layout* design alternatives are able to reduce the wave height from the deep sea and reduce the current velocity behind the *breakwater*. However, *Layout 2* is better at reducing the current velocity and wave height behind the *breakwater*.*

**Keywords:** *submerged breakwater, hydrodynamics, wave height, Delft3D.*

## 1. PENDAHULUAN

Bali adalah salah satu provinsi di Indonesia yang mempunyai bentangan pantai yang menawan dan merupakan daerah kunjungan wisata. Salah satu pantai yang menjadi tujuan para wisatawan adalah Pantai Pecatu yang terletak di Desa Pecatu Kecamatan Kuta Selatan Badung Bali. Wilayah pantai ini terkenal dengan pantainya yang berpasir putih, terumbu karang beserta biota lautnya, dan juga gelombang yang tinggi sehingga sering dipakai untuk *spot surfing* para wisatawan. Berdasarkan penelitian dan observasi yang telah dilakukan pada tahun 2011 diketahui terjadi kemunduran garis pantai di sepanjang Pantai Pecatu, dimana erosi minor terjadi di bagian utara pantai dan erosi mayor terjadi di bagian selatan pantai (ASR, 2011).

Salah satu alternatif usaha untuk perlindungan pantai dari permasalahan yang terjadi di Pantai Pecatu adalah dengan menempatkan *Artificial Reefs Submerged Breakwater* (pemecah gelombang ambang rendah dengan terumbu karang buatan) pada area surfzone. Pemecah gelombang ini dipilih untuk melindungi dan mengatasi erosi dengan tetap memperhatikan aspek lingkungan. Selain itu daya tarik pantai sebagai *spot surfing* juga tidak terganggu.

Pada studi ini dilakukan perencanaan dua buah alternatif desain *Layout Artificial Reefs Submerged Breakwater*. Pemodelan hidrodinamika dua Dimensi dengan menggunakan Delft3D dilakukan pada studi ini dengan tujuan untuk memperoleh gambaran faktor-faktor hidrodinamika yang berpengaruh terhadap erosi yang terjadi. Simulasi pemodelan dilakukan untuk tiga skenario yaitu kondisi eksisting, alternatif satu, dan alternatif dua dengan durasi simulasi masing-masing selama satu tahun. Desain *Layout Artificial Reefs Submerged Breakwater* yang direncanakan diharapkan dapat menanggulangi permasalahan erosi di Pantai Pecatu.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Arus

Arus merupakan gerak mengalir suatu massa air yang disebabkan oleh beberapa faktor yaitu, tiupan angin, adanya perubahan densitas air laut, adanya gerakan gelombang panjang, serta dapat pula disebabkan oleh pasang surut (Nontji, 1993). Arus yang terjadi tergantung pada arah datang gelombang, jika arus air laut yang membalik arah menuju laut tegak lurus dengan garis pantai maka akan terjadi *rip current*. Apabila gelombang pecah dengan membentuk sudut terhadap garis pantai sebesar lebih dari 5 derajat maka akan menimbulkan arus sejajar garis pantai atau *longshore current*. Arus yang sejajar garis pantai inilah yang akan membawa sedimen ke tempat lain.

### 2.2 Bangunan Pengaman Pantai

Secara alamiah pantai telah memiliki mekanisme perlindungannya sendiri, yaitu berupa kemiringan pantai dan bukit-bukit pasir yang terdapat di sepanjang pantai (CERC, 1984). Selain itu pantai juga memiliki terumbu karang yang secara tidak langsung dapat berfungsi sebagai pemecah atau peredam gelombang.

### 2.3 Submerged Breakwater

Struktur pemecah gelombang umumnya dibangun dengan puncak di atas permukaan air laut untuk mendapatkan efek peredaman gelombang yang maksimal. *Submerged breakwater* didefinisikan sebagai struktur pemecah gelombang dengan bagian puncak di bawah permukaan air laut ataupun sejajar dengan permukaan. Dengan kondisi seperti ini bangunan akan selalu mengalami limpasan (*overtopping*) dan transmisi gelombang. *Submerged*

*Breakwater* dapat menggunakan berbagai macam bahan dan bentuk. Harris (2006) menyatakan bahwa bahan *Reef Ball* memiliki kelebihan dari sisi lingkungan, yaitu menjadi tempat hidup terumbu karang dan biota laut lainnya. **Gambar 1** merupakan jenis *reef balls* dan ukurannya.

Style	Width	Height	Weight	Concrete Volume	# Holes
Goliath Ball	6 feet (1.83m)	5 feet (1.52m)	4,000-6,000 lbs (1800-2700 kg)	1.3 yard (1.0 m <sup>3</sup> )	25-40
Super Ball	6 feet (1.83m)	4.5 feet (1.37m)	4,000-6,000 lbs (1800-2700 kg)	1.3 yard (1.0 m <sup>3</sup> )	22-34
Ultra Ball	5.5 feet (1.83m)	4.3 feet (1.31m)	3,500-4,500 lbs (1600-2000 kg)	0.9 yard (0.7m <sup>3</sup> )	22-34
Reef Ball	6 feet (1.83m)	3.8 feet (1.22m)	3000-4200 lbs (1350-1900 kg)	0.75 yard (0.6m <sup>3</sup> )	22-34
Pallet Ball	4 feet (1.22m)	2.9 feet (0.9m)	1500-2200 lbs (700-1000 kg)	0.33 yard (0.25m <sup>3</sup> )	17-24
Bay Ball	3 feet (0.9m)	2 feet (0.61m)	375-750 lbs (170-340 kg)	0.10 yard (0.08m <sup>3</sup> )	11-16
Mini-Bay Ball	2.5 feet (0.76m)	1.75 feet (0.53m)	150-200 lbs (70-90 kg)	less than four 50 lb bags	8-12
Lo-Pro Ball	2 feet (0.61m)	1.5 feet (0.46m)	80-130 lbs (35-60 kg)	less than two 50 lb bags	6-10
Oyster Ball	1.5 feet (0.46m)	1 foot (0.30m)	30-45 lbs (15-20 kg)	less than one 50 lb bag	6-8

**Gambar 1. Reef Ball Unit Sizes (Sumber: Harris, 2006)**

## 2.4. Perencanaan Breakwater

Penentuan panjang *submerged breakwater* didasarkan pada tujuan pembentukan garis pantai yang diinginkan yaitu tombolo atau salient. Tombolo adalah sedimentasi yang terbentuk di belakang *breakwater* dan salient adalah sedimentasi yang terbentuk pada garis pantai. Beberapa parameter yang digunakan dalam perencanaan pemecah gelombang lepas pantai adalah jarak pemecah gelombang dari garis pantai (Y), Panjang Pemecah Gelombang (Ls), lebar celah antara pemecah gelombang (Lg), dan kedalaman rerata di lokasi pemecah gelombang (ds). Penempatan *breakwater* direncanakan berdasarkan hubungan antara bilangan tak berdimensi Ls/Y terhadap tujuan pembentukan garis pantai.

## 2.5 Delft3D

### 2.5.1 Delft3D-Flow

Delft3D mempunyai modul utama yaitu FLOW-modul yang berfungsi untuk menghitung kondisi hidrodinamika pantai (Anonim, 2007). Delft3D-FLOW memakai beberapa persamaan pembangunan yaitu, persamaan momentum, persamaan kontinuitas, dan persamaan transport. Persamaan momentum dalam arah horizontal:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{V^2 \sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}} \sqrt{G\eta\eta}} + \frac{uv \sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}} \sqrt{G\eta\eta}} - Fv = \frac{1}{\rho \sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta \quad \dots(1.a)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{uv \sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}} \sqrt{G\eta\eta}} + \frac{V^2 \sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}}{\sqrt{G\zeta\bar{\zeta}} \sqrt{G\eta\eta}} - Fv = \frac{1}{\rho \sqrt{G\zeta\bar{\zeta}}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta \quad \dots(1.b)$$

a. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{1}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\partial [(d + \zeta)U \sqrt{G\eta\eta}]}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta} \partial \zeta} + \frac{1}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\partial [(d + \zeta)V \sqrt{G\zeta\zeta}]}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta} \partial \eta} = (d + \zeta)Q \quad \dots(1.c)$$

Dengan  $U$  dan  $V$  dirata-ratakan terhadap kedalaman:

$$U = \frac{1}{d + \zeta} \int_4^6 u dz = \int_{-1}^0 u d\sigma \quad \dots(1.d)$$

$$V = \frac{1}{d + \zeta} \int_4^6 v dz = \int_{-1}^0 v d\sigma \quad \dots(1.e)$$

Dimana  $Q$  menunjukan faktor per unit area:

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad \dots(1.f)$$

Keterangan:

$\sqrt{G\zeta\zeta}$  = koefisien transformasi kurvalimier menjadi koordinat persegi (m),

$\sqrt{G\eta\eta}$  = koefisien transformasi kurvalimier menjadi koordinat persegi (m),

$G$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>),

$M\zeta$  = sumber/keluaran momentum dalam arah X/ $\zeta$  (kg m/s),

$M\eta$  = sumber/keluaran momentum dalam arah Y/ $\eta$  (kg m/s),

$U$  = kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah X/ $\zeta$  (m/s),

$u$  = kecepatan aliran dalam tanah X/ $\zeta$  (m/s),

$V$  = kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah Y/ $\eta$  (m/s),

$\omega$  = frekuensi sudut pasang surut dan atau komponen Fourier,

$\zeta$  = elevasi muka air (m).

b. Persamaan transpor sedimen

$$|Sb| = 0.006\eta\rho_w d_{50}^1 M^{0.5} M^{0.7} \quad \dots(2.a)$$

Keterangan:

$Sb$  = Transport sedimen dasar (kg/m/s)

$\eta$  = Fraksi sedimen pada lapisan campuran (mixing layers)

$M$  = Pergerakan sedimen akibat gelombang dan arus

$M_c$  = Pergerakan kelebihan sedimen

$W_1$  = Kecepatan jatuh

dengan nilai yang di definisikan sebagai:

$$M = \frac{V_{eff}^2}{(s - 1)gd_{50}} \quad \dots(2.b)$$

$$M = \frac{(V_{eff} - V_{eff})^2}{(s - 1)gd_{50}} \quad \dots(2.c)$$

$$V_{eff} = \sqrt{V_R^2 + V_{50}^2} \quad \dots(2.d)$$

Keterangan:

- Uon = Kecepatan orbital (m/s);
- Veff = Kecepatan efektif yang disebabkan oleh gelombang dan arus;
- VR = Kecepatan yang dirata-ratakan terhadap kedalaman;
- S = Densitas relatif dari fraksi sedimen;
- G = Percepatan gravitasi

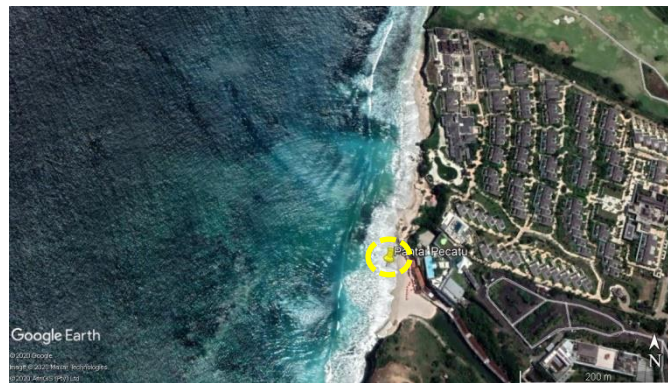
### 2.5.2 Delft3D-Wave

Delft3D-WAVE merupakan sistem dalam Delft3D yang mensimulasikan perambatan gelombang. Delft3D-WAVE dapat diterapkan dalam pemodelan gelombang di laut dalam, menengah, dan dangkal (Anonim, 2007).

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Pantai Pecatu, Desa Pecatu Kecamatan Kuta Selatan Badung Bali. Secara geografis Pantai Pecatu berada pada koordinat  $8^{\circ}47'54.96''S$  dan  $115^{\circ}7'2.64''T$  dapat dilihat pada **Gambar 2**.

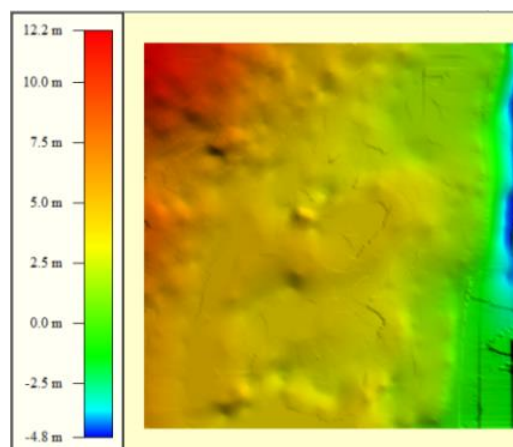


**Gambar 2. Lokasi Penelitian (Sumber : Google Earth Pro 2020)**

### 3.2. Data Penelitian

#### a. Data Batimetri

Data batimetri yang diperoleh dalam penelitian ini adalah bersumber dari hasil survey yang dilakukan oleh PT.ASR pada tahun 2011, kemudian dikombinasikan dengan gambar citra dari *google earth*. Batimetri yang digunakan sebagai input model seperti ditunjukkan pada **Gambar 3**.



**Gambar 3. Data Batimetri**

### b. Data Angin

Data angin yang diperoleh dalam penelitian ini bersumber dari *European Centre for Medium Weather Range Forecasts* (ECMWF). Data angin yang diperoleh merupakan kecepatan angin maksimum beserta arah angin per 6 jam pada ketinggian 10 m diatas permukaan yang terjadi pada rentang waktu tahun 2018.

### c. Data Pasang Surut

Data pasang surut yang diperoleh pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari *Delft Dashboard*. Sedangkan data pasang surut yang digunakan untuk validasi pemodelan diperoleh dari *website* Badan Informasi Geospasial (BIG).

### d. Data Tinggi Gelombang Signifikan

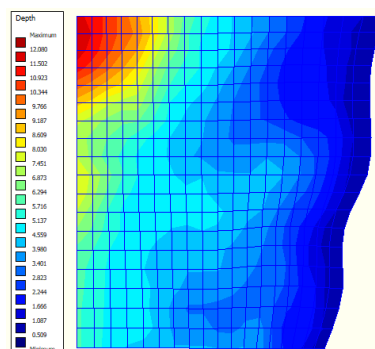
Gelombang yang terjadi di pantai pecatu telah dimodelkan oleh PT.ASR. Yaitu model gelombang hindcast yang diarsipkan dari model gelombang *Wave Watch 3* (WW3). Untuk mengukur statistik gelombang lepas pantai data gelombang yang digunakan dalam analisis mencakup periode dari Februari 1997 hingga Juli 2011. Rata-rata tinggi gelombang signifikan yaitu sebesar 1.84 m dengan periode waktu 12.8 detik dan arah dominan berasal dari barat daya. Data gelombang signifikan ini digunakan sebagai nilai awal pada pemodelan gelombang Delft3d *wave*.

### e. Data Sedimen

Pada pemodelan ini sedimen diasumsikan berasal hanya dari laut. Data sedimen diasumsikan sama dengan konsentrasi sedimen pada penelitian yang dilakukan oleh Rachman (2016) di Teluk Benoa Bali karena letaknya yang berada di Bali Selatan. Nilai konsentrasi sedimen yang digunakan untuk input pemodelan adalah sebesar  $3.36 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$ .

## 3.3 Model Setup

Pemodelan hidrodinamika dilakukan menggunakan *software* Delft3D. Pemodelan hidrodinamika, gelombang, dan transpor sedimen dilakukan dengan durasi selama satu tahun dengan interval waktu 60 menit. Model Delft3D-Flow dijalankan *coupling* dengan model Delft3D-Wave. Domain model menggunakan *curvilinear grid* seperti terlihat pada **Gambar 4**. Panjang *grid* pemodelan yaitu  $\pm 450$  meter dengan lebar  $\pm 415$  meter di bagian utara dan  $\pm 335$  meter sebelah selatan. Lebar setiap satu grid yaitu  $\pm 25$  meter.



**Gambar 4. Domain Model Dengan Curvilinear Grid**

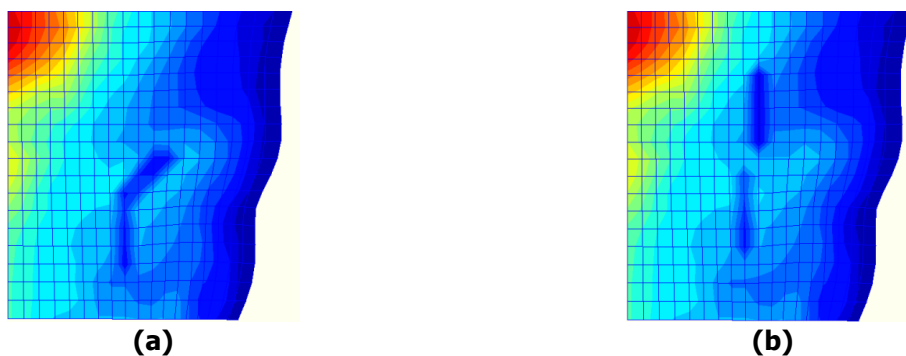
## 3.4 Perencanaan Alternatif Desain Layout Submerged Breakwater

Dua alternatif desain *Layout submerged breakwater* dibuat pada penelitian ini berdasarkan dari hasil pemodelan kondisi hidrodinamika dan transpor sedimen pada kondisi eksisting di Pantai Pecatu dengan menggunakan Delft3D. Selain itu, dalam menentukan alternatif desain *Layout* perlu diketahui lebar *surfzone*. Lebar *surfzone* didapatkan dari hasil pemodelan gelombang yaitu berdasarkan nilai *fraction breaking*, adalah rasio/perbandingan jumlah

gelombang pecah dengan jumlah gelombang. *Fraction breaking* dapat menunjukkan besarnya persentase jumlah gelombang yang pecah. Oleh karena itu, pada studi ini lebar *surfzone* diasumsikan oleh area dimana *fraction breakingnya*  $>0.1$  atau sebesar 10%, yaitu sepanjang 225 m dari garis pantai. Selanjutnya perencanaan dua alternatif desain *Layout submerged breakwater* dilakukan sebagai berikut:

1. Alternatif Desain *Layout* Satu : *Submerged breakwater* tunggal dengan panjang struktur ( $L_s$ ) 180 m, dan jarak struktur terhadap garis pantai ( $Y$ ) 200 m. Referensi  $L_s/Y < 1$  (CERC, 1984)
2. Alternatif Desain *Layout* Dua : *Submerged breakwater multiple* dengan panjang struktur ( $L_s$ ) 100 m, lebar celah antara *breakwater* ( $L_g$ ) 50 m, dan jarak struktur terhadap garis pantai ( $Y$ ) 200 m. Referensi  $L_s/Y < 2 L_g/L_s$  (Suh dan Dalrymple, 1987)

Tinggi *submerged breakwater* pada studi ini didesain setinggi 2 m dan berada 1 m dibawah permukaan air pada saat kondisi surut maksimum. Pada pemodelan untuk alternatif desain *Layout* satu dan dua, *breakwater* didefinisikan dengan memodifikasi batimetri pemodelan. Lebar *breakwater* tidak ditentukan pada pemodelan ini. Desain *Layout* satu dan dua dapat dilihat pada **Gambar 5 (a)** dan **(b)**.

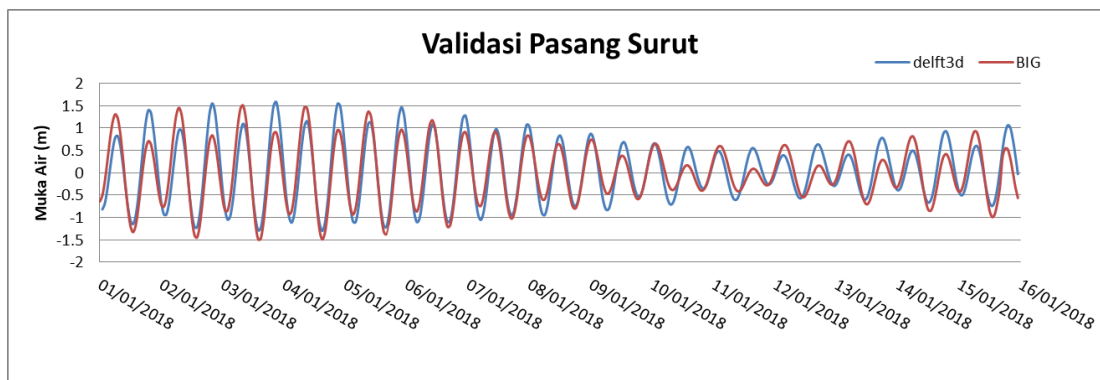


**Gambar 5. (a) Desain *Layout* Satu , (b) Desain *Layout* Dua**

## 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Validasi Hasil Pemodelan

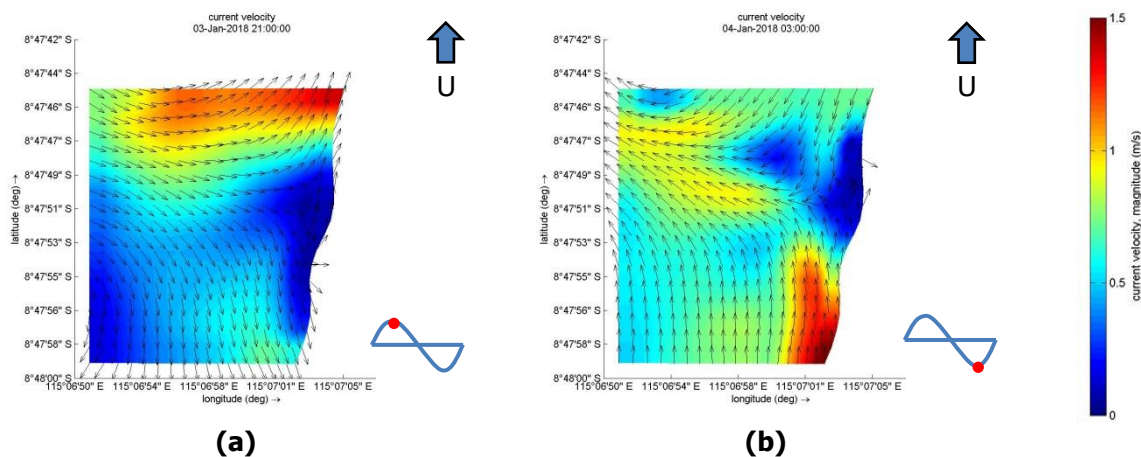
Elevasi muka air laut hasil dari simulasi pemodelan menggunakan software Delft3d kemudian divalidasi dengan data elevasi dari BIG (Badan Informasi Geospasial) selama 15 hari pada bulan Januari. Grafik validasi elevasi muka air laut dapat dilihat pada **Gambar 6**. Dapat terlihat grafik hasil pemodelan menggunakan Delft3d sudah hampir sama dengan data elevasi muka air laut dari BIG. Meskipun terdapat selisih  $\pm 50$  cm. Namun model sudah dapat dikatakan cukup baik.



**Gambar 6. Grafik Validasi Pasang Surut**

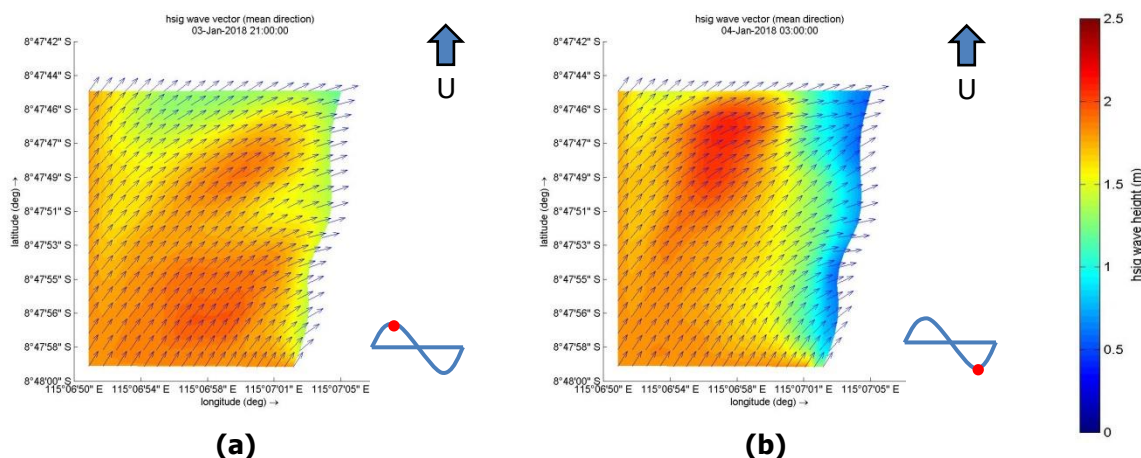
### 4.2 Hasil Pemodelan Hidrodinamika Kondisi Eksisting

Pemodelan hidrodinamika dilakukan untuk kondisi eksisting untuk mendapatkan kondisi arus pada lokasi studi. Kecepatan dan arah arus didapatkan dari hasil simulasi untuk kondisi menuju pasang, pasang, menuju surut, dan surut pada saat pasang purnama dan pasang perbani. Analisis dilakukan saat kondisi maksimum selama durasi simulasi yaitu pada bulan Januari. Pada kondisi eksisting kecepatan rata-rata arus selama bulan Januari sebesar 0.5810 m/s pada saat pasang dan 0.6814 m/s pada saat surut. Arus bergerak dari arah barat menuju ke arah timur lalu menyebar menuju ke arah utara dan selatan pada saat pasang dan saat surut arus yang menyebar ke arah utara dan selatan mengalir kembali ke arah laut. Hasil simulasi kecepatan arus untuk kondisi eksisting dapat dilihat pada **Gambar 7**.



**Gambar 7. Kecepatan Arus Eksisting: (a) Kondisi Saat Pasang , (b) Kondisi Saat Surut**

Seperti terlihat pada **Gambar 7**, kecepatan arus saat pasang di bagian selatan sangat rendah di area pantai dan bergerak sejajar pantai menuju selatan, sedangkan saat surut arus sejajar pantai dengan kecepatan >1,5 m/s bergerak ke arah utara. Sementara itu, di bagian utara pantai besarnya kecepatan arus saat surut yang bergerak sejajar pantai menuju selatan lebih rendah dibandingkan saat pasang yang bergerak menuju utara. Hal inilah yang menjadi penyebab mengapa data observasi yang dilakukan pada tahun 2011 menunjukkan erosi mayor terjadi dibagian selatan, sedangkan di bagian utara hanya terjadi erosi minor.



**Gambar 8. Tinggi Gelombang Kondisi Eksisting: (a) Kondisi Pasang , (b) Kondisi Surut**

Selain kondisi arus laut, pada studi ini juga dilakukan pemodelan gelombang yang dapat menunjukkan karakteristik gelombang di area studi. Tinggi dan arah gelombang didapatkan dari hasil simulasi untuk kondisi menuju pasang, pasang, menuju surut, dan surut pada saat



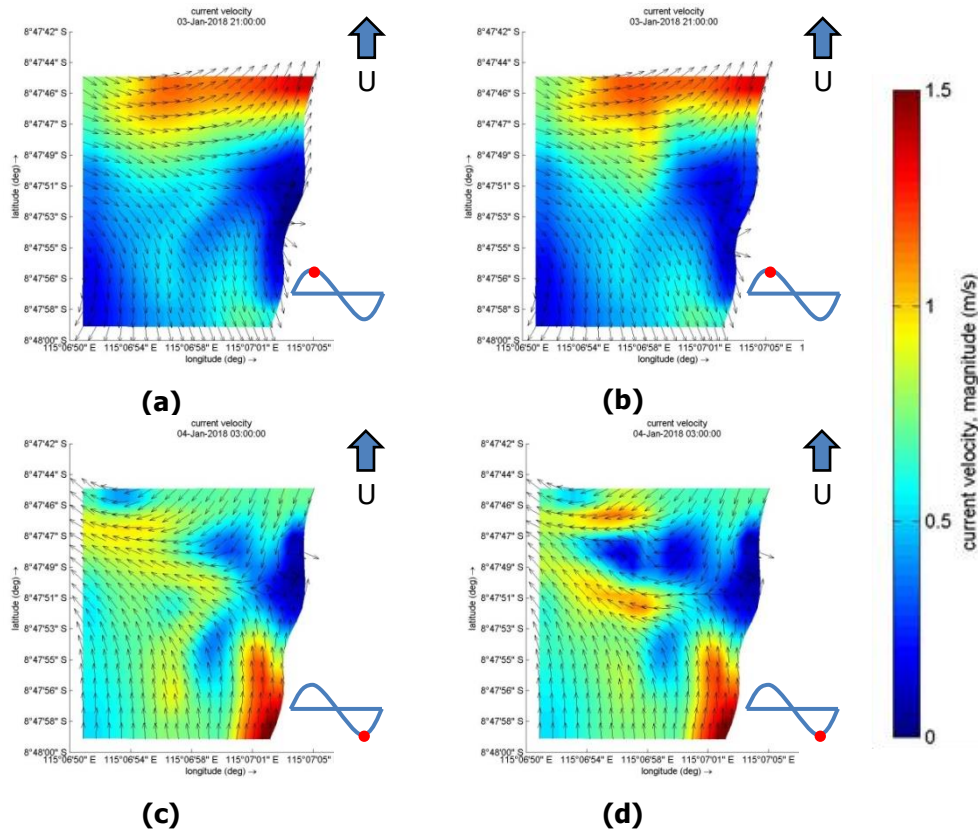
pasang purnama dan pasang perbani. Hasil simulasi pemodelan gelombang pada kondisi eksisting yang ditinjau yaitu pada bulan Januari, dapat dilihat pada **Gambar 8**. Ketinggian gelombang rata-rata pada saat pasang sebesar 1.75 m dan 1.45 m pada saat surut. Arah datang gelombang berasal dari arah barat daya.

### 4.3 Hasil Pemodelan Hidrodinamika Desain *Layout* Satu dan Dua

#### a. Pemodelan Hidrodinamika

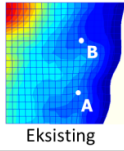
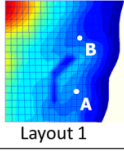
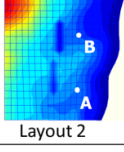
Analisis dilakukan saat kondisi pasang maksimum selama durasi simulasi yaitu pada bulan Januari. **Gambar 9 (a)** dan **(c)** adalah kecepatan dan arah arus untuk desain *Layout* satu dan **Gambar 9 (b)** dan **(d)** untuk desain *Layout* dua. Terlihat pada gambar adanya sedikit perubahan pola arus pada kedua desain dibandingkan dengan kondisi eksisting terutama di area dekat breakwater. Pada saat surut, baik pada desain *Layout* satu maupun dua, kecepatan arus di belakang breakwater cenderung berkurang. Namun, pada desain *Layout* 2 terjadi kenaikan kecepatan arus diantara celah *breakwater*.

Perbandingan kecepatan arus ditinjau pada dua buah titik, yaitu A dan B yang berada di belakang breakwater, dengan titik A berada di bagian selatan pantai dan titik B berada dibagian utara pantai. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**. Kecepatan arus rata-rata dititik A dan B pada *Layout* satu sebesar 0,44 m/s. Pada *Layout* dua, kecepatan arus rata-rata di titik A sebesar 0,45 m/s sedangkan di titik B sebesar 0,34 m/s. Meskipun kecepatan dan arah arus tidak berubah secara signifikan pada desain *Layout* satu dan *Layout* dua dibandingkan saat kondisi eksisting namun kecepatan arus yang berkurang di sekitar breakwater dapat menyebabkan sedimen terendapkan di area tersebut, sehingga nantinya dapat membuat garis pantai kembali ke posisi semula atau bahkan dapat memperlebar garis pantai.



**Gambar 9.** Kecepatan Arus (a) *Layout* Satu kondisi pasang, (b) *Layout* Dua kondisi pasang, (c) *Layout* Satu kondisi surut, (d) *Layout* Dua kondisi surut.

**Tabel 1. Perbandingan Kecepatan Arus Pada kondisi Eksisting, Desain *Layout* Satu dan *Layout* Dua.**

Skenario Model	Kondisi Pasut	Kecepatan Arus di Titik A (m/s)	Kecepatan Arus di Titik B (m/s)
 Eksisting	Menuju pasang	0.14	0.52
	Pasang	0.51	0.65
	Menuju surut	0.49	0.16
	Surut	0.79	0.25
 Layout 1	Menuju pasang	0.12	0.57
	Pasang	0.50	0.64
	Menuju surut	0.46	0.21
	Surut	0.68	0.32
 Layout 2	Menuju pasang	0.15	0.48
	Pasang	0.49	0.55
	Menuju surut	0.46	0.08
	Surut	0.70	0.24

### b. Pemodelan Gelombang

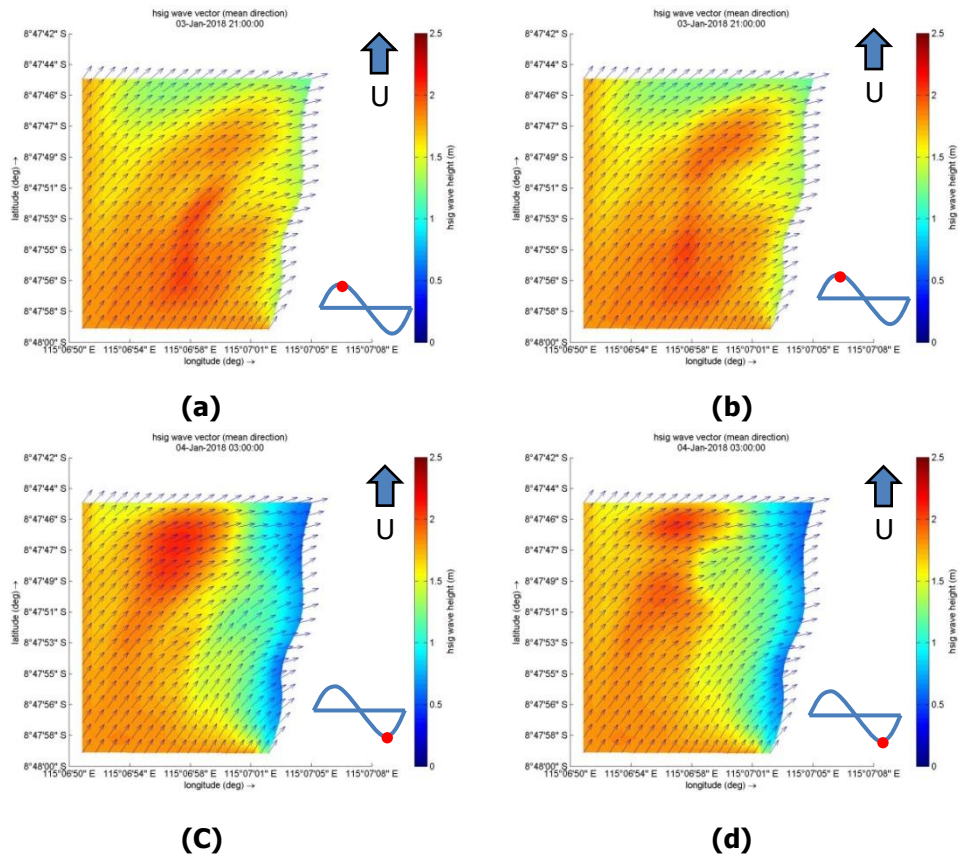
Pemodelan gelombang juga dilakukan untuk kondisi desain *Layout* satu dan *Layout* dua dengan durasi simulasi selama 1 tahun. Hasil simulasi tinggi gelombang dapat dilihat pada **Gambar 10 (a)** dan **(c)** untuk desain *Layout* satu dan **Gambar 10 (b)** dan **(d)** untuk desain *Layout* dua. Pada hasil pemodelan gelombang *Layout* satu setelah ada *breakwater* gelombang terlihat lebih kecil dibagian belakang *breakwater*. Tinggi gelombang sebelum menyentuh *breakwater* rata-rata berkisar 1.75 m, setelah gelombang tereduksi oleh *breakwater* tinggi gelombang rata-rata berkisar 1.65 m pada saat kondisi pasang. Pada hasil pemodelan gelombang *Layout* dua tinggi gelombang tidak jauh berbeda dengan *Layout* satu. Tinggi gelombang sebelum menyentuh *breakwater* rata-rata sebesar 1.75 m, setelah gelombang tereduksi oleh *breakwater* tinggi gelombang rata-rata berkisar 1.6 m pada saat kondisi pasang.

Perbandingan nilai tinggi gelombang pada kondisi eksisting, layput satu dan *Layout* dua dapat dilihat pada **Tabel 2**. Tinggi gelombang rata-rata di titik A pada kondisi eksisting sebesar 1,66 m dan di titik B sebesar 1,7 m. Pada desain *Layout* satu, di titik A tinggi gelombang rata-rata 1,58 m dan di titik B sebesar 1,61 m. Sedangkan, pada desain *Layout* dua, di titik A tinggi gelombang rata-rata 1,6 m dan di titik B sebesar 1,63 m. Perubahan tinggi gelombang yang terjadi pada desain *Layout* satu dan *Layout* dua tidak terlalu signifikan.

### c. Pemodelan Sedimentasi

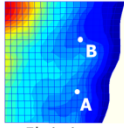
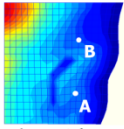
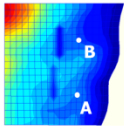
Pemodelan transpor sedimen pada desain *Layout* satu dan desain *Layout* dua dilakukan pada studi ini dengan durasi pemodelan selama 1 tahun untuk mengetahui nilai kumulatif erosi/sedimentasi yang terjadi di area studi. Nilai negatif (-) pada kumulatif erosi/sedimentasi menunjukkan terjadinya erosi, sedangkan nilai positif (+) menunjukkan terjadinya sedimentasi. Karena kurangnya data sedimen pada penelitian ini, konsentrasi sedimen diasumsikan sama dengan konsentrasi sedimen di Teluk Benoa yang juga berada di Selatan Bali. Hal ini yang menyebabkan hasil pemodelan untuk erosi/sedimentasi menjadi kurang akurat. Hasil simulasi transpor sedimen pada desain *Layout* satu dan dua dapat dilihat pada **Gambar 11 (a)** dan **(b)**. Dari hasil simulasi selama satu tahun dengan input konsentrasi sedimen sebesar  $3.36 \times 10^{-6} \text{ kg /m}^3$ , terlihat baik di bagian utara maupun selatan pantai masih mengalami erosi.

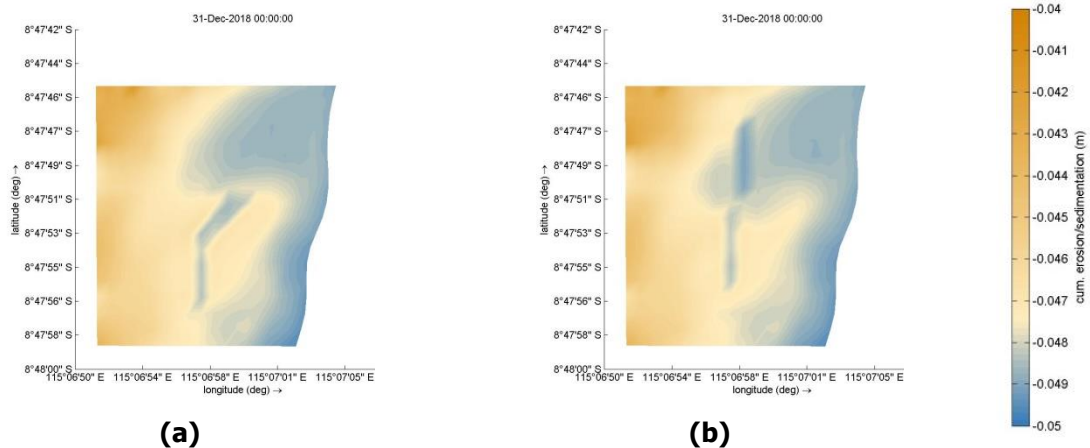
Alternatif Desain *Layout Artificial Reefs Submerged Breakwater* Untuk Pengendalian Erosi di Pantai Pecatu, Bali Selatan



Gambar 10. Tinggi Gelombang (lanjutan) (c) *Layout Satu* kondisi surut, (d) *Layout Dua* kondisi surut.

Tabel 2. Perbandingan Tinggi Gelombang Pada kondisi Eksisting, Desain *Layout Satu* dan *Layout Dua*.

Skenario Model	Kondisi Pasut	Tinggi Gelombang di Titik A (m)	Tinggi Gelombang di Titik B (m)
 Eksisting	Menuju pasang	1.74	1.8
	Pasang	1.88	1.86
	Menuju surut	1.56	1.65
	Surut	1.45	1.47
 Layout 1	Menuju pasang	1.68	1.73
	Pasang	1.84	1.8
	Menuju surut	1.4	1.5
	Surut	1.38	1.4
 Layout 2	Menuju pasang	1.7	1.74
	Pasang	1.8	1.88
	Menuju surut	1.5	1.53
	Surut	1.4	1.37



**Gambar 11. Erosi Sedimentasi Selama Satu Tahun: (a) *Layout Satu*, (b) *Layout Dua***

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan hidrodinamika, sedimentasi, dan gelombang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Erosi mayor yang terjadi di bagian selatan Pantai Pecatu disebabkan oleh arus yang bergerak sejajar pantai, dimana kecepatan saat surut yang mencapai >1,5 m/s lebih besar dibandingkan kecepatan saat pasang yang hanya sekitar 0,5 m/s.
2. Alternatif desain *Layout 1* dan desain *Layout 2* mampu meredam tinggi gelombang dari laut dalam dan mereduksi kecepatan arus di belakang breakwater. Namun desain *Layout 2* lebih baik dalam mereduksi kecepatan arus dan tinggi gelombang di belakang breakwater baik pada pantai bagian utara maupun pantai bagian selatan.
3. Pemodelan transpor sedimen perlu dilakukan untuk waktu simulasi pemodelan yang lebih panjang dan menggunakan data pengukuran di lapangan yang sesuai.

## Daftar Rujukan

- Anonim. (2007). *User Manual Delft3D-WAVE: Simulation of short-crested waves with SWAN, Delft*, Deltares.
- ASR, PT. *Pengumpulan Data Lapangan dan Pemodelan Numerik Hidrodinamika, Stabilisasi, Pantai New Kuta Beach*. Laporan intern perusahaan, tidak dipublikasikan. Jakarta: PT.ASR.
- CERC. (1984). *Shore Protection Manual*. Washington: U.S. Army Corps of Engineer.
- Harris, L.E. (2006). *Artificial Reefs for Ecosystem Restoration and Coastal Erosion Protection with Aquaculture and Recreational Amenities*, The 5<sup>th</sup> Artificial Surf Reef Conference, Lombok, Indonesia.
- Nontji, A. (1993). *Laut Nusantara*, Jakarta: Djambatan.
- Rachman, H., Hendrawan, I., & Putra, I. (2016). STUDI TRANSPOR SEDIMEN DI TELUK BENOA MENGGUNAKAN PEMODELAN NUMERIK. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(2), 144-154.
- Suh, Kyung-Duck & Dalrymple, Robert. (1987). Offshore Breakwaters in Laboratory and Field. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering-ASCE - J WATERW PORT COAST OC-ASCE*. 113. 10.1061/(ASCE)0733-950X(1987)113:2(105).
- Sulaiman, D.M. (2012), *Rehabilitasi Pantai Dengan Pagar Geotube dan Geobag*, Workshop Penunjang Pembangunan Infrastruktur Pantai, Puslitbang SDA, Bandung.
- Triadmodjo, B. (1999), "*Teknik Pantai*", Beta Offset, Yogyakarta.