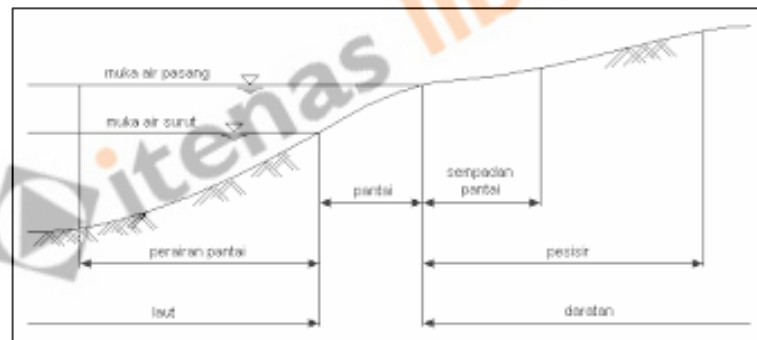


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pantai

Pantai merupakan wilayah perbatasan antara daratan dengan lautan.. Menurut Triatmodjo, 1999 ada dua istilah tentang kepantaian yaitu pesisir (*coast*) dan pantai (*shore*). Pesisir merupakan daerah di tepi laut yang masih dipengaruhi oleh pasang surut laut, angin laut, dan perembesan air laut. sedangkan pantai merupakan daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan terendah. Garis pantai adalah garis batas antara daratan dan air laut, dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi (Triatmodjo, 1999). Definisi dan batasan pantai dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Definisi dan batasan pantai

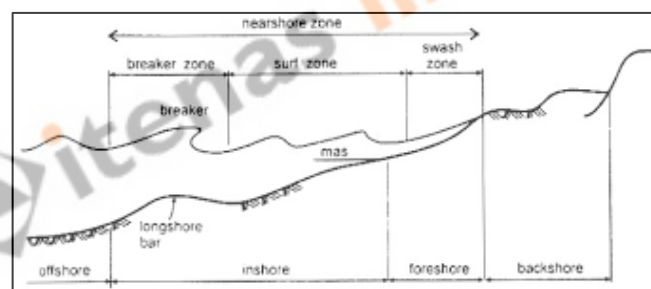
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Wilayah pantai adalah daerah yang sangat intensif dimanfaatkan untuk kegiatan manusia. Adanya kegiatan tersebut dapat meningkatkan kebutuhan akan lahan, prasarana dan sebagainya, yang selanjutnya akan menimbulkan masalah-masalah baru seperti erosi (Triatmodjo, 1999). Erosi sendiri adalah proses terkikisnya material pantai yang diakibatkan oleh pergerakan gelombang, arus dan pasang surut air laut. proses erosi tersebut terjadi karena material hasil kikisan tersebut terangkut ke tempat lain oleh arus.

2.2 Gelombang

Gelombang yang banyak dijumpai di laut adalah gelombang yang dibentuk oleh angin. Energi yang dihasilkan oleh gelombang dapat membentuk pantai, menimbulkan arus dan transport sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai (Triatmodjo, 1999).

Gelombang bergerak dari laut dalam dan akan mengalami perubahan bentuk karena perubahan kedalaman laut. Seiring dengan perubahan kedalaman laut, panjang gelombang akan berkurang dan tinggi gelombang akan meningkat. Pada saat tinggi gelombang mencapai ketinggian maksimum gelombang akan pecah. Karakteristik gelombang pecah akan berbeda dengan gelombang sebelum pecah. garis gelombang pecah merupakan batas perilaku gelombang dan transpor sedimen (Triatmodjo, 1999). Daerah dari garis gelombang pecah dibagi menjadi tiga daerah yaitu *offshore*, *inshore*, dan *backshore* seperti pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Karakteristik gelombang di daerah pantai
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Perbatasan antara *inshore* dan *foreshore* merupakan batas antara air laut pada saat muka air terendah dan permukaan pantai. Pada saat gelombang pecah di daerah *inshore* dapat menyebabkan *longshore bar* yaitu gunduk pasir yang memanjang dan sejajar dengan garis pantai. *Foreshore* adalah daerah yang terbentang dari garis pantai pada saat muka air rendah sampai batas atas naik turunnya gelombang pada permukaan pantai pada saat pasang tinggi. Sedangkan daerah dari garis gelombang pecah yang terbentang ke arah pantai dibedakan menjadi tiga bagian yaitu *breaker zone*, *surf zone*, dan *swash zone* (Triatmodjo, 1999)..

Parameter yang menjelaskan karakteristik gelombang adalah tinggi, panjang gelombang, dan kedalaman laut dimana gelombang tersebut merambat. Menurut Triatmodjo, (1999) gelombang dapat di klasifikasikan menurut kedalam relatif (d/L) seperti terlihat pada **Tabel 2.1**.

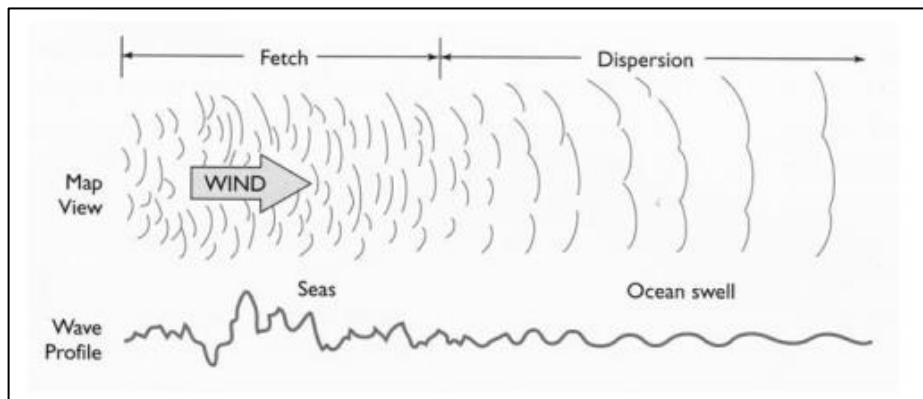
Tabel 2.1 Klasifikasi gelombang berdasarkan kedalaman relatif
(Sumber: Triatmodjo,1999)

Klasifikasi	d/L
Perairan dalam (<i>deep water wave</i>)	$>1/2$
Perairan peralihan (<i>transition</i>)	$1/20-1/2$
Perairan dangkal (<i>shallow water wave</i>)	$<1/20$

Dimana d adalah kedalaman gelombang (m), dan L adalah panjang gelombang (m). Parameter lain yang cukup penting untuk klasifikasi gelombang adalah sudut datang gelombang (α), yaitu sudut antara arah datang gelombang dengan garis tegak lurus kontur.

2.3 Angin

Angin adalah salah satu faktor yang membangkitkan gelombang, angin yang berhembus di atas permukaan air laut akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya gelombang, kecepatan angin yang tinggi dapat menyebabkan permukaan air yang mulanya tenang kemudian terganggu dan timbul riak gelombang di atas permukaan air. Riak tersebut akan semakin besar dan apabila angin terus berhembus akan terbentuk gelombang. Seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.3**.



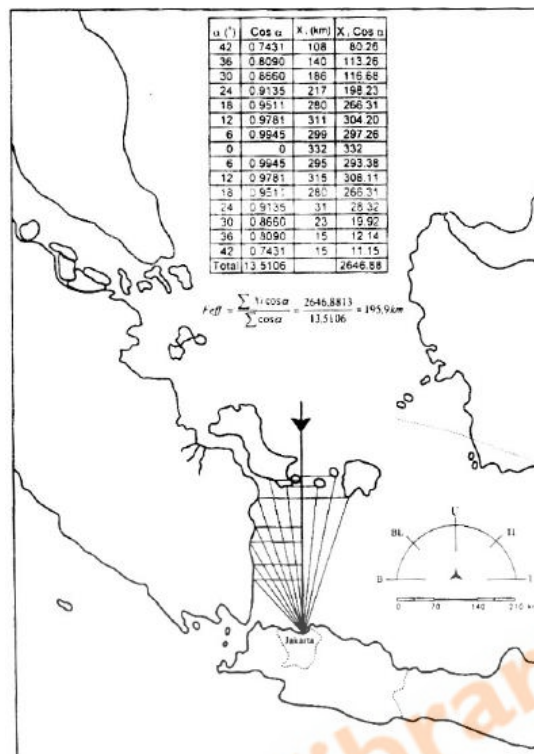
Gambar 2.3 Proses pembentukan gelombang oleh angin
(Sumber: Thompson, 1981)

Tinggi dan periode gelombang sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin (U), lama hembus angin (D), arah angin dan *fetch* (F). Fetch adalah daerah pembangkit gelombang yang dibatasi oleh daratan seperti terlihat pada **Gambar 2.4**. Arah angin dapat dikatakan konstan jika perubahannya tidak lebih dari 15° . Sedangkan kecepatan angin dikatakan konstan jika kecepatannya kurang dari lima knot.

Gelombang yang dibangkitkan di lautan tidak hanya terjadi dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Peristiwa ini terjadi pada daerah pembentukan gelombang *fetch* rerata efektif oleh persamaan berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (2.1)$$

Keterangan : F_{eff} : *Fetch* rerata efektif.
 Xi : Panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*
 α : Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan sudut 6° sampai 42° pada kedua sisi dari arah angin.



Gambar 2.4 Penentuan Panjang Fetch Efektif
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

2.4 Pasang surut

Pasang surut adalah kondisi naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang disebabkan oleh gaya gravitasi bulan dan matahari. Pasang surut laut yang terjadi menyebabkan perubahan kedalaman perairan sehingga mengakibatkan arus pasang. Bentuk garis pantai dan topografi dasar perairan juga mempengaruhi pasang surut yang terjadi.

Pasang surut air laut merupakan faktor yang penting untuk merencanakan suatu bangunan pantai. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting dalam merencanakan bangunan pantai. Jarak arah vertikal dari air tertinggi ke air terendah merupakan tinggi pasang surut. Pasang surut dapat diklasifikasikan berdasarkan periode waktu terjadinya pasang surut yaitu selama 12 jam atau 24 jam. Secara umum pasang surut dibedakan menjadi tiga tipe yaitu:

1. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tides*)
adalah pasang surut yang terjadi di suatu perairan yang mengalami satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari.

2. Pasang surut harian ganda (*semidiurnal tides*)
adalah pasang surut yang terjadi disuatu perairan yang mengalami dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari.
3. Pasang surut campuran
adalah pasang surut peralihan antara tipe tunggal dan ganda. Tipe pasang ini digolongkan menjadi dua bagian yaitu tipe campuran dominasi ganda dan tipe campuran dominasi tunggal.

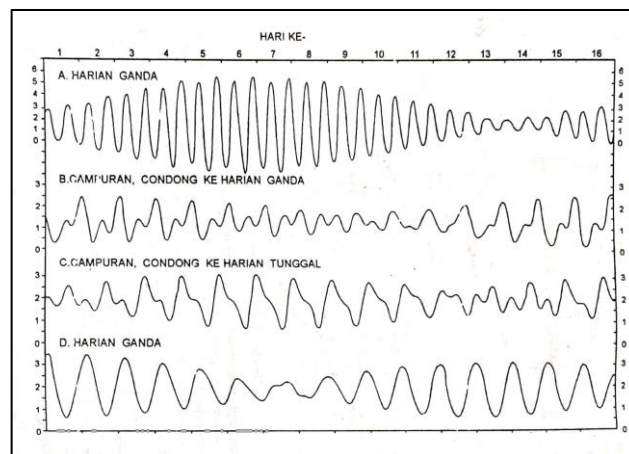
Tipe pasang surut dapat diketahui berdasarkan bilangan *Formzhal*. Untuk menentukan bilangan *Formzhal* digunakan rumus sebagai berikut:

$$F = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AS_2} \quad (2.2)$$

Dengan K_1 , O_1 , M_2 , dan S_2 adalah komponen-komponen pasang surut, dimana hasil dari nilai F dapat menentukan tipe pasang surutnya, dengan klasifikasi sebagai berikut:

- 1) $0 < F \leq 0,25$: Pasang surut harian ganda (*semidiurnal*)
- 2) $0,25 < F \leq 1,50$: Pasang surut campuran condong ke harian ganda
- 3) $1,50 < F < 3,00$: Pasang surut campuran condong ke harian tunggal
- 4) $F < 3,0$: Pasang surut harian tunggal (*diurnal*)

Tipe pasang surut juga dapat dibedakan berdasarkan grafiknya (Triatmodjo, 1999) seperti terlihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Tipe-tipe pasang surut
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Dikarenakan elevasi muka air laut yang selalu berubah-ubah, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasarkan data pasang surut, yang digunakan sebagai pedoman dalam perencanaan bangunan pantai. Beberapa elevasi tersebut yaitu sebagai berikut:

MSL	: Muka air laut rerata (<i>mean sea level</i>)
MHWL	: Muka air tinggi rerata (<i>mean high water level</i>)
DL	: Datum level
HHWL	: Muka air tinggi tertinggi (<i>highest high water level</i>)
MLWL	: Muka air rendah rerata (<i>mean low water level</i>)
LLWL	: Air rendah terendah (<i>lowest low water level</i>)
HWL	: Muka air tinggi (<i>high water level</i>)
LWL	: Muka air rendah (<i>low water level</i>)

2.5 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 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 sejajar garis pantai inilah yang menyebabkan erosi karena membawa material sedimen ke tempat lain.

2.6 Bangunan Pengaman Pantai

Secara alamiah pantai sudah memiliki mekanisme perlindungannya sendiri, yaitu berupa kemiringan pantai dan bukit-bukit pasir yang terdapat di sepanjang pantai (CERC, 1984). Selain itu terumbu karang secara tidak langsung berfungsi sebagai peredam atau pemecah gelombang. Selain itu juga hamparan pasir dapat berfungsi sebagai penghancur energi gelombang yang cukup efektif, serta bukit-bukit pasir yang berada di pantai dapat berfungsi sebagai tembok laut.

Bangunan pengaman pantai merupakan bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah pantai terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh serangan gelombang dan arus. Ada beberapa cara untuk melindungi pantai dari kerusakan, yaitu:

1. Mengubah laju angkutan sedimen sejajar pantai
2. Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai
3. Memperkuat tebing pantai agar mampu menahan gelombang
4. Melakukan penghijauan daerah pantai

Ada beberapa macam bangunan pengaman pantai yaitu, *groyne*, *jetty*, *revetment*, dan *breakwater*. Dari fungsi yang sesuai dengan cara di atas maka cara yang tepat salah satunya adalah dengan adanya bangunan pengaman pantai yang terdapat di lepas pantai atau sejajar dengan garis pantai. Bangunan pengaman pantai tersebut berupa pemecah gelombang (*breakwater*). *Breakwater* dibedakan menjadi dua macam yaitu:

- a. Pemecah gelombang lepas pantai

Bangunan ini dibuat sejajar dengan garis pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Bangunan ini dibuat untuk melindungi pantai dari gelombang tinggi yang mengakibatkan erosi. Pemecah gelombang lepas pantai dapat meredam atau memecah energi gelombang sehingga perairan di belakang bangunan menjadi lebih tenang dan terjadi sedimentasi di daerah tersebut.

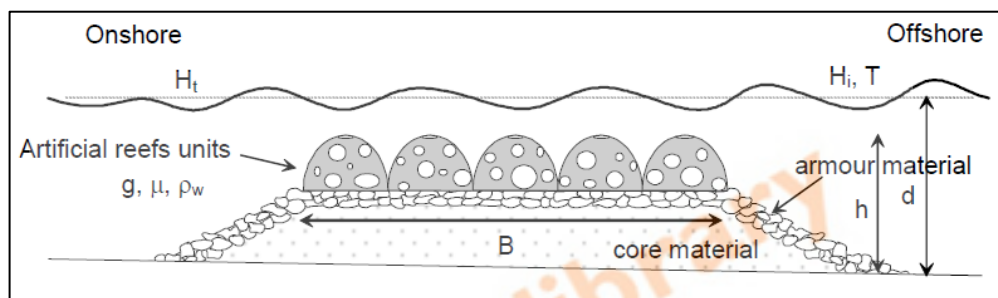
- b. Pemecah gelombang sambung pantai

Bangunan ini direncanakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gelombang, sehingga kapal-kapal dapat merapat ke dermaga.

2.7 *Submerged Breakwater*

Pada umumnya struktur pemecah gelombang dibangun dengan puncak di atas permukaan air laut agar mendapatkan efek peredaman gelombang yang maksimal. Namun ada juga struktur yang dibuat dengan puncak yang tetap berada di bawah permukaan air laut agar tidak terlihat baik saat muka air pasang atau surut, struktur pemecah gelombang dengan puncak tetap di bawah permukaan air

laut disebut dengan struktur Pemecah Gelombang Ambang Rendah atau disingkat Pegar (Sulaiman, 2012). *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, sehingga gaya yang menimpa lereng sisi luar menjadi rendah karena sebagian energi gelombang melimpasi struktur (Sulaiman, 2012). Profil *submerged breakwater* dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Profil struktur *Submerged Breakwater*
(Sumber: USACE, 2000)

Submerged Breakwater disebut juga sebagai pemecah gelombang karang laut (*reef breakwater*) karena memiliki kemiripan karakteristik dengan terumbu karang yang berada di perairan pantai. *Submerged Breakwater* dapat menggunakan berbagai macam bahan dan bentuk selain timbunan batu alam, bahan *Reef Ball* memiliki kelebihan dari sisi lingkungan, yaitu menjadi tempat hidup terumbu karang dan biota laut lainnya (Harris, 2006). Jenis *reef balls* dan ukurannya dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Reef Ball Unit Sizes

(Sumber: Harris, 2006)

<i>Style</i>	<i>Width</i>	<i>Height</i>	<i>Weight</i>	<i>Concrete Volume</i>	<i># Holes</i>
Goliath Ball	6 feet (1.83m)	5 feet (1.52m)	4,000-6,000 lbs (1800-2700 kg)	1.3 yard (1.0 m ³)	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 ³)	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 ³)	22-34
Reef Ball	6 feet (1.83m)	3.8 feet (1.22m)	3000-4200 lbs (1350-1900 kg)	0.75 yard (0.6m ³)	22-34
Pallet Ball	4 feet (1.22m)	2.9 feet (0.9m)	1500-2200 lbs (700-1000 kg)	0.33 yard (0.25m ³)	17-24
Bay Ball	3 feet (0.9m)	2 feet (0.61m)	375-750 lbs (170-340 kg)	0.10 yard (0.08m ³)	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

Submerged Breakwater dapat memberikan stabilisasi garis pantai dengan meniru fungsi terumbu karang alami. *Submerged Breakwater* dapat dibangun menggunakan terumbu karang buatan di air dangkal untuk mengurangi energi gelombang yang mencapai pantai. Selain itu juga dapat menyediakan manfaat bagi lingkungan dan rekreasi wisata yang terkait dengan terumbu karang buatan. Manfaat ini yaitu mitigasi kerusakan, habitat biota laut, dan manfaat rekreasi lainnya seperti berenang, menyelam, memancing, dan berselancar.

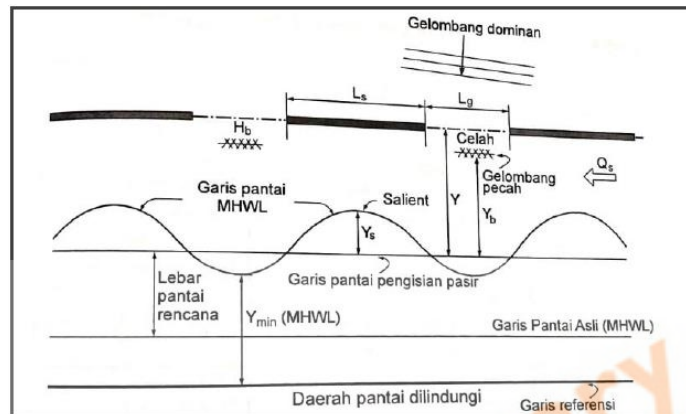
Dua mekanisme dimana *submerged breakwater* dapat membantu menstabilkan garis pantai :

- 1) Peredaman energi gelombang
- 2) Refraksi gelombang

2.7.1 Perencanaan Pemecah Gelombang Lepas Pantai

Penentuan panjang *submerged breakwater* didasarkan pada tujuan pembentukan garis pantai yang diinginkan yaitu tombolo atau salient. Tombolo yaitu sedimentasi yang terbentuk di belakang *breakwater* dengan jarak yang dekat

dengan garis pantai. Tombolo terjadi apabila jarak antara pemecah gelombang dengan garis pantai lebih kecil dibandingkan panjang *breakwater*. Salient yaitu sedimentasi yang terbentuk pada garis pantai. Adapun parameter pemecah gelombang ditunjukkan pada **Gambar 2.7** di bawah ini.



Gambar 2.7 Parameter pemecah gelombang lepas pantai
(Sumber : Triatmodjo, 1999)

Beberapa parameter yang digunakan dalam perencanaan pemecah gelombang lepas pantai adalah :

- L_g : Lebar celah antara pemecah gelombang
- Y : Jarak pemecah gelombang dari garis pantai
- ds : Kedalaman rerata di lokasi pemecah gelombang
- L_s : Panjang pemecah gelombang

Penelitian yang dilakukan oleh banyak peneliti memberikan hubungan bilangan tak berdimensi L_s/Y terhadap tanggapan pantai. Ada tiga jenis tanggapan garis pantai terhadap struktur seperti pada **Tabel 2.3.** , yaitu :

- 1) Kondisi untuk pembentukan tombolo,
- 2) Kondisi untuk pembentukan salient,
- 3) Kondisi untuk tanggapan minimal garis pantai.

Tabel 2.3 Kondisi Tanggapan Garis Pantai Di Belakang Pemecah Gelombang Terputus

Sumber : Chastan et al. (1993) dalam Triatmodjo (1999)

Kondisi	Keterangan	Referensi
Kondisi Untuk Pembentukan Tombolo		
$L_s/Y > 2.0$		SPM (1984)
$L_s/Y > 2.0$	Tombolo ganda	Gowlay (1981)
$L_s/Y > 0.67 - 1.0$	Tombolo (perairan dangkal)	Gowlay (1981)
$L_s/Y > 2.5$	Tombolo periodik	Ahrens dan Cox (1990)
$L_s/Y > 1.5 - 2.0$	Tombolo	Dally dan Pope (1986)
$L_s/Y > 1.5$	Tombolo (<i>multiple breawater</i>)	Dally dan Pope (1986)
$L_s/Y > 1$	Tombolo (<i>single breawater</i>)	Suh dan Dalrymple (1987)
$L_s/Y > 2L_g/L_s$	Tombolo (<i>multiple breawater</i>)	Suh dan Dalrymple (1987)
Kondisi untuk pembentukan salient		
$L_s/Y < 1.0$	Tanpa Tombolo	SPM (1984)
$L_s/Y < 0.4 - 0.5$	Salient	Gowlay (1981)
$L_s/Y = 0.5 - 0.67$	Salient	Dally dan Pope (1986)
$L_s/Y < 1.0$	Tanpa Tombolo (<i>single breawater</i>)	Suh dan Dalrymple (1987)
$L_s/Y < 2L_g/L_s$	Tanpa Tombolo (<i>multiple breawater</i>)	Suh dan Dalrymple (1987)
$L_s/Y < 1.5$	<i>Well – developed Salient</i>	Ahrens dan Cox (1990)
$L_s/Y < 0.8 - 1.5$	Salient sedang (<i>subdued salient</i>)	Ahrens dan Cox (1990)
Kondisi untuk Tanggapan Minimal Garis Pantai		
$L_s/Y \leq 0.17 - 0.33$	Tanpa Respons	Inman dan Frautchy (1978)
$L_s/Y \leq 0.27$	Tanpa Kelengkungan	Ahrens dan Cox (1990)
$L_s/Y \leq 0.5$	Tanpa Desposisi	Nir (1982)
$L_s/Y \leq 0.125$	<i>Uniform Protection</i>	Dally dan Pope (1986)
$L_s/Y \leq 0.17$	Dampak Minimal	Noble (1978)

2.8 Pemodelan Numerik Delft3D

Sedimen sejajar garis pantai dan tegak lurus pantai disebabkan oleh pergerakan gelombang dan arus di laut. Pergerakan sedimen ini menyebabkan perubahan garis pantai. Perubahan garis pantai tersebut terjadi karena adanya erosi ataupun sedimentasi.

Delft3D adalah salah satu perangkat lunak yang dapat mensimulasikan gelombang, arus, transpor sedimen, kualitas air, serta perubahan morfologi dan ekologi pantai ke dalam bentuk komputasi. Delft3D biasa digunakan untuk simulasi daerah pantai, muara, sungai, dan danau (Anonim, 2007).

Delft3D terdiri dari beberapa sistem dan fungsi yaitu:

- Delft3D-FLOW : pasang surut, simulasi tsunami, aliran sungai dan banjir
- Delft3D-WAVE : perambatan gelombang

- Delft3d-WAQ : kualitas air pada daerah *far-field*
- Delft3D-ECO : pemodelan ekologi
- Delft3D-SED : pengangkutan sedimen untuk partikel kohesif dan non kohesif
- Delft3D-PART : kualitas air dan gerakan partikel pada daerah *Midfield*

2.8.1 Delft3D Flow

Delft3D mempunyai modul utama yaitu *FLOW-modul* yang berfungsi untuk menghitung kondisi hidrodinamika pantai. Delft3D-Flow adalah sistem pada bagian Delft3D yang digunakan untuk menghitung SWE (*Shallow Water Equation*) atau persamaan pada kondisi air dangkal dalam variabel kecepatan dan tinggi ke dalam bentuk dua atau tiga dimensi pada sebuah grid atau garis bantu (Arizal, 2011).

Simulasi Delft3D ini menggunakan grid atau garis bantu. Grid adalah garis bantu koordinat arah vertikal dan horizontal untuk menentukan luas daerah yang disimulasi atau untuk mengatur batas daerah yang disimulasikan. Grid terdiri dari dua sistem *coordinate cartesian* berbentuk persegi, bersifat kaku dan hanya mempunyai parameter arah saja, yaitu arah vertikal (η) dan arah horizontal (ξ). Sedangkan sistem *coordinate spherical* mengikuti garis kontur permukaan bumi. *Coordinate spherical* memiliki dua parameter yaitu arah dan tinggi, dengan latitude (θ) bernilai positif ke arah utara dan longitude (φ) yang bernilai positif ke arah timur (Anonim, 2007).

Delft3D-FLOW memakai beberapa persamaan pembangun yaitu, persamaan momentum, persamaan kontinuitas, dan persamaan transport.

a. Persamaan momentum dalam arah horizontal

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{V^2 \sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} + \frac{uv \sqrt{G\zeta\zeta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} \\ - Fv = \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G\zeta\zeta}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{uv}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\eta\eta}} + \frac{V^2}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\sqrt{G\zeta\zeta}}{\sqrt{G\eta\eta}} \\ - Fv = \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G\zeta\zeta}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta \end{aligned} \quad (2.6)$$

b. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{1}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\partial [(d + \zeta)U \sqrt{G\eta\eta}]}{\partial \zeta} + \frac{1}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\partial [(d + \zeta)V \sqrt{G\zeta\zeta}]}{\partial \eta} = (d + \zeta)Q \quad (2.7)$$

Dengan U dan V dirata – ratakan terhadap kedalaman :

$$U = \frac{1}{d + \zeta} \int_4^6 u dz = \int_{-1}^0 u d\sigma \quad (2.8)$$

$$V = \frac{1}{d + \zeta} \int_4^6 v dz = \int_{-1}^0 v d\sigma \quad (2.9)$$

Dimana Q menunjukan faktor per unit area :

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad (2.10)$$

Keterangan :

G = percepatan gravitasi (m/s²)

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

U = kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah X/ ζ (m/s)

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

v = kecepatan aliran dalam tanah Y/η (m/s)

ω = frekuensi sudut pasang surut dan atau komponen Fourier

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

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

ζ = elevasi muka air (m)

u = kecepatan aliran dalam tanah X/ζ (m/s)

V = kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah Y/η (m/s)

c. Persamaan transpor sedimen

$$|Sb| = 0.006\eta\rho_w d_{50}^{1/5} M^{0.5} M^{0.7} \quad (2.11)$$

Keterangan :

Sb = transport sedimen dasar (kg/m/s)

M = pergerakan sedimen akibat gelombang dan arus

Mc = pergerakan kelebihan sedimen

Wl = kecepatan jatuh

η = fraksi sedimen pada lapisan campuran (mixing layers)

Dengan nilai yang didefinisikan sebagai :

$$M = \frac{V_{eff}^2}{(s-1)gd_{50}} \quad (2.12)$$

$$M = \frac{(V_{eff} - V_{eff})^2}{(s - 1)gd50} \quad (2.13)$$

$$V_{eff} = \sqrt{V_R^2 + V_{50}^2} \quad (2.14)$$

Keterangan :

V_R = Kecepatan yang dirata-ratakan terhadap kedalaman di lapisan dasar

S = densitas relatif dari fraksi sedimen

U_{on} = kecepatan orbital dekat dasar berdasarkan pada tinggi gelombang signifikan (m/s)

V_{eff} = kecepatan efektif yang disebabkan oleh gelombang dan arus

2.8.2 Delft3D-WAVE

Delft 3D-WAVE merupakan suatu sistem bagian dari Delft3D yang dapat mensimulasikan perambatan gelombang di perairan pantai. Delft3D-WAVE juga dapat diterapkan di perairan dalam, menengah dan dangkal (Anonim, 2007). WAVE-GUI (*Graphical User Interface*) digunakan untuk memberikan nilai pada semua parameter yang akan digunakan untuk mengimport nama atribut file ke MDW-file. MDW-file merupakan *input* dalam simulasi pemodelan gelombang. MDW-file ini berisi semua data yang diperlukan untuk pemodelan gelombang dan menjalankan perhitungan gelombang (Anonim, 2007).