

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Standar dan Referensi Perencanaan

Berikut adalah spesifikasi dan standar yang digunakan dalam perencanaan pada penelitian ini sebagai berikut.

2.1.1 Kriteria Perencanaan

- | | | |
|--|---|---|
| SNI 19-6727-2002 | : | Peta Dasar Lingkungan Pantai Indonesia Skala 1 : 250.000. |
| SNI 19-6726-2002 | : | Peta Dasar Lingkungan Pantai Indonesia Skala 1 : 50.000. |
| SNI 19-6471.1-2000 | : | Tata Cara Pengerukan Muara Sungai dan Pantai Bagian 1 Survei Lokasi dan Investigasi. |
| CERC. 1984 | : | <i>Shore Protection Manual, US Army Coastal Engineering Research Center. Washington.</i> |
| BS 6349-1 : 2013 | : | <i>The Standard for Maritime Work-General Code of Practice for Planning and Design for operation.</i> |
| <i>Standard Design Criteria For Ports In Indonesia, January 1989</i> | : | <i>Maritime Sector Development Programme Directorate General of Sea Communications.</i> |
| OCDI 1995 | : | <i>Technical Standards and Commentaries For Port and Harbour Facilities In Japan, 1995.</i> |
| PIANC 2002 | : | <i>Guidelines for The Design of Fenders.</i> |

2.1.2 Referensi Buku dan Modul

- | | | |
|---|---|---|
| Bambang Triatmodjo, 1999 | : | Teknik Pantai. Beta Offset. Yogyakarta. |
| Bambang Triatmodjo, 2009 | : | Perencanaan Pelabuhan. Beta Offset. Yogyakarta. |
| Dept. Perhubungan dan Prasarana Wilayah Dikjend. Prasarana Wilayah No : 003/PW/2004 | : | Perencanaan Bangunan Pengaman Gerusan Pantai untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan. |

2.2 Jetty

Jetty adalah bangunan tegak lurus pantai yang diletakkan pada kedua sisi muara sungai yang berfungsi untuk menahan sedimen/pasir yang bergerak sepanjang pantai masuk dan mengendap di muara sungai (Triatmodjo, 1999).

2.2.1 Dimensi Jetty

Diantaranya untuk merencanakan dimensi *jetty* ada beberapa yang diperhitungkan yaitu :

a. Perhitungan elevasi puncak *jetty*

$$El_{Jetty} = DWL + Ru + Fb \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- El_{Jetty} = Elevasi *Jetty* (m)
- Ru = Run-up gelombang (m)
- Fb = Tinggi jagaan (1.0 s.d 1.5 m)
- DWL = Muka air rencana

b. Perhitungan berat butir batu pelindung

Menurut Triatmodjo, 1999. Didalam perencanaan *jetty* ditentukan berat batu lapis yang terdiri dari lapis luar, lapis kedua, dan lapis ketiga atau lapis inti. Perhitungan berat butir batu pelindung menggunakan rumus Hudson :

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{KD(Sr - 1)^3 \cot \theta} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$Sr = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

- γ_r = Berat jenis batu (ton/m³)
- γ_a = Berat jenis air laut (ton/m³)
- θ = Sudut kemiringan sisi *jetty*
- KD = Koefisien stabilitas tergantung pada bentuk batu

Tabel 2. 1 Koefisien Stabilitas (KD)

Tabel 2. Koefisien Stabilitas (K_D) dalam *Shore Protection Manual 1984*

No- Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n ³	Placement	Structure Trunk		Structure Head		Slope Cot θ
			K _D ²		K _D		
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	
Quarrystone							
Smooth rounded	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	Random	1.6	3.2	1.4	2.3	⁵
Rough angular	1	Random 4	⁴	2.9	⁴	2.3	⁵
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
Rough Angular	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	⁵
Rough Angular	2	Special	5.8	7.0	5.3	6.4	⁵
Parallepiped 7	2	Special	7.0 -20.0	8.5 -24.0	----	----	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0	16.0	2.0 ⁹
					7.0	14.0	3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	----	5.0	⁵
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	⁵
Toskane	2	Random	11.0	22.0	----	----	⁵
Tribar	1	Unifarm	12.0	15.0	7.5	9.5	⁵
Quarrystone (K _{RR})							
Graded angular		Random	2.2	2.5	----	----	----

Sumber : *Shore Protection Manual 1984*

Penentu ukuran diameter batu pecah untuk lapis pelindung untuk bangunan pantai (*jetty*) untuk di lokasi *study* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 The Size (Length x Width x Height, in cm)

Number of blocks	Length (cm)	Width (cm)	Height (cm)
<i>Quarry 3</i>			
1	80	40	25
2	70	40	20
8	60	40	30
2	60	40	20
2	55	40	25
4	50	40	20
3	40	25	20
6	40	20	20
3	40	15	20
Total = 31			
<i>Quarry 4</i>			
19	50	45	30
20	50	20	30
28	50	20	20
2	40	25	30
3	25	20	20
Total = 72			

Sumber : *Archaeometry* 52,4 (2010) 531-549

c. Perhitungan tebal dan butir lapis pelindung

Tebal dan butir lapis pelindung dapat dihitung dengan rumus berikut (Triatmodjo, 1999) :

$$T = n K \Delta \left(\frac{w}{\gamma r} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2.4)$$

d. Perhitungan jumlah butir batu :

$$N = A n K \Delta \left(1 - \frac{P}{100} \right) \left(\frac{\gamma r}{w} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

- T = Tebal lapis (m)
- n = Jumlah lapis batu dalam lapis
- $K \Delta$ = Koefisien lapis
- A = Luas permukaan (m²)
- P = Porositas rerata dari lapis pelindung
- w = Berat butir batu (ton/unit)
- γr = Berat jenis batu (ton/m³)
- N = Jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan

e. Perhitungan lebar bangunan *jetty*

Lebar puncak *jetty* tergantung pada limpasan yang diijinkan (Triatmodjo, 1999) :

$$B = n K \Delta \left(\frac{w}{\gamma r} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

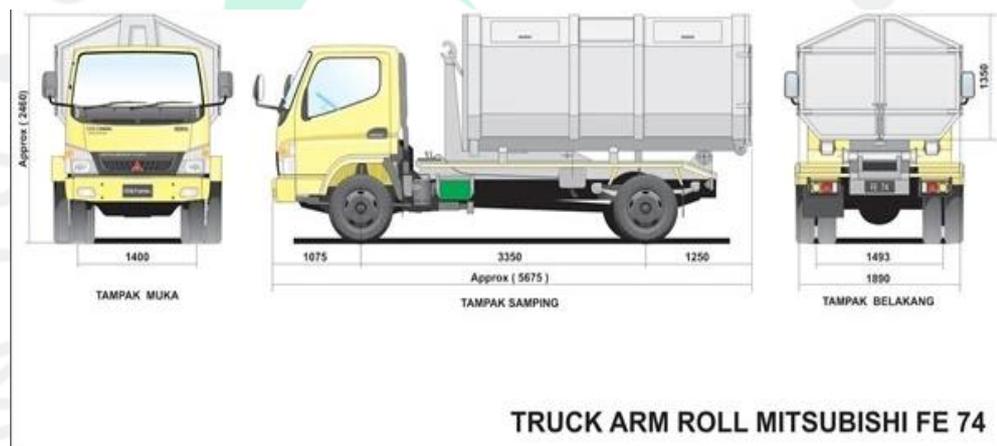
B	=	Lebar puncak (m)
n	=	Jumlah butir batu
$K\Delta$	=	Koefisien lapis
w	=	Berat unit batu (ton/unit)
yr	=	Berat jenis batu (ton/m ³)

Namun perhitungan *jetty* pada penelitian ini disesuaikan pada kebutuhan di lokasi tersebut dimana menyesuaikan lebar truk agar bisa mengakses keluar masuk menggunakan jalur *jetty* dapat dilihat pada jenis truk pada Gambar 2.1.

$$B = P + L \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

B	=	Lebar puncak (m)
P	=	Panjang truk sampah
L	=	Lebar truk sampah



Gambar 2. 1 Dimensi Truk Sampah

(Sumber: <https://www.indotrading.com/services/jasa-pembuatan-truck-s5648.aspx>)

2.2.2 Material Konstruksi *Jetty*

Keberadaan *jetty* selain untuk akses jalurnya ke *floating platform* dapat mencegah terjadi proses pendangkalan garis pantai akibat proses sedimentasi. Material dasar untuk *jetty* adalah batu alam maupun buatan (beton), baja, dan kayu. Adapun tipe *jetty* yaitu (SPM, 1984) :

a. *Rubble Mound Jetty*

Rubble mound jetty adalah adukan gundukan dari batu dengan ukuran dan jenis yang berbeda sehingga terjadi ikatan yang saling mengisi.

Keuntungan :

- Bisa disesuaikan dengan berbagai kedalaman dan kondisi tanah dasar.
- Penempatan campuran batu dapat meningkatkan stabilitas.
- Kerusakan mudah diperbaiki.
- Lebih dapat menyerap dari pada memantulkan energi gelombang.

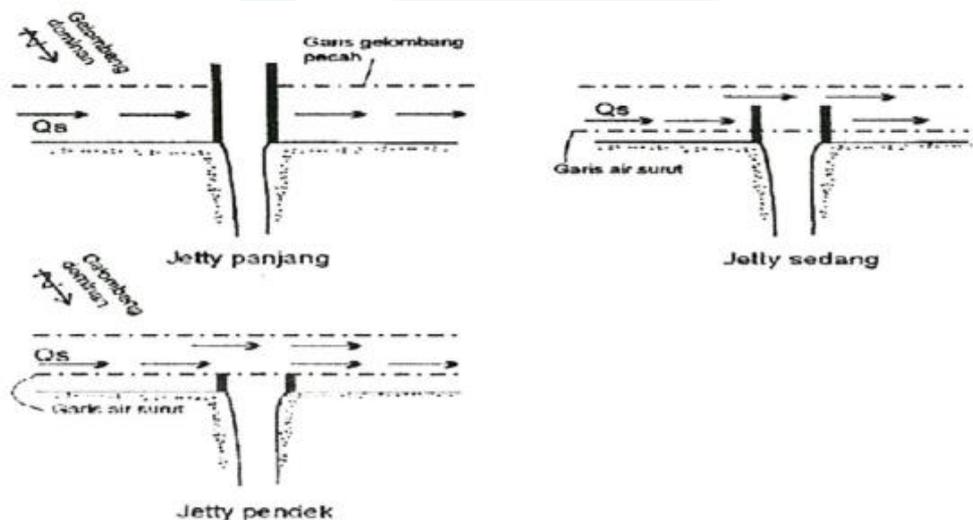
b. *Sheetpile Jetty*

Kayu dan baja digunakan untuk *jetty* dimana gelombang tidak keras. Untuk *cellular steel sheetpile* perawatan lebih ringan, kedalaman sampai 12 m, lebih ekonomis dan lebih cepat. Usia rencana antara 10- 35 tahun.

2.2.3 Jenis *Jetty*

Mengingat fungsinya, *jetty* dibagi menjadi tiga jenis (Triatmodjo, 1999) :

- a. *Jetty* panjang
Jetty ini ujungnya berada di luar gelombang pecah. Tipe ini efektif untuk menghalangi masuknya sedimen ke arah muara tetapi biaya konstruksinya sangat mahal. *Jetty* ini dibangun jika daerah yang dilindunginya sangat penting.
- b. *Jetty* sedang
Jetty sedang ujungnya berada di antara muka air surut dan lokasi gelombang pecah dan dapat menahan transpor sedimen sepanjang pantai.
- c. *Jetty* pendek
Jetty pendek ujungnya berada pada muka air surut. Fungsinya untuk menahan berbeloknya muara sungai dan mengkonsentrasikan aliran pada alur yang telah ditetapkan untuk bisa mengerosi endapan.

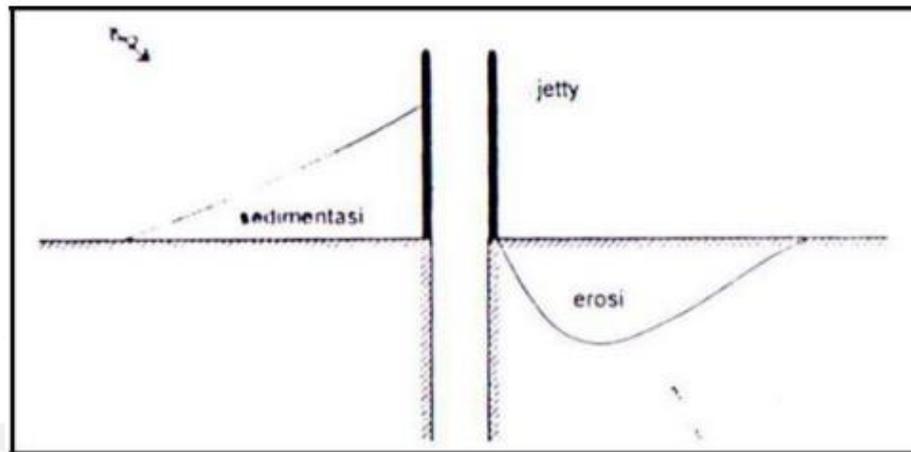


Gambar 2. 2 Jenis-jenis *Jetty*
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Pembangunan *jetty* yang mencorok cukup jauh ke laut dapat mempengaruhi dinamika pantai, ini salah satu dari dampak yang dapat terjadi akibat konstruksi *jetty* yang cukup panjang di pantai berpasir. Pembangunan *jetty* yang mencorok jauh ke laut dapat menciptakan zona perlindungan di sebelah kiri *jetty* dan zona yang lebih terbuka di sebelah kanan *jetty*. Dampak dapat dilihat pada Gambar 2.2 menjelaskan :

- a. Disebelah kiri *jetty* deposisi sedimen (disebut zona perlindungan)
Sedimen yang dibawah oleh arus dan gelombang dapat terjebak atau terendap karena perlambatan aliran air. Hal ini menyebabkan akumulasi sedimen disekitar *jetty* dan terjadi pengendapan di daerah tersebut.

- b. Disebelah kanan *jetty* erosi (zona terbuka)
Karena sedimen yang bergerak dari sebah kiri terhalang oleh *jetty*, pasokan sedimen alami terhambat. Seiring waktu, erosi pantai dapat terjadi karena gelombang yang datang dari arah yang berbeda (sudut terhadap garis pantai) akan menciptakan arus sepanjang pantai dan membawa sedimen yang jauh dari pantai. Ini dapat mengakibatkan pengurangan pantai disebelah kanan *jetty* dan akan mengalami erosi.



Gambar 2. 3 Pengaruh Jetty Terhadap Pantai Sekitarnya
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Pembangunan *jetty* juga dapat memiliki dampak lingkungan yang perlu dipertimbangkan, seperti pola sedimentasi dan dampak pada ekosistem laut, maka sebab itu, penilaian terhadap dampak lingkungan sangat diperlukan sebelum pembangunan *jetty* yang signifikan.

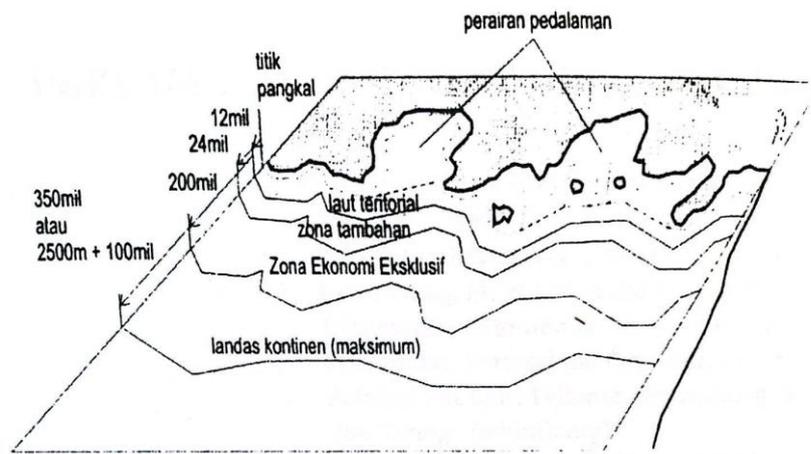
2.3 Hidrodinamika Pantai

Hidrodinamika laut gaya gravitasi, gaya gesekan, dan gaya coriolis adalah gaya-gaya dengan pengaruh terbesar (Stewart, 2006 dalam Cahyana, 2011). Hidrodinamika pantai salah satu aspek penting bagi ilmu kelautan dan geologi pantai yang membantu bagaimana air berinteraksi dengan daratan dan memengaruhi bentuk dan fungsi pantai. Hidrodinamika pantai terhadap *jetty* dan *floating platform* / dermaga apung merupakan studi yang akan mempertimbangkan seperti pengalihan arus yang tujuan utama melindungi atau mengalihkan arus dan gelombang pada pola aliran sekitarnya, dan pengaruh lingkungan seperti perubahan habitat laut dan dampak kehidupan laut. Namun hidrodinamika pantai terkhusus dalam merancang *jetty* pastinya memiliki dampak jangka panjang yang signifikan pada lingkungan pesisir, *jetty* akan berinteraksi dengan pergerakan air dan sedimen namun dalam perencanaan *jetty* ini bagaimana merencanakan *jetty* yang efektif dan berkelanjutan agar untuk meminimalkan dampak negatif pada lingkungan pesisir.

2.3.1 Garis Pantai

Mengacu pada kondisi topografi dan material sedimen pantai serta vegetasi di kawasan pantai, maka garis pantai dapat ditentukan sebagai berikut, (Poerbondono dan Eka Djunasjah, 2005) :

- Untuk daerah pantai yang landai (berpasir), maka garis pantai ditentukan oleh bekas genangan saat air pasang tertinggi.
- Untuk pantai berlumpur, maka garis pantai diwakili oleh garis pertemuan antara daratan (tanah keras) dengan lautan. Dalam hal ini diwakili oleh garis air tinggi berupa jejak permukaan air laut yang paling tinggi pada daratan.
- Untuk pantai bertebing terjal, garis pantai = bibir tebing.
- Untuk daerah rawa dan tumbuhan semak garis pantai = batas tumbuhan terluar ke arah laut.
- Untuk pantai buatan, garis pantai = garis batas terluar suatu bangunan permanen buatan terletak di pinggir pantai.



Gambar 2. 4 Wilayah Perairan Berdasarkan United Nation Convention of The Law of The Sea Tahun 1982 (UNCLOS)
(Sumber: Poerbondono dan Eka Djunasjah, 2005)



Gambar 2. 5 Garis Pantai Studi Penelitian di Teluk Jakarta
(Sumber : Google Earth, Diolah Oleh Penulis)

2.4 Angkutan Sedimen Pantai

Angkutan sedimen pantai dipengaruhi oleh 3 faktor utama, yaitu sumber sedimen, tingkat energi gelombang dan atau arus, serta kemiringan pantai. Sedimen

dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan arah rambatnya terhadap garis pantai yaitu *longshore sediment* dan *crossshore sediment transport* (Triatmodjo, 1999) :

a. *Longshore Sediment Transport*

Longshore sediment transport terjadi ketika sedimen bergerak di sepanjang pantai dan memiliki arah pergerakan yang sejajar dengan garis pantai karena posisi aliran cenderung mengikuti kontur garis pantai. Longshore Sediment di sebabkan adanya turbulensi dari gelombang pecah.

b. *Crossshore sediment transport*

Karena arah pergerakan sedimen yang tegak lurus dengan garis pantai, *crossshore sediment transport* sering disebut sebagai transportasi *onshore-offshore*.

Pergerakan sedimen pada perairan dikategorikan menjadi 3 macam, yaitu: *bed load* (sedimen dasar), *suspended load* (sedimen melayang), dan *wash load*. *Bed load* adalah angkutan sedimen yang mengalami kontak terus menerus dengan jenis sedimen yang ditimbulkan selama pergerakannya (*sliding, jumping, dan rolling*). *Suspended load* adalah gerakannya tidak mengalami kontak yang terus menerus dengan dasar dan ukuran partikelnya kecil (Murphy dan Aguirre, 1985; Fredsoe dan Rolf, 1993 dalam Widiastuty, 2008).

Tabel 2. 3 Tabel Klasifikasi Ukuran Butir dan Sedimen

Klasifikasi	Diameter (mm)
Boulders	256 – 4096
Berbatu(cobbles)	64 – 256
Kerikil (gravel)	2 – 64
Pasir	
Sangat kasar	1 – 2
Kasar	0,5 – 1
Sedang	0,25 – 0,5
Halus	0,125 – 0,25
Sangat Halus	0,062 – 0,125
Lumpur	
Kasar	0,031 – 0,062
Sedang	0,016 – 0,031
Halus	0,008 – 0,016
Sangat halus	0,004 – 0,008
Lempung	
Kasar	0,002 – 0,004
Sedang	0,001 – 0,002
Halus	0,0005 – 0,001
Sangat halus	0,00024 – 0,0005

Sumber : Triatmodjo, 2009

Menurut Ronggodgdo (2011), ada tiga macam pergerakan angkutan sedimen yaitu :

a. *Bed load transport*

Partikel kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan *bed load*. Adanya *bed load* ditunjukkan oleh gerakan partikel yang ukurannya besar. Pada kondisi ini pengangkutan material terjadi pada aliran yang mempunyai kecepatan aliran yang relatif lambat.

b. *Wash load transport*

Wash load adalah angkutan partikel halus yang terbawa oleh aliran sungai. Partikel ini dapat berupa lempung (*silk*) dan debu (*dust*) yang akan terbawa aliran, atau dapat juga mengendap pada aliran yang tenang atau pada air yang tergenang. Pada kondisi ini pengangkutan material terjadi pada kecepatan aliran yang relatif cepat.

c. *Suspended load transport*

Suspended load merupakan *bed material* terutama butir pasir halus yang bergerak melayang di dalam aliran, hal ini karena partake selalu didorong ke atas oleh turbulensi aliran. Jika kecepatan aliran semakin cepat, gerakan loncatan material akan semakin sering terjadi.

2.5 Kecepatan Angin

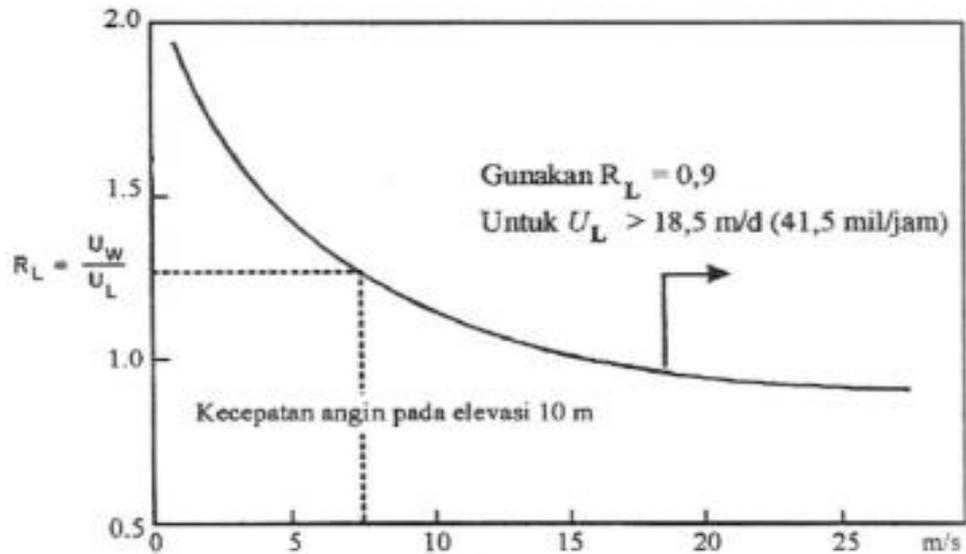
McPhaden dan Hayes (1991) menyatakan bahwa pergerakan angin akan mempengaruhi karakteristik massa air di laut, salah satunya adalah terjadinya perubahan arah arus permukaan. Pergerakan angin yang kencang juga dapat mempengaruhi terjadinya pencampuran massa air pada lapisan atas yang mengakibatkan sebaran suhu menjadi homogen.

Data angin yang didapatkan berupa titik koordinat arah dan kecepatan angin dari instansi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Meteorologi Jakarta Utara. Analisis kecepatan angin bertujuan untuk mendapatkan kecepatan dan arah angin yang dominan pada lokasi yang direncanakan pada dermaga. Koreksi angin di darat dan di atas permukaan laut dapat menggunakan rumus berikut :

$$R_L = \frac{U_W}{U_L} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

- R_L = Faktor koreksi terhadap kecepatan angin di darat
- U_W = Kecepatan angin di atas permukaan laut (m/dt)
- U_L = Kecepatan angin di atas daratan (m/dt)



Gambar 2. 6 Gambar Hubungan Antara Kecepatan Angin Di Laut dan Di Darat
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Seluruh data angin akan ditransformasi menjadi gelombang dengan tahapan persamaan-persamaan sebagai berikut (Bambang Triatmodjo 2012b) :

Efek elevasi :

$$U_{10} = U_{(y)} \frac{10^{\frac{1}{7}}}{y} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

- U_{10} = Laju angin saat 10 m di atas permukaan laut
- $U_{(y)}$ = Laju angin saat y di atas permukaan laut

2.5.1 Perhitungan Fetch

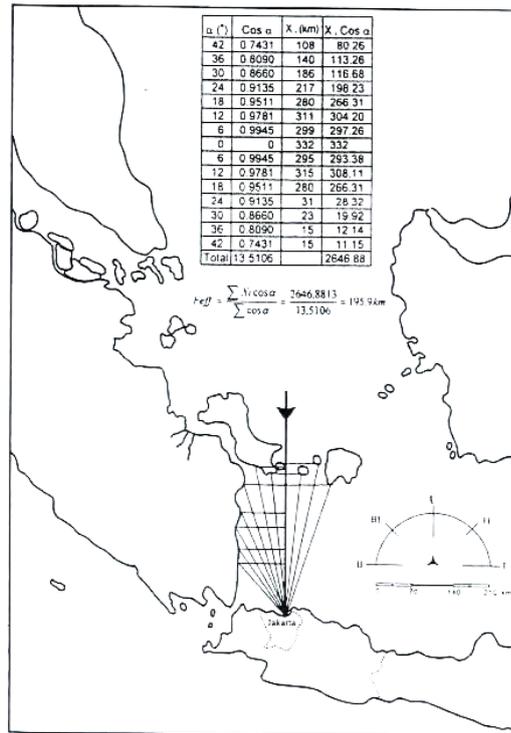
Langkah-langkah perhitungan *fetch* (Triatmodjo, 2012) adalah sebagai berikut: Garis arah angin utama ditentukan sebagai *central radial* dengan menggunakan peta daerah Jakarta Utara. Lalu mengukur *fetch* sampai menyentuh daratan atau batas akhir peta kemudian kalikan dengan skala peta.

Fetch adalah Panjang daerah dimana angin berhembus dengan kecepatan dan arah yang konstan (Yuwono, 1992).

$$F_{eff} \frac{\sum x_i \cdot \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

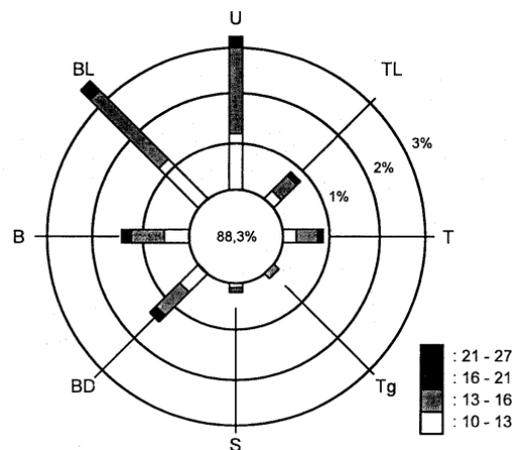
- F_{eff} = *Fetch* rata-rata efektif
- x_i = Panjang segmen *fetch* / jarak sesungguhnya (km)
- α = Sudut deviasi pada kedua sisi dari arah mata angin menggunakan pertambahan 6° sampai sebesar 42° pada kedua sisi dari angin



Gambar 2. 7 Contoh Penggambaran Fetch
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

2.5.2 Windrose

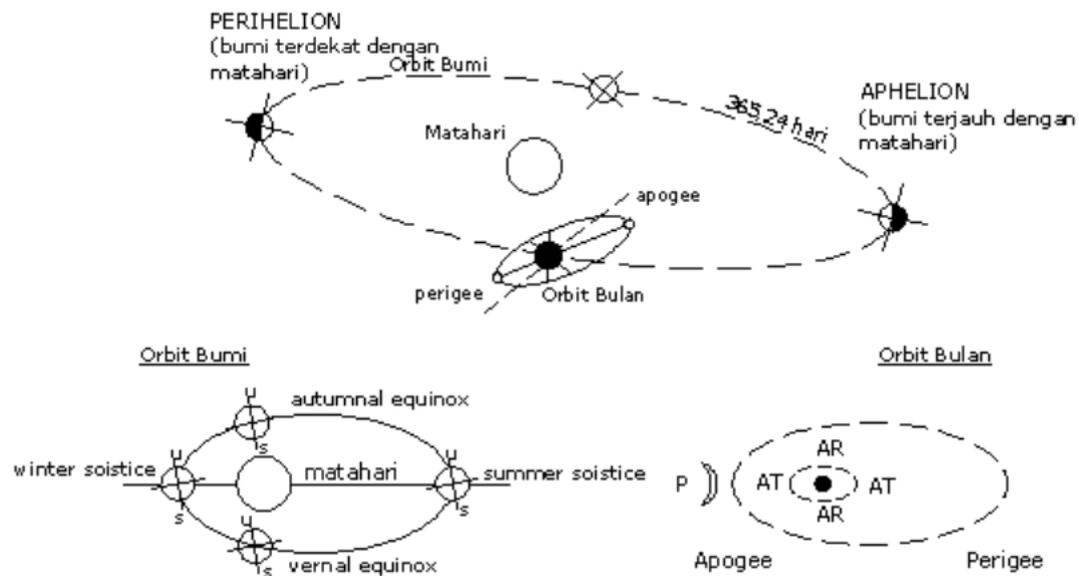
Mawar angin (*windrose*) adalah sebuah diagram untuk menggambarkan pola angin dan arah angin yang dominan suatu wilayah atau lokasi geografis tertentu. Diagram ini biasanya mencakup informasi tentang frekuensi dan kecepatan angin dari berbagai arah selama periode waktu tertentu. *Windrose* sendiri memberikan gambaran tentang bagaimana arah dan kecepatan angin terdistribusikan di sebuah lokasi dalam periode tertentu.



Gambar 2. 8 Contoh Diagram Mawar Angin
(Sumber: Triatmodjo, 2009)

2.6 Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya garik tarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan terhadap air laut di bumi, (Triatmodjo, B, 1996). Masa bulan jauh lebih kecil daripada masa matahari, pengaruh gravitasi bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gravitasi matahari.

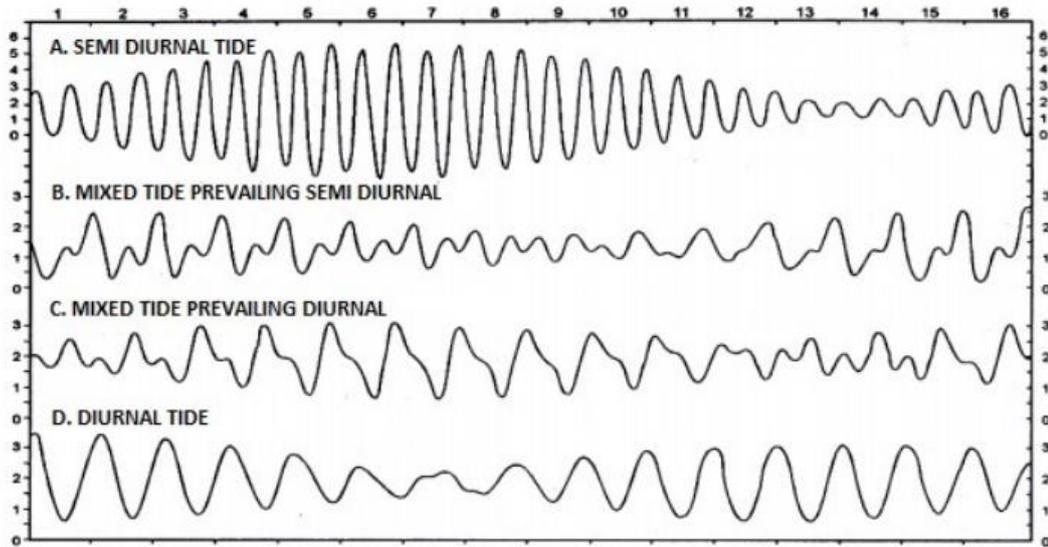


Gambar 2. 9 Gambar Sistem Bumi – Bulan – Matahari
(Sumber: Pelabuhan, B. Triatmodjo, 1996)

Menurut (Dronkers 1964), pasang surut di Indonesia di bagi menjadi 4 tipe dengan menggunakan pasang surut “F” (*tide form number “Formzahl”*) yaitu pasang surut harian Tunggal (*diurnal tide*), pasang surut ganda (*semi diurnal tide*), pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed tide prevealling diurnal*) dan pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed tide prevealling semi diurnal*).

- Pasang surut harian tunggal (*Diurnal tide*)
Pasang surut dalam satu hari terjadi satu kali dan dua kali pasang surut dengan periode pasang surut 24 jam 50 menit.
- Pasang surut harian ganda (*Semi diurnal tide*)
Pasang surut dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan juga dua kali surut dengan tinggi yang hamper sama dengan pasang surut terjadi berurutan secara teratur. Tipe pasang surut ini periode pasang surut rata-rata 12 jam 24 menit.
- Pasang surut campuran condong harian tunggal (*Mixed prevealling diurnal*)
Pasang surut dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda. Pasang surut ini terdapat selat Kalimantan dan pantai utara Jawa Barat.
- Pasang surut campuran condong harian ganda (*Mixed prevealling semi diurnal*)

Pasang surut dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Pasang surut ini banyak terdapat di perairan Indonesia timur.



Gambar 2. 10 Gambar Tipe Pasang Surut
(Sumber: Ippen, A.T. 1966)

Menurut Triatmodjo, 2009. Pasang surut merupakan gelombang teratur yang dibentuk oleh komponen-komponen harmonik yang merupakan komponen utama pada pasang surut, komponen utama tersebut adalah memiliki amplitudo, frekuensi, perioda, dan fase. Komponen-komponen tersebut dipengaruhi oleh keadaan geografis pada daerah tersebut.

Tabel 2. 4 Komponen Harmonik Pasang Surut

Jenis	NO	Simbol	Periode (jam)	Keterangan
Semi diurnal (Ganda)	1	M_2	12.42	Bulan utama
	2	S_2	12.00	Matahari utama
	3	N_2	12.66	Elips bulan besar
	4	K_2	11.97	Bulan matahari
Diurnal (Tunggal)	5	K_1	23.93	Matahari bulan
	6	O_1	25.82	Bulan utama
	7	P_1	24.07	Matahari utama
Long period (Periode panjang)	8	M_0	327.86	Bulan dua mingguan

Sumber : Triatmodjo, 2009

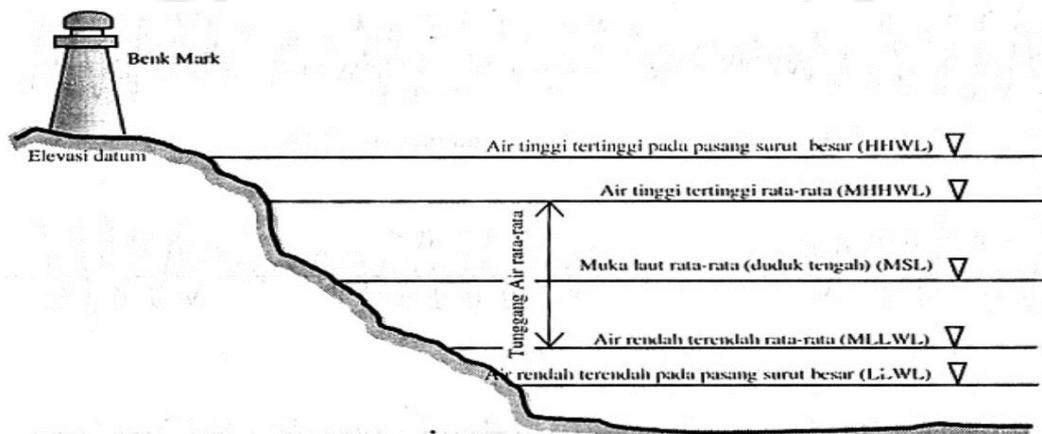
Secara temporal, pasang surut selalu memiliki nilai ketinggian yang berbeda jika dibandingkan dengan perairan lepas, maka memerlukan beberapa parameter elevasi untuk penentuan rekayasa di suatu pantai, diantaranya seperti MSL, HHWL, MHWL, MLWL, LLWL, dan LAT.

Tabel 2. 5 Tabel Perhitungan Elevasi Pasang Surut

Elevasi	Simbol	Rumus
<i>Highest High Water Level</i>	HHWL	$Z0+ (M2+S2+K2+K1+O1+P1)$
<i>Mean High Water Level</i>	MHWL	$Z0 + (M2+K1+O1)$
<i>Mean Low Water Level</i>	MLWL	$Z0 - (M2+K1+O1)$
<i>Lowest Low Water Level</i>	LLWL	$Z0- (M2+S2+K2+K1+O1+P1)$
<i>Lowest Astronomical Tide</i>	LAT	$Z0- (M2+S2+K2+K1+O1+P1+N2+Q1)$

Elevasi muka air diperlukan untuk pengukuran ketinggian atau tinggi permukaan air yang ditentukan berdasarkan data pasang surut yang digunakan sebagai pedoman dalam perencanaan suatu bangunan pantai. Beberapa elevasi sebagai berikut :

- Mukai air tinggi / *high water level*, HWL
Muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
- Muka air rendah / *low water level*, LWL
Muka air terendah yang dicapai pada saat air surut pada siklus pasang surut.
- Muka air tinggi tertinggi / *highes high water level*, HHWL
Muka air tertinggi pada saat pasang surut purnama dan pasang surut perbani.
- Muka air tinggi rata-rata / *mean high water level*, MHWL
Rata-rata dari muka air tinggi.
- Muka air rendah rata-rata / *mean low water level*, MLWL
Rata-rata dari muka air rendah.
- Pasang astronomi terendah / *lowest astronomical tide*, LAT
LAT biasanya menjadi acuan dalam perencanaan pelayaran, Pembangunan dermaga, dan pengelolaan transportasi laut.



Gambar 2. 11 Gambar Kedudukan Permukaan Air Laut

(Sumber: Rangkuman Kursus PASANG-SURUT, LIPI Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi Jakarta, 1989)

2.6.1 Metode Admiralty

Metode yang digunakan pengolahan data arus pasang surut ini yaitu metode Admiralty. Menurut Ongkosongo dan Suyarso (1989), metode Admiralty yaitu metode perhitungan dimana permukaan air laut rata-rata diperoleh dengan menghitung konstanta-konstanta pasut. Metode Admiralty ini menggunakan data pengamatan selama 29 piantan. 1 piantan adalah pengamatan selama 24 jam, tiap data awal pengamatan diambil pada jam 00.00 malam hingga 24 jam berikutnya untuk satu piantan. Membutuhkan pengamatan 29 hari pengamatan dalam 24 jam.

Secara umum arus pasang mempunyai komponen-komponen, yaitu M2, S2, K1, O1. Dengan banyaknya konstanta harmonik didapatkan dari banyaknya data yang akan diolah, pada keempat komponen tersebut merupakan komponen yang umum didapat dari data 29 piantan (29 hari x 24 jam) hasil pengamatan pasang surut sama halnya arus pasang surut, karena arus pasang surut ini terjadi bersamaan dengan adanya pasang surut.

Dari 4 buah komponen tersebut, dapat ditentukan tipe pasang surut didasarkan pada perbandingan antara jumlah *amplitude* konstanta-konstanta *diurnal* (K1 dan O1) dengan jumlah *amplitude* konstanta-konstanta *semi diurnal* (M2 dan S2). Dalam menentukan tipe pasang surut dapat dilakukan rumus :

$$F = (K1 + O1)/(M2 + S2) \dots \dots \dots (2.11)$$

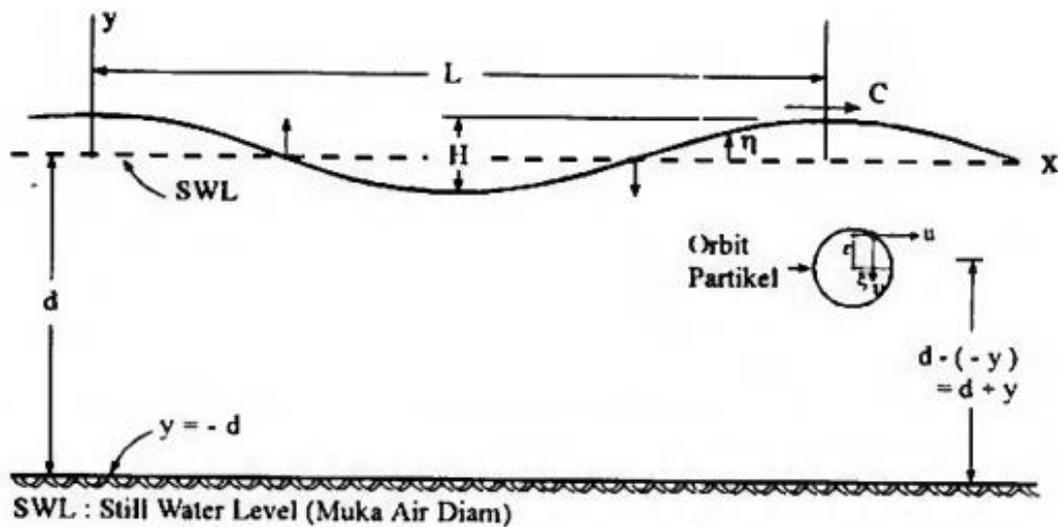
Dimana :

- M2 = Komponen utama bulan (*semi diurnal*)
- S2 = Komponen utama matahari (*semi diurnal*)
- K1 = Komponen bulan
- O1 = Komponen utama bulan (*diurnal*)
- P1 = Komponen utama matahari (*diurnal*)

Teori sederhana yaitu teori gelombang *amplitude* kecil (Airy) yang disebut juga teori gelombang linier atau gelombang *amplitude* kecil, pertama kali dikemukakan oleh sir. George Biddell Airy, 1845. Teori tersebut dapat digunakan sebagai dasar dalam merencanakan bangunan pantai.

Pada Gambar 2.12 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat x-y. gelombang menjalar pada arah sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan sebagai berikut (Triatmodjo, 1999) :

- d = Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)
- $n\phi$ = Fluktuasi muka air terhadap muka air diam
- a = Amplitudo gelombang
- H = Tinggi gelombang = $2a$
- T = Periode gelombang, yaitu interval yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya
- C = Kecepatan rambat gelombang = L/T
- k = Angka gelombang = $2\pi/L$
- σ = Frekuensi gelombang = $2\pi/T$



SWL : Still Water Level (Muka Air Diam)

Gambar 2. 12 Sketsa Definisi Gelombang
(Sumber: Triatmodjo B. 1999)

2.7 Gelombang

Gelombang adalah salah satu bentuk energi yang 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).

Data gelombang yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan penentu tinggi gelombang *representative* (H_s) dan periode gelombang representatif sebagai berikut (Triatmodjo, 1999) :

$$n = 33.3\% \times \text{jumlah data} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$H_s = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$T_s = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_n}{n} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana :

- H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)
- T_s = Periode gelombang signifikan
- $H_1 \dots n$ = Tinggi gelombang 1, 2, ..., n (m)
- $T_1 \dots n$ = Periode gelombang 1, 2, ..., n (m)
- n = Jumlah data

2.7.1 Periode Gelombang / Gelombang Rencana

Kebutuhan perencanaan bangunan pantai terdapat penentuan tinggi gelombang pada umumnya digunakan beberapa distribusi frekuensi, metode distribusi pada penelitian ini menggunakan distribusi Weibull dan distribusi Gumbel (Fisher Tippet Tipe I). Berikut rumus distribusi Weibull dan distribusi Fisher Tippet Tipe I (CERC, 1992) :

Mempunyai bentuk rumus pada kedua distribusi tersebut dapat dihitung dari persamaan berikut :

a. Distribusi Fisher Tippet Type I

$$P(H_S \leq \hat{H}_S) = e^{-e^{\left(\frac{\hat{H}_S - B}{A}\right)}} \dots \dots \dots (2.15)$$

b. Distribusi Weibull

$$P(H_S \leq \hat{H}_S) = e^{-e^{\left(\frac{\hat{H}_S - B}{A}\right)^k}} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

- $P(H_S \leq \hat{H}_S)$ = Probabilitas bahwa \hat{H}_S tidak dilampaui.
- H_S = Tinggi gelombang representatif.
- \hat{H}_S = Tinggi gelombang dengan nilai tertentu.
- A = Parameter skala.
- B = Parameter lokasi.
- k = Parameter bentuk.

Probabilitas diaplikasikan dengan setiap tinggi gelombang dapat dilihat pada rumus berikut :

a. Distribusi Fisher Tippet Type I

$$P(H_S \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,44}{N_T + 0,12} \dots \dots \dots (2.17)$$

b. Distribusi Weibull

$$P(H_S \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

- $P(H_S \leq H_{sm})$ = Probabilitas dari tinggi gelombang representative ke m yang tidak dilampaui.
- H_{sm} = Tinggi gelombang urutan ke m.
- M = Nomor urut tinggi gelombang signifikan.
- N_T = Jumlah kejadian gelombang selama pencatatan.

Selanjutnya berdasarkan analisis regresi linier, dapat dilihat pada hubungan berikut :

$$H_m = \hat{A}Y_m + \hat{B} \dots \dots \dots (2.19)$$

a. Dimana Y_m untuk distribusi Fisher-Tippet tipe I :

$$Y_m = \ln\{-\ln F(H_S \leq H_{sm})\} \dots \dots \dots (2.20)$$

b. Dimana Y_m untuk distribusi Weibull :

$$Y_m = \ln\{-\ln F(H_S \leq H_{sm})\}^{1/k} \dots \dots \dots (2.21)$$

Tinggi gelombang dapat signifikan untuk berbagai periode ulang dapat diperhitungkan dari fungsi probabilitas sebagai berikut :

$$H_{sr} = \hat{A}Y_r + \hat{B} \dots \dots \dots (2.22)$$

a. Dimana Y_r untuk distribusi Fisher-Tippet tipe I :

$$Y_r = \ln\left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{LT_r}\right)\right\}^{1/k} \dots \dots \dots (2.23)$$

b. Dimana Y_r untuk distribusi Weibull :

$$Y_r = \ln\left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{LT_r}\right)\right\} \dots \dots \dots (2.24)$$

Dimana :

- H_{sr} = Tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r
- T_r = Kala ulang (tahun)
- K = Panjang data (tahun)
- L = Rata-rata jumlah kejadian per tahun (N_T/K)

Perkiraan rentang keyakinan terhadap data sangat mempengaruhi oleh penyebarannya, dengan demikian besarnya tergantung pada standar deviasi dengan persamaan berikut :

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1 + \alpha(y_r - c + \varepsilon \ln v)^2]^{1/2} \dots \dots \dots (2.25)$$

$$\alpha = \alpha_1 e^{\alpha_2 N^{-1,3+k\sqrt{-\ln v}}} \dots \dots \dots (2.26)$$

$$v = \frac{N}{N_T} \dots \dots \dots (2.27)$$

Dimana :

- σ_{nr} = Standar deviasi yang dinormalkan dari gelombang signifikan dengan kala ulang T_r
- N = Jumlah data gelombang signifikan

Tabel 2. 6 Koefisien Empirik Perhitungan Standar Deviasi

Distribusi	α_1	α_2	e	c	ε
FT Tipe I	0,64	9,0	0,93	0,0	1,33
Weibull	2,05	11,4	0,69	0,4	0,72

Sumber : Buku Ajar Teknik Pantai, 2017

2.7.2 Gelombang Rencana

Langkah-langkah perhitungan tinggi gelombang rencana (Triatmodjo, 1999) sebagai berikut :

$$UA = 0.71 \cdot U^{1,23} \dots \dots \dots (2.28)$$

$$T = 6,238 \times 10^{-1} (UA \cdot F)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$H_0 = 1.616 \times 10^{-2} UA \cdot F^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \dots \dots \dots (2.31)$$

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_2}} \dots \dots \dots (2.32)$$

$$H = H_0 \cdot K_s \cdot K_r \dots \dots \dots (2.33)$$

Dimana :

- H = Tinggi gelombang rencana (m)
- UA = Kecepatan (m/dt)
- F = *Fetch* efektif (m)
- T = Periode gelombang (dt)
- H_0 = Tinggi gelombang (m)
- L_0 = Panjang gelombang (m)

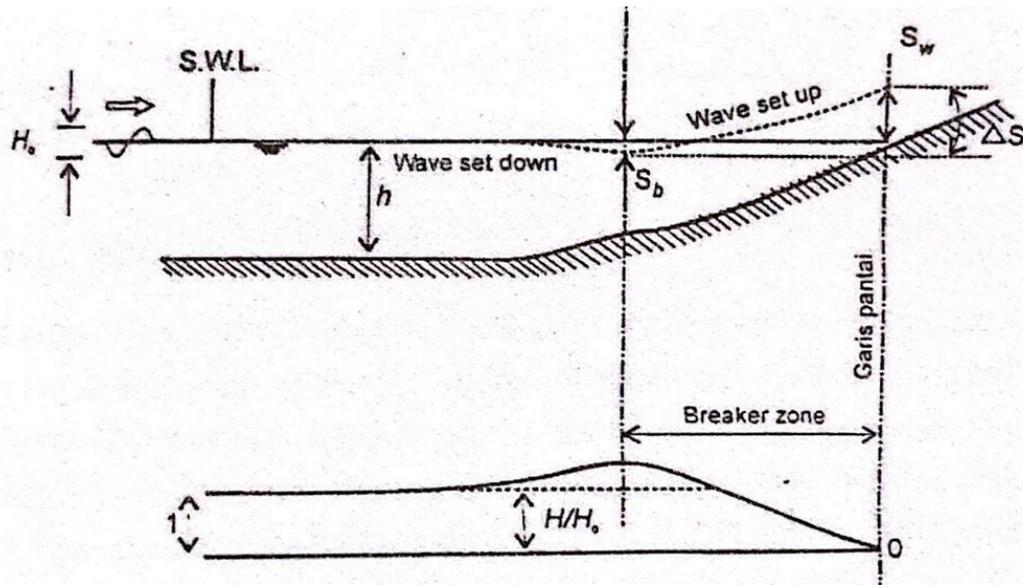
2.7.3 Wave Set-up

Kenaikan muka air karena gelombang (*wave set-up*) dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$SW = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{Hb}{gT^2}} \right] Hb \dots \dots \dots (2.34)$$

Dimana :

- Sb = *Wave set-up* di daerah gelombang pecah (m)
- T = Periode gelombang (detik)
- Hb = Tinggi gelombang pecah (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/det²)



Gambar 2. 13 Contoh Wave Set-Up dan Set-Down
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

2.7.4 Wind Set-up

Kenaikan muka air karena angin (*wind set-up*), kenaikan elevasi muka air karena badai dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

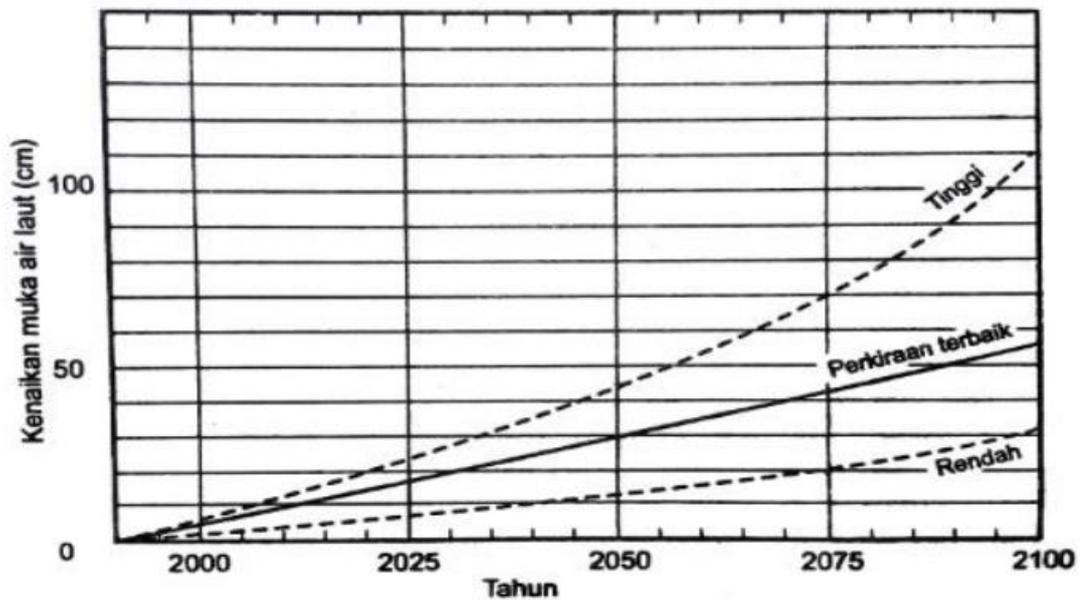
$$\Delta h = \frac{F \cdot i}{2} \text{ atau } \Delta h = F \cdot c \cdot \frac{V^2}{2gd} \dots \dots \dots (2.35)$$

Dimana :

- Δh = Kenaikan elevasi muka air karena badai (m)
- F = Panjang *fetch* (m)
- I = Kemiringan muka air
- C = Konstanta = 3.5×10^{-6}
- V = Kecepatan angin (m/det)
- d = Kedalaman air (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/det²)

2.7.5 Pemanasan Global

Pemanasan global memiliki dampak terhadap suhu air laut diantaranya peningkatan suhu permukaan laut, naiknya permukaan laut, dan perubahan pola arus laut.



Gambar 2.14 Perkiraan Kenaikan Muka Air Laut Karena Pemanasan Gglobal
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

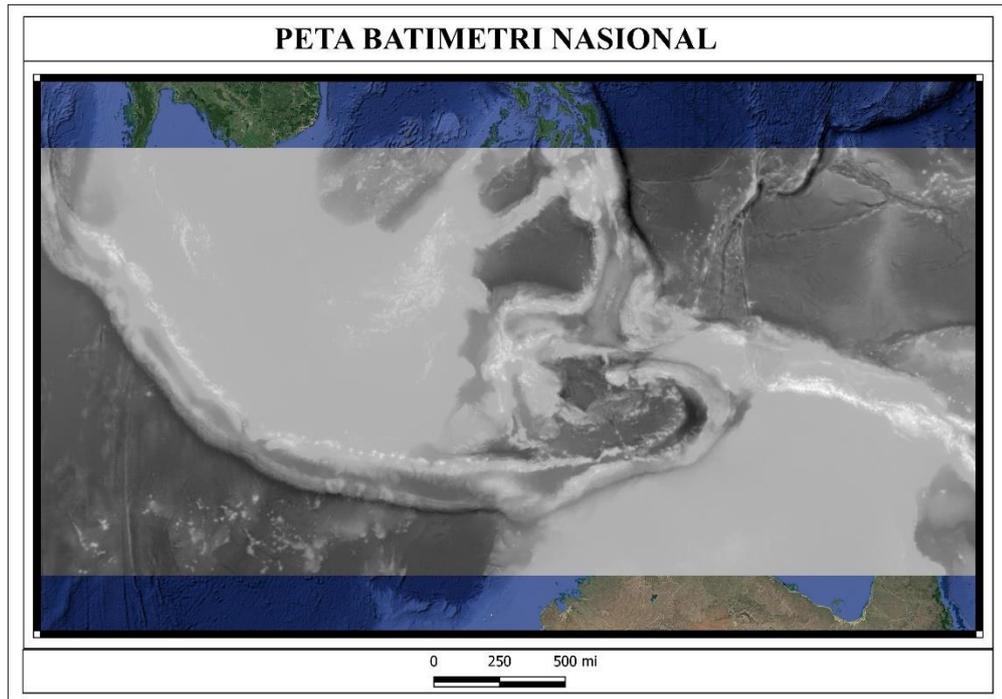
2.8 Tinjauan Pelindungan Pantai

Alam pada dasarnya memiliki mekanisme perlindungan pantai alami yang efektif. Seperti penganman pantai contohnya pengaman dengan struktur lunak antara lain pengisian ulang pasir (*sand nourishment*) yang melibatkan penambahan pasir atau material berbutir halus lainnya kepantai yang mengalami erosi agar memperkuat pantai dan memulihkan garis pantai yang telah tergerus, pendaur-ulangan pantai (*sand bypassing*) yang melibatkan pemindahan pasir dari satu area pantai ke area lain yang mengalami deisit agar membantu menjaga keseimbangan pasir di sepanjang garis pantai dan pengaman dengan struktur keras seperti tembok laut (*seawalls*), *revetment*, *groin* dan *jetty* yang dilihat lazim di Indonesia. Pada bangunan *jetty* ini pastinya menempel sepanjang garis pantai dan sejajar pada pantai untuk proteksi pantai dari serangan gelombang.

2.9 Pengolahan Peta Batimetri

Quantum GIS atau biasa disebut juga QGIS adalah *software Open Source* Sistem Informasi Geografis (SIG). Pada penelitian ini untuk mengolah peta batimetri nasional untuk mengetahui kedalaman perairan dan kemiringan pantai. Pada penelitian ini menggunakan *software* QGIS sudah berlisensi di bawah GNU *General Public License*. *Software* QGIS yang digunakan adalah versi QGIS 3.28.12.

Peta yang digunakan adalah peta batimetri nasional (batnas) secara *online* di web Portal Informasi Indonesia Geopastial.



Gambar 2. 15 Peta Batimetri Nasional
(Sumber : <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/batnas>)

2.10 Pengolahan *Windrose*

WRPLOT View (*Wind Rose Plots For Meteorological Data*) adalah *software* yang digunakan untuk memvisualisasikan data kecepatan angin dalam bentuk mawar angin (*windrose*) digunakan dalam meteorologi dalam distribusi kecepatan dan arah angin pada lokasi dan waktu tertentu. Beberapa utama dari WRPLOT View diantaranya :

1. Menampilkan mawar angin (*windrose*)
Menampilkan mawar angin (*windrose*) yang menunjukkan variasi kecepatan angin dan menampilkan berbagai arah pada dari waktu dan lokasi yang ditentukan.
2. Presentase kecepatan angin
Memberikan informasi presentase kecepatan angin dalam setiap sektor mawar angin berguna untuk menampilkan sebaran kecepatan angin dari berbagai arah.
3. Satuan kecepatan angin
Daopat memilih satuan angin yang dituju, seperti knot atau meter per detik (m/s).

Software WRPLOT View yang digunakan adalah WRPLOT View version 8.02 License Type 1- Year.

2.11 Pemodelan Hidrodinamika dan Angkutan Sedimen

MIKE 21 adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh DHI Group sistem pemodelan yang mencakup untuk program komputer untuk 2D *free-surface flows* diaplikasikan untuk memodelkan gelombang, pasang surut, aliran laut, erosi pantai,

dan fenomena lainnya terkait dengan lingkungan pantai. Pada penelitian ini permodelan dengan *software* MIKE 21 simulasikan hidrodinamika dan simulasi sedimen dengan input data yang diperoleh. *Software* yang digunakan MIKE versi 2023 yang digunakan *license student labkit*.

2.11.1 *Hydrodynamic Module (HD)*

Hydrodynamic module (HD) merupakan model matematik untuk menjabarkan karakteristik hidrodinamika air terhadap berbagai macam peran gaya, angin tertentu dan muka air yang dianalisa/ditentukan. *Hydrodynamic module (HD)* akan memodelkan muka air dan arah arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya di danau, estuari dan pantai. Efek dan simulasi yang ada di dalam *hydrodynamic module (HD)*.

- a. *Bottom shear stress*
- b. *Wind shear stress*
- c. *Barometric pressure gradients*
- d. *Coriolis force*
- e. *Momentum dispersion*
- f. *Sources and sinks*
- g. *Evaporation*
- h. *Flooding and drying*
- i. *Wave radiation stresses*

Modul hidrodinamika (HD) terdiri dari berbagai persamaan seperti kontinuitas, momentum, temperature, salinitas, dan densitas (Abbott 1979; Abbott et al 1973). Seperti contoh *depth-integrated incompressible Reynolds averaged Navier-Stokes equations (DHI 2008b)*.

2.11.2 *Sand Transport Module (ST)*

Sand transport module (ST) merupakan modul untuk perhitungan volume angkutan sedimen dan perubahan muka air dasar yang terjadi untuk sedimen non-kohefif (pasir) akibat arus atau gabungan arus-gelombang. *Sand transport module (ST)* ini mencakup berbagai *area* pengaplikasian sebagai berikut :

- a. Pengelolaan garis pantai.
- b. Optimalisasi tata letak pelabuhan.
- c. Pekerjaan perlindungan pantai.
- d. Stabilitas pintu masuk pasang surut.
- e. Sedimentasi di saluran yang dikeruk atau pintu masuk pelabuhan.
- f. Morfologi sungai dan morfologi pesisir.

Sediment transport module (ST) non-kohefif, menghitung *transport rates* dari *graded sediment* dan *initial rates of bed level changes dz/dt* berdasar adanya pengaruh gelombang dan arus. Mike 21 (ST) menggunakan DHI's *deterministic intrawave sediment transport model (STP)* untuk mengkalkulasikan total (*bed load+suspended load*) *transport rates* dari *sediment non-kohefif*. *Bed load*, yang terpengaruh dari *bed shear stress*, bereaksi secara *instantaneously* dengan arus.

Dalam ketentuan pemodelan, hal ini disebut *equilibrium transport descripton* (DHI 2008c).

Beberapa item *output* yang dihasilkan dari *Sand Transport Module* (ST) sebagai berikut :

- a. *Suspended sediment concentration*
- b. *Suspended load, x-component*
- c. *Suspended load, y-component*
- d. *Total load, x-component*
- e. *Total load, y-component*
- f. *Rate of bed level change*
- g. *Bed level change*
- h. *Bed level*

