

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pelabuhan Ikan

Menurut Departemen Perhubungan (1983) Pelabuhan adalah suatu daerah tempat berlabuh dan atau bertambatnya kapal laut serta kendaraan lainnya untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, bongkar muat barang-barang yang semuanya adalah merupakan daerah lingkungan kerja aktivitas ekonomi dimana secara juridis terdapat hak-hak dan kewajiban-kewajiban yang harus dilakukan untuk kegiatan-kegiatan di pelabuhan tersebut. Kementerian Perhubungan membagi jenis-jenis pelabuhan perikanan ke dalam beberapa kategori, yaitu:

- a. Pelabuhan Perikanan kelas A, disebut Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS);
- b. Pelabuhan Perikanan kelas B, disebut Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN);
- c. Pelabuhan Perikanan kelas C, disebut Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP);
- d. Pelabuhan Perikanan kelas D, disebut Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI).

Adapun beberapa fasilitas untuk pelabuhan perikanan berdasarkan Permen KKP no. 08/2012 adalah:

- a. fasilitas pokok terdiri dari:
 - lahan,
 - dermaga,
 - kolam pelabuhan,
 - jalan komplek,
 - drainase.
- b. fasilitas fungsional terdiri dari:
 - kantor administrasi pelabuhan,
 - TPI,
 - suplai air bersih,
 - instalasi listrik dan;
- c. fasilitas penunjang terdiri dari:

- pos jaga,
- MCK.

Gambar 2.1 adalah salah satu lokasi Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) di Kalimantan Timur.



(a)

(b)

Gambar 2.1 (a) Kantor Pengurus dan (b) Dermaga PPI Api-Api, Kalimantan Timur

2.1.1 Klasifikasi Pelabuhan Perikanan

Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Indonesia No. Per. 08/Men/2012 pasal 5, pelabuhan perikanan diklasifikasikan dalam empat kelas sebagai berikut:

a. Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS)

Pelabuhan Perikanan kelas A atau Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) ditetapkan berdasarkan kriteria teknis dan operasional yang meliputi:

1. Kriteria teknis, terdiri dari:

- a) Mampu melayani kapal perikanan yang melakukan kegiatan perikanan di perairan Indonesia, Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia (ZEEI), dan laut lepas;
- b) Memiliki fasilitas tambat labuh untuk kapal perikanan berukuran sekurang-kurangnya 60 GT;
- c) Panjang dermaga sekurang-kurangnya 300 m, dengan kedalaman kolam sekurang-kurangnya minus 3 m;
- d) Mampu menampung kapal perikanan sekurang-kurangnya 100-unit atau jumlah keseluruhan sekurang-kurangnya 6.000 GT;
- e) Memanfaatkan dan mengelola lahan sekurang-kurangnya 20 ha.

2. Kriteria operasional, terdiri dari:
 - a) Ikan yang didaratkan sebagian untuk tujuan ekspor;
 - b) Terdapat aktivitas bongkar muat ikan dan pemasaran hasil perikanan rata-rata 50 ton per hari;
 - c) Terdapat industri pengolahan ikan dan industri penunjang lainnya.
- b. Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN)

Pelabuhan Perikanan kelas B atau Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN) ditetapkan berdasarkan kriteria teknis dan operasional yang meliputi:

 1. Kriteria teknis, terdiri dari:
 - a) mampu melayani kapal perikanan yang melakukan kegiatan perikanan di perairan Indonesia dan ZEEI;
 - b) memiliki fasilitas tambat labuh untuk kapal perikanan berukuran sekurang-kurangnya 30 GT;
 - c) panjang dermaga sekurang-kurangnya 150 m, dengan kedalaman kolam sekurang-kurangnya minus 3 m;
 - d) mampu menampung kapal perikanan sekurang-kurangnya 75-unit atau jumlah keseluruhan sekurang-kurangnya 2.250 GT;
 - e) memanfaatkan dan mengelola lahan sekurang-kurangnya 10 ha.
 2. Kriteria operasional, terdiri dari:
 - a) terdapat aktivitas bongkar muat ikan dan pemasaran hasil perikanan rata-rata 30 ton per hari;
 - b) terdapat industri pengolahan ikan dan industri penunjang lainnya.
- c. Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP)

Pelabuhan Perikanan kelas C atau Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) ditetapkan berdasarkan kriteria teknis dan operasional yang meliputi:

 1. Kriteria teknis, terdiri dari:
 - a) mampu melayani kapal perikanan yang melakukan kegiatan perikanan di perairan Indonesia;

- b) memiliki fasilitas tambat labuh untuk kapal perikanan berukuran sekurang-kurangnya 10 GT;
- c) panjang dermaga sekurang-kurangnya 100 m, dengan kedalaman kolam sekurang-kurangnya minus 2 m;
- d) mampu menampung kapal perikanan sekurangnya 30-unit atau jumlah keseluruhan sekurangnya 300 GT;
- e) memanfaatkan dan mengelola lahan sekurangnya 5 ha.

2. Kriteria operasional, terdiri dari:

- a) terdapat aktivitas bongkar muat ikan dan pemasaran hasil perikanan rata-rata 5 ton per hari;
- b) terdapat industri pengolahan ikan dan industri penunjang lainnya.

d. Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI)

Pelabuhan Perikanan kelas D atau Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) ditetapkan berdasarkan kriteria teknis dan operasional yang meliputi:

1. Kriteria teknis, terdiri dari:

- a) mampu melayani kapal perikanan yang melakukan kegiatan perikanan di perairan Indonesia;
- b) memiliki fasilitas tambat labuh untuk kapal perikanan berukuran sekurang-kurangnya 5 GT;
- c) panjang dermaga sekurang-kurangnya 50 m, dengan kedalaman kolam sekurang-kurangnya minus 1 m;
- d) mampu menampung kapal perikanan sekurangnya 15-unit atau jumlah keseluruhan sekurangnya 75 GT;
- e) memanfaatkan dan mengelola lahan sekurangnya 1 ha.

2.2 Dermaga di Pelabuhan Perikanan

Berdasarkan buku Perencanaan Pelabuhan (2009) Pelabuhan ikan menyediakan tempat bagi kapal-kapal ikan untuk melakukan kegiatan penangkapan ikan dan memberikan pelayanan yang diperlukan. Berbeda dengan pelabuhan umum di mana semua kegiatan seperti bongkar muat barang, pengisian perbekalan, perawatan dan perbaikan ringan dilakukan di dermaga yang sama; pada pelabuhan ikan sarana dermaga disediakan secara terpisah untuk berbagai kegiatan. Hal ini mengingat bahwa hasil tangkapan ikan adalah produk yang mudah busuk sehingga perlu penanganan secara cepat. Di samping itu jumlah kapal yang berlabuh di pelabuhan bisa cukup banyak sehingga penggunaan fasilitas pelabuhan, terutama dermaga harus dilakukan seefisien mungkin.

Pelabuhan ikan dilengkapi dengan berbagai fasilitas untuk mendukung kegiatan penangkapan ikan dan kegiatan-kegiatan pendukungnya, seperti pemecah gelombang, kantor pelabuhan, dermaga, tempat pelelangan ikan (TPI), tangki air, tangki BBM, pabrik es, ruang pendingin, tempat pelayanan/perbaikan kapal, dan tempat penjemuran jala. Untuk bisa memberikan pelayanan basil penangkapan ikan dengan cepat, maka dermaga pada pelabuhan ikan dibedakan menjadi tiga macam, yaitu 1) Dermaga bongkar, 2) dermaga perbekalan dan 3) dermaga tambat.

Berdasarkan Muliati (2020) untuk efisiensi operasional pelabuhan ikan dermaga dibagi menjadi dua jenis sesuai fungsinya, yaitu:

1. Dermaga bongkar, untuk membongkar hasil tangkapan;
2. Dermaga muat, untuk membuat kebutuhan penangkapan dan perawatan/perbaikan kapal.

Panjang dermaga ditetapkan dengan rumus empiris, sebagai berikut:

- a. Panjang dermaga bongkar:

$$L_b = \frac{n \times L_u \times Q \times S}{Dc \times U \times T_s} \quad (1)$$

- b. Panjang dermaga muat:

$$L_b = \frac{n \times L_u \times T_s \times S}{Dc \times T_m} \quad (2)$$

Dengan:

Lu = 1,1 Loa

n = Jumlah kapal yang beroperasi (unit/hari)

Ts = Waktu pelayanan kapal per jam (jam)

Dc = Rata-rata periode ulang pelayaran (hari/trip)

T = Waktu pelayanan per hari (jam/hari)

Tb = Waktu pelayanan bongkar per hari (jam/hari)

Tm = Waktu pelayanan muat per hari (jam/hari)

S = Faktor ketidaktentuan

Q = Tangkapan rata-rata per sekali pelayaran (ton/hari/trip)

U = Kecepatan bongkar rata-rata (ton/jam)

2.2.1 Kapal Ikan

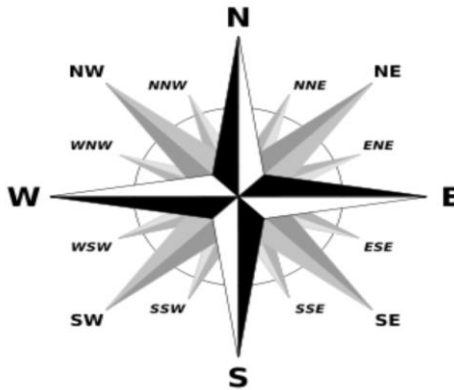
Definisi kapal perikanan adalah kapal atau alat tampung yang digunakan untuk menangkap ikan termasuk juga untuk survey dan eksplorasi sumberdaya hayati perairan. *Ability* atau kemampuan kapal yang baik tentunya sangat diharapkan untuk dapat menunjang efektifitas dan efisiensi kegiatan penangkapan ikan, dan pada akhirnya akan memberikan dampak yang baik atau keuntungan bagi usaha perikanan itu sendiri. Salah satu faktor yang mempengaruhi efektifitas dan efisiensi dari kapal adalah penggunaan daya (HP) dan mesin pendorong kapal. Selanjutnya dinyatakan bahwa tentunya penggunaan daya mesin pendorong ini disesuaikan dengan ukuran, kecepatan, dan tujuan dari penggunaan kapal tersebut dilapangan. Hal ini semestinya dapat dilakukan secara cermat lewat suatu kajian, tetapi pada kenyataannya dilapangan masih banyak nelayan belum mengetahui hal ini. Lewat suatu kajian dapat diketahui kebutuhan kecepatan kapal (Pamikiran, 2013). Tabel menunjukkan ukuran kapal ikan sesuai dengan bobot kapal.

Di dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2004 tentang Perikanan pasal 1 ayat (9), kapal perikanan diartikan sebagai kapal, perahu, atau alat apung lain yang digunakan untuk melakukan penangkapan ikan, mendukung operasi penangkapan ikan, pembudidayaan ikan, pengangkutan ikan, pengolahan ikan, pelatihan perikanan, dan penelitian/eksplorasi perikanan.

2.3 Angin

Angin adalah gerak udara yang sejajar dan tegak lurus dengan permukaan bumi yang bergerak dari daerah yang memiliki tekanan tinggi ke tekanan rendah. Angin diberi nama sesuai dari arah datangnya angin, contohnya angin laut merupakan angin yang berasal dari laut dan angin barat yang merupakan angin yang berasal dari barat (Tjasyono, 2004). Angin dipengaruhi oleh perbedaan tekanan, semakin besar perbedaan tekanan maka kecepatan angin akan semakin besar. Sama halnya dengan air sungai dimana semakin besar perbedaan kemiringan sungai maka aliran air sungai akan semakin besar. Angin yang tenang merupakan angin yang memiliki perbedaan isobar yang relatif kecil.

Angin merupakan salah satu komponen meteorologis yang memiliki pengaruh terhadap jumlah polutan yang ada di udara. Angin dapat mengurangi polutan dekat sumber emisi, tetapi dapat membawa polutan ke tempat yang lebih jauh (Miller, 1982). Terdapat enam belas arah mata angin menurut klimatologis, berikut ditampilkan sesuai pada Gambar 2.7.



Gambar 2.2 Enam Belas Arah Mata Angin
(Sumber: Hermanto, 2004)

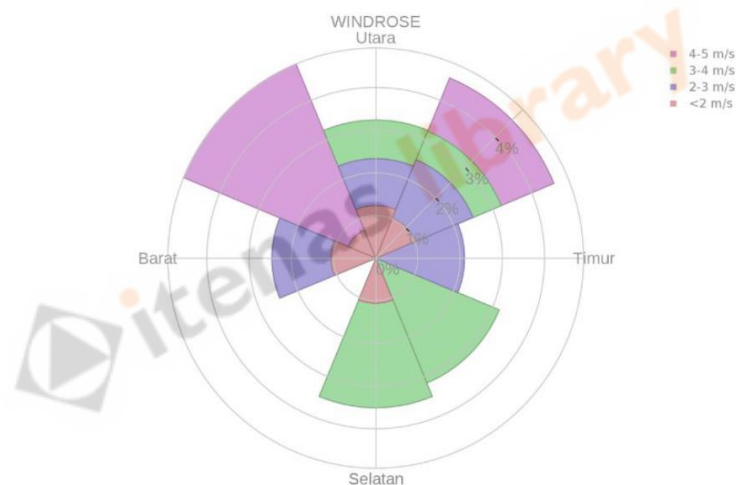
Tabel 2.1 Keterangan Enam Belas Arah Mata Angin

No	B. Indonesia	Singkat	B. Inggris	Singkat	Derajat
1	Utara	U	<i>North</i>	N	0 atau 360
2	Utara Timur Laut	UTL	<i>North Northeast</i>	NNE	22,5
3	Timur Laut	TL	<i>Northeast</i>	NE	45
4	Timur Timur Laut	TTL	<i>East Northeast</i>	ENE	67,5
5	Timur	T	<i>East</i>	E	90
6	Timur Menenggara	TM	<i>East Southeast</i>	ESE	112,5
7	Tenggara	TG	<i>Southeast</i>	S	135
8	Selatan Menenggara	SM	<i>South Southeast</i>	SSE	157,5
9	Selatan	S	<i>South</i>	S	180
10	Selatan Barat Daya	SBD	<i>South Southwest</i>	SSW	202,5
11	Barat Daya	BD	<i>Southwest</i>	SW	225
12	Barat Barat Daya	BBD	<i>West Southwest</i>	WSW	247,5
13	Barat	B	<i>West</i>	W	270
14	Barat Barat Laut	BBL	<i>West Northwest</i>	WNW	292,5
15	Barat Laut	BL	<i>Northwest</i>	NW	315
16	Utara Barat Laut	UBL	<i>North Northwest</i>	NNW	337,5

2.3.1 Windrose

Data angin dapat diperoleh dari data yang tersedia di bandar udara terdekat atau Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Gelombang akibat angin ini merupakan hal yang paling penting di dalam ilmu teknik pantai (Herbich, 2000).

Untuk merepresentasikan data angin, maka biasanya digunakan diagram mawar angin atau dikenal juga sebagai *windrose*. *Windrose* merupakan diagram yang mempresentasikan nilai kecepatan angin pada setiap arah mata angin dengan tujuan untuk mengetahui arah dominan angin yang terjadi pada tempat yang diteliti. Diagram *windrose* membantu untuk menggambarkan pola angin pada suatu tempat, diagram *windsore* merupakan cara yang umum digunakan untuk menggambarkan data angin, dapat diukur dengan *speed distribution* dan *frequency distribution*. *Windrose* dapat merupakan data tahunan, atau pada rentang waktu tertentu. Berikut yang ditampilkan pada Gambar 2.8. merupakan salah satu contoh diagram *windrose*.



Gambar 2.3 Diagram *Windrose*
(Sumber: Suwarti, 2017)

2.4 Peramalan Pasang Surut

Pasang surut atau pasut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil (Dronkers, 1964). Faktor non astronomi yang mempengaruhi

pasut terutama di perairan semi tertutup (teluk) antara lain adalah bentuk garis pantai dan topografi dasar perairan (Bishop, 1984).

Berdasarkan buku (Triatmodjo, 2009), elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasar data pasang surut, yang dapat digunakan sebagai pedoman di dalam perencanaan suatu pelabuhan. Beberapa elevasi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Muka air tinggi (*high water level*, HWL), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut;
2. Muka air rendah (*low water level*, LWL), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut;
3. Muka air tinggi rerata (*mean high water level*, MHWL), adalah rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun;
4. Muka air rendah rerata (*mean low water level*, MLWL), adalah muka air rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun;
5. Muka air laut rerata (*mean sea level*, MSL), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan;
6. Muka air tinggi tertinggi (*highest high-water level*, HHWL), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati;
7. Air rendah terendah (*lowest low water level*, LLWL), adalah air pada saat pasang surut purnama atau bulan mati;
8. *Higher high-water level*, adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut tipe campuran;
9. *Lower low water level*, adalah air terendah dari dua air rendah dalam satu hari.

Beberapa definisi muka air tersebut banyak digunakan dalam perencanaan bangunan pelabuhan, misalnya MHWL atau HHWL digunakan untuk menentukan elevasi puncak pemecah gelombang, dermaga, panjang rantai pelampung penambat,

dan sebagainya. Sedang LLWL diperlukan untuk menentukan kedalaman alur pelayaran dan kolam pelabuhan.

2.5 Gelombang

Gelombang biasanya digunakan untuk merencanakan bangunan-bangunan seperti pelabuhan, yaitu untuk pemecah gelombang, studi ketenangan di pelabuhan dan fasilitas lainnya. Gelombang juga bisa menimbulkan arus dan transpor sedimen di daerah pantai (Triatmodjo, 1996). Gelombang yang terjadi di alam adalah sangat kompleks dan tidak dapat dirumuskan dengan akurat. Akan tetapi dalam mempelajari fenomena gelombang yang terjadi di alam dilakukan beberapa asumsi sehingga muncul beberapa teori gelombang seperti teori Airy atau teori gelombang linier (teori gelombang amplitudo kecil bahwa “Asumsi tinggi gelombang adalah sangat kecil jika dibandingkan terhadap panjang gelombang atau kedalaman laut” (Triatmodjo, 1996). Asumsi-asumsi tersebut adalah (Zakaria, 2009):

1. Air laut adalah homogen, sehingga rapat massanya adalah konstan;
2. Air laut tidak mampu mampat;
3. Tegangan permukaan yang terjadi diabaikan;
4. Tegangan pada permukaan adalah konstan;
5. Amplitudo gelombang, kecil dibandingkan dengan panjang gelombang;
6. Gerak gelombang tegak lurus terhadap arah penjalarannya.

Angin yang berhembus di atas permukaan air yang semula tenang, akan menyebabkan gangguan pada permukaan tersebut, dengan timbulnya riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk. Tinggi dan perioda gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh kecepatan angin U , lama hembus angin D , dan *fetch* F yaitu panjang permukaan laut pada mana angin berhembus.

Sebagai gambaran umum, di bawah ini terdapat skema kriteria besar gelombang yang cukup agar suatu jenis kapal dapat melakukan bongkar muat sesuai gambar yang dimuatnya, yaitu:

Tabel 2.2 Tinggi Gelombang yang Diperkenankan Dikaitkan dengan Besaran Ukuran dan Jenis Kapal
(Sumber: Kramadibrata, 2002)

Jenis Kapal Barang	Ukuran kapal (DWT)	Ukuran Tinggi Gelombang
Barang padat umum	Kapal : 1000 DWT	0,2 m
	Kapal : (1000 -3000)DWT	0,6 m
	Kapal : (1300-15000) DWT	0,8 m
	Kapal RO/RO (<i>Roll on/Roll off</i>)	0,2 m
Barang cair /gas	kapal tanker (uk.50.000 DWT)	1,2 m
Barang khusus	LASH (<i>lighter aboard ship</i>)	0,6
	kapal peti kemas	
	BACAT (<i>barge aboard Catamaran</i>)	

Untuk memungkinkan agar kapal dapat melakukan bongkar muat biasanya di buat pelabuhan buatan. pelabuhan ini dibangun dengan tujuan memperkecil tinggi gelombang datang, yaitu dengan cara melindungi daerah lautnya dengan pemecah gelombang (*breakwater*).

2.5.1 Menghitung *Fetch* Efektif

Pada tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukkan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Asumsi penentuan *fetch* efektif adalah:

1. Angin berhembus melalui permukaan air dengan lintasan yang berupa garis lurus;
2. Angin berhembus dengan memindahkan energinya dalam arah gerakan angin menyebar dalam radius 45° ke kanan dan kiri terhadap arah angin;

3. Angin memindahkan satu unit energinya pada air dalam arah pergerakan angin ditambah satu satuan energi yang ditentukan oleh harga cosinus sudut antara jari-jari terhadap arah angin.

Dengan menggunakan asumsi fetch efektif, maka kita dapat mengukur panjangnya dengan arah angin rata-rata dominan. Langkah menentukan panjang *fetch* efektif yaitu:

1. Menentukan arah angin yang dominan;
2. Menarik 17 buah jari-jari dari titik peramalan dengan selang 3° di sisi pertama kanan kiri sumbu utama dan 6° untuk sudut selanjutnya hingga membentuk sudut 45° di sisi kanan dan kiri sumbu utama. Sumbu utama merupakan arah yang berimpit dengan arah dominan angin;
3. Menghitung panjang jari-jari dari titik peramalan sampai titik dimana jari-jari tersebut memotong daratan untuk pertama kalinya (X_i) serta dihitung pula cosinus sudut jari-jari terhadap sumbu ($\cos \alpha_i$);
4. Mengitung fetch efektif dengan rumus:

$$F_{eff} = \frac{\sum(x_i \times \cos \alpha_i)}{\sum \cos \alpha_i} \quad (3)$$

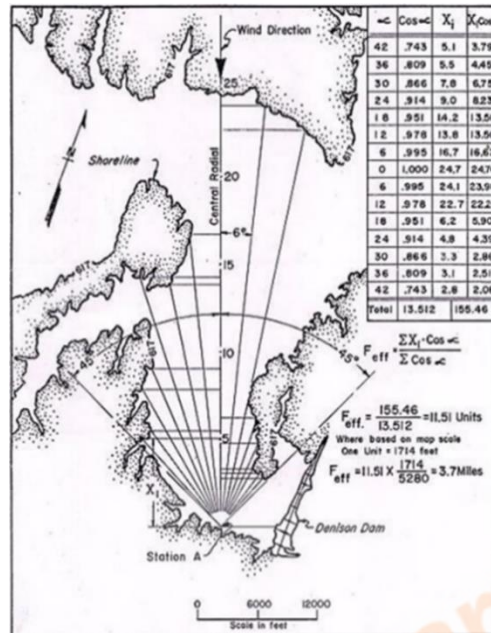
Dengan,

F_{eff} : *Fetch* efektif;

X_i : Proyeksi radial pada arah angin;

α_i : Sudut antara jalur *fetch* yang ditinjau dengan arah angin dominan.

Panjang maksimum fetch di titik pengamatan yang langsung berhadapan ke laut lepas (tidak ada rintangan terhadap angin) adalah 200 km.



Gambar 2.4 *Fetch* efektif
(Sumber: *Shore Protection Manual*, 1984)

2.6 Peramalan Gelombang

Tinggi gelombang yang diramalkan dari data angin dapat dibedakan sebagai tinggi gelombang spektrum (*spectral wave height*) H_{mo} dan tinggi gelombang signifikan (*significant wave height*) H_s . H_{mo} diperoleh dari analisis spektrum gelombang, sedangkan H_s diperoleh dari analisis statistik.

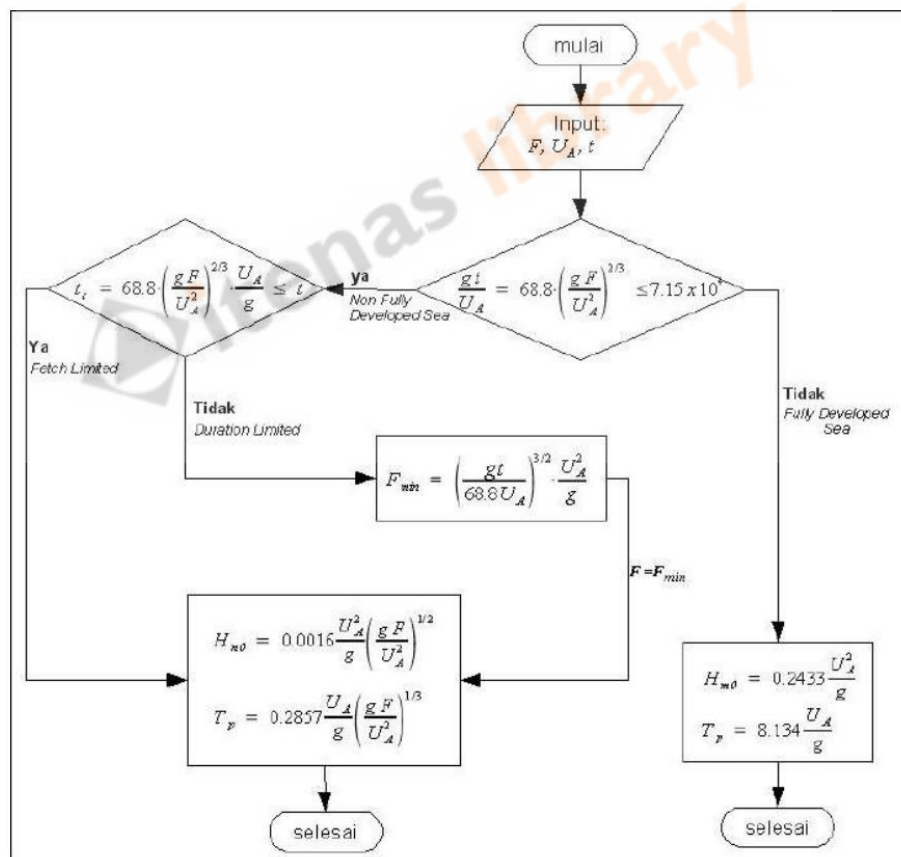
Bila durasi angin bertiup cukup lama sehingga tidak terjadi lagi pertumbuhan tinggi gelombang, maka kondisi ini disebut *fully-developed seas* (waktu dan *fetch* tidak terbatas). Dalam hal ini panjang *fetch* efektif dianggap tidak terbatas. Kondisi yang berkebalikan disebut dengan *non-fully-developed seas*. Kondisi *non-fully-developed seas* dibagi menjadi *time limited* dimana pertumbuhan gelombang dibatasi oleh durasi angin bertiup (*fetch* yang terbentuk panjang) dan *fetch limited* dimana pertumbuhan gelombang dibatasi oleh panjang *fetch* (waktu pembentukan pendek). Pembentukan gelombang di laut dianalisis dengan formula-formula empiris yang diturunkan dari

model parametrik berdasarkan (*Shore Protection Manual*, 1984) di kondisi perairan dalam dan dangkal. Berikut adalah rumus pertumbuhan gelombang:

$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \left(\frac{gF_{ef}}{U_A^2} \right)^{2/3} \quad (4)$$

Dengan,

- g : Percepatan gravitasi local (m/s²);
- t : Durasi angin bertiup (s);
- U_A : Koefisien geser angin (m/s);
- F_{ef} : Panjang *fetch* efektif (m).



Gambar 2.5 Bagan Alir Metode SPM
(Sumber: Muliati, 2020)

2.6.1 Refraksi gelombang

Refraksi dan pendangkalan gelombang adalah perubahan gelombang dikarenakan adanya perubahan kedalaman laut. Refraksi dapat menentukan tinggi gelombang disuatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Perubahan arah gelombang karena refraksi tersebut menghasilkan penyebaran energi gelombang dan mempengaruhi energi gelombang yang terjadi disuatu tempat di daerah pantai. Kecepatan merambat puncak gelombang pada perairan yang dangkal akan lebih kecil dibandingkan dengan puncak gelombang pada laut dalam.

Berikut persamaan-persamaan yang dipakai, bersumber pada buku Teknik Pantai Bambang Triatmodjo, 1999:

- Koefisien Refraksi

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_0}} \quad (5)$$

Dimana pada hukum *Snell* berlaku apabila ditinjau gelombang di laut dalam dan disuatu titik yang ditinjau, yaitu:

$$\sin \alpha = \left(\frac{C}{C_0}\right) \sin \alpha_0 \quad (6)$$

Keterangan:

Kr : Koefisien Refraksi

α : sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut di titik yang ditinjau ($^{\circ}$)

α_0 : sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai ($^{\circ}$)

C : kecepatan rambat gelombang (m/s)

C_0 : kecepatan rambat gelombang di laut dalam (m/s)

- Koefisien *Shoaling*

$$K_s = \sqrt{\frac{n_o L_o}{nL}} \quad (7)$$

Keterangan:

K_s : Koefisien Pendangkalan (*shoaling*)

L : Panjang gelombang (m)

L_o : Panjang gelombang di laut dalam (m)

- Tinggi Gelombang

Tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi gelombang dan pendangkalan (*wave shoaling*), diberikan oleh rumus:

$$H = K_s \times K_r \times H_o \quad (8)$$

Keterangan:

H_o : Tinggi gelombang laut dalam (m)

K_s : Koefisien pendangkalan (*shoaling*)

K_r : Koefisien refraksi

2.6.2 Gelombang pecah

Gelombang pecah adalah suatu sistem yang sangat kompleks. Bahkan dalam beberapa jarak sebelum gelombang pecah, bentuknya tidak sinusoidal lagi. Jika terjadi gelombang pecah, maka energi yang diterima dari angin akan berkurang. Beberapa energi dibalikkan kembali ke laut, jumlahnya bergantung kepada kemiringan pantai, semakin kecil sudut kemiringan pantai, semakin kecil energi yang dibalikkan. Kebanyakan energi berkurang sebagai panas dalam percampuran skala kecil dari buih air dan pasir. Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi:

1. *Spilling* terjadi apabila gelombang dengan kemiringan yang kecil menuju ke pantai yang datar, gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya berangsur-angsur.

2. *Plunging* terjadi apabila kemiringan gelombang dan dasar laut bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan masa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan.
3. *Surging* terjadi pada pantai dengan kemiringan yang cukup besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang. Daerah gelombang pecah sangat sempit dan energi dipantulkan kembali ke laut dalam.

2.7 Pemodelan numerik Delft3D

Delft3D merupakan 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 (Arizal, 2011). Delft3D terdiri dari beberapa sistem dan fungsi yaitu:

- a. Delft3D-FLOW : Simulasi pasang surut, aliran sungai dan banjir;
- b. Delft3D-WAVE : perambatan gelombang
- c. Delft3d-WAQ : kualitas air pada daerah *far-field*
- d. Delft3D-ECO : pemodelan ekologi
- e. Delft3D-SED : pengangkutan sedimen
- f. Delft3D-PART : kualitas air dan gerakan partikel pada daerah *Midfield*

2.7.1 Delft3D-FLOW

Pada pemodelan ini menggunakan Delft3D-Flow dan Delft3D-Wave. 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 cartessian* 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 (Lesser et al 2004).

a. Persamaan momentum dalam arah horizontal

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u \partial u}{\sqrt{G\zeta\zeta} \partial \zeta} + \frac{v \partial u}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega \partial u}{d + \zeta \partial \sigma} - \frac{V^2 \sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} \\ + \frac{uv \sqrt{G\zeta\zeta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} - Fv \\ = \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G\zeta\zeta}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u \partial u}{\sqrt{G\zeta\zeta} \partial \zeta} + \frac{v \partial u}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega \partial u}{d + \zeta \partial \sigma} - \frac{uv \sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} \\ + \frac{V^2 \sqrt{G\zeta\zeta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} - Fv \\ = \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G\zeta\zeta}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta \end{aligned} \quad (10)$$

b. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{1 \partial [(d + \zeta)U \sqrt{G\eta\eta}]}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta} \partial \zeta} + \frac{1 \partial [(d + \zeta)V \sqrt{G\zeta\zeta}]}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta} \partial \eta} = (d + \zeta)Q \quad (11)$$

Dengan U dan V dirata – ratakan terhadap kedalaman:

$$U = \frac{1}{d + \zeta} \int_4^6 u dz = \int_{-1}^0 u d\sigma \quad (12)$$

$$V = \frac{1}{d + \zeta} \int_4^6 v dz = \int_{-1}^0 v d\sigma \quad (13)$$

Dimana Q menunjukkan faktor per unit area:

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad (14)$$

keterangan:

$\sqrt{G\zeta\zeta}$ = Koefisien transformasi kurvalimier (m);

$\sqrt{G\eta\eta}$ = Koefisien transformasi (m);

G = Percepatan gravitasi (m/s²);

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

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

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

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

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

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

ω = Frekuensi sudut pasang surut dan atau komponen Fourier;

ζ = Elevasi muka air (m).

c. Persamaan transpor sedimen

$$|S_b| = 0.006\eta\rho_w d_{50}^1 M^{0.5} M^{0.7} \quad (15)$$

keterangan:

S_b = Transport sedimen dasar (kg/m/s)

η = Fraksi sedimen pada lapisan campuran (mixing layers)

M = Pergerakan sedimen akibat gelombang dan arus

M_c = Pergerakan kelebihan sedimen

W₁ = Kecepatan jatuh

dengan nilai yang di definisikan sebagai:

$$M = \frac{V_{eff}^2}{(s-1)gd_{50}} \quad (16)$$

$$M = \frac{(V_{eff} - V_{eff})^2}{(s - 1)gd50} \quad (17)$$

$$V_{eff} = \sqrt{V_R^2 + V_{50}^2} \quad (18)$$

keterangan:

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

2.7.2 Delft3D-WAVE

Delft3D-WAVE adalah sistem bagian dari Delft3D yang berfungsi untuk mensimulasikan perambatan gelombang yang dihasilkan di perairan pantai. Delft3D-WAVE juga dapat diterapkan di perairan dalam, menengah dan dangkal (Anonim, 2007). WAVE-GUI (*Graphical User Interface*) alat yang digunakan untuk memberikan nilai pada semua parameter yang digunakan untuk mengimpor nama atribut file ke MDW-file. MDW-file adalah input untuk simulasi gelombang

Adapun persamaan yang digunakan adalah Persamaan keseimbangan spektral gelombang dari (Hasselmann et al. ,1973)

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} cxN + \frac{\partial}{\partial y} cyN + \frac{\partial}{\partial \sigma} c\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (19)$$

Suku pertama di sisi kiri persamaan ini mewakili laju lokal dari perubahan kepadatan dalam waktu, suku kedua dan ketiga mewakili penyebaran aksi dalam ruang geografis (dengan kecepatan propagasi c_x dan c_y di x - dan y -space, masing-masing). Istilah keempat merupakan pergeseran frekuensi relatif karena variasi kedalaman dan arus (dengan kecepatan propagasi c_σ di σ -space). Istilah kelima mewakili refraksi induksi kedalaman dan arus (dengan kecepatan propagasi ruang c_θ di θ). Ekspresi

kecepatan propagasi ini diambil dari teori gelombang linier (Whitham, 1974; Mei, 1983; Dingemans, 1997). $S (=S(\sigma, \theta))$ di sisi kanan persamaan keseimbangan aksi adalah istilah sumber dalam hal kerapatan energi yang mewakili efek pembangkitan, disipasi, dan interaksi gelombang-gelombang non linear.

