

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Kondisi Eksisting

Kondisi eksisting adalah kondisi lingkungan tentang rata-rata ketinggian gelombang pecah, arus, dan topografi bawah laut yang ada di lokasi tinjauan. Data ketinggian gelombang, *fetch*, arah dan kecepatan angin, pasang surut yang terkumpul melalui pengamatan stasiun meteorologi setiap jam dalam jangka waktu yang lama dapat digunakan sebagai salah satu dasar uji kelayakan *Breakwater* di suatu pelabuhan perikanan melalui analisis kondisi eksisting. Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan *Breakwater* adalah penentuan tinggi gelombang yang memungkinkan di lokasi rencana pembangunan. Berdasarkan rekomendasi Triatmodjo (1999), tinggi gelombang yang diizinkan dalam kolam pelabuhan dengan kapal jenis kecil (bobot kurang dari 500 GRT) adalah 0,3 meter.

2.1.1 Gelombang

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut yang diakibatkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak dsb. Di antara beberapa bentuk gelombang tersebut yang paling penting dalam bidang teknik pantai adalah gelombang pasang surut dan gelombang angin (Triatmodjo, 1999).

2.1.2 Angin

Angin yang berhembus mengakibatkan permukaan air laut yang mulanya tenang menjadi timbul riak air atau gelombang kecil. Dengan bertambahnya kecepatan dan durasi hembusan maka riak tersebut akan menjadi semakin besar kemudian membentuk gelombang (Cempaka, 2012).

2.1.2.1 Distribusi Kecepatan Angin

Distribusi kecepatan angin di atas permukaan air laut dibagi menjadi tiga daerah sesuai dengan elevasi di atas permukaan. Di daerah geostropik yang berada

1000 meter di atas permukaan air laut, kecepatan angin adalah konstan. Daerah Ekman yang berada pada ketinggian 100 – 1000 meter dan daerah dimana tegangan konstan yang berada pada elevasi 10 – 100 meter, di daerah tersebut kecepatan dan arah angin berubah sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperature antara airdan udara. Di daerah tegangan konstan, profil vertikal dari kecepatan angin mempunyai bentuk berikut (Triatmodjo, 1999):

$$U(y) = \frac{U}{K} \left\{ \ln \left(\frac{y}{y_0} \right) - \psi \left(\frac{y}{L} \right) \right\} \quad (2.1)$$

Keterangan:

U = Kecepatan geser.

K = Koefisien von Karman (K= 0,4).

y = Elevasi terhadap muka air.

y₀ = Tinggi kekasaran permukaan.

L = Panjang campur yang tergantung pada perbedaan temperature antara air dan udara (ΔT as).

ψ = Fungsi yang tergantung pada perbedaan temperature antara air dan udara.

Di Indonesia, mengingat perbedaan antara air laut dan udara kecil, maka parameter ini diabaikan. Apabila angin tidak diukur pada elevasi 10 meter, maka kecepatan angin harus dikonversi pada elevasi tersebut. Untuk memudahkan perhitungan, maka dapat digunakan persamaan yang sederhana berikut :

$$U(10) = U(y) \left(\frac{10}{y} \right)^{1/7} \quad (2.2)$$

2.1.2.2 Data angin

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data angin dipermukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut atau pengukuran di darat kemudian di konversi menjadi data angin di laut. Kecepatan angin di ukur dengan Anemometer, dan biasanya dinyatakan dengan knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau 1 knot = 1,852 km/jam = 0,5 m/d. Data angin dicatat tiap jam dan di sajikan dalam tabel, sehingga

dapat diketahui angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan angin maksimum, arah angin dapat pula dihitung kecepatan angin rerata harian (Cempaka, 2012).

2.1.2.3 Konversi Kecepatan Angin

Pengukuran gelombang dilakukan dengan cara menganalisis data angin menggunakan data angin yang ada diatas permukaan laut, tetapi biasanya data angin yang ada adalah data angin hasil pengukuran di darat. Oleh karena itu perlu diadakan transformasi dan koreksi-koreksi dari data angin diatas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut (Cempaka, 2012; Triatmodjo, 1999).

2.1.2.3.1 Koreksi Letak Pengukuran Kecepatan Angin

Koreksi ini diperlukan bila data angin yang diperoleh berasal dari stasiun darat, bukan diukur langsung di atas permukaan laut, ataupun di tepi pantai. Rumus yang dipakai untuk menghitung koreksi pengukuran kecepatan angin akibat perbedaan ketinggian tempat pengukuran adalah

$$R_L = \frac{U_w}{U_L} \quad (2.3)$$

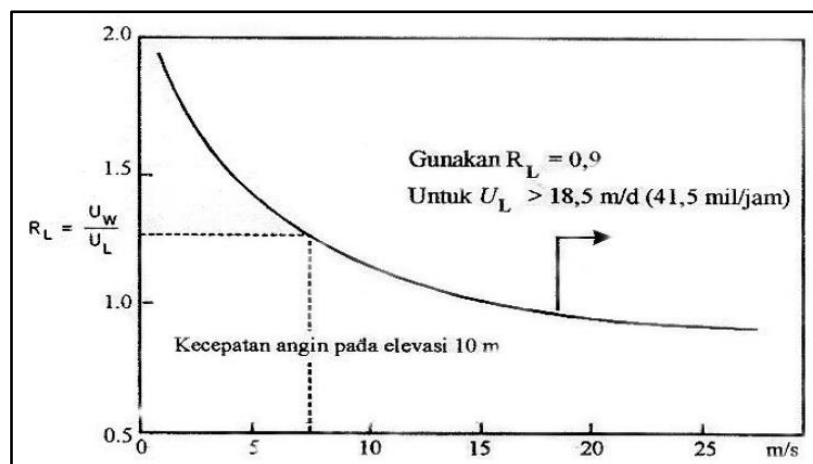
Keterangan:

R_L = Faktor koreksi akibat perbedaan ketinggian.

U_w = Kecepatan di atas permukaan laut (m/s).

U_L = Kecepatan angin di atas daratan (m/s).

Nilai koreksi ini juga bisa diketahui dengan melihat Grafik R_L seperti pada Gambar 2.1 berikut ini :



Gambar 2.1 Grafik Korelasi Akibat Perbedaan Ketinggian (Triatmodjo, 1999)

2.1.2.4 Koreksi terhadap temperatur pada lokasi pengukuran

Pengukuran data angin dipermukaan laut adalah paling sesuai untuk peramalan gelombang. Hasil dari perhitungan kecepatan angin tersebut diatas kemudian dikonversikan menjadi faktor tegangan angin (UA) dengan menggunakan rumus (Triatmodjo, 1999):

$$U_A = 0,71.U^{1,23} \quad (2.4)$$

Dimana U adalah kecepatan angin dalam m/s.

2.1.2.5 Fetch

Fetch adalah panjang daerah dimana angin berhembus dengan kecepatan dan arah yang konstan (Nuryana, I. G. A. A., *et al*, 2017). Dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga berbagai sudut terhadap arah angin. Panjang *fetch* adalah panjang laut dibatasi oleh pulau-pulau pada kedua ujungnya.

2.1.3 Deformasi Gelombang

Deformasi gelombang adalah perubahan karakteristik gelombang seperti tinggi, periode, panjang, arah dan sebagainya akibat pengaruh perubahan kedalaman dasar laut, kemiringan dasar laut yang tidak sejajar dengan arahnya datang gelombang, dan lain-lain. Perubahan bentuk gelombang ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti refraksi gelombang, refleksi gelombang, difraksi gelombang, serta gelombang pecah (Rizal, Jansen, & Thambas, 2021).

2.1.3.1 Gelombang Pecah

Gelombang pecah adalah bentuk deformasi gelombang yang paling ekstrim. Pada saat suatu gelombang pecah, energi gelombang akan sekaligus terlepas. Energi gelombang akan membangkitkan arus dan mempengaruhi pergerakan sedimen dalam arah tegak lurus pantai dan sejajar pantai (*longshore*). Penentuan tinggi gelombang pecah (H_b) disajikan pada persamaan 2.5 dan kedalaman air dimana gelombang pecah disajikan pada persamaan 2.6 sebagai berikut ini:

$$\frac{H_b}{H'o} = \frac{1}{3,33(H'o / L_o)^{\frac{1}{3}}} \quad (2.5)$$

$$\frac{db}{Hb} = \frac{1}{b \left(a \cdot \frac{Hb}{gT^2} \right)} \quad (2.6)$$

Dimana a dan b merupakan fungsi kemiringan pantai m dan di berikan oleh persamaan berikut (Triatmodjo, 1999):

$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) \quad (2.7)$$

$$b = \frac{1,56}{1 + e^{-19,5m}} \quad (2.8)$$

2.1.3.2 Gelombang Rencana

Elevasi gelombang rencana atau elevasi muka air laut rencana dipengaruhi oleh tinggi *wave set up*, estimasi kenaikan muka air akibat pemanasan global dan kenaikan muka air akibat angin/badai. Berikut merupakan persamaan untuk mengestimasi tinggi gelombang rencana yang digunakan (CERC, 1984).

$$\text{Elevasi Gelombang Rencana} = MHWL + S_w + S_{LR} + \Delta h \quad (2.9)$$

Keterangan:

MHWL = Mean High Water Level (m)

S_w = Wave Set Up di Daerah Gelombang Pecah (m)

S_{LR} = Kenaikan Muka Air Laut Karena Pemanasan Global (m)

Δh = Kenaikan Elevasi Muka Air karena Angin/ Badai

Tinggi gelombang rencana diperoleh dari analisis distribusi statistik suatu seri data gelombang (data gelombang jam-jaman atau data gelombang harian) dengan menggunakan metode distribusi *Weibull* dan *Gumbell (Fisher – Tippet Type 1)*. Pada kedua metode tersebut prediksi dilakukan untuk memperkirakan tinggi gelombang signifikan dengan berbagai periode ulang. Kedua distribusi tersebut mempunyai bentuk persamaan sebagai berikut (Triatmodjo, 1999):

1. Fisher-Tippet type 1

$$P(H_s \leq \widehat{H}_{sm}) = 1 - \frac{m-0.44}{N_T+0.12} \quad (2.10)$$

2. Weibull

$$P(H_s \leq \widehat{H}_{sm}) = 1 - \frac{m-0.2 \cdot \frac{0.27}{\sqrt{k}}}{N_T+0.1 + \frac{0.23}{\sqrt{k}}} \quad (2.11)$$

dimana:

$P(H_s \leq \widehat{H}_{sm})$: Probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke m yang

tidak dilampaui

H_{sm} : Tinggi Gelombang urutan ke m

m : Nomor urut tinggi gelombang signifikan = $1, 2, \dots, N$

N_T : jumlah kejadian gelombang selama pencatatan

Hitungan tinggi gelombang urutan ke- m didasarkan pada analisis regresi linier sebagai berikut (Triatmodjo, 1999):

$$H_{sm} = \hat{A} y_m + B \quad (2.12)$$

Parameter A dan B di dalam persamaan di atas dihitung dari kuadrat terkecil untuk setiap tipe distribusi yang digunakan. Dimana y_m diberikan oleh bentuk berikut:

Untuk distribusi *Fisher-Tippet Type I* :

$$y_m = -\ln \left\{ -\ln P(H_s \leq \widehat{H}_{sm}) \right\} \quad (2.13)$$

Untuk distribusi *Weibull* :

$$y_m = -\ln \left\{ 1 - P(H_s \leq \widehat{H}_{sm}) \right\}^{1/k} \quad (2.14)$$

Dari semua perhitungan diatas maka tinggi gelombang signifikan dengan berbagai periode ulang dihitung dari fungsi distribusi probabilitas dengan rumus sebagai berikut:

$$H_{sr} = \hat{A} y_r + B \quad (2.15)$$

Dimana y_r diberikan oleh bentuk berikut:

Untuk distribusi *Fisher-Tippet Type I* :

$$y_r = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{LTr} \right) \right\} \quad (2.16)$$

Untuk distribusi *Weibull* :

$$y_r = [\ln(L.Tr)]^{1/k} \quad (2.17)$$

dimana:

H_{nr} : tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

T_r : Periode ulang (tahun)

k : Panjang data (tahun)

L : Rerata jumlah kejadian per tahun = $\frac{N_T}{K}$

2.1.4 Pasang Surut

Pasang surut merupakan fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi.

Karakteristik pasang surut di perairan dipengaruhi oleh letak geografis, morfologi pantai, maupun batimetri perairan. Karakteristik pasang surut memberikan informasi berupa tipe pasang surut dan fluktuasi muka air laut yang dapat digunakan sebagai acuan pengembangan pelabuhan. Ada empat model pasang surut yang bisa dibedakan yaitu pasang surut harian tunggal, pasang surut campuran condong harian tunggal, pasang surut harian ganda, dan pasang surut campuran condong ke harian ganda (Rizal, Jansen, & Thambas, 2021).

2.1.4.1 Tipe Pasang Surut

Tipe pasang surut secara umum dapat dikelompokkan menjadi 4, yaitu (Triatmodjo, 1999):

1. Pasang Surut Harian Ganda (*semi diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi dua kali pasang surut yang tinggi gelombangnya hampir sama dan pasang surut yang terjadi secara berurutan dan teratur. Periode pasang surut ini rata-rata adalah 12 jam 24 menit.

2. Pasang Surut Harian Tunggal (*diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut. Periode pasang surut jenis ini adalah 24 jam 50 menit.

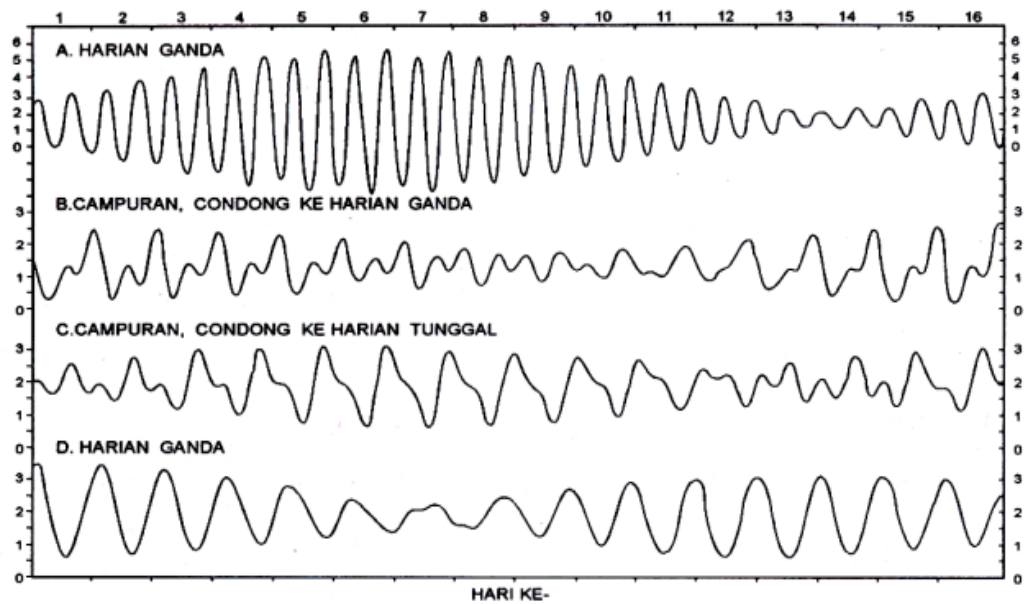
3. Pasang Surut Campuran Cenderung Ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)

Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, namun tinggi gelombangnya berbeda, begitu juga periode gelombangnya.

4. Pasang Surut Campuran Cenderung Tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

Pada tipe ini, terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam sehari. Tetapi kadang-kadang, untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan periode dan tinggi gelombang yang berbeda.

Tipe pasang surut dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.2 Tipe Pasang Surut (Triatmodjo, 1999)

Klasifikasi tipe pasang surut dapat menggunakan nilai *Formzall*, dihitung berdasarkan nilai *F* sebagai berikut:

$$F = \frac{A(k_1) + (Q_1)}{A(M_2) + A(S_2)} \quad (2.18)$$

Dimana:

$0 < F < 0.25$: pasut semi diurnal murni

$0.25 < F < 1.5$: pasut campuran semi diurnal

$1.5 < F < 3.0$: pasut campuran diurnal

$F < 3.0$: pasut diurnal murni

2.1.4.2 Elevasi Muka Air Laut

Elevasi muka air laut rencana termasuk parameter penting dalam perencanaan bangunan pantai. Fluktuasi dari elevasi muka air tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter seperti pasang surut, *wave set up*, *wind set up*, serta parameter lain berupa kenaikan muka air akibat pemanasan global maupun tsunami (Rizal, Jansen, & Thambas, 2021).

Analisa pasang surut dilakukan untuk memperoleh elevasi muka air penting yang menentukan dalam perencanaan. Pengolahan data pasang surut ini dilakukan dengan menggunakan metode *Least Square*. Metode *Least Squares* merupakan metode analisis harmonik yang menguraikan gelombang pasang surut menjadi

beberapa komponen harmonik pasang surut dimana ketinggian muka air yang disebabkan oleh gelombang pasang surut. Persamaan yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

$$ht_i = S_0 + \sum_1^n H_n \cos[\omega_n t_i + g_n] \quad (2.19)$$

$$ht_i = S_0 + \sum_1^n H_n [\cos(\omega_n t_i) \cos(g_n) - \sin(\omega_n t_i) \sin(g_n)] \quad (2.20)$$

$$ht_i = S_0 + \sum_1^n A_n \cos(\omega_n t_i) - \sum_1^n B_n \sin(\omega_n t_i) \quad (2.21)$$

$$H_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \quad (2.22)$$

$$g_n = \arctg\left(\frac{B_n}{A_n}\right) \quad (2.23)$$

Dimana:

$A_n = H_n \cos(g_n)$ dalam satuan meter

$B_n = H_n \sin(g_n)$ dalam satuan meter

ht_i = elevasi muka air jam ke $-i$ dalam satuan meter

H_n = amplitudo komponen ke $-n$ dalam satuan meter

ω_n = Kecepatan Sudut ($2\pi/T_n$) dalam satuan derajat /

T_n = periode komponen ke $-n$ dalam satuan jam

g_n = fase komponen ke $-n$ dalam satuan derajat

S_0 = Nilai Duduk Tengah dalam satuan meter

Analisis pasang surut diperlukan suatu elevasi yang dapat digunakan sebagai pedoman dalam perencanaan suatu pelabuhan. Ada tujuh macam elevasi antara lain:

1. Muka air tinggi atau *High Water Level* (HWL), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut;
2. Muka air rendah atau *Low Water Level* (LWL), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut;
3. Muka air tinggi rerata atau *Mean High Water Level* (MHWL), rerata dari muka air tertinggi selama periode 19 tahun;
4. Muka air rendah rerata atau *Mean Low Water Level* (MLWL), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun;

5. Muka air rata-rata atau *Mean Sea Level* (MSL), muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata.
6. Muka air tinggi tertinggi atau *Highest High Water Level* (MHWL), air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati
7. Air rendah terendah atau *Lowest Low Water Level* (LLWL), air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan purnama.

2.1.4.3 Elevasi Muka Air Laut Rencana

Elevasi muka air laut rencana merupakan parameter yang sangat penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Elevasi tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter yaitu pasang surut, tsunami, kenaikan muka air karena gelombang (*wave set-up*), dan kenaikan muka air karena angin (*wind set-up*) dan kenaikan muka air karena perubahan suhu global. Namun kemungkinan terjadinya semua parameter ini dalam waktu yang bersamaan adalah sangat kecil. Penetapan berdasarkan MHWL atau HHWL tergantung pada kepentingan bangunan yang direncanakan.

2.1.4.4 Kenaikan Muka Air Karena Gelombang

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap muka air diam di sekitar lokasi gelombang pecah. Kemudian titik dimana gelombang pecah permukaan air miring ke atas ke arah pantai. Turunnya muka air tersebut dikenal dengan *wave set-down*, sedangkan naiknya muka air disebut *wave set-up* (Rizal *et al.*, 2021).

Wave set up merupakan kenaikan muka air karena gelombang, adapun nilai tinggi *wave set up* dihitung dengan persamaan berdasarkan teori *Longuet Higgins* dan *Stewart* (CERC, 1984).

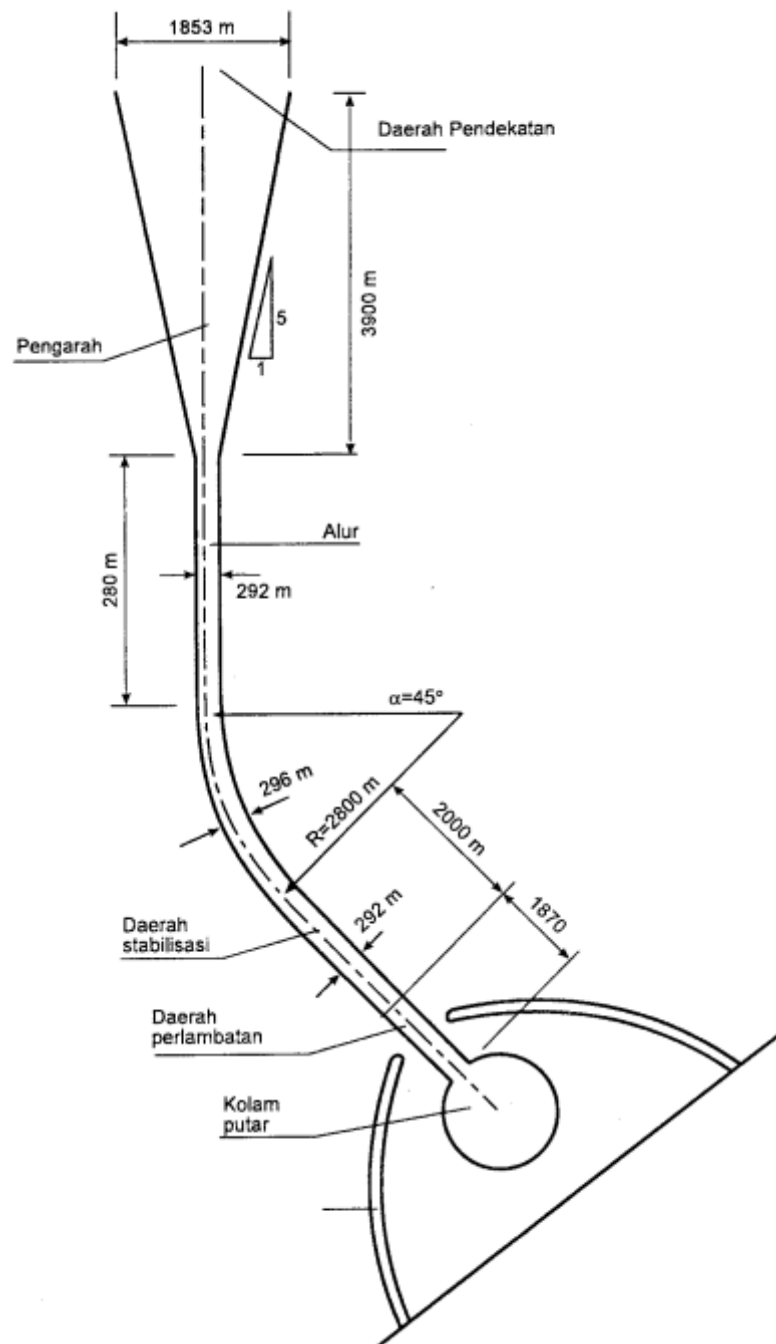
$$S_w = 0.19 \times \left(1 - 2.282 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right) \times H_b \quad (2.24)$$

Keterangan:

- S_w = *Wave Set Up* di Daerah Gelombang Pecah (m)
 T = Periode Ulang Gelombang (s)
 H_b = Tinggi Gelombang Pecah (m)
 g = Gravitasi (m/s^2)

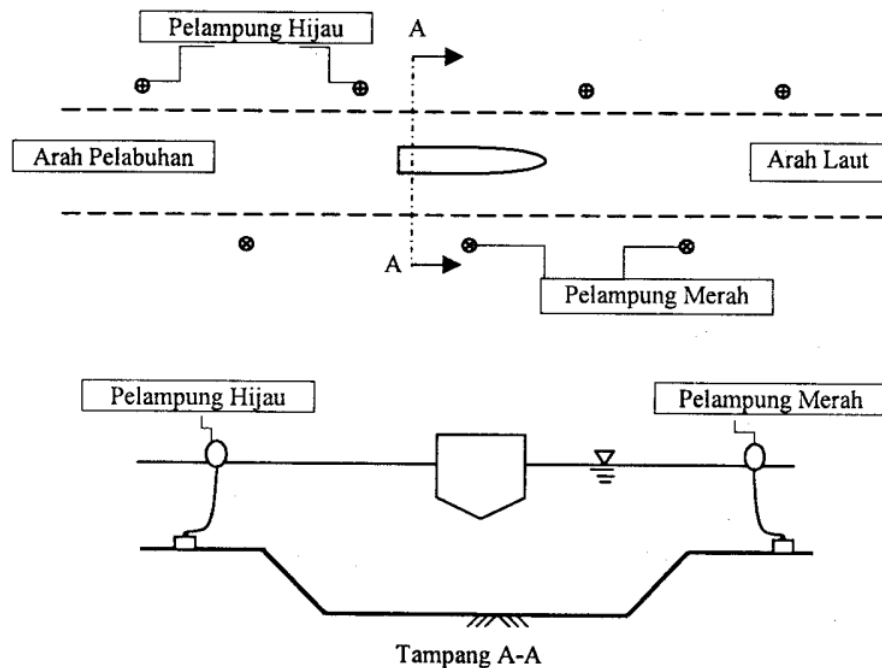
2.2 Alur Pelayaran

Alur pelayaran digunakan untuk mengarahkan kapal yang akan masuk ke kolam pelabuhan. Alur pelayaran dan kolam pelabuhan harus cukup tenang terhadap pengaruh gelombang dan arus. Perencanaan alur pelayaran dan kolam pelabuhan ditentukan oleh kapal terbesar yang akan masuk ke pelabuhan dengan meninjau kondisi meteorologi dan oseanografi (Triatmodjo, 1999). Berikut contoh *layout* alur pelayaran disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Contoh *Layout* Alur Pelayaran

Alur pelayaran berada di bawah permukaan air, sehingga tidak dapat terlihat oleh nahkoda kapal. Untuk menunjukkan posisi alur pelayaran, di kanan kirinya dipasang pelampung dengan warna yang berbeda. Biasa pelampung di sebelah kanan menghadap arah laut berwarna merah sedangkan kirinya berwarna hijau, dan kapal harus bergerak diantara pelampung tersebut. Berikut contoh alur pelayaran dan posisi pelampung disajikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Contoh Alur Pelayaran

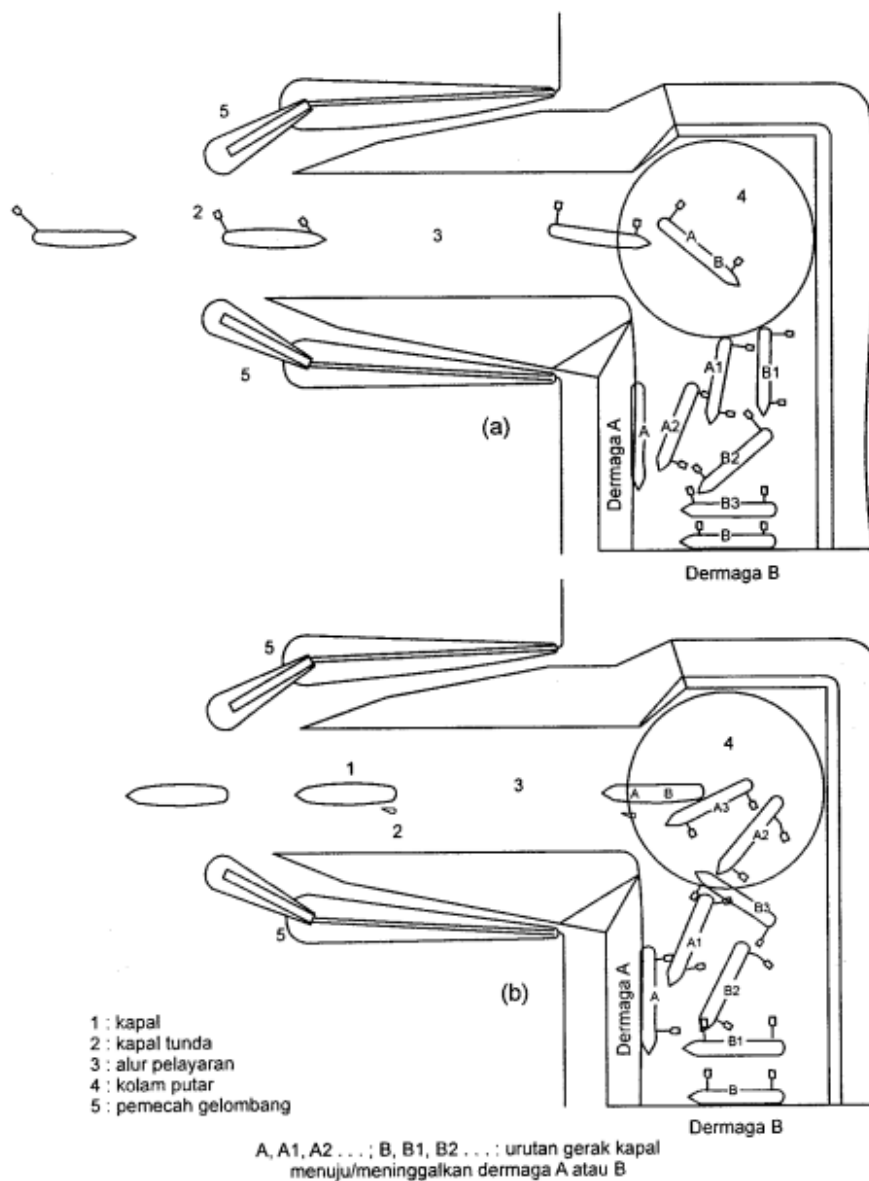
2.2.1 Pemilihan Karakteristik Alur Pelayaran

Alur masuk ke pelabuhan biasanya sempit dan dangkal. Alur-alur tersebut merupakan tempat terjadinya arus, terutama yang disebabkan oleh pasang surut. Sebuah kapal yang mengalami/menerima arus dari depan akan mengatur gerakannya (*maneuver*), tetapi apabila alur berasal dari belakang kapal akan menyebabkan gerakan tidak baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan karakteristik alur masuk ke pelabuhan adalah sebagai berikut:

1. Keadaan trafik kapal.
2. Keadaan geografi dan meteorologi di daerah alur.
3. Sifat-sifat fisik dan variasi dasar saluran.
4. Fasilitas-fasilitas atau bantuan yang diberikan pada pelayaan
5. Karakteristik maksimum kapal yang menggunakan pelabuhan
6. Kondisi pasang-surut, arus, dan gelombang.

Suatu alur masuk ke pelabuhan yang lebar dan dalam akan memberikan keuntungan baik langsung maupun tidak langsung:

1. Jumlah kapal yang dapat bergerak tanpa tergantung pada pasang surut akan lebih besar.
2. Berkurangnya batasan gerak dari kapal-kapal yang mempunyai draft besar.
3. Dapat menerima kapal yang berukuran besar ke pelabuhan.
4. Mengurangi waktu penungguan kapal-kapal yang hanya dapat masuk ke pelabuhan pada waktu air pasang.
5. Mengurangi waktu transit barang-barang.



Gambar 2.5 Gerak Kapal Masuk dan Keluar Pelabuhan

2.2.2 Kedalaman Alur

Kondisi operasi ideal kedalaman air di alur masuk harus cukup besar untuk memungkinkan pelayaran pada muka air terendah dengan kapal bermuatan penuh. Kedalaman air ini ditentukan olehh berbagai faktor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Sedangkan kedalaman air total dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$H = d + G + R + P + S + K \quad (2.25)$$

Dengan:

d : Draft kapal

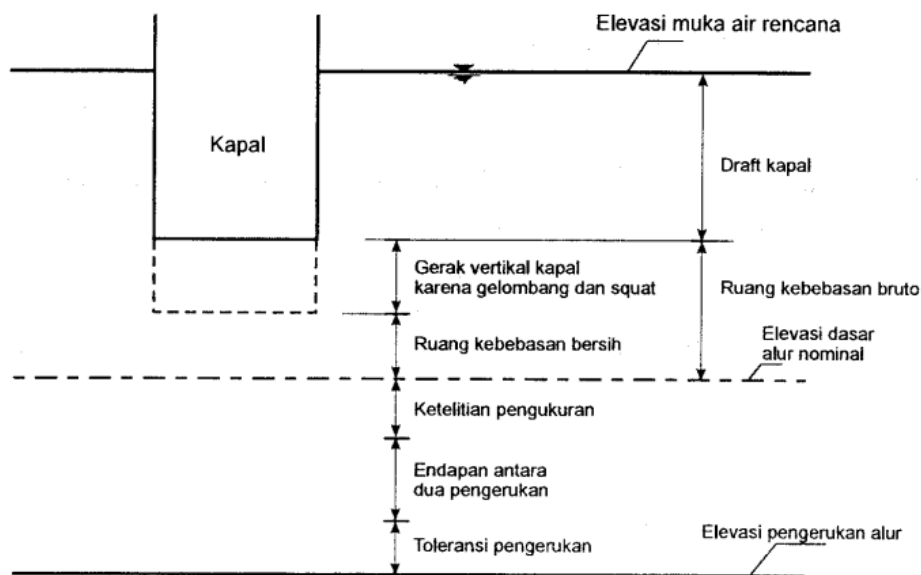
G : Gerak vertikal kapal karena gelombang dan *Squat*.

R : Ruang kebebasan bersih.

P : Ketelitian pengukuran.

S : Pengendapan sedimen antara dua pengerukan.

K : Toleransi pengerukan.



Gambar 2.6 Kedalaman Alur Pelayaran

2.2.3 Lebar Alur

Lebar alur biasanya diukur pada kaki sisi-sisi miring saluran atau pada kedalaman yang direncanakan. Lebar alur tergantung pada beberapa faktor, yaitu:

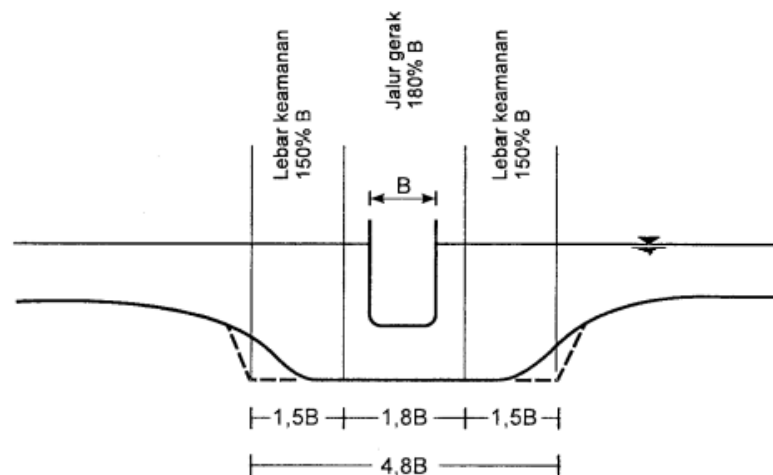
1. Lebar, kecepatan, dan gerakan kapal.
2. Trafik kapal, satu jalur atau dua jalur.
3. Kedalaman alur.
4. Alur sempit atau lebar.

5. Stabilitas tebing alur.
6. Angin, gelombang, arus, dan arus melintang dalam alur.

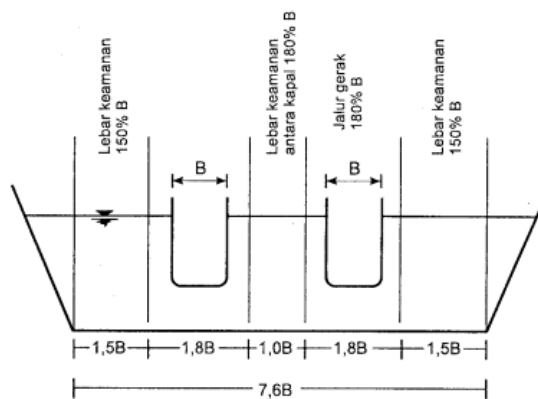
Menentukan lebar alur dua jalur disajikan pada Tabel 2.1. Untuk alur di luar pemecah gelombang, lebar alur harus lebih besar daripada yang diberikan dalam tabel tersebut agar kapal bisa melakukan gerakan (*maneuver*) dengan aman di bawah pengaruh gelombang, arus, topografi, dan sebagainya (OCDI, 1991):

Tabel 2.1 Lebar Alur menurut OCDI

Panjang Alur	Kondisi Pelayaran	Lebar
Relatif panjang	Kapal sering bersimpangan	2 Loa
	Kapal tidak sering bersimpangan	1,5 Loa
Selain dari alur di atas	Kapal sering bersimpangan	1,5 Loa
	Kapal tidak sering bersimpangan	Loa



Gambar 2.7 Lebar Alur Satu Jalur



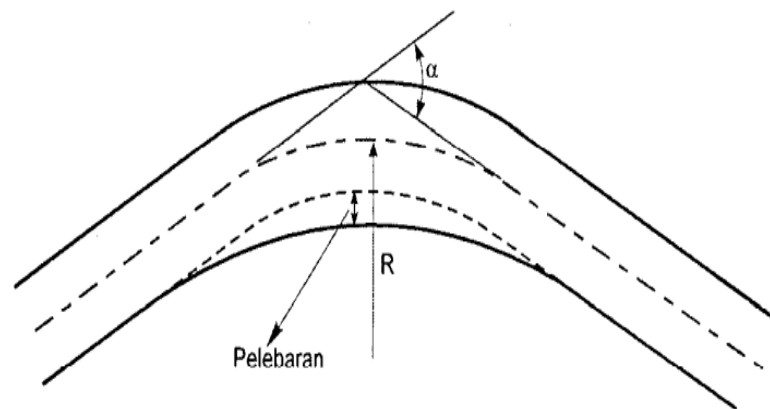
Gambar 2.8 Lebar Alur Dua Jalur

2.2.4 Layout Alur Pelayaran

Trase alur pelayaran merupakan garis lurus untuk mengurangi kesulitan dalam pelayaran. Apabila hal ini tidak mungkin, misalnya karena adanya karang, maka sumbu alur dibuat dengan beberapa bagian lurus yang dihubungkan dengan busur lingkaran. Faktor-faktor yang berpengaruh pada pemilihan trase adalah kondisi tanah dasar laur, kondisi pelayaran (angin, arus, gelombang), peralatan bantu (lampu-lampu, radar) dan pertimbangan ekonomis. Secara garis besar trase ditentukan oleh kondisi local dan tipe kapal yang akan menggunakannya. Beberapa ketentuan berikut ini perlu diperhatikan dalam merencanakan trase alur pelayaran:

1. Trase diusahakan mengikuti garis lurus.
2. Satu garis lengkung lebih baik daripada sederetan belokan kecil dengan interval pendek
3. Garis lurus menghubungkan dua kurva lengkung harus mempunyai panjang minimum 10 kali panjang kapal terbesar.
4. Alur harus mengikuti arah arus dominan untuk memperkecil alur melintang.
5. Pada waktu kapal terbesar masuk saat air pasang, arus berlawanan dengan arah kapal yang datang
6. Gerakan kapal akan sulit apabila dipengaruhi oleh arus atau angin melintang
7. Setiap alur terdapat titik tidak boleh kembali dimana kapal tidak boleh berhenti atau berpencar, dan mulai dari titik tersebut kapal harus melanjutkan sampai ke pelabuhan.

Jari-jari busur pada belokan tergantung pada sudut belokan terhadap sumbu alur. Jari-jari minimum kapal yang belok tanpa bantuan kapal tunda disajikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Alur pada Belokan

2.3 Pelabuhan Perikanan

Pelabuhan perikanan mempunyai peranan penting dan strategis dalam menunjang peningkatan produksi perikanan, memperlancar arus lalu lintas kapal perikanan, mendorong pertumbuhan perekonomian masyarakat perikanan serta mempercepat pelayanan terhadap seluruh kegiatan yang bergerak di bidang usaha perikanan.

Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor: Kep.10/Men/2004 tentang Pelabuhan Perikanan, menjelaskan bahwa Pelabuhan Perikanan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan disekitarnya dengan batas-batas tertentu sebagai kegiatan pemerintahan dan kegiatan sistem bisnis perikanan yang dipergunakan sebagai tempat kapal perikanan bersandar, berlabuh dan/bongkar muat ikan yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan perikanan.

2.3.1 Kelas Pelabuhan Perikanan

Keputusan menteri kelautan dan perikanan No. 165 tahun 2000, pelabuhan perikanan dapat diklasifikasikan menjadi empat kelas berikut ini (Triatmodjo, 2009):

1. Kelas A: Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS), dengan kriteria:
 - a. Melayani kapal ikan yang beroperasi di perairan lepas pantai (perairan nusantara), perairan Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia (ZEEI), dan laut bebas (internasional),
 - b. Memiliki fasilitas tambat labuh untuk kapal perikanan berukuran > 60 GT,
 - c. Panjang dermaga sekurang-kurangnya 300 m, dan kedalaman kolam ≥ 3 m,
 - d. Mampu menampung 100 kapal atau jumlah keseluruhan 6.000 Gt sekaligus,
 - e. Ikan yang didaratkan sebagai tujuan ekspor,
 - f. Terdapat industri perikanan.
2. Kelas B: Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN), dengan kriteria:
 - a. Melayani kapal ikan yang beroperasi di laut teritorial dan perairan 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 – 3 m,
 - d. Mampu menampung 75 kapal atau jumlah keseluruhan 2.259 GT sekaligus,
 - e. Terdapat industri perikanan.
3. Kelas C: Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP), dengan kriteria:
- a. Melayani kapal ikan yang beroperasi di perairan pedalaman, perairan kepulauan dan laut teritorial,
 - 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 – 2 m
 - d. Mampu menampung sekurang-kurangnya 30 kapal atau 300 GT sekaligus.
4. Kelas D: Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI), dengan kriteria:
- a. Melayani kapal ikan yang beroperasi di di perairan pedalaman, perairan kepulauan
 - b. Memiliki fasilitas tambat labuh untuk kapal perikanan berukuran ssekurang-kurangnya 3GT
 - c. Panjang dermaga sekurang-kurangnya 50 m, dengan kedalaman kolam sekurang-kurangnya – 2 m,
 - d. Mampu menampung sekurang-kurangnya 20 kapal atau 60 GT sekaligus.

2.3.2 Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI)

Pangkalan pendaratan ikan adalah pelabuhan khusus yang merupakan pusat pengembangan ekonomi perikanan, baik dilihat dari aspek produksinya maupun aspek pemasarannya. Dengan demikian maka pangkalan pendaratan ikan merupakan prasarana ekonomi yang berfungsi sebagai penunjang bagi perkembangan usaha perikanan laut maupun pelayaran. Pangkalan pendaratan ikan merupakan tempat para nelayan mendaratkan ikan hasil tangkapannya dan menurut statusnya menjadi Unit Pelaksana Teknis (UPT) daerah (Cempaka, 2012).

Pangkalan pendaratan ikan berfungsi memberikan pelayanan yang optimal terhadap segenap aktifitas ekonomi perikanan yang di dalam implementasinya bersifat ganda yaitu (Cempaka, 2012; Triatmodjo, 2009):

1. Pelayanan terhadap kapal perikanan sebagai sarana produksi. Pelayanan ini meliputi :
 - a. Sebagai tempat pemusatan (*home base*) armada perikanan
 - b. Menjamin kelancaran bongkar muat ikan hasil tangkapan
 - c. Menyediakan suplai logistik kapal-kapal perikanan berupa es, air tawar dan BBM.
2. Pelayanan terhadap nelayan sebagai unsur tenaga dalam faktor produksi. Pelayanan ini meliputi
 - a. Aspek pengolahan
 - b. Aspek pemasaran
 - c. Aspek pembinaan masyarakat nelayan

Kebijakan operasional pengembangan prasarana perikanan di Jawa dimaksudkan untuk menunjang strategi pembangunan perikanan dengan penyediaan sarana dan prasarana produksi, pasca panen, pengolahan serta pemasaran dalam suatu alur kegiatan yang saling terkait dan serasi didalam kawasan lingkungan kerja pangkalan pendaratan ikan. Untuk memacu pertumbuhan dan perkembangan perikanan serta peningkatan taraf hidup nelayan, pemerintah menyediakan fasilitas yang dibutuhkan nelayan dengan dibangunnya beberapa pangkalan pendaratan ikan di Jawa. Berdasarkan produktifitas yang dihasilkan prasarana pangkalan pendaratan ikan di Jawa dibagi menjadi 4 (empat) kelas yaitu sebagai berikut:

1. Kelas I (IA, IB, dan IC)
2. Kelas II (IIA, IIB, dan IIC)
3. Kelas III (IIIA, IIIB, dan III C)
4. Kelas IV

Kelas pangkalan pendaratan ikan di Jawa ditentukan berdasarkan nilai jual ikan yang dilelang. Pembagian kelas tersebut dilakukan oleh Dinas Perikanan Provinsi Daerah Tingkat I Jawa dengan menerbitkan surat keputusan klasifikasi untuk masing-masing pangkalan pendarat ikan oleh Kepala Dinas dan berlaku

untuk satu tahun anggaran. Klasifikasi ini dilakukan untuk mempermudah pengawasan, penambahan dan pengurangan masing-masing personil tempat pelelangan ikan karena tiap kelas tempat pelelangan ikan mempunyai jumlah personil yang berbeda sesuai dengan kegiatannya, memberikan insentif, pemberian sarana dan lain-lain. Batas kelas untuk masing-masing pangkalan pendaratan ikan adalah sebagai berikut:

1. Pangkalan pendaratan ikan kelas I, sub kelas a s/d d bagi pangkalan pendaratan ikan yang nilai jual ikan yang dilelang tahun sebelumnya lebih besar dari Rp. 1 (satu) milyar.
2. Pangkalan pendaratan ikan kelas II, sub kelas a s/d d bagi pangkalan pendaratan ikan yang nilai jual ikan yang dilelang tahun sebelumnya antara Rp. 200 juta s/d Rp. 1 (satu) milyar
3. Pangkalan pendaratan ikan kelas III, sub kelas a s/d d bagi pangkalan pendaratan ikan yang nilai jual ikan yang dilelang tahun sebelumnya antara Rp. 50 juta s/d Rp. 200 juta
4. Pangkalan pendaratan ikan kelas IV, tanpa sub kelas bagi pangkalan pendaratan ikan yang nilai jual ikan yang dilelang tahun sebelumnya

2.4 Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang (*Breakwater*) merupakan pelindung utama bagi pelabuhan utama. Tujuan utama mengembangkan *Breakwater* adalah melindungi daerah pedalaman perairan pelabuhan, yaitu memperkecil tinggi gelombang laut, sehingga kapal dapat berlabuh dengan tenang guna dapat melakukan bongkar muat. Untuk memperkecil gelombang pada perairan dalam, tergantung pada tinggi gelombang (H), lebar muara (b), lebar perairan pelabuhan (B) dan panjang perairan pelabuhan (L), mengikuti rumus empiris *Thomas Stevenson* (Kramadibrata, 2002).

2.4.1 Jenis-jenis *Breakwater*

2.4.1.1 Berdasarkan Material Penyusunnya

1. *Breakwater Batu (Rubble mounds Breakwater)*

Jenis *Breakwater* ini adalah jenis yang akan dipakai dalam mengembangkan jenis *Breakwater* selanjutnya. Dari segi konstruksi *Breakwater* ini menahan gaya-gaya horizontal yang timbul sebagai akibat gelombang-gelombang statis dan dinamis; gaya-gaya vertikal timbul sebagai akibat dari gaya-gaya

gravitasi konstruksi. Bentuk ini memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam hal pemeliharaan.

Telah dinyatakan bahwa semakin ke dalam, kekuatan gelombang akan semakin berkurang (mengecil). Berdasarkan keadaan ini, untuk memecahkan energi gelombang tersebut besar/berat batu yang digunakan makin bertambah ke dalam, makin mengecil sesuai dengan mengecilnya tekanan gelombang tersebut. Berat batu terkecil yang digunakan dibuat sedemikian rupa sehingga dapat menahan arus air laut.

Dasar konstruksi terdiri dari inti di tengah dan di sekelilingnya dipasang batu-batu besar sebagai pelindung terhadap gerakan dan sapuan (*wash away*) akibat gelombang. Pelindung ini terdiri dari beberapa lapis, terutama pada ujung dasar dengan kemiringan tertentu

2. *Breakwater* Batu Buatan

Breakwater batu (*rubble mound*) sering dijumpai kesulitan dalam mendapatkan ukuran batu yang sesuai dengan yang direncanakan. Kelemahan lain adalah bentuk dan berat yang tidak sama. Untuk mengatasinya, dibuat batu buatan yang memenuhi persyaratan berat dan secara konstruktif dirancang sedemikian rupa sehingga satu sama lainnya saling mengikat diri lebih rapat dan kuat menahan energi gelombang.

Tipe-tipe yang telah dikembangkan yaitu : *tetrapods*, *quadripods*, *hexapods*, *modified cubs* dan *dolos*. Batu-batuan ini biasanya ditempatkan pada lokasi yang gelombangnya mencapai ketinggian yang berbahaya dan utamanya pada ujung (mulut) *Breakwater*.

3. *Breakwater* "dinding"

Breakwater ini biasanya dipakai bila keadaan tanah dasar laut mempunyai daya dukung yang kuat (berlapis pasir), sehingga kuat menahan muatan di atasnya. Bentuknya dapat berupa blok-blok dinding, kaisan yang berupa kotak atau silindris. Fungsi dinding vertikal adalah merefraksi gelombang sampai energinya hilang. Telah dinyatakan bahwa gelombang akan pecah pada ketinggian $(1,5-2) H$. Dan dengan suatu asumsi faktor keamanan, tinggi minimum dari dinding ini adalah $5 H$. Pada keadaan dasar laut dengan kondisi daya dukung yang kurang sempurna, dapat dibuat suatu pondasi dari *rubble*

mounds. Konstruksi semacam ini disebut *Breakwater* majemuk (*composite Breakwater*). Perlu diperhatikan bahwa dalam merencanakan konstruksi semacam ini, ada jaminan terhadap pergeseran blok dinding dan faktor guling yang mungkin terjadi (Kramadibrata, 2002).

2.4.1.2 Berdasarkan Tipe Bangunannya

1. *Breakwater* Sisi Miring M

Breakwater sisi miring memiliki bentuk trapesium (dilihat dari potongan melintang). Biasanya *Breakwater* tipe ini terbuat dari tumpukan batu atau blok beton yang dibuat khusus untuk menggantikan batu alam seperti tetrapod, quadripods, tripod, dolos dll. Tipe ini dipilih jika kondisi daya dukung tanah pada lokasi perencanaan kecil. Pada jenis tanah seperti ini harus dipilih konstruksi dengan dimensi yang kecil atau alternative lainnya adalah memperlebar bagian dasar bangunan dengan tujuan agar tekanan yang dibuat oleh berat bangunan kecil (Triatmodjo, 2009).

2. *Breakwater* Sisi Tegak

Breakwater sisi tegak dapat digunakan pada lokasi perencanaan yang memiliki daya dukung yang besar sehingga mampu menahan berat bangunan yang besar. Selain itu, jika kedalaman perencanaan cukup besar, maka pembangunan *Breakwater* tipe miring akan memakan biaya yang sangat besar sehingga digunakan *Breakwater* sisi tegak. Biasanya *Breakwater* tipe ini dibuat dari kaisan, sel-sel turap baja, atau blok beton massa yang disusun secara vertical (Triatmodjo, 1999).

3. *Breakwater* Campuran

Breakwater campuran adalah *Breakwater* yang terdiri dari *Breakwater* sisi tegak yang berdiri di atas *Breakwater* sisi miring. Bangunan ini digunakan jika kedalaman rencana cukup besar namun kondisi tanah tidak dapat menahan beban bangunan *Breakwater* sisi tegak. Pada waktu air surut bangunan berfungsi sebagai *Breakwater* sisi miring sedangkan jika air sedang pasang, maka bangunan tersebut berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi tegak (Triatmodjo, 1999).

2.4.1.3 Berdasarkan Posisinya terhadap Pantai

1. *Breakwater* Lepas Pantai

Breakwater lepas pantai adalah bangunan *Breakwater* yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Bangunan ini direncanakan untuk melindungi pantai dari serangan gelombang. Tergantung panjang pantai yang dilindungi, *Breakwater* atau beberapa seri *Breakwater* yang dipisahkan oleh celah. Perlindungan oleh *Breakwater* ini terjadi karena pengurangan energi gelombang yang sampai di perairan di belakang bangunan (Cempaka, 2012).

2. *Breakwater* Sambung Pantai

Breakwater sambung pantai digunakan untuk melindungi perairan pelabuhan. *Breakwater* mempunyai salah satu ujung terletak di daratan dan ujung lainnya terletak pada perairan. Bangunan *Breakwater* sambung pantai ini terdiri dari dua bangunan *Breakwater* yang dipisahkan oleh celah yang juga berfungsi sebagai mulut pelabuhan (Cempaka, 2012).

2.5 Pemodelan Hidrodinamika Mike 21/3

DHI Mike merupakan salah satu perangkat lunak pemodelan hidrodinamika yang paling stabil dan lengkap. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh DHI (*Danish Hydrodynamic Institute*). Salah satu modul yang disediakan oleh DHI Mike adalah modul *Spectral Wave* (SW) yang merupakan modul pemodelan angin-gelombang (*wind-wave*) yang sangat canggih.



Gambar 2.10 Program DHI Mike 21

MIKE 21 HD merupakan sistem model numerik secara umum untuk memodelkan simulasi muka air dan aliran di estuari, teluk dan pantai. Model ini dapat mensimulasikan aliran dua dimensi tidak langgeng di dalam fluida satu lapisan (secara vertikal homogen) maupun dalam aliran tiga dimensi. Modul hidrodinamika Mike 21 (Mike 21 HD) merupakan modul dasar dalam program Mike 21 model aliran (*flow model*). Persamaan konversi massa dan momentum dapat ditulis dalam persamaan. Persamaan dalam kasus 2D pada aliran perairan dangkal didapatkan persamaan berikut yang diselesaikan dalam koordinat kartesian:

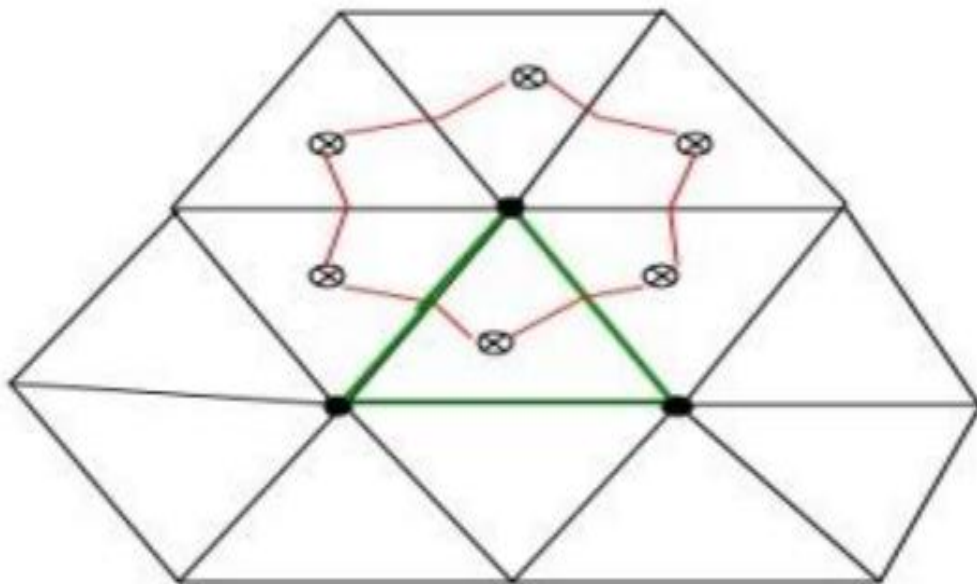
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = 0 \quad 2.26$$

Dimana Ua pada penyelesaiannya mengindikasikan nilai dari kedalaman rata – rata, dimana $UV \rightarrow$ adalah kecepatan pada kedalaman rata-rata yang diberikan oleh:

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz \quad 2.27$$

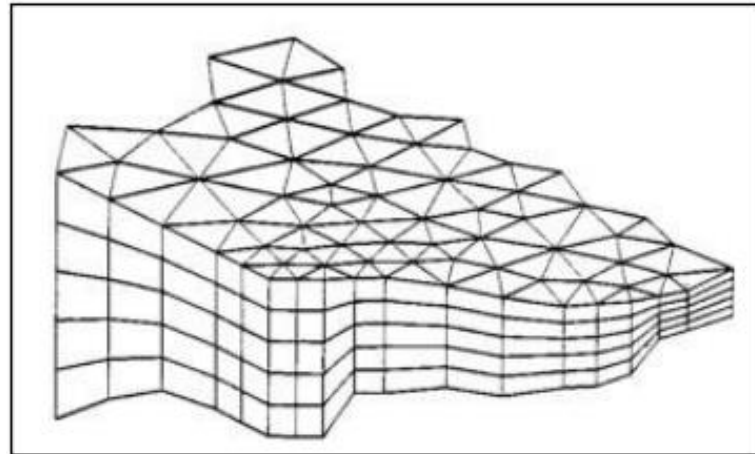
$$h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad 2.28$$

Penyelesaian dilaksanakan pada penerapan sistem koordinat kartesian dan sigma pada penyelesaian 2D/3D. Diskritisasi persamaan dasar menggunakan sebuah *cell centered finite volume method* disajikan pada Gambar 2.11 (Zhang, Chen & Yang, 2006).

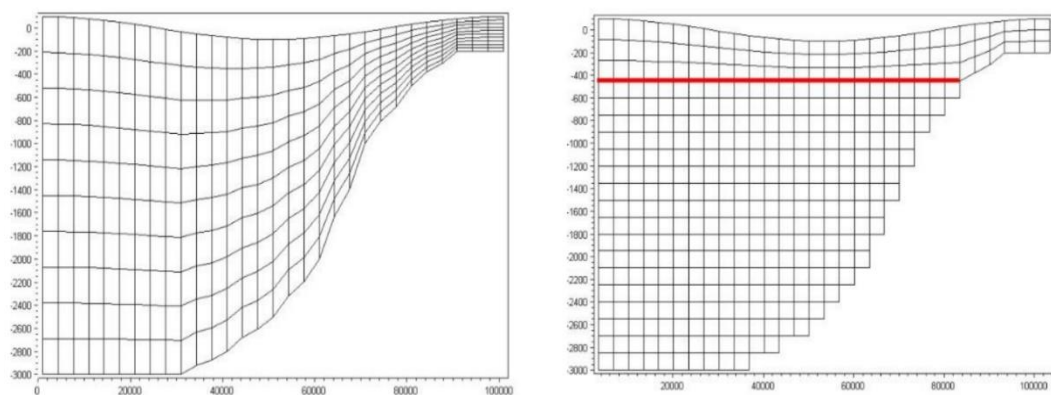


Gambar 2.11 Ilustrasi Unstructured Triangular Mesh Dengan Cell-Centered

Pada penyelesaian kasus 2D elemen yang digunakan merupakan bentuk segitiga tidak teratur, pada penyelesaian kasus 3D untuk penyelesaian horizontal menggunakan *Grid* segitiga tidak berstruktur dan penyelesaian vertikal *mesh* dibentuk sistem koordinat sigma atau kombinasi antara kordinat sigma dengan kordinat $-z$. Prinsip bentuk *mesh* pada kasus 2D/3D disajikan pada Gambar 2.18 (DHI Water and Environtmen, 2009).

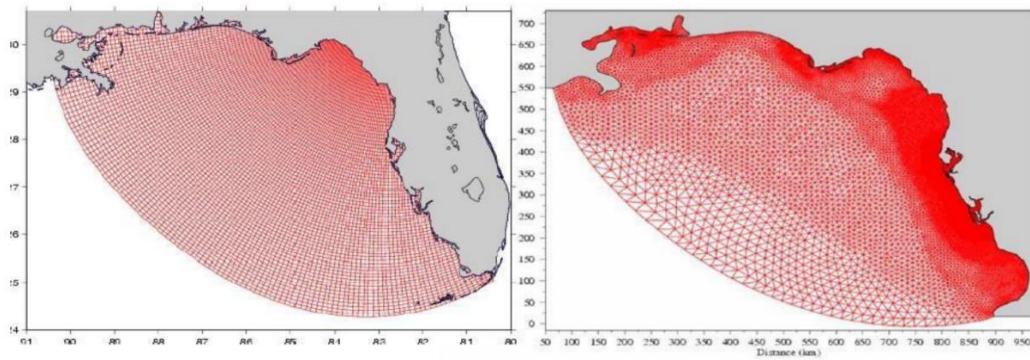


Gambar 2.12 Prinsip Bentuk Mesh Pada Kasus 2D/3D

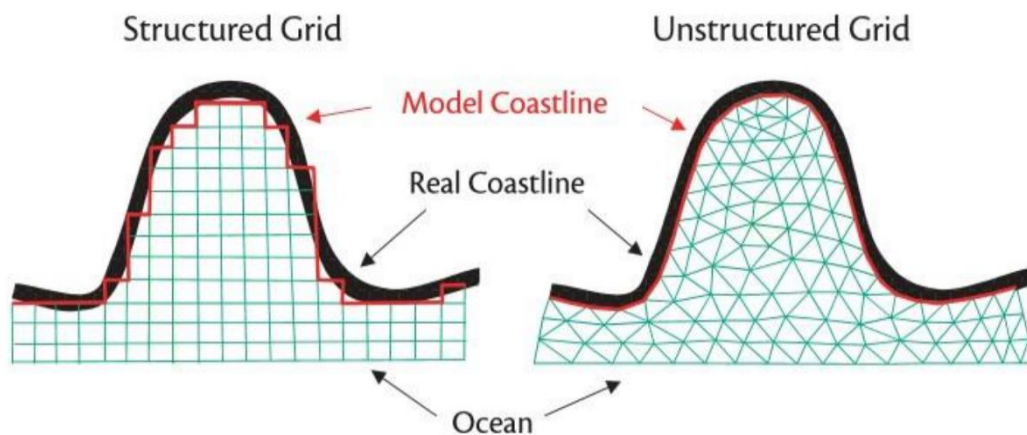


Gambar 2.13 Ilustrasi Perbedaan Bentuk Grid Vertikal Pada Koordinat Sigma Dan Kombinasi Koordinat Sigma Dan $-Z$

Potensi keuntungan model 3D dengan konfigurasi koordinat sigma adalah kemampuan akurat dalam mepresentasikan batimetri dan resolusi dekat dengan dasar, namun masih memiliki kemungkinan menghasilkan error dari aliran yang tidak riil. Pada koordinat $-z$ kelemahanya adalah ketidak akuratan dalam merepresentasikan batimetri namun kemudahan dalam mengkalkulasi perubahan tekanan horizontal.



Gambar 2.14 Konfigurasi Desain Pesisir Pada Sistem Grid Teratur (POM) Dan Sistem Grid Segitiga Tidak Teratur (FVCOM)



Gambar 2.15 Ilustrasi Perbedaan Bentuk Mesh Pada Penyelesaian Numerik 2D, Konfigurasi Unstructured Triangular Mesh Dapat Mempresentasikan Garis Pantai

Bentuk *mesh* 2D juga memiliki penyelesaian dengan masing masing keuntungan tersendiri, penggunaan *unstructured triangular mesh* akan memberikan representasi garis pantai yang lebih akurat, namun sering terjadi eror dengan timbulnya bias aliran yang tidak nyata. Hasilnya bias menjadi aplikasi batas yang tidak slip, dan masalah dengan cairan sepanjang lereng pantai. Dengan menyelesaikan *mesh* masalah ini dapat diselesaikan. Daerah spasial didiskritasi menjadi beberapa bagian yang kontinu dan tidak tumpang tindih dari masing–masing elemen. Bidang horizontal *unstructured triangular mesh* terdiri dari elemen segitiga untuk integrasi waktu pada skema eksplisit (DHI Water and Environment, 2009). Penggunaan *Grid* teratur tidak dapat merepresentasikan bentuk garis pantai secara akurat, namun kemudahan dalam kalkulasi dalam perhitungan (Zhang, Chen & Yang, 2006).