BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelombang

Gelombang merupakan faktor penting di dalam perencanaan pelabuhan. Gelombang di laut bisa dibangkitkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), letusan gunung berapi atau gempa di laut (tsunami), kapal yang bergerak, dan sebagainya.

Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang *random* (suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode berbeda) (Triatmodjo, 1996).

2.2. Gelombang Laut

Gelombang laut digunakan untuk merencanakan bangunan-bangunan pelabuhan seperti pemecah gelombang, studi ketenangan di pelabuhan, dan fasilitas-fasilitas pelabuhan lainnya. Gelombang tersebut akan menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pelabuhan. Selain itu gelombang laut juga bisa menimbulkan arus dan transpor sedimen di daerah pantai (Triatmodjo, 1996).

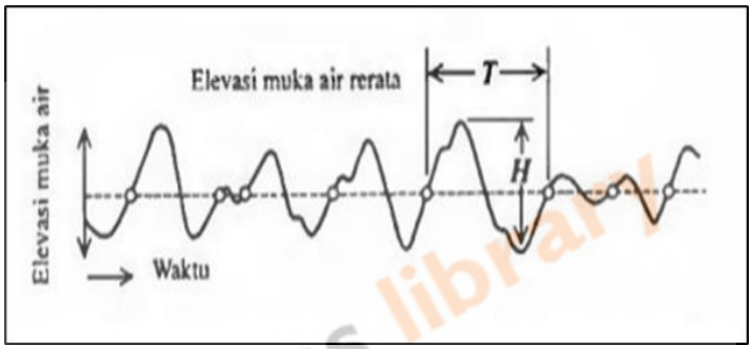
2.3. Gelombang Angin

Gelombang angin adalah gelombang yang diakibatkan oleh energi angin. Tinggi gelombang ditentukan oleh kecepatan angin, durasi angin, dan panjang *fetch*. Tinggi gelombang semakin tinggi jika kecepatan angin semakin tinggi, durasi angin semakin lama dan panjang *fetch* semakin panjang. Grafik gelombang akibat angin ditampilkan pada Gambar 2.1.

Tinggi Gelombang Signifikan (*Significant Wave Height*), H_s adalah parameter yang paling sering digunakan untuk menggambarkan keadaan laut. Mengacu pada seri waktu rekaman tinggi gelombang, maka H_s sama dengan rata-rata tinggi gelombang (dari puncak ke lembah) dari sepertiga gelombang laut tertinggi. Rata-rata dari sepertiga gelombang terbesar ($H_{1/3}$) ini kemudian disebut

sebagai tinggi gelombang (H) yang signifikan yang mencirikan keadaan laut tertentu (Muliati, 2020).

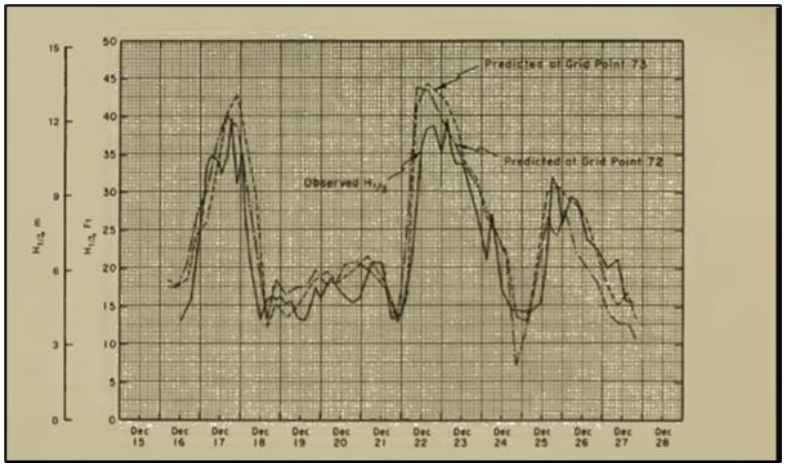
H_s juga dapat ditentukan dari spektrum gelombang. Untuk hal ini, spektrum biasanya dinyatakan dalam bentuk momen-momen spektrum, dimana momen urutan nol m_0 mewakili varians dari bidang gelombang (*wave field*). Oleh karena itu H_{mo} digunakan untuk definisi parameter tinggi gelombang signifikan yang berasal dari spektrum, untuk membedakannya dari $H_{1/3}$ yang berasal dari rekaman gelombang (Muliati, 2020).



Gambar 2.1 Pencatatan Gelombang di Suatu Tempat.
(*Sumber* : Triatmodjo, 1999)

Pada peramalan gelombang Ketinggian Gelombang (H) yang digunakan untuk mengidentifikasi ketinggian suatu gelombang selama satu tahun menggunakan $H_{1/3}$ ataupun $\overline{H}$. $H_{1/3}$ adalah rata – rata dari 1/3 atau 33 % dari tinggi gelombang tertinggi dan $\overline{H}$ adalah rata-rata dari seluruh data gelombang. Pada tahun 1959 *CERC* melakukan riset dengan membandingan data hasil pengamatan di lapangan dengan hasil peramalan gelombang yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.

itenas library



Gambar 2.2 Pengukuran dan Peramalan Ketinggian Gelombang Signifikan Terhadap Waktu, Desember 1959 Dekat Stasiun Cuaca J di Atlantik Utara.
(*Sumber* : *CERC*, 1984)

2.4. Angin

Udara di atas daratan akan naik dan diganti oleh udara dari laut, sehingga terjadi angin laut. Sebaliknya, pada waktu malam hari daratan lebih dingin daripada lautan, udara di atas laut akan naik dan diganti oleh udara dari daratan sehingga terjadi angin darat.

Indonesia mengalami angin musim yaitu, angin yang berhembus secara mantap dalam satu arah dalam satu periode dalam satu tahun. Pada periode lain arah angin berlawanan dengan angin pada periode sebelumnya (Triatmodjo, 1996).

2.5. *Fetch*

Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin (Triatmodjo 1996)

$$F_{eff} = \frac{Xicos\alpha}{\sum cos\alpha} \qquad \text{…..2.1}$$

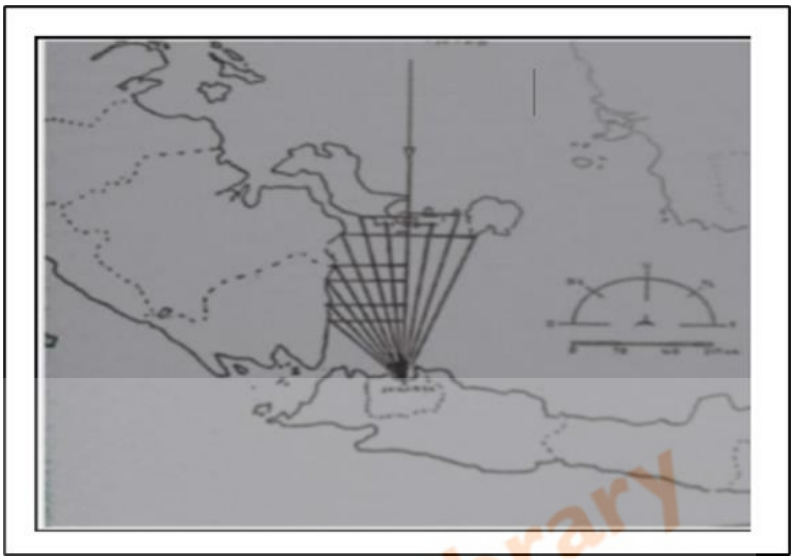
dengan:

F_{eff} = *fetch* rerata efektif (m)

`

X_i = panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch* (m)

α = deviasi pada kedua sisi dari arah angin



Gambar 2.3 *Fetch*

2.6. Metode SPM

Metode *Shore Protection Manual* (SPM) dikembangkan oleh *Coastal Engineering Research Center* (*CERC*) *US Army*. Pada perhitungan peramalan tinggi gelombang dan periode gelombang dengan metode SPM ada faktor-faktor yang harus diperhatikan yaitu *fetch limited, duration limited*¸ dan *fully/non fully developed sea*.

Pada kondisi *fetch limited*¸ angin akan berhembus cukup lama untuk membentuk tinggi gelombang saat di ujung dari *fetch* untuk mencapai keseimbangan. (*CERC*, 1984). Sedangkan kondisi *duration limited*, kondisi dimana ketinggian gelombang akan dibatasi oleh panjang angin yang bertiup. (*CERC*, 1984).

Pada kondisi *fetch limited* dan *duration limited* gelombang belum terbentuk sempurna. Perhitungan ketinggian gelombang dan periode gelombang menurut (*CERC*, 1984) menggunakan persamaan berikut

`

itenas library

$$\frac{gH_{mo}}{U^2A} = 0.0016\left(\frac{g.F}{U^2A}\right)^{1/2} \qquad .....2.2$$

$$\frac{gT_{mo}}{U^2A} = 0.2857\left(\frac{g.F}{U^2A}\right)^{1/3} \qquad .....2.3$$

$$\frac{g.t}{UA} = 68.8 \text{ x } \left(\frac{g.F}{U^2A}\right)^{2/3} \qquad .....2.4$$

$$\left(\frac{g.t}{68.8\ x\ Ua}\right)^{2/3} \text{ x } \frac{U^2A}{g} = F \qquad .....2.5$$

dengan:

g = percepatan gravitasi (9,8m/s)

H_{mo} = ketinggian gelombang (m)

T_{mo} = periode gelombang (sekon)

U_A = faktor tegangan angin (m/s)

F = panjang *fetch* (m)

t = durasi angin bertiup (jam)

Persamaan 2.4 digunakan unutk menentukan *fetch limited* atau *duration* limited, jika hasil durasi (t) pada persamaan 2.8 lebih kecil dari durasi angin yang diketahui maka *fetch limited*. Sedangkan persamaan 2.9 digunakan untuk menghitung *fetch* minimum jika didapat *duraiton limited* atau *time limited*.

Pada persamaan di atas hanya berlaku unutk kondisi *non fully developed sea* (*NFDS*), sedangkan untuk kondisi *fully developed sea* (*FDS*) persamaan yang digunakan menurut (*CERC*, 1984) sebagai berikut:

$$\frac{gH_{mo}}{U^2A} = 0{,}243 \qquad .....2.6$$

$$\frac{gT_{mo}}{U^2A} = 8{,}134 \qquad .....2.7$$

$$\frac{g.t}{UA} = 7{,}15 \text{ x } 10^4 \qquad .....2.8$$

`

itenas library

dengan:

g = percepatan gravitasi (9,8m/s)

H_{mo} = ketinggian gelombang (m)

T_{mo} = periode gelombang (sekon)

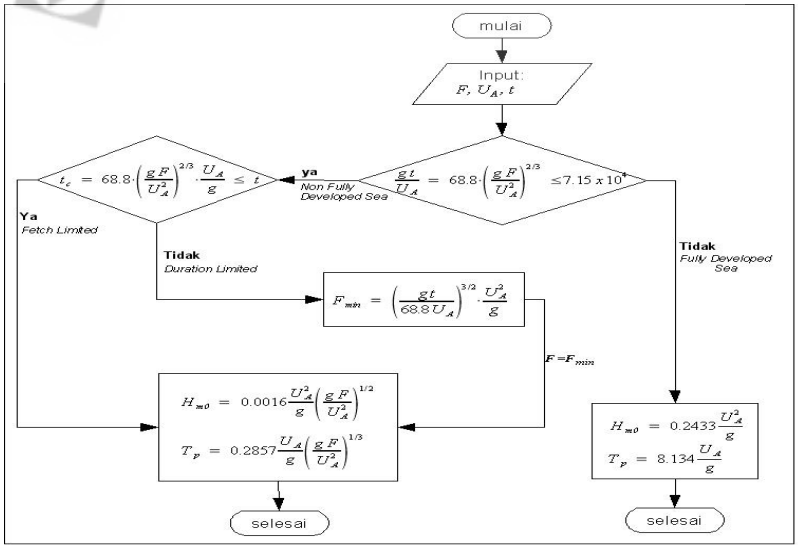
U_A = faktor tegangan angin (m/s)

F = panjang *fetch* (m)

t = durasi angin bertiup (jsm)

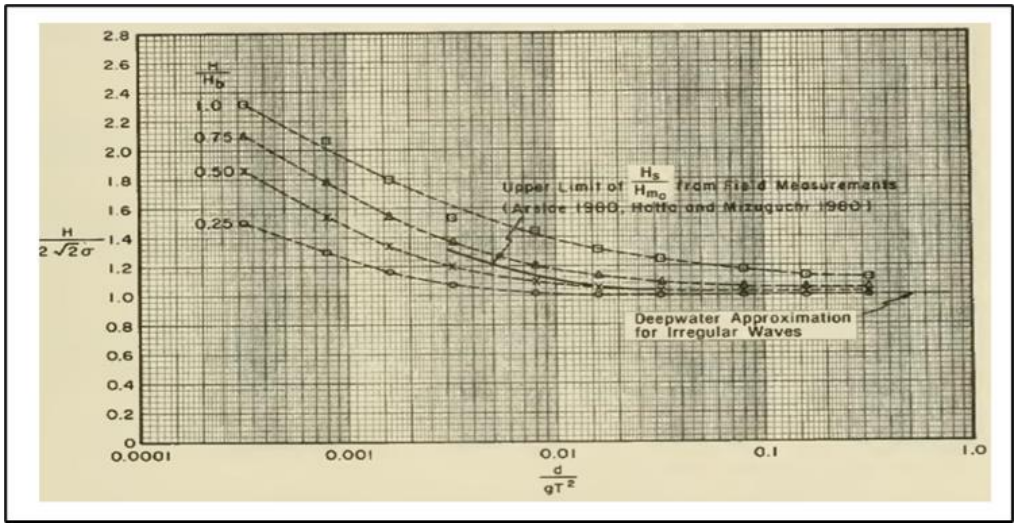
Kondisi *FDS* adalah kondisi disaat $\frac{g.t}{UA}$ lebih atau sama dengan dari 7,15 x 104 seperti yang ditunjukan pada persamaan 2.11, sedangkan jika $\frac{g.t}{UA}$ kurang sama dengan dari 7,15 x 10^4 maka jenis gelombang tersebut *NFDS*.

Pada Gambar 2.5 mengindikasikan H_s sama dengan H_{mo} untuk perairan dalam, sedangkan untuk perairan dangkal H_s 30 persen lebih besar dari H_{mo} pada gelombang pecah (*CERC*, 1984). Adapun prosedur peramalan gelombang di perairan dalam menggunakan metode SPM ditampilkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bagan Alir Peramalan Gelombang Menggunakan Metode SPM
(Sumber : Muliati, 2020)

`



Gambar 2.5 Grafik Hubungan Antara Ketinggian dan Standar Deviasi Dari Elevasi Permukaan Laut Sebagai Fungsi Dari Kedalaman Air
(Sumber : *CERC*, 1984)

2.7. Pemodelan Numerik *Wave Watch III*

Wave Watch III adalah model gelombang generasi ketiga yang dikembangkan di NOAA/ NCEP dalam model gelombang *WAM*. Model ini adalah pengembangan lebih lanjut dari model *Wave Watch I* yang dikembangkan di *Delft University of Techonology* dan *Wave Watch II* yang dikembangkan di *NASA*, *Goddard Sapace Flight Center*. *Wave Watch III* mencerminkan beberapa modifikasi dari pendahulunya dalam hal persamaan fisik yang mengatur parameterisasi fisik dan metode numerik yang digunakan.

Persamaan yang mengatur mensimulasikan variasi temporal dan spasial dari kedalaman air rata-rata dan arus rata-rata, dan pertumbuhan gelombang yang dihasilkan dari kekuatan angin permukaan. Hasil dari model ini meliputi :

- bidang grid tinggi gelombang signifikan (tertinggi 1/3 dari ketinggian gelombang).
- Arah gelombang.
- Periode gelombang.
- Informasi *spectral*.

itenas library

2.8. Gelombang Altimetri

Teknologi satelit altimetri merupakan salah satu teknologi pengindraan jauh yang digunakan untuk mengamati dinamika topografi permukaan laut yang tereferensi terhadap suatu bidang tertentu. Bidang tertentu tersebut adalah suatu bidang referensi tinggi yang dapat berupa *ellipsoid*, *geoid*, atau *mean sea surface*. Dalam penggunaanya bidang-bidang referensi tersebut menjadi acuan untuk menentukan kedudukan muka laut. Adapun pemilihan bidang referensi tinggi tersebutdisesuaikan dengan tujuan pemanfaatannya.

Pengukuran rentang/*range* dari pesawat terbang atau satelit ke permukaan laut/objek menggunakan gelombang mikro/pulsa dari satelit menuju permukaan laut. Teknik-teknik untuk menentukan *range* ke permukaan laut berdasarkan waktu tempuh dari pulsa *microwave* biasa disebut sebagai altimetri. Parameter tinggi gelombang signifikan (H_s) diperoleh dengan menganalisis bentuk dan intensitas pancaran sinar radar altimeter yang dipantulkan dari permukaan laut (Muliati, dkk., 2016).

Muliati, dkk., (2016) telah melakukan validasi H_s altimetri terhadap H_s hasil pengukuran lapangan di Perairan Pantai Pacitan, Jawa Timur dengan faktor koreksi 1,959 yang menandakan bahwa H_s altimetri kurang akurat pada lokasi tersebut. Namun menurut Muliati, dkk. tentunya akan lebih baik bila dilakukan validasi ulang pada lokasi yang berbeda dengan rentang waktu satu tahun penuh.

Usmaya dan Muliati (2018) pada lokasi Pulau Enggano, Bengkulu telah melakukan validasi H_s dengan faktor koreksi 0,611 yang menandakan bahwa H_s altimetri tidak sama dengan H_s gelombang hasil pengukuran pada lokasi tersebut. Menurut Usmaya dan Muliati tinggi gelombang altimetri tidak dapat langsung digunakan untuk perencanaan harus dikalikan dengan faktor koreksi terlebih dahulu.

itenas library

2.9. Validasi Gelombang Hasil Peramalan Terhadap Data Gelombang Hasil Pengukuran

Validasi gelombang dalam hal ini merupakan perbandingan antara data gelombang hasil peramalan metode SPM dengan data gelombang hasil pengukuran dan perbandingan data gelombang altimetri dengan data gelombang hasil pengukuran. Validasi ini dilakukan dengan metode statistik yaitu dihitung faktor penyetaraan/faktor koreksi yaitu tinggi gelombang hasil pengukuran dibagi dengan tinggi gelombang hasil peramalan. Tinggi gelombang hasil peramalan dalam hal ini, adalah tinggi gelombang hasil peramalan metode SPM dan data satelit altimetri. Persamaan yang digunakan untuk menghitung faktor koreksi adalah sebagai berikut:

$$\text{Faktor koreksi} = \frac{Tinggi\ gelombang\ pengukuran\ rata-rata}{Tinggi\ gelombang\ hasil\ peramalan\ rata-rata} \quad \text{.....2.9}$$

itenas library