

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

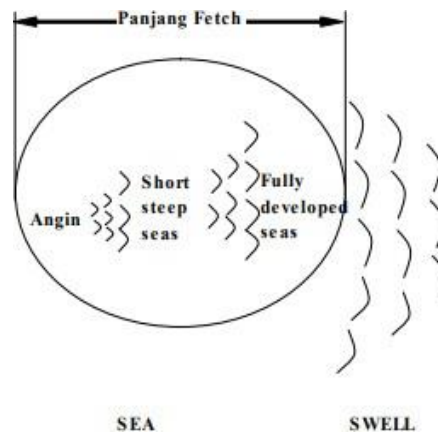
2.1 Gelombang Laut

Gelombang merupakan pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang diakibatkan oleh beberapa faktor seperti angin, gravitasi bulan, pergerakan kapal, dan gempa bumi atau letusan gunung api dalam periode tertentu.

Gelombang yang berada di laut sangat kompleks dan sulit digambarkan, puncak permukaan laut sering nampak berubah-ubah, hal ini bisa diamati dari permukaan airnya yang diakibatkan oleh arah perambatan gelombang yang sangat bervariasi serta bentuk gelombang yang tak beraturan apalagi jika gelombang tersebut di bawah pengaruh angin.

Gelombang angin terbentuk dari angin yang berhembus melalui permukaan air yang semula tenang menyebabkan gangguan pada permukaan tersebut, selanjutnya timbul riak-riak gelombang diatas permukaan air. Tinggi gelombang angin dipengaruhi oleh kecepatan angin, durasi angin, panjang *fetch*.

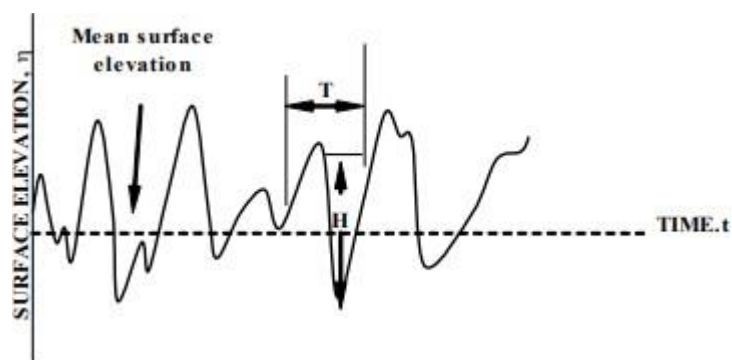
Gelombang angin dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu gelombang badai (*storm waves/sea*) dan gelombang alun (*swell*). Gelombang badai (*Storm waves/sea*) merupakan gelombang yang bentuknya tidak teratur, sedangkan gelombang alun (*swell*) merupakan gelombang yang teratur dan memiliki panjang gelombang yang besar. Gambaran mengenai gelombang badai (*storm waves/sea*) dan gelombang alun (*swell*) dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pembentukan gelombang angin di daerah pembangkitan.

(Sumber : Widi Agoes Pratikto, 2014)

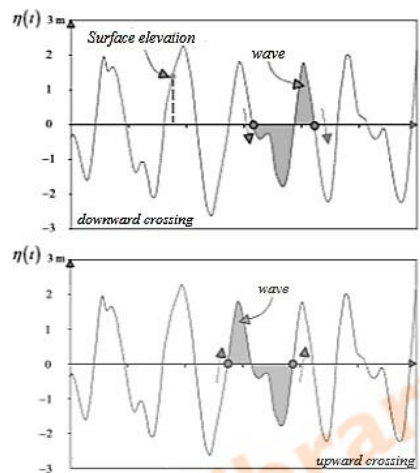
Pencatatan gelombang biasanya dilakukan dimana gelombang dibangkitkan. Gelombang mempunyai bentuk yang tidak teratur dengan tinggi gelombang dan periode gelombang yang tidak teratur ditampilkan pada Gambar 2.2. Dalam perencanaan suatu bangunan dibutuhkan tinggi gelombang ekstrim biasanya diwakilkan dengan tinggi gelombang signifikan ($H_{1/3}$) dan periode rata-rata dari sepertiga periode tertinggi dinyatakan sebagai periode signifikan ($T_{1/3}$).



Gambar 2.2 Pencatatan Gelombang Di Suatu Tempat

(Sumber : Widi Agoes Pratikto, 2014)

Pencatatan gelombang dapat dilakukan dengan dua metode yaitu *downward zero-crossing* (metode perhitungan satu gelombang dimulai dari titik nol ke lembah gelombang) dan *upward zero-crossing* (metode perhitungan satu gelombang dimulai dari titik nol ke puncak gelombang). Metode *downward zero-crossing* dan metode *upward zero-crossing* ditampilkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Pencatatan Ketinggian Gelombang Menggunakan Metode *Downward Zero-crossing* (bagian atas) dan Menggunakan Metode *Upward Zero-crossings* (bagian bawah).

(Sumber : Holthuijsen, 2007).

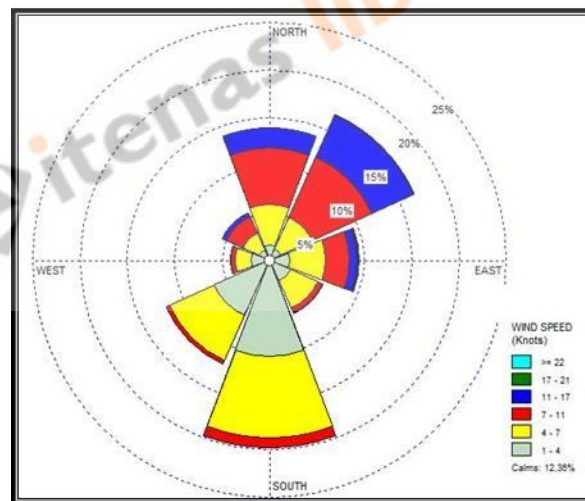
Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai. Sehingga gelombang merupakan faktor terpenting dalam menentukan tata letak pelabuhan, alur pelayaran, perencanaan bangunan pantai dan sebagainya.

2.2 Angin

Angin adalah aliran udara dalam jumlah besar yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin berpengaruh dalam pembentukan gelombang di laut. Semakin tinggi kecepatan angin, maka semakin tinggi juga gelombang (Bambang Triatmodjo, 1999).

Angin memiliki arah dan kecepatan yang dapat diukur. Arah angin masih bisa dianggap konstan apabila perubahannya tidak lebih dari 15° , sedangkan kecepatan angin masih dianggap konstan jika perubahannya tidak lebih dari 5 knot (2,5 m/d) terhadap kecepatan rerata. Adapun distribusi angin secara klimatologis terbagi menjadi 8 arah mata angin dan ditampilkan bentuk *windrose* (Gambar 2.4), yaitu :

1. Utara : 0° s/d $22,5^\circ$ dan $337,5^\circ$ s/d 360°
2. Timur Laut : $22,5^\circ$ s/d $67,5^\circ$
3. Timur : $67,5^\circ$ s/d $112,5^\circ$
4. Tenggara : $112,5^\circ$ s/d $157,5^\circ$
5. Selatan : $157,5^\circ$ s/d $202,5^\circ$
6. Barat Daya : $202,5^\circ$ s/d $247,5^\circ$
7. Barat : $247,5^\circ$ s/d $292,5^\circ$
8. Barat Laut : $292,5^\circ$ s/d $337,5^\circ$



Gambar 2.4 *Windrose*

(Sumber : Stasiun Meteorologi Soetta, 2019)

Data pengukuran kecepatan dan durasi angin digunakan untuk peramalan gelombang. Data tersebut dapat diperoleh dengan pengukuran langsung di atas permukaan laut atau pengukuran di darat di dekat lokasi peramalan. Kecepatan angin diukur dengan anemometer dan biasanya dinyatakan dengan satuan knot (1 knot = 1,852 km/jam = 0,5 m/d).

2.3 Fetch

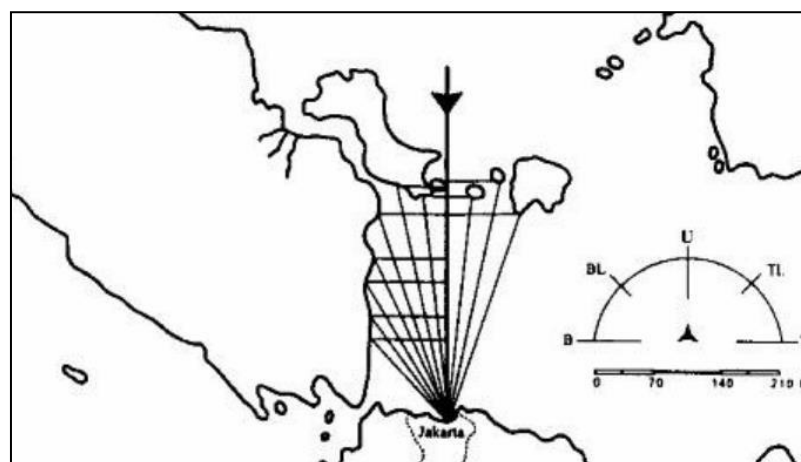
Fetch merupakan daerah pembangkitan gelombang yang dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. *Fetch* berpengaruh dalam pembangkitan tinggi gelombang dan periode gelombang dimana semakin panjang jarak *fetch* semakin besar ketinggian gelombang yang terjadi.

Di daerah pembangkitan, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin (Triatmodjo, 1999). Contoh perhitungan *fetch* ditampilkan pada Gambar 2.5. Adapun cara untuk mendapatkan *fetch effective* adalah sebagai berikut.

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

Dimana :

- F_{eff} = *Fetch* rerata efektif.
- X_i = Panjang segmen *fetch*.
- α = Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi arah angin.



Gambar 2.5 Fetch

(Sumber : Widi Agoes Pratikto, 2014)

2.4 Skala *Beaufort* Dan Model Distribusi Angin

Skala *Beaufort* merupakan sebuah skala untuk memperkirakan kecepatan angin dari fenomena yang tampak. Skala ini terdiri dari pengelompokan kekuatan angin sesuai dengan kecepatannya di tampilkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Skala *Beaufort*

No	Klasifikasi Angin (Skala <i>Beaufort</i>)	Kecepatan Angin Maksimum (knot)	Definisi
1	Angin Sedang (<i>moderate breeze</i>)	11 s/d 16	angin sedang merupakan angin yang berhembus dengan durasi tertentu dengan kecepatan maksimum 11-16 knot
2	Angin Agak Kuat (<i>fresh breeze</i>)	17 s/d 21	angin agak kuat merupakan angin yang berhembus dengan durasi tertentu dengan kecepatan maksimum 17-21 knot
3	Angin Kuat (<i>Strong breeze</i>)	22 s/d 27	angin kuat merupakan angin yang berhembus dengan durasi tertentu dengan kecepatan maksimum 22-27 knot
4	Angin Kencang (<i>moderate gale</i>)	>27	angin kencang merupakan angin yang berhembus dengan durasi tertentu dengan kecepatan maksimum >27 knot

(Sumber : Kramadibrata, 1985)

Dari hasil analisis distribusi kecepatan angin menggunakan skala *Beaufort* kemudian di modelkan dengan grafik untuk mendapatkan model distribusi angin tiap musim (Sugianto,2017) ditampilkan pada gambar. Analisis model distribusi angin dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu :

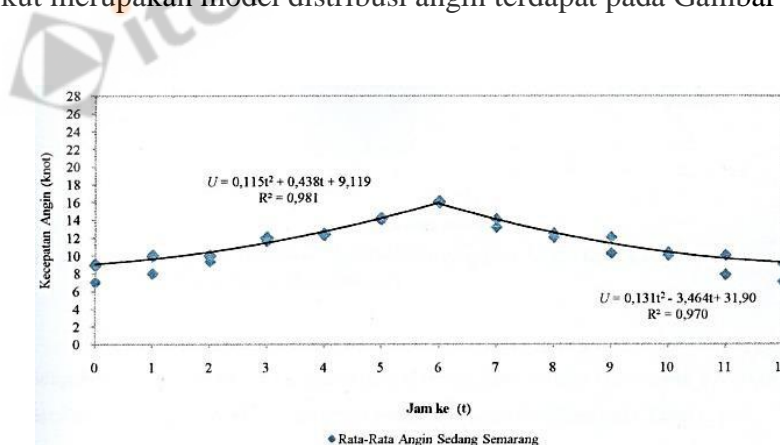
1. Pengumpulan data berdasarkan kelompok kecepatan angin maksimum dan arahnya.
2. Pembuatan grafik distribusi kecepatan angin dan melihat trend rata-ratanya untuk menentukan model distribusi kecepatan angin.

Pengelompokan data angin menggunakan Skala *Beaufort* dilakukan dengan membagi kecepatan angin menjadi angin sedang, angin agak kuat, angin kuat. Pengelompokan kecepatan angin berdasarkan skala ini dibutuhkan data kecepatan dan durasi angin. Untuk kecepatan angin yang dapat membangkitkan gelombang menurut skala *Beaufort* yaitu ≥ 10 knot untuk puncak dan minimal 7 untuk melengkapi trend grafik. Untuk durasi angin yang dapat membangkitkan gelombang menurut Skala *Beaufort* ≥ 6 jam dan maksimal 12 jam selebihnya angin dikategorikan badai dan tidak dapat diperhitungkan dalam pembangkitan gelombang.

Pengelompokan sesuai Skala *Beaufort* (Sugianto,2017) kemudian dibagi sesuai musim angin bertiup seperti berikut ini.

1. Musim barat (Januari, Februari, dan Desember) dengan arah angin $247,5^\circ$ - $337,5^\circ$.
2. Musim peralihan (Maret – Mei dan September – Nopember) dengan arah angin 338° - $44,5^\circ$.
3. Musim timur (Juni-Agustus) dengan arah 45° - $112,5^\circ$.

Berikut merupakan model distribusi angin terdapat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Model distribusi data angin

(Sumber : Sugianto,2017)

2.5 Peramalan Gelombang Menggunakan Metode *Shore Protection Manual* (SPM)

Peramalan tinggi dan perioda gelombang dengan metode *Shore Protection Manual* (SPM) sering digunakan untuk menentukan karakteristik gelombang. Metode ini dikembangkan oleh *Coastal Engineering Research Center (CERC) US Army*. Adapun untuk menggunakan metode ini dibutuhkan data-data sebagai berikut :

1. Faktor tegangan angin (\square_{\square})
2. Lamanya angin bertiup (t)
3. Panjang *fetch effective* ($\square_{\square\square\square}$)

Adapun data angin yang dipakai untuk mendapatkan nilai faktor tegangan angin perlu dikoreksi terlebih dahulu sesuai kondisi pengukurannya. Berikut koreksi data angin terhadap:

1. Elevasi

Elevasi ideal untuk melakukan pengukuran kecepatan angin yaitu 10 meter dari permukaan air laut. Jika lebih dari 10 meter maka data kecepatan angin perlu dikoreksi. Berikut persamaan koreksi elevasi menurut CERC (1984).

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

Dimana :

- \square_{10} = Kecepatan angin pada ketinggian 10 meter (m/s).
- \square = Elevasi (hanya untuk dibawah 20 meter).
- $\square_{(\square)}$ = Kecepatan angin pada ketinggian tertentu.

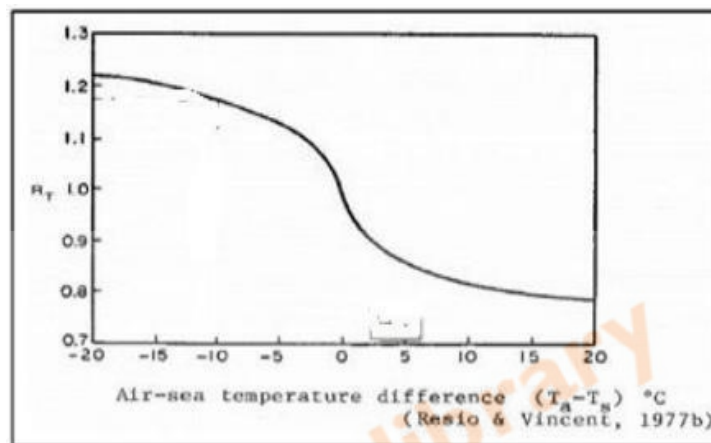
2. Stabilitas

Kecepatan angin dipengaruhi oleh perbedaan suhu udara di permukaan air laut maka diperlukan koreksi terhadap data kecepatan angin. Jika data perbedaan suhu tidak ada \square_{\square} bisa diasumsikan sebesar 1,1. Berikut koreksi stabilitas menurut CERC (1984).

$$U = R_T (U_{10}) \quad (2.3)$$

Dimana :

- R_T = Faktor koreksi didapat dari grafik (Gambar 2.5).
- U_{10} = Kecepatan angin di ketinggian 10 meter (m/s).

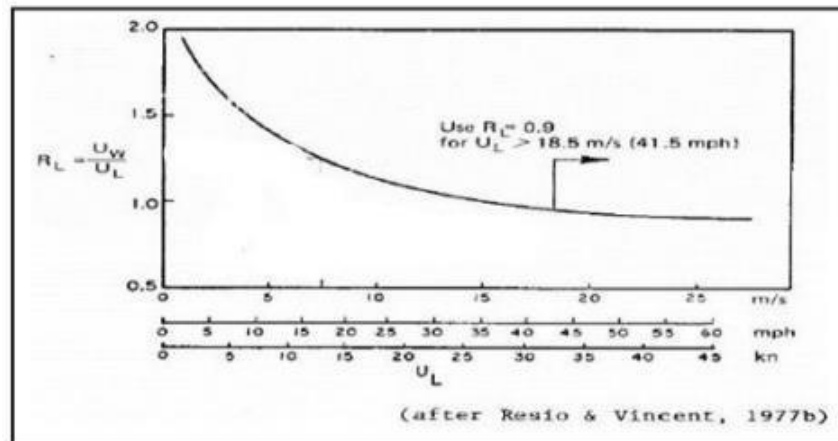


Gambar 2.7 Grafik koefisien koreksi stabilitas

(Sumber : CERC,1984)

3. Lokasi

Pengambilan data kecepatan angin biasanya dilakukan di darat karena lebih mudah dan tidak membutuhkan biaya mahal. Kecepatan angin di darat dengan di laut akan berbeda maka daripada itu dibutuhkan koreksi lokasi. Berikut koreksi lokasi menggunakan grafik ditampilkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Grafik hubungan kecepatan angin di darat dengan di laut

(Sumber : CERC, 1984)

$$U_W = R_L (U_L) \quad (2.4)$$

Dimana :

U_W = Kecepatan angin di laut.

R_L = Ratio hubungan kecepatan angin di darat dengan di laut (m/s).

U_L = Kecepatan angin di darat (m/s).

Data angin hasil koreksi kemudian dicari nilai *wind stress factor* (faktor tegangan angin). Faktor ini digunakan untuk rumus-rumus dan grafik pembangkitan gelombang. Adapun persamaan konversi tegangan angin menurut Triatmodjo (1999) adalah sebagai berikut :

$$U_A = 0.71 U^{1.23} \quad (2.5)$$

Dimana :

U_A = Faktor tegangan angin (m/s).

U = Kecepatan angin (m/s).

Dalam perhitungan peramalan tinggi dan periode gelombang signifikan secara analitis, ada tiga rumus utama yang digunakan untuk kondisi *non fully developed sea* (NFDS) antara lain sebagai berikut:

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 0,0016 \left(\frac{gF^1}{U_A^2} \right)^{-2} \leq 0.2433 \quad (2.6)$$

$$\frac{gT_{mo}}{U_A} = 0,2857 \left(\frac{gF^1}{U_A} \right)^{-3} \leq 8.134 \quad (2.7)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \left(\frac{gF^2}{U_A} \right)^{-3} \leq 7.15 \times 10^4 \quad (2.8)$$

$$\left(\frac{gt}{68.8 \times U_A} \right)^3 \times \frac{U_A}{g} = F_{min} \quad (2.9)$$

Dimana :

H_{mo} = Tinggi gelombang signifikan (yang dicari)

g = Percepatan gravitasi (9.81 m/det^2)

U_A = Kecepatan angin (km/jam)

t = Durasi angin (jam)

T_{mo} = Periode gelombang (sekon)

F_{min} = Panjang *fetch effective*

Persamaan 2.8 digunakan untuk menentukan *fetch limited* atau *duration limited*. Jika durasi (t) pada persamaan 2.8 lebih kecil dari durasi angin yang diketahui maka *fetch limited*, sedangkan persamaan 2.9 digunakan untuk mengitung *fetch minimum* jika didapat *duration limited* atau *time limited*.

Sedangkan untuk kondisi *fully developed sea* (FDS) digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 0,243 \quad (2.10)$$

$$\frac{gT_{mo}}{U_A} = 8.134 \quad (2.11)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 7.15 \times 10^4 \quad (2.12)$$

Dimana :

H_{sig} = Tinggi gelombang signifikan (yang dicari)

g = Percepatan gravitasi (km/det^2)

U = Faktor tegangan angin (km/jam)

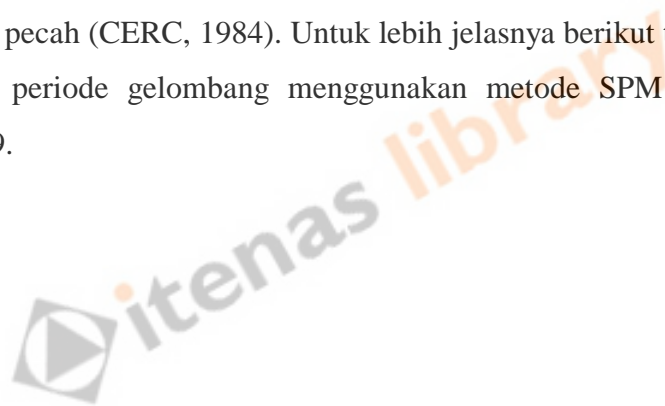
t = Durasi angin (jam)

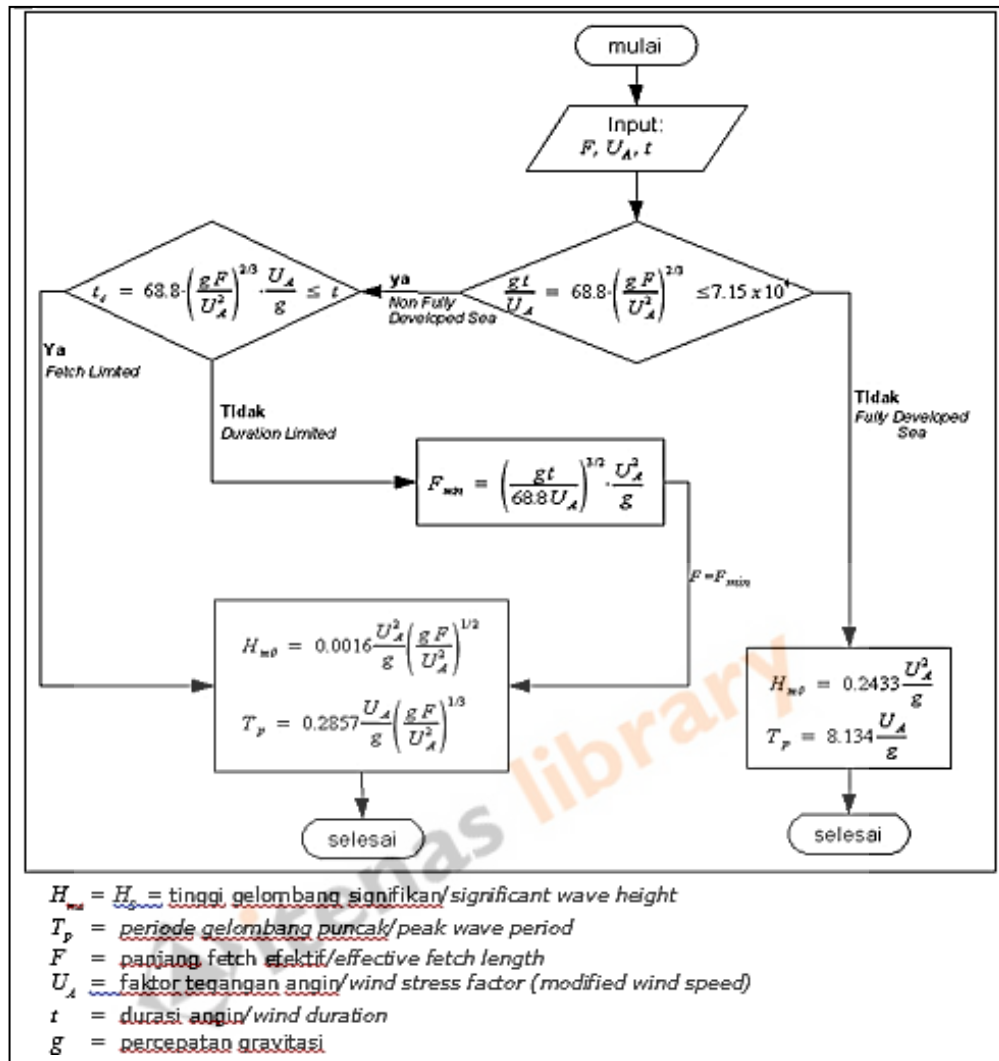
T = Periode gelombang (sekon)

Kondisi FDS adalah dimana $\frac{H_{\text{sig}}}{T} > 7.15 \times 10^{-4}$,

jika sebaliknya maka jenis gelombang tersebut NFDS.

Hasil dari peramalan H_{sig} sama dengan T untuk kondisi perairan laut dalam, sedangkan untuk perairan laut dangkal H_{sig} 30% lebih besar dari T pada gelombang pecah (CERC, 1984). Untuk lebih jelasnya berikut tahapan peramalan tinggi dan periode gelombang menggunakan metode SPM ditampilkan pada Gambar 2.9.





Gambar 2.9 Bagan alir peramalan tinggi dan periode gelombang menggunakan metode SPM

(Sumber : Muliati, 2020)

2.6 Peramalan Geombang Menggunakan Metode *Darbyshire*

Peramalan gelombang menggunakan metode grafik *Darbyshire* sering digunakan untuk meramalkan perairan laut dangkal (CERC,1984). Pada peramalan metode ini panjang *fetch* tidak diperhitungkan karena dianggap *fetch unlimited* atau *duration limited* sehingga data yang diperlukan berupa kecepatan angin dan durasi angin. Berikut ini merupakan langkah-langkah melakukan peramalan menggunakan grafik *Darbyshire*.

1. Konversi kecepatan angin dalam satuan m/detik.

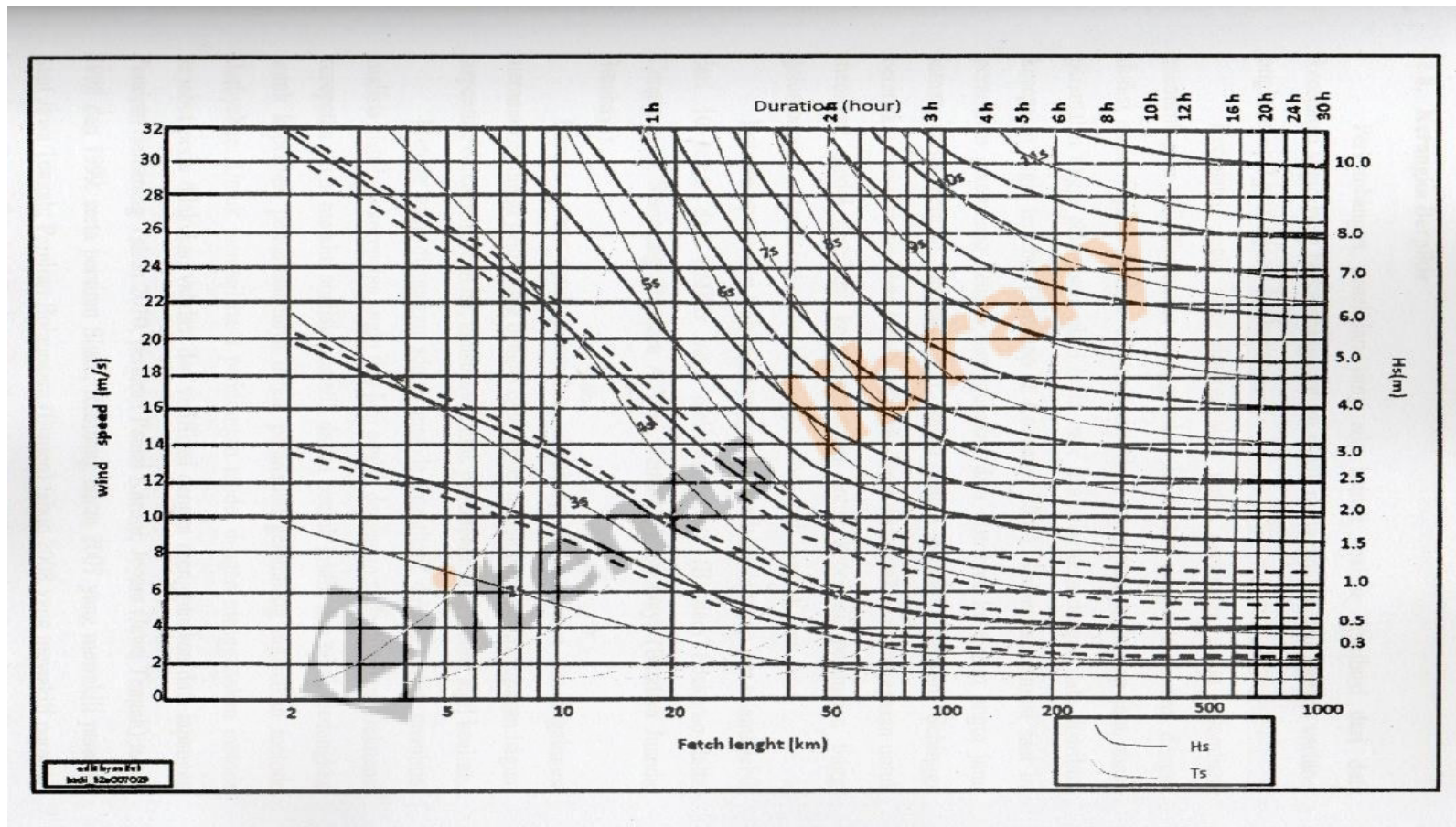
Semua data-data angin hasil analisis yang masih dalam satuan knot dikonversi terlebih dahulu ke satuan m/detik.

2. Menentukan durasi angin dalam jam.

Penentuan durasi angin yang digunakan dalam peramala dengan menggunakan grafik *Darbyshire* didasarkan pada waktu hembus angin untuk masing-masing kecepatan angin.

3. Penggambaran pada grafik *Darbyshire*

Penggambaran dilakukan berdasarkan data kecepatan angin awal yang ditarik ke kanan berdasarkan durasi kecepatan anginnya, kemudian ditarik garis sejajar mengikuti garis lengkung tinggi gelombang sampai kecepatan angin selanjutnya ditarik ke arah kanan sesuai durasi anginnya sehingga diperoleh nilai tinggi gelombang untuk lebih jelas ditampilkan pada gambar. Demikian juga seterusnya sampai untuk kecepatan angin selanjutnya (karena *fetch* tidak terbatas, maka panjang *fetch* tidak diperhitungkan).



Gambar 2.10 Grafik Darbyshire

(Sumber : CERC,1984)

2.7 Tinggi Gelombang Data Altimetri

Data Altimetri merupakan data yang diambil dari satelit dimana pengambilan datanya menggunakan teknologi radar. Satelit ini dibutuhkan dalam pengamatan *oceanografi* dimana salah satunya untuk menentukan karakteristik gelombang.

Data altimetri hanya berupa tinggi gelombang signifikan harian tanpa periode gelombang namun masih bisa dipakai untuk validasi karakteristik gelombang hasil peramalan, walaupun alangkah baiknya validasi tersebut menggunakan data hasil pengukuran lapangan akan tetapi akibat sulit dan mahalnya biaya pengukuran, validasi menggunakan data gelombang dari satelit altimetri menjadi alternatif lain (Muliati,2019).

Data gelombang altimetri didapatkan dari situs <https://las.aviso.altimetry.fr> gelombang NDBC yang ditampilkan dalam bentuk data NetCDF yang harus di ekstrak terlebih dahulu menggunakan aplikasi *NCBrowser* atau *Panoplywin* agar bisa digunakan.

2.8 Tinggi Gelombang Data *Tsunami Bouy*

Tsunami Bouy merupakan suatu alat terapung yang berfungsi sebagai pendeteksi gelombang tsunami serta melakukan pencatatan perubahan muka air laut di Samudra.

Data *Tsunami Bouy* dapat diperoleh dari website Europa <https://webcritech.jrc.ec.europa.eu/>, data yang didapat merupakan fluktuasi muka air laut lapangan yang bisa disesuaikan dengan waktu yang dibutuhkan.

Data fluktuasi muka air laut perlu dibuat grafik terlebih dahulu untuk melakukan pembacaan *zero-up crossing* agar mendapatkan tinggi gelombang lapangan, sehingga dapat digunakan untuk validasi tinggi gelombang peramalan.

Kekurangan dari alat *Tsunami Bouy* yaitu tidak dapat mengetahui periode gelombang dikarenakan waktu perekaman yang tergolong Panjang (11 Detik), lalu tidak semua lokasi perairan memiliki alat *Tsunami Bouy*, kemudian alat ini juga sangat bergantung pada baterai, dimana ketika baterai habis alat tidak melakukan pengukuran.