

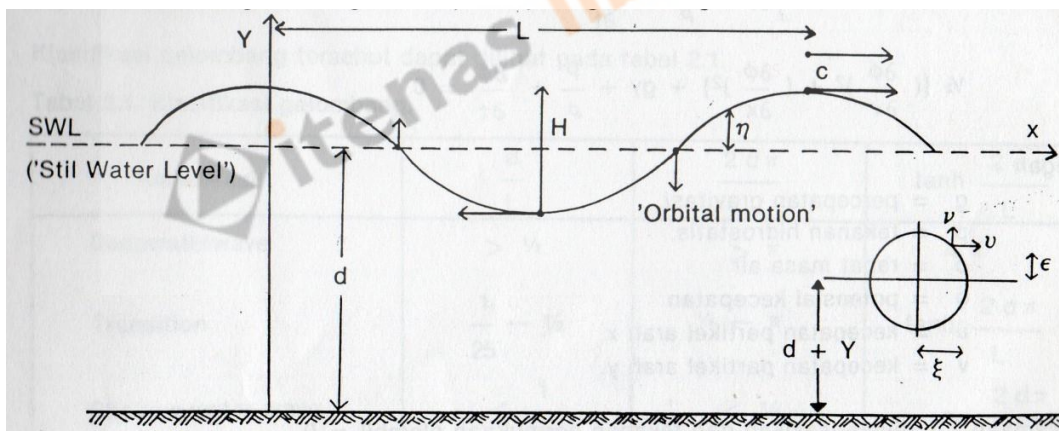
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Teori Gelombang Laut

Pengertian gelombang laut merupakan suatu gerakan naik turunnya air laut tanpa disertai dengan perpindahan massa airnya. Terdapat beberapa penyebab terjadinya gelombang laut, namun yang paling umum adalah akibat adanya tiupan angin. Gelombang laut tersebut memiliki dimensi berupa periode gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang, serta juga cepat rambat gelombang. Gelombang laut tersebut merupakan fenomena penaikan dan juga penurunan air dengan secara periodik.

Gelombang angin adalah gelombang yang selalu terdapat di laut atau danau ataupun reservoir. Dengan demikian gelombang angin merupakan gelombang yang sangat penting, terutama terhadap hal – hal yang berkaitan dengan proses morfologi pantai ataupun perencanaan bangunan pantai. (Yuwono, 1992)



**Gambar 2.1** Sketsa Gelombang Laut

(Sumber: Yuwono, 1992)

#### 2.2 Pembangkitan Gelombang Oleh Angin

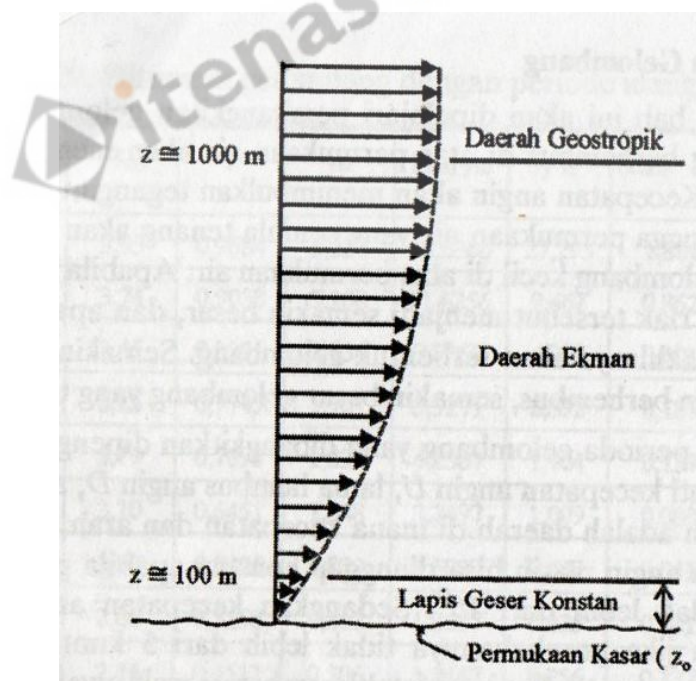
Angin yang berhembus diatas permukaan air akan memindahkan energinya ke air dan akan menimbulkan gelombang. daerah dimana gelombang dibentuk disebut daerah pembangkitan atau pembentukan gelombang (*wave generating area*). Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak

gelombang kecil diatas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut akan semakin besar dan akan membentuk gelombang yang semakin besar. (Triatmodjo, 1999)

Karakteristik dari spektrum gelombang angin terutama tergantung pada panjang *fetch* ( $F$ ), kecepatan angin ( $U$ ), lama tiup atau hembus ( $t_d$ ). Akan tetapi ada faktor – faktor lain yang berpengaruh seperti lebar *fetch*, kedalaman air, kekasaran dasar, stabilitas atmosfer dan sebagainya. (Triatmodjo, 1999)

### 2.2.1 Kecepatan Angin

Distribusi kecepatan angin diatas permukaan laut terbagi dalam tiga daerah sesuai dengan elevasi diatas permukaan. Kecepatan angin konstan pada elevasi diatas 1000 m atau pada daerah geostropik. Di bawah elevasi 1000m terdapat dua daerah yaitu pada elevasi 100 m s.d. 1000 m disebut daerah Ekman dan pada elevasi 10 m s.d. 100 m disebut lapis tegangan konstan. Pada kedua daerah tersebut kecepatan dan arah angin berubah sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperatur antara air dan udara.



**Gambar 2.2** Distribusi Vertikal Kecepatan Angin

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Pada daerah lapis tegangan konstan distribusi kecepatan angin pada arah vertikal dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$U_y = \frac{U_*}{K} \left[ \ln \left( \frac{y}{y_0} - \psi \frac{y}{L} \right) \right] \quad (2,1)$$

dengan:

- $U_*$  : kecepatan geser
- $K$  : koefisien *von Karman* (=0,4).
- $y$  : elevasi terhadap permukaan air.
- $y_0$  : tinggi kekasaran permukaan.
- $L$  : panjang campur yang tergantung pada perbedaan temperatur antara air dan udara ( $\Delta T_{as}$ ).
- $\Psi$  : fungsi yang tergantung pada perbedaan temperatur antara air dan udara. Di Indonesia, mengingat perbedaan temperatur antara air laut dan udara kecil, maka parameter ini bisa diabaikan.

### 2.2.2 Skala Beaufort

Skala Beaufort merupakan sistem yang mengutarakan kecepatan angin berdasarkan efek yang ditimbulkan dari kecepatan angin tersebut. Skala Beaufort biasanya digunakan untuk membandingkan hasil pencatatan kecepatan angin dengan anemometer. Kecepatan angin dikelompokkan menjadi angin sedang, angin agak kuat, dan angin kuat.

### 2.2.3 Arah Angin

Arah angin merupakan asal dimana angin tersebut berhembus atau bertiup. Satuan yang digunakan dalam arah mata angin yaitu derajat. Arah angin terbagi menjadi beberapa komponen, setidaknya terdapat 8 arah mata angin sebagai berikut:

- Utara (*North*) :  $0^\circ - 22,5^\circ$  dan  $337,5^\circ - 360^\circ$
- Timur Laut (*Northeast*) :  $22,5^\circ - 67,5^\circ$
- Timur (*East*) :  $67,5^\circ - 112,5^\circ$
- Tenggara (*Southeast*) :  $112,5^\circ - 157,5^\circ$
- Selatan (*South*) :  $157,5^\circ - 202,5^\circ$
- Barat Daya (*Southwest*) :  $202,5^\circ - 247,5^\circ$

- Barat (*West*) : 247.5° - 292.5°
- Barat Laut (*Northwest*) : 292.5° - 337.5°

Untuk mendapatkan atau menentukan arah angin dominan, distribusi arah angin ditampilkan dalam bentuk *windrose* yang didapatkan melalui aplikasi *WRPLOT*.

### 2.3 Analisis Distribusi Arah Gelombang

Analisis distribusi arah gelombang dilakukan dengan cara meninjau gelombang yang terjadi dari berbagai arah. Arah yang ditinjau biasanya hanya beberapa arah saja hal ini mengingat data arah gelombang biasanya kurang teliti, sebagai contoh misalnya dengan interval 45° (semakin kecil intervalnya maka semakin baik, jika data arah gelombang memadai). Presentase kejadian gelombang pada arah yang ditinjau dihitung dan ditabelkan lalu digambar sebagai mawar gelombang (*waverose*) (Yuwono, 1992).

### 2.4 Tinggi Gelombang

Tinggi gelombang adalah perubahan tinggi secara vertical antara puncak gelombang dan lembahnya. Berikut adalah beberapa kegunaan dari tinggi gelombang signifikan:

- Informasi gelombang signifikan dari suatu perairan dapat digunakan para pelaut untuk mengetahui kondisi gelombang di perairan tersebut, dimana gelombang tinggi akan menyulitkan navigasi.
- Gelombang signifikan juga sering digunakan untuk studi mengenai erosi pantai. Pada umumnya, gelombang besar lah yang paling dapat menyebabkan erosi.
- Kerentanan pesisir, tinggi gelombang signifikan menjadi suatu parameter yang berkaitan dengan bahaya penggenangan pesisir.
- Studi mengenai energi laut akhir-akhir ini juga sering menggunakan parameter  $H_s$  untuk menggambarkan potensi energi gelombang laut pada suatu wilayah.
- Desain dari anjungan lepas pantai juga menggunakan tinggi gelombang signifikan. Pada umumnya, gelombang signifikan dengan periode ulang 1

tahunan dan 100 tahunan digunakan untuk keperluan analisis struktur masing-masing untuk kondisi operasional dan badai.

- Selain untuk desain, operasi pada lepas pantai seperti penggunaan ROV (*remotely operated vehicle*), instalasi pipa bawah laut, dsb. juga mempertimbangkan gelombang signifikan untuk keperluan keamanan dan efektifitas operasi.

## 2.5 Fetch

*Fetch* adalah daerah dimana kecepatan dan arah angin adalah konstan. Arah angin masih bisa dianggap konstan apabila perubahannya tidak lebih dari 15°. Sedangkan kecepatan angin masih bisa dianggap konstan jika perubahannya tidak lebih dari 5 knot (2,5 m/d) terhadap kecepatan rerata. Panjang *fetch* membatasi waktu yang diperlukan gelombang untuk terbentuk karena pengaruh angin, jadi mempengaruhi waktu untuk mentransfer energi angin ke gelombang (Triatmodjo, 1999).

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (2,2)$$

dengan:

$F_{eff}$  : *fetch* rerata efektif

$X_i$  : panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*

$\alpha$  : deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

## 2.6 Peramalan Gelombang Metode *Shore Protection Manual* (SPM)

*Coastal Engineering Research Center* (CERC) *US Army* merupakan pengembang dari metode *Shore Protection Manual* (SPM) ini dan memberikan *nomographs* dari aplikasi formulasi *Sverdrup-Munk-Bretschneider* (1970). Faktor yang perlu diperhatikan dalam peramalan gelombang menggunakan metode *shore protection manual* (SPM) ini yaitu *fetch limited*, *duration limited*, dan *fully developed limited*.

Untuk keperluan peramalan gelombang metode SPM ini, biasanya dipergunakan kecepatan angin pada ketinggian 10 m. Jikalau kecepatan angin tidak diukur pada ketinggian tersebut, maka kecepatan angin perlu dikoreksi dengan rumus:

$$U_{10} = U_y \left( \frac{10}{y} \right)^{1/7} \quad (2,3)$$

dengan:

- $U_y$  : kecepatan geser pada  $y$   
 $y$  : elevasi terhadap permukaan air

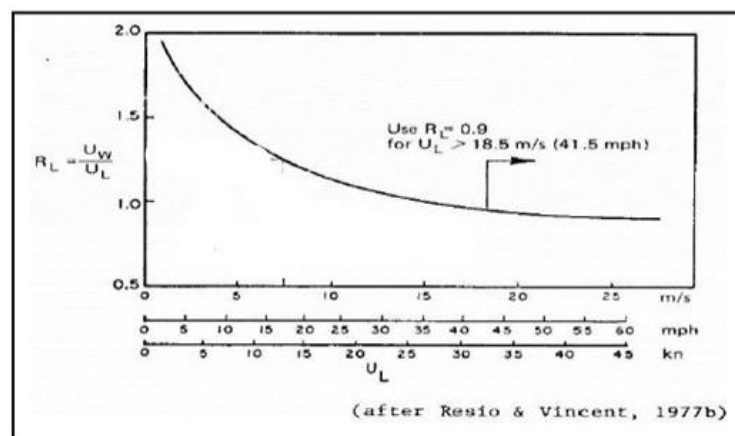
Data angin yang diperoleh dari pencatatan di permukaan laut dengan kapal yang berlayar perlu adanya koreksi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$U = 2,16 U_s^{7/9} \quad (2,4)$$

dengan:

- $U_s$  : kecepatan angin yang diukur oleh kapal (knot)  
 $U$  : kecepatan angin terkoreksi (knot)

Data angin yang diperoleh dari pencatatan di daratan diperlukan koreksi dari data angin diatas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut karena rumus – rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah yang ada diatas permukaan laut. Koreksi tersebut menggunakan grafik pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3** Hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

$$R_L = \frac{U_w}{U_L} \quad (2,5)$$

dengan:

$R_L$  : rasio hubungan antara kecepatan angin di darat dan di laut

$U_w$  : kecepatan angin di laut (m/s)

$U_L$  : kecepatan angin di darat (m/s)

Setelah dilakukan koreksi pada kecepatan angin, lalu kecepatan angin dikonversikan kembali pada faktor tegangan angin (*wind-stress factor*) menggunakan rumus sebagai berikut:

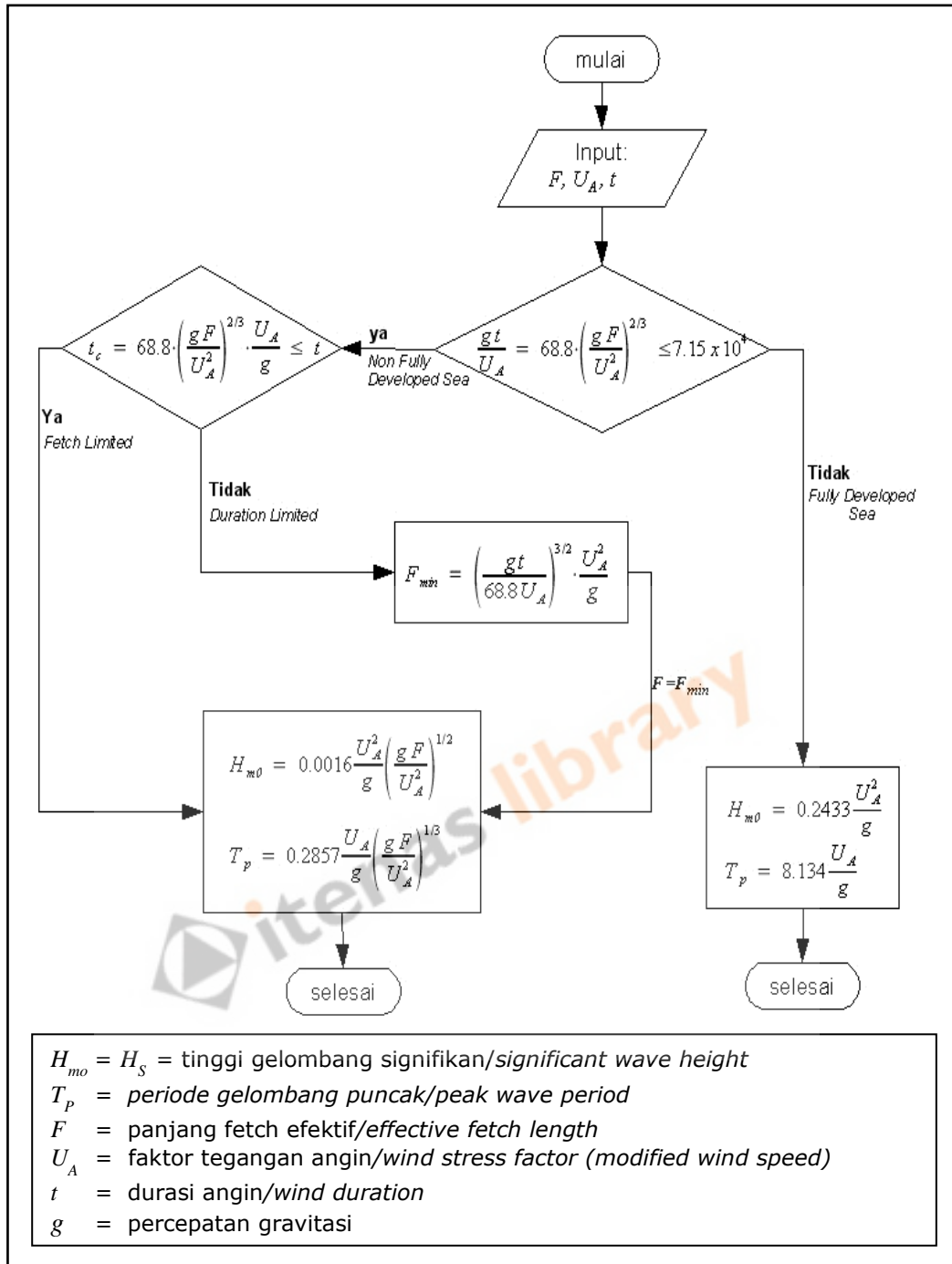
$$U_A = 0,71 U^{1,23} \quad (2,6)$$

dengan:

$U_A$  : kecepatan angin pada *wind-stress factor* (m/s)

$U$  : kecepatan angin terkoreksi (m/s)

Metode ini memberikan grafik dengan kurva-kurva yang linier, sehingga perhitungannya lebih mudah disusun dalam sebuah model matematis yang mengikuti suatu bagan alir perhitungan pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4** Bagan Alir Metode SPM

(Sumber: Muliati, 2020)

Berikut ini merupakan cara menentukan nilai tinggi gelombang ( $H_{m0}$ ) dan periode gelombang ( $T_p$ ) menurut bagan alir metode SPM pada **Gambar 2.4** :

1. Menentukan kondisi gelombang jenis *Non Fully Developed Sea* atau jenis *Fully Developed Sea*



$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \leq 7,15 \times 10^4 \quad (2,7)$$

Jikalau nilai  $\frac{gt}{U_A}$  kurang dari  $7,15 \times 10^4$  maka jenis gelombang adalah *Non Fully Developed Sea (NFDS)* dan jikalau nilai  $\frac{gt}{U_A}$  lebih dari  $7,15 \times 10^4$  maka jenis gelombang adalah *Fully Developed Sea (FDS)*.

- Menentukan nilai *time limited* atau *fetch limited* untuk jenis gelombang *Non Fully Developed Sea (NFDS)*

$$tc = 68,8 \left( \frac{g.F}{U_A^2} \right)^{2/3} \times \frac{U_A}{g} \leq t \quad (2,8)$$

Jikalau nilai  $tc$  kurang dari sama dengan  $t$  yaitu *fetch limited* dan jikalau nilai  $tc$  lebih besar dari  $t$  yaitu *duration limited* maka nilai  $F$  yaitu  $F_{min}$  menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_{min} = \left( \frac{gt}{68,8 U_A} \right)^{3/2} \cdot \frac{U_A^2}{g} \quad (2,9)$$

- Menentukan nilai tinggi gelombang dan periode gelombang kondisi *Non Fully Developed Sea*

$$H_{mo} = 0,0016 \left( \frac{g.F}{U_A^2} \right)^{1/2} \frac{U_A^2}{g} \quad (2,10)$$

$$T_p = 0,2857 \left( \frac{g.F}{U_A^2} \right)^{1/3} \frac{U_A^2}{g} \quad (2,11)$$

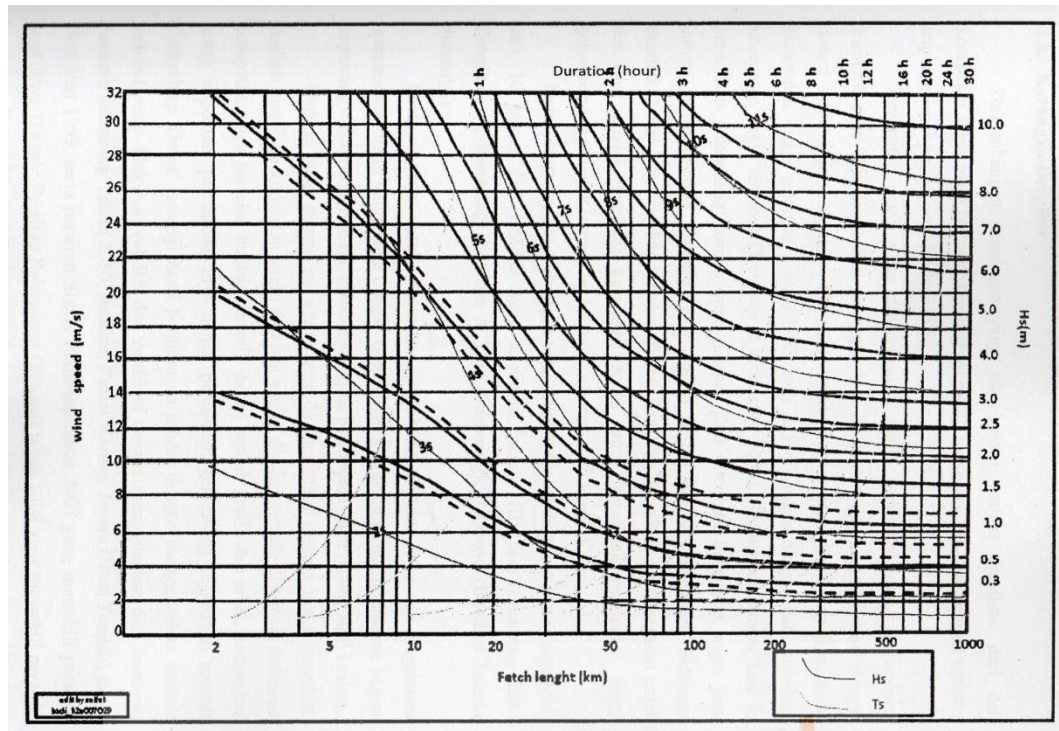
- Menentukan nilai tinggi gelombang dan periode gelombang kondisi *Fully Developed Sea*

$$H_{mo} = 0,2433 \cdot \frac{U_A^2}{g} \quad (2,12)$$

$$T_p = 8,134 \cdot \frac{U_A}{g} \quad (2,13)$$

## 2.7 Peramalan Gelombang Metode Darbyshire

Metode Darbyshire merupakan metode peramalan tinggi gelombang dengan menggunakan grafik oleh *Darbyshire and Draper* pada tahun 1963 dalam *Coastal Engineering Research Center (CERC) 1984*.



**Gambar 2.5** Grafik Peramalan Gelombang oleh Darbyshire-Draper, 1963

(Sumber: CERC, 1984)

Berikut ini merupakan langkah-langkah peramalan gelombang menggunakan metode Darbyshire (Sugianto, 2013) :

1. Konversi kecepatan angin dalam satuan m/s  
Semua data angin hasil analisis yang masih dalam satuan knot dikonversi ke dalam satuan m/s.
2. Menentukan durasi angin dalam jam  
Penentuan durasi angin yang digunakan dalam peramalan dengan menggunakan grafik Darbyshire didasarkan pada waktu hembus angin untuk masing-masing kecepatan angin.
3. Penggambaran kedalam grafik Darbyshire  
Penggambaran dilakukan berdasarkan data kecepatan angin maksimal yang ditarik ke kanan berdasarkan durasi kecepatan anginnya, sehingga diperoleh nilai tinggi gelombang dan periode gelombang.

Metode ini untuk memprediksi gelombang di perairan dangkal dan tidak memperhitungkan *fully developed sea*. Dalam hal ini tinggi gelombang dibatasi

oleh lamanya waktu dari angin berhembus (*duration limited*), maka panjang *fetch* tidak diperhitungkan dan gelombang yang dihasilkan adalah *Non fully developed sea*.

## 2.8 Satelit Altimetri

Sistem satelit altimetri berkembang sejak tahun 1975, ketika diluncurkannya sistem satelit *Geos-3*. Pada saat ini secara umum sistem satelit altimetri mempunyai tiga objektif ilmiah jangka panjang yaitu mengamati sirkulasi lautan global, memantau volume dari lempengan es kutub, dan mengamati perubahan muka laut rata-rata (MSL) global.

Satelit Altimetri diperlengkapi dengan pemancar pulsa radar (*transmitter*), penerima pulsa radar yang sensitif (*receiver*), serta jam berakurasi tinggi. Pada sistem ini, altimeter radar yang dibawa oleh satelit memancarkan pulsa-pulsa gelombang elektromagnetik (radar) ke permukaan laut. Pulsa-pulsa tersebut dipantulkan balik oleh permukaan laut dan diterima kembali oleh satelit. Informasi utama yang ingin ditentukan dengan satelit altimetri adalah topografi dari muka laut. Hal ini dilakukan dengan mengukur ketinggian satelit di atas permukaan laut dengan menggunakan waktu tempuh dari pulsa radar yang dikirimkan ke permukaan laut, dan dipantulkan kembali ke satelit. 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 pengali 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 juga telah melakukan validasi  $H_s$  dengan faktor pengali 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 pengali terlebih dahulu.