

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Angin

Sirkulasi udara yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi disebut angin. Gerakan udara ini disebabkan oleh perubahan temperatur atmosfer. Pada waktu udara dipanasi, rapat massanya berkurang, yang berakibat naiknya udara tersebut yang kemudian diganti oleh udara yang lebih dingin disekitarnya.

Indonesia mengalami angin musim, yaitu angin yang berhembus secara mantap dalam satu arah dalam satu periode dalam suatu tahun. Pada periode yang lain arah angin berlawanan dengan angin pada periode sebelumnya. Angin musim ini terjadi karena adanya perbedaan musim dingin dan panas di benua Asia dan Australia. Pada bulan Desember, Januari dan Februari, belahan bumi bagian utara mengalami musim dingin; sedang belahan bumi bagian selatan mengalami musim panas. Tekanan udara di daratan Asia adalah lebih tinggi dari daratan Australia, sehingga angin berhembus dari Asia menuju Australia. Tekanan udara di belahan bumi utara lebih tinggi dari belahan bumi selatan, sehingga angin dari samudra Pasifik yang basah berhembus dari timur laut, dan karena perputaran bumi, di khatulistiwa dibelokan menjadi barat laut. Di Indonesia angin tersebut dikenal dengan Angin Musim Barat. Sebaliknya pada bulan Juli, angin dari daratan Australia yang kering berhembus dari tenggara, dan di khatulistiwa arah angin berubah karena perputaran bumi, menjadi barat daya. Di Indonesia ini dikenal Angin Musim Timur. Sistem tekanan tersebut adalah tetap sehingga angin musim bertiup dengan stabil terutama di lautan. Selat dan pegunungan yang membujur di pulau-pulau dapat mempengaruhi arah angin musim. Selain itu angin lokal (angin darat, angin laut) dapat menyebabkan penyimpangan arah angin musim.

Istilah Musim Barat dan Musim Timur banyak digunakan, meskipun seringkali juga disebut dengan istilah lain sesuai dengan arah utama angin yang bertiup di suatu daerah tertentu. Misalnya Musim barat di sebelah utara garis khatulistiwa sering pula disebut dengan Musim Timur Laut, disekitar khatulistiwa disebut dengan Musim Utara dan di sebelah selatan khatulistiwa dikenal dengan Musim Barat Laut. Sebaliknya Musim Timur disebut juga Musim Barat Daya di utara khatulistiwa, Musim Selatan di khatulistiwa dan Musim Tenggara di selatan khatulistiwa (Triatmodjo,1996).

Kecepatan angin masih dianggap konstan jika perubahannya tidak melebihi dari 5 knot (2,5m/d) (Triatmodjo, 1999). Distribusi arah angin terbagi menjadi 8 arah mata angin 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 $337,5^{\circ}$

Kecepatan angin diukur dengan anemometer. Apabila tidak tersedia anemometer, kecepatan angin dapat diperkirakan berdasarkan keadaan lingkungan dengan menggunakan skala Beaufort, seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Skala Beaufort

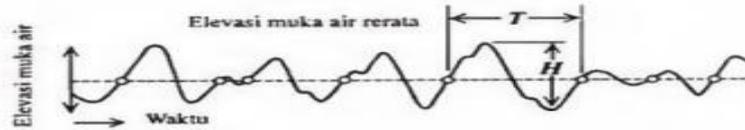
Tingkatan	Sifat Angin	Keadaan Lingkungan	V	P
			(knot)	(kg/m ²)
0	Sunyi (<i>calm</i>)	Tidak ada angin, asap mengumpul	0-1	0,2
1	Angin sepoi	Arah angin terlihat pada arah asap, tidak ada bendera angin	1-3	0,8
2	Angin sangat lemah	Angin terasa pada muka, daun ringan bergerak	4-6	3,5
3	Angin lemah	Daun/ranting terus menerus bergerak	7-10	8,1
4	Angin sedang	Debu/ranting terus menerus bergerak	11-16	15,7
5	Angin agak kuat	pohon kecil bergerak, buih putih di laut	17-21	26,6
6	Angin kuat	Dahan besar bergerak, suara mendesir kawat tilpun	22-27	41
7	Angin Kencang	Pohon seluruhnya bergerak, perjalanan di luar sukar	28-33	60,1
8	Angin sangat kuat	Ranting pohon patah, berjalan menentang angin	34-40	83,2
9	Badai	Kerusakan kecil pada rumah, genting tertiuip dan terlempar	41-47	102,5
10	Badai kuat	Pohon tumbang, kerusakan besar pada rumah	48-55	147,5
11	Angin ribut	Kerusakan karena badai terdapat di daerah luas	56-63	188
12	Angin Topan	Pohon besar tumbang, rumah rusak berat	64	213

Catatan: V : kecepatan angin dan p : tekanan angin

(Sumber: Triatmodjo, 1996)

2.2 Gelombang Angin

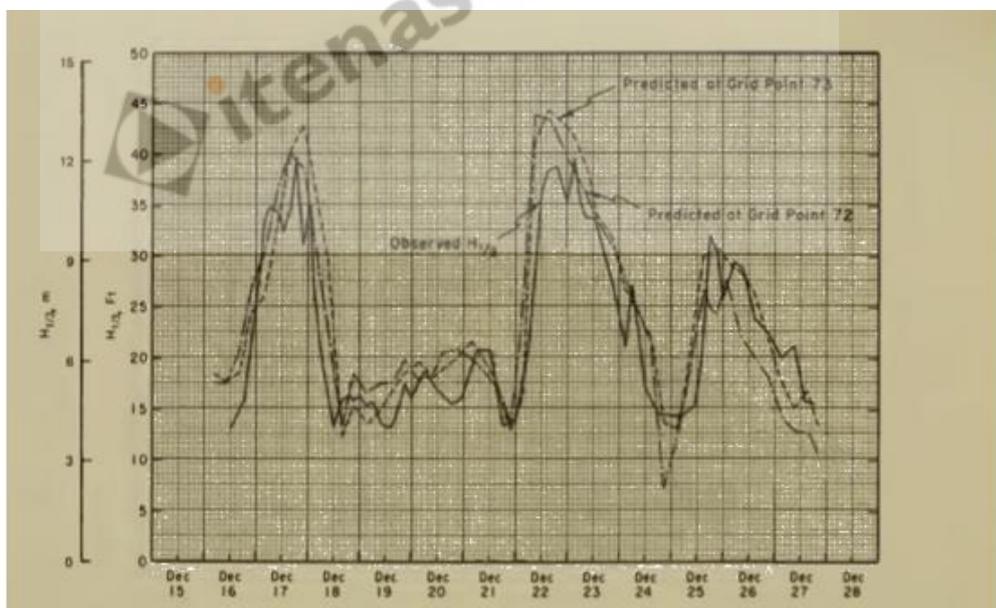
Gelombang angin adalah gelombang yang diakibatkan oleh energi angin sehingga menimbulkan gelombang. Tinggi gelombang ditentukan oleh kecepatan angin, durasi angin, dan panjang *fetch*. Tinggi gelombang semakin tinggi jika kecepatan angin semakin tinggi, durasi angin semakin lama dan panjang *fetch* semakin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



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 H_{100} . $H_{1/3}$ adalah rata-rata dari 1/3 atau 33% dari tinggi gelombang tertinggi dan H_{100} adalah rata-rata dari seluruh data gelombang. Pada tahun 1959 CERC melakukan riset dengan membandingkan data hasil pengamatan di lapangan dengan hasil peramalan gelombang yang dapat dilihat pada (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Pengukuran Dan Peramalan Ketinggian Gelombang Signifikan Terhadap Waktu, Desember 1959 Dekat Stasiun Cuaca J di Atlantik Utara.

(Sumber : CERC, 1984).

Pada tahun 1921 *Captain* angkatan laut Inggris bernama HP Douglas membuat skala tinggi gelombang berdasarkan kondisi angin. Skala Douglas mempunyai batas dari 0 sampai 9 yang dapat dilihat pada (Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Skala Douglas.

Scale	Symbol	Description	Wave Height (m)
0	—	Calm (glassy)	0
1	—	Calm (rippled)	0-0.10
2	~	Smooth	0.10-0.50
3	≈	Slight	0.50-1.25
4	≡	Moderate	1.25-2.50
5	≈	Rough	2.50-4
6	≈	Very rough	4-6
7	W	High	6-9
8	W	Very high	9-14
9	ccc	Phenomenal	over 14

(Sumber : RNLI,2014).

2.3 Metode SPM

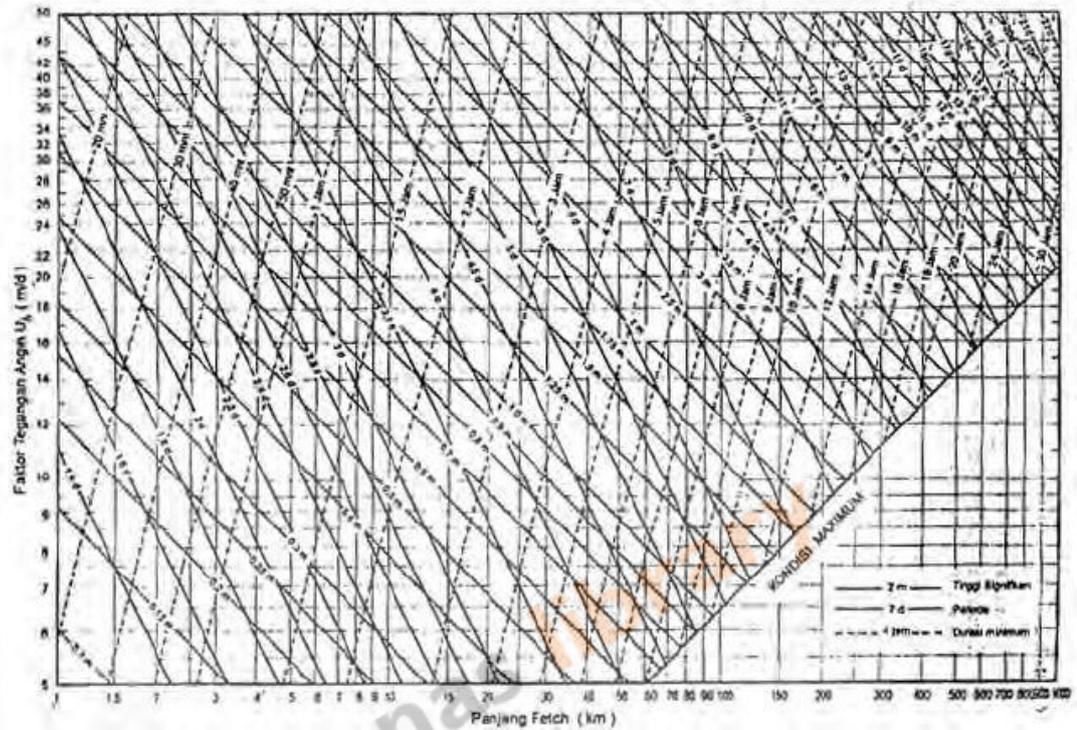
Karakter gelombang (H =tinggi gelombang dan T =periode gelombang) di laut dapat diperoleh dari peramalan dan pengamatan. Untuk peramalan H dan T diperlukan data angin dengan parameter :

1. Kecepatan angin (W) dalam satuan $[\frac{m}{det}]$.
2. Lama angin bertiup (t) dalam satuan [jam].
3. Fetch (F) jarak sumber angin yang sesuai dengan kecepatan dalam km.
4. Arah datang angin (N; NNE; NE; NEE; E; SEE; SE; SSE; S; SSW; SW; SWW; W; NWW; NW; NNW).

Bila data Fetch tidak diketahui, maka Fetch dapat diperkirakan dari panjang atau jarak laut bebas antara lokasi yang di tinjau terhadap pulau atas daratan yang mengelilinginya.

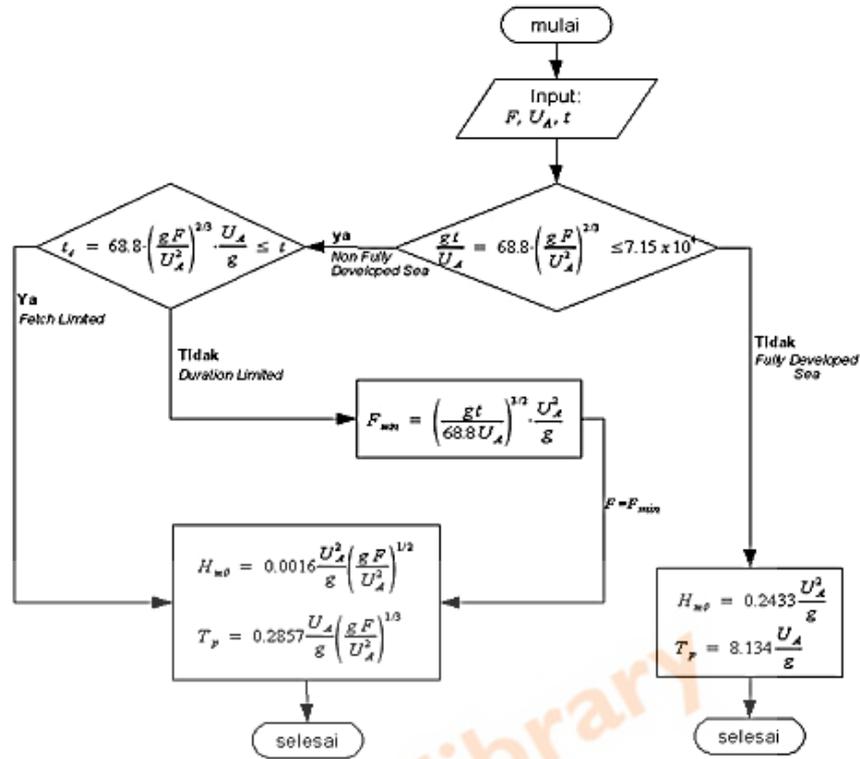
Metode SPM (*Shore Protection Manual*) dikeluarkan oleh US Army Corps of Engineer. Metoda ini memberikan grafik Gambar 2.3 dengan kurva-kurva yang

linier, sehingga perhitungan matematisnya lebih mudah disusun dalam model matematis suatu bagan alir perhitungan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3. Grafik Shore Protection Manual.

(Sumber : CERC,1984).



Gambar 2.4. Bagan Alir Peramalan Tinggi dan Periode Gelombang Menggunakan Metoda Shore Protection Manual.

(Sumber : Muliati, 2020)

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 :

$$\frac{gH_{m0}}{U_A^2} = 0,0016 \left(\frac{gF}{U_A^2}\right)^{\frac{1}{2}} \leq 0.2433 \quad \dots 2.1$$

$$\frac{gT_{m0}}{U_A} = 0,2857 \left(\frac{gF}{U_A^2}\right)^{\frac{1}{3}} \leq 8.134 \quad \dots 2.2$$

$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \left(\frac{gF}{U_A^2}\right)^{\frac{2}{3}} \leq 7.15 \times 10^4 \quad \dots 2.3$$

$$\left(\frac{gt}{68.8xU_A}\right)^{\frac{3}{2}} \times \frac{U_A}{g} = F_{min} \quad \dots 2.4$$

Dimana :

H_{mo} = Tinggi gelombang signifikan [m].

g = Percepatan gravitasi [$\frac{m}{det^2}$].

U_A = Kecepatan angin [$\frac{km}{jam}$].

t = Durasi angin [jam].

T_p = Perioda gelombang [det].

F_{eff} = Panjang *fetch effective*

Persamaan 2.3 digunakan untuk menentukan *fetch limited* atau *duration limited*. Jika durasi (t) pada persamaan 2.3 lebih kecil dari durasi angin yang diketahui maka *fetch limited*, sedangkan persamaan 2.4 digunakan untuk menghitung *fetch minimum* jika didapat *duration limited* atau *time limited*.

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

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 0,243 \quad \dots 2.5$$

$$\frac{gT_{mo}}{U_A} = 8.134 \quad \dots 2.6$$

$$\frac{gt}{U_A} = 7.15 \times 10^4 \quad \dots 2.7$$

Dimana :

H_{mo} = Tinggi gelombang signifikan [m].

g = Percepatan gravitasi [$\frac{m}{det^2}$].

U_A = Kecepatan angin [$\frac{km}{jam}$].

t = Durasi angin [jam].

T_{mo} = Perioda gelombang [det].

Kondisi FDS adalah dimana $\frac{gt_c}{U_A}$ lebih dari atau sama dengan 7.15×10^4 , jika sebaliknya maka jenis gelombang tersebut NFDS.

2.4 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 :

1. Konversi kecepatan angin dalam satuan $\frac{m}{s}$.

Semua data angin hasil analisis yang masih dalam satuan knot dikonversi ke dalam satuan $\frac{m}{s}$.

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 awal yang ditarik ke kanan berdasarkan durasi kecepatan anginnya, kemudian ditarik garis sejajar mengikuti garis lengkung tinggi gelombang sampai kecepatan angin selanjutnya dan ditarik ke arah kanan sesuai durasi anginnya sehingga diperoleh nilai tinggi gelombang.

2.5 Perhitungan Wind Stress Factor

Wind Stress Factor merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung tinggi gelombang tinggi gelombang yang dibangkitkan dalam proses *hindcasting*. Parameter ini intinya adalah kecepatan angin yang dimodifikasi.

Sebelum mengubah kecepatan angin menjadi *Wind Stress Factor*, koreksi terhadap data kecepatan angin perlu dilakukan. Berikut ini adalah koreksi dan konversi yang perlu dilakukan pada data angin untuk mendapatkan nilai *Wind stress Factor*.

2.5.1 Koreksi Ketinggian

Wind Stress Factor dihitung dari kecepatan angin yang diukur dari ketinggian 10 m di atas permukaan. Bila data angin diukur tidak dalam ketinggian ini, koreksi perlu dilakukan dengan persamaan dibawah ini (pers. ini dapat dipakai untuk $z < 20\text{m}$):

$$U(10) = U(z) \left(\frac{10}{z} \right)^{1/7} \quad \dots 2.8$$

Dengan :

$U(10)$ = Kecepatan angin pada elevasi 10 m [$\frac{m}{det}$].

$U(z)$ = Kecepatan angin pada ketinggian pengukuran [$\frac{m}{det}$].

z = Kecepatan angin pada ketinggian pengukuran [m].

2.5.2 Koreksi Stabilitas

Koreksi stabilitas ini berkaitan dengan perbedaan temperatur udara tempat bertiupnya angin dan air tempat terbentuknya gelombang. Persamaan koreksi stabilitas ini adalah sebagai berikut:

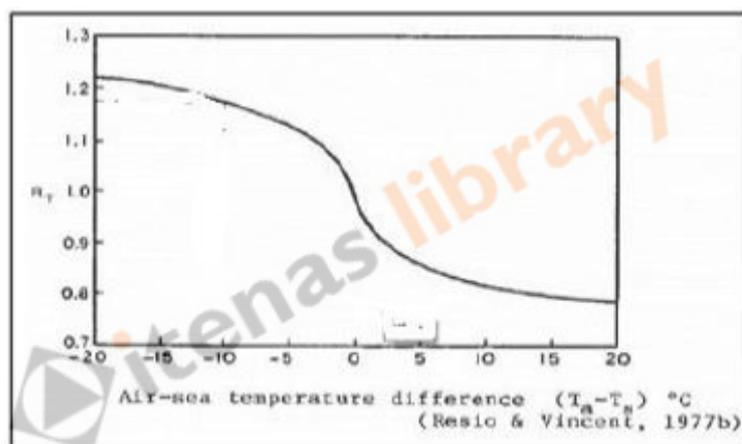
$$U = R_T \cdot U(10) \quad \dots 2.9$$

Dimana :

U = Kecepatan angin setelah dikoreksi [$\frac{m}{det}$].

$U(10)$ = Kecepatan angin sebelum dikoreksi [$\frac{m}{det}$].

R_T = Koefisien stabilitas, nilainya didapat dari grafik.

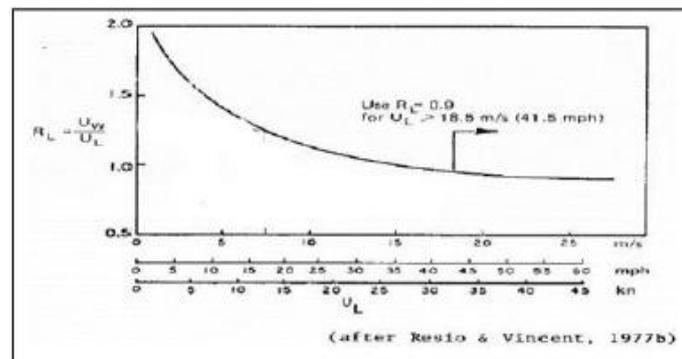


Gambar 2.6 Grafik Koefisien Koreksi Stabilitas.

(Sumber : CERC, 1984).

2.5.3 Koreksi efek lokasi

Koreksi ini diperlukan bila data angin yang diperoleh berasal dari stasiun darat, bukan diukur langsung di atas permukaan laut, ataupun di tepi pantai. Untuk merubah kecepatan angin yang bertiup di atas daratan menjadi kecepatan angin yang bertiup di atas air, digunakan grafik pada (gambar 2.7).



Gambar 2.7 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin Di Darat dan Di Laut.

(Sumber : CERC, 1984).

$$U_w = R_L \cdot U_{L(10)} \quad \dots 2.10$$

Dengan :

U_w = kecepatan angin di laut [$\frac{m}{det}$].

U_L = kecepatan angin di darat [$\frac{m}{det}$].

R_L = ratio hubungan antara kecepatan angin di darat dan di laut.

2.6 Data Altimetri dan Hasil Pemodelan Wave Watch III

Dalam mendapatkan data gelombang ada berbagai metoda–metoda yang bisa digunakan dan metoda yang paling baik adalah dengan menggunakan metoda pengukuran lapangan. Tetapi dikarenakan sulit dan mahal maka pengukuran gelombang dapat divalidasi menggunakan data gelombang dari satelit Altimetri.

Gelombang Altimetri diperoleh dari *website* Avision.altimetry.fr dan data yang didapat dari *website* tersebut masih berbentuk *file* NC. *File* NC tersebut dapat diakses dengan aplikasi *Panoply* untuk dikoversikan. Data yang di *download* dari *website* tersebut selama satu tahun berupa tinggi gelombang signifikan (H_s) harian.

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. Begitu pula Usmaya dan Muliati (2018) pada lokasi Pulau Enggano, Bengkulu dengan faktor koreksi 0,611 yang menandakan bahwa H_s

altimetri pada kedua lokasi tersebut tidak sama dengan H_s gelombang hasil pengukuran. Menurut Usmaya dan Muliati tinggi gelombang altimetri tidak dapat langsung digunakan untuk perencanaan harus dikalikan dengan faktor koreksi terlebih dahulu. Lain halnya dengan Khotimah (2012) yang telah memodelkan gelombang dengan *WindWave-5* dimana hasil pemodelan sesuai dengan data hasil pengamatan satelit altimetri multimisi. Hasil validasi model gelombang ini sangat baik pada kondisi-kondisi gelombang tinggi dari pada gelombang yang rendah, dan pada periode Monsoon Asia dan Australia juga terlihat lebih baik dari pada periode transisi.

Ramdhani (2015) melakukan pemodelan gelombang untuk wilayah Indonesia, dengan *Wave Watch III* tahun 1988-2011. Pemodelan ini dengan durasi yang cukup panjang, yaitu 24 tahun, sehingga diharapkan hasil pemodelannya dapat mewakili karakteristik tinggi gelombang pada perairan di Indonesia.

