

PENGOLAHAN GELOMBANG PERMUKAAN LAUT MENGGUNAKAN METODE SVERDRUP MUNK BRETSCHNEIDER (SMB) DI PERAIRAN PULAU PABELOKAN

Eko Setiawan¹, Dian Adrianto², Candrasa Surya Dharma³, Endro S Kurniawan⁴

¹Mahasiswa Program Studi D3 Teknik Hidro-Oseanografi, STTAL

²Dosen Pengajar Prodi S1 Hidrografi, STTAL

³Peneliti dari Dinas Hidro-Oseanografi, TNI-AL

⁴Dosen Pengajar Prodi D-III Hidro-Oseanografi, STTAL

ABSTRAK

Gelombang merupakan salah satu fenomena oseanografi yang sangat berpengaruh untuk kegiatan-kegiatan dilaut terutama kaitannya dengan keselamatan pelayaran, untuk mendapatkan data gelombang tersebut memerlukan biaya yang tinggi. Untuk itu, sebagai alternatif digunakanlah metode peramalan dengan menggunakan input data angin. Salah satu metode peramalan gelombang yang digunakan adalah metode *Sverdrup Munk Bretschneider* (SMB).

Pulau Pabelokan merupakan salah satu aset nasional yang didalamnya terdapat instalasi gas bumi yang dikelola oleh CNOOC SES Ltd dan merupakan pulau dengan aktifitas yang tinggi. Di Pulau Pabelokan terdapat stasiun Meteorologi dan stasiun pengukuran gelombang yang diletakkan di instalasi pengeboran Cinta Komplek yang terletak tidak jauh dari Pulau Pabelokan. Untuk mendapatkan karakteristik gelombang dengan menggunakan metode SMB diperlukan input data berupa arah dan kecepatan angin, data yang digunakan adalah data angin dengan rentang waktu antara 2014 s.d 2015. Gelombang representatif hasil metode SMB dibandingkan dengan hasil pengukuran gelombang diarea pengeboran Cinta Komplek milik CNOOC dengan alat yang digunakan adalah *Live Uninterrupted Water Sensor (Luwes)* pada tanggal 12 s.d 27 Agustus 2016.

Data yang dihasilkan melalui perhitungan SMB dibandingkan dengan data hasil pengukuran langsung, dari hasil pengolahan menggunakan metode SMB, $H_{max} = 3,45$ m, $H_{min} = 0,02$ m, $H_s = 1,05$ m, dan $H_{AVG} = 0,48$ m. Data hasil pengukuran langsung mendapatkan $H_{max} = 3,75$ m, $H_{min} = 0,01$ m, $H_s = 0,62$ m, dan $H_{rata-rata} = 0,37$ m.

Kata kunci: Keselamatan pelayaran, karakteristik gelombang, metode SMB, alat Luwes.

ABSTRACT

ABSTRACT

Ocean waves is one of the phenomena influence on activities at sea, primary concerned with the safety navigation. To get the sea wave data, required the an expensive cost. So, As an alternatif methods was used forecasting sea wave use input wind data, one of the method for forecasting is Sverdrup Munk Bretschneider (SMB). Pabelokan Island constitute national asset wich includes there gasplant with managed CNOOC SES Ltd and is island with high of activity. In Pabelokan Island there is a meteorology station and wave measurement station on drilling installation Cinta Complex and located not far from the Pabelokan Island.

To obtain characteristics of wave by using SMB methods required data of direction and wind speed spent of time between 2014 until 2015. Wave model is resulted of this method then compared with the result of direct measurement of the device mounted drilling area of Cinta Complex with the instrument used is Live Uninterrupted Water Sensor (Luwes).

The processing result use SMB method, $H_{max} = 3,45$ m, $H_{min} = 0,02$ m, $H_s = 2,3$ m and $H_{avg} = 1,1$ m. The measurement data directly get the value $H_{max} = 3,75$ m, $H_{min} = 0,01$ m, $H_s = 0,62$ m, and $H_{avg} = 0,37$ m.

Keyword: Shipping safety, Characteristic of wave, SMB method, Luwes

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gelombang merupakan salah satu fenomena oseanografi yang sangat penting. Informasi tentang gelombang banyak dibutuhkan untuk berbagai kegiatan dilaut seperti transportasi, perikanan, engineering, pengembangan wilayah pesisir, dan untuk keselamatan pelayaran. Pulau Pabelokan merupakan pulau dengan status sebagai salah satu aset nasional yang didalamnya terdapat instalasi gas bumi, penyulingan air, mess hall, perkantoran dan base camp para pekerja tambang yang dikelola langsung oleh CNOOC SES Ltd. Aktifitas yang tinggi di pulau tersebut memerlukan informasi parameter gelombang guna mendukung aktifitas sehari-hari. Untuk mendapatkan parameter gelombang salah satu metode yang dapat dipakai adalah metode peramalan gelombang *hindcasting* menggunakan metode *Sverdrup Munk Bretschneider* (SMB).

Rumusan Masalah

Permasalahan yang ada di Pulau Pabelokan adalah:

- a. Memanfaatkan data kecepatan dan arahnya angin yang ditempatkan di Pulau Pabelokan untuk peramalan gelombang menggunakan metode SMB; dan
- b. Parameter gelombang hasil pengolahan dengan menggunakan metode SMB dibandingkan dengan parameter gelombang hasil pengukuran secara langsung dengan alat pencatat gelombang *Luwes*.

Batasan Masalah

Masalah dibatasi pada:

- a. Peramalan gelombang menggunakan metode *hindcasting* dengan data yang digunakan adalah data angin periode tahun 2014 s.d 2015 dari stasiun meteorologi di Pulau Pabelokan;
- b. Data gelombang yang digunakan adalah hasil pengukuran langsung dari tanggal 12 s.d 27 Agustus 2016 menggunakan alat pengukur gelombang *Luwes*;
- c. Perhitungan peramalan gelombang menggunakan metode SMB dengan variabel utama adalah arah dan kecepatan angin;
- d. Analisa data gelombang dengan cara *Zero Down Crossing (ZDC)* untuk mendapatkan gelombang representatif; dan
- e. Data hasil metode SMB diverifikasi dengan data gelombang yang diukur dengan alat pengukur gelombang *Luwes*.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Untuk memahami penentuan parameter gelombang laut yang memanfaatkan data arah dan kecepatan angin dengan menggunakan metode SMB;
- b. Memahami karakteristik alat pengukur gelombang *Luwes* beserta data yang dihasilkan sehingga dapat memanfaatkan alat *Luwes* sebagai alternatif alat yang dapat digunakan dalam pengukuran gelombang laut permukaan;
- c. Memahami pengolahan data gelombang untuk menentukan gelombang representatif; dan

d. Menganalisa hasil pengolahan data gelombang hasil pengukuran langsung dengan hasil dari metode SMB.

Manfaat Penelitian

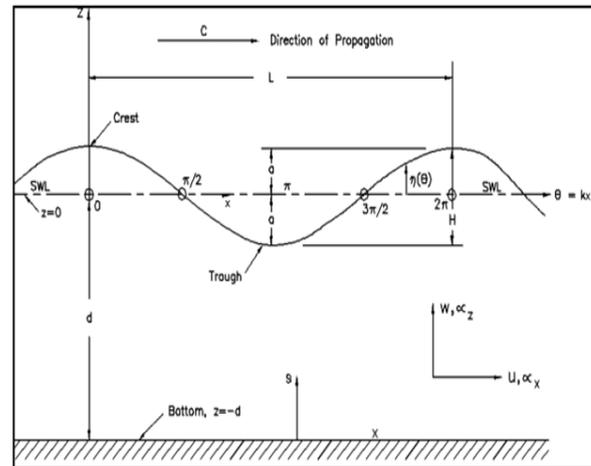
Manfaat dari penelitian ini untuk memberikan informasi tentang parameter gelombang representatif yang dihasilkan dari pengukuran dan perhitungan dengan metode SMB untuk digunakan sebagai pendukung dalam melaksanakan aktifitas di perairan sektor Pulau Pabelokan.

LANDASAN TEORI

Gelombang

Gelombang laut dapat diklasifikasikan ke dalam berbagai kategori berdasarkan parameter-parameter fisis yang menjadi karakteristiknya, karakteristik dari gelombang laut tergantung pada gaya-gaya yang membangkitkannya. Secara umum terbentuknya gelombang terjadi akibat adanya gaya alam yang bekerja di laut seperti tekanan atau tegangan dari atmosfer (misalnya melalui angin), dinamika geologi atau gempa bumi, gaya grafitasi benda angkasa khususnya bulan dan matahari, gaya koriolis (rotasi bumi), dan tegangan permukaan. Gelombang yang ada di lautan mempunyai bentuk yang sangat kompleks dan tidak beraturan, sehingga untuk mengetahuinya dianggap suatu gelombang yang tak beraturan tersebut merupakan superposisi dari tak berhingga gelombang-gelombang sederhana yang mempunyai pola sinusoidal. Setiap gelombang sinusoidal dapat dicirikan oleh parameter-parameter gelombang yaitu : Tinggi gelombang H (jarak antara puncak dan lembah), perioda gelombang T (perbedaan waktu antara 2 puncak/ 2 lembah yang

berurutan), panjang gelombang L (jarak dari 2 puncak/2 lembah yang berurutan), dan kecepatan rambat gelombang C dimana $C = L/T$. Dalam sketsa didefinisikan dari suatu gelombang memperlihatkan bahwa gelombang sinusoidal menjalar di suatu kedalaman perairan “ d “ di dalam sistem koordinat x dan y , dasar perairan terletak di $y = -d$ dan profil permukaan gelombang pada $y = \eta$.



Gambar.1 Sketsa Definisi Gelombang
(Sumber: *Water Wave Mechanics*, Chapter II)

Menurut Triatmodjo (1999), dalam mempelajari terbentuknya gelombang digunakan asumsi – asumsi untuk mendukung teori gelombang adalah sebagai berikut:

- Zat cair / *fluida* adalah homogen;
- Tegangan permukaan diabaikan;
- Gaya koriolis diabaikan;
- Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan sehingga perbedaan tekanan aerostatik antara puncak dan lembah gelombang diabaikan;
- Dasar laut adalah horisontal, tetap dan impermeable sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol; dan
- Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjarangan

gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

Berdasarkan kedalaman relatif yaitu perbandingan antara kedalaman laut (d) dan panjang gelombang (L) maka gelombang dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam:

- Gelombang laut dangkal jika $d/L \leq 1/20$
- Gelombang laut transisi jika $1/20 < d/L < 1/2$
- Gelombang laut dalam jika $d/L \geq 1/2$

Angin

Menurut hukum Buys Ballot angin adalah massa udara yang bergerak dari arah bertekanan maksimum ke daerah bertekanan minimum dengan arah horizontal. Kecepatan angin dapat diukur dengan menggunakan alat anemometer dan dinyatakan dalam satuan knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui katulistiwa yang ditempuh dalam satu jam atau $1 \text{ knot} = 1.852 \text{ km / jam} = 0.5 \text{ m/detik}$. Diantara beberapa bentuk gelombang, yang paling dominan adalah gelombang yang dibangkitkan oleh angin yang selanjutnya disebut sebagai gelombang laut. Angin yang berhembus diatas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga akan menimbulkan riak – riak kecil diatas permukaan air laut. Energi yang diperoleh bergantung pada durasi angin bertiup, kecepatan angin, dan jarak yang ditempuh oleh angin diatas permukaan laut yang dilintasi (*Fetch*).

Hindcasting Gelombang

Hindcasting gelombang adalah suatu teknik peramalan gelombang yang akan datang

menggunakan data angin di masa lampau, teknik ini akan menghasilkan perkiraan tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) yang diakibatkan oleh transfer energi dari angin yang bergantung pada durasi, kecepatan, dan arah angin.

Fetch

Fetch adalah daerah pembangkit gelombang laut yang dibatasi oleh daratan yang mengelilingi lautan tersebut, sedangkan jarak *fetch* adalah jarak tanpa rintangan dimana angin sedang bertiup. Angin akan dianggap konstan apabila arah datangnya angin tidak melebihi 15° dan kecepatan angin tidak lebih dari 5 knots. (Triadmojo B, 2000). Arah *fetch* bisa didapatkan dari berbagai arah yang besarnya dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i}$$

Dalam hal ini:

F_{eff} = *Fetch* efektif

F = Panjang *fetch* yang diukur dari titik observasi sampai dengan ujung akhir *fetch*.

α = Besar sudut kedua sisi dari arah angin dengan menggunakan pertambahan 5°

Untuk peramalan gelombang perlu diperhatikan adalah data angin permukaan untuk mendapatkan nilai *Wind Stres Faktor* (U_A). Nilai U_A inilah yang akan digunakan sebagai salah satu variabel dalam peramalan gelombang. Untuk mendapatkan nilai tersebut dengan melakukan koreksi-koreksi sebagai berikut:

Koreksi Elevasi

Data angin yang digunakan dalam peramalan gelombang adalah data angin pada

elevasi 10 m apabila tidak pada elevasi tersebut maka dikoreksi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$U(10) = U(y) \left[\frac{10}{y} \right]^{1/7} \quad (1.6)$$

Dalam hal ini:

$U_{(10)}$ = kecepatan pada elevasi 10 meter

y = elevasi pengukuran angin

(y lebih kecil dari 20 m)

Koreksi Lokasi

Untuk pengukuran angin yang dilakukan di daratan ditransformasikan menjadi data angin yang ada diatas permukaan laut, hal itu dikarenakan rumus – rumus pembangkitan gelombang, data angin yang digunakan adalah data angin yang ada diatas permukaan laut. Hubungan antara angin di daratan dan diatas permukaan laut diberikan persamaan:

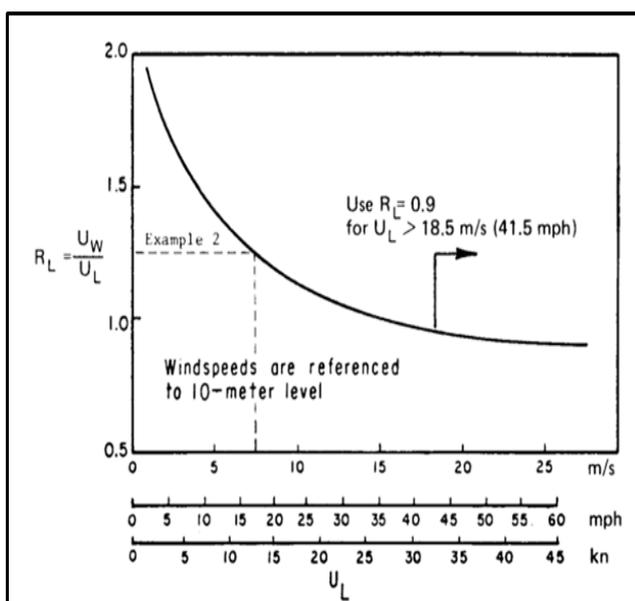
$$R_L = \frac{U_w}{U_L} \quad (1.8)$$

Dalam hal ini :

R = tabel koreksi hubungan kecepatan angin di darat dan di laut

U_w = kecepatan angin di laut (m/s)

U_L = kecepatan angin di darat (m/s)



Gambar 2. Tabel Hubungan Kecepatan Angin Di Laut dan Di Darat

(Sumber: *Shore Protection Manual*, 1984)

Koreksi Stabilitas

Koreksi stabilitas digunakan jika terjadi perbedaan temperatur air laut dan udara, besarnya nilai koreksi dinotasikan dengan R_T . Apabila nilai perbedaan temperatur tersebut tidak diketahui maka nilai $R_T = 1,1$ (*Shore Protection Manual*, 1984). Besarnya nilai kecepatan angin terkoreksi adalah:

$$U = R_T \times R_L \times U_{(10)} \quad (1.10)$$

Dalam hal ini:

U = kecepatan angin terkoreksi

R_T = koreksi stabilitas

R_L = koreksi lokasi pengamatan

U_{10} = kecepatan angin pada elevasi 10 m

Wind Stres Faktor (U_A)

Dalam pembangkitan gelombang selalu mengandung variabel *Wind-stress factor* (Faktor Tegangan Angin) dinotasikan dengan U_A . Variabel U_A dapat dihitung dari kecepatan angin setelah dilakukan berbagai konversi kecepatan angin, konversi kecepatan angin pada faktor tegangan angin menggunakan rumus sebagai berikut:

$$U_A = 0,71U^{1,23} \quad (1.11)$$

Dimana U adalah kecepatan angin dalam m/d

Metode Sverdrup Munk Bretschneider (SMB)

Penentuan tinggi dan periode gelombang signifikan menggunakan peramalan gelombang dapat dilakukan dengan metode *Sverdrup Munk Bretschneider* (SMB). Metode SMB ini dikemukakan oleh Sverdrup Munk tahun 1947 dan Bretschneider tahun 1985. Perhitungan menggunakan metode SMB dirumuskan dengan persamaan-persamaan berikut ini:

a. Kondisi pertumbuhan gelombang tidak penuh beberapa parameter gelombang dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

Tinggi gelombang signifikan (Hs)

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 1,6 \times 10^{-3} \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.17)$$

Periode gelombang signifikan

$$\frac{gT_m}{U_A} = 2,857 \times 10^{-1} \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1.18)$$

$$T_s = 0,95 T_m$$

Durasi angin

$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (1.19)$$

b. Kondisi pertumbuhan gelombang penuh beberapa parameter gelombang dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

Tinggi gelombang signifikan (Hs)

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 2,433 \times 10^{-1} \quad (1.20)$$

Periode gelombang signifikan (Ts)

$$\frac{gT_m}{U_A} = 8,134 \quad (1.21)$$

$$T_s = 0,95 T_m$$

Durasi angin

$$\frac{gt}{U_A} = 7,15 \times 10^4 \quad (1.22)$$

Dalam hal ini:

Hs = tinggi gelombang signifikan (m)

Tm = periode gelombang (s)

F = panjang fetch ke-i (m)

UA = faktor tegangan angin (m/s)

U = kecepatan angin (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Ts = periode gelombang signifikan (s)

t = durasi angin (s)

Live Uninterrupted Water Sensor (Luwes)

Live Uninterrupted Water Sensor (Luwes) merupakan salah satu alat yang digunakan untuk melakukan pengamatan permukaan air baik di sungai, bendungan, danau dan area pantai. Menurut Manurung Parluhutan (2015), sistem pemantauan pada alat ini bersifat real time dengan memanfaatkan teknologi sensor dan telekomunikasi berbasis GPRS ataupun Web sehingga dapat diakses melalui peralatan komunikasi mobile. Cara kerja sensor ini didasarkan pada prinsip dari pantulan suatu gelombang suara sehingga dapat dipakai untuk menafsirkan eksistensi (jarak) suatu benda dengan frekuensi tertentu. Disebut dengan sensor ultrasonik karena sensor ini menggunakan gelombang ultrasonik (bunyi ultrasonik). Konsep dasar yang dikembangkan oleh alat *Luwes* adalah membangun sistem sederhana, mudah pemasangannya, mudah pemeliharaan, sistem validasi pengamatan

serta kalibrasi di tempat dan mandiri dalam *powersupply* sehingga tidak tergantung pada sumber power yang lain. Spesifikasi alat Luwes adalah sebagai berikut (www.luweswatersensor.com):

- a. Sistem Sensor : Gelombang Ultra Sonic
 - 1) Sensor : MerekMaxbotix serieMB7386
 - 2) Frekuensi : 10 Hz
 - 3) Resolusi : 1milimeter
- b. Sistem Storage : *Printed Circuit Board* (PCB), yang dilengkapi:
 - 1) Penyimpanan : Memory card 2 GB includ
 - 2) Tranmisi : sinyal GPRS, 10 KB/s s.d 20 KB/s
 - 3) Controller
- c. Sistem Energi
 - 1) Sumber Energi : Sollar Cell
 - 2) Kapasitas Batterei : 24 Ampere Hour 12 Volt
 - 3) Konsumsi Energi : 1.5 Watt Hour

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian adalah Pulau Pabelokan. Pulau Pabelokan merupakan salah satu gugusan dari Kepulauan Seribu yang terletak di Desa Pulau Kelapa, Kecamatan Kepulauan Seribu Utara yang secara geografis terletak pada koordinat 05° 28' 44"LS - 106° 23' 35"BT. Data sekunder dari stasiun meteorologi yang dioperasikan oleh CNOOC SES Ltd, data primer dari stasiun gelombang yang di pasang di pengeboran minyak lepas pantai Cinta Komplek yang terletak pada koordinat 05°27'00,26"LS - 106°15'17,57"BT. Data angin yang digunakan untuk *hindcasting* peramalan gelombang adalah data angin

dengan rentang waktu 2014-2015 sedangkan data gelombang didapatkan dari pengukuran langsung pada tanggal 12 s.d 27 Agustus 2016 menggunakan alat pengukur gelombang *Luwes*.

Dari data meteorologi dan data pengukuran alat *Luwes* dilaksanakan pengolahan. Pengolahan data dilaksanakan dengan beberapa tahapan, tahapan-tahapan pengolahan data meteorologi meliputi pengelompokkan untuk mendapatkan arah dan kecepatan angin rata-rata di lokasi penelitian menggunakan metode prosentase frekuensi yaitu arah angin yang dominan sedangkan kecepatan angin adalah rata-rata. Dari data angin secara keseluruhan didapat prosentase kejadian selama tahun 2014-2015. Tahapan perhitungan menggunakan metode SMB berdasarkan data angin pada penelitian ini adalah:

1. Fetch

Panjang *fetch* efektif dapat dihitung berdasarkan prosedur sebagai berikut:

- a. Menarik garis *fetch* dari titik observasi hingga menyentuh daratan/pulau.
- b. Menarik garis *fetch* dengan penyimpangan 5° kekanan dan kekiri dari garis radial/garis utama hingga meliputi wilayah pengaruh *fetch* (22,5° kekanan dan 22,5° kekiri).
- c. Panjang *Fetch* efektif dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i}$$

Dalam hal ini:

F_{eff} = *Fetch* efektif

- F = Panjang *fetch* yang diukur dari titik observasi sampai dengan ujung akhir *fetch*.
- α = Besar sudut kedua sisi dari arah angin dengan menggunakan pertambahan 5°

2. Koreksi Durasi

Data angin yang ada merupakan data angin sesaat yang tidak disebutkan durasinya. Untuk peramalan gelombang diperlukan diperlukan durasi angin bertiup, sehingga dalam durasi tersebut kecepatan angin dianggap konstan. Koreksi ini dilakukan untuk mendapatkan kecepatan angin rata-rata selama durasi angin bertiup, kecepatan angin rata-rata untuk durasi angin dapat dicari dengan persamaan-persamaan (SPM,1984)

- Kecepatan angin sesaat (μf), durasi angin t detik (ut)
- $t_1 = \frac{1609}{\mu f}$ det
- Menghitung $u_{3600} \frac{u_f}{u_{3600}} = c$
- $u_{3600} = \frac{\mu f}{c}$

Untuk nilai c

$$c = 1,277 + 0,296 \tanh\left(0,9 \log\left(\frac{45}{t}\right)\right) \text{ untuk } 1 <$$

$t_1 < 3600$ det

$$c = -0,15 \log t_1 + 1,5334$$

untuk $3600 < t_1 < 36000$ det

Dalam hal ini:

- u_f = Kecepatan angin maksimum hasil pengukuran
- u_t = Kecepatan angin rata-rata untuk durasi angin yang diinginkan

3. Koreksi Elevasi

Untuk peramalan gelombang data angin yang digunakan adalah data angin pada elevasi 10 meter diatas permukaan. Apabila tidak pada elevasi tersebut maka harus dikonversi menggunakan persamaan (SPM,1984):

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

(persamaan ini dapat digunakan untuk $y < 20$ m)

4. Koreksi Stabilitas

Koreksi stabilitas digunakan akibat adanya perbedaan temperatur antara air laut dan udara, dinotasikan dengan R_T . Apabila data perbedaan temperatur tidak diketahui maka nilai $R_T = 1,1$. (SPM,1984)

5. Konversi Wind Stres Factor (U_A)

Tahap selanjutnya adalah menkonversi kecepatan setelah dikoreksi, konversi untuk mendapatkan *wind stres factor* menggunakan persamaan (SPM,1984):

$$U_A = 0,71 U^{1,23}$$

Dalam hal ini:

U_A = Wind stres factor (m/s)

U = Kecepatan angin (m/s)

6. Peramalan Parameter Gelombang

Prosedur peramalan gelombang menggunakan persamaan (SPM,1984);

$$\frac{gHs}{U_A^2} = 1,6 \times 10^{-3} \left[\frac{gF}{U_A^2}\right]^{1/2}$$

$$\frac{gTm}{U_A} = 2,857 \times 10^{-1} \left[\frac{gF}{U_A^2}\right]^{1/3}$$

$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Persamaan diatas berlaku untuk kondisi gelombang *Fully Developed Seas*, sehingga tinggi dan periode gelombang dibatasi menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{gHs}{U_A^2} = 2,433 \times 10^{-1}$$

$$\frac{gTm}{U_A} = 8,134$$

$$\frac{gt}{U_A} = 7,15 \times 10^4$$

$$\frac{gtd}{U_A} = 68,8 \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{2}{3}} \leq 7,15 \times 10^4$$

Jika hasil tidak memenuhi perbandingan persamaan diatas gelombang yang terjadi adalah hasil pertumbuhan gelombang sempurna maka tinggi dan periode gelombang didapatkan menggunakan persamaan berikut:

$$H_{mo} = \frac{0,2433 \times U_A^2}{g}$$

$$T_p = \frac{8,314 \times U_A}{g}$$

Jika hasil memenuhi perbandingan persamaan diatas gelombang yang terjadi adalah hasil pertumbuhan gelombang tidak sempurna. Ketidak sempurnaan pertumbuhan gelombang dipengaruhi oleh

fetch terbatas (*Fetch Limited*) durasi terbatas (*Duration Limited*). Untuk membedakan terlebih dahulu menghitung durasi kritis (t_c) menggunakan persamaan:

$$t_c = 68,8 \left[\frac{U_A}{g} \right] \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Jika $t_d > t_c$ maka pertumbuhan gelombang dibatasi oleh fetch (*Fetch Limited*), maka perhitungan parameter gelombang didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$H_{mo} = 1,6 \times 10^{-3} \left[\frac{U_A}{g} \right] \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$T_p = 2,857 \times 10^{-1} \left[\frac{U_A}{g} \right] \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Jika $t_d < t_c$ maka pertumbuhan gelombang dibatasi oleh durasi (*Duration Limited*), maka *fetch* yang digunakan adalah *Fmin* yang didapatkan menggunakan persamaan:

$$F_{min} = \left[\frac{U_A^2}{g} \right] \left[\frac{gt_d}{68,8U_A} \right]^{\frac{3}{2}}$$

Untuk perhitungan parameter gelombang didapatkan dengan menggunakan persamaan seperti halnya *Fetch Limited* untuk F yang digunakan adalah *Fmin*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Angin

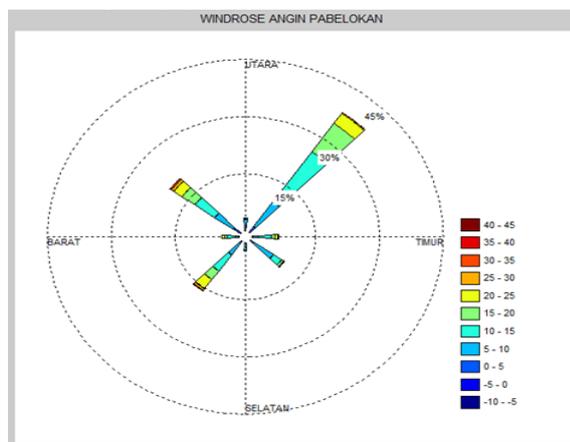
Penelitian yang dilaksanakan di Pulau Pabelokan menghasilkan data angin rentang waktu 2014-2015 dengan prosentase kejadian

pada Tabel.1 dan *Wind rose* pada Gambar 5 berikut:

Tabel 4.1 Prosentase Kejadian Angin Jam-Jaman Tahun Periode 2014-2015

PROSENTASE KEJADIAN ANGIN P.PABELOKAN TAHUN 2014 DAN 2015														
ARAH	1-3		4-6		7-11		12-16		17-20		> 21		Total	
	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
CALM	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
U	18	0,1	411	2,3	108	0,6	34	0,2	33	0,2	11	0,1	615	3,5
TL	18	0,1	781	4,5	1864	10,6	2725	15,6	1099	6,3	199	1,1	6686	38,2
T	4	0,0	135	0,8	441	2,5	383	2,2	116	0,7	76	0,4	1155	6,6
TG	20	0,1	417	2,4	1023	5,8	207	1,2	41	0,2	15	0,1	1723	9,8
S	4	0,0	121	0,7	151	0,9	48	0,3	6	0,0	0	0,0	330	1,9
BD	0	0,0	337	1,9	781	4,5	724	4,1	557	3,2	308	1,8	2707	15,5
B	0	0,0	114	0,7	214	1,2	271	1,5	128	0,7	51	0,3	778	4,4
BL	41	0,2	772	4,4	915	5,2	839	4,8	688	3,9	271	1,5	3526	20,1
Total	105	0,6	3088	17,6	5497	31,4	5231	29,9	2668	15,2	931	5,3	17520	100

Sumber: Hasil Pengolahan



Gambar 4.1 *Windrose* Angin Periode

Sumber: Hasil Pengolahan

Arah Utama	Feff (Km)
Utara	256,01
Timur Laut	429,40
Timur	678,04
Tenggara	85,87
Selatan	57,85
Barat Daya	88,28
Barat	66,29
Barat Laut	89,82

Tabel 4.2 Panjang *Fetch* Efektif di Pulau Pabelokan

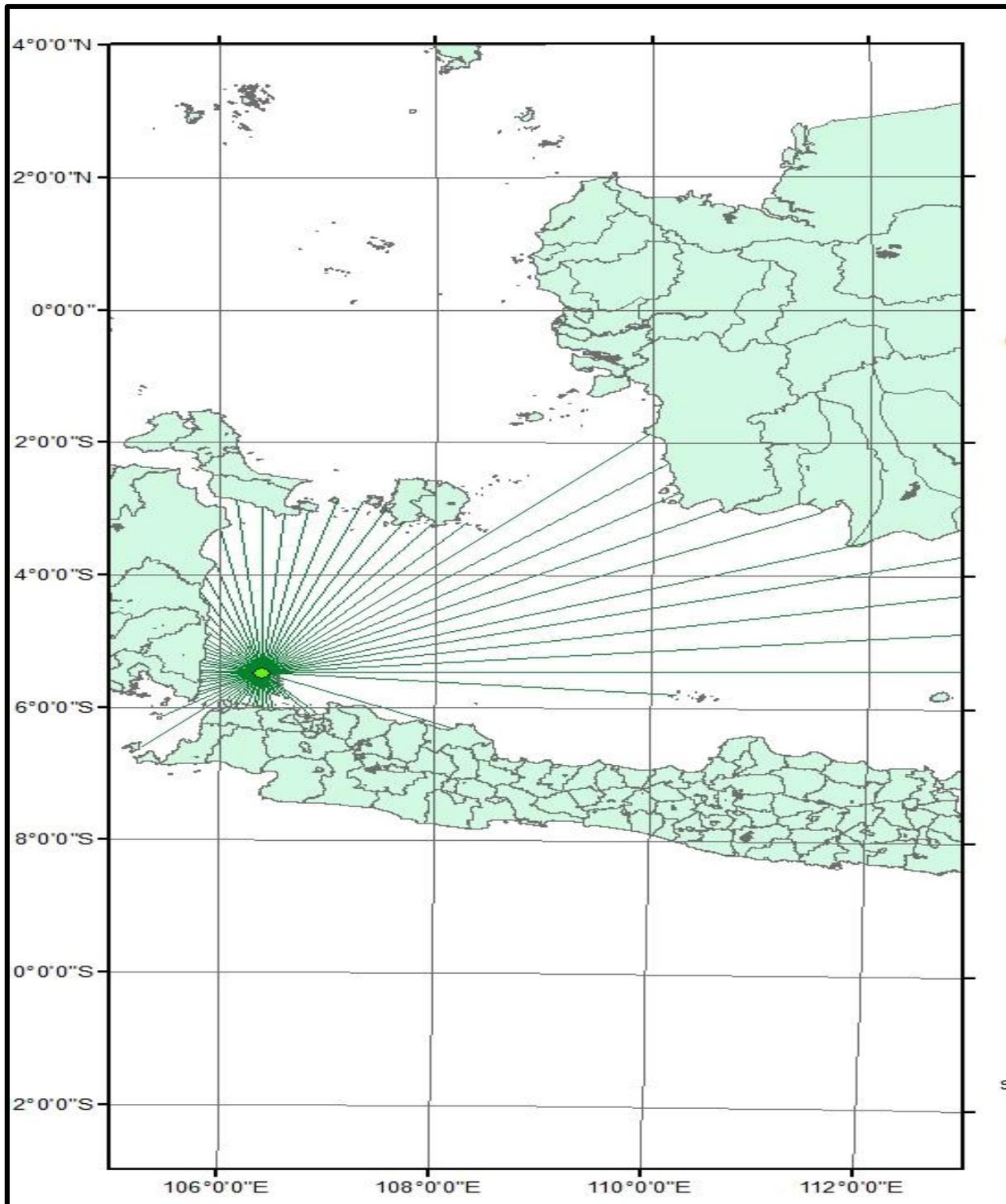
2014-2015 Di Pulau Pabelokan

Sumber: Hasil Pengolahan

Fetch Area Penelitian

Hasil penggambaran terhadap lokasi penelitian Pulau Pabelokan dihasilkan panjang *fetch* meliputi 8 arah mata angin yaitu pada

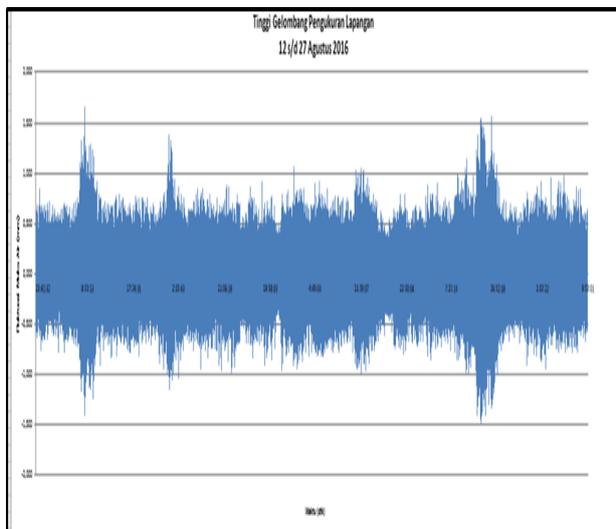
arah Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat dan Baral Laut. Dari hasil pengukuran diperoleh panjang *fetch* efektif sebagai mana ditunjukkan pada gambar 4.14 dan tabel 4.2



Gambar 4.14 *Fetch* Lokasi Penelitian

Hasil Pengukuran Gelombang Lapangan

Hasil pengukuran gelombang lapangan menggunakan alat pengukur gelombang *Luwes* menghasilkan data tinggi gelombang seperti pada Gambar 4.15 .



Gambar 4.27 Tinggi Gelombang Pengukuran Lapangan

Sumber: Hasil Pengolahan

Hasil pengolahan peramalan *hindcasting* gelombang menggunakan metode SMB pada yang terjadi pada bulan Agustus 2016 diverifikasi dengan data pengukuran langsung yang dilaksanakan pada tanggal 12 sampai dengan 27 Agustus 2016 menggunakan alat pengukur gelombang *Luwes*. Perbandingan hasil peramalan dan hasil pengukuran langsung tersebut berupa tinggi gelombang yang disajikan dalam Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.4 Tinggi Gelombang Berdasarkan *Hindcasting* Bulan Agustus

Parameter Gelombang	Mak (m)	Min (m)	10% (m)	33,3% (m)	100% (m)
Tinggi	3,45	0,02	3,1	2,3	1,1

Tabel 4.5 Tinggi Gelombang Berdasarkan Pengukuran Lapangan Tanggal 12 s.d 27 Agustus 2016

Parameter Gelombang	Mak (m)	Min (m)	10% (m)	33,3% (m)	100% (m)
Tinggi	3,75	0,01	0,85	0,62	0,37

Sumber: Hasil Pengolahan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan metode SMB dan data dari pengukuran langsung dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Arah pembentukan gelombang di Pulau Pabelokan meliputi delapan arah sesuai arah mata angin, yaitu: utara, timur laut, timur, tenggara, selatan, barat daya, barat, dan barat laut.
- Arah pembentuk gelombang dominan dari data angin periode 2014 s.d 2015 di dominasi dari arah timur laut.
- Hasil *hindcasting* menggunakan metode SMB diperoleh tinggi gelombang $H_{max}= 3,45$ m, $H_{min}= 0,02$ m, $H_s= 2,3$ m, dan $H_{AVG}= 1,1$ m.
- Hasil pengukuran lapangan menggunakan alat *Luwes* diperoleh tinggi gelombang selama pengamatan adalah $H_{max}= 3,75$ m, $H_{min}= 0,01$ m, $H_s= 0,62$ m, dan $H_{AVG}= 0,37$ m.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Triatmodjo. (1999) “ Teknik Pantai
“ Beta Offset. Yogyakarta
- Buku Peta Klimatologi Gelombang BMKG
(2012). Softcopy/PDF
- Jejen J.H,Muh.Yusuf & Elis Indrayanti (2013)
“Dinamika Penjalaran Gelombang
Menggunakan Model *CMS-Wave* Di
Pulau Parang Kepulauan
Karimunjawa” Jurnal Oseanografi
Vol.2,No.3 dari [http:// ejournal-
s1.undip.ac.id](http://ejournal-s1.undip.ac.id)
- Komarudin “ Pengoperasian , Pengumpulan
Dan Pengolahan Data Meteorologi
Menggunakan AWS RMYoung
26800 “ (2011)
- Mulyadi,Muh.Ishak Jumarang,Apriansyah
(2015) “Studi Variabilitas Tinggi dan
Periode Gelombang Laut Signifikan
di Selat Karimata” Positron,
Vol.V,No.1 ISSN: 2301-4970,dari
[http://www. Portalgaruda.org./PDF](http://www.Portalgaruda.org/PDF)
- Nining Sari Ningsih.Dr.Eng (2000), “
Gelombang Laut “ Program Studi
Oseanografi Jurusan Geofisika dan
Meteorologi Fakultas Ilmu Kebumian
dan Teknologi Mineral Institut
Teknologi Bandung.
- Saiful “Perbandingan Gelombang hasil
Pengukuran Insitu Dengan hasil
konversi Angin Menjadi Gelombang”
(2012)
- Shore Protection Manual 1984 Volume
I.Softcopy/PDF
- Yosua A.R.,Muh.I.Jasin & Jeffry D.Mamoto
(2015) “Analisa Karakteristik
Gelombang Di pantai Bulu Rerer
KecamatanKombi Kabupaten
Minahasa” Jurnal Sipil
Statik.Vol.3,No.1.ISSN:2337-
6732,diakses dari
[http://www.ejournal.unsrat.ac.id/inde
x.php/jss/article/view/6791/PDF](http://www.ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/6791/PDF)