

## PENENTUAN ELEVASI PERMUKAAN AIR BERDASARKAN DATA SERIES TINGGI TEKANAN AIR

Andi Rusdin\*

*Series data of sea surface elevation is required to determine the parameters of tidal and wave parameters. The series data on sea water surface is irregular waves which are a superposition of several regular waves. Therefore, water surface parameters are usually based on statistical parameters. Statistical parameter of water surface can be obtained by performing frequency analysis on data series of water surface elevation obtained by field measurements. The water surface elevation can be also determined by converting data series of water pressure obtained by pressure sensors. In this paper, the water surface elevation that has a small oscillation period is calculated based on two methods i.e. method of linear wave theory and method Transform Fast Fourier (FFT). The water surface elevation that is calculated by using linear wave theory method is converted directly from data series of water pressure that consists of hydrostatic pressure and dynamic pressure. FFT method has two steps to convert water pressure to become water surface elevation. First of all data series of water pressure is fragmented into several regular waves based on their frequencies. Secondly, In order to reduce errors, water level fluctuations with high frequencies are removed from the data based on the maximum frequency that can be recorded by the measuring instrument. The maximum frequency is determined by applying a deep-sea conditions and the depth position of the pressure sensor. Data used in the calculation is data from LIP11D experiments conducted at Delft LIP11D Hydraulic. Three data sets of water pressure were used to compare the water surface elevation of direct measurements with two water pressure conversion results using linear wave theory and the FFT method. Results of analysis show that the water surface elevation obtained by the FFT method gives good results when compared with the results of direct measurements.*

**Keyword:** wave parameters, Fast Fourier Transform

### 1. Pendahuluan

Parameter pasang surut seperti amplitudo pasang surut atau parameter gelombang seperti tinggi gelombang signifikan merupakan parameter fluktuasi permukaan air laut yang sangat penting dalam perancangan struktur pantai. Amplitudo pasang surut atau tinggi gelombang signifikan diperoleh dari hasil analisa data series elevasi permukaan air. Secara umum, elevasi permukaan air di laut merupakan gelombang irreguler yang merupakan superposisi dari beberapa gelombang reguler, sehingga parameter elevasi muka air dapat ditentukan berdasarkan pada parameter statistik. Data elevasi permukaan air diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung di laut dengan mengamati fluktuasi permukaan air sehingga diperoleh data time series tinggi muka air. Dari data tinggi muka air, parameter fluktuasi permukaan air diperoleh dengan melakukan analisa

frekuensi terhadap data fluktuasi muka air. Selain cara tersebut diatas, data elevasi permukaan air periode kecil dapat juga diperoleh dengan mengkonversi data time series tekanan air. Data timeseries tekanan air diperoleh dengan menggunakan alat perekam tekanan otomatis yang di pasang dibawah permukaan. Untuk mengkonversi data tekanan air menjadi tinggi air dilakukan perhitungan dengan menggunakan metode teori gelombang linier dan metode Fast Fourier Transform (FFT).

### 2. Metode perhitungan elevasi muka air berdasarkan tekanan air di bawah permukaan.

#### 2.1 Teori gelombang linier

Data time series elevasi permukaan air periode kecil dapat dihitung dari data time series tekanan dengan menggunakan teori gelombang

---

\* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

linier. Teori gelombang linier untuk menghitung elevasi permukaan air ( $\zeta_i$ ) pada gelombang berdasarkan tekanan air ( $P_i$ ) adalah:

$$\zeta_i = \frac{\bar{P}}{\rho g} + \frac{P_i - \bar{P}}{\rho g} \frac{\cosh kh}{\cosh k(h + z_{ins})} \dots\dots(1)$$

Dimana:

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = gk \tanh(kh) \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan (2) dikenal sebagai persamaan disperse gelombang, dimana bilangan gelombang  $k$  merupakan fungsi dari kedalaman air  $h$  dan periode gelombang  $T$ . Posisi instrument pengukur tekanan di dalam air ditunjukkan  $z_{ins}$ .

2.2 Fast Fourier Transform

Metode lain yang digunakan untuk menkonversi tekanan air menjadi elevasi permukaan air adalah Fast Fourier Transform. Metode tersebut dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\xi(t) = \frac{P_i}{\rho g} \dots\dots\dots(3)$$

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \xi(t) e^{i\omega t} dt \dots\dots\dots(4)$$

$$\zeta_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{K_p} F(\omega) e^{-i\omega t} d\omega \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

$$K_p = \frac{\cosh k(h + z_{ins})}{\cosh(kh)} \dots\dots\dots(6)$$

$\xi(t)$  adalah kolom air dalam meter,  $\zeta_i$  adalah elevasi permukaan air,  $K_p$  adalah factor response tekanan, and  $\omega$  adalah fekwensi gelombang.

2.3 Mereduksi kesalahan perhitungan akibat frekwensi tinggi

Jika peralatan sensor tekanan diletakkan diletakkan dibawah gelombang, maka alat tersebut akan merekam tekanan hidrostatik dan osilasi tekanan dinamik. Efek tekanan dinamik berdasarkan persamaan (1) adalah kecil jika ditempatkan pada posisi yang dalam di bawah

permukaan air. Keberadaan tekanan dinamik tergantung pada factor respon tekanan  $K_p$  yang merupakan fungsi dari bilangan gelombang  $k$  dan kedalaman air  $h$ . Dengan nilai  $h$  yang konstan, bilangan gelombang  $k$  dalam persamaan disperse (2) merupakan fungsi dari frekwensi gelombang ( $1/T$ ).

Gelombang dengan periode kecil atau frekwensi tinggi mempunyai nilai  $K_p$  yang sangat kecil pada dasar laut dan kemungkinan tidak dapat direkam oleh sensor tekanan, sedangkan gelombang dengan periode besar atau frekwensi rendah, memberikan nilai  $K_p$  yang besar. Elevasi permukaan air yang dihitung berdasarkan data tekanan yang mengandung frekwensi tinggi kemungkinan mempunyai kesalahan akibat memasukkan data yang salah berdasarkan frekwensi tinggi yang tidak mungkin dicatat oleh sensor tekanan. Sedangkan hasil perhitungan elevasi muka air yang hanya diperoleh dari data yang berfrekwensi rendah, akan memberikan kesalahan akibat tidak tercakupnya data berfrekwensi tinggi yang tercatat oleh sensor.

Untuk memperoleh frekwensi yang tepat untuk keperluan perhitungan elevasi permukaan air dengan menggunakan data tekanan air, kami mengusulkan penggunaan frekwensi maksimum dalam perhitungan dengan memilih bilangan gelombang maksimum  $k$  yang dapat dicatat oleh sensor tekanan. Bilangan gelombang maksimum tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan kondisi laut dalam pada teori gelombang linier, kondisi laut dalam dapat dijelaskan sebagai berikut (Dean et al., 1984):

$$\frac{h}{L} > \frac{1}{2} \dots\dots\dots(7)$$

dan

$$k = \frac{2\pi}{L} \dots\dots\dots(8)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (7) ke dalam persamaan (8), maka diperoleh hubungan antara kondisi laut dalam dan bilangan gelombang  $k$  dan bilangan gelombang maksimum adalah fungsi dari kedalaman air.

$$k = \frac{\pi}{h} \dots\dots\dots(9)$$

Bilangan gelombang maksimum dapat dihitung dengan persamaan (9) dan frekwensi maksimum ditentukan dengan menggunakan persamaan dispersi gelombang (3).

### 3. Data Penelitian

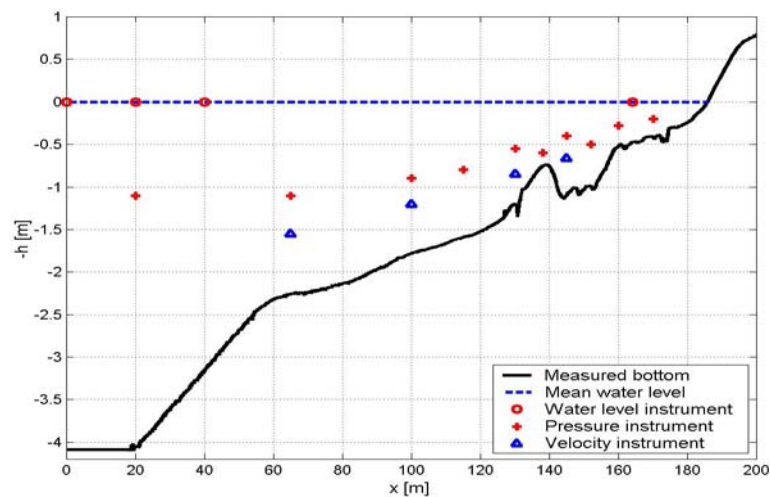
#### 3.1 Eksperimen Flume

Data yang digunakan dalam tulisan ini adalah data pengukuran flukuasi permukaan air yang diambil dari percobaan flume skala besar LIP11D (Arcilla et al, 1995) yang dilakukan di Delft Hydraulic (Gambar 1). Test LIP11D terdiri dari beberapa set eksperimen dan pada tulisan ini digunakan paket eksperimen 1c yang terdiri dari 13 eksperimen. Dalam paket eksperimen 1c digunakan experiment 4, 8, dan 11 untuk menghitung elevasi permukaan air berdasarkan data tekanan air. Flume yang digunakan berukuran panjang sekitar 250.0 m. Flume diisi dengan pasir dengan ukuran rata-rata 200.0  $\mu\text{m}$  dan sedemikian

rupa sehingga membentuk profil dasar yang hampir mirip dengan profil alami pantai. Pada Gambar 2,  $x = 0.0$  m terletak pada pembangkit gelombang dan sekitar 20.0 m dari pembangkit gelombang yang tidak diisi pasir. Pada  $x = 20.0$  m sampai dengan  $x = 60.0$  m membentuk kemiringan 1/20. Kemudian dari  $x = 60.0$  m sampai  $x = 130.0$  m kemiringan dasar sekitar 1/60. Profil berbentuk bar terdapat pada  $x = 130.0$  m sampai 145.0 m dan setelah itu profil dasar tidak beraturan sampai  $x = 170.0$  m. Setelah  $x = 170.0$  m kemiringan dasar adalah 1/30. Dengan menggunakan kedalaman air 4,1 m panjang garis permukaan air adalah sekitar 183.0 m. Bentuk profil dasar flume eksperimen dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Fasilitas flume di WL|Delft Hydraulics yang digunakan untuk eksperimen LIP11D



Gambar 2. Dasar flume percobaan LIP11D dan lokasi peralatan pengukur parameter eksperimen.

3.2 Peralatan pengukur elevasi muka air dan tinggi tekanan

Dalam eksperimen flume, elevasi permukaan air LIP11D telah dikumpulkan dengan menggunakan alat ukur permukaan (water surface follower). Data permukaan air diambil setiap 0,1 detik (10,0 Hz). Empat instrumen yang digunakan untuk mengukur elevasi permukaan air di lokasi yang berbeda. Instrumen pertama adalah terletak pada  $x = 0.0$  m dan tiga instrumen lainnya dipasang pada lokasi  $x = 20.0$  m,  $x = 40.0$  m, dan  $x = 124.0$  m untuk eksperimen 4 dan  $x = 164.0$  m untuk eksperimen 11 (Gambar 2).

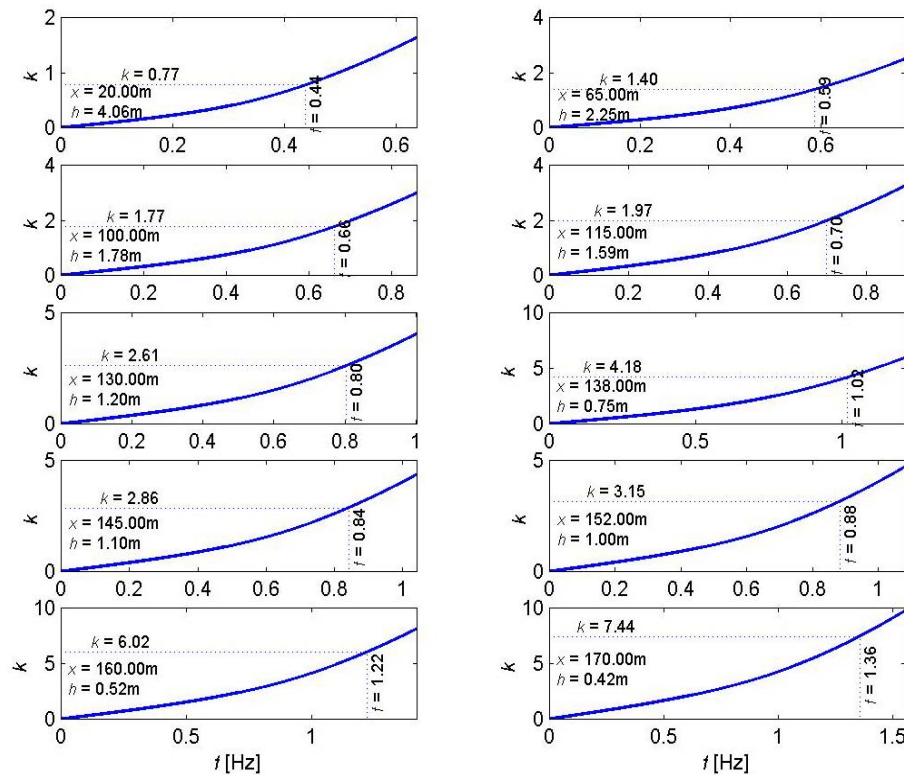
Pada percobaan LIP11D, data tekanan diukur di 10 lokasi yang berbeda dengan menggunakan sensor tekanan yaitu pada lokasi  $x = 20.0$  m,  $65.0$  m,  $100.0$  m,  $115.0$  m,  $130.0$  m,  $138.0$  m,  $145.0$  m,  $152.0$  m,  $160.0$  m, dan  $170.0$  m, Gambar 2 menunjukkan letak sensor tekanan. Sama dengan data elevasi permukaan air, data tekanan juga diambil setiap detik 0,1 (10 Hz). Data

tinggi tekanan air tersebut akan digunakan untuk mengetahui tinggi gelombang.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Frekwensi Maksimum

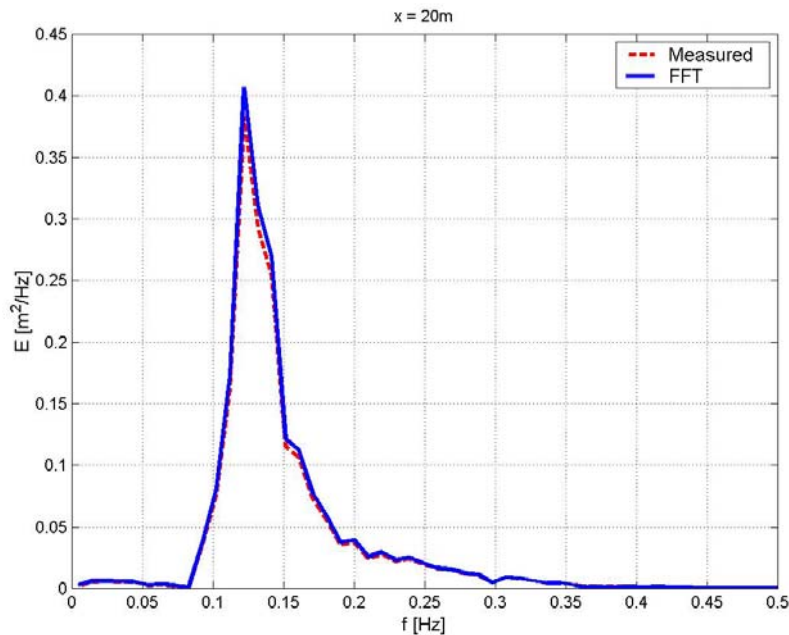
Frekuensi maksimum berdasarkan kedalaman posisi pengukur tekanan ditentukan berdasarkan persamaan dispersi ndapat ditentukan dengan menggunakan persamaan gelombang dispersi (Persamaan 2). Gambar 3 menunjukkan bilangan gelombang,  $k$ , sesuai kondisi laut dalam dan frekuensi maksimum yang digunakan untuk menghitung fluktuasi elevasi permukaan permukaan air untuk 10 lokasi berbeda pada paket eksperimen 1c untuk eksperimen 11. Prosedur yang sama juga digunakan untuk experimen 4 dan 8 dari paket eksperimen 1c. Frekuensi maksimum dan bilangan gelombang untuk tiap experimen dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Frekwensi Maksimum untuk metode FFT di beberapa lokasi berbeda

Tabel 1. Bilangan gelombang ( $k$ ) dan frekwensi maksimum ( $f$ ) untuk perhitungan permukaan air

Nama Instrumen	Lokasi		Kedalaman air, $h$ (m)	4		8		11	
	Jarak $x$ (m)	Posisi Vertikal, $z$ (m)		$k$ (max)	$f$ (Hz) (max)	$k$ (max)	$f$ (Hz) (max)	$k$ (max)	$f$ (Hz) (max)
DRO1	20.0	1.10	4.10	0.77	0.44	0.78	0.44	0.77	0.44
DRO2	65.0	1.10	2.25	1.41	0.59	1.40	0.59	1.40	0.59
DRO3	100.0	0.90	1.80	1.79	0.66	1.78	0.66	1.77	0.66
DRO4	115.0	0.80	1.60	2.00	0.70	1.99	0.70	1.97	0.70
DRO5	130.0	0.55	1.20	2.70	0.82	2.58	0.80	2.61	0.80
DRO6	138.0	0.60	0.75	3.75	0.96	3.98	0.99	4.18	1.02
DRO7	145.0	0.40	1.10	2.85	0.84	2.89	0.85	2.86	0.84
DRO8	152.0	0.50	1.00	2.92	0.85	3.12	0.88	3.15	0.88
DRO9	160.0	0.28	0.50	6.17	1.24	6.25	1.24	6.02	1.22
DRO10	170.0	0.20	0.40	7.47	1.36	7.67	1.38	7.44	1.36



Gambar 4. Spektrum energi gelombang berdasarkan metode FFT dan hasil pengukuran elevasi muka air pada  $x = 20.0$  m

#### 4.2 Elevasi muka air

Gambar 4 menunjukkan perbandingan spektrum energi gelombang yang diperoleh dengan metode FFT dan hasil pengukuran elevasi permukaan air pada  $x = 20.0$  m. Hasil perbandingan, perbedaan kecil hanya terjadi pada frekwensi puncak akan tetapi hasil keseluruhan menunjukkan tren yang sama.

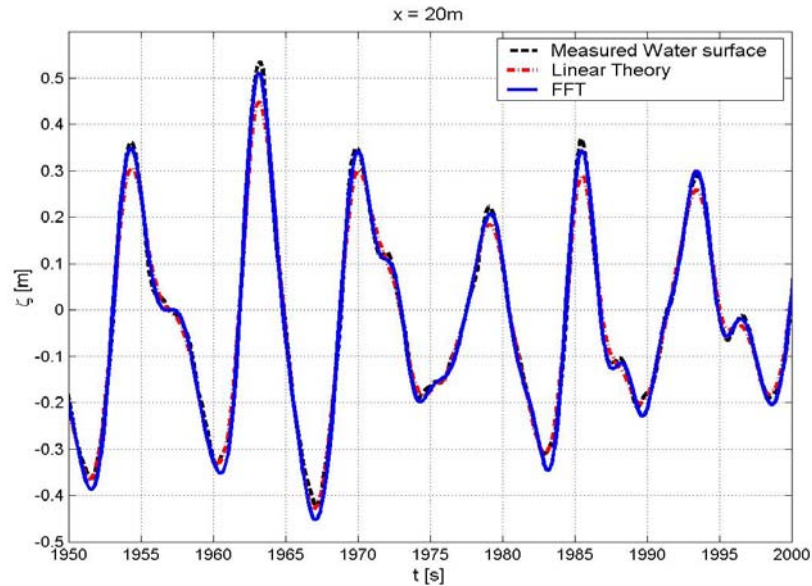
Elevasi permukaan air yang diperoleh dengan metode FFT dan metode teori linier pada  $x$

$= 20.0$  m menunjukkan kemiripan dengan elevasi permukaan air dari hasil pengukuran (Gambar 5). Metode FFT memberikan hasil lebih baik pada puncak gelombang dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan metode teori gelombang linier, akan tetapi pada lembah gelombang metode FFT menunjukkan hasil yang kurang baik dari metode teori gelombang linier.

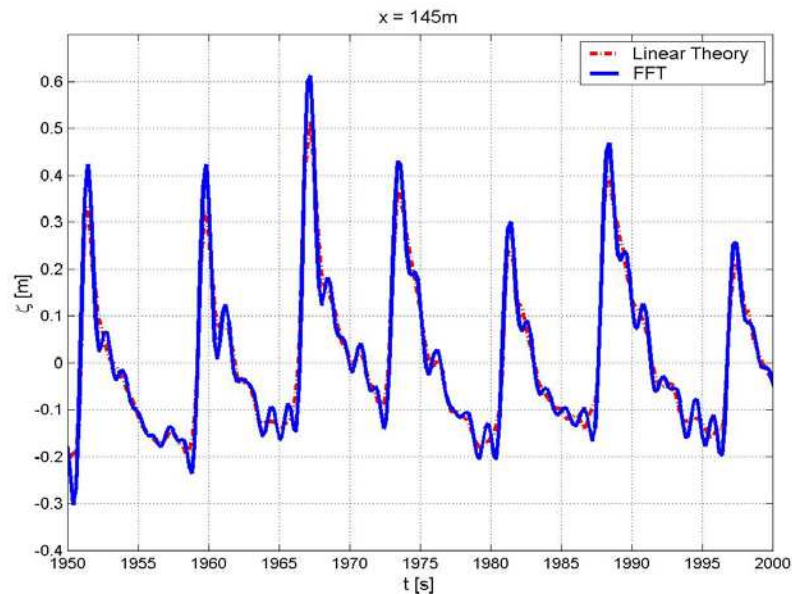
Gambar 6 menunjukkan fluktuasi elevasi permukaan air pada  $x = 145.0$  m. Hasil perhitungan

elevasi permukaan air yang diperoleh dengan menggunakan data tekanan air berdasarkan metode FFT terlihat memiliki fluktuasi lebih yang lebih banyak dari hasil perhitungan dengan metode teori gelombang linear, dan pada dasarnya kedua metode menunjukkan pola yang sama. Pada lokasi ini, sebagian besar gelombang sudah pecah sehingga

kemungkinan fluktuasi muka air akan lebih banyak jika dibandingkan dengan lokasi yang belum terjadi gelombang pecah. Pada  $x = 145.0$  m tidak dilakukan pengukuran elevasi permukaan air, Sehingga pada lokasi ini agak sulit untuk menunjukkan metode yang lebih baik pada kondisi gelombang pecah.



Gambar 5. Elevasi muka air berdasarkan metode FFT, metode teori gelombang linier, dan hasil pengukuran pada  $x = 20.0$  m



Gambar 6. Elevasi muka air berdasarkan metode FFT dan metode teori gelombang linier pada  $x = 145.0$  m

## **5. Kesimpulan**

Secara umum, penggunaan data tekanan air untuk menentukan elevasi permukaan air dengan menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) dan metode berdasarkan teori gelombang linier memberikan hasil perhitungan yang sesuai dengan hasil pengukuran, akan tetapi metode FFT memprediksi elevasi air lebih akurat. Pada daerah gelombang pecah, metode gelombang linier tidak dapat digunakan untuk menghitung elevasi permukaan air karena pada kondisi tersebut gelombang telah bertransformasi dan tidak berbentuk gelombang linier.

## **6. Daftar Pustaka**

- Arcilla, A. S., Roelvink, J. A., O'Connor, B. A., Reniers, A., Jemenez, J. A., 1994. The Delta Flume '93 experiment. ASCE Conference on Coastal Dynamics, Barcelona, pp. 488-502.
- Dean, R. G., Dalrymple, R. A., 2000. Water wave mechanics for engineers and scientists. Advanced series on ocean engineering-volume 2. World Scientific, Singapore.