

## ANALISA SPEKTRUM GELOMBANG BERARAH DI PERAIRAN PANTAI KUTA, KABUPATEN BADUNG, BALI

**Purwanto**

Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas  
Diponegoro Semarang Telp/Faks 0247474698

### Abstrak

Penjalaran gelombang dengan flux energi yang besar mampu merusak bangunan pelindung pantai maupun menyebabkan abrasi. Hal ini sangat merugikan dan perlu adanya pengetahuan tentang karakteristik gelombang. Kondisi ini dapat diketahui dengan analisa spektrum gelombang berarah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengestimasi tinggi gelombang  $H_s$ , periode  $T_s$ , arah penjalaran gelombang  $\theta$  dan frekuensi spektrum  $f(s)$ .

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 2 - 19 November 2009 di Pantai Kuta, Kabupaten Badung, Bali. Penelitian ini bekerjasama dengan dinas pekerjaan umum Balai Sungai Penida Bali. Metode yang digunakan dalam penelitian ini bersifat kuantitatif. Penentuan lokasi penelitian menggunakan metode *cluster sampling*. Analisis Perhitungan data elevasi gelombang dan kecepatan arus menggunakan metode spektrum berarah dengan Toolbox DIWASP.

Hasil dari analisa spektrum berarah dengan metode BD menghasilkan nilai  $H_s$  yang paling mendekati dengan perhitungan  $H_s$  di lapangan sebesar 0.985 m, dan  $T_s$  sebesar 12.5. Metode DFT, EML, IML, EMEP dan BD menunjukkan frekuensi diantara 0.09-0.15  $H_z$  atau gelombang frekuensi rendah. Estimasi tersebut menunjukkan bahwa kondisi gelombang di lokasi pengukuran adalah gelombang *swell*. Estimasi penjalaran gelombang  $\theta$  dengan metode DFT, EML dan IML menunjukkan bahwa gelombang membelok akibat pengaruh arus sebesar  $30^\circ$ , sedangkan dengan metode EMEP dan BD sebesar  $170^\circ$ .

Hasil perhitungan di lapangan menghasilkan nilai  $H_s = 1.19$  m dan  $T_s = 13.20$  s. Klasifikasi gelombang berdasarkan kedalaman relatif menunjukkan nilai  $0.05 < d/l < 1$  yaitu 0.0956. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang di lokasi pengukuran adalah termasuk gelombang transisi.

**Kata Kunci** : Angin, gelombang, elevasi gelombang, arus laut, Pantai Kuta.

### Abstract

The wave drift content an energy flux, which can be influence coastal region abration. This condition need knowledge of wave caracteristic, this can be analyze by directed wave spectrum analyze.

The aim of the research is to estimate the wave height  $H_s$ , the periode of  $T_s$ , wave drift direction  $\theta$  and spektrum frequency  $f(s)$ .

The research was done during the period of 2 - 19 Novembre 2009 at Kuta, Beach the region of Badung, Bali. The research was done under

collaboration with the civil office of Balai Sungai Penida Bali. The quantitative methods were applied in this research. The research side were determined using the sampling method. While, the Toolbox DIWASP was used to analyze the wave elevation and current velocity

The research result shows a value of 0.985 m and 12.5 s which are nearest between  $H_s$  to in the models and the field using the BD method of the direct spectrum analysis. Methods DFT, EML, IML, EMEP and BD show the frequency between 0.09-0.15  $H_s$  or low wave frequency. The estimate shows that the wave condition at research location are swell. The estimation of wave drift  $\theta$  with DFT, EML and IML method shows that the wave turns on  $30^\circ$  in the other side, which is influenced by the current, and turns on  $170^\circ$ . Based on the EMEP and BD method

The value in the field shows that the  $H_s = 1.19$  m and  $T_s = 13.20$  s. The wave classification based on relative depth shows that value  $0.05 < d/l < 1$  is 0.0956. This case shows that the wave in the location are transition wave.

Key words : Wind, wave, wave elevation, current, Kuta Beach.

---

## Pendahuluan

Kuta merupakan salah satu pantai di Pulau Bali yang paling diminati oleh para wisatawan, baik mancanegara maupun domestik. Keberadaannya memberikan kenyamanan bagi siapa saja yang mengunjunginya. Tidak hanya itu, pantai ini juga memberikan kontribusi besar dalam pemasukan Negara. Dalam Tanimoto (1990), disebutkan bahwa Pantai Kuta Bali telah mengalami erosi sebesar  $16.000 \text{ m}^3$  per tahun, di mana arah transport sedimennya menuju ke arah bandara. Hal ini disebabkan karena pengaruh gelombang yang menuju ke pantai.

Gelombang yang menuju ke pantai bentuk gelombangnya akan berubah dan akhirnya pecah begitu mereka sampai di pantai. Hal ini disebabkan karena gerakan melingkar dari partikel-partikel yang terletak di bagian paling bawah gelombang dipengaruhi oleh

gesekan dari dasar laut di perairan yang dangkal. Bekas jalan kecil yang ditinggalkan oleh mereka kemudian berubah menjadi bentuk elips. Hal ini mengakibatkan perubahan yang besar terhadap sifat gelombang. Gelombang sekarang bergerak ke depan dan tinggi gelombang naik sampai mereka mencapai kira-kira 80% dari kedalaman perairan. Bentuk ini kemudian menjadi tidak stabil dan akhirnya pecah, yang sering disertai dengan gerakan maju ke depan yang berkekuatan sangat besar. Kekuatan gelombang inilah yang akan mengikis sedimen atau material pasir yang di Pantai Kuta. (Hutabarat, S dan Evans, S).

Gelombang laut sangat dipengaruhi oleh gaya tekanan atmosfer khususnya Angin. Semakin besar angin maka gelombang yang terbentuk semakin besar dan sebaliknya jika angin yang berhembus di permukaan laut kecil maka gelombang kecil juga. Tinggi dan periode gelombang yang

---

terbentuk dipengaruhi oleh kecepatan angin ( $U$ ), lama hembus angin ( $D$ ), arah angin, dan fetch ( $F$ ) Triatmodjo (1999).

Untuk mengetahui karakteristik gelombang di suatu perairan, kita dapat menggunakan Analisa Spektrum. Melalui skripsi ini penulis berusaha menganalisa Spektrum Gelombang Berarah di Perairan Kuta Bali. Dengan Analisa Spektrum ini akan dapat diketahui arah penjalaran gelombang  $\theta$ , tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ), periode gelombang ( $T_s$ ) dengan beberapa metode yang ada.

Masalah yang sedang terjadi di pantai Kuta adalah terjadinya erosi yang sangat besar setiap tahunnya. Gelombang yang menuju ke pantai akan pecah dan akan menyebabkan terbentuknya arus longshore current yang arahnya sejajar garis pantai dan rip current yang arah arusnya menuju ke laut dengan mengangkut sedimen dari pantai. Untuk mengatasi masalah tersebut, Dinas Pekerjaan Umum Bali telah membangun beberapa bangunan pantai sebagai peredam gelombang. Akan tetapi, keberadaan bangunan tersebut masih kurang efektif dalam mengatasi erosi pantai di Kuta Bali sehingga diperlukan adanya analisa tentang karakteristik gelombang sebagai salah satu faktor penyebab terjadinya erosi pantai.

Untuk menggambarkan kondisi gelombang di suatu perairan kita dapat menggunakan Analisa Spektrum. Dengan Analisa Spektrum ini akan dapat diketahui arah penjalaran gelombang ( $\theta$ ), tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ),

periode gelombang ( $T_s$ ) di perairan pantai Kuta dengan beberapa metode yang ada.

Beberapa tujuan penelitian yang ingin dicapai peneliti antara lain Menganalisa spektrum gelombang berarah dengan mengestimasi parameter-parameter gelombang seperti tinggi signifikan ( $H_s$ ), periode signifikan ( $T_s$ ), arah penjalaran dan karakteristik gelombang.

1. Mengkaji parameter gelombang lainnya seperti panjang gelombang, cepat rambat gelombang, dan kinematika partikel gelombang di Perairan Kuta, kabupaten Badung, Bali.

Manfaat analisa spektrum berarah dapat diaplikasikan dalam beberapa aspek bidang, antara lain :

1. Bidang Ilmu Pengetahuan : Analisa spektrum gelombang berarah dapat dijadikan sebuah metode baru dalam menganalisa kondisi dan karakteristik gelombang laut, khususnya di perairan Kuta, Bali.

2. Bidang Sosial : Penelitian ini dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi Dinas Pekerjaan Umum untuk pengembangan pengelolaan wilayah pesisir dan laut di Kuta, Bali.

### **Materi dan Metode**

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 2 November – 19 November 2010. Lokasi penelitian berada di sepanjang Pantai Kuta, Bali dengan koordinat  $8^{\circ}3'40''$  -  $8^{\circ}50'48''$  Lintang Selatan dan  $114^{\circ}25'53''$  -  $115^{\circ}42'40''$  Bujur Timur.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

**Tabel 1.** Alat dan bahan yang digunakan

No	Nama Alat	Ketelitian	Satuan	Kegunaan
1.	Wave Recorders Model Wave Hunter 730 D	0,02 ms/cm	meter dan detik	Mengukur tinggi, periode gelombang laut, dan arus laut
2.	GPS ( <i>Global Positioning System</i> ) Garmin 60	-	° ' "	Menentukan koordinat titik pengukuran
3.	Lay out Batimetri Kuta 2008 Direktorat Jendral Sumber Daya Air wilayah Bali	-	-	Sebagai peta dasar dalam pengerjaan peta lokasi penelitian
4.	Software Matlab 7.1	-	-	Menjalankan <i>toolbox</i> DIWASP untuk pengolahan dan analisa data
5.	Perangkat komputer sistem Windows XP	-	-	Menjalankan Software Matlab 7.1

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang merupakan metode ilmiah/scientific karena telah memenuhi kaidah-kaidah ilmiah yaitu konkret/empiris, obyektif, terukur, rasional, sistematis. Metode ini juga biasa disebut dengan metode *discovery*, karena dengan metode ini dapat dikembangkan berbagai iptek baru. Metode ini disebut metode kuantitatif karena data penelitian berupa angka-angka dan analisis menggunakan statistik atau model (Sugiyono, 2009).

Pengambilan data menggunakan metode pengukuran titik tunggal, di mana pengukuran dilakukan di *Outer Reef* dengan menggunakan instrument Wave hunter untuk memperoleh data-data yang nantinya akan diproses untuk menjelaskan kondisi secara spesifik di lapangan (Benoit *et all.* 1997).

## Penentuan Lokasi Pengamatan dan Pengukuran

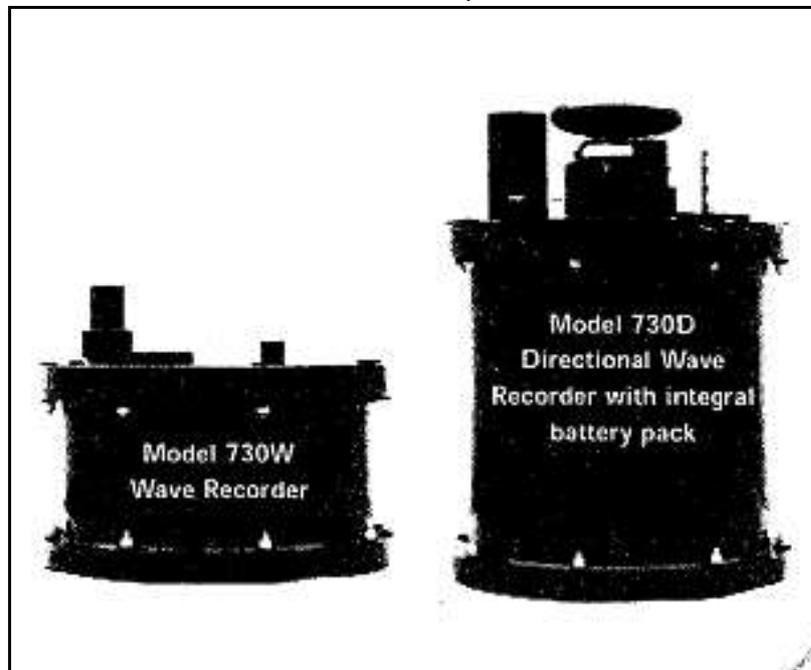
Lokasi pengukuran gelombang berada pada lokasi dimana gelombang yang menjalar menuju pantai sebelum daerah gelombang pecah. Lokasi pengukuran parameter oseanografi menggunakan *wave recorder* dengan posisi  $115^{\circ}8'2606,4''$ , dan  $-8^{\circ}43'1108,8'$ . Penentuan lokasi sampling menggunakan metode Area Sampling (Cluster Sampling) yaitu sebuah teknik sampling daerah untuk menentukan lokasi pengukuran bila daerah yang diamati sangat luas. Dengan metode ini, peneliti cukup meneliti sebagian dari daerah tersebut agar parameter yang diperoleh dapat menggambarkan karakteristik parameter yang diwakili secara representative, dimana pemilihannya harus memperhatikan syarat-syarat

yang harus dipenuhi secara metodologis (Fathoni, 2006).

Dalam pengukuran kecepatan arus dan gelombangnya dilakukan di satu titik yaitu di *Outer Reef*, di mana titik ini mewakili kondisi parameter oseanografi yang akan diukur.

## Pengukuran Parameter Elevasi Gelombang Dan Kecepatan Arus

Pengukuran kecepatan arus dan elevasi gelombang dalam penelitian ini menggunakan alat *wave recorder* dengan merek Wave Hunter 730D. Prinsip kerja *wave recorder* adalah menggunakan suatu sistem sensor tekanan dan dapat diatur untuk mengumpulkan dan merekam elevasi gelombang dan kecepatan arus dalam arah x dan y serta arah arusnya. Selain mengukur kecepatan arus, alat ini dapat juga untuk mengukur gelombang laut. Berikut ini adalah gambar *Wave recorder* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Alat pengukur gelombang (*Wave recorder* tipe Wave Hunter 730W dan 730D)

Alat akan menerima membuka sensornya selama 20 menit, dalam 20 menit sensor akan menerima data setiap menit lalu data yang diperoleh selama 20 menit akan dirata-ratakan dan dikirim kepada alat penerima sensor, kemudian dari alat sensor, data yang akan diprint dapat diatur sesuai dengan kebutuhan, yang dalam penelitian ini dipilih per 2 jam. Pengukuran data arus didasarkan pada besar tekanan dan elevasi yang diterima oleh sensor. Sementara data gelombang yang terukur adalah data tinggi dan periode gelombang signifikan. (User's Manual, 2006).

#### **Metode Pengolahan Data Primer Dan Data Sekunder**

#### **Analisa Data Primer Dengan Metode Spektrum Berarah**

Metode pengolahan data primer menggunakan analisa spektrum berarah, di mana untuk komputasinya menggunakan Toolbox DIWASP (Directional Wave Spektrum) yang dikembangkan oleh Johnson (2002) dari *Centre For Water Research, University of Western Australia* yang dapat dijalankan dengan program MATLAB. Untuk menentukan nilai fungsi persebaran berarah  $D(f, \theta)$  menggunakan 5 metode untuk analisa spektrumnya, yaitu : metode DFT (*Direct Fourier Transform*), metode EML (*Extended Maximum Likelihood*), metode IML (*Iterative Maximum Likelihood*), metode EMEP (*Extended Maximum Entropy Principle*), dan metode BD (*Bayesian Directional*).

Dari hasil analisa akan didapatkan arah penjalaran gelombangnya, tinggi gelombang signifikan  $H_s$  dan periode gelombang signifikan  $T_s$ . Kemudian tinggi dan periode gelombang signifikan akan diverifikasi dengan data gelombang hasil pengukuran di lapangan dengan menggunakan *Wave recorder*.

Data hasil komputasi akan mengalami sedikit perbedaan dengan data di lapangan. Akan tetapi, hal tersebut tidak akan menjadi masalah apabila kesalahan relatifnya tidak melebihi 50 %. Menurut Riyanto (2004) koreksi kesalahan relatif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2.

Persamaan untuk verifikasi data tersebut adalah :

$$RE = \frac{|X - C|}{|X|} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

$$MRE = \frac{\sum_0^n |RE|}{|n|} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

RE = kesalahan relatif (*Relative Error*)

MRE = rata-rata kesalahan relatif (*Mean Relative Error*)

X = data lapangan

C = data hasil simulasi

n = jumlah data

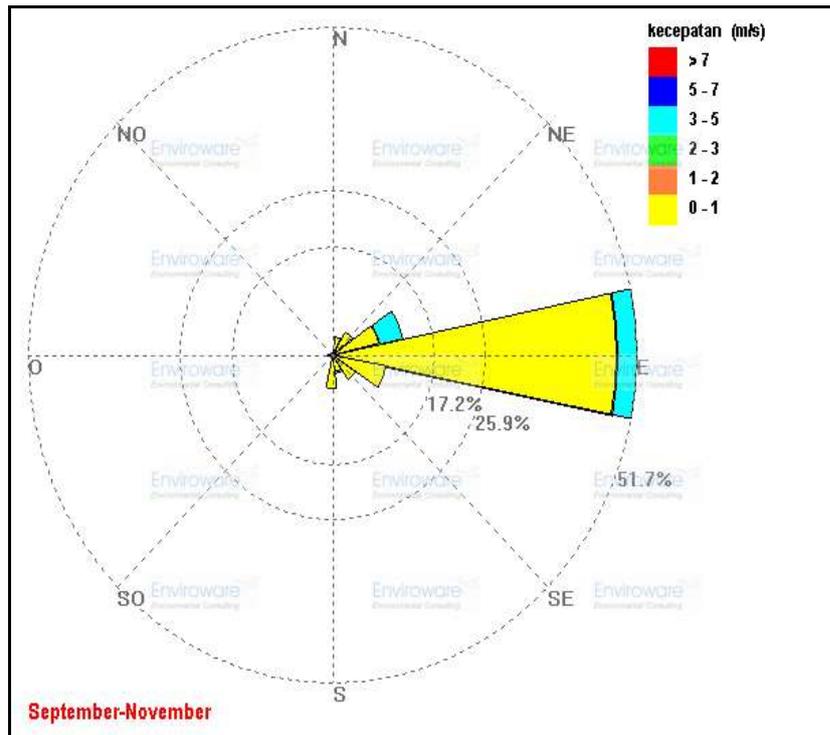
### Analisa Data Sekunder

Data sekunder pada penelitian ini meliputi : data angin dari Badan dan Peta Rupa Bumi (RBI) Kuta, Bali dengan skala 1:2.500. Analisa data angin digunakan untuk mengetahui kondisi penjalaran arah angin dan mengetahui pengaruh angin terhadap kondisi pertumbuhan gelombang. Gelombang tumbuh dalam *fetch*. Pertumbuhan ini ditentukan oleh besarnya kecepatan angin (U), lamanya angin bertiup (durasi angin) t, dan panjang daerah yang dipengaruhi angin (panjang *fetch*) F.

Untuk Peta Rupa Bumi (RBI) Kuta, Bali dengan skala 1:2.500, digunakan untuk pembuatan peta penelitian dan penentuan titik koordinat pengambilan data di lapangan.

### Hasil dan Pembahasan

Data arus didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan *Wave recorder* tipe Wave Hunter 730D yang digunakan sebagai inputan untuk analisa spektrum gelombang berarah. Penjalaran arah arusnya dapat kita lihat pada gambar *current rose* di bawah ini.

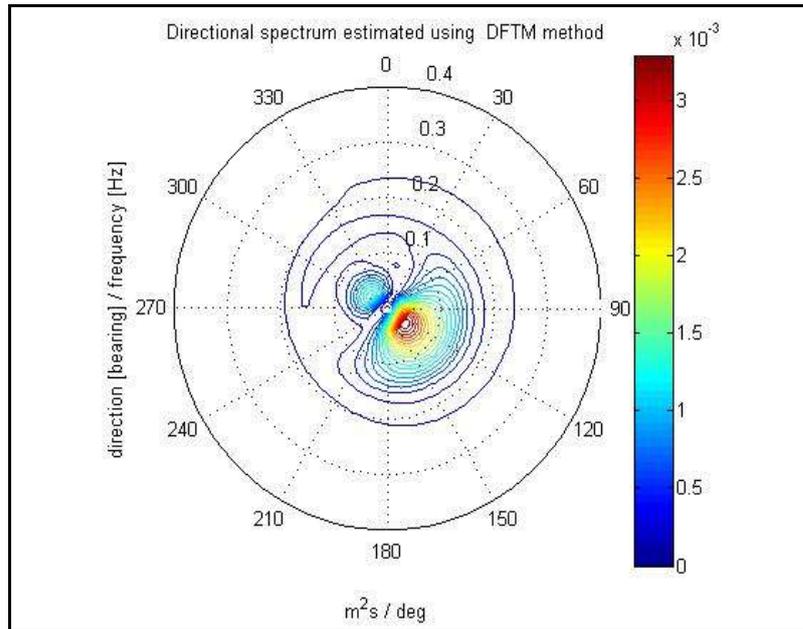


**Gambar 2.** Grafik current rose pada lokasi pengukuran selama 3 bulan

Grafik current rose pada gambar 2 menunjukkan penjalaran arah arus, di mana penjalaran arah arus searah dengan arah gelombang dan dominan arah arus yang searah penjalaran gelombang pada lokasi pengukuran adalah arah timur dengan kecepatan 0-1 m/s.

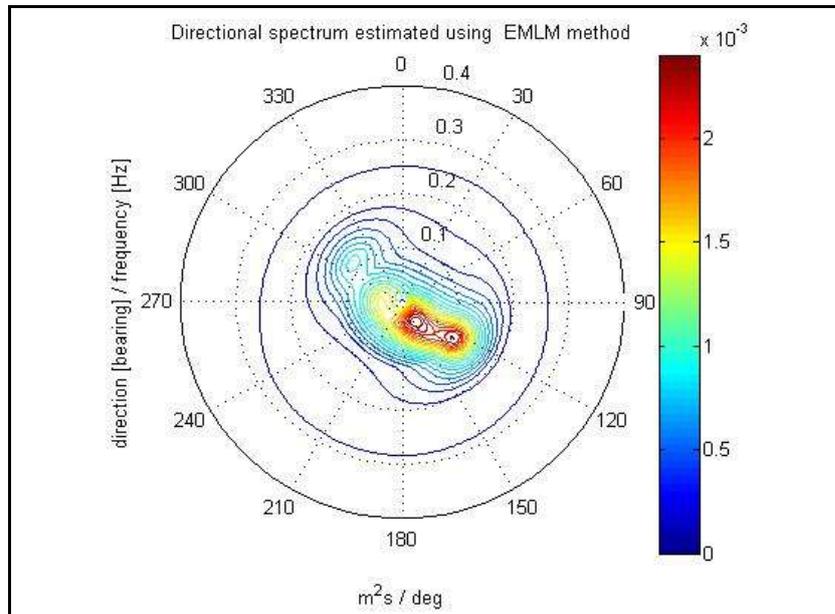
## Hasil Estimasi Parameter Dengan Metode Spektrum Berarah

### 1. Metode DFT (Direct Fourier Transform)



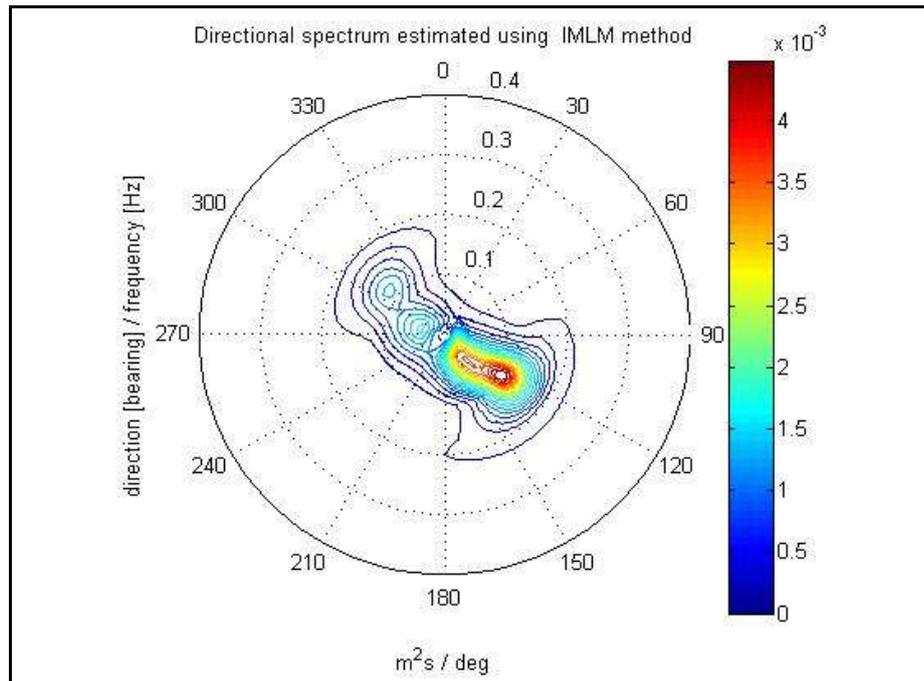
**Gambar 3.** Grafik spektrum polar pada stasiun pengukuran dengan metode DFT

### 2. Metode EML (Extended Maximum Likelihood)



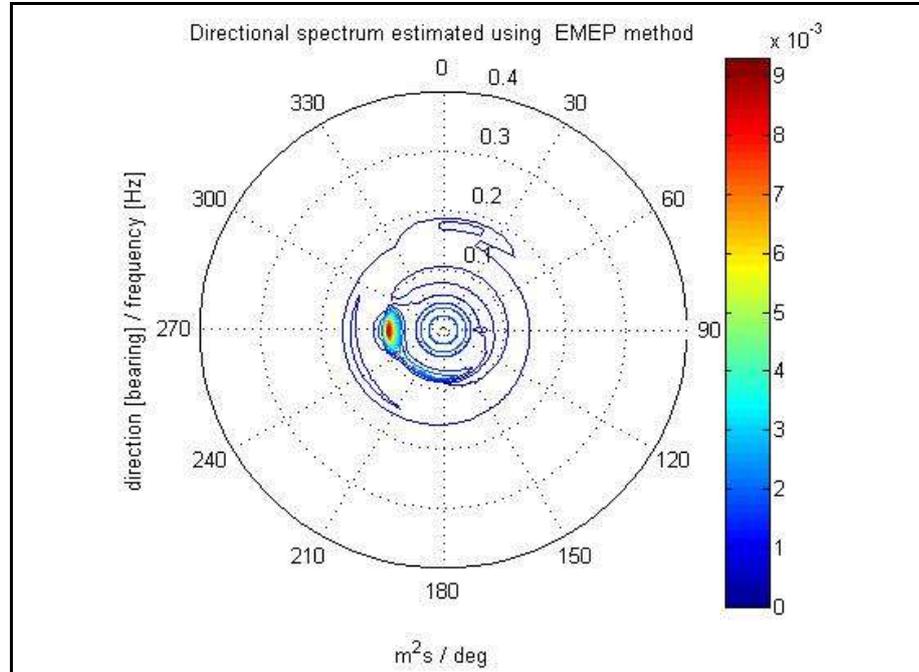
**Gambar 4.** Grafik spektrum polar pada stasiun pengukuran dengan metode EML

## 2. Metode IML (Iterative Maximum Likelihood)



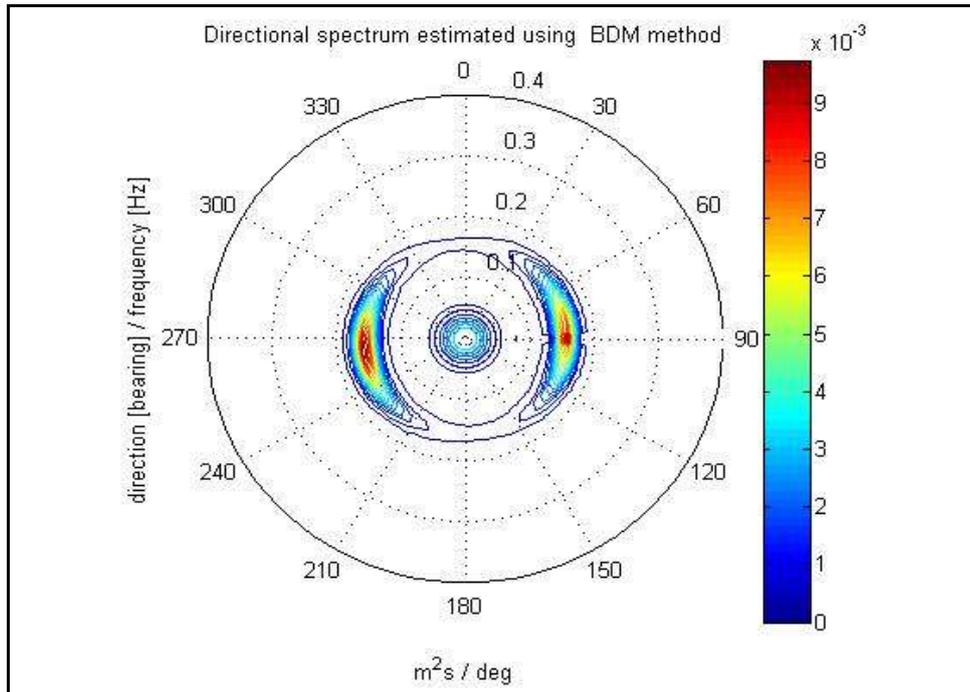
**Gambar 5.** Grafik spektrum polar pada stasiun pengukuran dengan metode IML

## 3. EMEP (Extended Maximum Likelihood Principle)



**Gambar 6.** Grafik spektrum polar pada stasiun pengukuran dengan metode EMEP

#### 4. Metode BD (Bayesian Directional)



**Gambar 7.** Grafik spektrum polar pada stasiun pengukuran dengan metode BD

#### Hasil Pengukuran Dan Perhitungan Gelombang di Lapangan

Berdasarkan perhitungan data lapangan didapatkan tinggi gelombang maksimum 2.18 meter dan periode gelombang maksimum 19.3 detik. Tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) adalah 1.19 meter dan periode gelombang signifikan ( $T_s$ ) adalah 13.20 detik. Tinggi gelombang minimum 0.61 meter dan periode gelombang minimum adalah 8.9 detik. Hasil perhitungan gelombang di lapangan dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Tinggi dan periode gelombang hasil pengukuran di lapangan

Data	Tinggi (meter)	Periode (detik)
Maksimum	2.18	19.3
Signifikan	1.19	13.20
Minimum	0.61	8.9

Data gelombang yang biasa digunakan untuk mewakili kondisi gelombang di lapangan adalah tinggi dan periode signifikan. Kemudian data tinggi gelombang dan periode signifikan akan digunakan untuk mencari parameter-parameter gelombang lainnya. Hasil perhitungan parameter-parameter gelombang lainya dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3.** Parameter-parameter gelombang hasil pengukuran di lapangan

Parameter gelombang	Parameter gelombang		
Tinggi gelombang	1.19 m	Tekanan gelombang	24735.25Nm/sm
Periode gelombang	13.20 s	Perpindahan horisontal	0
Kedalaman gelombang	14 m	Perpindahan vertikal	0.595 m
Panjang gelombang	146.444 m	Kecepatan horizontal	0.527 m/s
Kecepatan gelombang	11.081 m/s	Kecepatan vertikal	0
Kecepatan grup gelombang	13.911 m/s	Percepatan horizontal	0
Energi gelombang	1778.091 Nm/m <sup>2</sup>	Percepatan vertikal	0.135 m/s <sup>2</sup>

## Hasil dan Pembahasan

Hasil pengolahan data elevasi gelombang dan data kecepatan arus  $U$  dan  $V$  menggunakan analisa spektrum dengan metode DFT, EML, IML, EMEP dan BD menghasilkan nilai tinggi gelombang signifikan  $H_s$ , periode gelombang signifikan  $T_s$  dan arah penjalaran gelombang. Hasil estimasi dari kelima metode ini dapat kita lihat pada tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil estimasi parameter-parameter gelombang dengan beberapa metode spektrum berarah pada stasiun pengukuran

Metode	Hs Estimasi	Ts Estimasi	Arah penjalaran gelombang	Kondisi gelombang	Frekuensi gelombang tertinggi
DFT	0.89	12.5	Tenggara	swell	0.09
EML	0.925	12.5	Tenggara	swell	0.15
IML	0.94	12.5	Tenggara	swell	0.15
EMEP	0.93	12.5	Barat	swell	0.1
BD	0.985	12.5	Timur dan barat	swell	0.15

Metode DFT menghasilkan nilai  $H_s$  yang lebih kecil daripada tinggi gelombang hasil pengukuran di lapangan. Hal ini menurut Barstow *et al.*, (2008) dikarenakan metode DFT menggunakan pengembangan deret Fourier, di mana kelemahan deret Fourier dalam mengestimasi spektrum berarah akan menghasilkan resolusi spasial yang rendah. Nilai  $H_s$  yang dihasilkan dengan metode IML berbeda sedikit dengan yang dihasilkan EML, tetapi lebih mendekati perhitungan  $H_s$  di lapangan. Menurut Benoit *et.al*

(1997) keterbatasan metode EML untuk mengestimasi tinggi gelombang karena menghasilkan puncak spektrum berarah yang lebih lebar.

Metode EMEP menghasilkan nilai estimasi yang hampir sama dengan EML  $H_s$  sebesar 0.93 m dan  $T_s$  sebesar 12.5 s. Hal ini disebabkan karena parameter estimasi yang digunakan *default* yaitu 100 kali iterasi. Metode BD menghasilkan nilai tinggi signifikan paling mendekati dengan perhitungan di lapangan sebesar

0.985 m. Menurut Hashimoto *et all.* (1987) metode BD menggunakan data simulasi numerik untuk memperoleh nilai  $x_k$ , sehingga memakan waktu yang lama, tetapi

### Kesimpulan

Hasil penelitian di Pantai Kuta, Kabupaten Badung Bali tentang analisa spektrum gelombang berarah, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan di lapangan menghasilkan nilai tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) sebesar 1.19 meter dan periode gelombang signifikan ( $T_s$ ) sebesar 13.20 detik. Klasifikasi gelombang berdasarkan kedalaman relatif menunjukkan nilai  $0.05 < d/l < 1$  yaitu sebesar 0.0956. Hal ini menunjukkan gelombang di lokasi pengukuran termasuk gelombang transisi. Hasil diperkuat dengan orbital partikel

hasil yang didapatkan mendekati perhitungan lapangan. Untuk nilai  $T_s$  sama dengan yang dihasilkan metode lainnya sebesar 12.5 s.

berbentuk elips dengan sumbu mayor = 1.107 m dan sumbu minor = 0.595 m.

2. Analisa spektrum berarah dengan menggunakan metode BD menghasilkan nilai  $H_s$  yang paling mendekati dengan perhitungan  $H_s$  di lapangan sebesar 0.985 m, dan  $T_s$  sebesar 12.5. Metode DFT, EML, IML, EMEP dan BD menunjukkan frekuensi diantara 0.09-0.15  $H_z$ , gelombang dengan frekuensi tersebut masih tergolong gelombang frekuensi rendah. Estimasi tersebut menunjukkan bahwa kondisi gelombang di lokasi pengukuran adalah gelombang *swell*.

### Daftar Pustaka

- Barstow, S., D.Mollison & J.Cruz. 2008. The Wave Energy Resource. In : J. Cruz (Eds). Ocean Wave Energy Current Status and Future Prepectives. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, pp. 106–111.
- Benoit, M., P. Frigaard and H.A. Schaffer. 1997. Analyzing multidirectional wave spectra a tentative classification of available methods. In: Proc. on Multidirectional Waves and their Interaction with Structures. San Francisco, CA, Baltimore, The Johns Hopkins University Press, IAHR, pp. 131–158.
- Bishop, J.M. 1984. Applied Oceanography. Wiley InterScience Publication, Canada, pp. 44–49
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual*, Volume I. US Army Coastal Engineering Research Center, Washington (SPM, 1984)
- Dean, R.G., and R.A. Dalrymple.

2000. Water Wave Mechanics for Engineers And Scientist. World Scientific Publishing, Singapore, 351 p.
- Emery, W.J. and R.E. Thomson. 1998. Data Analysis Methods In Physical Oceanography. Pergamon, UK, pp. 83-87
- Holthuijsen, L. 2007. Wave In Oceanic And Coastal Waters. Cambridge University Press, New York, 379 p.
- Hutabarat, S. dan S.M. Evans. 1985. *Pengantar Oseanografi*. UI Press. Jakarta. 159 hlm.
- Ochi, M. 1998. Ocean Waves: The Stochastic Approach. Cambridge University Press. New York, pp. 1–4,176–212.
- Sorensen, R.M. 2006. Basic Coastal Engineering. Springer Science Business Media Inc, New York, 323 p.
- Subana, H.M. 2005. Dasar-dasar Penelitian Ilmiah.—Cet. II – Bandung : Pustaka Setia, 2005.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta offshet. Yogyakarta. 397 hlm.
- Tucker, M.J. 1991. Wave In Ocean Engineering: Measurement, Analysis, Interpretation. Ellis Horwood Limited, 431 p.