

ANALISIS SPEKTRUM GELOMBANG BERARAH DI PERAIRAN PANTAI KUTA, KABUPATEN BADUNG, BALI

Syaeful Bakhri, Purwanto, Denny Nugroho Sugianto ^{*)}

Program Studi Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedharto, SH, Tembalang Semarang. 50275 Telp/Fax (024) 7474698

Abstrak

Penjalaran gelombang dengan flux energi yang besar mampu merusak bangunan pelindung pantai dan menyebabkan erosi. Kondisi ini sangat merugikan bagi pantai, khususnya pantai dengan gelombang besar seperti Pantai Kuta, sehingga dibutuhkan pengetahuan tentang karakteristik gelombang yang menuju ke pantai untuk mengantisipasi kerusakan pantai lebih besar. Melalui pendekatan analisis spektrum gelombang berarah dapat diperoleh estimasi tinggi gelombang H_s , periode T_s dan arah penjalaran gelombang θ serta karakteristik gelombang di Perairan Kuta, Bali. Sedangkan metode yang digunakan untuk mengestimasi gelombang bersifat kuantitatif dan penentuan lokasi penelitiannya menggunakan metode cluster sampling. Analisis spektrum berarah dengan metode Bayesian Direction (BD) menghasilkan H_s sebesar 0,985 m dan T_s sebesar 12,5 detik, nilai tersebut paling mendekati dengan perhitungan H_s di lapangan. Metode DFT, EML, IML, EMEP dan BD menunjukkan frekuensi diantara 0,09-0,15 Hz atau gelombang frekuensi rendah. Estimasi tersebut menunjukkan bahwa kondisi gelombang di lokasi pengukuran adalah gelombang swell. Estimasi penjalaran gelombang θ dengan metode DFT, EML dan IML menunjukkan bahwa gelombang membelok akibat pengaruh arus sebesar 30° , sedangkan metode EMEP dan BD sebesar 170° . Perhitungan di lapangan menghasilkan nilai $H_s = 1,19$ m dan $T_s = 13,20$ detik. Klasifikasi gelombang berdasarkan kedalaman relatif menunjukkan nilai sebesar 0,0956, yaitu $0,05 < d/l < 1$. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang di lokasi pengukuran adalah termasuk gelombang transisi.

Kata Kunci : Angin, Gelombang, Tinggi muka air, Arus laut, Pantai Kuta.

Abstract

Propagation of waves with large energy flux capable of damaging buildings and causing beach erosion protection. This condition is very detrimental to the beach, especially beaches with big waves such as Kuta, requiring knowledge of the characteristics of the wave to the shore in anticipation of greater coastal damage. Through this approach the wave directional spectrum analysis can be obtained H_s wave height estimation, T_s period and direction of wave propagation θ and the wave characteristics in the waters of Kuta, Bali. While the methods used to estimate the wave and determining the location of quantitative research using cluster sampling method. Directional spectrum analysis with Bayesian methods Direction (BD) yield H_s of 0.985 m and T_s of 12.5 seconds, the value closest to the calculation H_s in the field. DFT, EML, IML, EMEP and BD methods indicate the frequency of between 0.09 to 0.15 Hz or low-frequency waves. Estimates indicate that the wave conditions at the measurement location is swell waves. Estimation of wave propagation θ with DFT methods, EML and IML showed that waves bend due to the influence of currents of 30° , while the method of EMEP and BD 170° . Calculations in the field H_s value = 1.19 m and $T_s = 13.20$ seconds. Classification based on the relative depth wave showed a value of 0.0956, ie $0.05 < d/l < 1$. This indicates that the wave at the location of the transition wave measurements are included.

Keywords: Wind, Waves, Height of water level, ocean currents, Kuta Beach.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

1. Pendahuluan

Pantai Kuta adalah pantai paling cantik di Bali, apalagi sunsetnya, sungguh menawan. Ombaknya yang bersahabat sangat bagus untuk belajar surfing. Pasirnya yang putih bersih membuat para wisatawan ingin menghabiskan waktu di pantai Kuta ini (Wikipedia, 2011). Tidak hanya itu, pantai ini memberikan kontribusi besar pada pendapatan masyarakat lokal maupun pemerintah (Kusumastanto, 2002). Akan tetapi, beberapa tahun terakhir ini mengalami erosi yang cukup hebat. Perlahan namun pasti air makin mendesak ke daratan. Bahkan menurut Bappeda dan Sucofindo (2007), Pantai Kuta mengalami erosi cukup besar diperkirakan lebih dari 50 m dalam 10 tahun terakhir dan lebih dari 100 m sejak tahun 1960, di mana arah transport sedimennya menuju ke arah bandara. Hal ini disebabkan karena hantaman gelombang yang terus menerus pada 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 di Pantai Kuta (Hutabarat, S dan Evans, S. 1985).

Pengaruh gelombang ternyata memberikan dampak yang besar terhadap pantai Kuta sehingga di perlukan sebuah analisis kondisi gelombang di perairan tersebut. Perkiraan kondisi gelombang laut secara visual, umumnya dapat dilihat melalui gelombang tertinggi dalam medan gelombang lautnya. Para pengamat gelombang di *World Meteorological Organization* (WMO), umumnya mengacu pada kriteria rata-rata tinggi dan periode dari 15 hingga 20 gelombang tertinggi yang nampak dari sejumlah grup gelombang. Kriteria dari rata-rata tinggi dan periode gelombang ini biasanya disebut tinggi dan periode gelombang signifikan (WMO, 1998).

Kelemahan tinggi dan periode gelombang signifikan ternyata tidak dapat menjelaskan secara spesifik keadaan permukaan laut pada saat bercampurnya permukaan pada gelombang *sea* yang dipengaruhi angin dan gelombang *swell* yang memiliki tinggi signifikan, periode signifikan dan arah yang sama. Oleh karena itu dibutuhkan parameter lagi dalam menentukan karakteristik dari kondisi gelombang pada suatu perairan dengan cara memisahkan tinggi dan periode gelombang signifikan untuk kondisi gelombang *swell* dan *sea* (Holthuijsen, 2007).

Menentukan tinggi, periode gelombang signifikan dan arah penalaran gelombang pada kondisi *swell* dan *sea*, umumnya menggunakan dua pendekatan, yaitu metode statistik dan metode spektrum (Holthuijsen, 2007). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode spektrum berarah yang memiliki kelebihan dari metode lainnya dapat mengestimasi parameter tinggi dan periode signifikan serta menyertakan kondisi berarah (*directional*) gelombang di suatu perairan. Metode spektrum yang digunakan adalah metode *Direct Fourier Transform* (DFT), *Extended Maximum Likelihood* (EML), *Iterative Maximum Likelihood* (IML), *Extended Maximum Entropy Principle* (EMEP) dan *Bayesian Directional* (BD), (Dean dan Dalrymple. 1984).

2. Materi dan Metode Penelitian

A. Materi Penelitian

Materiyang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari data pengukuran parameter oseanografi di lapangan yaitu berupa data kecepatan arus dalam arah *x* dan *y* serta data elevasi gelombang. Data primer yang lain berupa data gelombang yang akan digunakan sebagai pembandingan dengan hasil analisis spektrum gelombang (verifikasi data). Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan yang digunakan

No	Nama Alat	Satuan	Kegunaan
1.	Hunter 730 D	Meter dan detik	Mengukur kecepatan arus dan gelombang laut
2.	GPS V (<i>Global Positioning System</i>) merek Garmin	o ' "	Menentukn posisi titik pengukuran

3.	Peta batimetri Bali skala 1:200.000 Dishidros TNI-AL dan Lay out Batimetri Kuta 2008 Direktorat Jendral Sumber Daya Air wilayah Bali	-	Sebagai peta dasar dalam pembuatan peta penelitian dan model
4.	Perangkat komputer sistem Windows XP	-	Menjalankan Software Matlab 7.1
5.	Matlab 7.1	-	Menjalankan <i>toolbox</i> DIWASP untuk pengolahan dan analisis data

Data sekunder adalah data pendukung yang berasal dari instansi terkait. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta batimetri Pulau Bali (dengan skala 1 : 200.000 yang dikeluarkan oleh Dinas Hidro-Oseanografi Tentara Nasional Indonesia (TNI) Angkatan Laut tahun 2001, layout bathimetri dan topografi Pantai Kuta Bali tahun 2008 yang dikelurakan oleh Direktorat Jendral Sumber Daya Air wilayah Bali, peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dengan skala 1 : 2.500 yang dikeluarkan oleh Bakosurtanal tahun 2002, dan data angin selama 7 tahun (2003-2009) dari BMKG Kuta Bali.

B. Metode Penelitian, Pengolahan dan Analisis Data

Metode Penentuan Lokasi Sampling

Penentuan lokasi sampling/titik pengukuran arus dan gelombang berdasarkan pada pertimbangan bahwa titik tersebut dapat mewakili kondisi parameter oseanografi yang akan diukur. Tepatnya titik tersebut padakoordinat 115°9'13" BT dan 8°44'1" LS atau berada pada daerah sebelum gelombang pecah (*outer reef*). 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 representatif, di mana pemilihannya harus memperhatikan syarat-syarat yang harus dipenuhi secara metodologis (Fathoni, 2006).

Pengambilan Data Angin

Metode pengumpulan data angin menggunakan metode observasi secara langsung. Data angin yang diperoleh dari pengukuran di lapangan adalah data angin per jam. Data ini di peroleh dari BMKG Ngurah Rai (Bali) selama 7 tahun. Data angin dari BMKG Ngurah Rai (Bali) nantinya akan dipakai untuk peramalan gelombang di daerah Pantai Kuta, kemudian diverifikasi dengan data gelombang lapangan.

Pengukuran Gelombang Laut

Metode pengukuran dan pengambilan data gelombang menggunakan metode observasi secara langsung. Alat diletakkan pada kedalaman 14 m di titik 115°9'13" BT dan 8°44'1" LS. Alat yang digunakan adalah *Hunter 730D*. Prinsip kerja alat adalah menggunakan suatu sistem sensor tekanan dan dapat diatur untuk mengumpulkan dan merekam perkiraan dari spektrum gelombang. Spektrum gelombang diperkirakan dari 1-Hz dengan waktu yang berkala dan dikumpulkan melebihi rata-rata interval. Prinsip kerja dan gambar alat dapat dilihat pada gambar 1.

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 gelombang didasarkan pada besar tekanan dan elevasi yang diterima oleh sensor. Data gelombang yang terekam berupa tinggi gelombang, periode gelombang dan arah gelombang (User's Mauual, 2006).



Gambar 1. (a) alat pengukur gelombang

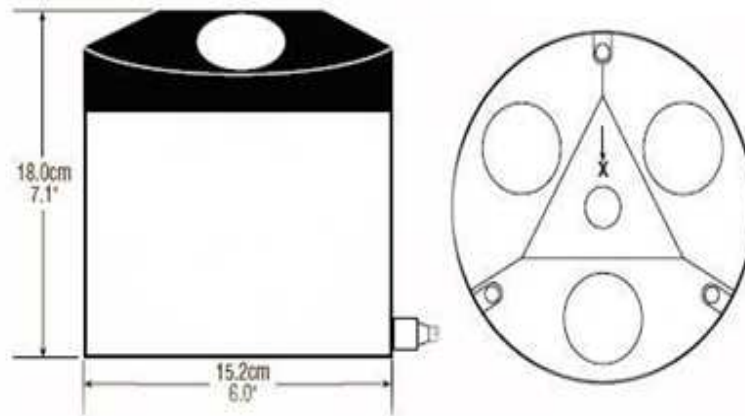


(b) sistem kerja alat

Pengukuran Kecepatan Arus

Metode pengukuran dan pengambilan data kecepatan arus menggunakan metode observasi secara langsung. Pengukuran kecepatan arus menggunakan alat yang sama dengan pengukuran gelombang yaitu *Hunter 730D*. Selain data gelombang, alat akan merekam kecepatan arus dalam arah x dan y juga. Prinsip kerja alat dalam merekam data arus adalah menggunakan transduser akustik pada instrumen ADCM Argonaut XR. Menurut Emery dan Thomson, (1998) instrument yang berbasis *Acoustik Doppler* mengukur kecepatan arus dengan mengirimkan gelombang suara dengan frekuensi tinggi dan menentukan kembalinya hamburan sinyal perpindahan frekuensi Doppler dari pantulan *drifter* atau partikel kecil yang melayang di dalam air.

Menurut Emery dan Thomson, (1998) prinsip kerja dari instrument berbasis *Acoustik Doppler* berdasarkan pada fakta bahwa : (i) suara dapat direfleksikan atau dihamburkan apabila bertemu dengan perubahan densitas (ii) frekuensi yang direfleksikan dapat bertambah dan berkurang pada saat reflektor mendekat atau menjauh dari instrument pengukur. Berikut adalah gambar skematik dari ADCM Argonaut XR.



Gambar 2. Skematik ADCM Argonaut XR (Sontek/YSI, 2001)

Analisis Data

Analisis data menggunakan statistik atau model yang ditentukan dan telah memenuhi kaidah-kaidah ilmiah yaitu konkret/empiris, obyektif, terukur, rasional dan sistematis. Analisis data angin menggunakan metode SMB (*Sverdrup-Munk-Bretchneider*) untuk mengkonversi data angin darat menjadi angin laut sehingga diperoleh hasil berupa peramalan gelombang. Analisis data gelombang menggunakan metode penentuan gelombang representatif. Penentuan gelombang signifikan berdasarkan data gelombang hasil pengukuran di lapangan dan menentukan elevasi permukaan laut sebagai inputan dalam pemodelan spektrum gelombang berarah. Analisis data arus dengan menentukan kecepatan arus horisontal dan vertikal sebagai inputan dalam pemodelan spektrum gelombang berarah.

3. Hasil dan Pembahasan

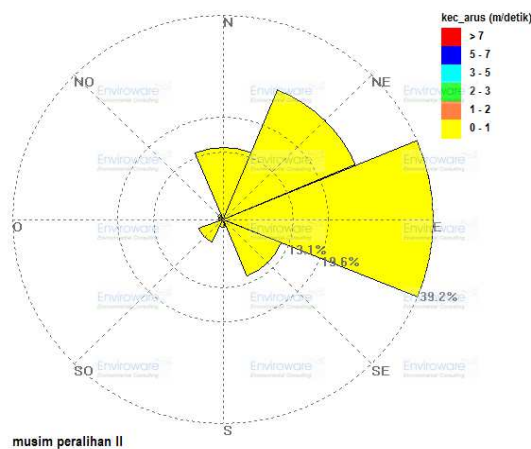
A. Hasil

Data Primer Hasil Survey Lapangan

Survey lapangan dilakukan di satu tempat yaitu Pantai Kuta Bali, tepatnya di Kabupaten Badung. Penempatan alat *Hunter 730D* di kedalaman 14 m di bawah laut pada koordinat 115°9'13" BT dan 8°44'1" LS. Pengambilan data dilakukan selama 3 bulan pada bulan September-November 2009. Data hasil pengukuran lapangan berupa elevasi gelombang η dan kecepatan arus. Selain itu, diperoleh juga data gelombang hasil pengukuran untuk verifikasi data hasil analisis spektrum yang berupa tinggi gelombang signifikan H_s , periode gelombang T_s dan arah penjalaran gelombang. Untuk hasil pengukuran dan pengolahan data di lapangan akan dijelaskan di bawah ini.

Data Arus

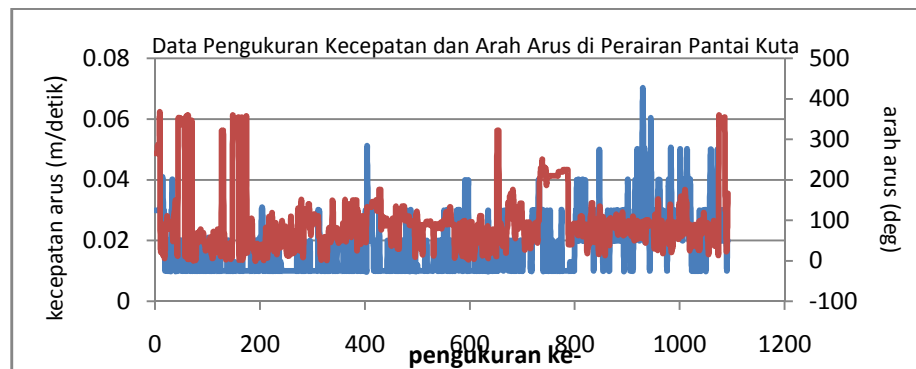
Data arus didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan alat *Hunter 730D* yang digunakan sebagai inputan untuk analisis spektrum gelombang berarah. Analisis data arus dengan menggunakan metode spektrum akan menunjukkan arah penjalaran gelombang atau distribusi energi gelombang yang dipengaruhi oleh arus. Untuk arah penjalaran arusnya dapat kita lihat pada gambar current rose di bawah ini.



Gambar 3. Grafik current rose pada lokasi pengukuran

Grafik current rose pada gambar 3 menunjukkan penjalaran arah arus, di mana penjalaran arah arus searah dengan arah gelombang. Arah arus dominan pada lokasi pengukuran di Pantai Kuta, Bali adalah arah timur dengan kecepatan antara 0,01–1 m/detik.

Plotting kecepatan dan arah arus selama pengukuran di lapangan dapat di lihat pada gambar grafik 4 di bawah ini. Grafik di bawah ini menjelaskan bahwa plotting kecepatan arus selama pengukuran di perairan Kuta Bali pada musim peralihan II berkisar antara 0,01–0,07 m/detik. Sedangkan kecepatan arus rata-ratanya di daerah penelitian ini sebesar 0,02 m/detik. Arah arus dominan ke arah timur dengan sudut antara 90^0 – 100^0 .

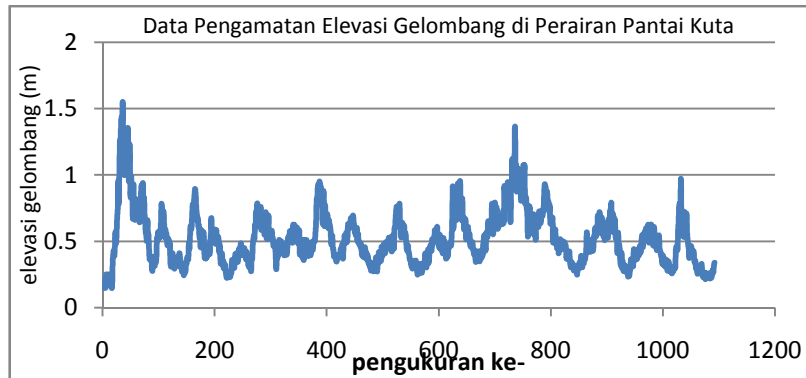


Gambar 4. Grafik kecepatan dan arah arus di perairan pantai Kuta, Bali

Data Elevasi Gelombang

Data elevasi gelombang digunakan untuk inputan dalam analisis spektrum gelombang berarah. Analisis elevasi gelombang dengan menggunakan metode spektrum akan menghasilkan nilai tinggi dan

periode gelombang signifikan. Kondisi elevasi gelombang hasil pengukuran di lapangan ditunjukkan dalam gambar 5.

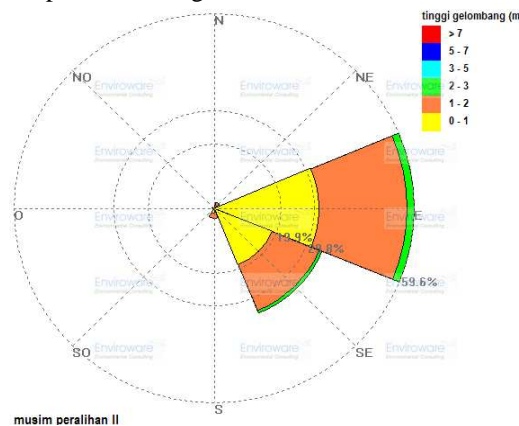


Gambar 5 . Grafik elevasi gelombang di lokasi penelitian

Grafik pada gambar 5 menunjukkan bahwa elevasi tertinggi selama pengukuran di lapangan sebesar 1,55 m dan elevasi terendah 0,15 m dari SWL. Sedangkan elevasi gelombang rata-rata di lokasi pengukuran adalah 0,52 m.

Data Tinggi dan Periode Gelombang

Pengambilan data gelombang menggunakan alat yang sama dengan pengambilan data kecepatan arus. Hasil pengukuran tinggi dan periode gelombang di lapangan akan dicari tinggi dan periode gelombang signifikan yaitu tinggi dan periode gelombang yang mewakili daerah pengukuran, dan kemudian akan digunakan sebagai pembandingan dari tinggi dan periode gelombang hasil estimasi dengan kelima metode spektrum berarah. Berdasarkan hasil pengukuran data lapangan didapatkan tinggi gelombang signifikan (H_s) adalah 1.19 meter dan periode gelombang signifikan (T_s) adalah 13.20 detik. Penjalaran arah gelombang hasil pengamatan di lapangan ditunjukkan dalam bentuk waverose (mawar gelombang), yang di tampilkan dalam gambar 6.

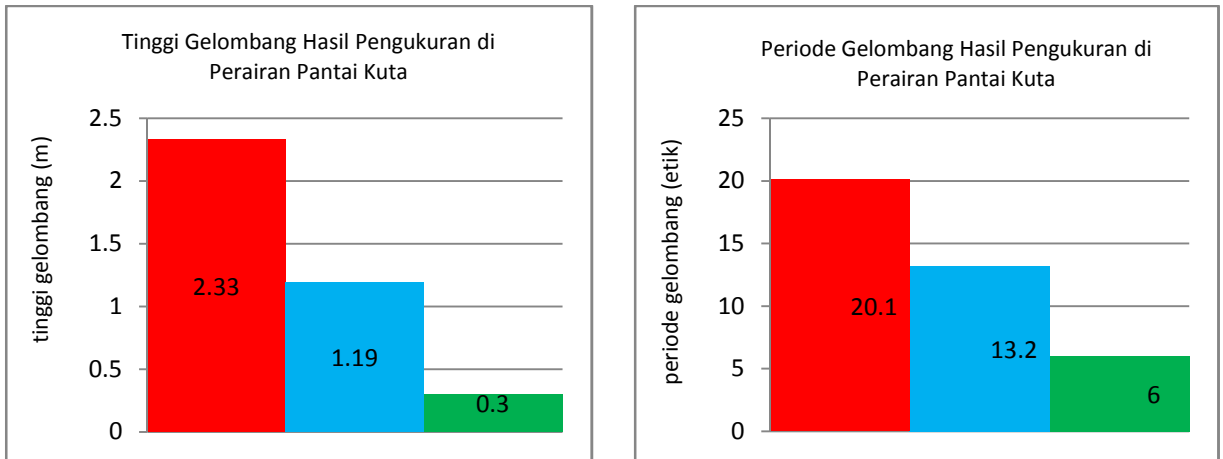


Gambar 6 . Arah penjalaran gelombang pada lokasi penelitian

Gambar waverose di atas menjelaskan bahwa arah penjalaran gelombang dominan di perairan Kuta Bali pada musim peralihan II ke arah timur dan tenggara. Hasil penjalaran gelombang ini digunakan sebagai verifikasi dari hasil analisis spektrum gelombang berarah. Untuk tinggi gelombang yang tercatat di perairan tersebut berkisar antara 0,3 m–2,33 m. Hasil pengukuran gelombang di lapangan dapat dilihat pada tabel 2 dan grafik tinggi periode gelombang dapat dilihat pada gambar 7.

Tabel 2. Tinggi dan periode gelombang hasil pengukuran di lapangan

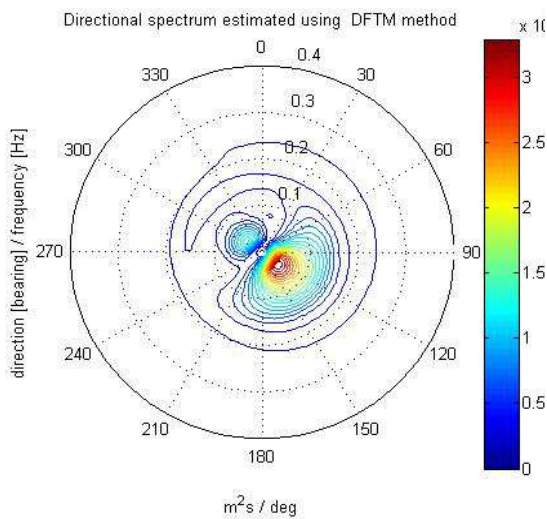
Data	Tinggi (meter)	Periode (detik)
Maksimum	2,33	20,1
Signifikan	1,19	13,20
Minimum	0,3	6



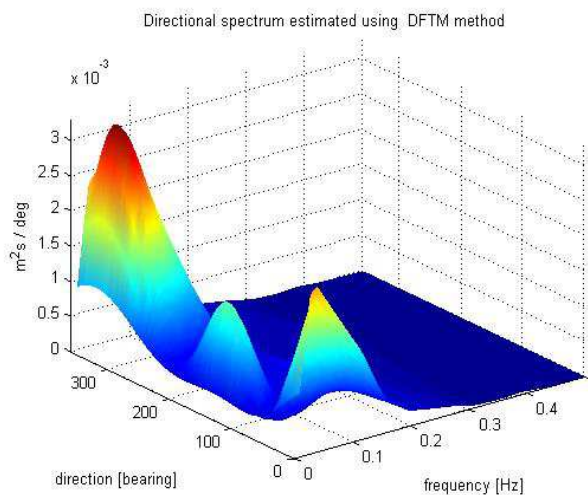
Gambar 7 . Tinggi dan periode gelombang hasil pengukuran di lapangan

Hasil Estimasi Parameter dengan Metode Spektrum Berarah Metode DFT (Direct Fourier Transform)

Hasil estimasi dengan menggunakan metode DFT menunjukkan nilai H_s sebesar 0,89 m dan T_p sebesar 12,5 detik. Arah penjalaran gelombang dominan ke arah tenggara dengan sudut 140^0 dari arah utara. Hasil estimasi dengan menggunakan metode DFT ditunjukkan pada grafik polar Gambar 8 dan grafik spektrum 2D Gambar 9.



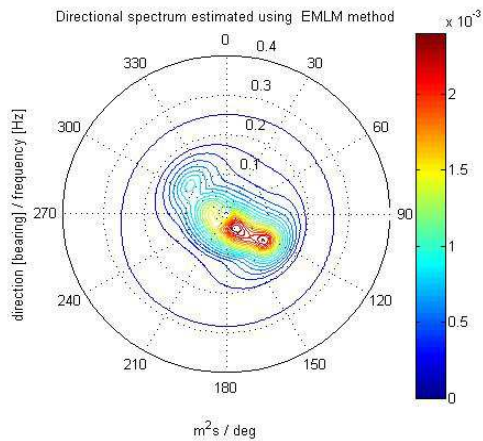
Gambar 8 . Grafik spektrum polar padapengukuran metode DFT



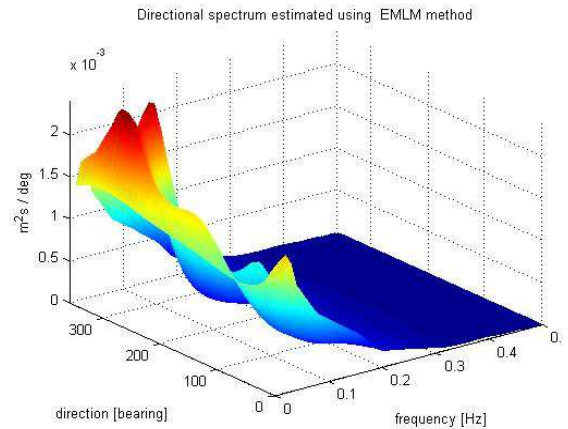
Gambar 9. Grafik spektrum 2D pada stasiun pengukuran dengan metode DFT

Metode EML (Extended Maximum Likelihood)

Estimasi menggunakan metode EML menghasilkan nilai H_s sebesar 0,925 m dan T_p sebesar 12.5 detik. Arah penjalaran gelombang dominan ke arah tenggara dengan sudut 140^0 dari arah utara. Hasil estimasi dengan menggunakan metode EML ditunjukkan dalam grafik polar Gambar 10 dan grafik spektrum 2D dalam Gambar 11.



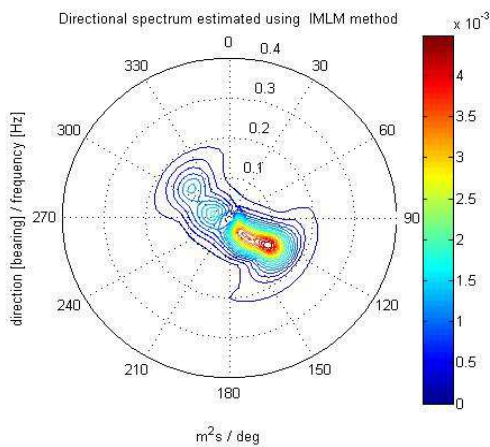
Gambar 10. Grafik spektrum polar metode EML



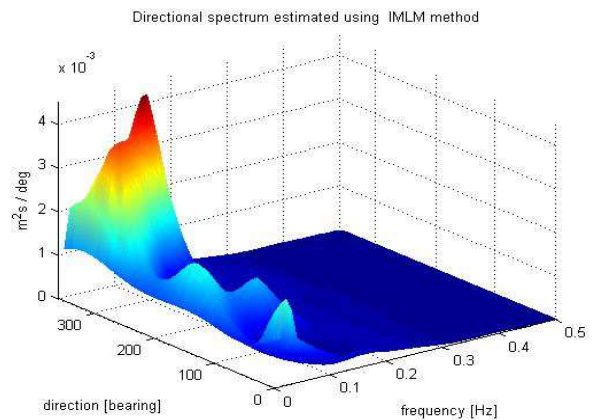
Gambar 11. Grafik spektrum 2D pada metode EML

Metode IML (Iterative Maximum Likelihood)

Estimasi dengan menggunakan metode IML menghasilkan nilai H_s sebesar 0,94 m dan T_p sebesar 12,5 detik. Arah penjalaran gelombang dominan ke arah tenggara dengan sudut 140^0 dari arah utara. Hasil estimasi dengan menggunakan metode IML ditunjukkan dalam grafik polar Gambar 12 dan grafik spektrum 2D dalam Gambar 13.



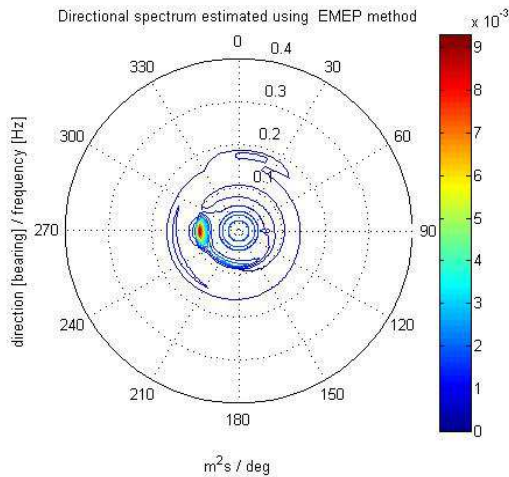
Gambar 12 . Grafik spektrum polar metode IML



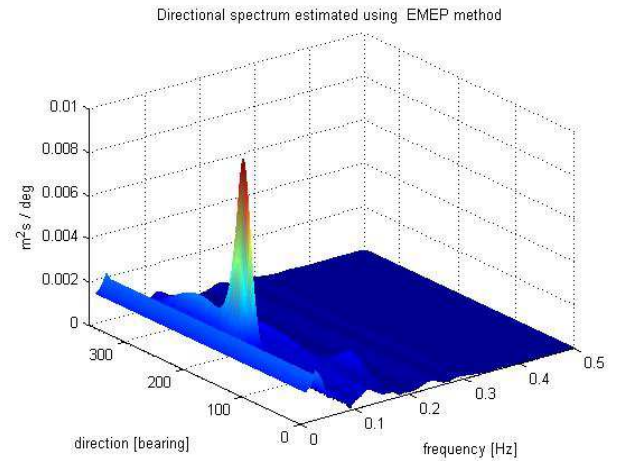
Gambar 13 . Grafik spektrum 2D pada metode IML

EMEP (Extended Maximum Likelihood Principle)

Hasil estimasi dengan menggunakan metode EMEP menunjukkan nilai H_s sebesar 0.93 m dan T_p sebesar 12,5 detik. Arah penjalaran gelombang dominan ke arah barat dengan sudut 270^0 dari arah utara. Hasil estimasi dengan menggunakan metode EMEP ditunjukkan dalam grafik polar Gambar 14 dan grafik spektrum 2D dalam Gambar 15.



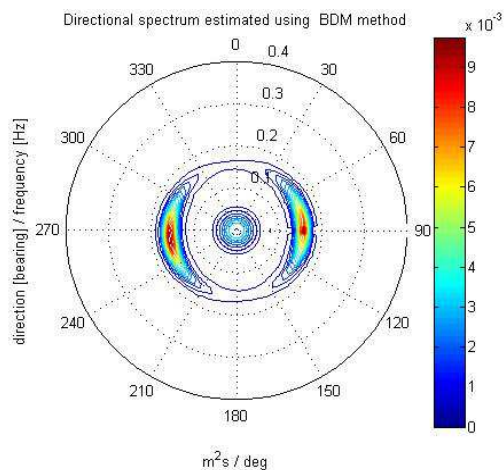
Gambar 14 . Grafik spektrum polar metode EMEP



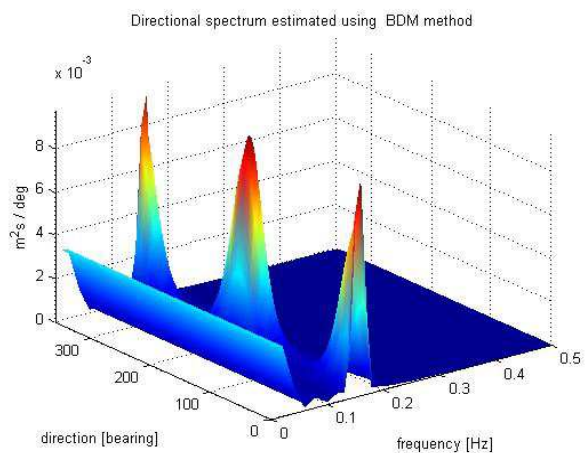
Gambar 15 . Grafik spektrum 2D metode EMEP

Metode BD (Bayesian Direct)

Estimasi dengan menggunakan metode BD menghasilkan nilai H_s sebesar 0,985 m dan T_p sebesar 12,5 detik. Arah penjalaran gelombangnya ada yang ke arah barat dengan sudut 270^0 dan ada yang ke timur dengan 90^0 dari arah utara serta ada yang menyebar di tengah-tengah. Hasil estimasi dengan menggunakan metode BD ditunjukkan dalam grafik polar dalam Gambar 16 dan grafik spektrum 2D dalam Gambar 17.



Gambar 16 . Grafik spektrum polar pada stasiun pengukuran dengan metode BD



Gambar 17 . Grafik spektrum 2D pada stasiun pengukuran dengan metode BD

Interpretasi spektrum 1 dimensi dan 2 dimensi tipe gelombang berbeda, yaitu gelombang *swell* dan *sea* ditunjukkan dalam lampiran. Dari gambar tersebut terlihat jelas gelombang *swell* ditunjukkan dengan lebar pita spektrum frekuensi yang lebih rapat dan gelombang *sea* dengan lebar pita spektrum frekuensi agak lebar. Untuk hasil estimasi analisis spektrum di tunjukkan dalam tabel 9.

Tabel 9. Hasil estimasi parameter dengan metode analisis spektrum berarah pada stasiun pengukuran

Metode	H_s Estimasi	T_s 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	0,10
BD	0,985	12,5	Timur dan barat	swell	0,15

B. Pembahasan

Hasil pengolahan data elevasi gelombang dan data kecepatan arus U dan V menggunakan analisis spektrum dengan metode DFT, EML, IML, EMEP dan BD menghasilkan nilai tinggi gelombang signifikan H_s , periode gelombang signifikan T_s dan arah penjarangan gelombang. Metode DFT menghasilkan tinggi gelombang signifikan H_s sebesar 0.89 m dan periode gelombang signifikan T_s sebesar 12.5 detik, tinggi gelombang yang dihasilkan dengan menggunakan metode DFT 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. Namun untuk estimasi periode gelombang dengan metode DFT tidak jauh berbeda dengan periode gelombang yang dihasilkan di lapangan.

Metode EML menghasilkan tinggi gelombang signifikan sebesar 0,925 m berbeda sedikit dengan metode DFT. Sedangkan metode IML menghasilkan tinggi gelombang signifikan sebesar 0,94 m. 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, dibandingkan tujuan awal pembuatan spektrum berarah sehingga H_s yang dihasilkan juga berbeda. Hal ini diperkuat dengan adanya 2 puncak pita spektrum yang ditunjukkan dalam gambar 50. Namun T_s yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut menunjukkan nilai yang sama sebesar 12.5 detik. Perbedaan hasil yang diperoleh dengan metode IML disebabkan karena adanya parameter γ yang berfungsi sebagai pengontrol divergensi sehingga spektrum tetap konvergen, namun karena parameter γ yang digunakan adalah *default* yaitu 100 iterasi maka hasil yang didapatkan dengan metode IML tidak berbeda jauh dengan metode EML.

Metode EMEP menghasilkan nilai estimasi yang hampir sama dengan EML H_s sebesar 0.93 m dan T_s sebesar 12.5 detik. 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_{θ} , sehingga memakan waktu yang lama, tetapi hasil yang didapatkan mendekati perhitungan lapangan. Untuk nilai T_s sama dengan yang dihasilkan metode lainnya sebesar 12.5 detik.

Hasil perhitungan data di lapangan menunjukkan bahwa kondisi gelombang adalah gelombang transisi, di mana dalam penjarangannya dari perairan dalam menuju pantai Kuta mendapat pengaruh-pengaruh nonlinier secara langsung sehingga mempengaruhi penjarangannya. Gelombang *swell* yang menuju perairan dangkal akan mengalami pembelokan arah gelombang akibat adanya penjarangan arah arus di daerah penelitian. Hasil estimasi dengan metode-metode yang ada dengan memakai data arus rerata dan data elevasi gelombang akan didapatkan 3 hasil yang berbeda dalam penjarangan gelombangnya. Estimasi dengan metode DFT, EML dan IML menunjukkan penjarangan gelombang dominan ke arah tenggara dan arah ini mengalami pembelokan sudut sebesar α sebesar 30^0 dengan arus. Yang kedua metode EMEP menghasilkan estimasi penjarangan arah gelombang dominan ke arah barat, nilai ini mengalami pembelokan sudut sangat besar yaitu $\alpha = 170^0$, pembelokan ini terlalu besar, metode mengalami *default* saat proses data sedang berlanjut dikarenakan penggunaan parameter γ dengan iterasi 100 kali. Hasil ketiga dengan metode BD mengalami pembelokan lebih kecil daripada metode EMEP yaitu α sebesar 5^0 . Namun, metode ini juga mengestimasi penjarangan gelombang ke arah barat dengan sudut pembelokan sebesar $\alpha = 170^0$. Menurut Holthuijsen (2007), hal ini disebabkan karena adanya angin yang berhembus di daerah lokal pengukuran sehingga mempengaruhi estimasi penjarangan gelombangnya. Menurut Holthuijsen (2007) metode spektrum berarah menunjukkan fenomena arus yang menginduksi refraksi gelombang yang hampir sama dengan pembelokan gelombang akibat pengaruh kedalaman atau pendangkalan. Hanya saja, pembelokan arus dengan metode DFT, EML dan IML dan tidak sebesar pembelokan yang dihasilkan metode EMEP dan BD yang menghasilkan sudut pembelokkan terbesar.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian di Pantai Kuta, Kabupaten Badung Bali tentang analisis spektrum gelombang berarah dapat disimpulkan bahwa analisis spektrum gelombang berarah dengan menggunakan metode *Bayesian Directional* (BD) menghasilkan H_s sebesar 0,985 m, dan T_s sebesar 12,5 detik, nilai tersebut paling mendekati dengan perhitungan H_s di lapangan. 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*, di mana gelombang telah keluar dari daerah pembangkitan gelombang.

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 sebesar 0,0956, yaitu $0.05 < d/l < 1$. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang di lokasi pengukuran adalah termasuk gelombang transisi.

Daftar Pustaka

- CERC. 1984. *Shore Protection Manual*, Volume I. US Army Coastal Engineering Research Center, Washington (SPM, 1984)
- 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.
- Ochi, M. 1998. *Ocean Waves: The Stochastic Approach*. Cambridge University Press. New York, pp. 1–4,176–212.
- Syarief, M. 2010. *Analisis Spektrum Gelombang Berarah di Perairan Pantai Damas Teluk Prigi Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur*. Skripsi (Tidak dipublikasikan). Jurusan Ilmu Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. UNDIP, Semarang.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta offshet. Yogyakarta. 397 hlm.
- Yuwono, Nur. 1992. *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*. Vol.2. Laboratorium Hidroulika dan Hidrologi. PAU-IT-UGM. Yogyakarta.