

Studi *Hindcasting* Dalam Menentukan Karakteristik Gelombang dan Klasifikasi Zona *Surf* Di Pantai Uluwatu, Bali

Karina Santoso ^{a*}, I Dewa Nyoman Nurweda Putra ^a, I Gusti Bagus Sila Dharma ^a

^a Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Kuta Selatan, Bukit Jimbaran, Bali- Indonesia

* Penulis koresponden. Tel.: +62-878-619-89708
Alamat e-mail: karinsnts8@gmail.com

Diterima (received) 12 Oktober 2017; disetujui (accepted) 8 September 2018; tersedia secara online (available online) 10 September 2018

Abstract

Bali is one of the islands where there are many *surf* zones with various characteristics. In addition, Bali is also a heaven with a classy *wave* for the *surfers* of the world. One of the most challenging places to *surf* in Bali is Uluwatu Beach. Uluwatu Beach is ranked the 3rd best *surf* spot in the world version of CNN Travel in 2012. Wind causes sea *waves*, therefore wind data can be used to estimate the height and direction of the *waves*. *Wave Hindcasting* with Sverdrup, Munk and Bretschneider (SMB) method is calculated based on wind data for 10 years (2001 - 2010) from BMKG Ngurah Rai Station - Denpasar to obtain a significant *wave* height and period. In this research, it is necessary to approach through *Hindcasting* procedure, *wave* transformation analysis and *surfing Terminology* in determining the type of breaking *wave* and classification of *surf* zone in Uluwatu Beach area. *Wave* calculation result in Uluwatu Beach dominated by *wave* that coming from west side with significant *wave* height (H_s) of 0.98 m and significant *wave* period (T_s) of 5.21 s. The *wave* height due to the influence of *wave* refraction and *shoaling* is 0.976 m. The breaking *wave* height obtained from the calculation is 1.04 m at a depth of 0.849 m. From the result in this research, it can be concluded that the breaking *wave* type that occurred at Uluwatu Beach is *plunging* type according to the calculation result from its Irribaren number ($0.4 < Ni < 2.3$). The classification of the *surf* zone at Uluwatu Beach based on its breakup type of *wave* is thought to be a good zone for *surfers* on *intermediate* level.

Keywords: *Uluwatu Beach; wave Hindcasting; breaking wave; surf zone*

Abstrak

Bali merupakan salah satu pulau dimana terdapat banyak zona *surf* dengan beragam karakteristik. Selain itu, Bali juga merupakan surga dengan gelombang yang berkelas bagi para peselancar dunia. Salah satu tempat yang menantang untuk berselancar di Bali adalah Pantai Uluwatu. Pantai Uluwatu menempati peringkat ke-3 spot *surfing* terbaik di dunia versi CNN Travel pada tahun 2012. Angin mengakibatkan gelombang laut, oleh karena itu data angin dapat digunakan untuk memperkirakan tinggi dan arah gelombang. Peramalan gelombang laut (*wave Hindcasting*) dengan metode Sverdrup, Munk and Bretschneider (SMB) dihitung berdasarkan data angin selama 10 tahun (2001 – 2010) dari BMKG Stasiun Ngurah Rai – Denpasar untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang signifikan. Dalam penelitian ini perlu dilakukan pendekatan melalui prosedur *Hindcasting*, analisis transformasi gelombang dan terminologi *surfing* dalam menentukan tipe gelombang pecah dan klasifikasi zona *surf* di wilayah Pantai Uluwatu. Dari hasil perhitungan gelombang di Pantai Uluwatu didominasi oleh gelombang arah Barat dengan tinggi gelombang signifikan (H_s) sebesar 0.98 m dan periode gelombang signifikan (T_s) sebesar 5.21 s. Tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi dan pendangkalan gelombang adalah sebesar 0.976 m. Tinggi gelombang pecah yang didapat dari hasil perhitungan adalah sebesar 1.04 m pada kedalaman 0.849 m. Dari hasil kajian dalam penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa tipe gelombang pecah yang terjadi di Pantai Uluwatu merupakan tipe *plunging* sesuai dengan hasil perhitungan dari nilai bilangan Irribaren nya ($0.4 < Ni < 2.3$). Klasifikasi Zona *Surf* di Pantai Uluwatu berdasarkan tipe gelombang pecah nya diduga zona tersebut baik untuk peselancar level *intermediate*.

Kata Kunci: *Pantai Uluwatu; peramalan gelombang laut; gelombang pecah; zona surf*

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai Negara kepulauan mempunyai lebih dari 3700 pulau laut dan wilayah pantai sepanjang 80.000 km. Wilayah pantai merupakan daerah yang masih mendapat pengaruh laut seperti gelombang, arus dan pasang surut. Wilayah pantai ini merupakan daerah yang sangat intensif dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan manusia, seperti kawasan pemukiman, industri, pelabuhan, pertambangan, pertanian/perikanan, pariwisata, macam-macam olahraga air, dll. Di Indonesia, Pulau Bali khususnya mempunyai wilayah pantai yang sangat berpotensi (Triatmodjo, 1999).

Bali merupakan salah satu pulau dimana terdapat banyak zona *surf* dengan beragam karakteristik. Zona *surf* merupakan daerah yang terbentang antara bagian dalam dari gelombang pecah dan batas naik turunnya gelombang di pantai (Eryani, 2017). Pantai yang landai mempunyai zona *surf* yang lebar (Triatmodjo, 1999). Menurut Leonard & Lueras, L (2014) di Indonesia, khususnya Bali, merupakan surga dengan gelombang yang berkelas bagi para peselancar dunia. Salah satu tempat yang menantang untuk berselancar di Bali adalah Pantai Uluwatu. Ombak di Pantai Uluwatu dikenal dengan gelombang pendek dan kuat yang saling bersusulan. Ombak seperti ini sangat cocok bagi peselancar lanjutan maupun profesional. Pantai Uluwatu menempati peringkat ke-3 spot *surfing* terbaik di dunia versi CNN Travel pada tahun 2012.

Surfing merupakan olahraga ekstrim dalam mengendarai gelombang pecah (Martin & Assenov, 2012). Papan selancar bergerak dengan tenaga ombak yang arahnya dikemudikan oleh peselancar (Eurich et al., 2010). Keahlian menjaga keseimbangan membuat peselancar tetap bertahan di atas ombak (Sheppard et al., 2013). Namun, saat bermain olahraga ekstrim ini, peselancar harus tetap waspada dengan segala resikonya (Sotomayor & Barbieri, 2016).

Gelombang adalah salah satu fenomena alam yang terjadi di lautan. Gelombang laut merupakan gerakan permukaan air laut akibat hembusan angin (Sugianto, 2012). Gelombang akibat angin ini merupakan hal yang paling penting di dalam ilmu teknik pantai (Siswanto, 2012). Angin yang bertiup di atas permukaan air laut menimbulkan gelombang dan membawa suatu kecepatan yang mempunyai energi (Binilang, 2014). Prinsip terjadinya pembangkitan gelombang oleh angin

adalah perpindahan energi dari angin ke air lewat permukaan air (Tawas, 2015). Gelombang yang merambat di laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena pengaruh perubahan kedalaman laut (Dauhan et al., 2013). Berkurangnya kedalaman laut menyebabkan semakin berkurangnya panjang gelombang dan bertambahnya tinggi gelombang

Peramalan gelombang laut (*wave Hindcasting*) berfungsi dalam menyediakan hasil informasi berupa karakteristik gelombang (Kaunang et al., 2016). Karakteristik gelombang tersebut digunakan untuk mengetahui besar dan arah gelombang dominan yang pernah terjadi menurut musiman atau bulanan (Aisjah et al., 2016). *Hindcasting* dengan metode Sverdrup, Munk and Bretschneider (SMB) dihitung berdasarkan data angin selama 10 tahun (2001 – 2010) dari BMKG Stasiun Meteorologi Kelas I Ngurah Rai - Denpasar untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang signifikan. Untuk keperluan peramalan gelombang diperlukan data angin: arah angin, kecepatan angin pada arah tersebut (U), lama hembus angin (td) dan panjang *fetch* (F) (Karimpour and Chen, 2015).

Dalam penelitian ini perlu dilakukan pendekatan melalui prosedur *Hindcasting*, analisis transformasi gelombang dan terminologi *surfing* dalam menentukan tipe gelombang pecah dan klasifikasi zona *surf* di wilayah Pantai Uluwatu. Hal tersebut sangatlah penting dalam memahami proses dinamika pantai dan gelombang secara ilmiah.

2. Metode Penelitian

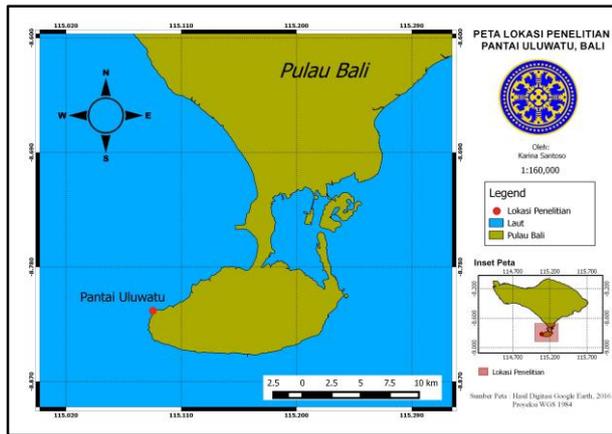
2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di daerah selatan Pulau Bali yaitu di Pantai Uluwatu, dengan titik lokasi yang ditunjukkan pada peta dibawah ini (Gambar 1):

2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder, yaitu:

- Data angin harian selama 10 tahun (2001-2010) diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meteorologi Kelas I Ngurah Rai - Denpasar
- Peta dan grafik *landscape slope* di Pantai Uluwatu diperoleh dari *Google Earth Pro* 4000 pixel.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di Pantai Uluwatu, Bali

2.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif memiliki tujuan untuk menunjukkan hubungan antar variabel, menguji teori, mencari generalisasi yang mempunyai nilai prediktif.

Langkah – langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengolah data angin selama 10 tahun untuk memperoleh angin dominan dengan bantuan software *Wind Rose Plot View* (WRPLOT View)
2. Penggambaran dan perhitungan panjang *fetch* efektif (Feff) dengan bantuan software ArcGIS
3. Peramalan tinggi dan periode gelombang di laut dalam (signifikan) menggunakan Program *Hindcasting* dengan Metode Sverdrup, Munk dan Bretschneider (SMB)
4. Analisis transformasi gelombang
5. Menentukan tipe gelombang pecah
6. Menentukan klasifikasi zona *surf*

2.4 Analisa Data

2.4.1. Angin dan Peramalan Tinggi Gelombang

- Menentukan Faktor Tegangan Angin / *Wind Stress Factor* (U_A)

Wind Stress Factor merupakan parameter angin dari kecepatan angin yang telah dikoreksi dan dikonversikan terhadap koefisien drag menggunakan persamaan berikut ini:

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

dimana hasil U_A (m/s) tersebut akan digunakan sebagai data untuk perhitungan peramalan gelombang (*Hindcasting*).

- Menentukan *Fetch* efektif (Feff) (Triatmodjo, 1999)

$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \cos a}{\sum \cos a} \quad (2)$$

dimana F_{eff} adalah *Fetch* rata – rata efektif; X_i adalah panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*; dan a adalah deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

- *Hindcasting* Gelombang

Tinggi dan periode gelombang di laut dalam (signifikan) ditentukan dengan persamaan yang diberikan oleh metode SMB berikut:

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\frac{gT_s}{U_A} = 2.857 \times 10^{-1} \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

$$\frac{gt_d}{U_A} = 6.88 \times 10 \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

dimana H_s adalah tinggi gelombang signifikan (m); T_s adalah periode gelombang signifikan (s); F adalah panjang *fetch* (km); t_d adalah durasi (jam); dan U_A adalah faktor tegangan angin (m/s).

2.4.2. Analisis Transformasi Gelombang

- Tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi gelombang dan pendangkalan (*wave shoaling*), diberikan oleh rumus:

$$H = H_0 K_s K_r \quad (6)$$

dimana H_0 adalah tinggi gelombang di laut dalam; H adalah tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi pada lokasi tertentu; K_s adalah koefisien pendangkalan (*shoaling*), merupakan fungsi panjang gelombang dan kedalaman air, berdasarkan Tabel L-1 (Triatmodjo, 1999); dan K_r adalah koefisien refraksi.

- Koefisien Refraksi

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (7)$$

dimana pada hukum Snell untuk refraksi gelombang berlaku,

$$\sin \alpha = \frac{L}{L_0} \sin \alpha_0 \quad (8)$$

dimana K_r adalah koefisien refraksi; α adalah sudut datang gelombang di suatu titik yang ditinjau ($^\circ$); α_0 adalah sudut datang gelombang di laut dalam ($^\circ$); L adalah panjang gelombang di suatu titik yang ditinjau (m); dan L_0 adalah panjang gelombang di laut dalam (m).

2.4.3. Penentuan Tipe Gelombang Pecah

Penentuan tipe gelombang pecah, dan parameter gelombang pecah dapat digunakan untuk menentukan klasifikasi zona *surf*. Triatmodjo (1999) merumuskan cara menentukan nilai panjang gelombang di laut dalam adalah sebagai berikut:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (9)$$

dimana L_0 adalah panjang gelombang di laut dalam (m); g adalah percepatan gravitasi (m/s^2); dan T adalah periode gelombang (s).

Kemudian perhitungan selanjutnya adalah menentukan tinggi gelombang pecah (H_b). Rumus untuk mencari nilai H_b adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 1999):

$$H_b = \frac{H_0}{3.3 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{\frac{1}{3}}} \quad (10)$$

dimana H_b adalah tinggi gelombang pecah (m); H_0 adalah tinggi gelombang ekuivalen (m) ($K_r \cdot H_0$); dan L_0 adalah panjang gelombang di laut dalam (m)

Nilai H_b dicari untuk menentukan nilai d_b , d_b adalah kedalaman gelombang pecah. Menurut Triatmodjo (1999), rumus untuk menentukan d_b adalah sebagai berikut:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - \left(\frac{aH_b}{gT^2} \right)} \quad (11)$$

dimana a dan b merupakan fungsi kemiringan pantai (m) dan diberikan oleh persamaan berikut:

$$a = 43.75 \left(1 - e^{-19m} \right) \quad (12)$$

$$b = \frac{1.56}{\left(1 + e^{-19.5m} \right)} \quad (13)$$

dimana H_b adalah tinggi gelombang pecah (m); dan d_b adalah kedalaman gelombang pecah (m).

Langkah terakhir adalah mencari nilai N_i (*surf similarity* atau sering disebut bilangan Iribaren), nilai N_i dicari untuk menentukan tipe gelombang pecah yang terjadi di daerah penelitian. Nilai N_i dirumuskan sebagai berikut:

$$N_i = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{H_b}{L_0}}} \quad (14)$$

dimana β adalah sudut kemiringan pantai (*slope*); N_i adalah *surf similarity* (bilangan Iribaren); H_b adalah tinggi gelombang pecah (m); dan L_0 adalah panjang gelombang di laut dalam (m).

Adapun tipe gelombang pecah dilihat dari nilai N_i sebagai berikut:

a. Gelombang pecah tipe *spilling*

Muka gelombang pecah akan meluruh searah pantai dan lama kelamaan akan membentuk buih di bibir pantai ($N_i < 0.4$).

b. Gelombang pecah tipe *plunging*

Muka gelombang memecah dengan cara bergulung-gulung dan akhirnya akan membentuk buih yang dicirikan dengan adanya limpasan yang ikut di pantai. Gelombang pecah tipe ini sangat baik untuk kegiatan *surfing* ($0.4 < N_i < 2.3$).

c. Gelombang pecah tipe *collapsing*

Muka gelombang tidak berubah (pecah) tetapi semakin mendekati pantai akan membentuk gelombang pipih yang semakin mengecil dan akhirnya akan menghasilkan aliran turbulen di bibir pantai ($2.3 < N_i < 3.2$).

d. Gelombang pecah tipe *surging*

Muka gelombang juga tidak akan mengalami perubahan (pecah) tetapi semakin mendekati pantai semakin mengecil dan akhirnya memecah pada daerah yang sangat dekat dengan bibir pantai. ($Ni > 3.2$).

2.4.4. Penentuan Klasifikasi Zona Surf

Klasifikasi zona *surf* akan ditentukan berdasarkan oleh terminologi *surfing*. Rentang dari bilangan irribaren (Ni) yang merupakan parameter *surf similarity* ditunjukkan dibawah ini (Tabel 1) menunjukkan hubungannya dengan klasifikasi tipe gelombang pecah dan terminologi *surfing* (Bancroft, 1999).

Tipe gelombang pecah *spilling* diistilahkan dengan “*mushy* atau *crumbly*” karena menggambarkan gelombang yang lambat dan konsisten. Gelombang yang tergolong lambat dan konsisten tersebut cocok untuk peselancar pemula (*beginner*) yang baru memulai untuk belajar *surfing*. Untuk tipe *plunging* diistilahkan dengan “*tube* atau *hollow*” dimana gelombang ini merupakan gelombang yang pecah sempurna sehingga biasa membentuk celah terowongan (*barrel*). Pada umumnya, peselancar lanjut (*intermediate*) sudah mulai belajar untuk mengendarai gelombang dengan celah terowongan sehingga cocok dengan gelombang bentuk *tube* ini. Untuk tipe *collapsing* atau *surging* diistilahkan dengan “*cruncher* atau *slab wave*” dimana gelombang pecah ini sangat krusial dan berbahaya. Umumnya, hanya peselancar yang berpengalaman atau profesional (*advanced*) yang bisa mengendarai gelombang dengan bentuk *cruncher* tersebut.

Tabel 1
Klasifikasi Tipe Gelombang Pecah & *Surfing Terminology* (Bancroft, 1999)

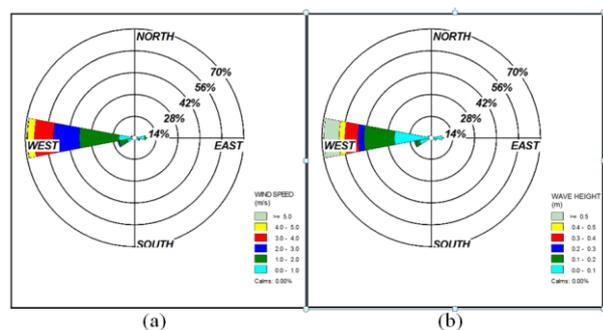
Bilangan Irribaren (ni)	Tipe Gelombang Pecah	<i>Surfing Terminology</i>
$Ni < 0.4$	<i>Spilling</i>	“ <i>mushy</i> or <i>crumbly</i> ”
$0.4 < Ni < 2.3$	<i>Plunging</i>	“ <i>tube</i> or <i>hollow</i> ”
$2.3 < Ni < 3.2$ or $Ni > 3.2$	<i>Collapsing</i> or <i>Surging</i>	“ <i>cruncher</i> or <i>slab-wave</i> ”

3. Hasil dan Pembahasan

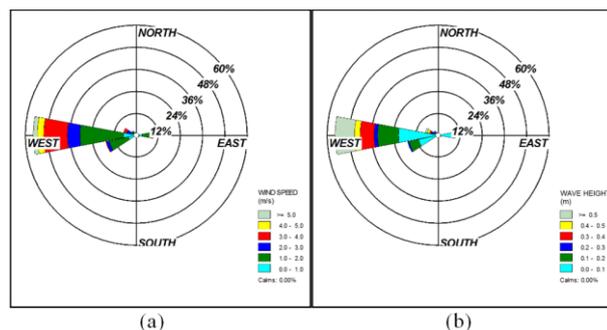
3.1 Probabilitas Angin dan Gelombang Bulanan

Data angin yang dianalisis adalah data magnitude kecepatan dan arah angin maksimum harian dengan selang waktu data 10 tahun (2001 – 2010). Besarnya kecepatan angin dan arah ditabelkan kemudian setelah dihitung, koreksi kecepatan anginnya dipresentasikan dalam grafik mawar angin (*windrose*) dan mawar gelombang (*waverose*). Pada hasil tinjauan grafik *windrose* akan ditampilkan kecenderungan dari arah pergerakan angin, persentase frekuensi kejadian dan kelas kecepatan angin (m/s). Penyebaran kelopak mawar angin pada poros lingkaran dengan variasi warna berbeda-beda menandakan perbedaan kecepatan dan arah angin dengan sederhana. Sementara pada grafik *waverose* akan ditampilkan kecenderungan dari arah pergerakan gelombang, persentase frekuensi kejadian dan kelas ketinggian gelombang (m). Penyebaran kelopak mawar gelombang pada poros lingkaran dengan variasi warna berbeda-beda menandakan nilai perbedaan tinggi dan arah pergerakan gelombang.

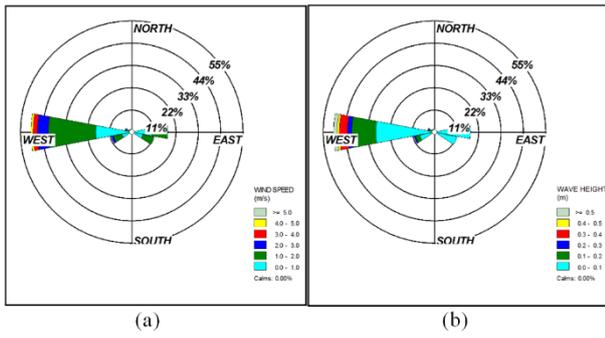
Dalam grafik ini digunakan data kecepatan dan arah angin yang dominan. Hal ini dimaksudkan agar dapat diperoleh kondisi gelombang yang bersifat signifikan. Secara lengkap analisa angin disampaikan dalam bentuk diagram *windrose* dan *waverose* untuk seluruh bulan (Gambar 2 sampai Gambar 13).



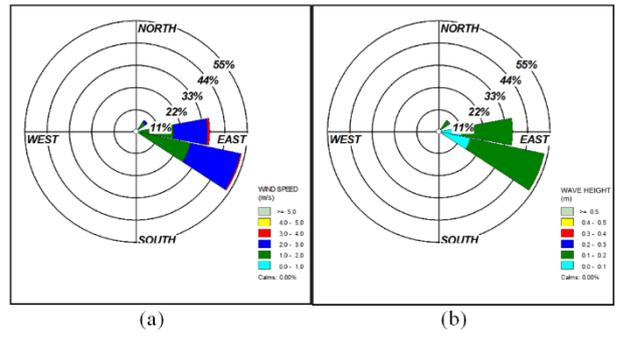
Gambar 2. *Windrose* (a) dan *Waverose* (b) Bulan Januari



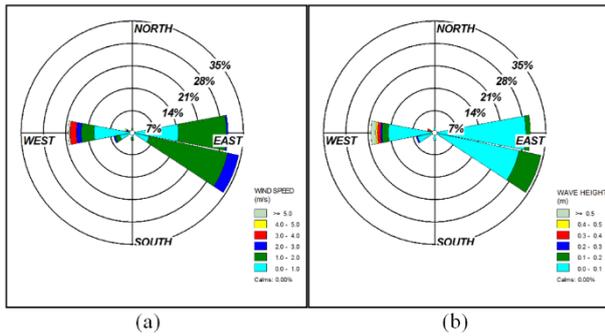
Gambar 3. *Windrose* (a) dan *Waverose* (b) Bulan Februari



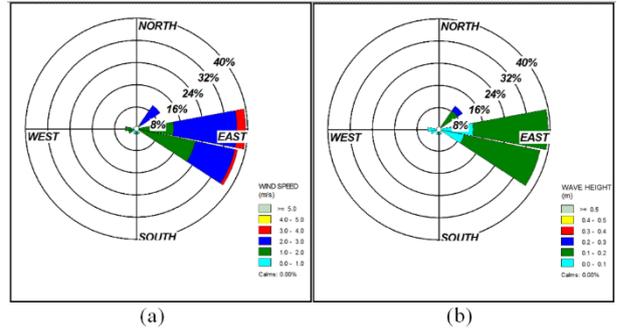
Gambar 4. Windrose (a) dan Waverose (b) Bulan Maret



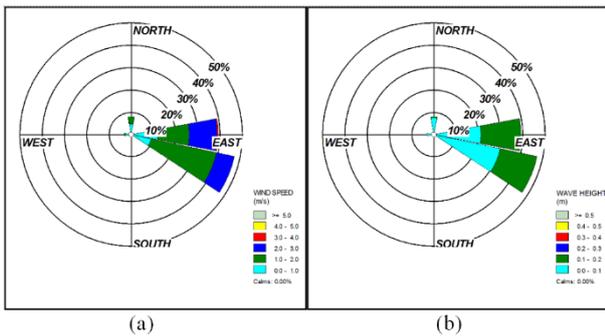
Gambar 8. Windrose (a) dan Waverose (b) Bulan Juli



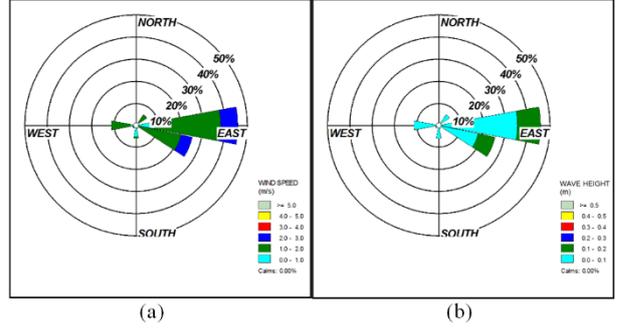
Gambar 5. Windrose (a) dan Waverose (b) Bulan April



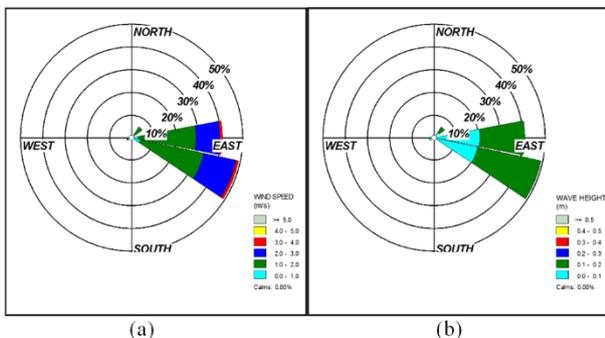
Gambar 9. Windrose (a) dan Waverose (b) Bulan Agustus



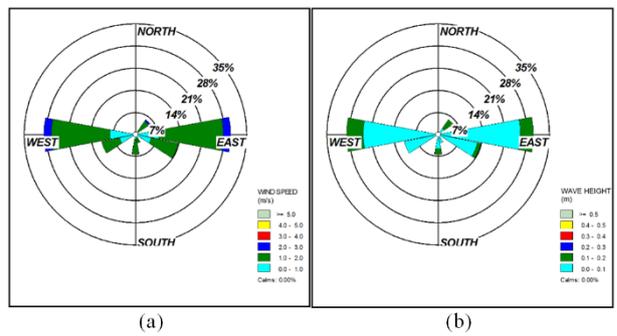
Gambar 6. Windrose (a) dan Waverose (b) Bulan Mei



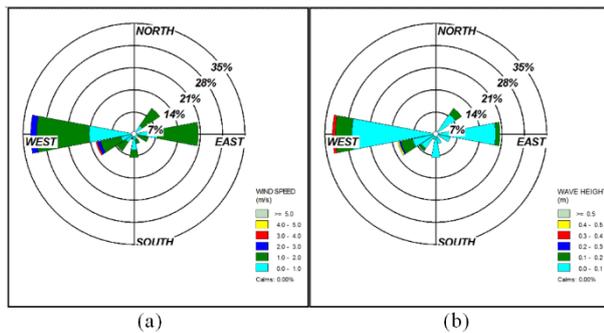
Gambar 10. Windrose (a) dan Waverose (b) Bulan September



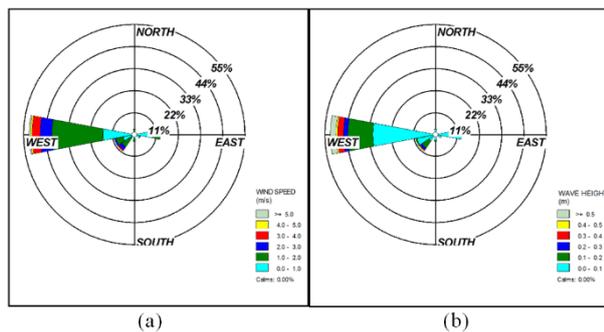
Gambar 7. Windrose (a) dan Waverose (b) Bulan Juni



Gambar 11. Windrose (a) dan Waverose (b) Bulan Oktober



Gambar 12. Windrose (a) dan Waverose (b) Bulan November



Gambar 13. Windrose (a) dan Waverose (b) Bulan Desember

Sesuai dengan hasil grafik *windrose* dan *waverose* rata-rata bulanan dalam 10 tahun, maka dapat terlihat karakter atau pola dari kecenderungan arah datangnya angin dan gelombang dominan per musim di Pulau Bali bagian selatan secara umum berdasarkan data dari BMKG.

Pada musim barat (Desember, Januari, Februari) angin di laut cenderung bertiup kencang dominan dari arah pantai sebelah barat begitu juga dengan tinggi nya pergerakan gelombang yang tampak di pantai sebelah barat.

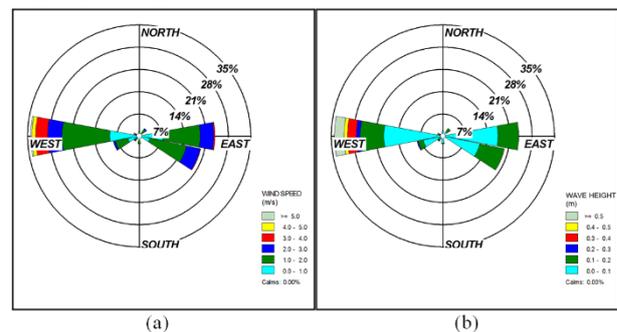
Pada musim peralihan I (Maret, April, Mei) angin di yang bertiup di laut mulai mengalami perubahan, pada musim ini di angin di bulan Maret masih bertiup dari arah pantai sebelah barat dan saat memasuki bulan April – Mei, angin mulai beralih dan bertiup dominan dari arah pantai sebelah timur begitu juga dengan tinggi nya pergerakan gelombang yang mulai tampak di pantai sebelah timur.

Pada musim timur (Juni, Juli, Agustus) angin di laut cenderung bertiup kencang dominan dari arah pantai sebelah timur begitu juga dengan tinggi nya pergerakan gelombang yang tampak di pantai sebelah timur.

Pada musim peralihan II (September, Oktober, November) angin di yang bertiup di laut mulai mengalami perubahan, pada musim ini di angin di bulan September masih bertiup dari arah pantai sebelah timur dan saat memasuki bulan Oktober – November, angin mulai beralih dan bertiup dominan dari arah pantai sebelah barat begitu juga dengan tinggi nya pergerakan gelombang yang mulai tampak di pantai sebelah barat.

Probabilitas angin dan gelombang bulanan maksimum terjadi pada bulan-bulan di musim barat dimana terlihat 70% bertiup dari arah barat di bulan Januari (Gambar 2) dan 60% bertiup dari arah barat di bulan Februari (Gambar 3). Hasil analisis dari *windrose* dan *waverose* rata-rata selama 10 tahun (2001-2010), pengaruh kecepatan angin dan tinggi gelombang tampak dominan dari arah barat (Gambar 14).

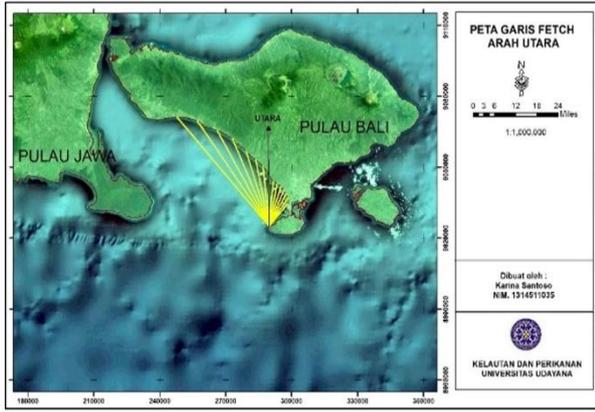
Pada tahap selanjutnya, data angin yang akan digunakan untuk peramalan tinggi dan periode gelombang harus dikoreksi terhadap elevasi, stabilitas, efek lokasi dan koefisien seret untuk mendapatkan *Wind Stress Factor* atau faktor tegangan angin (U_A).



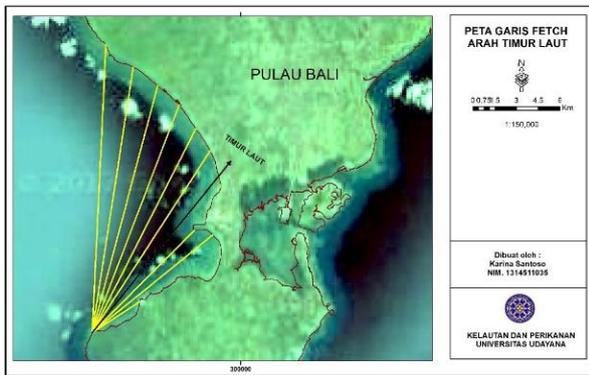
Gambar 14. Windrose (a) dan Waverose (b) Rata-rata Tahun 2001-2010

3.2 Jarak Seret Gelombang (Fetch)

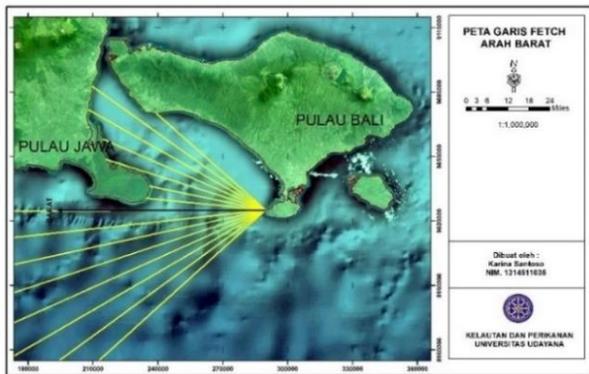
Fetch merupakan salah satu variabel yang berpengaruh pada periode dan tinggi gelombang yang dibangkitkan. Menurut Triatmodjo (1999), semakin panjang jarak *fetch*-nya, ketinggian gelombangnya akan semakin besar dan periode gelombangnya akan semakin lama. Pada daerah tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan pulau yang mengelilingi laut. Dalam pembangkitan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama terhadap arah angin, tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin (Pettersson et al., 2010).



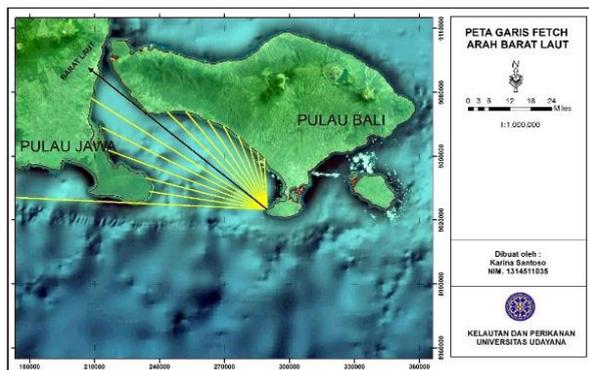
Gambar 15. Peta Garis Fetch Arah Utara



Gambar 16. Peta Garis Fetch Arah Timur Laut



Gambar 17. Peta Garis Fetch Arah Barat



Gambar 18. Peta Garis Fetch Arah Barat Laut

Data yang diperlukan oleh jarak seret angin ($Fetch = F_{eff}$) diperoleh dari hasil pengukuran jarak jari-jari *fetch* di dalam peta. Dari hasil penggambaran peta *fetch* (Gambar 15 sampai 18), yang mempunyai arah mata angin dominan adalah peta garis *fetch* arah Utara, Timur Laut, Barat dan Barat Laut. Setelah ditentukan arah mata angin dominan, maka dapat dihitung panjang jari-jari dari titik peramalan sampai titik dimana jari-jari tersebut memotong daratan untuk pertama kalinya (X_i) serta dihitung pula cosinus sudut jari-jari terhadap sumbu ($\cos \alpha$). Pada panjang *fetch* dititik pengamatan yang langsung berhadapan ke laut lepas (tidak ada rintangan terhadap angin) ditetapkan sampai sejauh 200 km.

Tabel 2

Hasil Perhitungan *Fetch* Efektif untuk masing-masing arah.

Arah	Sudut (α) (°)	Panjang Fetch (X_i) (km)	Cos α (Π)	$X_i \cos \alpha$ (km)	F_{eff} (km)
Utara	-42	62.226	0.743	46.234	27.96
	-36	55.725	0.809	45.081	
	-30	46.690	0.866	40.434	
	-24	40.457	0.914	36.978	
	-18	33.403	0.951	31.766	
	-12	28.665	0.978	28.034	
	-6	25.335	0.995	25.209	
	0	21.311	1.000	21.311	
	6	18.911	0.995	18.817	
	12	18.282	0.978	17.880	
	18	17.394	0.951	16.541	
	24	16.432	0.914	15.018	
	30	15.492	0.866	13.416	
36	14.579	0.809	11.794		
42	12.518	0.743	9.3010		
	Σ		13.512	377.822	
Timur Laut	-42	20.096	0.743	14.931	9.59
	-36	18.703	0.809	15.131	
	-30	17.761	0.866	15.381	
	-24	16.963	0.914	15.504	
	-18	15.872	0.951	15.094	
	-12	15.048	0.978	14.717	
	-6	13.971	0.995	13.901	
	0	10.039	1.000	10.039	
	6	10.744	0.995	10.690	
	12	3.9267	0.978	3.8403	
18	0.1379	0.951	0.1311		
24	0.1297	0.914	0.1185		
30	0.0836	0.866	0.0724		
36	0.0623	0.809	0.0504		
42	0.0452	0.743	0.0336		
	Σ		13.512	129.640	
Barat	-42	200	0.743	148.6	142.05
	-36	200	0.809	161.8	

Arah	Sudut (α) ($^{\circ}$)	Panjang <i>Fetch</i> (Xi) (km)	Cos α (Π)	Xi Cos α (km)	Feff (km)
	-30	200	0.866	173.2	
	-24	200	0.914	182.8	
	-18	200	0.951	190.2	
	-12	200	0.978	195.6	
	-6	200	0.995	199	
	0	200	1.000	200	
	6	55.369	0.995	55.092	
	12	54.645	0.978	53.443	
	18	77.305	0.951	73.517	
	24	81.905	0.914	74.861	
	30	94.181	0.866	81.560	
	36	98.504	0.809	79.690	
	42	67.308	0.743	50.010	
		Σ	13.512	1919.377	
Barat Laut	-42	200	0.743	148.6	66.93
	-36	54.718	0.809	44.267	
	-30	57.692	0.866	49.962	
	-24	80.353	0.914	73.443	
	-18	85.220	0.951	81.044	
	-12	95.939	0.978	93.828	
	-6	99.929	0.995	99.430	
	0	65.649	1.000	65.649	
	6	59.072	0.995	58.777	
	12	49.797	0.978	48.702	
	18	43.807	0.951	41.660	
	24	36.557	0.914	33.413	
	30	30.397	0.866	26.324	
36	26.872	0.809	21.740		
42	23.596	0.743	17.531		
		Σ	13.512	904.375	

Dari Tabel 2 didapatkan hasil *fetch* efektif untuk arah Utara sebesar 27.96, arah Timur Laut sebesar 9.59, arah Barat sebesar 142.05 dan arah Barat Laut sebesar 66.93. Dilihat dari hasil tersebut maka sesuai dengan jarak *fetch* efektifnya maka gelombang yang datang dari arah barat diduga akan memiliki ketinggian gelombang yang lebih besar dan periode gelombang yang lebih lama dibanding gelombang yang datang dari arah mata angin lainnya.

3.3 Hasil Peramalan Tinggi Gelombang di Laut Dalam (*Hindcasting*)

Peramalan gelombang dihitung dengan metode *Hindcasting* gelombang berdasarkan data angin selama 10 tahun (2001 – 2010) dari BMKG Stasiun Meteorologi Ngurah Rai - Denpasar untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang signifikan

Dari hasil *Hindcasting* disusun rekapitulasi tinggi, periode dan arah gelombang terbesar dan dominan bulanan sebagai acuan gelombang di laut dalam (H_0) dan periode gelombang di laut dalam (T_0). Melalui Tabel 3 dapat diketahui bahwa gelombang dominan dan maksimum yang terjadi di Pantai Uluwatu, Bali berasal dari arah barat dengan tinggi gelombang signifikan (H_s) sebesar 0.98 m dan periode gelombang signifikan (T_s) sebesar 5.21 s.

3.4 Analisis Transformasi Gelombang

Gelombang merambat dari laut dalam ke laut dangkal. Selama perjalanan tersebut, gelombang mengalami perubahan-perubahan atau disebut deformasi gelombang. Deformasi gelombang bisa disebabkan karena variasi kedalaman di perairan dangkal atau karena terdapatnya penghalang atau rintangan seperti struktur di perairan. Variasi kedalaman tersebut menyebabkan puncak gelombang membelok dan berusaha untuk sejajar dengan garis kontur dasar laut (Triatmodjo, 1999).

Berdasarkan persamaan (9), dengan periode signifikan di laut dalam sebesar 5,21 s maka diperoleh panjang gelombang di laut dalam (L_0) sebesar 42,35 m. Untuk mencari nilai panjang gelombang di suatu titik yang ditinjau (L) dapat ditentukan oleh nilai d/L_0 sebesar 0,5903 dengan kedalaman perairan (d) relatif sebesar 25 meter. Sesuai dengan hasil pembacaan d/L_0 pada tabel fungsi d/L untuk penambahan nilai d/L_0 (Triatmodjo, 1999) maka diketahui nilai d/L sebesar 0.59070 dan hasil perhitungan untuk panjang gelombang (L) di kedalaman 25 meter adalah sebesar 42,32 meter.

Pengaruh refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*) akan menentukan tinggi gelombang akibat deformasi gelombang. Berdasarkan hasil d/L_0 dan d/L pada tabel fungsi d/L untuk penambahan nilai d/L_0 (Triatmodjo, 1999) maka diketahui nilai koefisien *shoaling* / pendangkalan (K_s) sebesar 0,996. Sudut datang gelombang (α) diperoleh sebesar 45° berdasarkan persamaan (8). Untuk nilai koefisien refraksi (K_r) diperoleh sebesar 1 berdasarkan persamaan (7).

Tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi dan pendangkalan berdasarkan persamaan (6) diperoleh sebesar 0,976 meter. Hasil perhitungan tinggi gelombang laut akibat deformasi tersebut

Tabel 3

Tinggi, Periode dan Arah Gelombang Terbesar dan Dominan Bulanan Berdasarkan Hindcasting Gelombang untuk Tahun 2001 s/d 2010

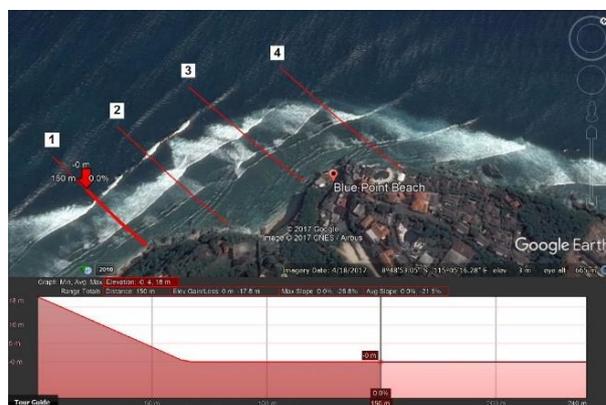
Bulan	Arah Datang Gelombang								Max Tiap Bulan		
	Utara		Timur Laut		Barat		Barat Laut		Arah Dominan	Hs	Ts
	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts			
Januari	0.37	0.63	0.01	0.39	0.98	5.21	0.46	3.58	Barat	0.98	5.21
Februari	0.01	0.63	0.27	2.34	0.98	5.21	0.38	3.26	Barat	0.98	5.21
Maret	0.01	0.63	0.01	0.63	0.64	4.22	0.46	3.58	Barat	0.64	4.22
April	0.08	1.45	0.01	0.63	0.55	3.9	0.31	0.63	Barat	0.55	3.9
Mei	0.08	1.45	0	0	0.03	0.89	0	0	Utara	0.08	1.45
Juni	0.11	1.74	0.1	1.45	0.03	0.89	0	0	Utara	0.11	1.74
Juli	0.2	2.33	0.14	1.87	0.01	0.63	0	0	Utara	0.2	2.33
Agustus	0.05	1.17	0.15	1.93	0.05	1.17	0	0	Timur Laut	0.15	1.93
September	0.08	1.45	0.04	1.11	0.11	1.74	0	0	Barat	0.11	1.74
Oktober	0.05	1.17	0.12	1.46	0.15	2.03	0	0	Barat	0.15	2.03
November	0.05	1.17	0.1	1.45	0.38	3.26	0.03	0.95	Barat	0.38	3.26
Desember	0.05	1.17	0.02	0.68	0.86	4.88	0.08	1.45	Barat	0.86	4.88
Max Tiap Arah	0.37	2.33	0.27	2.34	0.98	5.21	0.46	3.58			

nantinya akan digunakan dalam analisis gelombang pecah.

3.5 Penentuan Tipe Gelombang Pecah di Pantai Uluwatu Bali

Setelah gelombang mengalami deformasi seiring dengan menjalarnya gelombang ke laut yang lebih dangkal, maka gelombang akan mengalami perubahan bentuk menjadi gelombang pecah yang bergerak menuju pantai dan dipengaruhi oleh kemiringan pantai (*slope*). Tinggi gelombang pecah (H_b) berdasarkan persamaan (10) diperoleh sebesar 1,04 meter.

Hasil penentuan dari kemiringan pantai (*slope*) di Pantai Uluwatu akan diperoleh berdasarkan dengan pengukuran pada keempat transek di lokasi penelitian. Setelah diketahui fungsi kemiringan pantai (m), maka dapat ditentukan hasil dari kedalaman gelombang pecah dan tipe gelombang pecah yang terjadi di Pantai Uluwatu. Pengukuran ditampilkan dalam grafik *landscape slope* dibawah ini (Gambar 19).



Gambar 19. Grafik landscape slope di Pantai Uluwatu (Sumber: Google Earth Pro 4000 pixel)

Berdasarkan hasil dari perhitungan *slope* (Tabel 4), diperoleh *slope* tertinggi pada transek 2 dengan kemiringan pantai (m) sebesar 0,1333 dan sudut *slope* (β) yang cukup landai sebesar $7,59^\circ$. *Slope* terendah diperoleh pada transek 3 dengan kemiringan pantai (m) sebesar 0.0733 dan sudut *slope* (β) sebesar $4,19^\circ$.

Tabel 4
Hasil Penentuan Kemiringan Pantai (*Slope*) Pantai

	Kemiringan Pantai (m)	Sudut Kemiringan Pantai (β)
Transek 1	0,12	6,84°
Transek 2	0,1333	7,59°
Transek 3	0,0733	4,19°
Transek 4	0,0867	4,96°

Menurut Triatmodjo (1999), pada kemiringan tersebut kecepatan partikel di puncak gelombang sama dengan kecepatan rambat gelombang. Kemiringan yang lebih tajam dari batas maksimum tersebut menyebabkan kecepatan partikel di puncak gelombang lebih besar dari kecepatan rambat gelombang sehingga terjadi ketidakstabilan dan akhirnya gelombang akan pecah pada kedalaman tertentu (d_b). Berdasarkan persamaan (11), maka diperoleh hasil untuk kedalaman gelombang pecah (d_b) yaitu sebesar 0.849 m.

Tabel 5
Hasil Penentuan Tipe Gelombang Pecah

	Kemiringan Pantai ($\tan \beta$)	Tipe Gelombang Pecah (N_i)
Transek 1	0,12	0,7658
Transek 2	0,1333	0,8507
Transek 3	0,0733	0,4678
Transek 4	0,0867	0,5533

Tipe Gelombang Pecah ditentukan berdasarkan persamaan (14) untuk nilai N_i (*surf similarity* atau sering disebut bilangan Iribaren) yang terjadi di Pantai Uluwatu. Berdasarkan Tabel 5, hasil tipe gelombang pecah pada keempat transek di Pantai Uluwatu termasuk dalam rentang bilangan Iribaren untuk tipe *plunging* ($0.4 < N_i < 2.3$).

3.6 Penentuan Klasifikasi Zona Surf

Berdasarkan kajian hasil *Hindcasting* dan analisa transformasi gelombang dengan menggunakan data angin 10 tahun (masa lalu) maka dapat diketahui bahwa tipe gelombang pecah yang terjadi di Pantai Uluwatu Bali diduga merupakan tipe *plunging* (Tabel 1) sesuai dengan hasil perhitungan dari nilai bilangan Iribaren nya ($0.4 < N_i < 2.3$).

Menurut Leonard & Lueras, L (2014) di Indonesia, khususnya Bali, merupakan surga

dengan gelombang yang berkelas bagi para peselancar dunia dengan salah satu tempat yang menantang untuk berselancar di Bali adalah Pantai Uluwatu. Pantai Uluwatu dengan kemiringan pantai yang cukup landai memiliki *zona surf* yang lebar. Ombak di Pantai Uluwatu dikenal dengan gelombang pendek dan kuat yang saling bersusulan. Hal tersebut sesuai dengan hasil dari analisa karakter tipe gelombang pecah yang terjadi di daerah penelitian.

Untuk tipe *plunging* menurut Bancroft (1999), tipe tersebut diistilahkan dengan "*tube* atau *hollow*" (Tabel 1) dimana gelombang ini merupakan gelombang yang pecah sempurna sehingga biasa membentuk celah terowongan (*barrel*). Pada umumnya, peselancar di level menengah (*intermediate*) sudah mulai belajar untuk mengendarai gelombang dengan celah terowongan sehingga cocok dengan gelombang bentuk *tube* ini. Sehingga klasifikasi Zona Surf di Pantai Uluwatu Bali berdasarkan tipe gelombang pecah nya diduga zona tersebut baik untuk peselancar di level *intermediate*.

4. Simpulan

Dari kajian hasil *Hindcasting* dan analisa transformasi gelombang dengan menggunakan data angin 10 tahun (masa lalu) maka dapat disimpulkan bahwa tipe gelombang pecah yang terjadi di Pantai Uluwatu, Bali merupakan tipe *plunging* sesuai dengan hasil perhitungan dari nilai bilangan Iribaren nya ($0.4 < N_i < 2.3$).

Sesuai hasil analisa diatas, klasifikasi Zona Surf di Pantai Uluwatu, Bali berdasarkan tipe gelombang pecahnya diduga zona tersebut baik untuk peselancar di level *intermediate*.

Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Balai Litbang Pantai yang telah membantu dalam pengolahan data. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Yulianto Suteja, Bapak I Gede Hendrawan dan Bapak Dirgayusa yang telah memberikan saran dalam penulisan artikel ini.

Daftar Pustaka

- Aisjah, A. S., Arifin, S., & Danistha, W. L. (2016). Sverdrup Munk Bretschneider Modification (SMB) for Significant Wave Height Prediction in Java Sea. *British Journal of Applied Science & Technology*, **16**(2), 1-8.

- Bancroft, S. (1999). *Performance Monitoring of The Cable Station Artificial Surfing Reef*. Thesis. Perth, Australia: Department of Environmental Engineering, The University of Western Australia.
- Binilang, A. (2014). Analisis Karakteristik Gelombang di Pantai Kecamatan Belang Kabupaten Minahasa Tenggara. *TEKNO*, *12*(60), 46-56.
- Dauhan, S. K., Tawas, H., Tangkudung, H., & Mamoto, J. D. (2013). Analisis karakteristik gelombang pecah terhadap perubahan garis pantai di Atep Oki. *Jurnal Sipil Statik*, *1*(12), 784-796.
- Eryani, P. (2017). Karakteristik dan Metode Penataan Pantai Lovina Buleleng Berbasis Lingkungan Pariwisata. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, *5*(1), 10-19.
- Eurich, A. D., Brown, L. E., Coburn, J. W., Noffal, G. J., Nguyen, D., Khamoui, A. V., & Uribe, B. P. (2010). Performance differences between sexes in the pop-up phase of surfing. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *24*(10), 2821-2825.
- Karimpour, A., & Chen, Q. (2015). A simplified parametric model for fetch-limited peak wave frequency in shallow estuaries. *Journal of Coastal Research*, *32*(4), 954-965.
- Kaunang, J. A., Jasin, M. I., & Mamoto, J. D. (2016). Analisis Karakteristik Gelombang dan Pasang Surut Pada Pantai Kima Bajo Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*, *4*(9), 567-576.
- Lueras, L., and Lueras L. (2014). *Surfing Indonesia: A search for the world's most perfect waves*. (8th ed.). North Clarendon, USA: Tuttle Publishing.
- Martin, S. A., & Assenov, I. (2012). The genesis of a new body of sport tourism literature: A systematic review of surf tourism research (1997–2011). *Journal of Sport & Tourism*, *17*(4), 257-287.
- Pettersson, H., Kahma, K. K., & Tuomi, L. (2010). Wave directions in a narrow bay. *Journal of Physical Oceanography*, *40*(1), 155-169.
- Sheppard, J. M., Nimphius, S., Haff, G. G., Tran, T. T., Spiteri, T., Brooks, H., Slater, G., & Newton, R. U. (2013). Development of a comprehensive performance-testing protocol for competitive surfers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *8*(5), 490-495.
- Siswanto, A. D. (2012). Studi Karakteristik Gelombang di Kabupaten Bangkalan Sebelum Jembatan Suramadu. *Jurnal Kelautan*, *5*(1), 35-40.
- Sotomayor, S., & Barbieri, C. (2016). An exploratory examination of serious surfers: Implications for the surf tourism industry. *International Journal of Tourism Research*, *18*(1), 62-73.
- Sugianto, D. N. (2012). Model distribusi data kecepatan angin dan pemanfaatannya dalam peramalan gelombang di perairan laut paciran, Jawa Timur. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, *15*(3), 143-152.
- Tawas, H. J. (2015). Analisis Transformasi Gelombang di Pantai Matani Satu Minahasa Selatan. *TEKNO*, *13*(64), 1-6.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. (Edisi Kedua). Yogyakarta, Indonesia: Beta Offset.

© 2018 by the authors; licensee Udayana University, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).