

# POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN MENTAWAI

## OCEAN WAVE ENERGY POTENTIAL IN THE MENTAWAI WATERS

Irwan Hidayat Suherman\* dan Purnomo Raharjo

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuran 236 Bandung  
email : \*irwan.hidayat@mgi.esdm.go.id

Diterima : 17-09-2019, Disetujui : 07-10-2020

### ABSTRAK

Berdasarkan data sekunder kejadian gelombang signifikan tahunan dan dari hasil pemodelan distribusi gelombang di perairan Mentawai, tercatat tinggi gelombang di daerah tersebut adalah antara 1,4 – 2,3 meter dengan perioda sekitar 7,8 – 8,3 detik dari 35% total frekuensi kejadian gelombang tahunan.

Perhitungan potensi energi gelombang dikaji dengan menggunakan pemodelan yang dirata-ratakan untuk periode sepuluh tahun antara 2006 dan 2015 dengan mempertimbangkan variabilitas tahunan dan musiman. Dari persamaan perhitungan potensi energi gelombang, didapat rata-rata daya gelombang tahunan sekitar 8-16 kW/m dengan daya maksimum 16-20 kW/m di area pantai barat Pulau Siberut (PKST). Sementara perubahan rata-rata bulanan daya gelombang selama 10 tahun (2009-2018) dihitung dengan mengacu dari data satelit AVISO pada koordinat 04°-01° LS dan 98°-101° BT dengan resolusi spasial sebesar 1°x1° dengan data batimetri GEBCO resolusi 1 menit. Dari hasil pemodelan didapat musim timur (Juni-Juli-Agustus) dan musim peralihan ke-2 (September-Oktober-November) mencapai 17 kW/m di perairan Pasakiat Teileleu. Hasil verifikasi model gelombang terhadap data altimetri menunjukkan tingkat korelasi hingga 76,23%.

**Kata kunci:** Tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ), daya gelombang ( $P$ ), variabilitas musim, Mentawai.

### ABSTRACT

*Based on secondary data of significant annual wave events and from the results of wave distribution modeling in the Mentawai waters, recorded wave height in the area is between 1.4 - 2.3 meters with a period of about 7.8 - 8.3 seconds from 35% of the total frequency annual wave events.*

*Calculation of wave energy potential is assessed using averaged modeling for the ten years period between 2006 and 2015 taking into account annual and seasonal variability. From the equation of the calculation of wave energy potential, the average annual wave power is around 8-16 kW / m with a maximum power of 16-20 kW / m in the western coast area of Siberut Island (PKST). While the change in monthly average wave power for 10 years (2009-2018) is calculated by referring to the AVISO satellite data at coordinates 04°-01° S and 98°-101° E with 1°x1° spatial resolution with GEBCO bathymetry data 1 minute resolution. From the modeling results, the east monsoon (Juni-July-August) and the second transition monsoon (September-October-November) reached 17 kW/m in the waters of Pasakiat Teileleu. The results of the verification of the wave model against the altimetry data showed a correlation level of up to 76.23%.*

**Key word:** Significant Wave Height ( $H_s$ ), Wave Power ( $P$ ), seasonal variability, Mentawai.

### PENDAHULUAN

Untuk mendukung pembangunan nasional secara berkelanjutan dan meningkatkan ketahanan energi nasional, sumber daya energi terbarukan

merupakan salah satu sumber terpenting pendorong pertumbuhan ekonomi karena sangat dibutuhkan setiap elemen masyarakat (Undang-Undang Nomor 70 Tahun 2007). Oleh karena itu, keterbatasan sumber daya energi akan menjadi

---

#### Kontribusi:

Irwan Hidayat Suherman dan Purnomo Raharjo adalah sebagai kontributor utama pada artikel ini.

kendala yang dapat menghambat laju pertumbuhan ekonomi di kemudian hari. Langkah yang dilakukan pemerintah untuk mengantisipasi kelangkaan/krisis energi di Indonesia antara lain melalui Kebijakan Energi Nasional (KEN), Cetak Biru Pengelolaan Energi Nasional 2005 - 2025, Kebijakan Strategis Nasional Pembangunan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Iptek), serta Kebijakan Nasional Eksploitasi Laut yang menekankan sustainabilitas energi melalui penciptaan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan. Pada PP KEN 2014 bauran energi akan dioptimalkan, sehingga pada tahun 2025 komposisi energi diharapkan menjadi 23% dari sektor energi baru terbarukan. Salah satu energi terbarukan yang berkembang saat ini yakni energi kelautan yang dikenal di beberapa negara sebagai energi alternatif untuk mengatasi efek dari perubahan iklim akibat dari aktivitas manusia dan untuk ketahanan energi ke depan (Shields dkk, 2011). Beberapa teknologi saat ini masih dalam tahap pengembangan untuk meningkatkan performa pembangkit tenaga listrik yang bersumber dari energi gelombang (Lopez, dkk, 2013).

Kebijakan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) dalam menjawab isu nasional mengenai energi dengan diversifikasi energi adalah penganekaragaman penyediaan dan pemanfaatan berbagai sumber energi baru, salah satunya adalah sumber energi kelautan yang dapat dimanfaatkan menjadi pembangkit tenaga listrik berbasis energi gelombang laut. Dari perspektif ini, dalam beberapa dekade mendatang, energi gelombang laut diperkirakan menghasilkan setidaknya 10% dari permintaan energi global (Silva dkk., 2016).

Kepulauan Mentawai merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Sumatera Barat yang terletak berhadapan dengan Samudera Hindia dengan luas wilayah tercatat 6.011,35 km<sup>2</sup> dan garis pantai sepanjang 1.402,66 km. Keberadaannya sebagai pulau terdepan di kawasan NKRI menjadikannya kawasan strategis pertahanan kemandirian nasional. Secara geografis, Kepulauan Mentawai terletak di, Provinsi Sumatera Barat terletak pada posisi koordinat 98°35'00"-100°32'00" BT dan 0°55'00"-3°21'00" LS. Kabupaten Kepulauan Mentawai terdiri atas 4 pulau besar ditambah pulau-pulau kecil. Keempat pulau besar ini adalah Pulau Siberut, Pulau Sipora, Pulau Pagai Utara dan Pulau Pagai Selatan.

Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat, masih banyak belum teraliri listrik. Dari 43 desa di

Kabupaten Kepulauan Mentawai, 23 desa belum terhubung listrik ke grid PLN. Rasio elektrifikasi Mentawai paling rendah daripada semua daerah di Sumatera Barat hanya sekitar 29,80%. Pemerintah baik pusat maupun daerah berupaya memenuhi listrik warga dengan energi terbarukan.

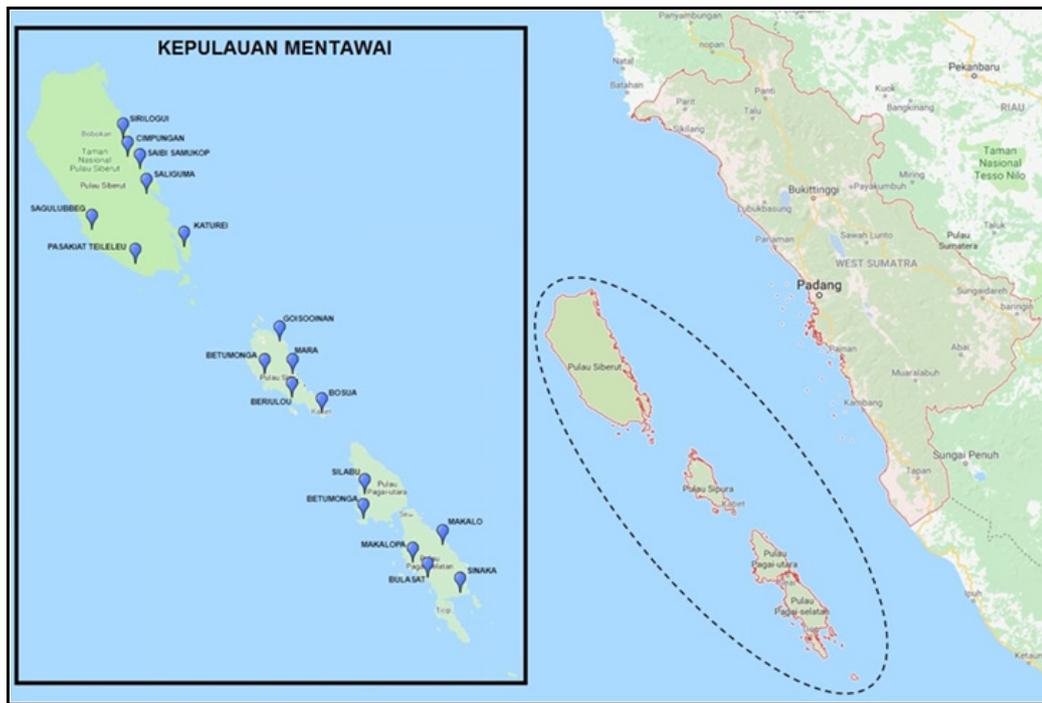
Menurut data dari Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menyebutkan bahwa potensi permintaan listrik di Provinsi Sumatera Barat, salah satunya yakni Kepulauan Mentawai. Kebutuhan listrik yang belum terpenuhi meliputi di tujuh kecamatan, diantaranya Pagai Selatan, Pagai Utara, Sipora Selatan, Sipora Utara, Siberut Barat Daya, Siberut Tengah, dan Siberut Utara. Sementara terdapat tujuh desa yang memiliki elektrifikasi rendah diantaranya Bulasat, Sinaka, Malakopa, Mara, Pasakiat Teileleu, Saibi Samukop, dan Sirilogui (Gambar 1).

Data PLN menyebutkan, di Pulau Siberut, delapan desa terlistriki, sedangkan 12 desa lainnya belum terhubung listrik. Di pulau-pulau lain, seperti Pagai (Sikakap) dan tujuh desa lainnya belum ada jaringan listrik PLN.

Kajian potensi energi gelombang laut akan lebih ditekankan pada analisis dasar potensi energi gelombang laut dengan menggunakan beberapa metode penelitian. Di samping itu, dilakukan pemodelan gelombang laut serta perhitungan potensi energi gelombang laut berdasarkan data primer maupun data sekunder yang tersedia serta analisis faktor daya dukung lingkungan, infrastruktur, kebijakan pemerintah yang ada terhadap layak atau tidaknya dikembangkan pembangkit listrik energi gelombang laut di perairan Kepulauan Mentawai. Energi gelombang terdistribusi secara tidak sama rata di seluruh perairan global (Pontes, 1998). Iklim gelombang mempengaruhi tingkat energi gelombang. Ketika gelombang mendekati pantai, energi terdisipasi, berpengaruh terhadap penurunan tingkat energi yang dihasilkan. Sehingga energi yang didapat bergantung pada lokasi dan jarak terhadap pantai.

## METODE

Lokasi kajian dipilih sebagai satu dari wilayah yang mempunyai potensi energi gelombang sepanjang pantai barat Sumatera dengan rata-rata flux energi gelombang diperkirakan mencapai 20-30 kW/m (Cornett, dkk., 2008). Perairan antara Asia dan Australia serta Samudra Pasifik dan Hindia merupakan posisi perairan dengan struktur yang spesifik secara geografi (Wrytki, 1961).



Gambar 1. Lokasi di Kabupaten Kepulauan Mentawai, Provinsi Sumatera Barat, yang belum teraliri listrik sepenuhnya (Ditjen Ketenagalistrikan ESDM, 2017).

Pendekatan ini berdasarkan pada perbandingan antara prediksi secara numerik dengan hasil pengukuran dari tinggi signifikan dan periode puncak. Domain area diambil di wilayah perairan barat Kepulauan Mentawai. Data batimetri sekunder diperoleh dari GEBCO (*Global Bathymetric Chart of Oceans*) dengan resolusi 1 menit. Data gelombang sekunder didapat dari data satelit AVISO. Periode data satelit yang digunakan sebagai verifikasi dimulai 14 September 2009 s/d 19 Mei 2018 (9 tahun) dengan resolusi spasial sebesar  $1^0 \times 1^0$ . Data angin diperoleh dari satelit NCDC di lokasi Tabing Padang Sumatera Barat yang dikompilasi dengan referensi J-OCE Undip (Dewi, dkk., 2017), yang mengolah data angin selama 10 tahun (2006-2015) dari BMKG Tabing Padang yang dikonversi menjadi data gelombang representatif musiman berdasarkan metode peramalan gelombang SMB (*Sverdrup, Munk, and Bertscneider*) yang kemudian model dijalankan dengan menggunakan asumsi tersebut.

### A. Deskripsi Kajian

Data gelombang didapat dari referensi Jurnal Oseanografi (J-OCE) Undip (Dewi, dkk., 2017). Dari data pengukuran pada titik koordinat  $01^{\circ}33'20.0''$  LS dan  $99^{\circ}12'32.8''$  BT pada kedalaman 10 meter yang dilakukan pada tanggal 9 Agustus hingga 3 September 2015 di perairan

Pulau Siberut, yang dikompilasi dengan data gelombang sekunder satelit altimetri AVISO yang diambil pada tanggal 14 September 2009 s/d 19 Mei 2018 (9 tahun) di perairan Mentawai pada koordinat  $04^{\circ}-01^{\circ}$  LS dan  $98^{\circ}-101^{\circ}$  BT diperoleh data tinggi gelombang signifikan dan periode pada masing-masing musim. Data tinggi dan periode gelombang selanjutnya diurutkan untuk mendapatkan data gelombang representatif seperti yang tersaji pada Tabel 1.

### B. Formulasi Model Teoritis

Dinamika gelombang dijelaskan dengan persamaan transport densitas *wave action*. Untuk aplikasi skala kecil *basic transport* diformulasikan dalam koordinat kartesian, sedangkan koordinat *spherical* digunakan untuk aplikasi skala besar. Spektrum gelombang berubah terhadap waktu dan ruang yang merupakan fungsi dari dua parameter fasa gelombang. Dua parameter fasa gelombang dapat berupa vektor wave number,  $\vec{k}$ , dan arah,  $\theta$ , atau arah  $\theta$  dan frekuensi sudut relatif,  $\sigma = 2\pi f_r$ , atau frekuensi sudut absolut,  $\omega = 2\pi f_a$ . Pada model parameter yang digunakan dalam formulasi yaitu arah gelombang  $\theta$  dan frekuensi angular relatif,  $\sigma$ . Hubungan densitas gelombang,  $N(\sigma, \theta)$ , dengan energi gelombang  $E(\sigma, \theta)$  pada persamaan

Tabel 1. Gelombang Representatif Peramalan Gelombang Musiman (Dewi, dkk., 2017).

Musim	$H_{max}$ (m)	$H_s/H_{33}$ (m)	$H_{min}$ (m)	$T_{max}$ (detik)	$T_s/T_{33}$ (detik)	$T_{min}$ (detik)
Barat Laut	2,40	2,05	0,03	7,98	7,51	0,94
Transisi I	2,13	1,85	0,03	7,67	7,13	0,94
Barat Daya	2,89	2,17	0,03	8,25	7,66	0,94
Transisi II	2,65	2,14	0,03	8,25	7,61	0,94

$$N = \frac{E}{\sigma}$$

Penjalaran gelombang pada kedalaman yang berubah dan terdapat pengaruh arus, maka hubungan antara frekuensi sudut relatif dan frekuensi angular absolut terdapat dalam persamaan berikut

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kd)} = \omega - \vec{k} \cdot \vec{U}$$

dengan  $g$  adalah percepatan gravitasi,  $d$  kedalaman air, dan  $\vec{U}$  adalah vektor kecepatan arus.

Besar nilai kecepatan grup,  $c_g$ , dari energi gelombang relatif diberikan oleh

$$c_g = \frac{\partial \sigma}{\partial k} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \frac{\sigma}{k}$$

Kecepatan fasa,  $c$ , dari gelombang relatif terhadap arus yaitu

$$c = \frac{\sigma}{k}$$

Frekuensi dari spektrum pada frekuensi minimum,  $\sigma_{min}$ , dan frekuensi maksimum,  $\sigma_{max}$ . Persamaan pembangun merupakan persamaan kesetimbangan gelombang yang diformulasikan dalam koordinat kartesian maupun spherical (Komen dkk., 1994). Dalam artikel ini hanya akan dibahas persamaan dalam koordinat kartesian yaitu

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma}$$

dimana  $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$  adalah densitas,  $t$  merupakan waktu,  $\vec{x} = (x, y)$  koordinat kartesian,  $\vec{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$  adalah kecepatan penjalaran dari grup gelombang dalam empat dimensi,  $S$  adalah variabel sumber pada persamaan kesetimbangan energi.  $\nabla$  adalah diferensial empat-dimensi operator  $\vec{x}$ ,  $\sigma$ ,  $\theta$ . Karakteristik penjalaran keempat variabel kecepatan dijelaskan sebagai berikut:

$$(c_x, c_y) = \frac{dx}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U}$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[ \frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla_{\vec{x}} d \right] - c_g \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s}$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right]$$

Variabel sumber energi,  $S$ , merupakan penjumlahan dari fungsi-fungsi sumber yang masing-masing mewakili proses fisis

$$= S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf}$$

Pada persamaan diatas  $S_{in}$  adalah pembangkit energi oleh angin,  $S_{nl}$  adalah transfer energi gelombang dari interaksi non-liner antar gelombang,  $S_{ds}$  adalah disipasi energi gelombang akibat *white-capping*,  $S_{bot}$  adalah disipasi energi akibat gesekan dasar, dan  $S_{surf}$  adalah disipasi energi gelombang akibat gelombang pecah.

### C. Resolusi Numerik

Pemodelan dilakukan untuk mendapatkan distribusi tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang untuk mendapatkan potensi daya listrik sehingga diharapkan dapat ditentukan luasan daerah potensi pengembangan energi gelombang laut di perairan Mentawai. Batas terbuka dari model mencakup daerah tenggara, barat daya dan barat laut dari perairan terbuka Samudera Hindia. Validasi hasil pemodelan distribusi tinggi signifikan maupun perioda gelombang dilakukan terhadap data gelombang altimetri, yaitu titik koordinat (99°BT, 2°LS) yang berada di barat daya Pulau Siberut Kepulauan Mentawai.

### D. Model Setup

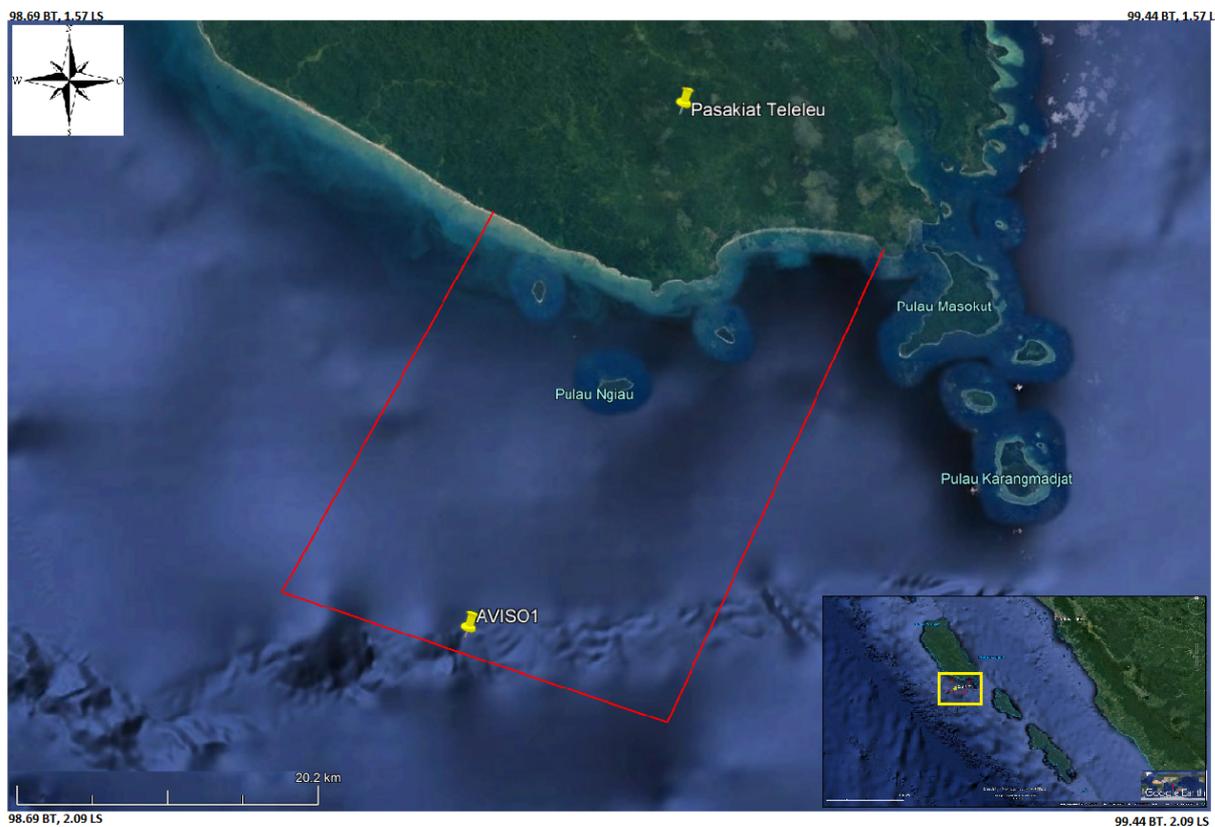
Modul yang akan digunakan dalam analisa tranformasi gelombang dari laut dalam hingga ke area laut dangkal pada Software MIKE 21 adalah modul *Spektral Wave* (SW). Pemodelan gelombang dengan menggunakan perangkat lunak MIKE 21

SW sebagai alat simulasi dinamika gelombang. MIKE 21 SW adalah program yang menghitung parameter gelombang dengan metode finite elemen tiga dimensi. Gaya pembangkit (*generating force*) yang digunakan adalah data angin. MIKE 21 SW dikembangkan oleh DHI Water & Environment (DHI). Pemodelan ini menggunakan solusi persamaan *Navier-Stokes* tiga dimensi yang didasarkan pada pendekatan *Boussinesq*. Sehingga pemodelan terdiri dari persamaan kontinuitas dan momentum.

MIKE 21 SW merupakan model generasi baru dari *wind-wave* model berdasarkan *unstructured mesh*. MIKE 21 SW mensimulasikan pertumbuhan, peluruhan dan transformasi gelombang yang dibangkitkan oleh angin dan *swell* di offshore dan area pesisir. MIKE 21 SW memiliki dua formulasi berbeda, yaitu *Directional decoupled parametric formulation* dan *Fully spectral formulation*. *Directional decoupled parametric formulation* berdasarkan parameterisasi dari persamaan konservasi *wave action*. Parameterisasi dilakukan pada frekuensi dominan dengan menjadikan momen ke-nol dan momen ke-satu sebagai variabel yang bergantung pada variabel lain (Holthuijsen, 1989). *Fully spectral formulation* berdasarkan persamaan konservasi *wave action* dimana frekuensi tiap arah dari spektrum *wave*

*action* adalah variabel yang bergantung pada variabel lain.

Daerah model didiskritisasi dengan ukuran grid yang bervariasi dengan grid terbesar yaitu 5000 m<sup>2</sup> yang terdiri dari 93 node dan 147 elemen dengan jarak 24,38 km garis pantai (*shoreline*) ke lepas pantai (Gambar 2). Pada batas terbuka digunakan data gelombang hasil pengolahan data SMB sebagai input elevasi diantaranya tinggi signifikan ( $H_s$ ), periode rata-rata ( $T_e$ ), arah gelombang ( $\theta_0$ ) dan arah sebaran gelombang ( $\theta$ ). Batas terbuka dari domain model ini terdiri atas 3 buah (tenggara, barat daya dan barat laut). Simulasi dilakukan dengan asumsi 1 tahun, yaitu dilakukan dengan menggunakan data gelombang musiman yang didapat dari hasil pengolahan data SMB (Dewi, dkk., 2017) dengan 4 (empat) skenario, yaitu simulasi musim barat laut (Desember-Januari-Februari), musim peralihan 1 (Maret-April-Mei), musim barat daya (Juni-Juli-Agustus), dan musim peralihan 2 (September-Oktober-November). Input batimetri wilayah Mentawai (Pasakiat Teileleu) serta koefisien gesekan dasar yang digunakan adalah koefisien *Manning* sebesar 32 m<sup>1/3</sup>/s dan difusivitas horisontal *Smagorinsky* sebesar 0.28 serta koefisien *quadruplet wave* sebesar 0.25.



Gambar 2. Domain area lokasi Pasakiat Teileleu perairan Mentawai Sumatera Barat.

## E. Perhitungan Potensi Energi Gelombang

Perhitungan potensi energi gelombang merupakan dasar dari suatu perencanaan pemanfaatan desain teknologi konverter gelombang (Falcao, 2009). Perhitungan daya listrik gelombang menggunakan persamaan sebagai fungsi variable dari parameter gelombang. Estimasi daya listrik yang dihasilkan dari konversi energi gelombang laut dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Holthuijsen, dkk., 2007):

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_{m0}^2 T_e \approx \left(0.5 \frac{kW}{m^3 \cdot s}\right) H_{m0}^2 T_e$$

dimana

$P$  = Daya listrik per satuan panjang gelombang (W/m)

$\rho$  = Berat jenis air laut (1025 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$H_{m0}$  = Tinggi gelombang signifikan (meter)

$T_e$  = Periode gelombang (detik)

Dalam model gelombang perhitungan tersebut digunakan pada setiap simpul (node) grid domain area model sehingga menghasilkan distribusi lateral daya gelombang ( $P$ ).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Pemodelan Gelombang

Verifikasi Model Gelombang Hasil Prediksi

Hasil pemodelan gelombang didapat berupa nilai beberapa parameter gelombang yang bervariasi terhadap ruang (*spatial*) di satu area lokasi model berdasarkan pola musiman di perairan Mentawai. Pola musiman meliputi empat musim yakni musim barat laut, musim peralihan 1, musim barat daya, dan musim peralihan 2. Pada musim barat laut nilai maksimum tinggi signifikan ( $H_s$ ) yang didapat sebesar 2,08 meter, sedangkan periode puncak gelombang ( $T_{peak}$ ) sebesar 8.22 detik sedangkan rata-rata tinggi gelombang ( $H_{mean}$ ) sebesar 1,17 meter, dengan standar deviasi arah gelombang ( $DirStDev$ ) sebesar 17,82, dengan daya rata-rata gelombang ( $P$ ) sebesar 7,48 kW/m.

Pemodelan gelombang diverifikasi terhadap statistika dasar yang dihitung berdasarkan tinggi signifikan  $H_s$  di titik lokasi yang dipilih berdasarkan data satelit altimetri (99°BT, 2°LS). Dari hasil perhitungan statistik di titik pengukuran tersebut, dihasilkan korelasi keseluruhan sebesar

76.23% (Gambar 3). Pada pengukuran menengah dan jangka pendek, perbandingan antara hasil numerik dan altimetri memperlihatkan perbedaan yang lebih baik pada  $H_s$  di perairan dalam.

Dari hasil pemodelan distribusi tinggi signifikan terlihat bahwa daerah yang mempunyai tinggi gelombang signifikan yang besar berada pada musim barat laut, barat daya, dan peralihan ke-2 dengan tinggi signifikan mencapai lebih dari 2 meter di wilayah barat Pulau Siberut perairan Mentawai. Hasil validasi menunjukkan bahwa nilai tinggi signifikan hasil pemodelan lebih besar dari data altimetri. Hal ini dikarenakan tinggi signifikan lapangan ( $H_s$ ) yang disimulasikan menggunakan data SMB sebesar 1.959 dari data altimetri yang didapat (Muliati, Y., dkk., 2016). Oleh karena itu, analisis untuk hasil pemodelan difokuskan di lokasi tersebut.

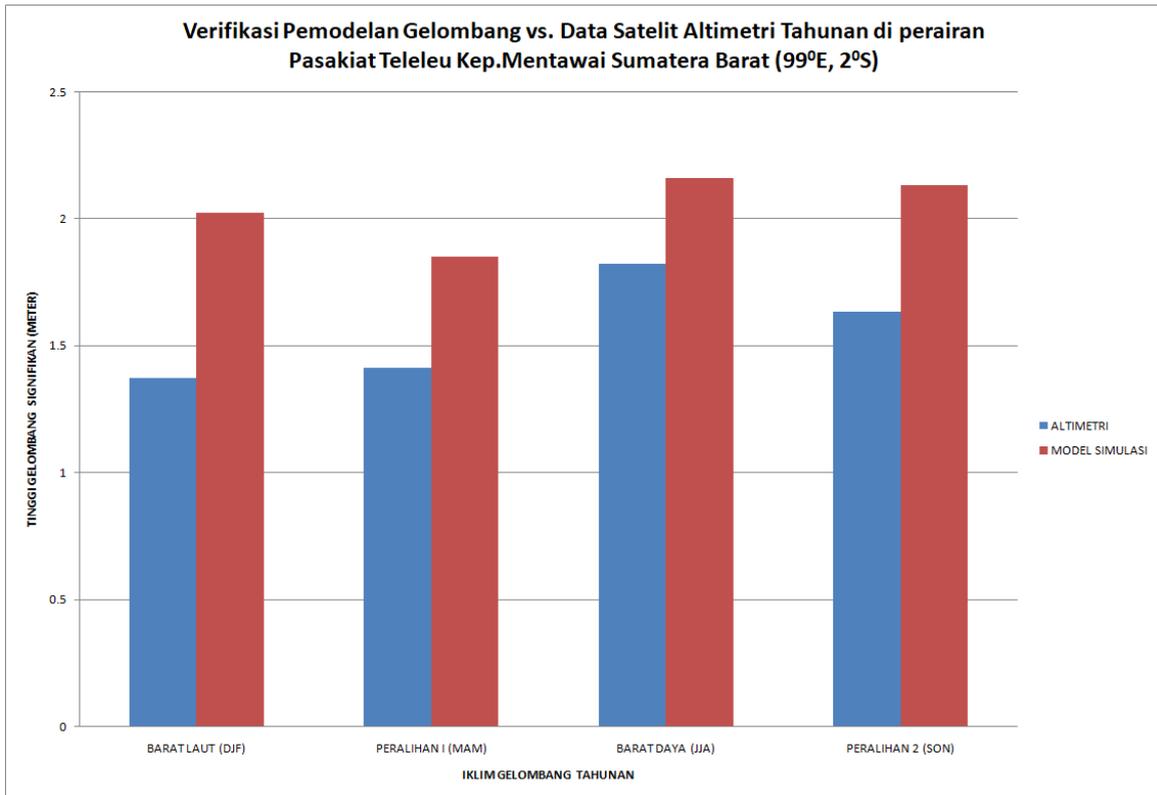
### B. Perhitungan Daya Gelombang Lokal

#### Distribusi Spasial dari Pola Distribusi Energi

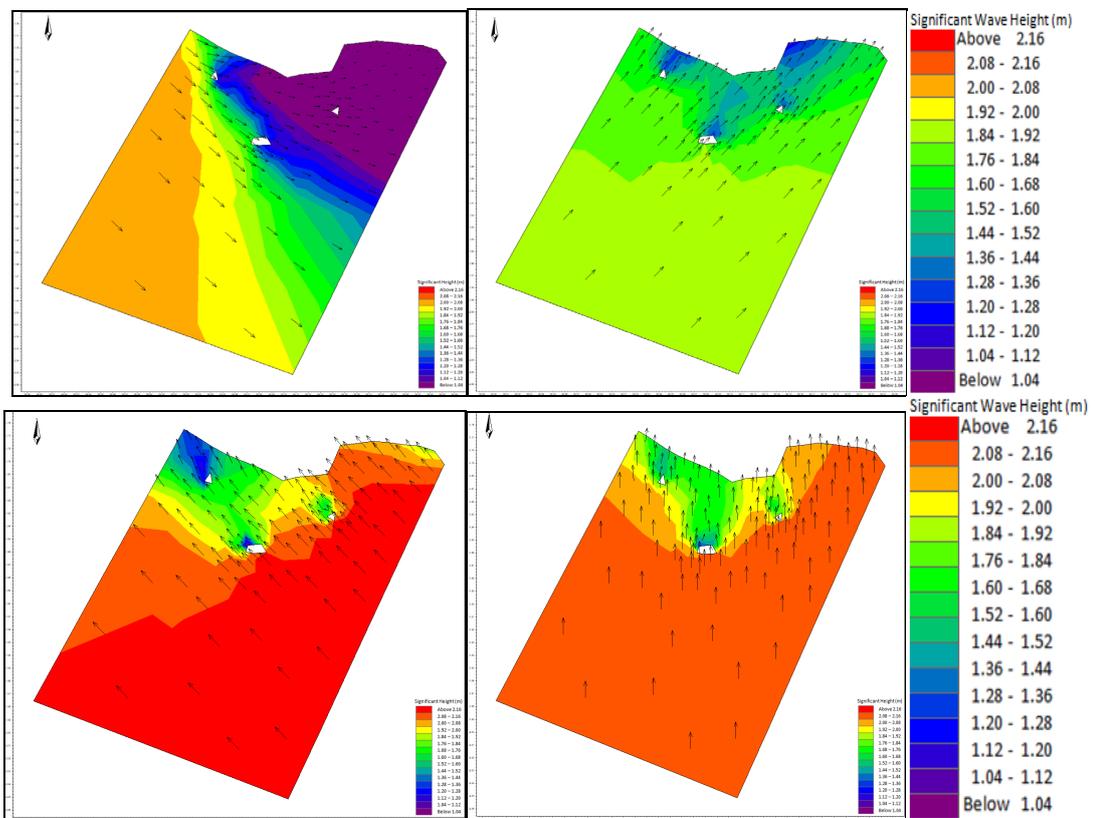
Pola energi gelombang di wilayah perairan barat Pulau Siberut Mentawai ditunjukkan pada daya gelombang rata-rata tahunan selama 4 musim. Dengan terdapat 147 *grid cell* dapat dilihat sebaran parameter gelombang, tinggi signifikan  $H_s$  di perairan barat daya Siberut khususnya Desa Pasakiat Teileleu (Gambar 4) dan daya gelombang di sekitar lokasi area model (PKST) yang berubah terhadap ruang dan waktu (Gambar 5).

Daya gelombang yang paling besar terdapat di perairan Pasakiat Teileleu yaitu sebesar  $P = 15$  kW/m. Gelombang akan mengalami disipasi energi secara signifikan yang diakibatkan oleh gesekan dasar dan gelombang pecah. Daya gelombang rata-rata menurun dari 36 kW/m di perairan dalam dan pada saat memasuki perairan dangkal Pasakiat Teileleu menjadi 4 kW/m. Hasil disipasi dengan variabilitas spasial yang kuat menghasilkan 8-15 kW/m di perairan dangkal sebelah barat Pulau Siberut, sedangkan penurunan dibawah 10 kW/m di area terlindung yang berlokasi dibelakang Pulau Siberut. Hasil dari perbandingan antara nilai simulasi pemodelan terhadap data altimetri cukup baik dilihat dari grafik perbandingan tinggi signifikan yang mempunyai korelasi sebesar 67.78%. Pada musim transisi pertama nilai maksimum tinggi signifikan ( $H_s$ ) yang didapat sebesar 1.85 meter, periode puncak gelombang ( $T_{peak}$ ) sebesar 7.64 detik.

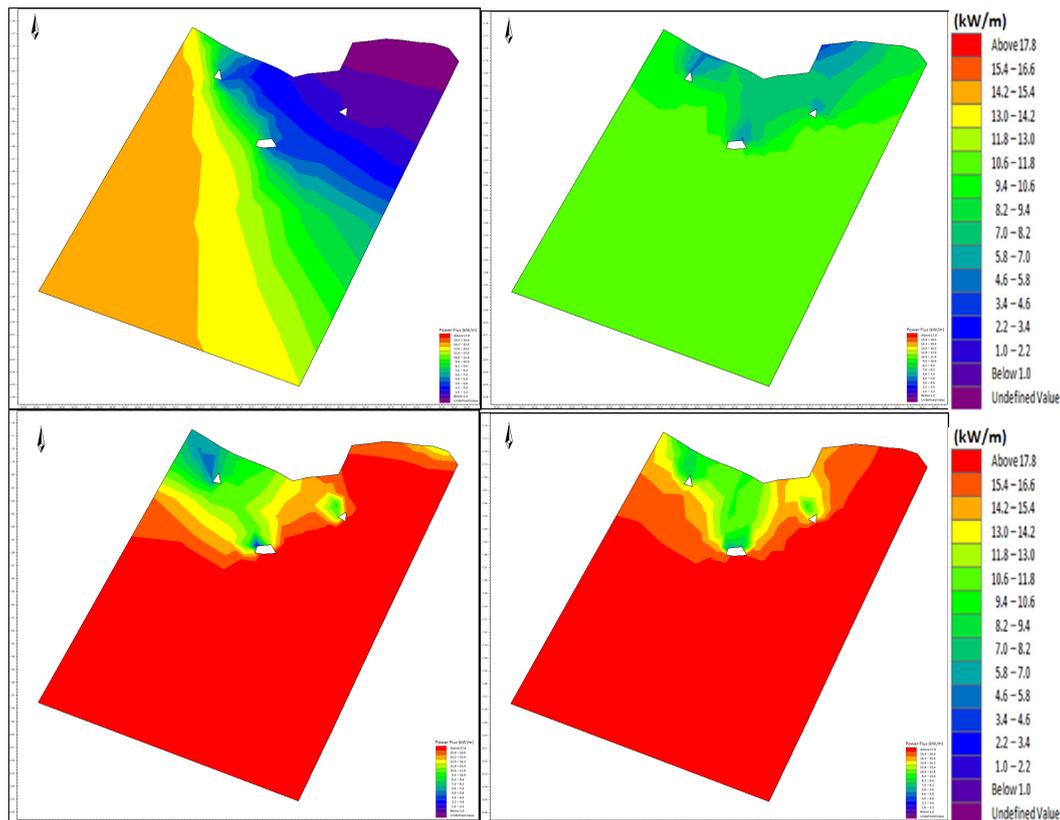
Sementara rata-rata tinggi gelombang ( $H_{mean}$ ) sebesar 1.66 meter, dengan daya rata-rata gelombang ( $P$ ) sebesar 10.51 kW/m. Hasil dari



Gambar 3. Grafik perbandingan tinggi signifikan (Hs) model simulasi terhadap data satelit altimetri berdasarkan musiman sepanjang tahun.



Gambar 4. Prediksi rata-rata tinggi signifikan (Hs) tahunan (kiri atas) musim barat laut, (kanan atas) musim peralihan I, (kiri bawah) musim tenggara, dan (kanan bawah) musim peralihan II di wilayah Pasakiat Teileleu Kep. Mentawai di periode 2009-2018.



Gambar 5. Prediksi rata-rata daya gelombang ( $P$ ) dalam kW/m tahunan (kiri atas) musim barat laut, (kanan atas) musim peralihan I, (kiri bawah) musim tenggara, dan (kanan bawah) musim peralihan II di wilayah Pasakiat Teileleu Kep. Mentawai di periode 2009-2018.

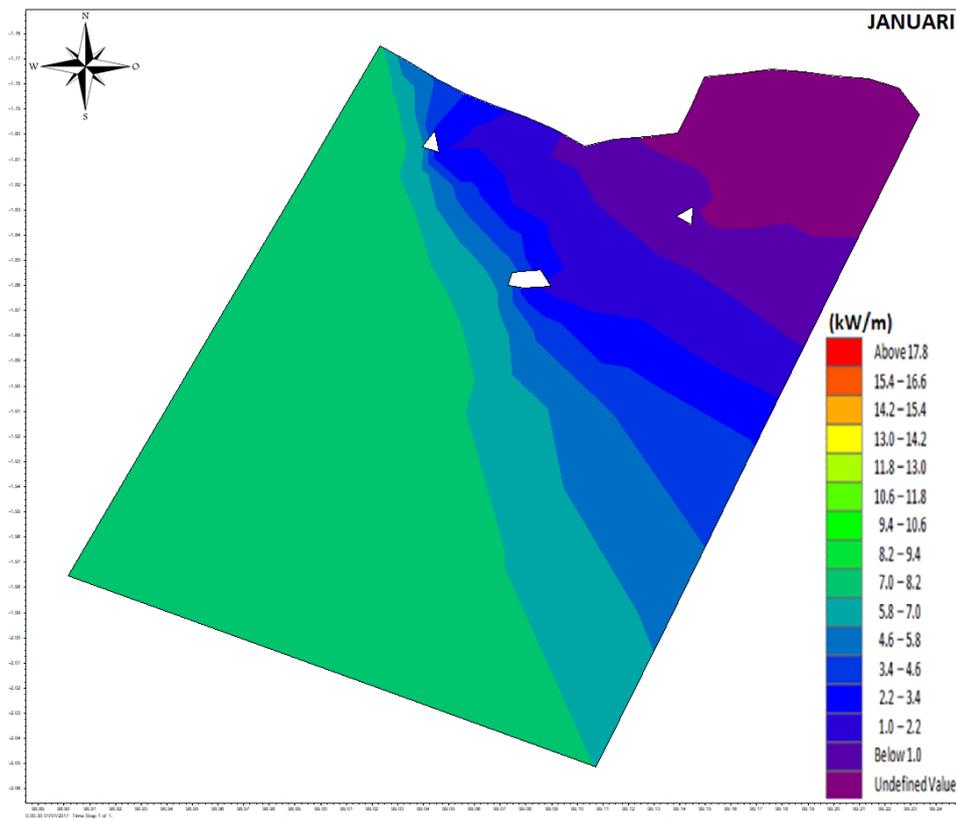
perbandingan antara nilai simulasi pemodelan terhadap data altimetri cukup baik yaitu mempunyai korelasi sebesar 76.33%. Pada musim tenggara nilai maksimum tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) yang didapat sebesar 2.16 meter, sedangkan periode puncak gelombang ( $T_{peak}$ ) sebesar 8.32 detik, sedangkan rata-rata tinggi gelombang ( $H_{mean}$ ) sebesar 1.94 meter. Daya rata-rata gelombang ( $P$ ) sebesar 15.78 kW/m. Hasil dari perbandingan antara nilai simulasi pemodelan terhadap data altimetri cukup baik yaitu mempunyai korelasi sebesar 84.20%. Pada musim transisi kedua, nilai maksimum tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) sebesar 2.13 meter, sedangkan periode puncak gelombang ( $T_{peak}$ ) sebesar 8.31 detik. dengan rata-rata tinggi gelombang ( $H_{mean}$ ) sebesar 1.98 meter, diperoleh daya rata-rata gelombang ( $P$ ) sebesar 16.15 kW/m. Hasil dari perbandingan antara nilai simulasi pemodelan terhadap data altimetri cukup baik yaitu mempunyai korelasi sebesar 76.60%.

## 2) Variabilitas Tahunan dan Musiman

### A) Variabilitas bulanan selama 10 tahun

Pantai barat Sumatera memiliki flux energi gelombang rata-rata berkisar antara 20-30 kW/m berdasarkan basis skala model global dengan periode 10 tahun, yakni dari tahun 1997-2006 (Mark, *dkk.*, 2010). Hal yang sama dikemukakan oleh Magagna dan Andreas, 2008, bahwa perairan barat Sumatera mempunyai potensi energi gelombang berkisar 20-30 kW/m. Hal tersebut dapat dijadikan pedoman dalam metode perhitungan untuk mendapatkan variasi resolusi waktu dan ruang, variabilitas iklim gelombang antara simulasi waktu pun menjadi input perhitungan. Penyelidikan lebih lanjut adalah mengenai variabilitas spasial dan temporal dari daya gelombang di Perairan Mentawai.

Perubahan bulanan dari daya gelombang di perairan barat Pulau Siberut selama 10 tahun yaitu adanya perbedaan antara energi pada saat musim barat dan musim timur menghasilkan kondisi dengan energi yang berbeda pada bulan-bulan tersebut, sebagai contoh pada Gambar 6.



Gambar 6. Prediksi rata-rata daya gelombang (P) selama 10 tahun pada bulan Januari.

### B) Variabilitas musiman selama 10 tahun

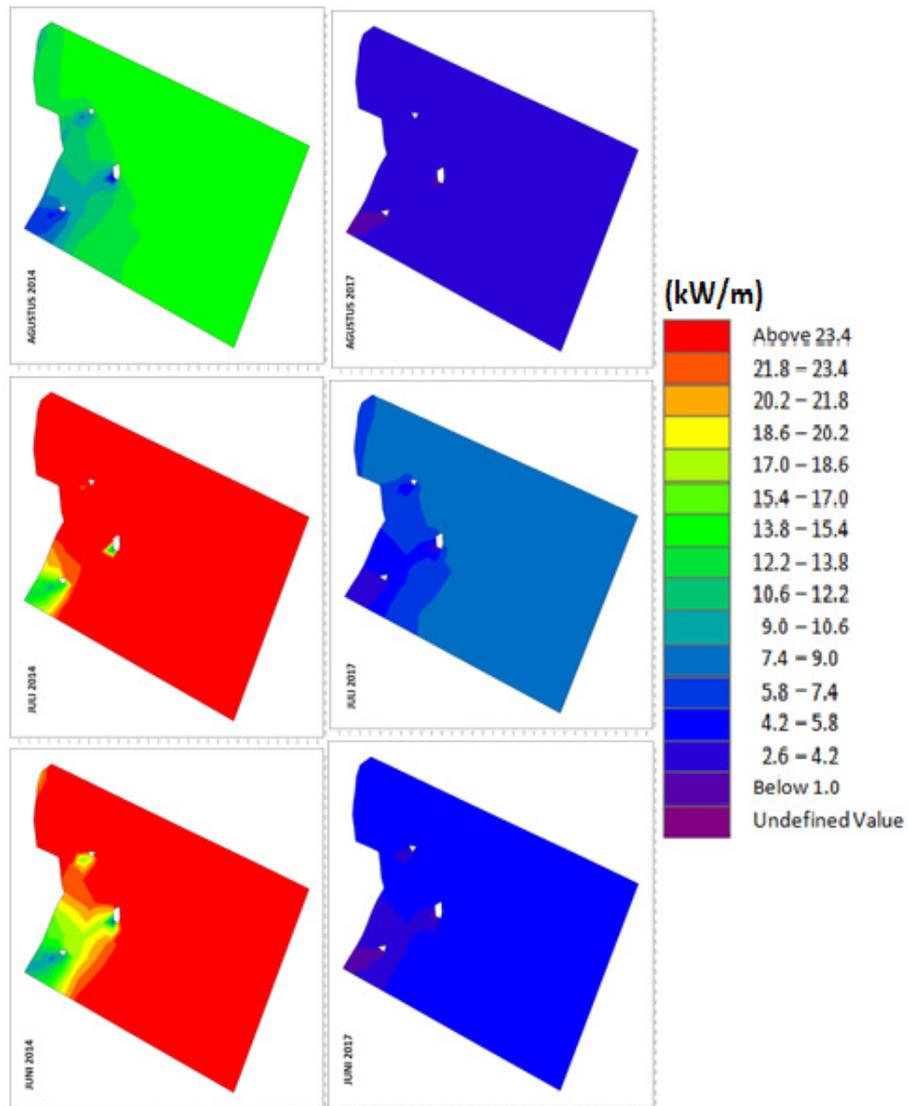
Perubahan musiman dari daya gelombang di perairan barat Pulau Siberut yaitu adanya perbedaan antara energi pada saat musim barat dan musim timur menghasilkan kondisi dengan energi yang berbeda pada bulan-bulan tersebut (Gambar 7). Antara bulan November hingga Maret, secara global dihasilkan daya gelombang sebesar 10 kW/m dengan nilai terbesar mencapai 18 kW/m di bulan Agustus sampai September. Pada periode bulan tenang diperoleh nilai di bawah 10 kW/m terjadi pada bulan Februari dan Mei. Perubahan musiman sangat dibentuk oleh variasi temporal yang diperlihatkan dengan daya gelombang rata-rata bulanan pada awal 2014 dan 2017. Situasi berbeda justru dihasilkan antara dua tahun dengan kondisi –yaitu pada tahun 2014 sepanjang bulan Juni dan Agustus, sedangkan pada 2017 sepanjang bulan Juli. *Time series* dari daya gelombang bulanan rata-rata pada domain area barat Siberut mengidentifikasi secara presisi variabilitas tahunan dari flux energi gelombang di perairan barat Pulau Siberut (Gambar 8). Energi flux gelombang mengalami variasi tahunan yang dominan sepanjang bulan selama 10 tahun. Periode yang menghasilkan energi paling besar pada Juli 2014 dengan rata-rata daya gelombang mencapai 38 kW/m.

Dilihat dari segi variabilitas musiman (iklim gelombang) secara umum, kecepatan sirkulasi angin permukaan paling besar terjadi pada bulan Juli dan paling lemah terjadi pada bulan April (Martono, 2009).

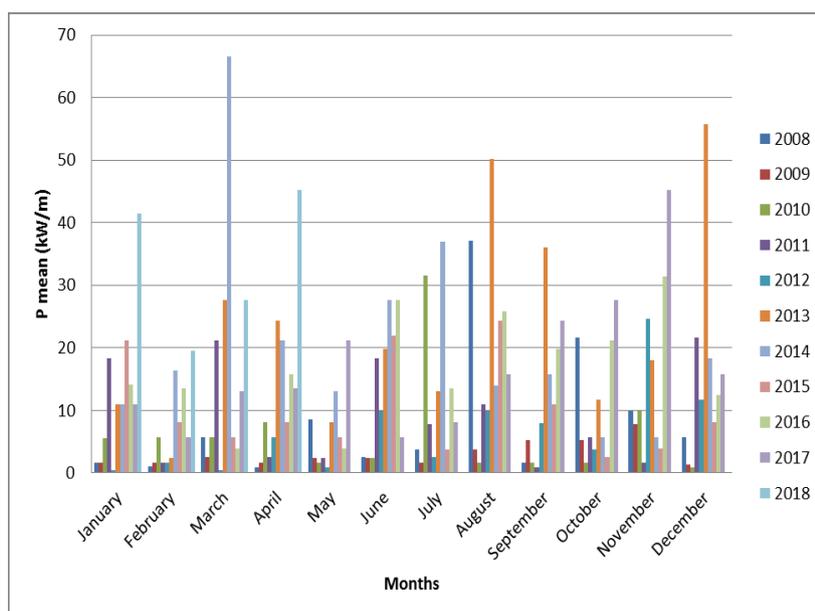
Pola sirkulasi angin permukaan pada bulan April sebagian belahan bumi bagian utara bertiup angin pasat tenggara yang bergerak dengan arah yang konstan, yaitu ke arah barat dan barat laut.

Sirkulasi angin permukaan pada bulan Mei hingga September secara umum mempunyai pola yang sama. Pada bulan

tersebut posisi matahari berada di utara ekuator sehingga energi matahari yang diterima di belahan bumi utara lebih besar daripada di belahan bumi bagian selatan. Ini menyebabkan temperatur udara permukaan di belahan bumi bagian utara lebih panas daripada di belahan bumi bagian selatan sehingga terjadi tekanan udara rendah di belahan bumi bagian utara dan tekanan udara tinggi di belahan bumi bagian selatan. Akibat perbedaan tekanan terjadinya gerakan udara dari daerah tekanan tinggi di belahan bumi selatan ke daerah tekanan rendah di belahan bumi utara dalam hal ini dari Benua Australia ke Benua Asia. Angin pasat tenggara di belahan bumi bagian selatan makin melebar ke utara mencapai ekuator. Sementara itu, di belahan bumi bagian utara angin yang seharusnya bergerak ke utara dibelokkan ke kanan oleh gaya coriolis sehingga angin bergerak ke arah timur dan timur laut. Pola sirkulasi angin permukaan pada bulan Oktober hampir sama dengan bulan April. Pada bulan ini posisi matahari mulai bergeser ke selatan ekuator sehingga energi matahari yang diterima di belahan bumi bagian selatan lebih besar daripada di belahan bumi bagian selatan. Di belahan bumi bagian selatan bertiup angin pasat tenggara yang bergerak dengan arah yang konstan yaitu ke arah barat dan barat laut.



Gambar 7. Daya gelombang rata-rata bulanan di perairan barat Mentawai (Siberut) pada Juni, Juli, dan Agustus 2014 dan 2017.



Gambar 8. Time series tahunan dari prediksi keseluruhan daya gelombang di perairan barat Mentawai (Siberut).

Berdasarkan penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa variasi bulanan angin permukaan di atas perairan Samudera Hindia terutama di belahan bumi bagian utara sangat dipengaruhi oleh sistem monsun Asia - Australia sebagai akibat pergeseran posisi matahari ke utara dan selatan ekuator. Namun sebaliknya, pola sirkulasi angin permukaan di belahan bumi bagian selatan relatif konstan sepanjang tahun, yaitu angin bergerak ke arah barat dan barat laut. Hal ini disebabkan kondisi geografis perairan Samudera Hindia, yaitu bagian utara ekuator merupakan perairan tertutup dan sebaliknya bagian selatan ekuator merupakan perairan terbuka sehingga di belahan bumi utara terdapat komposisi laut dan daratan. Kecepatan sirkulasi angin permukaan paling kuat terjadi pada bulan Juli yang merupakan puncak musim timur, sedangkan paling lemah terjadi pada bulan April.

### C. Analisis daya gelombang lokal

Proses yang mengakibatkan gelombang sepanjang penjalaran ke arah pantai dapat mempengaruhi perubahan nilai potensi energi yang diakibatkan oleh faktor mekanisme lokal seperti disipasi energi (Vannucchi, *dkk*, 2016). Merujuk pada perhitungan kepadatan penduduk di daerah terdekat, lokasi penelitian di wilayah Pasakiat Teileleu, maka tidak direkomendasikan untuk empat lokasi yaitu (Sirilogui, Saibi Samukop, Mara, dan Sinaka). Secara geografis, wilayahnya tidak mempunyai potensi energi gelombang yang signifikan. Potensi energi gelombang di wilayah barat Pulau Siberut (Sirilogui dan Saibi Samukop) relatif kecil dengan tinggi gelombang signifikan kurang dari 0.8 meter dan periode 4.56 detik. Dengan demikian daya gelombang yang dihasilkan diperkirakan hanya sebesar 1–2 kW/m karena wilayah tersebut tidak berhadapan langsung dengan perairan terbuka Samudera Hindia. Namun wilayah tersebut berada dekat dengan grid PLN Muara Siberut dengan jarak sekitar 1.2 km. Demikian juga di lokasi Mara dan Sinaka yang merupakan daerah tertutup dari pengaruh gelombang, sehingga daya gelombang yang dihasilkan sangat kecil. Sementara untuk area Malakopa dan Bulasat, daerah tersebut berhadapan dengan Samudera Hindia dengan frekuensi gelombang yang tinggi sepanjang garis pantai di sebelah barat Pulau Pagai Selatan.

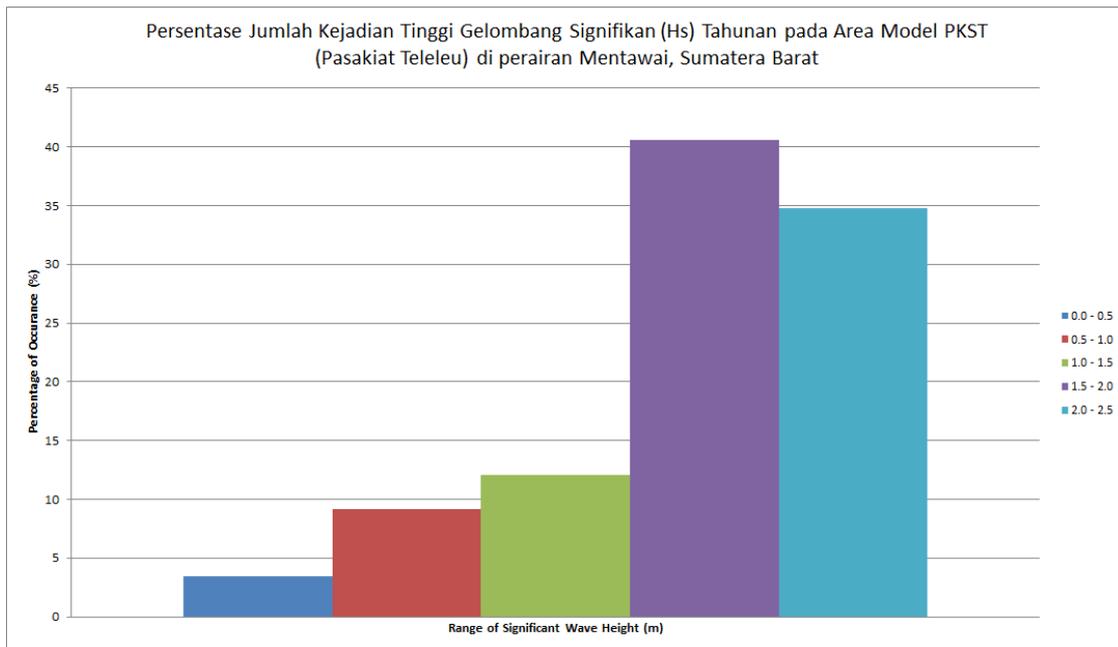
Dengan asumsi yang sama dengan lokasi sebelumnya daerah Pasakiat Teileleu, faktor pembangkit angin musim serta batimetri yang sama maka karakteristik gelombang akan menghasilkan kondisi yang serupa dengan pantai sebelah barat Siberut. Wilayah ini sama halnya dengan lokasi sebelumnya dengan minimnya penduduk setempat yang berdomisili jauh dari pesisir pantai serta jarak yang cukup jauh ke grid PLN Sikakap. Namun untuk lokasi ini butuh kajian serupa dengan lokasi sebelumnya. Terdapat empat musim yang merepresntasikan distribusi daya gelombang. Tinggi gelombang antara 1.5 – 2.5 meter lebih dari 75% dari jumlah kejadian dengan periode cukup konstan antara 7.79 – 8.30 detik selama setahun sehingga mempengaruhi nilai maksimum dari daya flux gelombang (Gambar 9).

Dari hasil analisis simulasi tabel 2 di atas, maka titik koordinat yang tepat untuk dipasang pembangkit tenaga gelombang yaitu pada simulasi ke-2 pada lokasi Pasakiat Teileleu, dengan rata-rata daya gelombang sekitar 10.7 kW/m sampai 15 kW/m. Sebagai perbandingan, gelombang dengan tinggi antara (0.5 – 1.5 m) dapat menghasilkan 25% kejadian selama satu tahun dengan nilai daya antara 0.1 – 9 kW/m. Sementara gelombang di Samudera Hindia bagian utara lebih banyak datang dari arah barat dan barat laut. Distribusi daya gelombang terhadap arah datangnya gelombang

Tabel 2. Lokasi, kedalaman, jarak ke garis pantai dan flux energi gelombang rata-rata yang dihitung pada 2006-2015 dalam empat musim.

Sites	Latitude	Longitude	Depth (m)	Distance to the Coastline (km)	P mean (kW/m)
#1	99.12704	-1.833337	31.2	2.7	11.6
#2	99.12806	-1.808357	6.9	0.1	10.7
#3	99.06544	-1.814516	30.6	2.6	10.5
#4	99.01856	-1.795011	22.5	2.9	13.2

merepresentasikan variabilitas yang berhubungan dengan proses *shoaling* di perairan dangkal seperti kedalaman, arus refraksi dan disipasi yang diakibatkan oleh gesekan dasar dan gelombang pecah. Energi gelombang maksimum dihasilkan dari arah tenggara dan selatan dengan daya gelombang melebihi 16-20 kW/m. Daya gelombang minimum terjadi di perairan dangkal Pasakiat Teileleu yang berhubungan dengan peningkatan disipasi energi gelombang oleh gesekan dasar. Di lokasi ini, lebih dari 20% energi gelombang hanya menghasilkan lebih kecil dari 10 kW/m. Area ini dibentuk oleh densitas *intermediet* (menengah) dari energi gelombang dengan arah datangnya gelombang menghasilkan nilai lebih dari



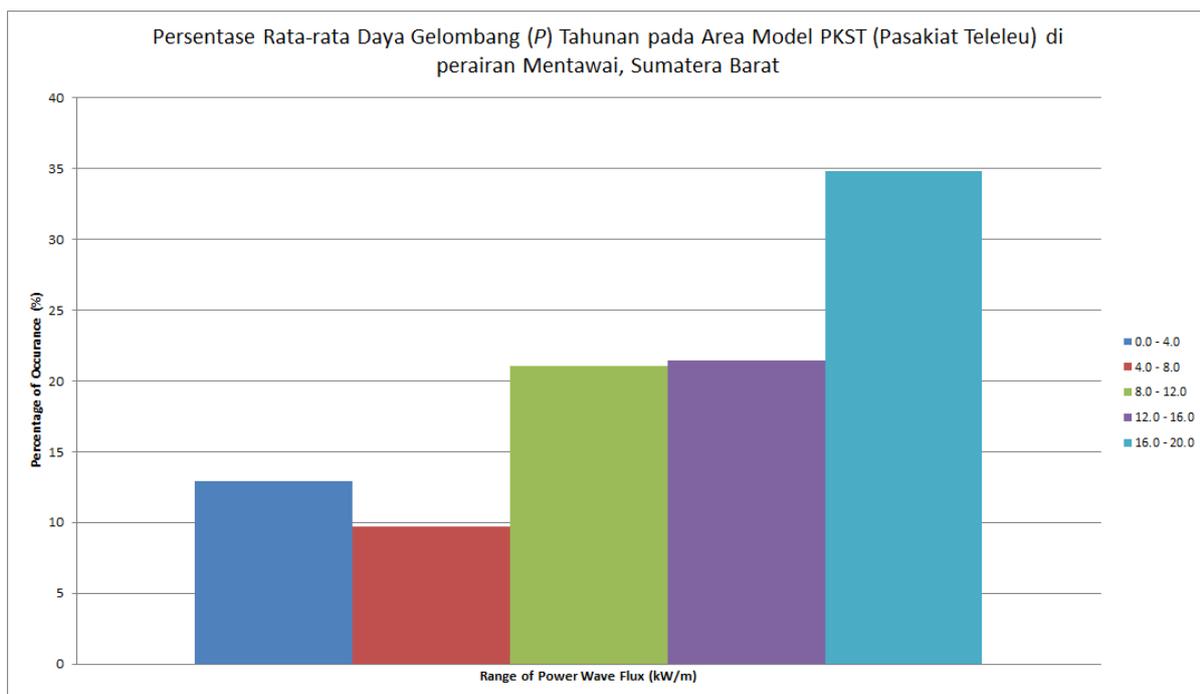
Gambar 9. Presentase prediksi tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) rata-rata di lokasi model PKST.

16 kW/m selama lebih dari 30% kejadian (Gambar 10). Pada dua musim, flux energi gelombang dikonsentrasikan untuk gelombang dua arah, arah barat laut dan arah barat daya. Seleksi teknologi diharapkan dapat menghasilkan efisiensi maksimum pada *range* tinggi signifikan dan arah dengan perioda yang cukup konstan.

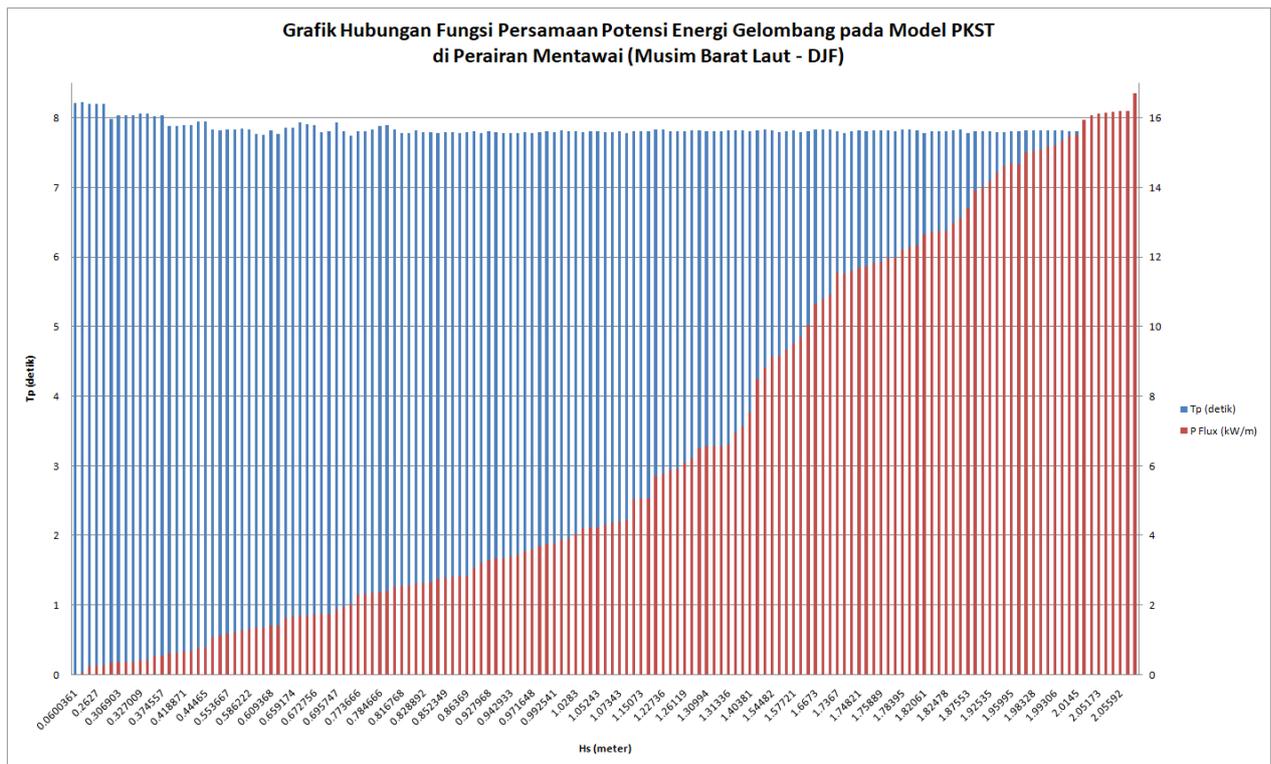
Perhitungan potensi daya listrik di perairan Mentawai sebelah barat Pulau Siberut pada model PKST dihitung berdasarkan hasil hubungan

persamaan sebagai fungsi variable dari tinggi signifikan ( $H_{m0}$ ) dan periode gelombang ( $T_e$ ). Sebagai contoh Grafik hasil perhitungan potensi gelombang dapat dilihat pada Gambar 11.

Grafik tersebut menjelaskan hubungan fungsi persamaan daya gelombang (*power flux*) pada model PKST di musim barat laut. Dari grafik terlihat variasi daya yang dihasilkan merupakan fungsi dari tinggi gelombang signifikan dan periode. Grafik *power flux* bervariasi mengikuti



Gambar 10. Persentase daya gelombang (P) rata-rata di lokasi model PKST.



Gambar 11. Hubungan fungsi persamaan potensi energi gelombang pada area model PKST pada musim barat laut.

pola periode dan tinggi gelombang signifikan karena hubungannya linear. Semakin besar tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan periode ( $T_p$ ) semakin besar power flux yang dihasilkan. Rata-rata daya yang dihasilkan pada model PKST pada musim barat laut, transisi I, tenggara, dan transisi II masing-masing sebesar 7.48, 10.51, 15.78, dan 16.15 (kW/m) dengan besar daya maksimum masing-masing sebesar 16.7, 12.82, 19.06, dan 18.52 (kW/m).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Perairan barat Mentawai merupakan lokasi yang menghasilkan energi yang tinggi dengan rata-rata daya gelombang sekitar 20 kW/m dengan periode tertentu. Disipasi energi yang besar dihasilkan di perairan dangkal dengan nilai rata-rata di bawah 10 kW/m yang menurun secara periodik. Prediksi model gelombang menghasilkan variabilitas tahunan dan musiman terhadap daya gelombang pada bulan-bulan di musim tertentu. Energi gelombang dianalisis pada empat musim dengan daya gelombang rata-rata terbesar dihasilkan dari variabilitas tinggi signifikan dan arah gelombang. Sementara di pantai barat Mentawai (Pasakiat Teileleu) merepresentasikan energi maksimum dengan daya gelombang lebih

dari 16 kW/m. Pantai barat Mentawai merupakan lokasi yang menarik untuk mengimplementasikan teknologi pembangkit listrik energi gelombang.

Implementasi pemodelan gelombang memberikan hasil yang baik untuk energi flux gelombang di area pantai barat Mentawai yang menghasilkan potensi mencapai 20 kW/m. Hal ini sesuai bahwa Indonesia berada pada kisaran 20 – 30 kW/m di Selatan Jawa dan barat Sumatera. Disamping itu, dibutuhkan Kajian Studi Kelayakan (*Feasibility Study*) untuk menganalisis faktor daya dukung teknis sampai perhitungan nilai keekonomisan pada masing-masing Teknologi Konversi Energi Gelombang yang sesuai di perairan Mentawai.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL) atas izinnya untuk melakukan kajian penelitian di Perairan Kabupaten Mentawai, Sumatera Barat. Terimakasih juga disampaikan kepada rekan-rekan PPPGL dan semua pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini.

## DAFTAR ACUAN

- Cornett, A.M., 2008. A Global Wave Energy Resource Assessment. *Proceeding of the 18<sup>th</sup> International Offshore and Polar Engineering Conference*. Vancouver
- Dewi, A., Purwanto, Sugianto, D.N., 2017. Analisis Deformasi Gelombang di Pulau Siberut Kabupaten Kepulauan Mentawai Sumatera Barat, vol 6, No. 2, hal 330 – 340. Departemen Oseanografi, Universitas Diponegoro.
- Falcao, A.F.O., 2009. *Wave energi utilisation: a review of the technologies, Renewable and Sustainable Energi Reviews*, vol. 14, pp. 901.
- Holthuijsen, L.H., 2007. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, Cambridge, Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-86028-4.
- Holthuijsen, L.H., Booij, N and Herbers, T.H.C., 1989. *A prediction model for stationary short-crested waves in shallow water with ambient currents*, Coastal Engineering, 13, 23 – 54.
- Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., and Janssen, P.A.E. M., 1994. *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Lopez, I., Andreu, J., Ceballos, S., Alegria, I. M., and Kortabaria, I., 2013. *Review of Wave Energy Technologies and The Necessary Power Equipment, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 27, pp. 413-433.
- Magagna and Andreas, 2014. *JRC Ocean Energi Status Report - Technology, market and economic aspects of ocean energy in Europe*, Report EUR 26983 EN, European Commission.
- Martono, 2009. Karakteristik dan Variabilitas Bulanan Angin Permukaan di Perairan Samudera Hindia, Makara Sains, hal. 159-161, vol. 13 No. 2, Bidang Pemodelan Iklim, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Bandung, Indonesia.
- Mark, G., Bartsow, S., Kabuth, A., Pontes, T., 2010. *Assessing the Global Wave Energi Potential. Paper presented at the 29<sup>th</sup> International Conference on Ocean, Offshore mechanics and Artics Engineering*, Shanghai.
- MIKE 21 Spectral Waves Module, 2017. DHI Water & Environment, Singapore.
- Muliati, Y., Wurjanto, A., Pranowo, W., S., 2016. *Validation of Altimeter Significant Wave Height Using Wave Gauge Measurement in Pacitan Coastal Waters East Java Indonesia*, IJAER vol. 12, p. 23, India.
- Pontes, M.T., 1998. *Assessing The European Wave Energy Resource*, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, vol. 120, pp. 226 – 231.
- Rodriguez, L., 2008. *Wave Power Conversion Systems for Electrical Energy Production*, RE&PQJ, Vol. 1, No.6, Department of Electrical Engineering, Faculty Science and Technology, University of Lisbon, Portugal.
- Shields, M.A., Woolf, D.K., Grist, E.P.M., Kerr, S.A., Jackson, A. C., Harris, R. E., Bell, M.C., Beharie, R., Want, A., Osalusi, E., Gibb, S. W., and Side, J., 2011. *Marine Renewable Energy: The ecological implications of altering the hydrodynamics of the marine environment*, Ocean and Coastal Management, vol. 54, pp. 2 – 9.
- Silva, D., Rusu, E., and Soares, C., G., 2016. *High Resolution Wave Energy Assessment in Shallow Water Accounting for Tides*, Energies MDPI Journal, p.1.
- Vannucchi, V., Cappiotti, L., 2016. *Wave Energy Assessment and Performance Estimation of State of the Art Wave Energy Converters in Italian Hotspots*, Sustainability, p.5, University of Florence, Italy.
- Wyrтки, K., 1961. *The flow of water into the deep sea of the western south Pasific Ocean*, Aust. J. Mar. Freshw. Res., 12 (1), 1 - 16.
- The Aviso Website. [Online]. <http://www.aviso.altimetry.fr>