



## Global Warming dan Pengaruhnya Terhadap Karakteristik Gelombang Laut di Pantai Timur Pulau Bintan yang Ditinjau dari Perspektif Klimatologi

Dea Jessi Illona <sup>1,\*</sup>, Yales Veva Jaya <sup>1</sup>, Chandra Joei Koenawan <sup>1</sup>, Mario Putra Suhana <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia

\*Corresponding author: -

---

### Abstract

The influence of global warming has impact on physics oceanographic conditions such as rising sea surface temperature (SST). Beside that, the increase of temperature will affect to climate change which also increase the global wind speed so it will have implied for future ocean wave height. In this study aims to determine the characteristics of ocean wave at the east coast Bintan Island. Hind casting of ocean wave start by processing sea surface wind by downloaded from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), data will be extracted through Ocean Data View (ODV) and analyzed by using wind rose. The characteristic of wind used for calculation effective fetch length for referred to Sverdrup Munk Bretschneider (SMB) method. Fluctuation of SST will be compared to ocean wave height. Result of this study showed that there were differences in the character of ocean waves on a small scale between 1985-1989 as the year that rising temperature have not yet assumed significantly and 2001-2005 temperature begin increase intensively. The pattern of ocean wave at the east coast Bintan Island effected by seasonal wind that moves periodically with the two highest wind speed from north and south, along with lowest speed is during the transition.

**Keywords:** Global warming, ocean wave, sea surface temperature, climate

---

### Abstrak

Pengaruh *global warming* berdampak terhadap kondisi oseanografi fisika di laut seperti naiknya suhu permukaan laut (SPL). Selain itu peningkatan suhu juga berpengaruh terhadap perubahan iklim yang akan meningkatkan kecepatan angin global sehingga akan berimplikasi terhadap perubahan ketinggian gelombang laut di masa yang akan datang. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik gelombang pada saat sebelum dan selama *global warming* di pantai timur Pulau Bintan. Tahap peramalan gelombang dimulai dengan melakukan pengolahan data angin yang diunduh dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) kemudian data diekstrak melalui *Ocean Data View* (ODV) dan dianalisis menggunakan *Wind Rose*. Arah dan kecepatan angin digunakan untuk penentuan *fetch* efektif dalam peramalan gelombang yang menggunakan metode Sverdrup Munk Bretschneider (SMB). Selanjutnya menganalisis fluktuasi SPL dan mengkomparasi dengan karakter gelombang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya perbedaan karakter gelombang laut dalam skala kecil antara tahun 1985-1989 sebagai tahun yang diasumsikan belum meningkatnya suhu secara signifikan dan 2001-2005 mulainya peningkatan suhu secara intensif. Pola karakter gelombang di pantai timur Pulau Bintan dipengaruhi oleh arah datangnya angin musiman yang bergerak secara periodik dengan persentase dua puncak tertinggi pada Musim Utara dan Musim Selatan serta persentase terendah pada Musim Peralihan.

**Kata kunci:** Global warming, gelombang laut, suhu permukaan laut, iklim

---

Received : July, 2018  
Accepted : August, 2018  
Published : August, 2018

2086-8049 © The Authors. Published by Dinamika Maritim. This is an open access article which can be access on:  
<http://ojs.umrah.ac.id/index.php/dinamikamaritim>

Selection and peer-review process under responsibility of the Dinamika Maritim Editorial Board

---

**Pendahuluan**

*Global warming* merupakan suatu fenomena peningkatan suhu secara global tiap tahunnya. Tidak hanya terjadi peningkatan suhu di udara namun *global warming* juga berpengaruh terhadap peningkatan suhu di lautan. Peningkatan suhu air laut memberikan pengaruh yang sangat kompleks terhadap berbagai aspek kelautan dan dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung, yang efeknya muncul dalam variasi waktu yang berbeda (Syahailatua 2008).

Menurut Mori (2010), perubahan iklim akibat *global warming* akan meningkatkan kecepatan angin global. Angin merupakan salah satu pembangkit terbentuknya gelombang di laut. Kecepatan angin yang melewati di atas laut akan mengubah karakteristik gelombang laut tersebut. Prinsip terjadinya pembangkitan gelombang laut oleh angin adalah perpindahan energi dari angin ke air lewat permukaan air (Holthuisen 2007). Hal ini menyebabkan akan adanya perubahan ketinggian gelombang laut di masa yang akan datang. Beberapa dampak yang ditimbulkan akibat pemanasan global terhadap kawasan laut dan pesisir diantaranya adalah badai tropis besar yang dapat membangkitkan gelombang tinggi (Fitriah et al 2013).

Perubahan karakteristik gelombang laut dapat menjadi suatu elemen yang layak untuk dipertimbangkan sebagai informasi yang dibutuhkan dalam menunjang segala aktivitas yang ada di laut. Salah satunya adalah perairan pantai timur di Pulau Bintan. Perairan Pantai Bintan ini memiliki beberapa peran penting dalam membantu meningkatkan devisa daerah.

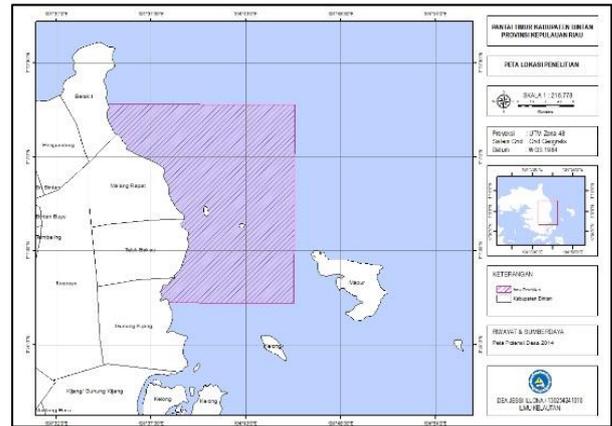
Berdasarkan informasi yang telah dipaparkan sebelumnya maka diperlukan kajian gelombang laut di daerah penelitian yaitu di pantai timur Pulau Bintan, sehingga dampak yang akan datang dapat dicegah atau diminimalisir seefisien mungkin, dengan mengingat banyaknya berbagai potensi dari segi sektor kelautan.

Masih minimnya penelitian mengenai *global warming* yang dilihat dari segi faktor yang berbeda yaitu seperti ditinjau melalui karakteristik gelombang laut. Hal tersebut seharusnya menjadi suatu kajian yang perlu dilakukan, melihat kondisi Indonesia yang merupakan daerah pesisir.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengkaji pola karakteristik gelombang laut berdasarkan periode pra dan selama *global warming*, sehingga didapat memperoleh informasi yang lebih mendetail mengenai variasi karakter gelombang laut di pantai timur Pulau Bintan pada saat terjadinya fenomena *global warming*.

**Metode**

Lokasi penelitian berada di pantai timur Pulau Bintan yang disajikan pada Gambar 1.



**Gb. 1.** Lokasi penelitian

Penelitian ini menggunakan data suhu dan data angin yang diunduh dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)* dengan memilih resolusi  $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ . Data yang diperoleh dari ECMWF merupakan data hasil reanalisis dan interpolasi data meteorologi yang diperoleh dari berbagai pusat data pengamatan dan parameter meteorologi dunia (Zulfikar et al 2018).

Data ECMWF berformat *NetCDF (Network Common Data Form)* sehingga diperlukannya konversi data menjadi format *Text* dengan cara mengekstrak melalui *software Ocean Data View (ODV)*.

Peramalan gelombang dimulai dari tahap pengolahan data angin harian untuk mendapatkan karakteristik angin yang berupa arah dan kecepatan. Angin yang berhembus di darat dikonversi menjadi angin yang berhembus di laut dengan menggunakan persamaan berikut mengacu pada USACE (2003):

$$U_A = 0.71(U)^{1.23}$$

Dimana

$U_A$  = Wind stress factor (m/s)

$U$  = Kecepatan angin hasil koreksi stabilitas (m/s)

Setelah mendapatkan data arah dan kecepatan angin selanjutnya dilakukan analisis menggunakan *software WRPlot* dengan menampilkan secara spasial melalui mawar angin (*wind rose*) dengan menginput: tahun, bulan, tanggal, jam, serta arah dan kecepatan angin.

Hasil pengolahan data angin, selanjutnya digunakan untuk menghitung panjang *fetch* efektif dalam menentukan titik awal pembangkitan gelombang di laut dalam.

Dengan menarik garis lurus dari titik awal penentuan *fetch* ke delapan arah mata angin utama. Setiap garis yang ditarik satu-persatu akan membentuk penyimpangan sudut sebesar  $5^\circ$ . Pengambilan setiap sudut  $5^\circ$  dilakukan mengingat bahwa angin bertiup dari segala arah. Pengukuran garis *fetch* ditarik hingga menyentuh daratan

terdekat. Jika panjang *fetch* efektif >200 km maka panjang *fetch* efektif yang digunakan adalah 200 km disebabkan kecepatan angin konsisten hanya sejauh ≤200 km.

Panjang *fetch* efektif dihitung menggunakan persamaan berikut mengacu pada USACE (2003):

$$F_{eff} = \frac{\sum xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

Dimana

- $F_{eff}$  = Panjang *fetch* efektif (m)
- $xi$  = Panjang *fetch* selang 5° (m)
- $A$  = Sudut antara arah yang ditinjau dengan garis *fetch* (°)

Penentuan titik *fetch* akan digunakan dalam proses *hind casting* gelombang laut yang diletakan pada area kedalaman ≥20 m. Sehingga gelombang yang terbentuk sepenuhnya akibat dari gesekan langsung oleh energi angin.

Titik *fetch* diletakan pada koordinat 1°05'20.4"N dan 104°44'42.0"E di kedalaman laut 20 m. Setelah itu dilakukan penarikan garis *fetch* setiap interval 5° hingga didapatkan perhitungan dari delapan arah angin utama sebagai berikut:

**Tb. 1.** *Fetch* efektif di pantai timur Pulau Bintan

Arah	$F_{eff}$ (km)
Utara	1754.65
Timur Laut	1754.65
Timur	1754.65
Tenggara	818.05
Selatan	767.42
Barat Daya	126.73
Barat	109.47
Barat Laut	1060.09

*Fetch* efektif untuk pembangkitan gelombang laut di pantai timur Pulau Bintan berasal dari arah: Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan dan Barat Laut.

Setelah didapatkan data arah dan kecepatan angin serta panjang *fetch* efektif, maka tahap selanjutnya yaitu mengolah data peramalan gelombang laut dengan menggunakan metode SMB (Sverdrup Munk Bretschneider):

$$\frac{gt_d}{U_A} = 68.8 \left( \frac{gF_{eff}}{U_{A^2}} \right)^{2/3} \leq 7.15 \times 10^4$$

Dimana

- $t_d$  = Durasi angin bertiup (s)
- $U_A$  = Wind stress factor (m/s)
- $F_{eff}$  = Panjang *fetch* efektif (m)
- $g$  = Percepatan gravitasi Bumi = 9.81 m/s<sup>2</sup>

Jika hasil yang didapat tidak memenuhi persamaan tersebut maka gelombang yang terjadi merupakan hasil pembentukan gelombang sempurna. Sehingga perhitungan tinggi dan periode menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_{m0} = 0.2433 \times \frac{U_{A^2}}{g}$$

$$T_p = 8.134 \times \frac{U_A}{g}$$

Dimana

- $H_{m0}$  = Tinggi gelombang (m)
- $T_p$  = Periode puncak gelombang
- $U_{A^2}$  = Wind stress factor (m/s)
- $G$  = Percepatan gravitasi Bumi = 9.81 m/s<sup>2</sup>

Namun jika hasil analisa memenuhi persamaan di atas, maka gelombang yang terjadi merupakan hasil pembentukan gelombang yang tidak sempurna. Pembentukan gelombang yang tidak sempurna ini terbentuk karena dua hal yaitu: pembentukan gelombang terbatas oleh *fetch* (*fetch limited*) dan terbatas durasi (*duration limited*). Untuk mengetahui perbedaannya perlu dilakukan perhitungan durasi kritis ( $t_c$ ) terlebih dahulu sebagai berikut:

$$t_c = \frac{68.8 \times U_A}{g} \left( \frac{g \times F_{eff}}{U_{A^2}} \right)^{2/3}$$

Dimana

- $t_c$  = Durasi kritis
- $F_{eff}$  = Panjang *fetch* efektif (m)
- $U_{A^2}$  = Wind stress factor (m/s)
- $g$  = Percepatan gravitasi Bumi = 9.81 m/s<sup>2</sup>

Jika  $t_d > t_c$  maka gelombang yang terjadi merupakan gelombang hasil pembentukan terbatas oleh *fetch* (*fetch limited*). Perhitungan tinggi dan periode gelombang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H_{m0} = 0.0016 \times \frac{U_{A^2}}{g} \left( \frac{gF}{U_{A^2}} \right)^{1/2}$$

$$T_p = 0.2857 \times \frac{U_A}{g} \left( \frac{gF}{U_{A^2}} \right)^{1/3}$$

Jika gelombang yang terjadi merupakan gelombang hasil pembentukan terbatas oleh durasi. Pada pembentukan ini, durasi angin yang bertiup tidak cukup lama.  $F_{eff}$  diganti menjadi  $F_{min}$ , dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

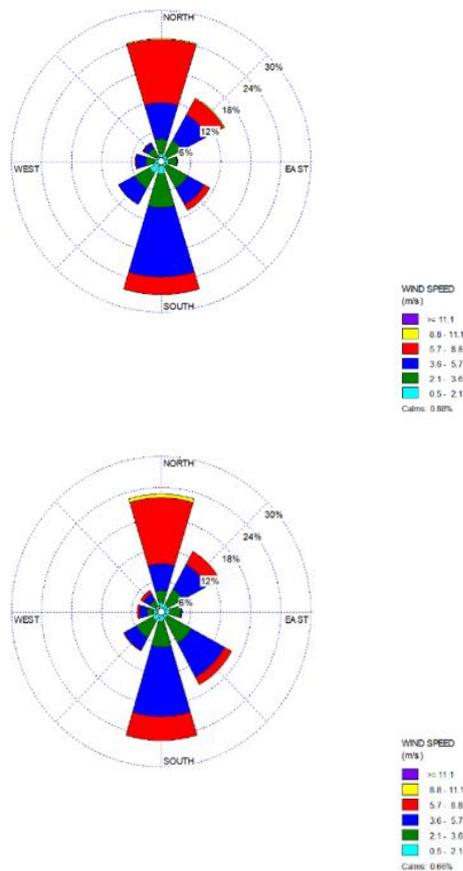
$$F_{min} = \frac{U_A^2}{g} \left( \frac{gt_d}{68.6 U_{A^2}} \right)^{3/2}$$

Data Suhu Permukaan Laut (SPL) dibutuhkan sebagai indikator ada atau tidaknya peningkatan suhu akibat *global warming* secara regional di wilayah penelitian. Data SPL dapat diunduh di *European Centre for Medium-Range Weather*

Forecasts (EMCWF). Selanjutnya data suhu dikonversi dari °F menjadi °C dan dianalisis menggunakan *Microsoft Excel* sehingga didapat fluktuasi SPL di perairan pantai timur Pulau Bintan.

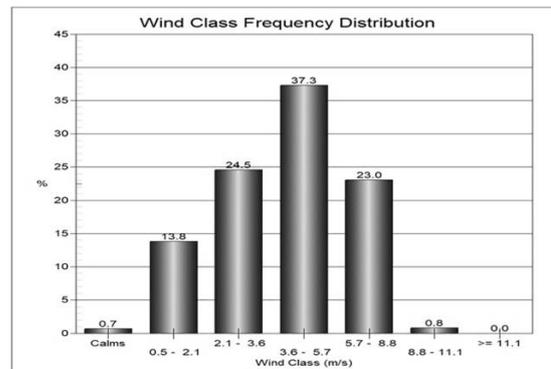
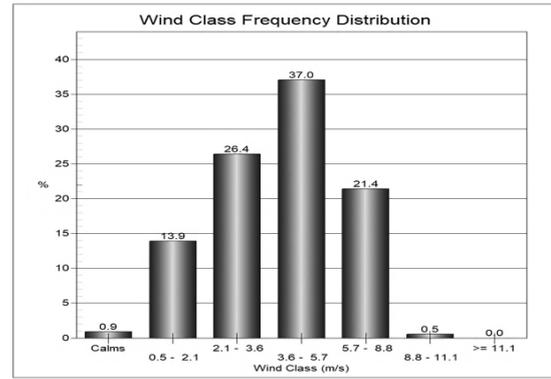
**Hasil dan Pembahasan**

Waktu yang diperlukan untuk mengetahui karakteristik angin pada periode pra dan selama *global warming* berlangsung ditinjau dari komparasi dua kelompok tahun yang berbeda yaitu tahun 1985-1989 dan 2001-2005. Adapun hasil analisis data arah dan kecepatan angin dapat dilihat pada *wind rose* di bawah.



**Gb. 3.** *Wind rose*: atas: tahun 1985-1989; bawah: 2001-2005

Distribusi arah dan kecepatan angin didominasi dari arah utara dan arah selatan pantai timur Pulau Bintan. Hal ini dikarenakan Indonesia diapit oleh dua benua yaitu Benua Asia dan Benua Australia, sehingga pola angin yang dominan adalah pola angin muson (musim) yang bergerak secara periodik (*Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap 2010*).

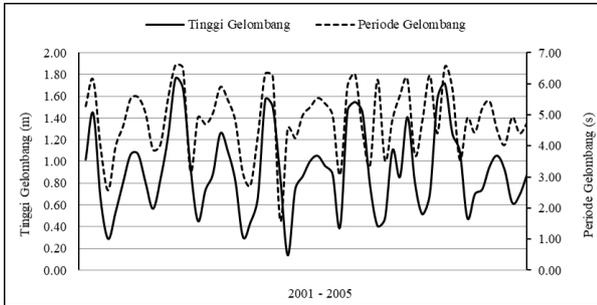
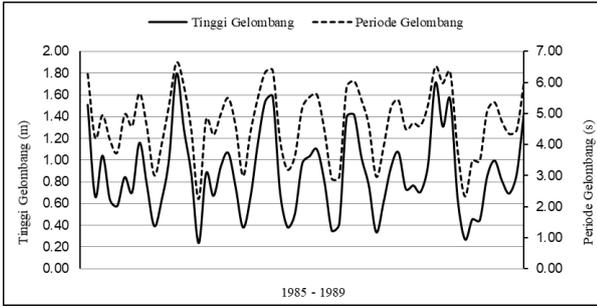


**Gb. 4.** Distribusi frekuensi kemunculan angin, atas: tahun 1985-1989; bawah: tahun 2001-2005

Pada gambar di atas, dua kelompok tahun yang berbeda memiliki frekuensi kecepatan angin yang sama yaitu berkisar pada kecepatan 3.6-5.7 m/s sebesar 37.0-37.3%. Menurut Skala Beaufort kecepatan angin yang berkisar pada angka tersebut masuk ke dalam kategori di antara *gentle breeze* dan *moderate breeze* yakni sebagai angin yang berkekuatan sedang dengan pembentukan gelombang laut 0.6-1.5 m.

Dari hasil analisis di atas tinggi gelombang maksimum yang terjadi pada tahun 1985-1989 adalah 2.69m dengan periode 7.68s dan tinggi gelombang signifikannya adalah 0.88 m dengan periode 4.70s. Sedangkan tahun 2001-2005 tinggi gelombang maksimum adalah 2.67m dengan periode 7.66s dan tinggi gelombang signifikan adalah 0.92m dengan periode 4.83s.

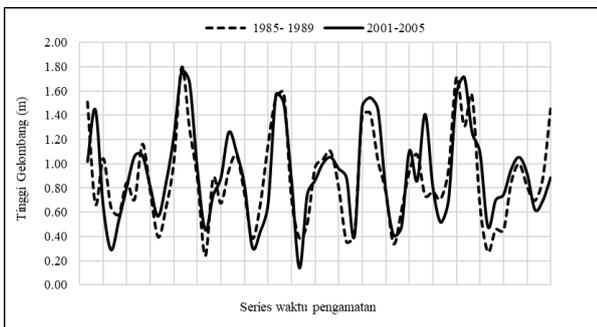
Korelasi antara tinggi gelombang serta periode berbanding lurus, Semakin tinggi gelombang maka membutuhkan durasi yang lebih lama. Seperti yang dikatakan oleh Triadmodjo (1999) bahwa semakin besar durasi maka akan semakin tinggi gelombang yang terbentuk, karena durasi ini mencukupi untuk mentransmisikan energi ke permukaan air sehingga terbentuklah gelombang.



**Gb. 5.** Tinggi dan periode gelombang: atas: tahun 1985-1989; bawah: 2001-2005

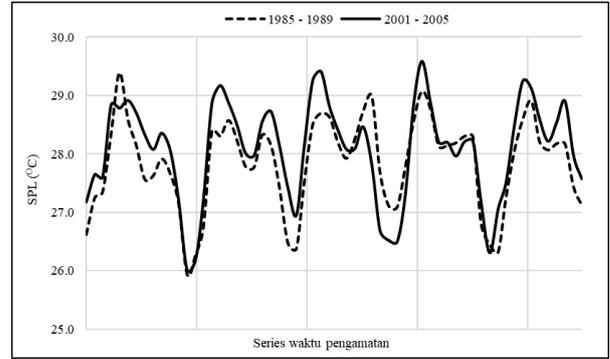
Secara umum pola grafik tinggi gelombang laut pada dua selang waktu yang berbeda terlihat hampir sama, tidak adanya perubahan tinggi gelombang secara signifikan atau drastis. Perbedaan tinggi gelombang laut rata-rata antara tahun 1985-1989 dan 2001-2005 hanya memiliki selisih 0.04m. Secara linear rerata tinggi gelombang terlihat adanya cenderung peningkatan setiap tahun.

Pada tahun 1985-1989 tinggi gelombang sebesar 0.88m dan meningkat menjadi 0.93m di tahun 2001-2005.



**Gb. 6.** Perbandingan tinggi gelombang

Grafik fluktuasi temporal suhu rata-rata yang terjadi di pantai timur Pulau Bintan disajikan pada gambar di bawah. Fluktuasi ini disebabkan oleh adanya variasi angin musiman yang melewati wilayah perairan tersebut.



**Gb. 7.** Fluktuasi SPL 1985-1989 dan 2001-2005

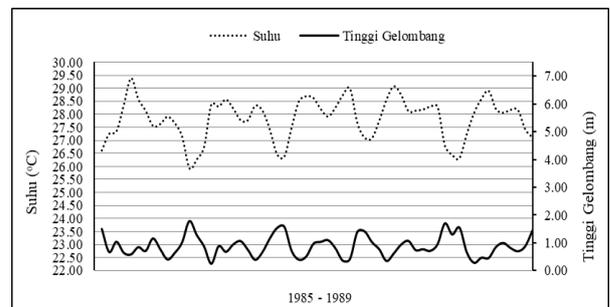
**Tb. 2.** SPL tahun 1985-1989 dan 2001-2005

	Suhu <sub>max</sub>	Suhu <sub>avg</sub>	Suhu <sub>min</sub>
1985-1989	29.4	0.88	25.9
2001-2005	29.6	0.92	26.0

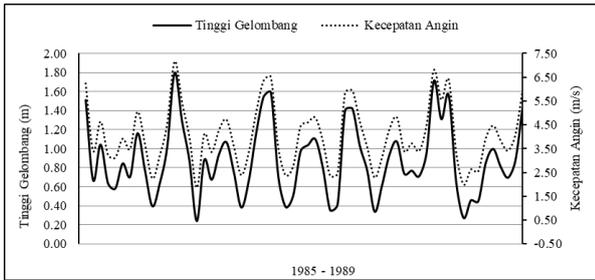
Berdasarkan Tabel 2 hasil analisis data SPL maksimum sebesar 29.4°C ditahun 1985-1989 dan pada tahun 2001-2005 sebesar 29.6°C. Serta SPL minimum yang terjadi pada tahun 1985-1989 adalah 25.9°C dan 26.0°C ditahun 2001-2005. Selanjutnya SPL rata-rata tahun 1985-1989 adalah 0.88°C dan meningkat menjadi 0.92°C ditahun 2001-2005. Jadi secara umum adanya peningkatan suhu pada dua kelompok data, meskipun hanya dalam skala kecil.

Penelitian Zulfikar et al (2017) diperoleh nilai SPL diperairan Pulau Bintan pada tahun 2016 nilai suhu berkisar antara 27.04°C-30.21°C. Sedangkan SPL tahun 1985-1989 kisaran antara 25.9°C- 29°C. Sehingga didapati adanya peningkatan suhu seiring bertambahnya tahun.

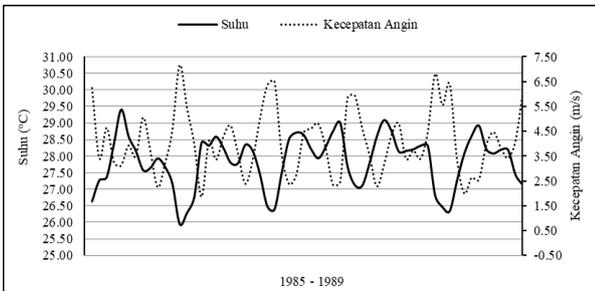
Korelasi antara pola grafik SPL dan tinggi gelombang laut dibawah berbanding terbalik. Pada saat suhu rendah kekuatan angin yang berhembus kencang maka akan terbentuk gelombang tinggi.



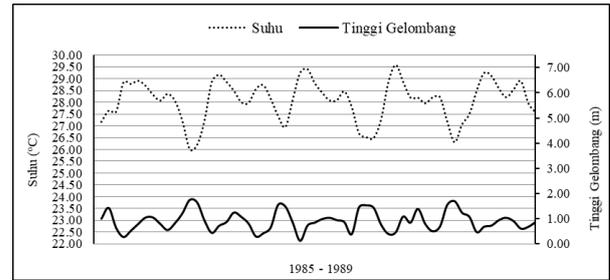
**Gb. 8.** Tinggi gelombang dan SPL 1985-1989



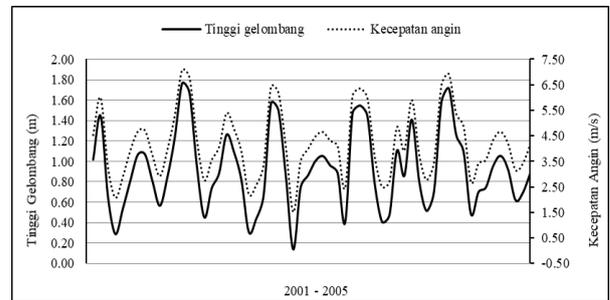
**Gb. 9.** Tinggi gelombang dan kecepatan angin 1985-1989



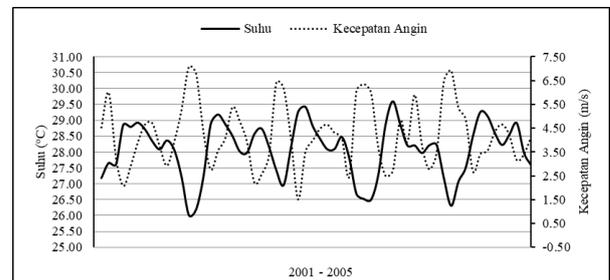
**Gb. 10.** SPL dan kecepatan angin 1985-1989



**Gb. 11.** Tinggi gelombang dan SPL 2001-2005



**Gb. 12.** Tinggi gelombang dan kecepatan angin 2001-2005



**Gb. 13.** SPL dan kecepatan angin 2001-2005

Fenomena ini terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari saat sedang mengalami Musim Utara dan juga pada saat Musim Selatan di bulan Juni, Juli dan Agustus. SPL minimum yang terjadi pada tahun 1985-1989 adalah 25.9°C dengan tinggi gelombang maksimum 2.69m dan pada tahun 2001-2005 suhu minimum adalah 26.0°C dengan tinggi gelombang maksimum 2.67m.

Musim Utara diketahui sebagai musim dingin atau musim hujan, dikarenakan angin yang berhembus dari Benua Asia menuju Benua Australia menyerap banyaknya uap air ketika melewati luasnya lautan. Sehingga suhu permukaan laut (SPL) di pantai timur Pulau Bintan menjadi rendah.

Selanjutnya suhu rendah juga berada pada Musim Selatan. Hembusan angin berasal dari Benua Australia yang bertekanan tinggi menuju sel tekanan rendah di Benua Asia, tidak seperti Musim Utara yang membawa banyak uap air, Angin musim selatan yang bertiup cenderung kering disebabkan angin melewati daerah gurun yang luas di bagian utara Benua Australia. Hembusan angin ini menyebabkan penurunan SPL di perairan pantai timur Pulau Bintan. Namun angin yang berasal dari selatan tidak memiliki suhu serendah pada Musim Utara. Jadi secara umum, tinggi gelombang maksimum pada periode Muson Australia lebih rendah dibandingkan tinggi gelombang maksimum pada periode Muson Asia (Sofian et al 2011).

Suhana et al (2018), menyatakan bahwa arah datang angin mempengaruhi pola gelombang laut di pantai timur Pulau Bintan.

Pada saat suhu tinggi gelombang mengalami penurunan ketinggian. Fenomena tersebut terjadi pada bulan Maret, April dan Mei saat mengalami Musim Peralihan I dan juga Musim Peralihan II di bulan September, Oktober dan November. Pada masa peralihan ini posisi matahari berada di sekitar wilayah ekuator, dengan demikian gradien suhu antara Asia dan Australia tidak besar sehingga kecepatan aliran angin dari kedua benua yang melintasi Indonesia rendah (Kurniawan 2011). Pola arah angin yang saling bertabrakan dan tidak konsisten selama pergantian musim ini berimplikasi terhadap sulitnya pembentukan gelombang tinggi.

### Simpulan

Berdasarkan pengolahan data gelombang laut pada dua komponen waktu yang berbeda melalui pendekatan suhu didapati adanya perbedaan karakter gelombang dalam skala kecil di kedua waktu tersebut. Namun perubahan ini tidak terjadi secara drastis atau signifikan. Kenaikan suhu menyebabkan perubahan iklim yang mempengaruhi pola kecepatan angin dan selanjutnya akan berimplikasi kepada peningkatan tinggi gelombang laut.

## Referensi

- Fitriah N, Zikra M, Suntoyo. 2013. Hind casting gelombang menggunakan data angin dari MRIJMA (Meteorology Research Institute/Japan Meteorology Agency) dalam kurun waktu 1989 – 2003. *Teknik Publikasi Online Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. 1(1): 1-8.
- Holthuijsen LH. 2007. *Wave in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press. New York.
- [ICSSR] Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap. 2010. *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap: Marine and Fishery Sector*. Kementerian PPN/Bappenas. Indonesia.
- Kurniawan R, Habibie MN, Suratno. 2011. Variasi Bulanan gelombang laut di Indonesia. *Meteorologi dan Geofisika*. 12(3): 221-232.
- Mori N, Yasuda T, Mas H, Tom T, Oku Yuichiro. 2010. Projection of extreme wave climate change under global warming. *Hydrological Research*. 4: 15-19.
- Sofian I, Supangat A, Fitriyanto MS, Kurniawan R. 2011. Memahami dan mengantisipasi dampak perubahan iklim pada pesisir dan laut di Indonesia bagian timur. *Meteorologi dan Geofisika*. 12(1): 53-64.
- Suhana MP, Nurjaya IW, Natih NMN. 2018. Karakteristik gelombang laut pantai timur Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau tahun 2005-2014. *Dinamika Maritim*. 6(2): 16-19.
- Syahailatua A. 2008. Dampak perubahan iklim terhadap perikanan. *Oseana*. 33(2): 25-32.
- Triatmodjo B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- [USACE] United States Army Corps of Engineers. 2003. *Meteorology and Wave Climate Part II*. US Army Corps of Engineers. Washington DC.
- Zulfikar, Jaya YV, Pratomo A, Putra RD, Suhana MP. 2018. Variabilitas spasial suhu permukaan laut Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau pada empat musim berbeda. *Dinamika Maritim*. 6(2): 12-15.