

# Identifikasi Kejadian Gelombang Ekstrem di Perairan Laut Indonesia Menggunakan Data Multi Satelit Altimetri

Sartono Marpaung, Nanin Anggraini, dan Maryani Hartuti

## Abstrak

*Wilayah Indonesia sebagian besar terdiri dari perairan laut dan banyak kegiatan ekonomi dan perdagangan menggunakan sarana laut. Tingkat keselamatan di laut umumnya ditinjau dari kondisi gelombang laut. Berdasarkan ketinggian, sebagian dari gelombang laut yang terjadi disebut gelombang ekstrem. Untuk mengidentifikasi kejadian gelombang ekstrem di perairan laut Indonesia dan sekitarnya digunakan fungsi distribusi kumulatif. Hasil analisis data menunjukkan bahwa nilai ambang batas kejadian gelombang ekstrem berdasarkan tinggi gelombang signifikan tahun 2010 sampai 2013 adalah 100 sampai 400 cm. Nilai ambang batas yang tinggi terdapat di perairan laut Samudera Hindia, Laut Cina Selatan, dan sebelah utara Papua. Di perairan laut antar pulau nilai ambang batas lebih rendah. Nilai ambang batas yang tinggi diduga akibat pengaruh dari dinamika perairan laut terbuka. Jumlah kejadian gelombang ekstrem pertahun antara 1 sampai 12 kejadian. Selama periode pengamatan total kejadian gelombang ekstrem berkisar 4 sampai 20 kejadian. Gelombang ekstrem lebih sering terjadi di bagian selatan wilayah kajian dibandingkan dengan bagian utara, akibat pengaruh dinamika Samudera Hindia. Di perairan laut antar pulau,*

*gelombang ekstrem sebagian besar terjadi di perairan laut bagian Indonesia timur. Total kejadian gelombang ekstrem pada seluruh wilayah kajian dari tahun 2010 sampai 2013 mengalami peningkatan yang signifikan diduga akibat kejadian cuaca ekstrem yang sering terjadi.*

**Kata Kunci:** *tinggi gelombang signifikan, altimetri, ekstrem, dan kumulatif*

## *Abstract*

*Indonesian region composed mostly of marine waters and many economic and trade activities using the sea medium. Safety level at sea generally in terms of the condition of the ocean waves. Based on altitude, most of the ocean waves that are called extreme waves. To identify extreme wave events in the sea waters of Indonesia and surrounding used the cumulative distribution function. The results of the data analysis showed that the threshold value of extreme wave events based on the significant wave height from 2010 to 2013 is 100 to 400 cm. The high threshold value was found in the waters of the Indian Ocean, South China Sea and side the north of Papua. In marine waters between islands the threshold values is lower. High thresholds value due to the influence of dynamics the open ocean waters. The number of extreme wave events per year ranging from 1 to 12 events. During the observation period the total occurrence ranged from 4 to 20 events. The extreme waves are more common in the southern part of the study compared to the northern, due to the influence of the dynamics of the Indian Ocean. In marine waters between islands, extreme waves mostly occur in marine waters of eastern Indonesia. The total event of extreme waves in the entire study area from 2010 to 2013 have a significant increase allegedly caused by extreme weather events that often occur.*

**Keywords:** *significant wave height, altimetry, extreme, and cumulative*

# 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya adalah perairan laut. Banyak kegiatan ekonomi dan perdagangan yang dilakukan oleh masyarakat menggunakan sarana laut. Semua kegiatan yang berkaitan dengan sarana laut sangat sensitif terhadap perubahan akibat fenomena yang terjadi di permukaan laut. Salah satu dari fenomena tersebut adalah gelombang laut (Ramlan, 2012). Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk grafik sinusoidal (Sutirto dan Trisnoyuwono, 2014). Gelombang laut memiliki tiga unsur penting, yaitu: panjang, tinggi, dan periode gelombang. Panjang gelombang adalah jarak mendatar antara dua puncak atau antara dua lembah yang berurutan. Tinggi gelombang adalah jarak tegak lurus antara puncak dengan lembah yang berdekatan. Periode gelombang adalah waktu yang diperlukan melintasi dua puncak atau dua lembah yang berurutan. Ukuran besar kecilnya gelombang laut umumnya ditentukan berdasarkan tinggi gelombang (Ian, 2010). Tinggi gelombang sangat bervariasi dari ukuran sentimeter sampai puluhan meter. Analisis variasi tinggi gelombang secara temporal biasanya didasarkan pada perbedaan musim (Mulyadi *et al.*, 2015). Variasi spasial dan temporal tinggi gelombang dan frekuensi terjadinya gelombang tinggi mempunyai pola yang berasosiasi dengan siklus angin monsun (Kurniawan, 2012). Gelombang laut merupakan fenomena alam yang sangat memengaruhi efisiensi dan keselamatan berbagai kegiatan di laut.

Menurut data kecelakaan di perairan laut Indonesia, tahun 2007 terjadi 159 kecelakaan dan tahun 2008 sebanyak 45 kecelakaan. Ditinjau dari penyebabnya sebagian besar diakibatkan oleh perancangan dan pembuatan sarana kelautan yang belum optimal sehingga kapal tidak mampu berlayar pada saat terjadi kondisi ekstrem yaitu munculnya gelombang ekstrem akibat perubahan cuaca yang mendadak. Gelombang ekstrem dominan terjadi pada bulan basah (Hadikusumah, 2009).

Gelombang ekstrem bukan gelombang tsunami, melainkan gelombang laut yang memiliki ketinggian empat meter atau lebih (Nusantara, 2009). Banyak terjadi kecelakaan transportasi di laut disebabkan oleh kejadian gelombang ekstrem. Mengingat negara kita sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, informasi tentang tinggi gelombang dan kondisi ekstrem dari gelombang tersebut di perairan laut Indonesia sangat diperlukan. Hal tersebut dapat digunakan sebagai patokan dalam merencanakan dan melakukan kegiatan di bidang transportasi laut dan perikanan (Kurniawan *et al.*, 2011).

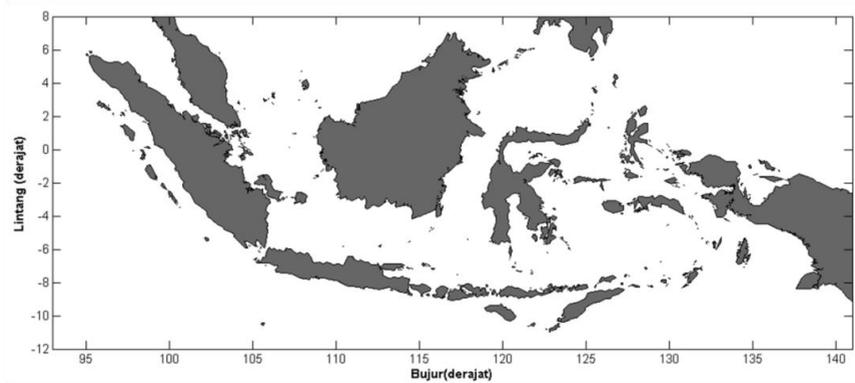
Sehubungan dengan hal-hal yang telah diuraikan dan didukung oleh ketersediaan data hasil pemantauan multi satelit altimetri (Jason-2, Cryosat-2, dan Saral) yaitu data tinggi gelombang signifikan, dalam penelitian ini dilakukan kajian untuk mengidentifikasi kejadian gelombang ekstrem. Tujuannya untuk mengetahui nilai ambang batas kejadian gelombang ekstrem berdasarkan ketinggian gelombang dan kejadian-kejadian gelombang ekstrem di perairan laut Indonesia dan sekitarnya.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Data dan Lokasi Penelitian

Sebagai bahan analisis pada penelitian ini digunakan data tinggi gelombang signifikan atau *Significant Wave Height* yang diunduh dari <ftp://aviso.oceanobs.com/>. Data tersebut merupakan hasil pemantauan multi satelit altimetri: Jason-2, Cryosat-2, dan Saral. Periode data yang digunakan dari tahun 2010 sampai 2013. Data tersebut memiliki resolusi spasial  $1^\circ \times 1^\circ$  dan resolusi temporal harian. Wilayah penelitian adalah perairan laut Indonesia dan sekitarnya dengan batas zonal  $93^\circ$  sampai  $141^\circ$  bujur timur dan batas meridional  $12^\circ$  lintang selatan sampai  $8^\circ$  lintang utara, seperti ditampilkan dalam Gambar 2.1.

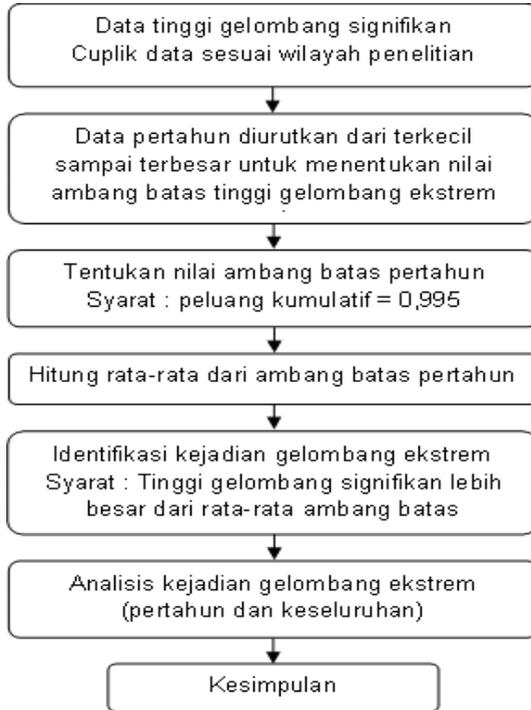
## Identifikasi Kejadian Gelombang Ekstrem di Perairan Laut Indonesia Menggunakan Data Multi Satelit Altimetri



Gambar 2.1. Cakupan wilayah penelitian  
(Sumber: Dicuipik dari peta global yang terdapat di Matlab)

### 2.2. Metode Analisis Data

Dalam mengidentifikasi kejadian gelombang ekstrem digunakan diagram alir penelitian sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram alir penelitian

Fungsi distribusi kumulatif dapat digunakan untuk menentukan nilai ambang batas kejadian ekstrem dengan persamaan peluang kumulatif (algoritma 2-1)

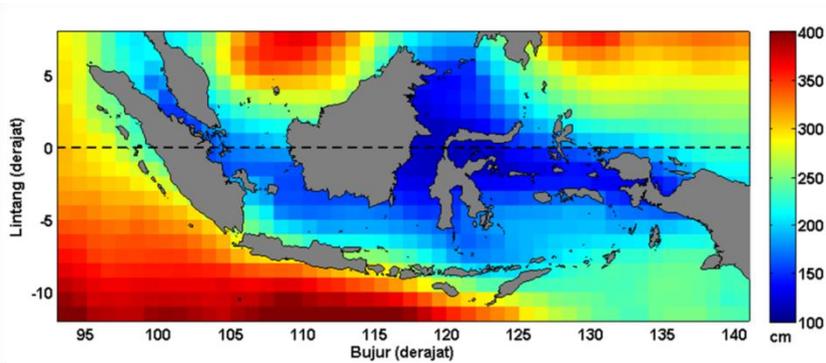
$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x) dx \dots\dots\dots (2-1)$$

- x = tinggi gelombang signifikan
- a = tinggi gelombang signifikan terendah
- b = tinggi gelombang signifikan tertinggi

Nilai ambang batas kejadian gelombang ekstrem ditentukan berdasarkan tinggi gelombang. Untuk menghitung peluang kumulatif, data tinggi gelombang signifikan dalam setahun diurutkan dari terendah sampai tertinggi. Peluang kumulatif kejadian gelombang laut dalam setahun sama dengan satu. Ambang batas kejadian gelombang ekstrem syaratnya peluang kumulatif mencapai 0,995 (Marpaung *et al.*, 2012). Tinggi gelombang pada peluang tersebut merupakan nilai ambang batas kejadian gelombang ekstrem pada tahun tersebut. Ambang batas dari setiap tahun pengamatan dirata-ratakan dan nilai rata-rata tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kejadian gelombang ekstrem pertahun. Tinggi gelombang signifikan yang lebih besar dari nilai rata-rata ambang batas merupakan kejadian gelombang ekstrem. Analisis berikutnya ditentukan jumlah kejadian gelombang ekstrem pertahun dan total kejadiannya selama periode pengamatan secara spasial. Selanjutnya ditentukan bentuk deret waktu tahunan dari total kejadian gelombang ekstrem yang terjadi pada wilayah penelitian.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan analisis data tinggi gelombang signifikan dari data hasil pemantauan satelit altimetri, diperoleh nilai ambang batas berdasarkan ketinggian gelombang untuk mengidentifikasi kejadian gelombang ekstrem (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Nilai ambang batas tinggi gelombang ekstrem

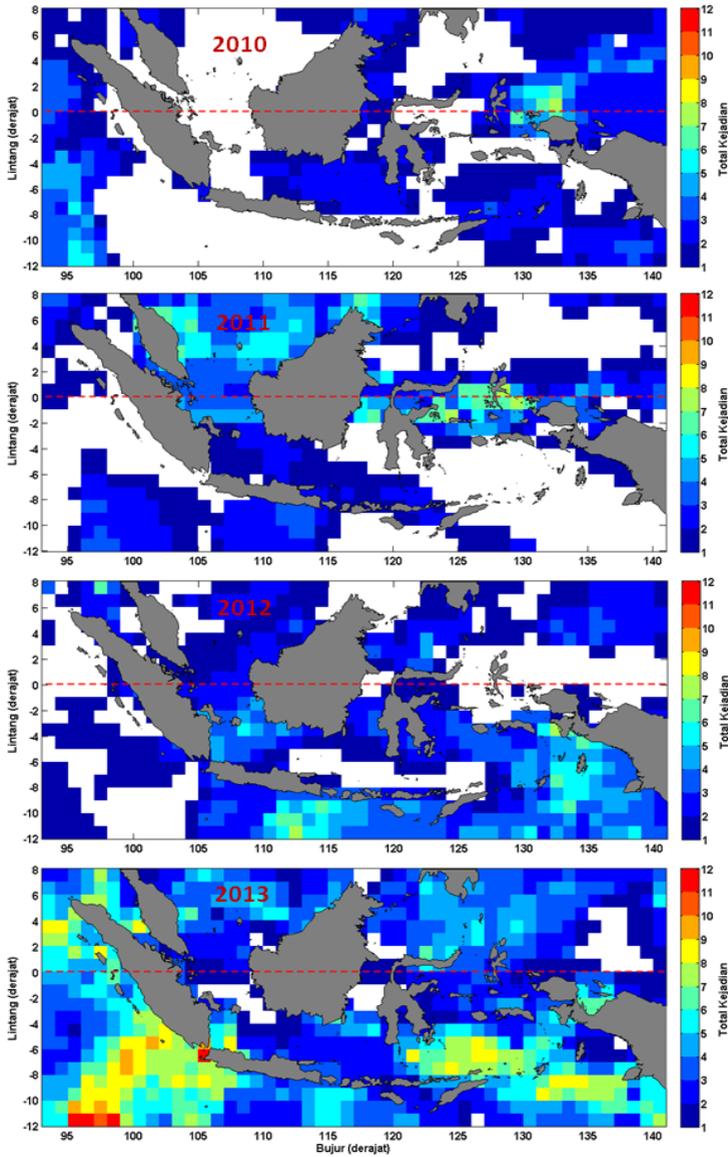
Hasil pada Gambar 3.1 menampilkan nilai ambang batas tinggi gelombang ekstrem berdasarkan data tahun 2010 sampai 2013. Nilai ambang batas gelombang ekstrem di perairan laut Indonesia dan sekitarnya berkisar antara 100 sampai 400 cm. Ambang batas yang tinggi antara 300 sampai 400 cm pada umumnya terdapat di perairan laut terbuka. Sebagian besar ambang batas yang tinggi terdapat di perairan laut sebelah selatan Samudera Hindia, Laut Cina Selatan, dan sebelah utara Papua. Nilai ambang batas gelombang ekstrem di perairan laut antar pulau lebih rendah dibandingkan dengan perairan laut terbuka. Perairan laut dengan nilai ambang batas yang tinggi menunjukkan bahwa tinggi gelombang laut yang terjadi pada wilayah tersebut memiliki variasi-variasi yang tinggi. Hal tersebut diduga akibat pengaruh dari sirkulasi perairan laut terbuka yang mempunyai dinamika skala besar dengan variabilitas yang tinggi. Perairan laut antar pulau di Indonesia pada umumnya memiliki nilai ambang batas yang lebih rendah. Nilai ambang batas terendah terdapat di perairan laut antara Pulau Kalimantan dengan Pulau Sulawesi dan perairan laut sekitar Kepulauan Maluku. Berdasarkan posisi lintang, perairan laut antarpulau yang dekat dengan ekuator memiliki ambang batas yang lebih rendah dan semakin jauh dari ekuator nilai ambang batasnya semakin meningkat. Hal tersebut menunjukkan gelombang laut di perairan antarpulau memiliki

Identifikasi Kejadian Gelombang Ekstrem di Perairan Laut Indonesia  
Menggunakan Data Multi Satelit Altimetri

tinggi dengan variabilitas yang rendah karena terlindung oleh daratan sehingga pengaruh dari sirkulasi perairan luas menjadi berkurang atau bahkan tidak ada pengaruhnya sama sekali.

Nilai ambang batas tinggi gelombang yang diperoleh digunakan sebagai syarat batas untuk mengidentifikasi kejadian gelombang ekstrem per-tahun selama periode pengamatan, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.2.

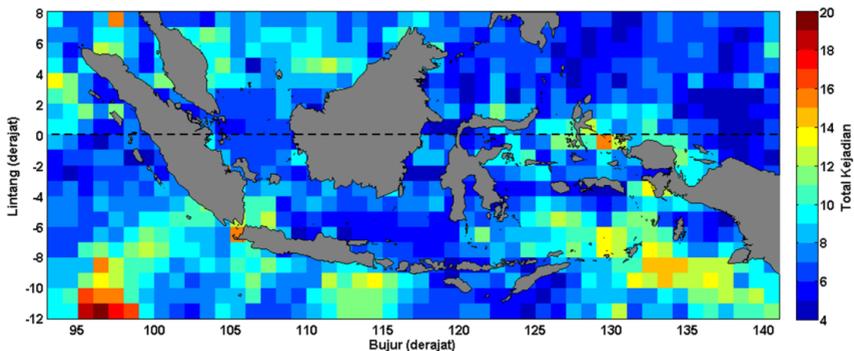
Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Wilayah Pesisir dan Laut



Gambar 3.2 Jumlah kejadian gelombang ekstrem per tahun

Identifikasi Kejadian Gelombang Ekstrem di Perairan Laut Indonesia  
Menggunakan Data Multi Satelit Altimetri

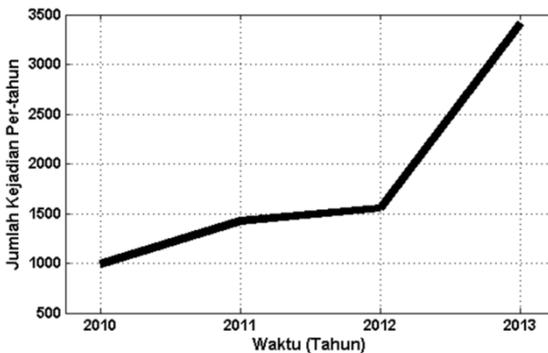
Gambar 3.2 menunjukkan jumlah kejadian gelombang ekstrem secara spasial dan temporal dari tahun 2010 sampai 2013. Jumlah kejadian gelombang ekstrem pertahun berkisar antara 1 sampai 12 kejadian. Laut warna putih menunjukkan di wilayah tersebut tidak terjadi gelombang ekstrem. Tahun 2010 sebagian besar kejadian gelombang ekstrem di bagian barat terdapat di sebelah barat Pulau Sumatera dan di bagian timur terjadi di sebelah selatan dan utara Papua). Hanya sebagian kecil kejadian gelombang ekstrem terjadi di perairan laut antar pulau. Pada tahun 2011 kejadian gelombang ekstrem mengalami pergeseran lokasi kejadian dibandingkan tahun 2010. Kejadian gelombang ekstrem sebagian besar terjadi di wilayah ekuator dan bagian utara. Tahun 2012 kejadian gelombang ekstrem dominan terjadi di bagian selatan yaitu sebelah selatan Pulau Jawa dan Papua. Tahun 2013 hampir di sebagian besar wilayah penelitian terjadi peningkatan kejadian gelombang ekstrem dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Secara umum kejadian gelombang ekstrem di bagian selatan lebih tinggi dibandingkan dengan bagian utara. Kejadian dengan jumlah yang lebih tinggi terjadi di bagian tenggara dan barat daya wilayah kajian. Untuk mengetahui sebaran secara spasial kejadian-kejadian gelombang ekstrem selama empat tahun pengamatan, hasil dari analisis data ditampilkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Total kejadian gelombang ekstrem dari 2010 sampai 2013

Tampilan dalam Gambar 3.3 memperlihatkan bahwa jumlah kejadian gelombang ekstrem di perairan laut Indonesia dan sekitarnya bervariasi sekitar 4 sampai 20 kejadian. Semua wilayah perairan laut pernah mengalami kejadian gelombang ekstrem dalam kurun waktu empat tahun terakhir. Di perairan laut antar pulau jumlah kejadian yang tinggi terdapat di perairan laut bagian Indonesia timur, sedangkan di perairan laut antar pulau di bagian Indonesia barat dan tengah jumlah kejadian gelombang ekstrem lebih rendah. Berdasarkan sebaran kejadian gelombang ekstrem secara spasial selama periode pengamatan, kejadian gelombang ekstrem dengan jumlah yang tinggi dominan terjadi di perairan laut bagian selatan dibandingkan bagian utara, terutama di sebelah selatan Pulau Jawa dan Papua. Hal tersebut kemungkinan akibat pengaruh dari dinamika laut yang terjadi di Samudera Hindia. Ditinjau dari jumlah kejadian gelombang ekstrem di perairan laut Indonesia hasil analisis secara spasial menunjukkan bahwa pengaruh dari Samudera Hindia lebih kuat dibandingkan dengan Samudera Pasifik.

Untuk memperkuat analisis, dilakukan kajian untuk mengetahui kecenderungan atau tren kejadian gelombang ekstrem secara temporal. Gambar 3.4 berikut ini menampilkan total kejadian gelombang ekstrem pertahun pada wilayah kajian.



Gambar 3.4 Total kejadian gelombang ekstrem per tahun pada wilayah penelitian

Gambar 3.4 menunjukkan jumlah kejadian gelombang ekstrem tahun 2010 sebanyak 994 kejadian. Tahun 2011 terjadi peningkatan jumlah kejadian dibandingkan tahun 2010, terdapat 1424 kejadian. Untuk tahun 2012 terjadi sedikit peningkatan jumlah kejadian gelombang ekstrem dengan tahun sebelumnya, ada 1552 kejadian. Pada tahun terakhir 2013 terjadi peningkatan jumlah kejadian yang signifikan, terjadi 3.411 kejadian gelombang ekstrem. Hasil secara keseluruhan menunjukkan terjadi peningkatan kejadian gelombang ekstrem dari tahun ke tahun. Peningkatan yang terjadi diduga akibat pengaruh dari kondisi cuaca global yang akhir-akhir ini cenderung tidak stabil atau sering mengalami kondisi ekstrem.

## 4. Kesimpulan

Gelombang ekstrem di perairan laut Indonesia dan sekitarnya mempunyai nilai ambang batas ketinggian sekitar 100 sampai 400 cm. Nilai ambang batas yang tinggi terdapat di perairan laut sebelah selatan Samudera Hindia, Laut Cina Selatan dan sebelah utara Pulau Papua. Ambang batas di perairan laut antar pulau relatif lebih rendah. Nilai ambang batas yang tinggi diduga akibat pengaruh dari sirkulasi samudera luas. Jumlah kejadian gelombang ekstrem pertahun antara 1 sampai 12 kejadian. Total kejadian gelombang ekstrem selama periode pengamatan antara 4 sampai 20 kejadian. Di perairan antar pulau, kejadian gelombang ekstrem yang tinggi terdapat di bagian Indonesia timur. Kejadian gelombang ekstrem lebih sering terjadi di perairan laut bagian selatan dibandingkan bagian utara, diduga akibat pengaruh Samudera Hindia. Pengaruh dari Samudera Hindia lebih kuat dibandingkan Samudera Pasifik terkait dengan jumlah kejadian gelombang ekstrem di perairan laut Indonesia. Jumlah kejadian gelombang ekstrem mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Kemungkinan akibat pengaruh dari kondisi cuaca global yang sering mengalami kondisi ekstrem.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Bapak Dr. Muchlisin Arief atas bimbingan dan semua saran yang saintifik dalam melakukan penelitian ini.

## Daftar Rujukan

- Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data (AVISO), 2014. [ftp://aviso.oceanobs.com/significant\\_wave\\_height](ftp://aviso.oceanobs.com/significant_wave_height). Diunduh tanggal 2 s/d 6 Juni 2014.
- Hadikusumah. 2009. *Karakteristik Gelombang dan Arus di Eretan Indramayu*, Jurnal Makara Seri Sains, Vol. 13 No. 2, 163–172, November 2009.
- Ian, S.R. 2010. *Discovering the Ocean from Space: The Unique Applications of Satellite Oceanography*, Springer-Praxis Publishing UK, 312–319.
- Kurniawan, R., Najib, M.H., dan Suratni. 2011. *Variasi Bulanan Gelombang Laut di Indonesia*, Jurnal Meteorologi dan Geofisika, Vol. 12 / 3, 221–232.
- Kurniawan, R. 2012. *Karakteristik Gelombang Laut dan Daerah Rawan Gelombang Tinggi di Perairan Indonesia*, Tesis Program Studi Magister Ilmu Kelautan Pasca Sarjana Universitas Indonesia, April 2012.
- Marpaung, S., Satiadi, D., dan Harjana. 2012. *Analisis Kejadian Curah Hujan Ekstrem di Pulau Sumatera Berbasis Data Satelit TRMM dan Observasi Permukaan*, Jurnal Sains Dirgantara Vol. 9 No. 2: 127–138, LAPAN Jakarta.

Identifikasi Kejadian Gelombang Ekstrem di Perairan Laut Indonesia  
Menggunakan Data Multi Satelit Altimetri

- Mulyadi, M., Jumarang, I., dan Apriansyah. 2015. *Studi Variabilitas Tinggi dan Periode Gelombang Laut Signifikan di Selat Karimata*, Jurnal Positron Vol. V No. 1: 19–25, FMIPA Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Nusantara, T. 2009. *Memahami Perilaku Ekstrem Gelombang Permukaan Air*, Pidato Pengukuhan Guru Besar, FMIPA Universitas Negeri Malang.
- Ramlan. 2012. *Variabilitas Gelombang Laut di Laut Jawa dan Selat Karimata Ditinjau dari Perspektif Dinamika Meteorologi*. Skripsi Program S-1 FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Sutirto dan Trisnoyuwono, D. 2014. *Gelombang dan Arus Laut Lepas*, Penerbit Graha Ilmu, Cetakan ke I.