



## JURNAL SEGARA

<http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/segara>

ISSN : 1907-0659

e-ISSN : 2461-1166

Nomor Akreditasi: 766/AU3/P2MI-LIPI/10/2016

### KAJIAN INDEKS VARIABILITAS TINGGI GELOMBANG SIGNIFIKAN DI INDONESIA

#### *A STUDY ON VARIABILITY INDEX FOR SIGNIFICANT WAVE HEIGHT OVER INDONESIA*

Muhammad Najib Habibie<sup>1)</sup>, Welly Fitria<sup>1)</sup> & Ibnu Sofian<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika

<sup>2)</sup>Badan Informasi Geospasial

Diterima: 09 Februari 2018; Diterima Setelah Perbaikan: 01 Desember 2018; Disetujui Terbit: 07 Desember 2018

#### ABSTRAK

Informasi karakteristik gelombang merupakan hal yang sangat penting dalam berbagai bidang seperti pelayaran, industri, pariwisata dan keamanan struktur lepas pantai. Penelitian mengenai karakteristik gelombang telah dilakukan oleh banyak peneliti baik dalam skala global maupun regional. Metode yang digunakan umumnya adalah perata-rataan yang menghilangkan variasi selama data tersebut diproduksi. Variasi data tersebut ada kalanya dibutuhkan untuk melihat tingkat kestabilan data selama kurun waktu tertentu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi spasial dan temporal tinggi gelombang signifikan di wilayah Indonesia serta mengetahui tingkat kestabilannya. Pada penelitian ini dilakukan analisa kestabilan tinggi gelombang melalui perhitungan koefisien variasi, indeks variabilitas bulanan dan indeks variabilitas musiman. Data yang digunakan adalah luaran model *WAVEWATCH-III* pada jangka waktu 1991-2015 dengan *time step* tiga jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gelombang signifikan memiliki pola variabilitas berdasarkan siklus musonal. Gelombang signifikan di Indonesia mencapai puncaknya bersamaan dengan aktifnya monsun Asia dan Australia pada bulan DJF dan JJA. Tingkat kestabilan yang direpresentasikan oleh koefisien variasi mencapai nilai terendah juga pada musim ini. Hal ini berarti pada saat monsun aktif, gelombang signifikan cenderung stabil dibandingkan dengan musim peralihan. Distribusi spasial menunjukkan bahwa daerah laut lepas lebih tinggi gelombangnya dibanding di laut tertutup. Koefisien variasi dan indeks variabilitas musiman dan bulanan menunjukkan daerah laut lepas memiliki tingkat kestabilan yang lebih tinggi. Daerah yang paling stabil yaitu S. Hindia diikuti S. Pasifik dan Laut Cina Selatan. Sedangkan perairan yang tidak stabil meliputi Teluk Tomini, Laut Flores dan Selat Malaka.

**Kata Kunci:** *WAVEWATCH-III*, indeks variabilitas, koefisien variasi, tinggi gelombang signifikan.

#### ABSTRACT

*Wave characteristic information is important thing in many fields such as cruise, industry, recreation and offshore platform safety. Many researchers have studied wave characteristic globally and regionally. In general, they used data averaged method which is eliminated the variance along period. Sometimes, the variance is needed to analyze the stability of data in certain period. The aim of this research is to investigate spatio-temporal distribution of significant wave height and their stability over Indonesia. We used coefficient of variance, monthly variability index and seasonal variability index to analyze the wave height stability. Three hourly hindcast simulation of WAVEWATCH-III model for 1991-2015 is used in this research. The results show that significant wave height variability follows the monsoon cycle. The highest of wave height is in line with the peak of Asian and Australian monsoon in DJF and JJA. Level of stability represented by coefficient of variance, has been lowest in this period. Its mean significant wave height more stable in monsoon period than transition season. Spatial distribution analysis shows that the significant wave height in open sea is higher than in inner sea. The analysis on coefficient of variance, monthly variability index and seasonal variability index shows that in open sea is more stable than inner sea also. The most stable area is in Indian Oceans followed by Pacific Oceans and South China Sea, while the most unstable region is in Tomini Bay following by Flores Sea and Malaka Strait.*

**Keywords:** *WAVEWATCH-III*, variability index, coefficient of variance, significant wave height.

Corresponding author:

Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: najib.habibie@bmet.go.id

Copyright © 2018 Jurnal Segara

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/segara.v14i3.6650>

**PENDAHULUAN**

Di negara maritim seperti Indonesia, laut merupakan salah satu jalur transportasi yang memegang peranan penting sebagai penghubung antar pulau. Selain sebagai jalur transportasi yang melayani pelayaran antar pulau, laut juga merupakan daerah wisata yang sangat diminati. Setiap pelayaran dan kegiatan kelautan lainnya dapat direncanakan dengan baik dan efisien apabila tersedia informasi mengenai karakteristik variabilitas gelombang di seluruh wilayah perairan. Pengetahuan tentang cuaca dan iklim gelombang laut, sangat berguna bagi faktor keselamatan dan efisiensi berbagai aktivitas manusia di laut, seperti transportasi, proyek pembangunan struktur lepas pantai, dan pariwisata (WMO, 1998).

Hasil kajian mengenai karakteristik gelombang di wilayah perairan di Indonesia yang menggunakan skala global telah dilakukan antara lain oleh Cox & Swail (2001), Chen (2002), Sterl & Cairns (2005), Semedo et al. (2011), menunjukkan bahwa perairan Indonesia memiliki variabilitas rendah dan cenderung konstan sepanjang tahun. Kajian terkait karakteristik variabilitas gelombang wilayah perairan Indonesia yang lebih detail dengan menggunakan data skala regional telah dilakukan oleh Sofian (2010), Kurniawan (2012), Ramdhani (2015), dan Fitria (2017). Namun kajian yang dilakukan pada umumnya menggunakan nilai rata-rata gelombang untuk menentukan karakteristik gelombang sehingga kajian tersebut belum memberikan informasi kestabilan tinggi gelombang di wilayah perairan.

Untuk mengetahui kestabilan tinggi gelombang laut di perairan Indonesia dapat dilakukan dengan menghitung koefisien variasi (*Coefficient of Variation/Cv*), indeks variabilitas bulanan (*Monthly Variability Index/MV*) dan indeks variabilitas musiman (*Seasonal Variability Index/SV*) (Cornett, 2008). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui distribusi spasial dan temporal tinggi gelombang signifikan di Indonesia serta tingkat kestabilannya.

**METODE PENELITIAN**

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data hindcast tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) rata-rata bulanan selama 25 tahun (1991-2015) yang merupakan hasil simulasi model gelombang spektral generasi ketiga *WAVEWATCH-III* (WW3) yang dikembangkan oleh NCEP (*National Centre for Environmental Prediction*), Amerika Serikat dan dapat diakses di <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/> (2016). Masukan model untuk melakukan simulasi gelombang adalah angin *reanalysis Cross Calibrated Multi Platform* (CCMP) di [https://podaac.jpl.nasa.gov/Cross-Calibrated\\_Multi-Platform\\_](https://podaac.jpl.nasa.gov/Cross-Calibrated_Multi-Platform_)

*OceanSurfaceWindVectorAnalyses* (2016), *Navy Operational Global Atmospheric Prediction System* (NOGAPS) di <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/navy-operational-global-atmospheric-prediction-system> (2016), dan *Navy Global Environmental Model* (NAVGEM) dapat diakses di <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdNavgem05D20mWind.html> (2016). Simulasi model dilakukan dengan menggunakan metode nesting yang terdiri dari dua domain, yaitu domain global (70°LU-70°LS dan 0-360°) dengan resolusi grid model 0,75° x 0,75° dan domain Indonesia (20°LU-20°LS dan 90°BT-150°BT) dengan resolusi grid 0,125° x 0,125°.

Metode yang digunakan untuk melihat kestabilan tinggi gelombang signifikan adalah melalui penghitungan koefisien variasi (*Coefficient of Variation/Cv*), indeks variabilitas bulanan (*Monthly Variability Index/MV*), dan indeks variabilitas musiman (*Seasonal Variability Index/SV*) (Cornett, 2008). Metode perhitungan koefisien variasi adalah sebagai berikut:

$$C_v = S / \bar{x} \dots\dots\dots (1)$$

$C_v$  adalah koefisien variasi, merupakan nilai rata-rata dan  $S$  adalah standar deviasi.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 / n}{n-1}} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai  $C_v$  yang kecil menunjukkan bahwa tempat tersebut memiliki tingkat kestabilan yang tinggi (Zheng & Pang, 2009).

Konsep indeks variabilitas bulanan dan musiman diajukan untuk mencakup satu ukuran yang baik mengenai variasi bulanan musiman dalam satu nilai. Indeks ini digunakan untuk melihat variabilitas tinggi gelombang secara lebih teliti. Rumus yang digunakan untuk menghitung indeks variabilitas bulanan dan musiman ditunjukkan pada persamaan 3 dan 4 sebagai berikut:

$$MV = \frac{HM_1 - HM_{12}}{H_{year}} \dots\dots\dots (3)$$

$$SV = \frac{HS_1 - HS_{12}}{H_{year}} \dots\dots\dots (4)$$

MV merupakan indeks variabilitas bulanan, merupakan rata-rata tinggi gelombang bulanan tertinggi, merupakan rata-rata tinggi gelombang bulanan terendah dan merupakan rata-rata tahunan. SV adalah indeks variabilitas musiman, adalah rata-rata tinggi musiman tertinggi dan adalah rata-rata tinggi musiman terendah. Nilai indeks baik musiman maupun bulanan diinterpretasikan bahwa nilai yang rendah menunjukkan tingkat kestabilan yang tinggi. Sebaliknya nilai yang tinggi menunjukkan bahwa tempat tersebut mempunyai tingkat kestabilan yang rendah atau mempunyai tingkat variabilitas yang tinggi (Cornett, 2008).

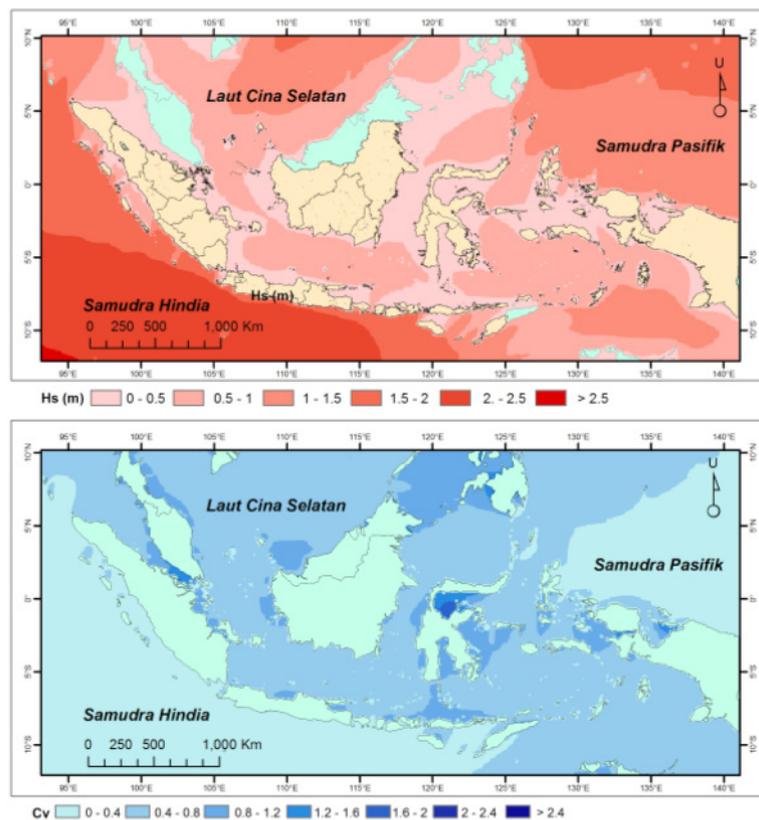
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Klimatologi tinggi gelombang signifikan tahun 1991-2015 ditunjukkan pada Gambar 1. Gelombang signifikan di perairan terbuka seperti Samudra Hindia, Samudra Pasifik bagian barat dan Laut Cina Selatan cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan inner sea. Tinggi gelombang signifikan antara 1,5-2 m di Samudra Hindia yang meliputi barat Sumatra, Bali, Nusa Tenggara Barat (NTB) dan Nusa Tenggara Timur (NTT). Untuk selatan Jawa tinggi gelombang signifikan klimatologisnya mencapai 2-2,5 m. Samudra Pasifik bagian barat memiliki tinggi gelombang signifikan sebesar 1-1,5 m, sedangkan Laut Cina Selatan hanya berkisar 0,5-1 m. Laut Jawa bagian tengah memiliki tinggi signifikan sebesar 0,5-1 m, begitu juga di Laut

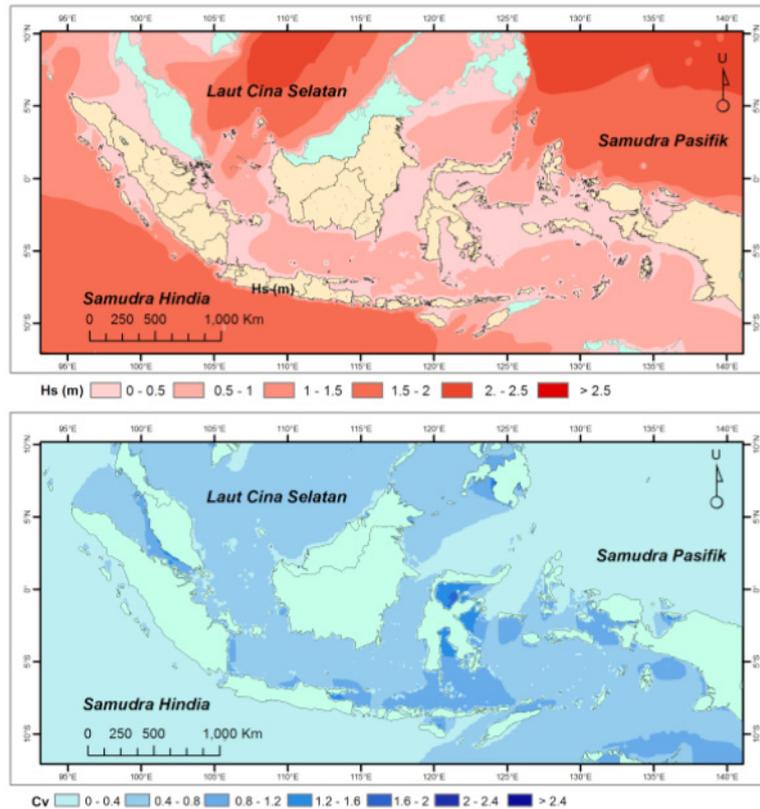
Banda dan sebagian besar Laut Arafuru. Laut Arafuru bagian selatan memiliki tinggi signifikan yang lebih besar dibandingkan di sebelah utara yaitu sebesar 1-1,5 m.

Data klimatologis selama 25 tahun menunjukkan inner sea seperti Laut Jawa, Selat Karimata, Laut Banda, dan Laut Arafuru memiliki tinggi signifikan yang lebih rendah dibandingkan dengan perairan terbuka seperti Samudra Hindia, Samudra Pasifik bagian barat, dan Laut Cina Selatan. Perairan tertutup yang lebih sempit seperti Selat Malaka, Selat Makassar, dan perairan yang dibatasi oleh kepulauan yang saling berdekatan memiliki klimatologi tinggi gelombang signifikan yang lebih rendah lagi.

Koefisien variasi tinggi gelombang merupakan indeks yang digunakan untuk melihat kestabilan tinggi gelombang di suatu daerah. Nilai koefisien yang rendah menunjukkan bahwa daerah tersebut stabil, sebaliknya jika nilai koefisiennya tinggi maka daerah tersebut cenderung labil. Secara umum daerah yang memiliki kestabilan tinggi berada di sepanjang pantai barat Sumatra, selatan Jawa sampai dengan NTT, serta perairan sepanjang Papua dan Papua Barat sampai dengan Laut Sulawesi. Perairan sekitar Sulawesi (Teluk Tomini), Selat Makassar, Laut Flores, Selat Malaka, dan Maluku Utara memiliki nilai koefisien yang tinggi dan menunjukkan bahwa daerah tersebut mempunyai tingkat kestabilan yang rendah.



Gambar 1. Klimatologi tinggi gelombang signifikan dan koefisien variasi tahun 1991-2015.



Gambar 2. Klimatologi tinggi gelombang signifikan dan koefisien variasi Desember-Januari-Februari (DJF).

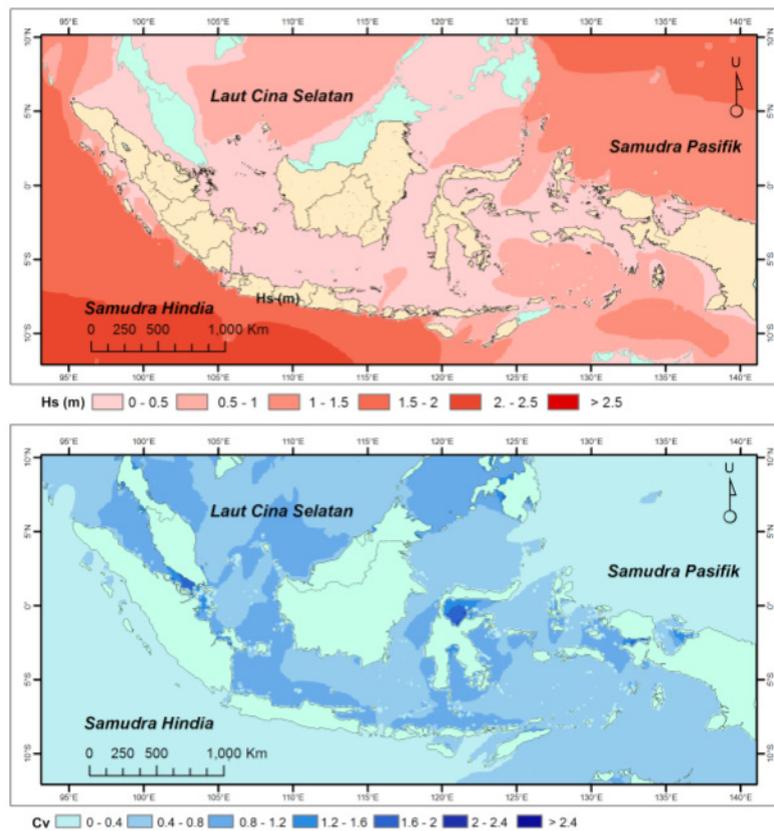
Monsun Asia aktif pada Desember-Januari-Februari (DJF) bertepatan dengan tingginya gelombang signifikan di sebelah utara. Samudra Pasifik bagian barat dan Laut Cina Selatan memiliki tinggi gelombang signifikan yang lebih besar dibandingkan dengan Samudra Hindia seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Tinggi gelombang signifikan di Laut Cina Selatan sebesar 1-2,5 m dan semakin ke selatan nilainya menurun menjadi 1,5-2 m di sebelah utara Kepulauan Natuna. Memasuki perairan Natuna bagian selatan, tinggi gelombang signifikan cenderung menurun menjadi 1-1,5 m dan berkurang ketika memasuki perairan Selat Karimata. Keberadaan Kepulauan Natuna menyebabkan tinggi gelombang tereduksi secara nyata ketika memasuki Selat Karimata.

Samudra Pasifik bagian barat juga menunjukkan tinggi gelombang signifikan berkisar antara 1-3 m. Gelombang tertinggi berada di wilayah perairan Filipina bagian utara. Tinggi gelombang cenderung menurun ketika memasuki wilayah Indonesia berkisar 1-2 m. Sepanjang utara Papua dan Laut Sulawesi gelombang signifikan yang terukur adalah 1-1,5 m. Klimatologi tinggi gelombang di perairan tertutup seperti Laut Jawa, Laut Banda, dan Laut Arafuru pada musim ini cenderung tinggi dibandingkan rerata tahunannya yaitu sebesar 0,5-1 m. Arah gelombang di Samudra Pasifik umumnya menuju barat daya dan berbelok ke selatan sampai timur ketika memasuki wilayah

perairan Indonesia.

Tinggi gelombang signifikan pada DJF di Samudra Hindia mencapai 1-2 m. Tinggi gelombang signifikan sepanjang pantai selatan NTB, Bali, Jawa, dan Sumatra bagian selatan sebesar 1,5-2 m. Tinggi gelombang ini lebih rendah dibandingkan dengan klimatologis tahunannya. Arah gelombang di daerah ini cenderung seragam yaitu menuju timur laut. Koefisien variasi pada DJF umumnya rendah di laut terbuka seperti Samudra Hindia dan Samudra Pasifik bagian barat, sedangkan di inner sea cenderung lebih tinggi. Dibandingkan dengan data klimatologisnya, tinggi signifikan pada DJF cenderung lebih stabil terutama di sebelah utara. Hal ini terjadi karena adanya angin yang persisten di sebelah utara bersamaan dengan aktifnya monsun Asia sehingga gelombang relatif stabil. Daerah yang mengalami peningkatan nilai koefisien variasi adalah Laut Lombok, Laut Flores, serta perairan sekitar Sulawesi.

Pada Maret-April-Mei (MAM) merupakan musim peralihan setelah monsun Asia yang ditandai dengan kecepatan angin lemah dan arah yang tidak beraturan. Kondisi ini menyebabkan tinggi gelombang signifikan pada bulan MAM juga melemah dimana Laut Cina Selatan hanya sebesar 0,5-1 m, sedangkan di Samudra Pasifik bagian barat tingginya 0,5-2 m, yang sebelumnya mencapai 3 m. Laut Jawa dan perairan



Gambar 3. Klimatologi tinggi gelombang signifikan dan koefisien variasi bulan MAM.

tertutup lainnya seperti Selat Karimata, Selat Makassar, Laut Banda, dan Laut Arafuru juga mengalami penurunan dimana gelombangnya hanya mencapai 1 m (Gambar 3). Peningkatan tinggi gelombang signifikan terjadi di Samudra Hindia dibanding dengan musim sebelumnya. Sepanjang selatan NTT, Bali, dan Jawa mengalami peningkatan tinggi signifikan dari 1,5-2 m menjadi 2-3 m. Tinggi gelombang signifikan di sebelah Barat Sumatra juga mengalami peningkatan dari 1-1,5 m menjadi 1,5-2 m pada musim peralihan ini. Arah gelombang di kawasan ini pada umumnya hampir seragam menuju ke utara.

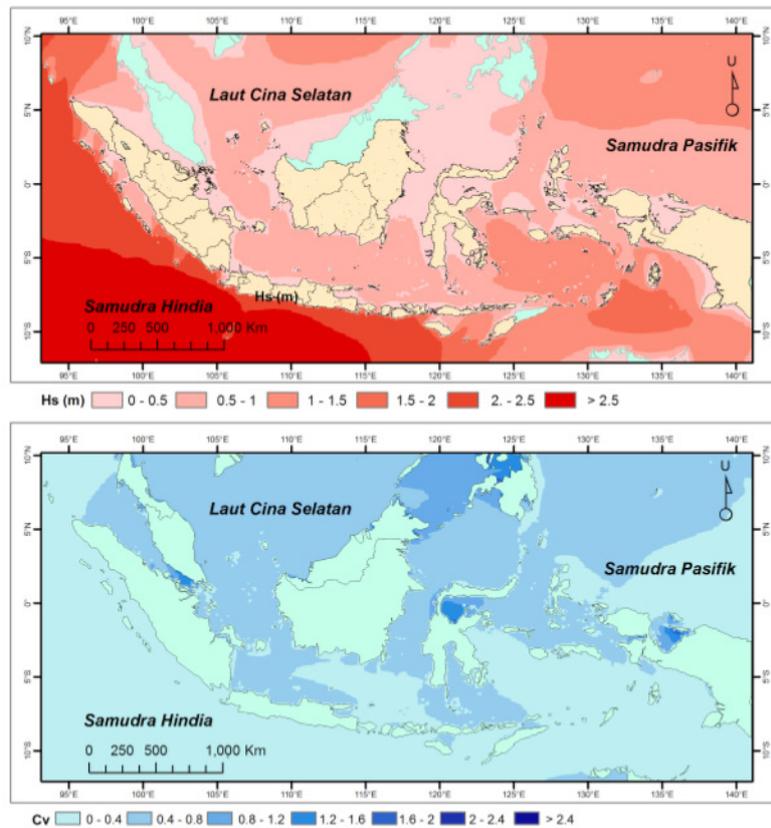
Koefisien variasi pada MAM ini meningkat dibanding musim sebelumnya terutama di inner sea dan Laut Cina Selatan. Hal ini menunjukkan bahwa pada bulan ini kondisi gelombangnya tidak stabil. Peningkatan ini terjadi karena arah dan kecepatan angin yang bertiup tidak stabil dan cenderung berubah-ubah dan berakibat kepada tinggi gelombang yang berubah-ubah pula.

Bertiupnya angin yang persisten dari Australia menuju Asia dan melewati sebagian besar wilayah Indonesia merupakan tanda aktifnya monsun Australia dan terjadi pada Juni-Juli-Agustus (JJA). Kondisi ini berpengaruh terhadap meningkatnya tinggi gelombang signifikan di Samudra Hindia, selatan Jawa, Bali, dan NTB dimana daerah tersebut memiliki tinggi gelombang sebesar 2-3,5 m. Peningkatan tinggi gelombang juga

terlihat di perairan barat Sumatra dibandingkan musim sebelumnya. Tinggi signifikan di Laut Jawa mencapai 0,5-1 m yang membentang dari Masalemba sampai Selat Karimata.

Tinggi gelombang di Laut Banda dan Arafuru juga lebih tinggi dari musim sebelumnya dimana pada musim ini tinggi gelombang mencapai 1-2 m. Begitu juga di Laut Cina Selatan yang mengalami peningkatan rata-rata tinggi signifikan dibandingkan musim sebelumnya dengan tinggi berkisar 0,5-1,5 m. Sebaliknya terjadi penurunan tinggi gelombang signifikan di Samudra Pasifik bagian barat pada musim ini. Tinggi rata-rata gelombang pada musim ini hanya 0,5-1,5 m. Koefisien variasi pada bulan JJA ini cenderung menurun di sebagian besar wilayah Indonesia baik di *open sea* maupun *inner sea*. Dengan demikian menunjukkan bahwa kondisi laut cenderung stabil dibandingkan musim sebelumnya. Angin yang persisten di atas wilayah Indonesia mengakibatkan gelombang yang terbentuk juga stabil. Pengurangan koefisien variasi terlihat jelas di Laut Jawa, Laut Bali, Laut Flores, Laut Banda, dan Laut Arafuru. Sebaliknya di Samudra Pasifik bagian barat, koefisien variasi cenderung meningkat.

Musim peralihan yang terjadi pada September-Oktober-November (SON) ditandai dengan angin yang tidak persisten dan kecepatannya lemah di wilayah Indonesia. Hal ini berpengaruh terhadap



Gambar 4. Klimatologi tinggi gelombang signifikan dan koefisien variasi pada JJJ.

tinggi gelombang yang terbentuk. Kondisi gelombang di sebagian wilayah Indonesia cenderung rendah terutama di perairan antar pulau yang dibatasi oleh keberadaan kepulauan pada musim ini seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

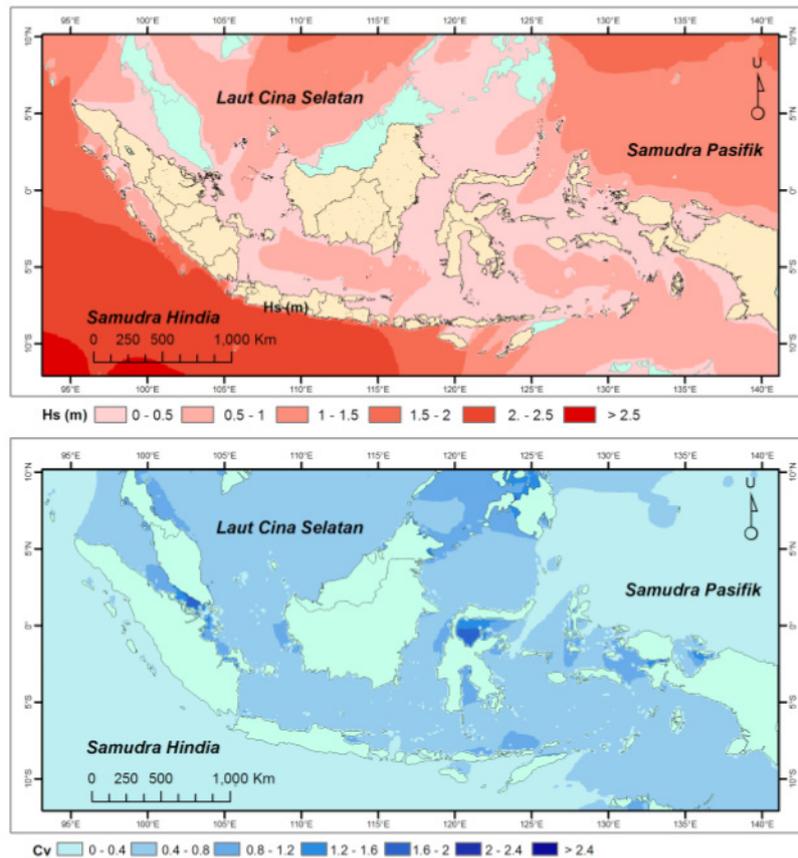
Rata-rata tinggi signifikan gelombang pada musim ini relatif menurun dimana di Samudra Hindia ketinggian gelombangnya berkisar antara 0,5-2,5 m, yang meliputi perairan selatan Jawa sampai barat Sumatra Barat. Tinggi gelombang berkurang menjadi 1,5-2 m ketika memasuki selatan Bali sampai NTT, begitu juga di sebelah barat Sumatra Utara sampai ke Aceh. Perairan antar pulau seperti laut Jawa, Selat Karimata, Laut Banda, dan Arafura juga mengalami penurunan ketinggian gelombang dan hanya mencapai 0,5 m. Sebaliknya di Samudra Pasifik dan Laut Cina Selatan mengalami peningkatan tinggi gelombang dibandingkan dengan musim sebelumnya dengan ketinggian mencapai 1-2 m. Nilai koefisien variasi pada musim ini cenderung meningkat di inner sea yang menunjukkan meningkatnya ketidakstabilan tinggi gelombangnya.

Indeks variabilitas bulanan (*monthly variability index*) merupakan metode untuk menilai tingkat kestabilan data berdasarkan data bulannya. Semakin rendah nilai indeksnya maka data tersebut semakin stabil, sebaliknya jika nilainya tinggi maka data tersebut lebih labil. Samudra Pasifik dan Samudra

Hindia adalah daerah yang memiliki nilai indeks variabilitas bulanan rendah yang mengindikasikan bahwa daerah ini memiliki data bulanan yang stabil dari waktu ke waktu. Sebaliknya Laut Cina Selatan dan perairan inner sea memiliki nilai indeks yang lebih tinggi. Hasil selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 6A.

Daerah yang memiliki nilai indeks variasi bulanan tinggi meliputi Selat Malaka, perairan utara Jawa Tengah, Laut Flores, dan perairan sekitar Sulawesi. Hal ini mencerminkan bahwa terdapat variasi yang tinggi pada tinggi gelombang bulannya. Kondisi ini terjadi karena pada bulan-bulan tertentu gaya yang bekerja di daerah ini sangat besar sehingga menghasilkan gelombang yang tinggi, sebaliknya pada bulan yang lain berkurang dengan drastis sehingga gelombangnya pun sangat kecil.

Indeks variabilitas musiman merupakan metode analisa yang sama dengan indeks variabilitas bulanan, hanya saja data yang digunakan adalah data musiman. Gambar 6B. menunjukkan bahwa Samudra Hindia memiliki nilai indeks variabilitas musiman yang rendah, hal ini berarti bahwa di daerah ini tinggi gelombangnya relatif stabil dari musim ke musim. Wilayah inner sea, Laut Cina Selatan dan Samudra Pasifik bagian barat umumnya memiliki nilai indeks yang lebih tinggi. Akan tetapi yang paling besar nilai indeksnya adalah di Teluk Tomini. Hal ini berarti daerah tersebut memiliki tingkat



Gambar 5. Klimatologi tinggi gelombang signifikan dan koefisien variasi bulan SON.

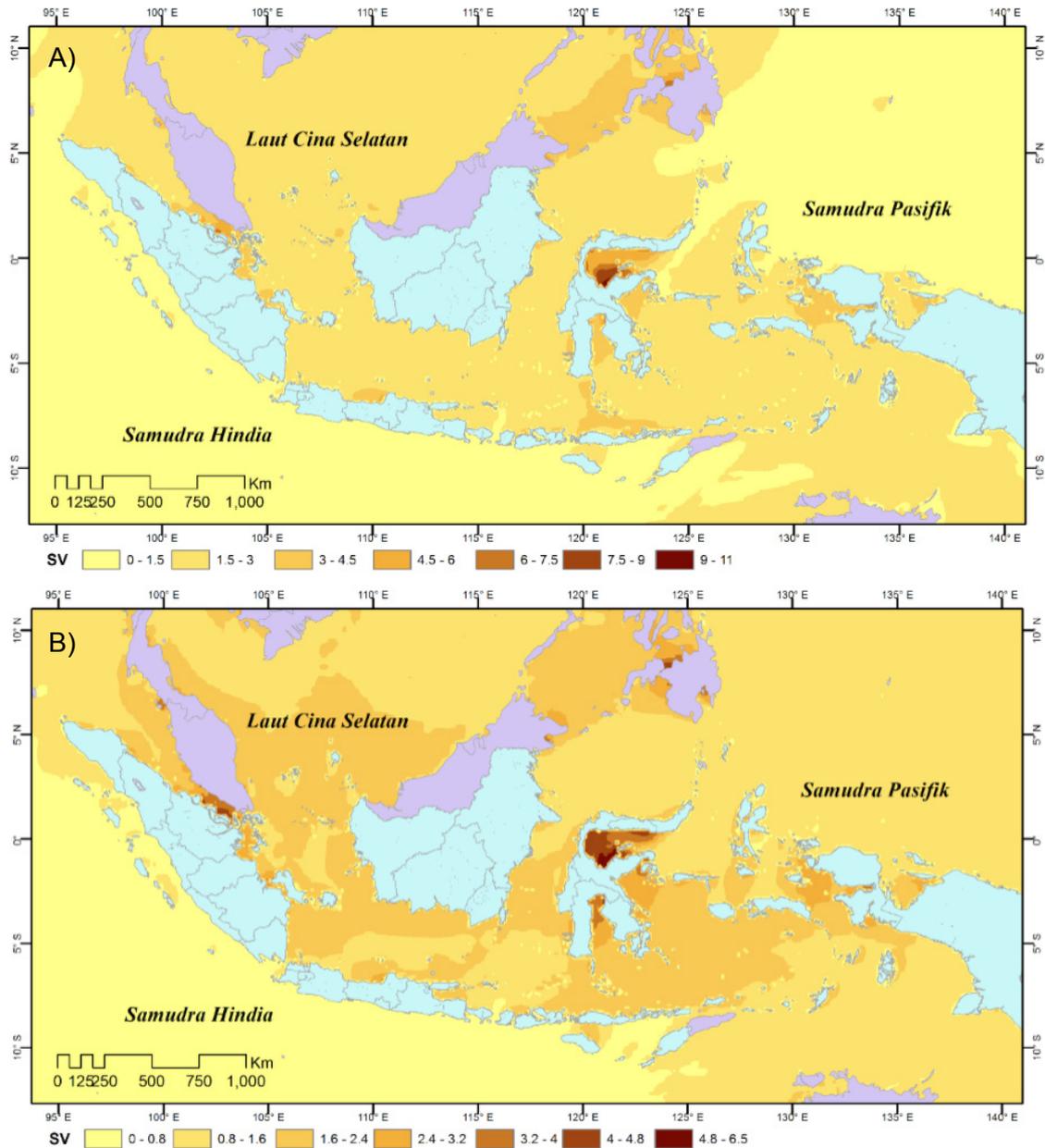
kestabilan gelombang musiman yang rendah.

Analisa indeks variabilitas bulanan dan musiman menunjukkan nilai yang berbeda. Indeks variabilitas musiman memiliki rentang yang lebih kecil dibandingkan dengan indeks bulannya. Hal ini terjadi karena input pada penghitungan indeks musiman lebih banyak mengalami perata-rataan sehingga variasi data sudah banyak tereduksi. Kondisi ini berpengaruh terhadap hasil indeks variabilitas yang dihasilkan diantara keduanya. Dari kedua uji ini, wilayah yang memiliki tingkat kestabilan tertinggi berada di laut lepas seperti Samudra Hindia. Sedangkan laut tertutup (inner sea) pada umumnya memiliki nilai koefisien yang lebih tinggi kecuali di Laut Arafuru, Laut Banda, dan sebagian Laut Jawa. Daerah yang memiliki indeks yang tertinggi meliputi Teluk Tomini, Selat Makassar, Selat Malaka, dan sebagian Laut Flores.

Indeks kestabilan wilayah dalam hubungannya dengan aktifitas kelautan sangatlah penting. Kombinasi antara data klimatologi dan indeks variabilitasnya dapat digunakan sebagai acuan untuk perencanaan kegiatan kemaritiman. Sebagai contoh daerah dengan klimatologi gelombang yang tinggi dan variabilitas yang tinggi akan menimbulkan ketidakpastian yang besar sehingga menyulitkan dalam perencanaan. Bidang pariwisata misalnya, akan menimbulkan kewaspadaan yang tinggi karena tingkat ketidakpastiannya yang

tinggi. Di bidang perikanan tangkap nelayan akan membangun bangunan sementara untuk menangkap ikan (bagan) yang akan hancur saat musim tertentu. Hal ini berhubungan dengan variabilitas yang tinggi. Dalam desain bangunan yang lebih permanen, misalnya platform pengeboran minyak, faktor variabilitas ini tentunya juga akan menjadi pertimbangan utama.

Secara umum kondisi klimatologi gelombang di wilayah Indonesia, sebagian besar dipengaruhi oleh siklus musonal. Monsun sendiri didefinisikan sebagai angin periodik yang bertiup bolak balik mengikuti posisi matahari (Wang *et al.*, 2017), terutama di Samudra Hindia dan perairan sebelah selatan Asia. Pada saat matahari berada di sebelah selatan (DJF), monsun Asia yang aktif, sebaliknya pada saat matahari di sebelah utara (JJA), monsun Australia yang aktif. Periode aktifnya monsun ini sekitar 3 bulan diikuti masa transisi sebelum beralih pada monsun dengan arah sebaliknya. Pada umumnya penentuan musim didasarkan pada perubahan arah musiman angin ini (Oliver, 2005). Ciri utama aktifnya monsun adalah adanya angin yang persisten yaitu angin yang mempunyai kecepatan dan arah yang hampir sama di wilayah Indonesia. Semakin panjang wilayah yang dilintasi angin persisten ini (fetch) maka akan semakin tinggi gelombang yang akan terbentuk. Suratno (1997) menyatakan bahwa salah satu faktor yang menentukan tinggi dan rendahnya gelombang adalah fetch. Semakin panjang dan luas



Gambar 6. Indeks variabilitas bulanan (A) dan musiman (B) tinggi gelombang signifikan di Indonesia .

fetch yang ada, maka energi yang terakumulasi akan semakin besar sehingga dan direpresentasikan oleh adanya gelombang yang tinggi pada saat aktifnya angin monsun Asia maupun Australia.

Musim peralihan terjadi pada saat matahari berada di sekitar ekuator pada MAM dan SON ditandai dengan tiupan angin yang tidak persisten dan kadang berlawanan (Kurniawan *et al.*, 2011). Kondisi ini menyebabkan gelombang yang terbentuk saling melemahkan atau destruktif seperti dijelaskan oleh Suratno (1997) yang menyebutkan salah satu yang meluruhkan gelombang adalah adanya angin yang berlawanan dengan arah gelombangnya. Tinggi rendahnya gelombang juga dipengaruhi oleh durasi tiupan angin, semakin lama durasinya, maka

gelombang yang dihasilkan juga semakin besar. Durasi tiupan angin ini berkaitan dengan keberadaan gradien perbedaan suhu antara dua tempat, semakin besar gradiennya maka durasi tiupannya akan lebih lama. Gradien suhu antara Asia dan Australia mencapai puncaknya pada saat matahari berada di sebelah selatan atau utara dan bersamaan dengan adanya monsun aktif. Hal ini menyebabkan angin yang bertiup di sebagian besar wilayah Indonesia persisten dengan durasi yang lama dan akhirnya membentuk fetch yang panjang (Kurniawan *et al.*, 2011).

Pada DJF dimana monsun Asia aktif, daerah yang berada di utara ekuator dan merupakan laut lepas umumnya mempunyai rata-rata gelombang tinggi dibanding musim-musim yang lain, sebaliknya

pada JJA dimana monsun Australia yang aktif maka di selatan ekuator tinggi gelombang mencapai tinggi maksimum. Pada DJF, *fetch* yang terbentuk lebih panjang di utara ekuator sebagai akibat dari adanya angin yang bertiup kencang dari Asia menuju Australia dengan durasi yang lama, oleh sebab itu gelombang yang terbentuk juga tinggi. Di sebelah selatan ekuator angin yang bertiup lebih lemah karena mengalami hambatan (pembelokan) ketika melintasi daerah ekuator akibat adanya gaya koriolis yang ditimbulkan oleh rotasi bumi. Pelemahan ini mempengaruhi panjang *fetch* yang terbentuk disamping adanya hambatan lain akibat adanya daratan sehingga *fetch* yang terbentuk lebih pendek. Hal ini mengakibatkan gelombang yang terbentuk juga lebih rendah. Sebaliknya pada JJA yang bertiup adalah monsun Australia menuju Asia, maka daerah selatan ekuator mempunyai tinggi gelombang maksimum dibanding periode yang lain sebagai akibat dari panjangnya *fetch* yang terbentuk. Pola angin pada kedua musim ini terlihat jelas baik arah dan kecepatannya. Saat monsun Asia arah angin secara umum bertiup dari utara menuju Australia dengan kecepatan yang tinggi, sebaliknya pada periode monsun Australia angin bertiup dari selatan menuju Asia dengan kecepatan maksimum pula. Pola-pola ini juga terdeteksi dari penelitian Fitria (2017), yang melakukan filter data gelombang selama 25 tahun dan ditemukan bahwa ada pola dominan berupa monsun di perairan Indonesia. Perbedaan pola tinggi gelombang yang terjadi di Samudra Hindia, Samudra Pasifik, Laut Cina Selatan, dan perairan inner sea pada penelitian ini juga terdeteksi dengan baik pada penelitiannya.

Koefisien variasi yang dianalisa secara musiman juga menunjukkan adanya fluktuasi nilainya. Perairan open sea seperti Samudra Hindia, Laut Cina Selatan dan Samudra Pasifik umumnya memiliki koefisien variasi yang lebih rendah dibandingkan dengan *inner sea*. Hal ini sesuai dengan penelitian Habibie *et al.* (2013) yang menunjukkan bahwa di laut lepas umumnya didominasi oleh swell yang cenderung konstan, sedangkan di laut tertutup didominasi oleh seas dan wind sea yang besarnya bergantung pada angin yang bertiup di atasnya. Tingkat kestabilan di laut tertutup cenderung lebih rendah karena gelombang yang terbentuk bergantung pada siklus monsun yang fluktuatif bergantung musim sehingga variabilitasnya lebih tinggi.

Analisis spasial menunjukkan daerah inner sea mengalami fluktuasi yang lebih besar dibandingkan dengan open sea. Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah ini tinggi gelombang lebih fluktuatif. Secara temporal nilai koefisien variasi paling rendah terjadi pada JJA dan tertinggi pada MAM. Hal ini berarti gelombang paling stabil terjadi pada saat monsun Australia dan paling labil terjadi pada saat masa

peralihan dari monsun Asia menuju Australia.

## KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan gambaran mengenai distribusi spasial dan temporal tinggi gelombang signifikan serta tingkat kestabilannya. Tinggi signifikan mencapai puncaknya bersamaan dengan aktifnya periode monsun dan melemah di musim peralihan. Gelombang yang tinggi umumnya terdistribusi secara spasial di laut lepas dibandingkan dengan laut tertutup. Begitu juga dengan kestabilan tinggi gelombangnya yang umumnya lebih stabil di laut lepas. Daerah yang paling labil berada di perairan yang lebih tertutup seperti Teluk Tomini, Laut Flores, dan Selat Malaka.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chen, G., Chapron, B., Ezraty, R. & Vandemark, D. (2002). A global view of swell and wind sea climate in the ocean by satellite altimetry and scatterometer. *American Meteorological Society*, Vol. 19: 1849-1859.
- Cornett, A.M. (2008). A global wave energy resources assesment. *Proceeding of Eighteenth International Society of Offshore and Polar Engineer*. Pp: 318-326.
- Cox, A.T. & Swail, V.R. (2001). A global wave hindcast over the period 1958-1997: validation and climate assessment. *Journal Geophysical Research*, Vol. 106: 2313-2329.
- Fitria, W. (2017). Variabilitas dan tren jangka panjang (1991 - 2015) tinggi gelombang laut di perairan Indonesia. Tesis, Institut Teknologi Bandung.
- Habibie, M.N., Permana, D. & Suratno. (2013). Simulasi Gelombang Ekstrim Akibat Swell di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 14(2): 99-108.
- <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdNavgem05D20mWind.html>. Diakses bulan Januari 2016.
- [https://podaac.jpl.nasa.gov/Cross\\_Calibrated\\_Multi\\_Platform\\_OceanSurfaceWindVectorAnalyses](https://podaac.jpl.nasa.gov/Cross_Calibrated_Multi_Platform_OceanSurfaceWindVectorAnalyses). Diakses bulan Januari 2016.
- <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/navy-operational-global-atmospheric-prediction-system>. Diakses bulan Januari 2016.
- <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/>. Diakses bulan Januari 2016.

- Kurniawan, R., Habibie, M.N. & Suratno (2011). Variasi Bulanan Gelombang Laut di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12(3): 221-232.
- Oliver, J.E. (2005). *Encyclopedia of world climatology*. New York: Springer Press.
- Ramdhani, A. (2015). Pengaruh siklon tropis dan Madden Julian Oscillation (MJO) terhadap kejadian gelombang tinggi di perairan Indonesia bagian dalam. Disertasi, Institut Teknologi Bandung.
- Semedo, A., Suselj, K., Rutgersson, A. & Steril, A. (2011). A Global view on the wind sea and swell climate variability from ERA-40. *Journal of Climate*, Vol. 24: 1461-1479. DOI: 10.1175/2010JCLI3718.1.
- Sofian, I. & Wijanarto, A. (2010). Simulation of significant wave height climatology using WAVEWATCH-III. *International Journal of Geoinformatic*, 6(4): 13-19.
- Sterl, A. & Caires, S. (2005). Climatology, variability, and extrema of ocean waves: the web-based KNMI/ERA-40 wave atlas. *International Journal of Climatology*, Vol. 25: 963-977.
- Suratno. (1997). Model numerik prakiraan gelombang permukaan laut untuk perairan Indonesia dan sekitarnya. Jakarta: Tesis. Universitas Indonesia.
- Wang, P.X., Wang, B., Cheng, H., Fasullo, J., Guo, Z., Kiefer, T. & Li, Z.Y. (2017). The global monsoon across time scales: Mechanism and outstanding issues. *Earth Science Review*.
- WMO. (1998). *Guide to Wave Forecasting and Analysis*, WMO-No. 702. Geneva-Switzerland: Secretariat of the World Meteorological Organization.
- Zheng, C., Pan, J. & Li, J. (2013). Assessing the China Sea wind energy and wave energy resources from 1988 to 2009. *Ocean Engineering*. Hal: 39-48.