

KAJIAN FENOMENA *MASCARENE HIGH* TERHADAP KEJADIAN GELOMBANG TINGGI DI PERAIRAN SELATAN JAWA SELAMA PERIODE MONSUN TIMURAN

Maulydia Andis Andini¹, Ahmad Fadlan²

¹ Stasiun Meteorologi Emalamo Kep. Sula, BMKG, Jl. Meteor Fogi,
Sanana, Maluku Utara, 97795

² Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jalan
Perhubungan I No.5, Kec. Pondok Aren, Kab. Tangerang Selatan, 15221
*E-mail : maulydiaxia420@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan benua maritim yang memiliki panjang garis pantai lebih dari 100.000 km. Pada daerah sepanjang pesisir pantainya berpeluang mengalami ancaman bencana alam seperti gelombang tinggi dan tsunami. Gelombang tinggi yang disertai tiupan angin kencang adalah suatu ancaman paling dominan yang terjadi di selatan Indonesia khususnya di perairan selatan Jawa. Adanya fenomena *Mascarene High* atau yang didefinisikan sebagai daerah bertekanan tinggi di wilayah Pulau Mascarene sedangkan di wilayah lain bertekanan cukup rendah merupakan pembangkit angin kencang yang terjadi. Pada periode monsun timuran (Juni, Juli, dan Agustus) tahun 2016 – 2018 terjadi puncaknya fenomena tersebut. Penelitian ini menggunakan data berupa data reanalisis dengan parameter kelautan yang terdiri dari data rata-rata harian tinggi gelombang signifikan (SWH), tinggi *swell* signifikan serta anomali tinggi muka laut (SLA) dari CMEMS dan parameter cuaca yang terdiri dari rata-rata harian data angin permukaan serta *mean sea level pressure* (MSLP) dari ECMWF. Model penelitian yang digunakan yakni secara kualitatif dengan melakukan pendekatan analisis spasial dan analisis deret waktu untuk melihat visualisasi sebaran parameter kelautan dan cuaca pada saat terjadinya fenomena *Mascarene High*. Hasil penelitian menunjukkan anomali posisi spasial *Mascarene High* yang berpindah ke bagian timur Samudera Hindia. Hal tersebut menimbulkan adanya perpindahan angin permukaan berkecepatan tinggi yang persisten dan membangkitkan gelombang tinggi yang menjalar dan mengarah ke selatan Indonesia. Perubahan gelombang di wilayah perairan selatan Jawa mengalami kenaikan tinggi muka laut signifikan melebihi normalnya hingga dua kali lipat menjadi 3 – 5 meter. Waktu proses penjalaran, puncak kejadian, hingga proses punahnya gelombang tinggi masing-masing terjadi selama 1 – 2 hari.

Kata kunci: *Mascarene High*, *Swell*, Gelombang Tinggi

ABSTRACT

Indonesia is a maritime continent with a coastline of more than 100,000 km. In areas along the coast, the coast is likely to experience the threat of natural disasters such as high waves and tsunamis. High waves accompanied by strong winds are the most dominant threat that occurs in southern Indonesia, especially in the waters south of Java. The Mascarene High phenomenon, which is defined as a high pressure area in the Mascarene Island region, while in other areas the pressure is low enough to generate strong winds. During the monsoon period (June, July and August) 2016 - 2018 the peak of this phenomenon occurred. The purpose of this study is to determine the mechanism of wave propagation and to determine the changes in waves in the southern waters of Java caused by Mascarene High. This study uses data in the form of reanalysis data with marine parameters consisting of daily average significant wave height (SWH), significant swell height and sea level anomaly (SLA) from CMEMS and weather parameters consisting of daily average wind data, surface and mean sea level pressure (MSLP) from the ECMWF. The research model used is qualitative by using a spatial analysis approach and time series analysis to see the visualization of the distribution of marine and weather parameters at the time of the Mascarene High phenomenon. The results showed the spatial position anomaly of Mascarene High which moved to the eastern part of the Indian Ocean. This gives rise to persistent high-speed surface wind displacement and generates high waves that propagate towards the south of Indonesia. Changes in waves in the southern waters of Java experienced a significant increase in sea level over normal, which doubled to 3-5 meters. The time of the propagation process, the peak of the event, and the extinction of the high waves each occur for 1 - 2 days.

Keywords: Mascarene High, Swell, High Wave

PENDAHULUAN

Latar Belakang

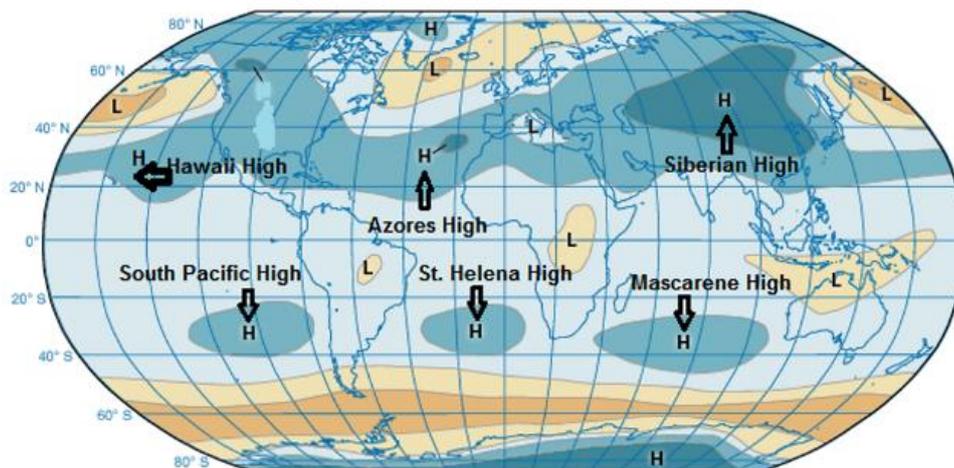
Indonesia merupakan benua maritim yang memiliki panjang garis pantai lebih dari 100.000 km. Pada daerah sepanjang pesisir pantainya berpeluang mengalami ancaman bencana alam yang didominasi gelombang tinggi dan tsunami. Bencana tersebut banyak terjadi antara tahun 2016 hingga 2018, dengan puncak tertinggi kejadiannya yaitu pada tahun 2018 (BNPB, 2019). Merujuk pada warta berita, daerah pesisir sering mengalami gelombang tinggi yang dibarengi angin kencang khususnya di pesisir selatan Indonesia seperti di pantai selatan Jawa. Setelah dikaji, menurut penelitian Kurniawan *dkk.* (2011) menyatakan bahwa perairan Indonesia memiliki variasi gelombang yang erat hubungannya dengan pola angin monsun Baratan dan Timuran. Utamanya monsun Timuran berperan dalam mempengaruhi rata-rata tinggi gelombang di perairan selatan ekuator pada bulan Juli dengan rata-rata tinggi gelombang yang paling

tinggi. Di samping itu, perairan di selatan Pulau Jawa memiliki tipe gelombang yang didominasi oleh *swell* yang berasal dari Samudera Hindia (Setyawan dan Pamungkas, 2017; Chen *dkk.*, 2015).

Menurut penelusuran Kurniawan *dkk.* (2016), pembangkitan gelombang tinggi tersebut dipengaruhi angin kuat yang dihasilkan oleh fenomena *Mascarene High* yang terbentuk di barat Australia yang mampu memberikan pengaruh terhadap wilayah di sekitarnya termasuk wilayah Indonesia selatan. Sehingga *swell* yang menjalar dari Samudera Hindia ke perairan selatan Indonesia mencapai 5 meter. *Swell* tersebut berubah menjadi suatu bencana berupa gelombang tinggi hingga banjir pesisir yang sering kali menghantam kawasan pesisir yang puncaknya banyak terjadi di bulan Juni, Juli, dan Agustus pada beberapa tahun terakhir (BNPB, 2019; Kurniawan *dkk.*, 2016; Nugraheni *dkk.*, 2016).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui mekanisme perambatan gelombang yang ditimbulkan oleh *Mascarene High* dan untuk mengetahui perubahan gelombang di wilayah perairan selatan Jawa terkait fenomena tersebut.

Fenomena *Mascarene High*



Gambar 1. Peta sebaran antisiklon subtropis global

Mascarene High merupakan salah satu antisiklon subtropis di BBS yang memiliki peranan penting dalam mengendalikan cuaca baik di BBU maupun di BBS (Xulu, 2017). Istilah *Mascarene High* diambil oleh para ahli dari nama suatu pulau kecil di sebelah barat Australia, yaitu Pulau Mascarene, dengan titik koordinat pada 30°LS dan 70°BT. Letak dari *Mascarene High* sendiri teridentifikasi di Samudera Hindia bagian Selatan, tepatnya pada koordinat 25 – 35°LS dan 40 – 110°BT yang notabeneanya berada cukup jauh dari BMI namun dampak dari aktifitasnya tetap dapat dirasakan.

Suatu sistem cuaca dapat dikatakan sebagai antisiklon subtropis apabila teridentifikasi memiliki tekanan udara lebih besar atau sama dengan

1020 hPa (Davis *dkk.*, 1997). Antisiklon maupun siklon sendiri memiliki variabilitas yang dapat beraktifitas secara maksimum dengan disertai lokasi perpindahan yang berbeda-beda pada setiap musimnya (Bell dan Bosart, 1989). *Mascarene High* sendiri memiliki karakteristik rata-rata spasial dan perpindahan musiman yang variatif yang bergantung pada ITCZ yang memberikan pengaruh pergerakan secara meridional dan SICZ yang memberikan pengaruh pergerakan secara zonal (Cook, 1998).

Monsun

Monsun merupakan sistem peredaran di atmosfer pada cakupan regional yang variasi musimannya bergantung pada gerak semu matahari terhadap bumi secara periodik. Akibatnya sirkulasi angin wilayah Indonesia mendapatkan pengaruh kuat dari perbedaan daerah bertekanan udara tinggi dan rendah di belahan bumi utara (Asia) dan selatan (Australia) secara musiman. Istilah monsun menjelaskan perubahan arah angin di wilayah Samudra Hindia secara musiman, terutama di wilayah Laut Arab. Angin bergerak dari arah Barat Daya (*South West*) dan berbalik dari arah sebaliknya yakni Timur Laut (*North East*) dengan periode waktu 6 bulanan. Adanya pembalikan sistem sirkulasi angin utama secara musiman ditandai sebagai wilayah monsun (Tjasyono, 2008) yang mana apabila kondisi di bulan Januari dan Juli berikut teridentifikasi pada wilayah sirkulasi permukaan (Zakir *dkk.*, 2010):

- a. Arah angin kebanyakan (*prevailing wind*) berubah setidaknya 120° antara Januari dan Juli
- b. Rata-rata frekuensi arah angin kebanyakan pada bulan Januari dan Juli mencapai 40%
- c. Angin resultan rata-rata yang terjadi minimum pada satu bulan mencapai 3 m/s
- d. Setiap 2 (dua) tahun terjadi kurang dari satu kali perubahan siklon-antisiklon di bulan manapun dalam wilayah selebar 5° lintang-bujur

Gelombang Laut dan Swell

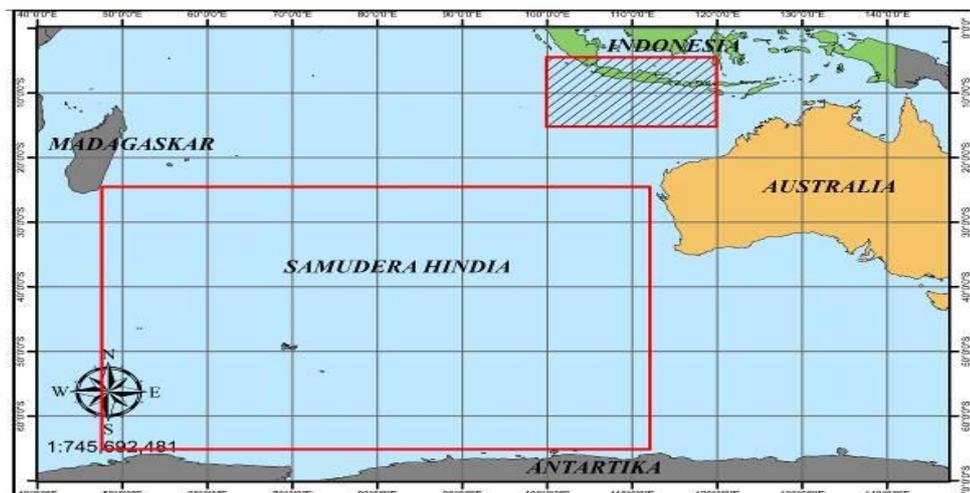
Gelombang laut merupakan bentuk muka laut yang terdiri dari deretan punggung dan lembah gelombang yang ditimbulkan karena adanya gerak ayun (*oscillatory movement*) yang berasal dari hembusan angin, aktifitas gunung berapi, longsor di dasar laut, maupun pergerakan kapal (Sunarto, 2003). Klasifikasi gelombang menurut gaya pembangkitnya dibagi menjadi 3 macam, yaitu (WMO, 1998):

- 1) Gelombang angin, merupakan gelombang yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut yang mana memiliki banyak variasi dalam periodenya.
- 2) Gelombang pasang surut, adalah gelombang yang dibangkitkan oleh gravitasi bumi terhadap objek atau benda langit.
- 3) Gelombang tsunami, adalah gelombang yang dibangkitkan oleh pergerakan lempeng tektonik yang menimbulkan gempa bumi maupun gunung api yang meletus di dasar laut.

Dilihat dari banyak jumlah kejadiannya, gelombang yang paling dominan terjadi di laut yaitu gelombang angin (WMO, 2001). Pada saat angin berhembus di atas suatu wilayah perairan dan bergerak menjauhi sumbernya, maka gelombang tersebut tetap akan menjalar jauh bahkan hingga ribuan kilometer yang disebut sebagai *swell*. *Swell* yang dibangkitkan oleh badai besar di lintang menengah atau tinggi mampu menyebarkan energi ke seluruh lautan global dan berperan penting dalam mengendalikan gelombang di laut baik di BBU maupun BBS (Alves, 2006). Akibatnya *swell* dapat bergerak ke wilayah lainnya seperti wilayah subtropis maupun ekuator yang memungkinkan terdapat daerah pertukaran arah angin sehingga *swell* menjadi semakin lemah karena adanya gesekan internal dan hambatan udara serta kehilangan energi akibat divergensi dan arah penjalaran yang menyebar.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian



Gambar 2. Area Penelitian

Wilayah penelitian ini berada pada koordinat 40 – 140°BT dan 0 – 70°LS. Pada koordinat 100 – 120°BT dan 5.5 – 15°LS (kotak berarsir) digunakan untuk identifikasi mekanisme penjalaran dan perubahan gelombang sedangkan kotak merah di S. Hindia adalah wilayah untuk identifikasi fenomena *Mascarene High*. Waktu penelitian selama periode JJA (Juni, Juli, Agustus) tahun 2016 – 2018.

Data

- Data rata-rata harian gelombang tinggi signifikan (resolusi $1/12^\circ \times 1/12^\circ$), *swell* dan anomaly muka laut (resolusi $1/4^\circ \times 1/4^\circ$).
- Data rata-rata harian angin permukaan dan *mean sea level pressure* (resolusi $1/8^\circ \times 1/8^\circ$).

Metode

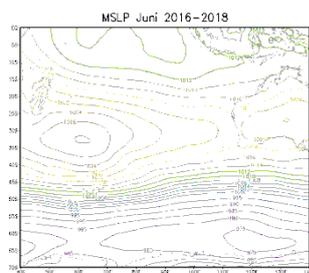
- a. Pengelompokan data tiap parameter berdasarkan puncak signifikan kejadian yang disesuaikan dengan kejadian di lokasi penelitian.
 - b. Pengolahan dan pemetaan menggunakan aplikasi GrADS berdasarkan parameternya.
 - c. Visualisasi profil *time series* dari parameter *sea level anomaly* menggunakan aplikasi ODV.
 - d. Output :
 - Pemetaan mekanisme perambatan gelombang terhadap fenomena *Mascarene High*
 - Pemetaan pengaruh fenomena *Mascarene High* di perairan selatan Jawa
 - e. Analisis
 - Parameter cuaca digunakan untuk identifikasi fenomena *Mascarene High*.
 - Bersama dengan data parameter kelautan untuk mengetahui dinamika pada saat terjadi fenomena *Mascarene High*.
- Analisis perubahan dan mekanisme gelombang di perairan selatan Jawa dilakukan secara kualitatif dengan melakukan pendekatan analisis spasial dan analisis deret waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

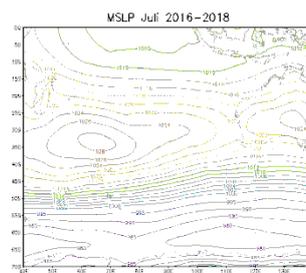
Hasil

Rata-rata bulanan pola spasial *Mascarene High* dengan berbagai level tekanan udara atau isobar selama musim dingin periode bulan Juni, Juli, dan Agustus tahun 2016 – 2018 di wilayah BBS memiliki nilai tekanan udara yang tinggi yakni ≥ 1020 mb. Hal ini menandakan bahwa daerah bertekanan tinggi tersebut merupakan *Mascarene High* dengan nilai maksimum isobar yang mencapai 1025 mb. Batas wilayah lintang dan bujur dari *Mascarene High* tersebut berada pada koordinat 40 hingga 110°BT dan 25 hingga 35 – 40°LS.

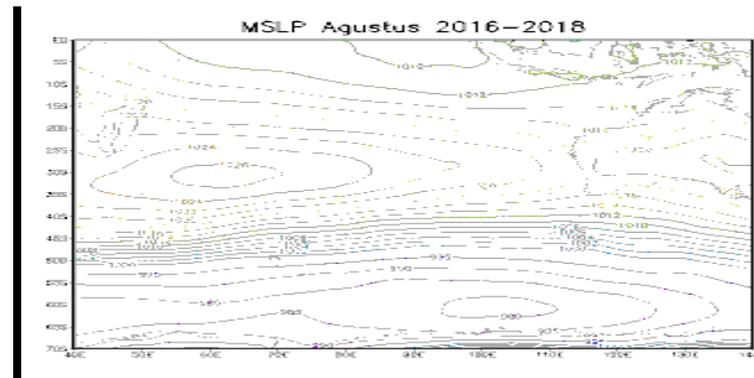
Pada periode monsun timuran bulan Juni, Juli, dan Agustus tahun 2016 – 2018, terangkum 8 kejadian gelombang tinggi di perairan selatan Jawa dengan waktu kejadian seperti pada Tabel 3.1 – 3.3.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.1 Rata-rata karakteristik spasial serta intensitas Mascarene High selama musim dingin tahun 2016 – 2018 secara berturut-turut pada bulan (a) Juni, (b) Juli, dan (c) Agustus

Tabel 3.1 Daftar kejadian gelombang tinggi di perairan selatan Pulau Jawa selama periode monsun timuran (Juni, Juli, dan Agustus) tahun 2016

PRA KEJADIAN	PUNCAK KEJADIAN	PASCA KEJADIAN
6 – 7 Juni	8 – 9 Juni	10 – 11 Juni
18 Juli	19 – 20 Juli	21 Juli

Tabel 3.2 Daftar kejadian gelombang tinggi di perairan selatan Pulau Jawa selama periode monsun timuran (Juni, Juli, dan Agustus) tahun 2017

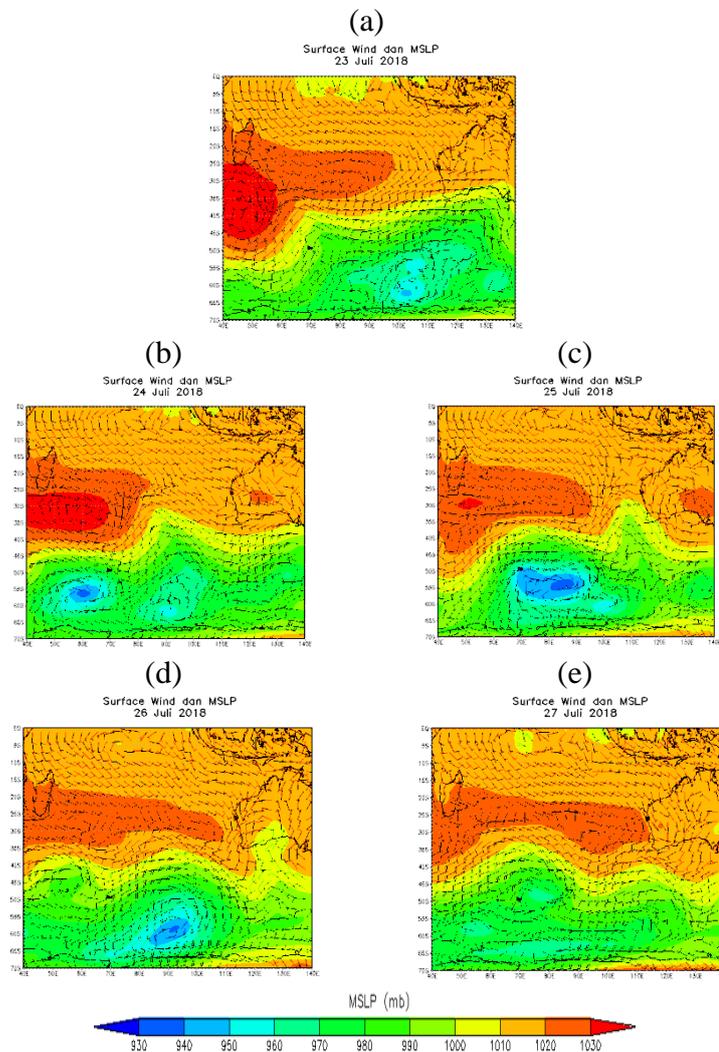
PRA KEJADIAN	PUNCAK KEJADIAN	PASCA KEJADIAN
14 Juli	15 Juli	16 Juli
20 Juli	21 – 22 Juli	23 Juli

Tabel 3.3 Daftar kejadian gelombang tinggi di perairan selatan Pulau Jawa selama periode monsun timuran (Juni, Juli, dan Agustus) tahun 2018

PRA KEJADIAN	PUNCAK KEJADIAN	PASCA KEJADIAN
17 – 18 Juli	19 Juli	20 -21 Juli
23 Juli	24 – 25 Juli	26 – 27 Juli
28 Juli	29 – 30 Juli	31 Juli
2 Agustus	3 – 4 Agustus	5 Agustus

Kedelapan kejadian, kejadian yang paling signifikan terjadi pada tanggal 23 – 27 Juli 2018. Saat sebelum puncak kejadian gelombang terjadi pada tanggal 23 Juli 2018, puncak kejadian terjadi pada tanggal 24 hingga 25 Juli 2018, sedangkan saat setelah kejadian terjadi pada tanggal 26 dan 27 Juli 2018 (Gambar 3.2). Secara umum, pada saat kejadian terdapat pola tekanan udara tinggi yang terbentuk di wilayah Samudera Hindia di bagian barat atau yang disebut sebagai *Mascarene High* yang ditandai dengan kontur berwarna oranye dan merah yang mana menandakan nilai tekanan udara bernilai lebih dari sama dengan 1020 mb dengan pusat tekanan udara yang lebih hingga lebih dari sama dengan 1030 mb. Pada batas lintang 15 – 50°LS dan bujur dari wilayah Afrika terlihat pola tekanan tinggi

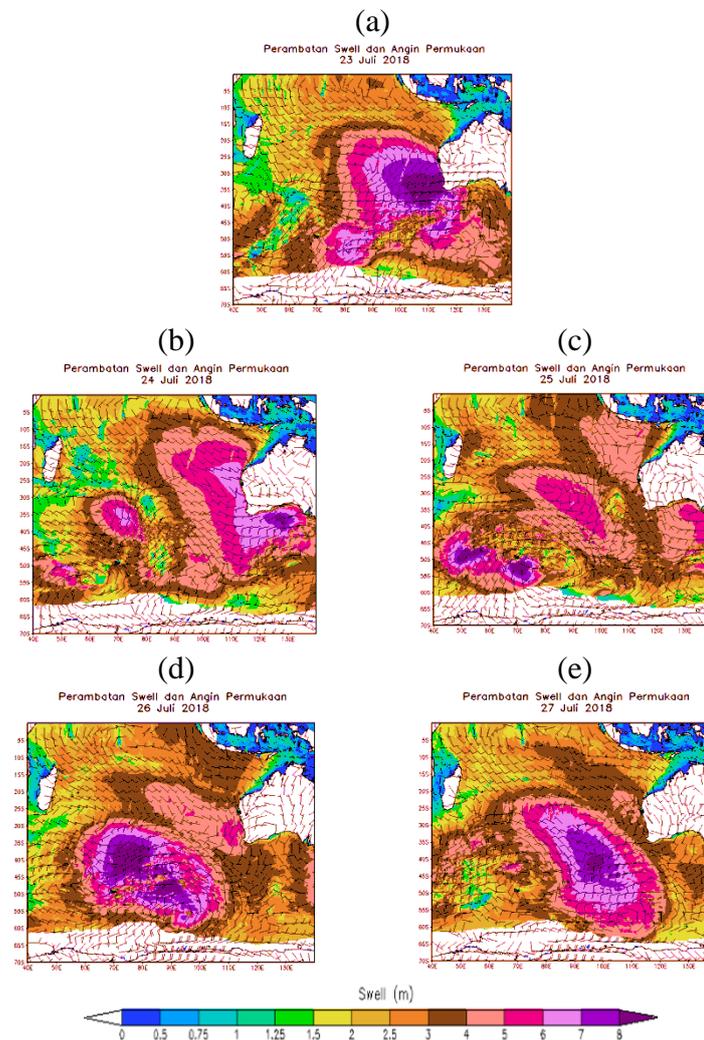
yang cukup luas dan semakin memanjang hingga 115°BT. Sedangkan daerah lainnya baik di utara maupun selatan dari lintang menengah di BBS ini memiliki tekanan udara yang lebih rendah. Terlihat adanya tekanan udara yang rendah di ekuator yang ditandai dengan kontur berwarna kuning dengan nilai tekanan kurang dari sama dengan 1010 mb.



Gambar 3.2 Overlay angin permukaan dan tekanan udara

Selain itu, pola *wind barb* anti siklonik di pusat tekanan tinggi *Mascarene High* memiliki kecepatan rata-rata angin permukaannya yang cukup tenang yakni berkisar antara 3 – 7 knots atau 1,5 – 3,5 m/s. Akibat adanya perbedaan nilai tekanan udara di lintang menengah di BBS terhadap wilayah di ekuator, maka terjadi perpindahan massa udara dari daerah bertekanan tinggi *Mascarene High* ke wilayah bertekanan rendah baik ke ekuator maupun ke kutub selatan. Dengan pola tekanan tinggi yang memanjang ke timur, maka menyebabkan pembelokan aliran udara yang cukup tajam dari wilayah Samudera Hindia ke wilayah ekuator seiring dengan peningkatan kecepatannya menjadi 8 – 12 knots atau 4 – 6 m/s. Pada tanggal 24 Juli 2018 peningkatan kecepatan angin mencapai 8 – 17

knots atau 4 – 8,5 m/s. Namun pada tanggal 25 Juli 2018 terjadi

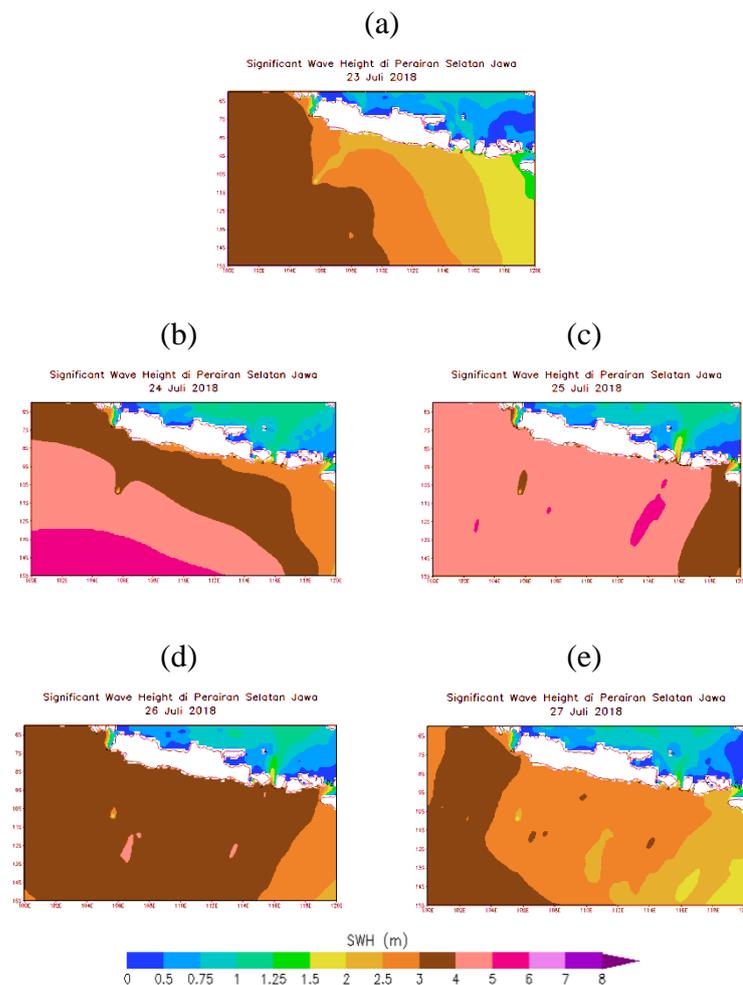


Gambar 3.3 Pengaruh Fenomena *Mascarene High* di Perairan Selatan Jawa

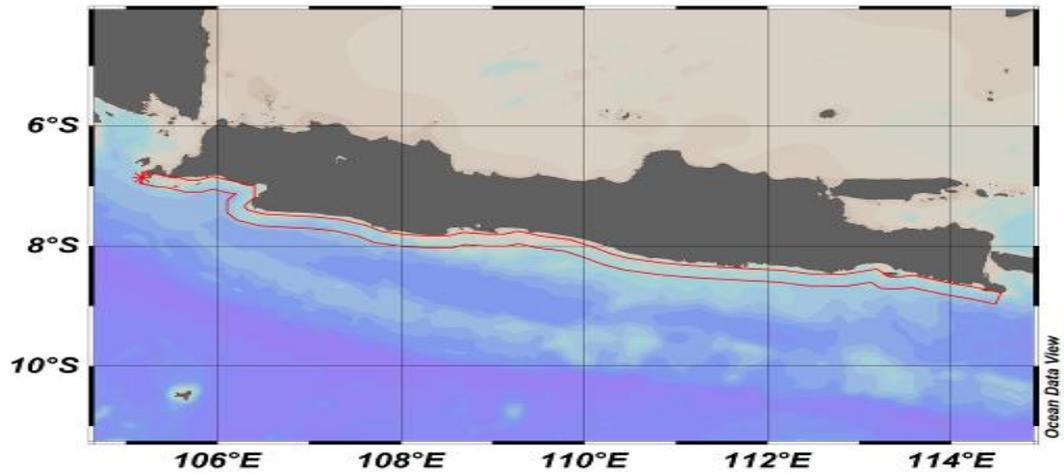
penurunan kecepatan angin akibat perbedaan tekanan udara di lintang menengah BBS dan ekuator tidaklah signifikan pada saat tanggal 24 Juli 2018. Sedangkan kecepatan angin pada dua hari pasca puncak kejadian kembali ke semula yakni 8 – 12 knots atau 4 – 6 m/s. Dengan pola tekanan udara yang memanjang secara zonal, maka terjadi pembelokan arah angin yang cukup signifikan menuju ekuator. Sehingga arah aliran udara yang menuju ekuator didominasi dari arah Tenggara – Selatan.

Dengan adanya belokan angin (*shearline*) yang cukup tajam yang teridentifikasi memanjang di Samudera Hindia hingga mencapai pesisir barat Australia dan bersamaan dengan adanya pola angin siklonik di selatan Australian menimbulkan perpindahan massa udara yang maksimum. Terlihat adanya penumpukan massa udara di antara belokan angin di barat Australia yang teridentifikasi memiliki kecepatan angin permukaan sebesar 8 – 22 knots atau 4 – 11 m/s. Penumpukan massa

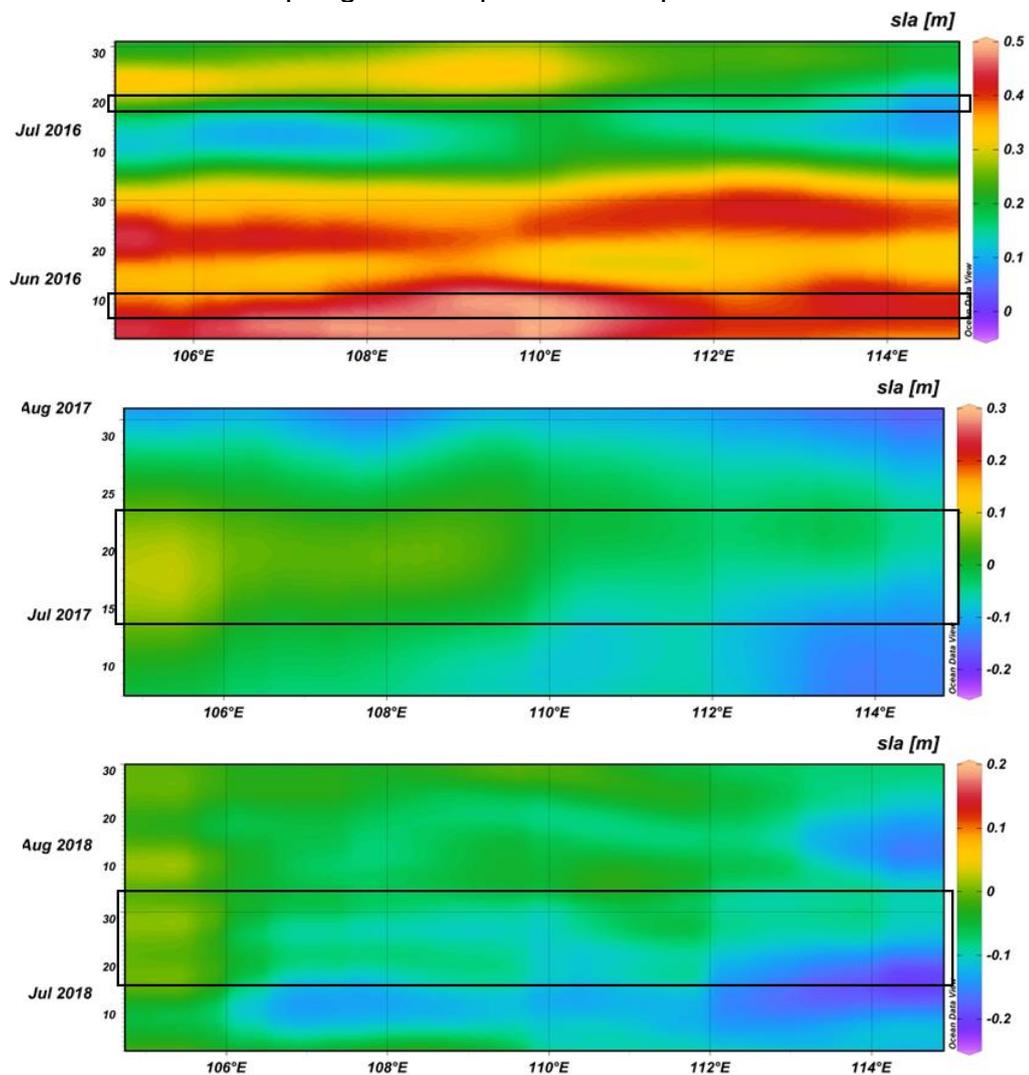
udara yang disertai kecepatan angin yang tinggi tersebut mampu membangkitkan muka laut di wilayah yang terdampak. Sehingga muka laut di barat Australia mengalami kenaikan muka laut yang sangat signifikan hingga lebih dari sama dengan 8 m. Setelah adanya pembelokkan arah angin dari barat kemudian berbelok dari timur menuju ke ekuator menyebabkan sebaran gelombang laut bergerak searah dengan aliran angin. Aliran angin tersebut mengalami penurunan kecepatan sehingga muka laut yang tersapu dan menjalar akibat angin permukaan tersebut juga mengalami penurunan intensitas ketinggian signifikan *swell* menjadi 5 – 7 m pada hari puncaknya dan dua hari pasca puncaknya menjadi 2,5 – 4 m.



Gambar 3.4 Perubahan tinggi gelombang laut di perairan selatan Pulau Jawa



Gambar 3.5 Penampang domain penelitian di pesisir selatan Pulau Jawa



Gambar 3.6 Diagram Hovmöller sea level anomaly bulan Juni, Juli, Agustus 2016 - 2018

Pada perubahan tinggi gelombang laut di perairan selatan Jawa pada saat sebelum terjadi gelombang tinggi dapat dikatakan masih dalam keadaan normalnya dengan tinggi muka laut sekitar 2 – 3 meter. Namun badan laut yang lebih jauh dari daratan sudah terlihat adanya kontur berwarna cokelat yang menandakan adanya gelombang laut dengan ketinggian 4 meter menjalar dari Samudera Hindia. Pada puncak kejadian, ketinggian rata-rata gelombang signifikannya mencapai 5 meter. Keadaan ini berlangsung menurun secara berangsur-angsur pada tanggal 26 – 27 Juli 2018 dengan penurunan intensitas ketinggiannya menjadi 2,5 – 4 m dan kembali ke keadaan normalnya dengan tinggi gelombang signifikan rata-ratanya menjadi 2,5 – 3 meter. Selain melihat perubahan tinggi gelombang signifikannya, anomali muka laut (*sea level anomaly*) juga menggambarkan perbedaan tinggi muka laut berdasarkan normalnya dari waktu ke waktu. Pada kasus ini, domain penelitian yang diteliti yaitu sepanjang pesisir selatan Pulau Jawa dengan lebar penampang domain sepanjang 22 km (Gambar 3.5) dengan perubahan anomali yang dijabarkan pada Tabel 3.4 – 3.6.

Tabel 3.4 Perubahan *sea level anomaly* periode JJA tahun 2016

KEJADIAN	ANOMALI
6 – 11 Juni	0,37 – 0,5 m
18 – 21 Juli	0,1 – 0,3 m

Tabel 3.5 Perubahan *sea level anomaly* periode JJA tahun 2017

KEJADIAN	ANOMALI
14 – 16 Juli	-0,1 – 0,1 m
20 – 23 Juli	

Tabel 3.6 Perubahan *sea level anomaly* periode JJA tahun 2018

KEJADIAN	ANOMALI
17 – 21 Juli	-0,2 – 0,02 m
23 – 27 Juli	
28 – 31 Juli	
2 – 5 Agustus	

Rata-rata pola spasial *Mascarene High* periode monsun timuran (Juni, Juli, dan Agustus) selama tiga tahun yakni tahun 2016 hingga 2018 menunjukkan pola yang serupa dengan nilai tekanan udara ≥ 1020 mb dan pusat tekanan tertingginya ≥ 1025 mb dengan batas koordinat pada 25 – 40°LS dan 40 – 110°BT. Hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Xulu *dkk.* (2017), Manatsa *dkk.* (2014), dan Xue *dkk.* (2003) yang dikarenakan SICZ pada periode JJA memberikan pengaruh pergerakan zonal ke baratan sedangkan ITCZ pada periode tersebut sedang berada di BBU menjauhi ekuator yang mana mempengaruhi pergerakan sirkulasi yang ada di atmosfer secara meridional ke utara termasuk *Mascarene High* itu sendiri.

Karena pada wilayah di utara maupun selatan *Mascarene High* memiliki tekanan udara yang lebih rendah, maka terjadilah perpindahan massa udara khususnya angin permukaan yang mampu mempengaruhi pergerakan muka air laut. Di wilayah selatan *Mascarene High* terdapat pusat tekanan rendah dengan pola punggung yang polanya terlihat lebih condong mengarah ke utara. Pola punggung ini menjadi perhatian penting karena berpengaruh signifikan terhadap pergerakan dan peningkatan kecepatan angin permukaan yang mampu berbelok tajam ke utara dan berkontribusi dalam membangkitkan gelombang tinggi. Rata-rata angin permukaan harian di lintang menengah pada pusat anti siklon bertekanan tinggi cenderung memiliki kecepatan angin yang teduh, yakni sebesar 3 – 7 knots atau 1,5 – 3,5 m/s. Kecepatan angin permukaan yang bergerak ke ekuator rata-rata sebesar 3 – 12 knots atau 1,5 – 6 m/s. Sedangkan kecepatan angin permukaan yang bergerak ke lintang tinggi atau kutub selatan memiliki kecepatan yang lebih tinggi hingga 8 – 22 knots atau 4 – 11 m/s.

Pergerakan massa udara yang mengalir antar lintang tidak mengalir secara tegak lurus terhadap isobar maupun searah dengan gaya gradien tekanannya. Namun terjadi pembelokan arah yang diakibatkan adanya gaya *coriolis* atau gaya semu yang timbul dari pengaruh rotasi bumi dan gerak udara nisbi terhadap muka bumi. Pergerakan pola angin pada bulan Juni, Juli, dan Agustus pada kejadian gelombang tinggi dalam penelitian ini terlihat didominasi dari arah Tenggara bersamaan dengan monsun timuran (Kurniawan *dkk.*, (2011)). Di setiap bagian *shearline* yang disertai dengan konvergensi maupun divergensi dan angin yang berkecepatan tinggi terlihat memiliki pola yang sama antara angin permukaan terhadap tinggi *swell* signifikannya. Kontribusi langsung angin permukaan terhadap muka laut yakni berupa tingkat kecepatan serta persistensi dan keseragaman arah aliran angin yang mampu menimbulkan pergolakan di muka laut yang semakin besar. Sehingga aliran pergerakan angin yang sama memberikan energi yang terkumpul lebih besar dan mampu membangkitkan gelombang yang konstruktif yang saling menguatkan (Kurniawan *dkk.*, 2011). Pergolakan muka laut secara terus menerus akan berpengaruh pada tinggi muka laut terhadap normalnya. Sehingga angin permukaan berperan penting dalam membangkitkan gelombang tinggi yang signifikan serta memperluas penjarannya yang dalam kasus ini mampu menjangkau *swell* hingga ke selatan Pulau Jawa.

Proses penjaran gelombang tinggi atau *swell* yang mencapai selatan Jawa membutuhkan waktu rata-rata 1 – 2 hari dengan arah angin yang konsisten berasal dari tenggara. Ketinggian *swell* yang mencapai wilayah tersebut berkisar antara 3 – 5 meter. Waktu puncak berlangsungnya gelombang tinggi maupun pasca peluruhan gelombang tinggi tersebut masing-masing membutuhkan waktu 1 – 2 hari dengan kondisi arah angin yang sama yaitu dari Tenggara. Ketinggian gelombang laut di perairan selatan Pulau Jawa umumnya memiliki rata-rata normal tinggi gelombang berkisar antara 1,5 – 3 meter (Kurniawan *dkk.*, 2011). Sedangkan pada periode kejadian dalam penelitian ini menunjukkan anomali ketinggian hingga mencapai 3 – 5 meter yang mana melebihi dari rata-rata normalnya.

Maka dapat dikatakan bahwa wilayah Indonesia bagian selatan yang langsung bertemu dengan Samudera Hindia seperti perairan Pulau Jawa merupakan daerah yang rawan terjadi gelombang tinggi pada saat periode monsun timuran JJA yang juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan *dkk.* (2012).

Kejadian gelombang tinggi dalam penelitian ini memiliki anomali tinggi muka laut yang variatif seperti pada rincian Tabel 3.4 – 3.6. Perbedaan anomali yang terjadi di wilayah penelitian ini berkaitan erat terhadap sirkulasi yang ada di laut berupa *upwelling* dan *downwelling*. Fenomena *upwelling* menyebabkan permukaan laut yang menurun atau rendah sehingga terjadi kekosongan massa air. Akibatnya anomali tinggi muka laut saat *upwelling* menjadi negatif. Beda halnya dengan fenomena *downwelling* yang menyebabkan kenaikan tinggi permukaan laut karena adanya penumpukkan massa air. Akibatnya anomali tinggi laut saat *downwelling* bernilai positif. Dugaan terhadap dinamika terjadinya *upwelling* dan *downwelling* di perairan selatan Pulau Jawa tak lepas dari pengaruh monsun baratan dan monsun timuran yang mana kedua monsun tersebut memiliki arah angin yang berbeda (Fadlan *dkk.*, 2017).

Kejadian gelombang tinggi periode monsun timuran (Juni, Juli, dan Agustus) 2016 – 2018 pada penelitian ini secara temporal mengalami penurunan anomali tinggi muka laut. Yang mana kejadian pada bulan Juni cenderung bernilai positif sedangkan pada bulan berikutnya yakni Juli hingga Agustus terjadi penurunan anomali yang bernilai negatif. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Marpaung dan Harsanugraha (2014) yang menyatakan bahwa pada periode JJA memiliki karakteristik temporal tinggi muka laut di perairan selatan Pulau Jawa yang menunjukkan penurunan anomali dengan pola sinusoidal. Pengaruh angin permukaan monsun timuran yang umumnya berasal dari tenggara dan banyak terjadi pada periode JJA memberikan pengaruh yang kuat terhadap muka laut di wilayah penelitian. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kunarso *dkk.* (2011) dan Susanto *dkk.* (2001) bahwa semakin kuat intensitas monsun timuran maka semakin kuat pula proses *upwelling* yang terjadi di perairan selatan Pulau Jawa. Sehingga secara teori Ekman, perairan di selatan Jawa selama periode JJA yang mendapatkan pengaruh angin monsun timuran mengalami proses *upwelling* (Fadlan *dkk.*, 2017).

Dari diagram Hovmoller pada Gambar 3.6 secara umum dari bulan Juni hingga Agustus menunjukkan bahwa intensitas anomali tinggi muka laut yang tinggi banyak terjadi di perairan selatan Pulau Jawa bagian barat. Dalam hal ini adalah wilayah selatan Banten hingga Jawa Barat. Sedangkan bagian laut timur menunjukkan anomali tinggi muka laut yang lebih rendah, yang meliputi selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur. Semakin ke timur menyajikan nilai anomali yang lebih rendah daripada wilayah perairan lainnya. Karakteristik anomali tinggi muka laut di perairan selatan Pulau Jawa ini sebelumnya telah diteliti oleh Fadlan *dkk.* (2017), Yoga *dkk.* (2014), dan Purba (2007) yang menyatakan bahwa intensitas anomali tinggi muka laut yang rendah atau *upwelling* menguat di wilayah selatan Jawa

Timur daripada wilayah perairan selatan lainnya. Hal ini terlihat jelas pada diagram Hovmoller dengan koordinat 112 – 114.5°BT.

KESIMPULAN

Secara umum, mekanisme perambatan gelombang akibat fenomena *Mascarene High* selama periode monsun timuran bulan Juni, Juli, dan Agustus tahun 2016 – 2018 yaitu posisi spasial *Mascarene High* mengalami perubahan yang bergerak ke timur Samudera Hindia yang ditandai dengan tekanan udara ≥ 1020 mb di pusat anti siklon subtropis *Mascarene High*. Selain itu teridentifikasi daerah tekanan rendah berupa pola punggung yang condong mengarah ke utara dengan kecepatan angin permukaan yang meningkat menjadi 8 – 22 knots atau 4 – 11 m/s. Angin permukaan tersebut membangkitkan gelombang laut di Samudera Hindia hingga mencapai 8 meter. Angin permukaan yang bergerak ke ekuator bersama dengan terjadinya monsun timuran mengalami peningkatan kecepatan menjadi 3 – 12 knots atau 1,5 – 6 m/s. Hembusan angin permukaan mempengaruhi waktu penjalaran *swell* yang terjadi selama 1 – 2 hari.

Perubahan gelombang di wilayah perairan selatan Pulau Jawa pada saat terjadi fenomena *Mascarene High* adalah terjadinya kenaikan gelombang tinggi signifikan melebihi normalnya hingga dua kali lipat yang mencapai 3 – 5 meter. Hal tersebut dikarenakan adanya perambatan *swell* serta adanya dorongan angin permukaan yang searah dan persisten terus menerus dari Samudera Hindia selama kejadian berlangsung. Angin permukaan yang didominasi dari arah tenggara yang bersamaan dengan monsun timuran memberi pengaruh kuat terhadap peningkatan tinggi muka laut di wilayah tersebut yang berlangsung secara singkat selama 1 – 2 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Alves, J. H. G. M. 2006. Numerical modeling of ocean swell contributions to the global wind-wave climate. *Ocean Modelling*. Vol. 11 (1–2), 98–122.
- Bell, G. D. dan Bosart, L. F. 1989, A 15-Year Climatology of Northern Hemisphere 500 mb Closed Cyclone and Anticyclone Centers. *American Meteorological Society*. 117(10). 2142–2164.
- BNPB. 2019. *The Indonesian Disaster Data and Information-DIBI* [online]. <http://dibi.bnpb.go.id/>. Diakses pada tanggal 20 Mei 2019.
- Chen, S., Liang, G., Chen, H., dan Zhou, R. 2015. The Effects of Long-Time Strong Wave Condition on Breakwater Construction. *Procedia Engineering*. Vol. 116 (1). 203–212.

- Cook, K.H. 1998. On the response of the Southern Hemisphere to ENSO. *Proc. 23rd Climate Diagnostics and Prediction Workshop*. Miami. 37. 323–326.
- Davis, R. E., Hayden, B. P., Gay, D. A., Phillips, W. L., dan Jones, G. V. 1997. The North Atlantic Subtropical Anticyclone. *Journal of Climate*. 10(4). 728–744.
- Fadlan, A., Sugianto, D. N., Kunarso, dan Zainuri, M. 2017. Pengaruh Fenomena Monsun. El Nino Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole (IOD) Terhadap Anomali Tinggi Muka Laut di Utara dan Selatan Pulau Jawa. *Ilmu Kelautan*. 16(3). 205–2017.
- Kunarso, Hadi, S., Ningsih, N. S., Baskoro, M. S. 2011. Perubahan Kedalaman dan Ketebalan Termoklin Pada Variasi Kejadian ENSO. IOD dan Monsun di Perairan Selatan Jawa Hingga Pulau Timor. *Ilmu Kelautan*. 17(2): 87-98.
- Kurniawan, R., Habibie, M. N., dan Permana, D. S. 2012. Kajian Daerah Rawan Gelombang Tinggi Di Perairan Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*. 13(3). 201–212.
- Kurniawan, R., Habibie, M. N., dan Suratno. 2011. Variasi Bulanan Gelombang Laut di Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*. 12(3). 221–232.
- Kurniawan, R., Ramdhani, A., Saky, A. E., dan Pratama, B. E. 2016. High wave and coastal inundation in south of Java and west of Sumatera (Case studies on 7-10 June 2016). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*. Vol. 17. 69–76.
- Manatsa, D., Morioka, Y., Behera, S.K., Matarira, C.H., Yamagata, T. 2014. Impact of Mascarene High variability on the East African ‘short rains’. *Climate Dynamics* 42, 1259 - 1274.
- Marpaung, S. dan Harsanugraha, W. K. 2014. Karakteristik Sebaran Anomali Tinggi Muka Laut di Perairan Bagian Selatan dan Utara Pulau Jawa. *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*. 2014.
- Nugraheni, I. R., Wijayanti, D. P., Sugianto, D. N., dan Ramdhani, A. 2016. Study of inundation events along the southern coast of Java and Bali, Indonesia (case studies 4-9 June 2016). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 55.
- Purba, M. 2007. Dinamika Perairan Selatan P. Jawa – P. Sumbawa Saat Muson Tenggara. *Torani*. 17(2):140-150.

- Setyawan, W. B., dan Pamungkas, A. 2017. Perbandingan Karakteristik Oseanografi Pesisir Utara dan Selatan Pulau Jawa: Pasang-Surut, Arus, dan Gelombang. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan Dan Perikanan*. 191–202.
- Susanto, R.D., Gordon dan Zheng. 2001. Upwelling along the coasts of Java and Sumatra and its relation to ENSO. *Geophysical Research Letters*. 28(8) :1599-1602.
- Sunarto, 2003, Geomorfologi Pantai: Dinamika Pantai, Makalah dalam Kegiatan Susur Pantai Karst Gunungkidul pada Raimuna 2003, Laboratorium Geomorfologi Terapan Fakultas Geografi Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Tjasyono, B. 2008. *Meteorologi Terapan*. Bandung: Penerbit ITB.
- WMO. 1998. Guide to Wave Analysis and Forecasting No. 702. Second Edition. World Meteorological Organization. Geneva-Switzerland.
- WMO. 2001. Guide to Marine Meteorological Services No. 471. Third edition. World Meteorological Organization. Geneva-Switzerland.
- Xue, F., Wang, H., dan He, J. 2003. Interannual Variability of Mascarene High and Australian High and Their Influences on East Asian Summer Monsoon. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 82(4), 1173–1186.
- Xulu, N. G. 2017. Impact of spatio-temporal variability of the Mascarene High on weather and climate over southern Africa. *Disertation*. Department of Geography and Geo-Information Sciences. School of Environmental Sciences. University of Venda, Thohoyandou, South Africa.
- Yoga, R. B., Setyono, H., dan Harsono, G. 2014. Dinamika Upwelling dan Downwelling Berdasar Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-A di Perairan Selatan Jawa. *Jurnal Oseanografi*. 3(1):57-66.
- Zakir, A., Sulistya, W., dan Khotimah, M.K. 2010. Perspektif Operasional Cuaca Tropis. Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG. Jakarta.