

**SIMULASI NUMERIK DAMPAK BADAI GEORGE DAN JACOB (2007)
TERHADAP TINGGI GELOMBANG SIGNIFIKAN PADA
LAUT SELATAN JAWA HINGGA NUSA TENGGARA**

***NUMERICAL SIMULATION OF THE IMPACT OF HURRICANES GEORGE AND
JACOB (2007) ON SIGNIFICANT WAVE HEIGHT IN THE SOUTH SEA OF JAVA AND
LESSER SUNDA ISLANDS***

**Helwis liufandy¹, Denny Nugroho Sugianto¹, Widodo S. Pranowo^{2,3},
Johar Setiyadi³, & Baskoro Rochaddi¹**

¹Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro

²Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan

³Prodi Hidrografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut

Email: hellzliu@gmail.com

ABSTRAK

Gelombang laut adalah gerakan naik dan turunnya air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Gelombang laut dihasilkan karena gaya pembangkit yang bekerja di laut salah satunya adalah angin. Angin dari siklon tropis dapat menjadi gaya pembangkit yang kuat bagi gelombang laut, sehingga gelombang laut yang terbentuk cenderung memiliki ketinggian yang lebih tinggi serta energi yang lebih besar. Bila gelombang tinggi tiba bersamaan dengan saat laut pasang, maka akan terjadi banjir yang biasanya disebut dengan gelombang badai. Simulasi hidrodinamika pada penelitian ini dilakukan menggunakan program *Delft 3D*. *Delft 3D* merupakan program *open source* yang dikembangkan oleh *TU Delft (Delft University of Technology)*. Hasil dari model *Delft 3D* pada titik a memiliki nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 4,989 m. Pada titik b memiliki nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 5,099 m. Pada titik c memiliki nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 4.027 m. Pada titik d memiliki nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 7.144 m.

Kata Kunci: Simulasi Numerik, Badai George, Badai Jacob, Tinggi Gelombang Signifikan, Jawa - Nusa Tenggara.

ABSTRACT

Ocean waves are rising and falling movements of sea water that form a sinusoidal curve/graph. Ocean waves are generated because of the generating force acting on the sea, one of which is the wind. Winds from tropical cyclones can be a strong generating force for ocean waves, so the ocean waves that are formed tend to have higher heights and greater energy. When high waves arrive at the same time as high tide, there will be flooding which is usually called a storm surge. The hydrodynamic simulation in this study was carried out

using the Delft 3D program. Delft 3D is an open source program developed by TU Delft (Delft University of Technology). The results of the Delft 3D model at point a have a maximum wave height of 4.989 m. At point b has a maximum wave height of 5.099 m. At point c has a maximum wave height of 4,027 m. At point d, the maximum wave height is 7,144 m.

Keywords: Numerical Simulation, George Cyclone, Jacob Cyclone, Significant Wave Height, Java And Lesser Sunda Island

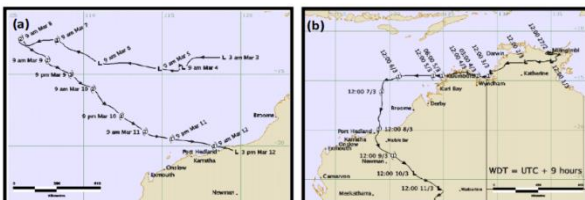
PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa, diapit oleh dua samudra, samudra Hindia dan samudra Pasifik. Siklon tropis merupakan sebuah fenomena alam dimana terjadinya sebuah sirkulasi angin menuju ke daerah dengan tekanan rendah. Siklon tropis biasanya terjadi pada lintang 10° dan 20° Lintang Utara dan Selatan. Siklon tropis merupakan kejadian alami yang tidak dapat dicegah maupun dihilangkan, Fase siklon tropis dibagi menjadi 3 tahap, yaitu : tahap pembentukan, tahap matang dan tahap pelemahan (Syaifullah, 2015). Walaupun siklon tropis tidak pernah melanda daerah Indonesia, namun dampak dari siklon tropis sangat mempengaruhi kondisi cuaca dan keadaan laut di wilayah Indonesia (Dyahwathi *et al.*, 2007). Dampak siklon tropis di Indonesia antara lain adalah: Kondisi perairan, cuaca ekstrim, tanah longsor, dan banjir.

Gelombang laut adalah gerakan naik dan turunnya air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Gelombang laut dihasilkan karena gaya pembangkit yang bekerja di laut salah satunya adalah angin (Kurniawan *et al.*, 2011). Angin dari siklon tropis dapat menjadi gaya pembangkit yang kuat bagi gelombang laut, sehingga gelombang laut yang terbentuk cenderung memiliki

ketinggian yang lebih tinggi serta energi yang lebih besar. Bila gelombang tinggi tiba bersamaan dengan saat laut pasang, maka akan terjadi banjir yang biasanya disebut dengan gelombang badai. Simulasi hidrodinamika pada penelitian ini dilakukan menggunakan program Delft 3D. Delft 3D merupakan program *open source* yang dikembangkan oleh TU Delft (Delft University of Technology). Delft 3D-Wave menyediakan program SWAN (Simulating WAVes Nearshore) yang juga merupakan produk dari TU Delft (Deltares, 2014). SWAN biasanya digunakan untuk melakukan model hindcasting pada daerah pesisir dan laut karena mampu menggambarkan interaksi non linear gelombang dengan sangat baik. Penelitian ini akan difokuskan untuk melakukan simulasi numerik terhadap fenomena siklon Jacob (2–12 Maret 2007) dan George (3–9 Maret 2007) untuk melihat tinggi gelombang pada bagian selatan pulau Jawa hingga Nusa Tenggara. Siklon Jacob (2–12 Maret 2007) dan George (3–9 Maret 2007) terjadi pada samudra hindia bagian timur yang ditampilkan dalam gambar (a) dan (b). Dalam penelitian ini, batas grid model yang dibuat memiliki koordinat 104° - 129° BT dan -22.5° - -4.5° LS. Kedua siklon tersebut tergolong kedalam kategori severe (Maul, 2007). Siklon ini

menyebabkan berbagai macam kerusakan pada wilayah lintasannya. Kedua siklon ini terjadi pada waktu yang hampir bersamaan pada domain yang sama. Hal ini menyebabkan terjadinya interaksi gelombang yang disebabkan oleh kedua siklon tersebut.



Gambar 1 : Lintasan badai: (a). siklon Jacob 2-12 Maret 2007 dan (b). siklon George 3 - 9 Maret 2007.

(Sumber : Ningsih *et al.*, 2011)

Simulasi hidrodinamika terhadap fenomena siklon tropis George dan Jacob telah dilakukan sebelumnya oleh Ningsih *et al.*, 2011 dengan menggunakan aplikasi Mike 21 yang berfokus pada storm surges dan inudasi pada daerah pesisir. Pada artikel ini simulasi tersebut akan dilakukan kembali menggunakan program Delft 3D dan lebih berfokus pada gelombang.

BAHAN DAN METODE

Delft 3D Wave menggunakan program *SWAN* sebagai dasar dari perhitungannya. Program ini telah banyak digunakan untuk melakukan simulasi tinggi gelombang yang dibangkitkan oleh angin (Seperti dalam Chu *et al.*, 2004, Dietrich *et al.*, 2012, Muliati *et al.*, 2018, Hoque *et al.*, 2020). Simulasi menggunakan program *Delft 3D-wave* dilakukan dengan menggunakan persamaan action density yang dituliskan Komen, *et al* (1996) :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_{\vec{x}} [(\vec{C}_g + \vec{U})N] + \frac{\partial c_g N}{\partial \theta} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (1)$$

dimana $N(\sigma, \theta)$ adalah kerapatan aksi; x adalah ruang; t adalah waktu; θ adalah arah gelombang; σ adalah frekuensi relatif; C_g merupakan kecepatan perambatan aksi dalam ruang geografis, $c\sigma$ adalah kecepatan perambatan dalam ruang σ , $c\theta$ adalah kecepatan perambatan dalam ruang θ , dan S_{tot} adalah istilah sumber. Di sini, kerapatan aksi $N(\sigma, \theta)$ sama dengan kerapatan energi dibagi dengan frekuensi relatif dan dinyatakan sebagai $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$, di mana $E(\sigma, \theta)$ adalah kepadatan energi gelombang (Hoque *et al.*, 2020). Suku pertama di sisi kiri Persamaan (1) mewakili tingkat lokal dari perubahan densitas aksi dalam waktu. Kedua dan istilah ketiga mewakili penyebaran tindakan secara geografis akuntansi ruang untuk *shoaling* sebagai kecepatan kelompok c_g berkurang di air dangkal. Suku keempat mewakili induksi kedalaman dan refraksi arus. Istilah kelima menunjukkan pergeseran frekuensi relatif karena variasi kedalaman dan arus. Perambatan gelombang di Persamaan (1) seimbang oleh perubahan lokal pada spektrum gelombang karena sumber total istilah S_{tot} di sisi kanan, yang dapat diekspresikan sebagai:

$$S_{tot} = S_{in} + S_{wc} + S_{nl4} + S_{nl3} + S_{bf} + S_{br} \quad (2)$$

Perhitungan kesalahan dilakukan dengan menggunakan RMSE (*Root Mean Squared Error*) yang terdapat dalam Jiang (2022).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (y_i - x_i - b)^2} \quad (3)$$

Data Dan Domain Model

Dalam penelitian ini, batas grid model yang dibuat memiliki koordinat $104^\circ - 129^\circ$ BT dan $-22.5^\circ - -4.5^\circ$ LS. Resolusi grid model yang digunakan berukuran $0.25^\circ \times$

0.25°. Luas daerah simulasi untuk grid model kasar adalah 2.445.000 km². Data angin dan data tekanan udara diunduh melalui website *ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present (copernicus.eu)*. Dataset yang dipilih merupakan *type Reanalysis*. Data yang dipilih merupakan *10m u-component of wind* dan *10m v-component of wind* pada 1 Februari hingga 31 Maret 2007 dengan batas koordinat longitude 104° – 129° BT, -4.3° - -22.5° LS. Data Bathimetri yang digunakan merupakan data dari gebco yang dimasukkan kedalam grid menggunakan *software Delft Dashboard*. Data angin dan data tekanan udara diunduh melalui website *ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present (copernicus.eu)*. Dataset yang dipilih merupakan *type Reanalysis*. Data yang diunduh meliputi data *signifikan height wave of wind wave, mean wave period* dan *mean wave direction* pada 1 Februari hingga 31 Maret 2007 dengan batas koordinat longitude 104° – 129° BT, -4.3° - -22.5° LS. Data elevasi muka air laut yang digunakan merupakan data dari tpxo 7.2 yang dipanggil menggunakan *software Delft Dashboard*. Data tersebut otomatis dibuat pada daerah *open boundary* pada grid yang telah dibuat. Data elevasi yang diunduh berupa konstanta harmonik pasut yang terdiri dari 11 komponen pasut (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, M4, MS4, MN4).

Pengaturan Model

Model gelombang dalam Delft 3D disimulasikan dengan interval 1 jam dari 27 Februari 2007 hingga 25 Maret 2007. Rentang frekuensi diatur pada 0,05-1 Hz dan dibagi secara linier menjadi 40

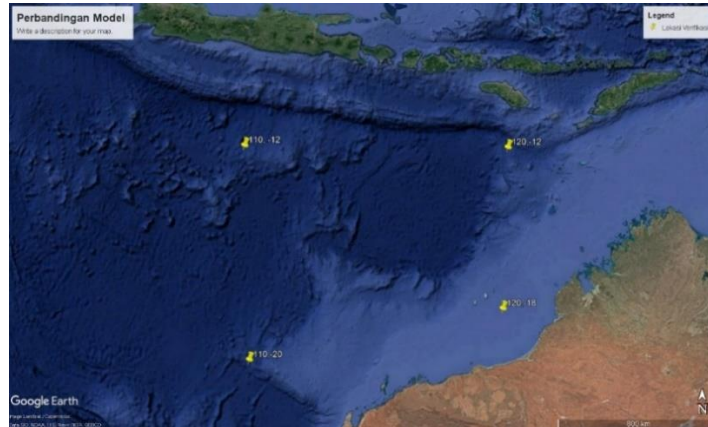
frekuensi. *Backward Space Backward Time (BSBT)* digunakan untuk kedua domain model dengan akurasi 98%. Perhitungan fisika model ini merupakan model generasi ke-3 dengan konstanta *Depth-induced breaking* alpha sebesar 1 dan gamma sebesar 0,73. Konstanta *Non-linear triad interaction* alpha yang digunakan sebesar 0,1 dan Beta sebesar 2,2. Bottom friction yang digunakan bertipe Jonswap dengan koefisien 0,038 m²/s³.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi titik perbandingan antara Model *Delft 3D* dengan *ECMWF* diamati pada 4 titik, Titik titik tersebut meliputi (a)110, -12 ; (b) 120, -12; (c) 110, -20; (d) 120, -18. Hasil dari model Delft 3D pada titik a memiliki nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 4,989 m, tinggi gelombang minimal sebesar 1,43 m dan tinggi rata rata 2,35 m. Pada titik b memiliki nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 5,099 m, tinggi gelombang minimal sebesar 0,663 m dan tinggi rata rata 1,68 m. Pada titik c memiliki nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 4,027 m, tinggi gelombang minimal sebesar 1,632 m dan tinggi rata rata 2,58 m. Pada titik d memiliki nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 7,144 m, tinggi gelombang minimal sebesar 0,403 m dan tinggi rata rata 1.39 m. Hasil dari model *ECMWF* pada titik a memiliki nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 5,22 m, tinggi gelombang minimal sebesar 1,399 m dan tinggi rata rata 2,128 m. Pada titik b memiliki nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 4,29 m, tinggi gelombang minimal sebesar 0,801 m dan tinggi rata rata 1.65 m. Pada titik c memiliki nilai tinggi

gelombang maksimal sebesar 4,36 m, tinggi gelombang minimal sebesar 1,474 m dan tinggi rata rata 2,512 m. Pada titik d memiliki nilai tinggi gelombang maksimal

sebesar 7,63 m, tinggi gelombang minimal sebesar 0,406 m dan tinggi rata rata 1,32 m.



Gambar 2. Lokasi Perbandingan antara data model *ECMWF* dengan Hasil model *Delft 3D*

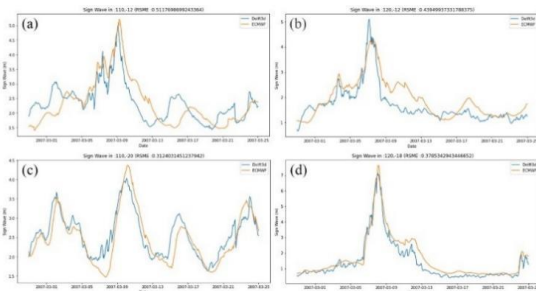
Tabel 1. Perbandingan Tinggi Gelombang *Delft 3D* dan *ECMWF*

	<i>Delft 3D</i> (m)			<i>ECMWF</i> (m)		
	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg
Stasiun a	4,989	1.43	2.35353	5.2205	1.39985	2.12879
Stasiun b	5,099	0.663	1.68389	4.29784	0.801745	1.6548
Stasiun c	4,027	1.632	2.58225	4.3684	1.47483	2.51291
Stasiun d	7,144	0.403	1.39111	7.63768	0.406223	1.32445

Perbandingan hasil model *Delft 3D* dengan *ECMWF* bertujuan untuk membandingkan korelasi antar model yang ada. Perbandingan disajikan dalam 3 bentuk. Bentuk pertama disajikan dalam Tabel (Tabel 1), kemudian disajikan dalam bentuk grafik (Gambar 3), dan *scatter plot* (Gambar 4). Dari hasil terlihat bahwa *RSME* model berkisar antara 0.312 – 0.511 m. Hasil tersebut dapat dikatakan masih baik jika dilihat dari segi korelasi maupun pola yang terjadi. Secara umum dapat terlihat bahwa tinggi gelombang tiap

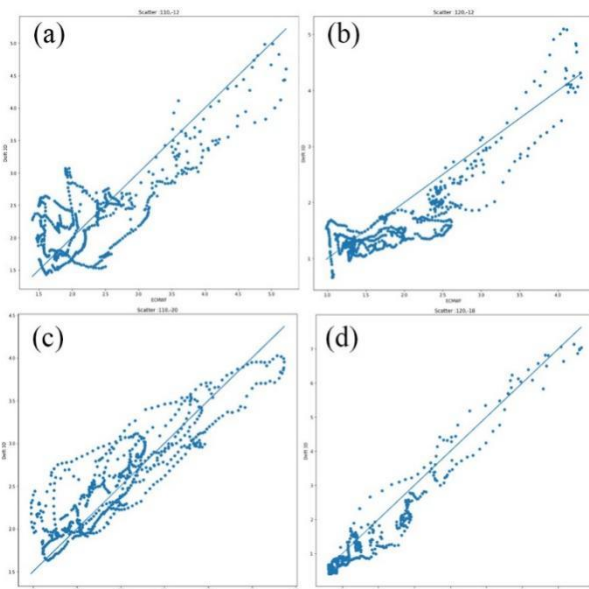
titik cukup berbeda satu sama lain. Tinggi gelombang signifikan tertinggi terjadi pada daerah 120, -18 yaitu >7m terlihat baik pada data dari Model *ECMWF* maupun dari *Delft 3D*. Pada Gambar 3 terlihat adanya kenaikan signifikan terhadap tinggi gelombang pada tanggal 4 Maret 2007 hingga 9 Maret 2007. Penelitian Ningsih *et al.*, (2011) juga menunjukkan adanya storm surges yang terjadi pada sekitar tanggal 4 Maret 2007 hingga 9

Maret 2007



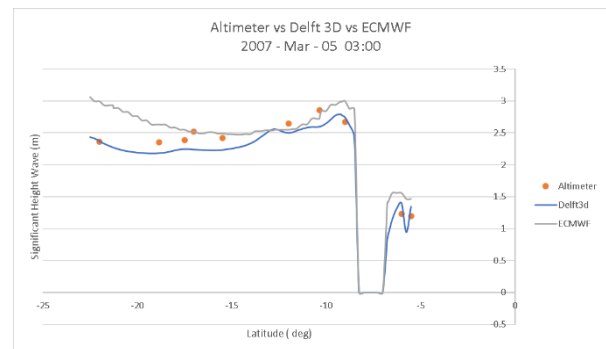
Gambar 3. Perbandingan tinggi gelombang signifikan pada 4 titik koordinat (a) 110, - 12, (b)120, -12, (c) 110, -12, (d) 110, - 20 antara hasil model *Delft 3D* dengan *ECMWF*.

Pada scatter plot data dibandingkan untuk mencari hubungan antara data model *Delft 3D* dengan *ECMWF*. Data tersebut idealnya ditampilkan mendekati garis lurus. Hal ini berkaitan dengan tingkat keterkaitan / hubungan antara data yang dibandingkan.



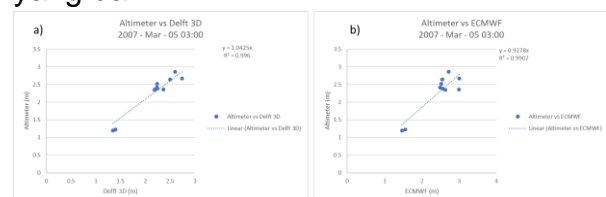
Gambar 4. Scatter plot antara perbandingan tinggi gelombang signifikan *ECMWF* dengan *Delft 3D* pada 4 titik koordinat (a) 110, - 12, (b) 120, -12, (c) 110, -12, (d) 110, - 20.

Gambar 5 menunjukkan perbandingan antara hasil model *Delft 3D* dan *ECMWF* dengan satelit altimetri. Dari data tersebut didapatkan bahwa baik data dari *Delft 3D* maupun data *ECMWF* masing masing mampu menunjukkan trend yang terjadi di lapangan. Dari perhitungan *RMSE* didapatkan nilai *RSME* untuk perbandingan antara *Delft 3D* vs *Altimeter* sebesar 0,1745 m sedangkan untuk *Delft 3D* vs *ECMWF* didapatkan sebesar 0,287 m.



Gambar 5. Hasil perbandingan antara data model *ECMWF*, *Delft 3D* dengan data satelit altimetri pada tanggal 05 maret 2007 jam 03.00.

Dari perhitungan R^2 didapatkan bahwa dari perbandingan Altimeter dan *Delft 3D* memiliki korelasi sebesar 0,996 sedangkan pada perbandingan Altimeter dan *ECMWF* didapatkan korelasi sebesar 0,9907. Keduanya menunjukkan nilai R^2 yang baik



Gambar 6. (a) Scatter plot altimeter vs

Delft 3D, (b) Scatter plot altimeter vs *ECMWF*

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa permodelan yang dilakukan menggunakan *Delft 3D* dan *ECMWF* menunjukkan kemiripan yang tinggi dan memiliki *RSME* sekitar 0,312 - 0,511 m. Saat dilakukan Perbandingan dengan data satelit altimetri dapat terlihat model dari *Delft 3D* menunjukkan nilai error yang lebih rendah yaitu sebesar 0,1745 m dan Nilai R^2 yang lebih tinggi dari model *ECMWF*.

Baik *Delft 3D* maupun *ECMWF* mampu memberikan model gelombang dengan hasil yang baik, secara umum permodelan dari *Delft 3D* menggunakan grid yang lebih rapat ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$) dibandingkan dengan *ECMWF* ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) sehingga mampu menunjukkan hasil yang lebih akurat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kontributor utama dari artikel ini adalah Helwis Liufandy, Denny Nugroho Sugianto, Johar Setiyadi, Baskoro Rochaddi dan Widodo Setiyo Pranowo. Artikel ini merupakan bagian dari riset magang Helwis Liufandy yang dibimbing oleh Widodo Setiyo Pranowo, Johar Setiyadi, Baskoro Rochaddi dan Denny Nugroho Sugianto. Ucapan terimakasih juga diberikan kepada Lab Hidro-Oceanografi Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL) telah memberikan kesempatan kepada Helwis Liufandy dalam rangka melaksanakan eksperimen persiapan untuk mengerjakan skripsi. Data pada artikel ini diperoleh dari beberapa sumber, yaitu : *ECMWF*

(*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), *ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present*, tpxo 7.2, *GEBCO (The General Bathymetric Chart of the Oceans)*. Diskusi dalam rangka analisis dan penyusunan naskah dilakukan secara *teleconference* menggunakan *Zoom Meeting* dan *Telegram*.

DAFTAR PUSTAKA

- Chu, P. C., Qi, Y., Yuchun, C., Shi, P., & Mao, Q. (2004). South China Sea wind-wave characteristics. Part 1: Validation of wavematch-III using TOPEX/Poseidon data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21(11). 10.1175/JTECH1661.1.
- Deltares. (2014). *Delft3D-WAVE Simulation of short-crested waves with SWANUSER MANUAL*. pp 1-200.
- Dietrich, J. C., Tanaka, S., Westerink, J. J., Dawson, C. N., Luettich, R. A., Zijlema, M., Holthuijsen, L., Smith, J. M., Westerink, L. G., & Westerink, H. J. (2012). Performance of the unstructured-mesh, SWAN+ ADCIRC model in computing hurricane waves and surge. *Journal of Scientific Computing*, 52(2), 468-497.
- Dyahwathi, N., Effendy, S., & Adiningsih, E. S. (2007). Karakteristik Badai Tropis Dan Dampaknya Terhadap Anomali Hujan Di Indonesia (tropical Cyclone Characteristic and Its Impact on Rainfall Anomaly in Indonesia). *Agromet*, 21(2), 61-72.

- Hoque, M. A., Perrie, W., & Solomon, S. M. (2020). Application of SWAN model for storm generated wave simulation in the Canadian Beaufort Sea. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5(1), 19-34.
- Hoque, M. A., Perrie, W., & Solomon, S. M. (2020). Application of SWAN model for storm generated wave simulation in the Canadian Beaufort Sea. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5(1), 19-34.
- Jiang, H. (2022). Wind speed and direction estimation from wave spectra using deep learning. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15(1), 1-9.
- Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., & Janssen, P. A. E. M. (1996). *Dynamics and modelling of ocean waves* (p. 554).
- Kurniawan, R., Habibie, M. N., & Suratno, S. (2011). Variasi bulanan gelombang laut di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12(3).
- Maul, B. (2007). Recent Australian and Overseas Disasters. *National Emergency Response*, 20(4), 8-9.
- Muliati, Y., Tawekal, R. L., Wurjanto, A., Kelvin, J., & Pranowo, W. S. (2018). Application of SWAN model for hindcasting wave height in Jepara coastal waters, North Java, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 15(48), 114-120.
- Ningsih, N. S., Hadi, S., Utami, M. D., & Rudiawan, A. P. (2011). Modelling of storm tide flooding along the southern coast of Java, Indonesia. In *Advances in Geosciences: Volume 24: Ocean Science (OS)* (pp. 87-103).
- Syaifullah, M. D. (2015). Siklon tropis, karakteristik dan pengaruhnya di wilayah Indonesia pada tahun 2012. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 16(2), 61-â.