

POLA TINGGI GELOMBANG DI LAUT JAWA MENGGUNAKAN MODEL WAVEWATCH-III

HIGH WAVE PATTERNS IN JAVA SEA USING WAVEWATCH-III MODELS

Ayu Wulansari Pramita^{1*}, Denny Nugroho Sugianto¹, Indra Budi Prasetyawan¹,
Roni Kurniawan², Alfan Sukmana Praja²

¹Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, UNDIP, Jl. Prof. H. Sudarto, Tembalang, Semarang

²Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMKG, Jl. Angkasa I No. 2, Kemayoran, Jakarta Pusat 10720.

*E-mail: ayuwpramita@gmail.com

Naskah masuk: 28 Februari 2019

Naskah diperbaiki: 3 Juli 2020

Naskah diterima: 3 Juli 2020

ABSTRAK

Laut Jawa merupakan wilayah Perairan Indonesia yang menarik untuk dikaji, karena perairan ini mempunyai sumber daya hayati laut yang besar terutama untuk perikanan laut. Sampai saat ini, hasil dari model gelombang menjadi alat utama dalam memberikan informasi prakiraan tinggi gelombang laut, kondisi ini dikarenakan oleh terbatasnya peralatan observasi lapangan untuk memperoleh data gelombang di lautan. Studi ini dilakukan bertujuan untuk memahami pola tinggi gelombang di Laut Jawa dengan menggunakan model gelombang Wavewatch-III, dan untuk mengetahui akurasi data model Wavewatch-III dengan data observasi. Berdasarkan hasil luaran model Wavewatch-III, tinggi gelombang signifikan (H_s) di Laut Jawa selama periode Musim Barat (DJF) diperoleh bekisar antara 0,2 m – 1 m, dengan arah dominan gelombang laut dari Barat, pada periode Musim Peralihan I (MAM), tinggi gelombang signifikan di Laut Jawa berkisar antara 0,4 m – 0,8 m dan arah dominan gelombang laut berasal dari Tenggara menuju ke Barat laut, pada Musim Timur (JJA), tinggi gelombang signifikan di Laut Jawa berkisar antara 0,6 m – 1,4 m, dengan arah dominan gelombang laut berasal dari Tenggara menuju ke Barat laut, dan pada Musim Peralihan II (SON), tinggi gelombang signifikan di Laut Jawa berkisar antara 0,2 m – 0,4 m, dengan arah dominan gelombang laut berasal dari tenggara menuju ke Barat. Puncak tinggi gelombang signifikan di Laut Jawa terjadi pada saat Musim Timur (JJA). Hasil perbandingan model Wavewacth-III dengan model ECMWF menunjukkan bahwa Wavewatch-III mempunyai performa yang bagus dengan nilai CF sebesar 0,04, dan nilai error sebesar 35,5%. Sedangkan perbandingan model Wavewatch-III terhadap data observasi, diperoleh nilai korelasi yang rendah, yaitu hanya 0,32 dan nilai H_s dari model Wavewatch-III lebih tinggi dari observasi.

Kata Kunci: Laut Jawa, Tinggi Gelombang, Wavewatch-III.

ABSTRACT

The Java Sea is an interesting part of Indonesian waters to be studied, because it has a great of marine biological resources, especially for marine fisheries. Until now, wave model data has become the main tool for providing sea wave height information, this condition is caused by the limited observation equipment to obtain ocean data. This study aims to understand the sea wave height patterns in the Java Sea using the Wavewatch-III model, and to determine the accuracy of the Wavewatch-III model data with observation data. Based on the output of the Wavewatch-III model, the significant wave height (H_s) in the Java Sea during the West Season period (DJF) obtained a range between 0.2 m - 1 m, with the dominant direction of the sea wave from the West, in the Transition Season I (MAM) period, the significant wave height in the Java Sea obtained a range between 0.4 m - 0.8 m, and the dominant direction of sea waves comes from the Southeast to the Northwest, in the East Season (JJA), significant wave height in the Java Sea obtained a range between 0.6 m - 1.4 m, with the dominant direction of sea waves coming from the Southeast to the Northwest, and in the Transition II (SON), significant wave height in the Java Sea obtained a range between 0.2 m - 0.4 m, with the dominant direction of sea waves coming from the Southeast to the West. The significant wave height peaks in the Java Sea occur during the East Season (JJA). The results of Wavewacth-III comparison with ECMWF, obtained a good correlation value, while comparison with observational data, obtained a low correlation value, and the wave height value of Wavewatch-III is higher than observation. The results of the comparison of the Wavewacth-III model with the ECMWF model show that Wavewatch-III has good performance with a CF value of 0.04, and an error value of 35.5%. While the comparison of the Wavewatch-III model to the observation data, a low correlation value is obtained, which is only 0.32 and the H_s value of the Wavewatch-III model is higher than the observation.

Keyword: Java Sea, Wave Height, Wavewatch-III.

1. Pendahuluan

Laut Jawa merupakan bagian dalam Perairan Indonesia yang menarik untuk diteliti. Ada beberapa alasan utama mengapa perairan ini menarik untuk diteliti lebih lanjut, diantaranya perairan ini mempunyai potensi sumber daya hayati laut yang besar terutama perikanan laut [1], dan berhadapan langsung dengan beberapa kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Semarang dan Cirebon yang berfungsi sebagai lokasi pemukiman, perdagangan, perhubungan, perkembangan industri dan sektor lainnya [2]. Perairan Laut Jawa khususnya yang tersebar di wilayah utara Pulau Jawa antara Surabaya, Semarang, Banjarmasin dan Makassar merupakan jalur pelayaran yang padat.

Gelombang sangat berpengaruh terhadap berbagai kegiatan di laut, diantaranya transportasi laut, aktivitas penangkapan ikan oleh nelayan dan lain sebagainya. Berbagai dampak akibat adanya gelombang tinggi di Perairan Indonesia sudah banyak terjadi, diantaranya selama kurun waktu 2003-2008 terdapat berbagai kecelakaan kapal dengan berbagai ragam faktor penyebab [3].

Terbatasnya pengamatan insitu yang dilakukan untuk mengamati lautan secara umum serta data hasil pengukuran dan observasi di laut yang umumnya sangat terbatas dan tidak kontinyu menjadikan model gelombang sebagai komponen utama dalam memberikan informasi prediksi gelombang saat ini. Berdasarkan ketentuan WMO-No.702, untuk keperluan informasi gelombang, data dapat diperoleh dari dua sumber utama yaitu: (a) hasil pengukuran dan observasi, dan (b) hasil estimasi berdasarkan data angin[4]. Wavewatch-III merupakan model gelombang generasi ketiga yang dikembangkan oleh NOAA / NCEP [5] dan

berdasarkan pada pemecahan menggunakan metode beda hingga dari persamaan keseimbangan aksi gelombang spektral dalam perkiraan fase *averaging*. Model Wavewatch-III memiliki perbedaan dengan model *windwave* yang dijalankan untuk operasional NOAA sebelumnya, yaitu tidak hanya melakukan pendekatan numerik saja tetapi juga melakukan pendekatan fisis antara atmosfer dan laut [6]. Studi ini dilakukan bertujuan untuk memahami pola tinggi gelombang di Laut Jawa dengan menggunakan model gelombang Wavewatch-III.

2. Metode Penelitian

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa data pengukuran gelombang menggunakan instrumen AWAC (*Acoustic Wave and Current Profiler*), data angin GFS (*Global Forecasting System*), data batimetri dari etopo, data angin dari ogimet dan data model gelombang ECMWF (*European Center for Medium range Weather Forecasting*).

Studi wilayah kajian penelitian adalah Laut Jawa yang terletak pada koordinat $03^{\circ}00'LS$ - $07^{\circ}00'LS$ dan $106^{\circ}00'BT$ - $116^{\circ}00'BT$. Lokasi penelitian pengukuran gelombang dilakukan di Pantai Marina Semarang dengan koordinat $6^{\circ}55'48.73'' LS$ dan $110^{\circ}22'56.70'' BT$. Waktu penelitian untuk pengambilan data gelombang di lapangan yaitu selama 8 hari pada tanggal 10-17 Mei 2017 digunakan sebagai data untuk verifikasi hasil model. Selanjutnya waktu yang dipilih untuk simulasi model dengan *software* Wavewatch-III yaitu pada bulan Januari 2017 mewakili Musim Barat, Mei 2017 mewakili Musim Peralihan I, Juli 2017 mewakili Musim Timur dan bulan Oktober 2017 mewakili Musim Peralihan II. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.



Gambar 2. Grafik Pengamatan Tinggi Gelombang di Pantai Marina Semarang.

Pengukuran Gelombang. Pengukuran gelombang pada penelitian ini menggunakan AWAC (*Acoustic Wave and Current Profiler*) untuk mendapatkan parameter gelombang di lapangan, seperti tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s) sebagai verifikasi hasil model yang telah dibuat dengan *Wavewatch-III*. Pengambilan data gelombang di lapangan dilakukan selama 8 hari yaitu pada tanggal 9 – 17 Mei 2017.

Pemodelan Gelombang Menggunakan Wavewatch-III. Data Model Wavewatch diperoleh dari BMKG yang dijalankan pada dua domain yaitu domain global (180° BB – 180° BT; 70° LS – 70° LU) dengan resolusi spasial 0.5° (~55 km) dan domain regional Indonesia (90° BT – 150° BT; 15° LS – 15° LU) dengan resolusi spasial 0.25° (~27 km). Model dijalankan dengan metode *two way nesting* dimana pada daerah boundary kedua domain baik global maupun regional dapat saling mempengaruhi. Data angin permukaan yang digunakan untuk input model Wavewatch diperoleh dari *GFS*, *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) – NOAA, resolusi spasial data adalah 0.5° (~55,5 km)[7], dan data bathymetri etopo mempunyai resolusi temporal $2'$ (~ 3×3 km) dari *US Geological Survey* (USGS)[8]. *Spin-up* model dilakukan selama dua minggu dari kondisi *calm*, jadi pada dua minggu pertama hasil perhitungan numerik yang dilakukan belum dianalisa dan hanya sebagai input energi sampai model dianggap stabil[9].

Pengolahan Data Model Gelombang ECMWF. Data Gelombang ECMWF (*European Center for Medium range Weather Forecasting*) yang berbentuk file *NetCDF* diolah menggunakan software ODV 4 untuk mendapatkan file berbentuk *Text (.txt)*. kemudian file tersebut diolah lagi dengan menggunakan *Ms.Excel* untuk mengelompokkan data berdasarkan waktu tertentu disimpan dalam bentuk file *Excel 97-2003 workbook (.xls)* yang nantinya digunakan sebagai bahan inputan didalam software *ArcGIS 10.3*. Setelah itu file diinput kedalam software *ArcGIS 10.3* untuk mendapatkan hasil model gelombang ECMWF yang diinterpolasi menggunakan modul IDW.

3. Hasil dan Pembahasan

Data Observasi Lapangan. Pengukuran data tinggi gelombang di Pantai Marina Semarang pada tanggal 9 – 17 Mei 2017 diperoleh ketinggian gelombang 0.1 sampai 0.5 meter dengan kategori *smooth* (tabel 1) berdasarkan skala Douglas[10].

Hasil Model Wavewatch-III. Data model Wavewatch-III dijalankan dalam interval waktu pertiga jam selama 4 bulan, yaitu Januari 2017 mewakili Musim Barat, Mei 2017 mewakili Musim Peralihan I, Juli 2017 mewakili Musim Timur dan bulan Oktober 2017 mewakili Musim Peralihan II. Tinggi gelombang maksimum dominan terjadi di timur Pulau Sumatera hingga sebagian Utara Pulau Jawa dengan nilai maksimum 2,4 m. Sedangkan rata – rata tinggi gelombang pada bulan Januari berkisar antara 0,2 m – 1 m dengan arah dominan dari barat menuju ke timur (gambar 3). Pada bulan Mei 2017 yang mewakili Musim Peralihan I arah datang gelombang berasal dari tenggara menuju ke barat laut. Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran angin di lapangan yaitu arah angin dominan berasal dari tenggara menuju ke barat laut. Tinggi gelombang maksimum terjadi di bagian barat Pulau Sulawesi dengan ketinggian maksimum mencapai 1,4 m. Sedangkan tinggi gelombang yang sering terjadi pada bulan Mei 2017 tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan bulan sebelumnya berkisar antara 0,4 – 0,8 m pada hasil model Wavewatch-III (gambar 4).

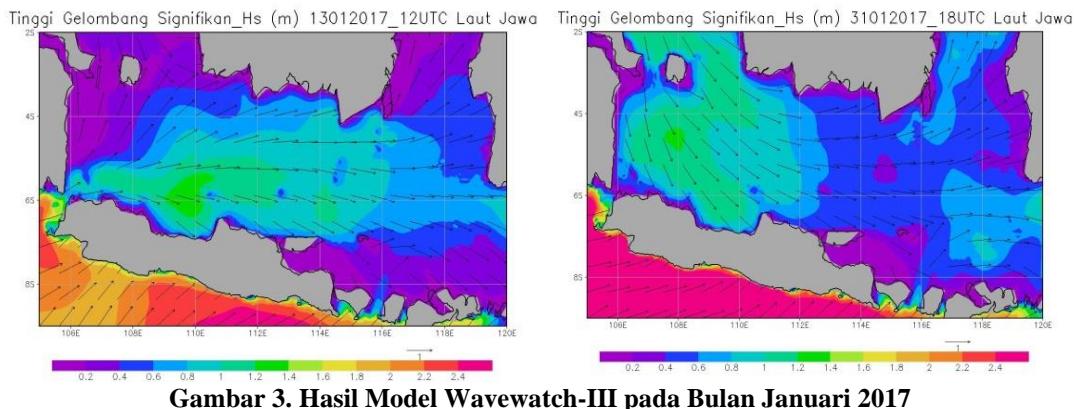
Tabel 1. tinggi gelombang berdasarkan skala douglas

Douglas Sea Scale Degree	Height (m)	Description
0	No wave	Calm (Glassy)
1	0 – 0.1	Calm (Rippled)
2	0.1 – 0.5	Smooth
3	0.5 – 1.25	Slight
4	1.25 – 2.5	Moderate
5	2.5 – 4	Rough
6	4 – 6	Very Rough
7	6 – 9	High
8	9 – 14	Very High
9	14 +	Phenomenal

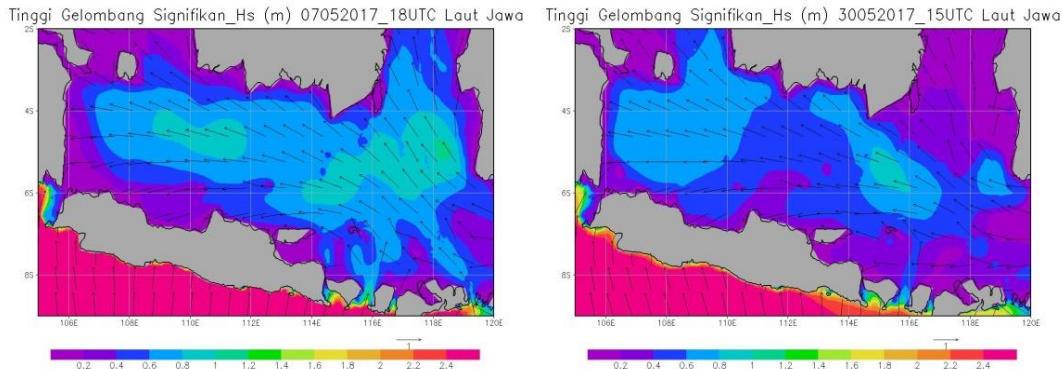
Pada bulan Juli 2017 arah datang gelombang berasal dari tenggara menuju ke barat laut seperti yang terlihat pada hasil running model Wavewatch-III selama satu bulan penuh (gambar 5). Pada bulan juli ini tinggi gelombang termasuk kategori moderate dan lebih tinggi dibandingkan dengan bulan sebelumnya. Ketinggian maksimum yang terjadi pada bulan ini mencapai 2,4 m. Pada pertengahan bulan Juli 2017 terlihat puncak terjadinya tinggi gelombang dimana pada hasil model terlihat hampir semua bagian pada Laut Jawa memiliki tinggi gelombang lebih dari 1 m. Rata – rata nilai tinggi gelombang signifikan pada bulan Juli 2017 berkisar 0,6 m – 1,4 m, hal ini menunjukkan bahwa pada bulan juli merupakan puncak monsoon timur dan

sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh pandia, dkk [11].

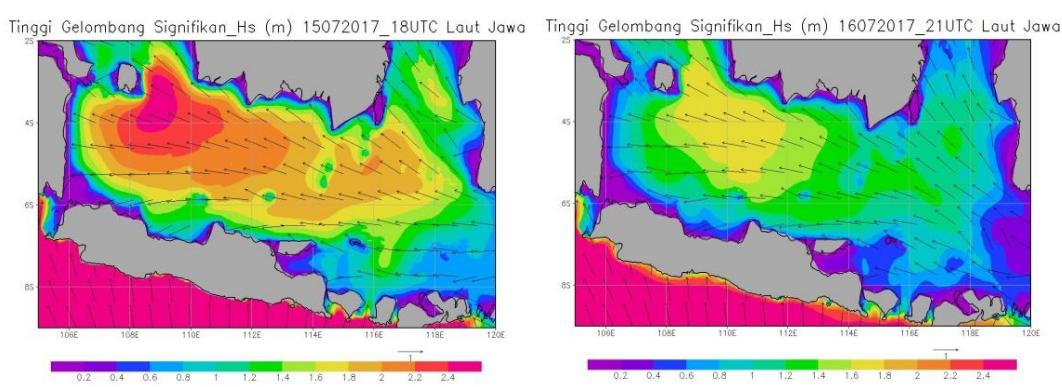
Pada bulan Oktober 2017 arah gelombang berasal dari tenggara menuju ke barat. Tinggi gelombang tampak lebih kecil dibandingkan dengan bulan Juli 2017 pada skala tinggi gelombang berkisar antara 0,2 m – 0,4 m. Hasil model memperlihatkan perubahan arah datang gelombang yang tidak menentu di pertengahan bulan Oktober 2017 hingga akhirnya pada akhir bulan arah datang gelombang berasal dari tenggara menuju barat menjadi barat menuju ke timur. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sugianto (2014) [12,13], bahwa pada musim peralihan, angin menjadi lemah dan tidak menentu (gambar 6).



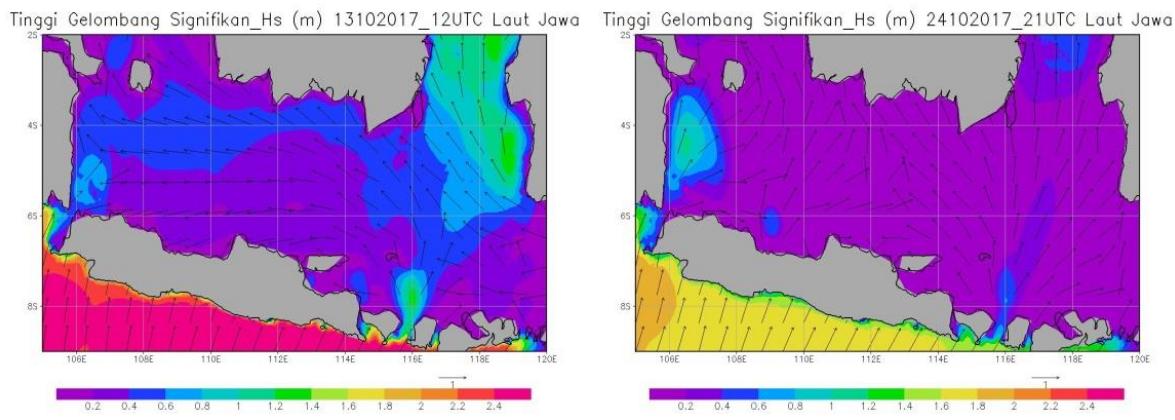
Gambar 3. Hasil Model Wavewatch-III pada Bulan Januari 2017



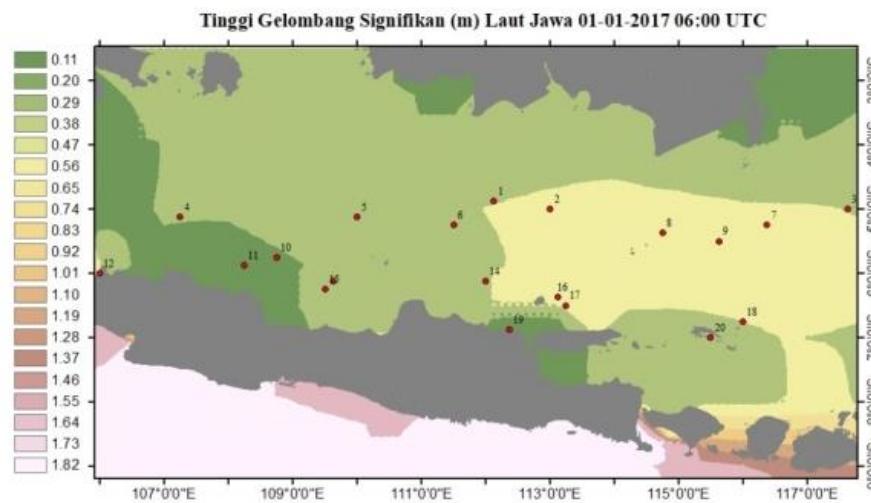
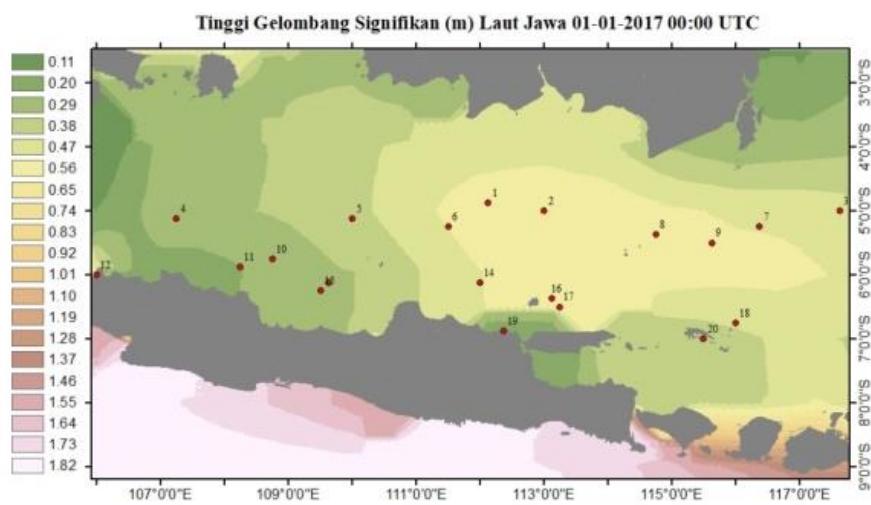
Gambar 4. Hasil Model Wavewatch-III pada Bulan Mei 2017



Gambar 5. Hasil Model Wavewatch-III pada Bulan Juli 2017



Gambar 6. Hasil Model Wavewatch-III pada Bulan Oktober 2017



Gambar 7. Hasil Model ECMWF

Perbandingan Hasil Model Gelombang dari Wavewatch-III dan ECMWF. Gambar 7 merupakan hasil model gelombang dari ECMWF pada tanggal 1 Januari 2017 (a) pukul 00:00 dan (b) 06:00 UTC yang memiliki resolusi grid terkecil $0,125^\circ \times 0,125^\circ$ dengan interval waktu per-enam jam dalam UTC. Untuk mengetahui perbandingan antara hasil model ECMWF dengan model Wavewatch-III

maka diambil 20 titik dari koordinat yang berbeda selama satu hari dengan interval enam jam (4 data Hs per titik. Titik – titik tersebut berada dalam koordinat Laut Jawa dengan beberapa pertimbangan seperti penyesuaian waktu, resolusi dan data yang tidak kosong antara ECMWF dan Wavewatch-III.

Tabel 1. Deskripsi Statistik Tinggi Gelombang Signifikan (Hs) Model ECMWF dan WW3 01/01/2017 di Laut Jawa

Deskripsi (Jumlah data, N=80)	Hs (m) ECMWF	Hs (m) WW3
Tinggi Gelombang	Rata-rata	0,47
	Minimum	0,23
	Maksimum	1,01
	Kisaran (Range)	0,78
(Skewness)	Kemencengan	1,136
	(Skewness)	0,172

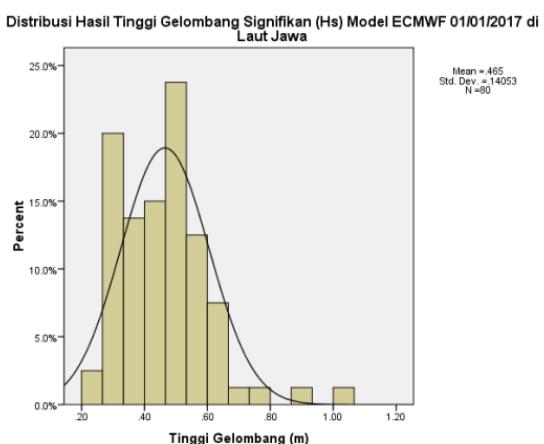
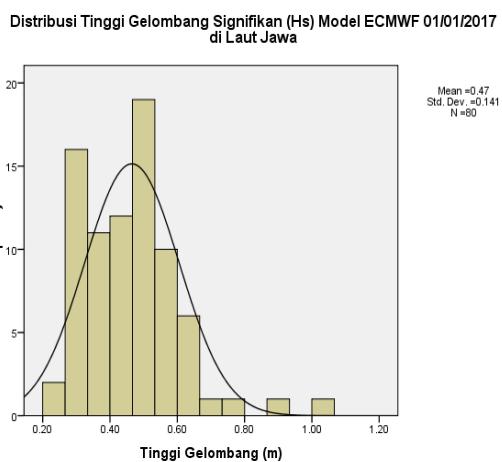
Tabel 2. Validasi Tinggi Gelombang Signifikan Model ECMWF dengan Wavewatch-III

Error (%)	CF
35,5	0,04

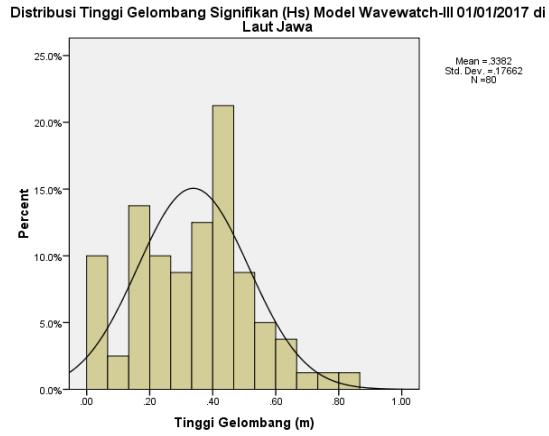
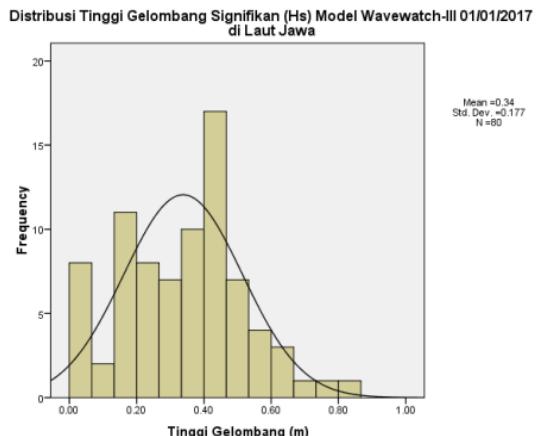
Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa tinggi gelombang signifikan (Hs) di Laut Jawa berdasarkan model ECMWF berkisar antara 0,23 – 1,01 m dengan rata – rata 0,47 m. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa data yang berdistribusi normal memiliki persentase 74% dan tinggi gelombang yang lebih dari 0,5 m memiliki frekuensi kejadian sebesar 48% dari jumlah data sebanyak 80. Dan pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa tinggi gelombang signifikan (Hs) di Laut Jawa berdasarkan model Wavewatch-III berkisar antara 0,03 – 0,83 m dengan rata – rata 0,34 m. Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa data yang berdistribusi normal memiliki persentase 65% dan tinggi gelombang yang lebih dari 0,5 m memiliki frekuensi kejadian sebesar 12% dari jumlah data sebanyak 80.

Dari hasil kedua grafik diatas (dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9), pola histogram tampak mengikuti kurva normal, meskipun terdapat beberapa data yang tampak *outlier* namun secara garis besar distibusi data mengikuti kurva normal, sehingga dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal. Berdasarkan tabel 3, nilai error yang diperoleh dari perbandingan kedua model tersebut sebesar 35,5% dan nilai CF sebesar 0,04. Hal ini dikatakan sangat baik karena nilai CF (*Croft Function*) < 1.

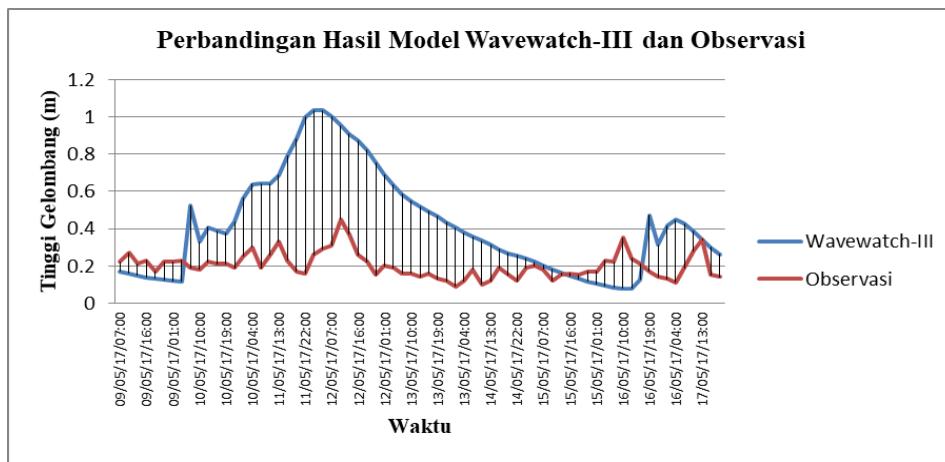
Hasil model ECMWF memiliki kisaran nilai 0,23 m – 1,01 m dengan rata – rata 0,47 m sedangkan hasil model Wavewatch-III memiliki kisaran nilai 0,03 m – 0,83 m dengan rata – rata 0,34 m. Jika dilihat hasil duplikat tersebut, kedua model memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Perbedaan hasil antara kedua model dikarenakan oleh perbedaan resolusi, metode masing – masing model dan perbedaan inputan angin yang digunakan tiap model. Model Wavewatch-III menggunakan inputan angin GFS sedangkan model ECMWF menggunakan inputan angin ECMWF. Resolusi model ECMWF adalah $0,125^\circ$ sedangkan model Wavewatch-III memiliki resolusi $0,06^\circ$. Model ECMWF memiliki lebih banyak nilai yang kosong jika dibandingkan dengan model Wavewatch-III terlebih di daerah yang dekat dengan daratan. Oleh karena itu model ECMWF tidak bisa dibandingkan dengan data lapangan yang berlokasi di Pantai Marina Semarang karena di daerah tersebut datanya kosong pada bulan Mei 2017 yang merupakan waktu observasi lapangan. Menurut Isniarny (2012) [6], hal itu disebabkan ketika grid data yang digunakan memiliki resolusi rendah sedangkan wilayah yang dikaji terlalu sempit maka model tidak dapat melakukan perhitungan dan akan menghasilkan error yang lebih besar.



Gambar 8. Distribusi Hasil Tinggi Gelombang Signifikan Model ECMWF.



Gambar 9. Distribusi Hasil Tinggi Gelombang Signifikan Model Wavewatch-III.



Gambar 10. Perbandingan Model Wavewatch-III dan Data Observasi

Perbandingan Hasil Model Wavewatch-III dan Data Observasi. Perbandingan data tinggi gelombang signifikan (Hs) hasil model Wavewatch-III memiliki kisaran nilai 0,08 m – 1,04 m dengan rata – rata 0,42 m, sedangkan data observasi memiliki kisaran nilai 0,09 m – 0,45 m dengan rata – rata 0,20 m, adapun nilai tinggi gelombang maksimum (Hmax) dari hasil model sebesar 1,035 m, sedangkan dari hasil observasi nilai tinggi gelombang maksimum adalah 0,45 m. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil luaran model gelombang Wavewatch-III rata-rata lebih tinggi dari nilai tinggi gelombang observasi (gambar 10). Adapun nilai korelasi yang diperoleh dari hasil model dan observasi sangat rendah, yaitu sebesar 0,32.

4. Kesimpulan

Dari perkiraan model Wavewatch-III diperoleh tinggi gelombang signifikan (Hs) di Laut Jawa pada Musim Barat berkisar antara 0,2 m – 1 m dengan arah dominan gelombang dari barat menuju ke timur. Pada Musim Peralihan I berkisar antara 0,4 m – 0,8 m dan arah dominan gelombang berasal dari tenggara menuju ke barat laut. Pada Musim Timur berkisar antara 0,6 m – 1,4 m dengan arah dominan gelombang berasal dari tenggara menuju ke barat

laut. Dan pada Musim Peralihan II dengan kisaran nilai 0,2 m – 0,4 m dan arah dominan gelombang berasal dari tenggara menuju ke barat. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa puncak tinggi gelombang terjadi pada saat Musim Timur.

Tinggi gelombang signifikan (Hs) menggunakan model Wavewatch-III memiliki nilai perkiraan 0,08 m – 1,04 m dengan rata – rata 0,42 m sedangkan tinggi Hs observasi memiliki kisaran nilai 0,09 m – 0,45 m dengan rata – rata 0,20 m. Berdasarkan perbandingan model Wavewatch-III dengan model ECMWF menunjukkan bahwa data hasil model Wavewatch-III mempunyai korelasi yang bagus dengan nilai CF sebesar 0,04, dan nilai error sebesar 35,5%. Sedangkan hasil perbandingan dengan data observasi, diperoleh nilai korelasi yang sangat rendah yaitu sebesar 0,32.

Daftar Pustaka

- [1] Ardiyani, W. J., Iskandar, B. H., & Wisudo, S. H., "Estimasi Jumlah Kapal Penangkap Ikan Optimal Di WPP 712 Berdasarkan Potensi Sumber Daya Ikan", *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 3(1), 95-104, 2019.

- [2] Dede, M., Sewu, R. S. B., Yutika, M., & Ramadhan, F. Analisis Potensi Perekonomian Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan serta Pertambangan dan Penggalian di Pantura Jawa Barat. <https://doi.org/10.31227/osf.io/mc2t6>. *Prosiding Seminar Nasional Epicentrum 5.5: Optimalisasi Sumber Daya Alam Matra Darat dan Matra Lautan untuk Ketahanan Pangan dan Kesehatan dalam Konteks Nasionalisme*. 2018.
- [3] Kurniawan, Roni, D.S. Permana, Suratno dan M.N. Habibie. Verifikasi Luaran Model Gelombang Windwaves-05 Dengan Satelit Altimeter. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* Vol. 14 No. 3, 2013 : 149-158, Puslitbang BMKG, Jakarta, 2013.
- [4] World Meteorological Organization (WMO). *Guide to Wave Forecasting and Analysis, WMO-No. 702*, Secretariat of the World Meteorological Organisation, Geneva Switzerland: Author. 1998.
- [5] Tolman, H. L. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 3.14. Environmental Modeling Center. Marine Modeling and Analysis Branch. NCEP. https://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn276/MMAB_276.pdf. 2009.
- [6] Isniarny, Nadya. "Pemanfaatan Data Angin Dari Model GFS Untuk Prediksi Tinggi Gelombang (windwaves) Menggunakan Model Wavewatch-III (Studi Kasus di Selat Sunda)". Skripsi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian ITB, Bandung. 1998.
- [7] National Center for Environmental Prediction (NCEP)-NOAA. <http://www.mmm.ucar.edu/>
- [8] US Geological Survey (USGS). (<http://www.usgs.gov/>)
- [9] Habibie, M N., D.P. Permana dan Suratno. "Simulasi Gelombang Ekstrim Akibat Swell Di Indonesia Menggunakan Model Wavewatch-III". *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, Vol. 14 No. 2, 2013: 99-108 . 2013.
- [10] Koo, Soyeon & Kim, Seungkeun & Suk, Jinyoung & Kim, Youdan & Shin, Jongho. "Improvement of Shipboard Landing Performance of Fixed-wing UAV Using Model Predictive Control". *International Journal of Control, Automation and Systems*. 10.1007/s12555-017-0690-1. 2018.
- [11] Pandia, F. S., Sasmito, B., & Sukmono, A. Analisis Pengaruh Angin Monsun Terhadap Perubahan Curah Hujan Dengan Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Provinsi Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 278-287. 2019.
- [12] Sugianto, Denny N. "Model Distribusi Kecepatan Angin dan Pemanfaatannya Dalam Peramalan Gelombang di Laut Jawa". Disertasi Program Doktor Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang. 2014.
- [13] Sugianto, Denny N., M. Zainuri, A. Darari, Suripin, S. Darsono and N. Yuwono. "Wave Height Forecasting Using Measurement Wind Speed Distribution Equation In Java Sea". *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET)* Volume 8, Issue 5, May 2017, pp. 604 – 619. 2017.