

Simulasi Gelombang Laut di Daerah Selatan Jawa dengan Model SWAN

Muhammad Rafiuddin¹, Didit Adytia², Dede Tarwidi³

^{1,2,3}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

¹muhrafiuddin@students.telkomuniversity.ac.id, ²adytia@telkomuniversity.ac.id,

³dedetarwidi@telkomuniversity.ac.id,

Abstrak

Dalam perancangan struktur offshore platform, informasi saintifik gelombang yang akurat sangat dibutuhkan untuk menghindari kesalahan pengukuran yang bisa mengakibatkan defisiensi desain. Dalam tugas akhir ini, digunakan model gelombang phase-averaged SWAN (Simulating Waves Nearshore) untuk mensimulasikan gelombang signifikan dan gelombang swell daerah perairan di selatan pulau Jawa. Simulasi gelombang dilakukan dengan menggunakan data input angin dari ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) dan data batimetri yang diperoleh dari GEBCO (General Bathymetric Chart of the Ocean). Hasil simulasi yang diperoleh akan dibandingkan dengan data buoy BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) dari tanggal 3 Mei 2014 hingga tanggal 30 September 2014. Perbandingan dengan data pengukuran dari BPPT menunjukkan bahwa hasil simulasi yang diperoleh sudah relatif akurat.

Kata kunci : offshore platform, model SWAN, swell

Abstract

In order to design an offshore platform structure, accurate scientific information is highly needed to avoid measurement error that can lead to design deficiency. In this paper, a phase-averaged wave model SWAN (Simulating Waves Nearshore) is used to simulate the significant wave height and swell in the southern part of Java. Wind input data from ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) and bathymetry from GEBCO (General Bathymetric Chart of the Ocean) are used as input model to simulate the wind wave. Simulation results will then be compared with BPPT buoy data from 3 May 2014 to 30 September 2014. Comparison with measurement data from BPPT shows that the obtained simulation result is relatively accurate.

Keywords: offshore platform, SWAN model, swell

1. Pendahuluan

Struktur platform dekat pantai (nearshore platform), struktur platform lepas pantai (offshore platform), rute pengiriman, erosi pantai memiliki satu kesamaan, sangat bergantung pada keadaan laut khususnya gelombang laut. Sebagai contoh, untuk mengoptimalkan desain sebuah struktur lepas pantai atau offshore platform, insinyur sipil membutuhkan informasi saintifik mengenai kondisi angin, gelombang air, dan pasang surut dan arus yang akurat. Kesalahan prediksi dapat berdampak kepada kerentanan struktur offshore platform tersebut jika terjadi underestimate atau pemborosan pada penggunaan material jika terjadi overestimate [16].

Simulasi gelombang dan prediksi gelombang ekstrem adalah sebuah isu penting karena merupakan potensi ancaman kerusakan bagi kehidupan manusia dan infrastruktur sosial [9]. Pada tahun 1947 Sverdrup dan Munk menerbitkan skema prediksi gelombang yang pertama [13], beberapa penelitian terbaru mengenai karakteristik gelombang menggunakan model spektrum telah dilakukan sejak itu [11]. Sebuah penelitian karakteristik gelombang telah dilakukan dengan menggunakan model WAM dengan resolusi rendah, mengindikasikan bahwa kemunculan dari swell berpropagasi dari utara ke arah garis khatulistiwa dan dominasi gelombang swell di perairan tropis khususnya di Indonesia kemungkinan akan terjadi sepanjang tahun [11]. Di University of Technology di TU Delft, sudah dikembangkan generasi ketiga dari model phase-averaged gelombang yang dikenal sebagai model SWAN [1]. Model gelombang phase-averaged adalah sebuah model gelombang yang menggunakan persamaan keseimbangan aksi sebagai persamaan pembangkitnya.

SWAN (Simulating Waves Nearshore) adalah model numerik untuk mendapatkan estimasi parameter gelombang di wilayah pesisir, danau dan muara dari kondisi angin, dasar, dan arus yang diberikan. SWAN digunakan untuk mensimulasikan pembangkitan gelombang oleh angin, secara eksplisit menghitung inputan data angin, interaksi arus gelombang, interaksi antar empat gelombang (quadruplets), interaksi tiga gelombang (triads), dan disipasi karena whitecapping, gesekan dasar laut, dan gelombang pecah yang diinduksi dasar laut, whitecapping

merupakan faktor disipasi yang diinduksi oleh kecuraman gelombang[5]. Deskripsi lebih detil dari model SWAN dijelaskan pada Bab 2.

Tugas akhir ini memfokuskan simulasi gelombang dengan menggunakan model SWAN untuk melihat pergerakan gelombang signifikan dan gelombang swell di perairan selatan pulau Jawa untuk memperoleh informasi saintifik yang dibutuhkan. Gelombang signifikan sering didefinisikan sebagai rata-rata dari sepertiga gelombang terbesar yang tercatat diukur dalam satuan meter (m) [12], sedangkan gelombang swell adalah serangkaian gelombang panjang yang merupakan hasil interaksi angin dan permukaan air [12]. Untuk melakukan implementasi model phase-averaged ini, pertama dilakukan preparasi data masukan batimetri yang peroleh dari GEBCO dan data angin yang diperoleh dari ECMWF. GEBCO (General Bathymetric Chart of the Ocean) adalah sebuah organisasi yang bertujuan untuk menyediakan secara terbuka data batimetri yang otoritatif dari lautan di seluruh dunia [8], sedangkan ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) adalah organisasi antar-pemerintah independen yang berdiri dari tahun 1975 dan didukung oleh 34 negara [4]. ECMWF menghasilkan informasi berupa peramalan cuaca numerik, analisis sirkulasi laut, dan data tentang meteorologi lainnya. Kemudian setelah konfigurasi dan simulasi dijalankan, dilakukan pemrosesan plot 2D untuk nantinya dianalisis, lebih detil dari implementasi ini dijelaskan pada Bab 3. Analisis dari gelombang signifikan dan swell dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi yaitu ketinggian dan arah propagasinya dengan data pengukuran dari BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), dan mengukur tingkat kesalahannya dalam bentuk RMSE (Root Mean Square Error). RMSE (Root Mean Square Error) merupakan suatu ukuran kesalahan yang didasarkan pada selisih antara dua buah nilai yang bersesuaian [7]. BPPT merupakan Lembaga Pemerintah Non-Kementerian yang berada dibawah koordinasi Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang mempunyai tugas melaksanakan tugas pemerintahan di bidang pengkajian dan penerapan teknologi [2]. Detil dari analisis gelombang akan dijelaskan pada Bab 4.

2. Model SWAN

2.1 Deskripsi Model SWAN

SWAN (Simulating Waves Nearshore) adalah model 2D gelombang spektral yang dikembangkan oleh Delft University of Technology. Model generasi ketiga ini, memprediksi spektrum gelombang, tanpa asumsi bentuk spektrum sebelumnya. SWAN juga merupakan sebuah software model komputasi yang bersifat open source dan banyak digunakan oleh ilmuwan dan insinyur untuk memperoleh estimasi parameter-parameter gelombang di daerah pesisir, danau, dan muara dari inputan data angin, topografi dasar perairan, dan arus perairan [15]. Persamaan pembangkit (Governing Equation) dari model SWAN digunakan dalam simulasi gelombang ini merupakan persamaan keseimbangan aksi pada koordinat bulat dideskripsikan Holthuijsen (2007) [6] sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{\partial N(\sigma, \theta; \phi, \lambda, t)}{\partial t} + \frac{\partial C_{g,\lambda} N(\sigma, \theta; \phi, \lambda, t)}{\partial \lambda} + \frac{\partial C_{g,\phi} N(\sigma, \theta; \phi, \lambda, t)}{\partial \phi} \\ + \frac{\partial C_{\theta} N(\sigma, \theta; \phi, \lambda, t)}{\partial \theta} + \frac{\partial C_{\sigma} N(\sigma, \theta; \phi, \lambda, t)}{\partial \sigma} = \frac{S(\sigma, \theta; \phi, \lambda, t)}{\sigma} \end{aligned} \quad (1)$$

dengan $N(\sigma, \theta)$ adalah spektrum densitas aksi dengan frekuensi gelombang σ dan arah gelombang θ . Suku pertama ruas kiri dari persamaan (1) merepresentasikan perubahan densitas aksi terhadap waktu, suku kedua dan ketiga merepresentasikan propagasi aksi pada ruang geografis dengan kecepatan propagasi $C_{g,\lambda}$ dan $C_{g,\phi}$ masing-masing pada ruang geografis bujur (λ) dan lintang (ϕ). Suku ketiga merepresentasikan pembiasan dari induksi kedalaman. Ruas kanan persamaan (1) merepresentasikan total source term dan sink term untuk densitas energi. Total source ini merepresentasikan efek dari interaksi pembangkitan dan disipasi nonlinier antar gelombang. Secara umum persamaan ini dituliskan sebagai jumlah dari beberapa source berbeda, yang masing-masingnya merepresentasikan proses yang berbeda-beda:

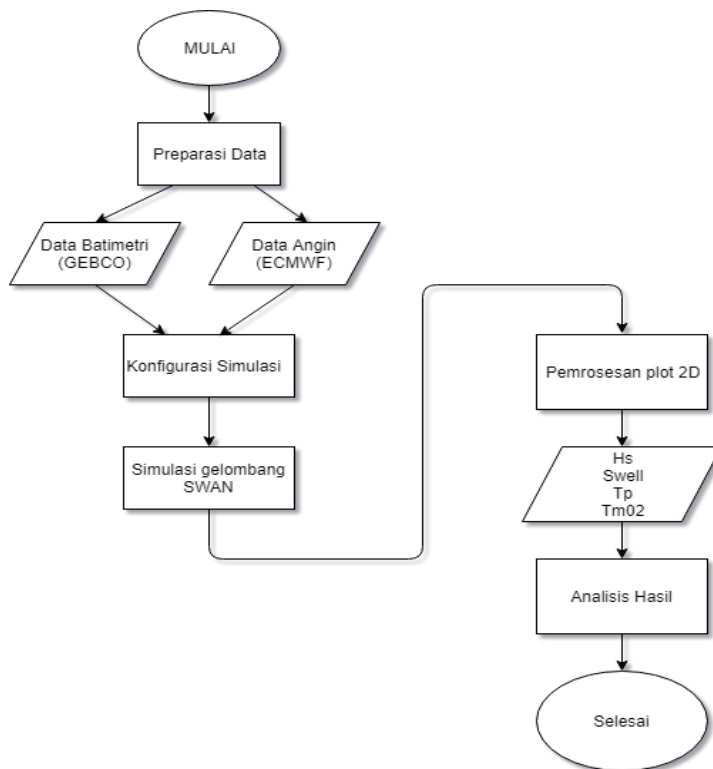
$$S_{in}(\sigma, \theta) + S_{ds}(\sigma, \theta) + S_{nl}(\sigma, \theta) = S(\sigma, \theta) \quad (2)$$

dengan S_{in} merepresentasikan pembangkitan gelombang oleh angin, S_{nl} adalah pemindahan energi gelombang antara komponen-komponen spektral yang disebabkan oleh interaksi nonlinier antar gelombang (termasuk interaksi quadruplet dan triads), dan S_{ds} adalah disipasi dari energi gelombang yang disebabkan whitecapping, interaksi gelombang dan dasar perairan, pemecahan ombak yang diinduksi dari kedalaman. Skema diskritisasi numerik yang digunakan SWAN model adalah skema implisit dari metode beda hingga (finite difference method) [10]. Persamaan keseimbangan aksi (1) memiliki bentuk diskrit :

$$\begin{aligned}
 & \frac{N_{i_t, n} - N_{i_t, n-1}}{4t} + \frac{c_{\phi} N_{i_{\phi}} - c_{\phi} N_{i_{\phi}-1}}{4\phi} + \frac{c_{\lambda} N_{i_{\lambda}} - c_{\lambda} N_{i_{\lambda}-1}}{4\lambda} + \frac{c_{\sigma} N_{i_{\sigma}+1} - c_{\sigma} N_{i_{\sigma}} - c_{\sigma} N_{i_{\sigma}-1}}{4\sigma} \\
 & = \frac{\theta}{2} \frac{N_{i_{\theta}+1} - N_{i_{\theta}}}{4\theta} + \frac{\theta}{2} \frac{N_{i_{\theta}} - N_{i_{\theta}-1}}{4\theta} + \frac{\theta}{2} \frac{N_{i_{\theta}} - N_{i_{\theta}-1}}{4\theta} + \frac{\theta}{2} \frac{N_{i_{\theta}} - N_{i_{\theta}-1}}{4\theta} \\
 & = S_{\phi, \lambda, \sigma}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

dengan i_t adalah indeks waktu, $i_{\phi}, i_{\lambda}, i_{\theta}, i_{\sigma}$ adalah grid counter. $4t, 4\phi, 4\lambda, 4\sigma, 4\theta$ masing-masing adalah perubahan terhadap waktu, ruang fisis (frekuensi) dan ruang spektral (arah gelombang), n adalah jumlah iterasi dari komputasi [14].

3. Implementasi Model



Gambar 1. Flowchart implementasi model SWAN dalam simulasi gelombang

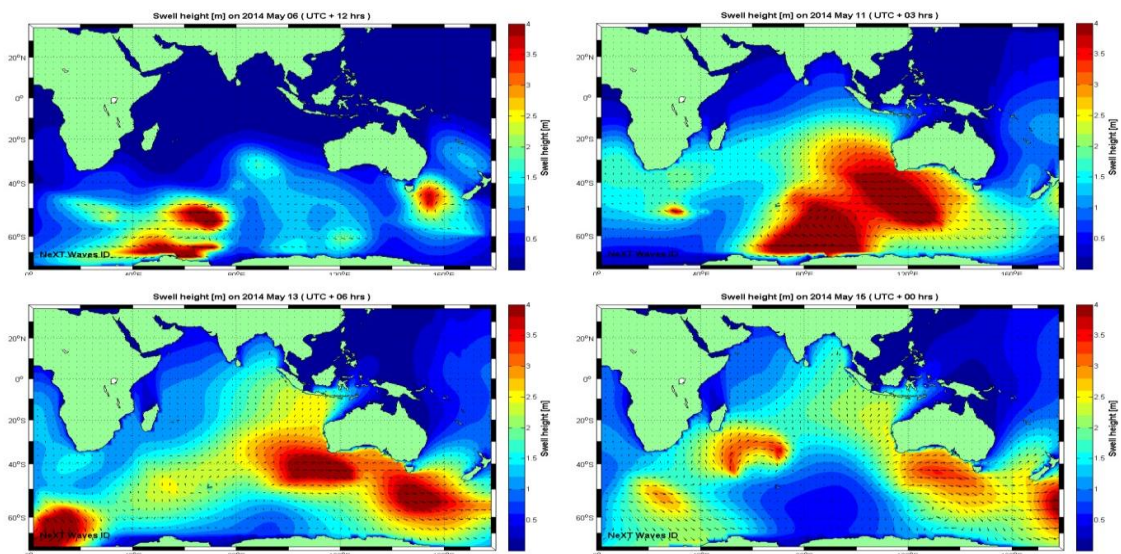
Untuk mensimulasikan gelombang dengan model SWAN, ada beberapa tahap yang harus dilakukan agar simulasi berjalan dengan baik. Flowchart 1 menunjukkan tahapan-tahapan yang diperlukan dalam simulasi gelombang ini.

- Preparasi data masukan berupa data kedalaman perairan (bathymetry) yang diperoleh dari GEBCO (General Bathymetric Chart of the Ocean) [8] dan data angin yang diperoleh dari ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) [3].

- Instalasi perangkat lunak open source model SWAN dan running environment yang diperlukan yaitu compiler fortran, C++, dan compiler MPI atau openMP [14]. Setelah proses instalasi, dilakukan konfigurasi domain global sebagai dengan titik awal sumbu Y yaitu pada 0.5 derajat lintang selatan dengan panjang domain 180 dalam satuan derajat diukur dari titik awal sumbu X, dan titik awal sumbu Y di titik 69.5 derajat lintang selatan dengan lebar domain dalam satuan derajat diukur dari titik awal sumbu Y yaitu 105. Jumlah diskritisasi di sumbu X adalah 120 dan jumlah diskritisasi di sumbu Y adalah 70. Untuk simulasi domain kedua yaitu daerah perairan di selatan pulau Jawa titik awal sumbu X yaitu pada 100 derajat bujur timur dengan panjang domain dalam satuan derajat diukur dari titik awal sumbu X yaitu 20, dan titik awal sumbu Y di titik 0 derajat lintang utara/selatan dengan lebar domain dalam satuan derajat diukur dari titik awal sumbu Y yaitu 15. Jumlah diskritisasi di sumbu X adalah 160 dan jumlah diskritisasi di sumbu Y adalah 120.
- Simulasi gelombang dilakukan dengan data inputan batimetri dan angin dari tanggal 3 Mei 2014 sampai 30 September 2014. Simulasi dilakukan dengan konfigurasi simulasi, direktori/file input dan output dari software model SWAN dengan menggunakan platform MATLAB.
- Data output dari model SWAN kemudian diproses dengan menggunakan MATLAB untuk memperoleh plot spektrum 2D dari tinggi gelombang signifikan, swell, mean wave period, peak wave period, dan data angin.
- Hasil berupa plot spektral 2D empat parameter gelombang kemudian dianalisis dengan membandingkan hasil simulasi dengan data buoy BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi)

4. Hasil dan Diskusi

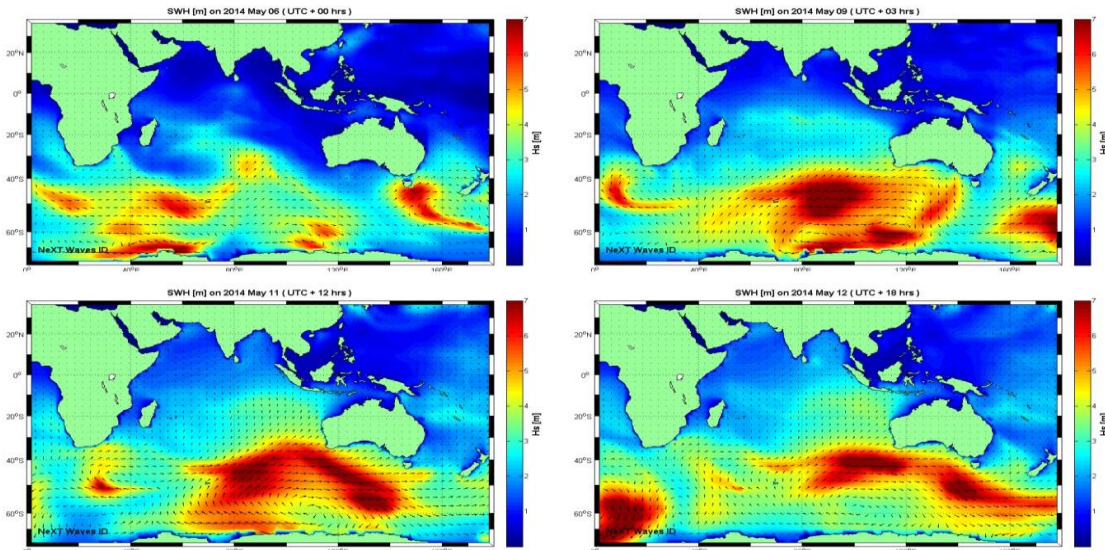
4.1 Hasil Simulasi



Gambar 2. Pergerakan swell pada bulan Mei 2014

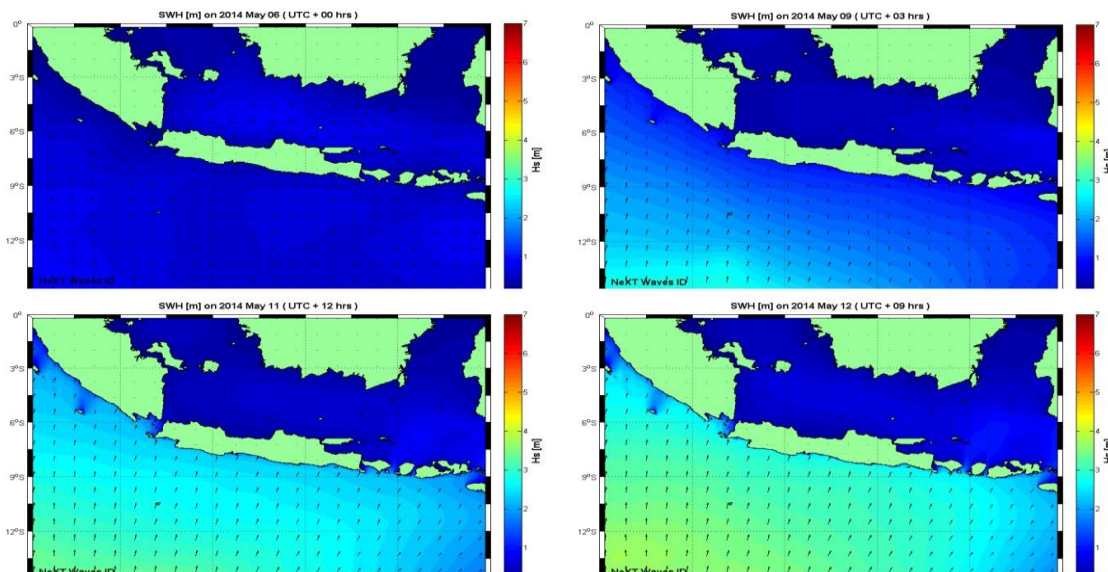
Gambar 2 menunjukkan ketinggian swell dan arah propagasi gelombang swell di bulan Mei 2014. Swell mulai terbentuk di samudra Hindia di sekitar perairan sebelah selatan benua Afrika dan berpropagasi ke wilayah perairan Indonesia melalui arah barat daya benua Australia. Di pertengahan bulan Mei, sekitar tanggal 15 Mei 2014, seperti yang terlihat pada Gambar 2 interaksi gelombang swell dengan daratan benua Australia mengakibatkan disipasi gelombang. Interaksi gelombang dengan gesekan dasar perairan dan daratan benua Australia merupakan faktor disipasi energi gelombang yang mengakibatkan ketinggian gelombang swell yang berpropagasi ke perairan selatan pulau Jawa berkurang menjadi sekitar 2-2.5 meter.

Fluktuasi gelombang signifikan pada awal bulan Mei yang terlihat pada Gambar 3 menunjukkan bahwa gelombang signifikan terbentuk di Samudera Hindia, di arah barat daya benua Australia dan seperti halnya gelombang swell, gelombang signifikan yang berpropagasi ke perairan selatan pulau Jawa berinteraksi dengan daratan benua



Gambar 3. Fluktuasi gelombang signifikan pada awal bulan Mei 2014 di domain global

Australia hingga mengalami disipasi energi yang mengurangi ketinggian dan mengubah arah propagasi gelombang. Spektrum gelombang di perairan selatan pulau Jawa yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.

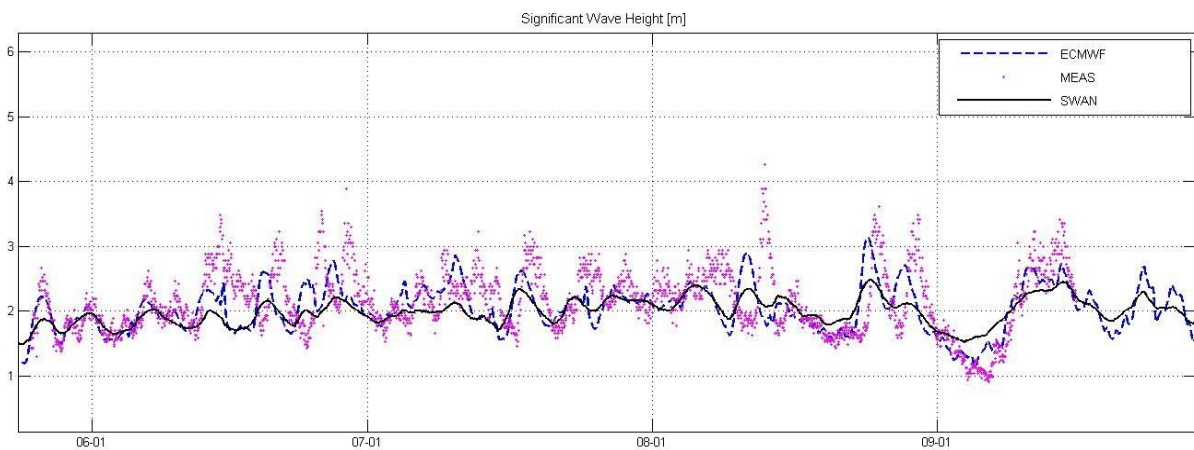


Gambar 4. Fluktuasi gelombang signifikan pada awal bulan Mei 2014 di perairan selatan Jawa

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Analisis hasil dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi yang diperoleh dengan simulasi dari ECMWF dan buoy data dari BPPT dan melakukan pengukuran kesalahan dalam bentuk RMSE (Root Mean Square Error). RMSE (Root Mean Square Error) merupakan suatu ukuran kesalahan yang didasarkan pada selisih antara dua buah nilai yang bersesuaian [7], yang didefinisikan sebagai :

$$S = \frac{\sum_{n=1}^T (y_0 - y_1)^2}{T} \tag{4}$$



Gambar 5. Perbandingan ketinggian gelombang signifikan dari data buoy BPPT (MEAS), data simulasi ECMWF, dan hasil yang diperoleh dengan model SWAN

dengan T adalah jumlah data, y_0 adalah data pengukuran, dan y_1 adalah data hasil simulasi. Pada Gambar 5 terlihat perbedaan tidak begitu jauh dari hasil yang diperoleh dengan data pengukuran BPPT dan simulasi ECMWF. Adapun nilai kesalahan dalam bentuk RMSE yang diperoleh sudah relatif kecil yaitu 15.8613. Nilai tingkat kesalahan hasil simulasi yang diperoleh dengan data pengukuran diakibatkan oleh faktor error yang cukup besar dari data simulasi angin dari ECMWF yang resolusinya masih relatif kecil dan juga merupakan hasil simulasi, belum merupakan data pengukuran kondisi angin yang sebenarnya, sedangkan model phase-averaged SWAN ini sangat bergantung pada keakuratan data arah dan kecepatan angin. Walaupun terlihat cukup signifikan, nilai error dari komparasi hasil simulasi dengan data pengukuran BPPT trend hasil simulasi gelombang dengan model SWAN ini sudah mengikuti trend dari data pengukuran BPPT. Grafik data simulasi ECMWF yang berupa dash line berwarna biru pada Gambar 5 terlihat lebih akurat dari hasil simulasi yang diperoleh karena sudah merupakan data hasil reanalisis. Reanalisis dalam hal ini adalah sebuah metode ilmiah untuk mengembangkan sebuah catatan komprehensif perubahan cuaca dan iklim dari waktu ke waktu [17].

5. Kesimpulan

Simulasi gelombang telah dilakukan dengan selang waktu dari tanggal 3 Mei 2014 hingga tanggal 30 September 2014 dengan model phase-averaged SWAN di perairan selatan pulau Jawa tepatnya pada buoy point (titik pengukuran) 110.5474 derajat bujur timur dan 8.1563 derajat lintang selatan. Dari hasil simulasi yang diperoleh dapat disimpulkan beberapa hal di antaranya :

- Gelombang signifikan dan gelombang swell yang berpropagasi dari samudra Hindia ke daerah perairan selatan pulau Jawa mengalami pengurangan ketinggian gelombang akibat disipasi energi dan perubahan arah propagasi dengan dua faktor yang paling berpengaruh yaitu gesekan dasar laut dan interaksi gelombang dengan daratan benua Australia.
- Gelombang signifikan dan gelombang swell mulai terbentuk di samudra Hindia di sekitar perairan selatan benua Afrika dan berpropagasi ke arah timur laut sampai ke perairan selatan pulau Jawa.
- Keakuratan simulasi gelombang dengan model SWAN ini dianalisis dengan membandingkan hasil simulasi gelombang signifikan yang diperoleh dengan simulasi gelombang ECMWF dan data pengukuran dari BPPT. Hasil simulasi yang diperoleh sudah relatif akurat karena sudah mengikuti trend dari data pengukuran BPPT. Adapun tingkat kesalahan hasil simulasi yang diukur dalam bentuk RMSE sudah relatif kecil yaitu 15.8613
- Tingkat kesalahan simulasi yang dilakukan diakibatkan oleh faktor error yang cukup besar yaitu data inputan angin yang merupakan hasil simulasi dari ECMWF dan belum merupakan data pengukuran kondisi angin yang sebenarnya.

- Buku Tugas Akhir yang merupakan Dokumentasi dari hasil simulasi gelombang yang dilakukan ini dapat digunakan sebagai referensi, untuk melakukan prediksi klimatologi gelombang dengan model SWAN yang memerlukan data simulasi dengan selang waktu yang lebih panjang. Prediksi klimatologi gelombang diperoleh dari data-data historis karakteristik gelombang yang dirata-ratakan selama beberapa tahun, untuk memperoleh informasi yang berguna bagi para perencana dan pembuat kebijakan.

Untuk pengembangan kedepannya keakuratan dari hasil simulasi gelombang dapat ditingkatkan dengan melakukan reanalisis.

Daftar Pustaka

- [1] N. Booij, R. Ris, and L. H. Holthuijsen. A third-generation wave model for coastal regions: 1. model description and validation. *Journal of geophysical research: Oceans*, 104(C4):7649–7666, 1999.
- [2] B. P. dan Penerapan Teknologi. Profil BPPT. <https://www.bppt.go.id/profil/sejarah>, 2014.
- [3] E. C. for Medium-Range Weather Forecasts. Datasets. Available at <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets>.
- [4] E. C. for Medium-Range Weather Forecasts. "who we are" ecmwf. Available at <http://www.ecmwf.int/en/about/who-we-are>.
- [5] K. Hasselmann. On the spectral dissipation of ocean waves due to white capping. *Boundary-Layer Meteorology*, 6(1-2):107–127, 1974.
- [6] L. H. Holthuijsen. *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge University Press, 2007.
- [7] R. J. Hyndman and A. B. Koehler. Another look at measures of forecast accuracy. *International journal of forecasting*, 22(4):679–688, 2006.
- [8] G. B. C. of the Oceans. Gebco bathymetry. Available at https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/.
- [9] R. Padilla-Hernandez, W. Perrie, B. Toulany, and P. Smith. Modeling of two northwest atlantic storms with third-generation wave models. *Weather and Forecasting*, 22(6):1229–1242, 2007.
- [10] W. Qin, J. T. KIRBY, and M. BADIEY. Application of the spectral wave model SWAN in Delaware Bay. Research Report No. CACR-05-09, 2005.
- [11] A. Semedo, K. Sušelj, A. Rutgersson, and A. Sterl. A global view on the wind sea and swell climate and variability from era-40. *Journal of Climate*, 24(5):1461–1479, 2011.
- [12] K. Sverdrup and R. Kudela. *Investigating oceanography*. New York: McGraw-Hill, 2014.
- [13] M. Sverdrup, Harald Ulrik and W. Heinrich. *Wind, sea, and swell: theory of relations for forecasting*. 1947.
- [14] T. S. team. SWAN USER MANUAL. Delft University of Technology, 1993.
- [15] T. S. team. SWAN TECHNICAL DOCUMENTATION. Delft University of Technology, 2006.
- [16] M. Van Gruijthuisen. Validation of the wave prediction model swan using field data from lake george, australia. 1996.
- [17] M. Zhao and P. A. Dirmeyer. Production and analysis of GSWP-2 near-surface meteorology data sets, volume 159. Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies Calverton, 2003.