

POLA ARUS PASANG SURUT DI PERAIRAN WAKATOBI

Rangga Ritista P. Atmaja¹, Ivonne M. Radjawane², Ayi Tarya³

Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung

Korespondensi, ranggaritista@gmail.com

Abstrak: Perairan Indonesia didominasi oleh sinyal pasang surut *semidiurnal* (M_2 dan S_2) dari samudera Hindia dan sinyal pasang surut *diurnal* (K_1 dan O_1) dari samudera Pasifik. Akibatnya, bisa saja terjadi percampuran sinyal pasang surut *diurnal* dan *semidiurnal* di suatu perairan tertentu. Kepulauan Wakatobi yang terdiri atas 4 pulau utama (Pulau Wangi-wangi, Kaledupa, Tomia dan Binongko) menjadi daerah kajian yang menarik karena terletak di antara Laut Banda dan Laut Flores yang memiliki dinamika perairan yang menarik. Penelitian ini difokuskan pada dinamika pasang surut di Perairan Wakatobi dan sekitarnya dengan menggunakan pemodelan DELFT3D. Simulasi model dari 1 Desember 2017 hingga 30 April 2018 di sekitar perairan Wakatobi. Verifikasi pasang surut antara data model dengan data observasi Badan Informasi Geospasial (BIG) menunjukkan nilai *RMSE* dan *R-squared* masing-masing sebesar 0,1117 meter dan 0,9593. Pola pasang surut di Kepulauan Wakatobi berjenis semidiurnal condong harian ganda. Di sekitar kepulauan Wakatobi, pola arus pasang surut cenderung bergerak secara meridional (utara-selatan). Sinyal pasang surut yang paling dominan pada daerah kajian adalah komponen *semidiurnal* M_2 .

Kata kunci: arus pasang surut, perairan Wakatobi, Delft3D

PENDAHULUAN

Pasang surut laut merupakan fenomena naik turunnya muka air laut yang terjadi secara periodik yang timbul akibat adanya gaya gravitasi dan gaya tarik menarik benda-benda angkasa terutama oleh bumi, bulan, dan matahari. (Dronkers, 1994). Sistem pasang surut di perairan Indonesia merupakan salah satu sistem pasang surut yang kompleks di dunia akibat pengaruh topografi dasar, variasi garis pantai, dan percampuran penjalaran gelombang pasang surut dari Samudera Pasifik dan Samudera Hindia termasuk Laut Cina Selatan (Wei dkk., 2016). Pasang surut bertipe harian ganda terjadi di Samudera Pasifik dan Samudera Hindia (Roberton & Fields, 2008) melewati Perairan Indonesia Bagian Timur dengan M_2 sebagai komponen utama yang berpengaruh dalam penyebaran pasut. Sedangkan komponen pasut K_1 dan O_1 memiliki arah penyebaran pasut yang berlawanan. Keberadaan pasang surut ini mengakibatkan terjadinya transpor dan percampuran massa air di Perairan Indonesia serta mempengaruhi aliran arus regional dan sirkulasi termohalin secara global (Robertson, 2010).

Pasang surut dapat diramalkan dengan mengetahui nilai amplitudo dan fasa komponen harmonik pasutnya. Dengan adanya data amplitudo dan fasa komponen harmonic pasut bisa digambarkan *co-phase* dan *co-range*. Penelitian Ray dkk. (2005) tentang *co-phase* dan *co-range* menunjukkan komponen pasut *semidiurnal* M_2 mendapat pengaruh pasang surut dominan dari Samudera Hindia. Sedangkan komponen pasut *diurnal* K_1 arahnya berlawanan dengan pasut *semidiurnal* M_2 . Ketika sampai di Laut Banda dan Laut Flores, terjadi tabrakan dua gelombang pasut sehingga mengakibatkan naiknya amplitudo ketika berada di laut Flores dan ketika bergerak ke barat menuju Laut Jawa.

Karena dinamika pasang surut yang unik dan menarik, Kepulauan Wakatobi menjadi obyek yang menarik untuk dikaji. Secara geografis, Kepulauan Wakatobi yang terdiri atas Pulau Wangi-wangi, Pulau Kaledupa, Pulau Tomia dan Pulau Binongko terletak diantara Laut Banda dan Laut

Flores. Pulau ini juga merupakan tempat destinasi wisata bahari yang cukup terkenal baik di dalam maupun luar negeri. Oleh karena itu, informasi tentang pola pasang surut di perairan Wakatobi diperlukan.

METODE PENELITIAN

Daerah kajian penelitian ini adalah perairan sekitar Kepulauan Wakatobi ($5^{\circ}8'27.44"S$ hingga $6^{\circ}14'11.56"S$ dan $123^{\circ}22'4.71"E$ hingga $126^{\circ}57'39.51"E$) meliputi laut Banda dan laut Flores. Model yang digunakan adalah jenis model hidrodinamika yang berasal dari Delft3D-Flow dengan lama simulasi lima bulan dari 1 Desember 2017 hingga 30 April 2018. Input data yang dimasukkan ke dalam domain model meliputi data angin, data batimetri, dan data komponen pasut (M_2 , S_2 , K_1 , O_1 , K_2 , P_1 , Q_1 , N_2)

Tabel 1. Data input model hidrodinamika

Parameter	Sumber	Keterangan
Data Angin	ECMWF (<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>)	Data angin pada ketinggian 10 meter komponen u dan v. Resolusi $1,5^{\circ} \times 1,5^{\circ}$ dan resolusi temporal harian setiap 6 jam
Data Batimetri	GEBCO (<i>The General Bathymetric Chart of Oceans</i>)	Data batimetri memiliki resolusi 30 Arc-second atau sekitar 900m.
Data Komponen Pasut	Oceanomatics	Data komponen pasut dengan pendekatan satelit TOPEX/POSEIDON dengan resolusi $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$.

Model DELFT3D-Flow ini menggunakan skema numerik untuk melakukan pendekatan terhadap nilai yang diharapkan. Persamaan pengaturnya meliputi persamaan kontinuitas dan persamaan momentum yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (U(d+\zeta))}{\partial x} + \frac{\partial (V(d+\zeta))}{\partial y} = Q_{\text{Persamaan}}$$

Kontinuitas model Delft3D (*Delft3D-FLOW User Manual*, 2014):

(1)

Persamaan Momentum model Delft3D (*Delft3D-FLOW User Manual*, 2014):

Seminar Nasional Kelautan XIV

" Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir Dalam Peningkatan Daya Saing Indonesia"
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 11 Juli 2019

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - \frac{\partial(V^2)}{\partial x} + \frac{\partial(UV)}{\partial y} - fV = -\frac{1}{\rho_0} P_x + F_x - \frac{gU\sqrt{U^2 + V^2}}{C_{2D}^2(d + \zeta)} + M_x \quad (2)$$

dan

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{\partial(UV)}{\partial x} + \frac{\partial(U^2)}{\partial y} + fU = -\frac{1}{\rho_0} P_y + F_y - \frac{gV\sqrt{U^2 + V^2}}{C_{2D}^2(d + \zeta)} + M_y \quad (3)$$

dengan

$$U = \frac{1}{d + \zeta} \int_d^\zeta u \, dz$$

$$V = \frac{1}{d + \zeta} \int_d^\zeta v \, dz$$

- U, V : Kecepatan rata-rata terhadap kedalaman horizontal (m/s)
- x, y : Koordinat Kartesian horizontal
- f : Parameter Coriolis (1/s)
- ρ_0 : Densitas air (kg/m^3)
- P_x, P_y : Gradien tekanan hidrostatis ($\text{kg/m}^2\text{s}^2$)
- F_x, F_y : Fluks momentum turbulensi (m/s^2)
- g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
- C_{2D} : Koefisien Chezy 2D ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$)
- M_x, M_y : Momentum eksternal (m/s^2)
- H : Kedalaman (m) = $d + \zeta$
- n : Koefisien Manning ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$)
- d : Kedalaman perairan(m)
- ζ : Elevasi muka air (m)
- Q : Debit/satuan luas (m/s)

Sebelum dilakukan simulasi hidrodinamika dengan menggunakan software DELFT3D-Flow, penyetelan model terlebih dahulu. Dalam penelitian kali ini, *setting* model memenuhi spesifikasi sebagai berikut.

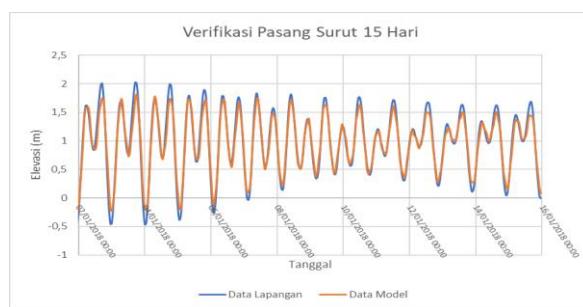
Tabel 2. Desain Model Hidrodinamika

Lama Simulasi	1 Desember 2017 – 30 April 2018
Waktu Simulasi	151 hari
Interval Simulasi (Δt)	60 menit

Jumlah Grid ($\xi \times \eta$)	875 x 470
Beda Jarak Sumbu Horisontal(Δx)	492.35 meter
Beda Jarak Sumbu Vertikal(Δy)	300 meter
Panjang Domain Arah x	430.81 kilometer
Panjang Domain Arah y	187.914 kilometer

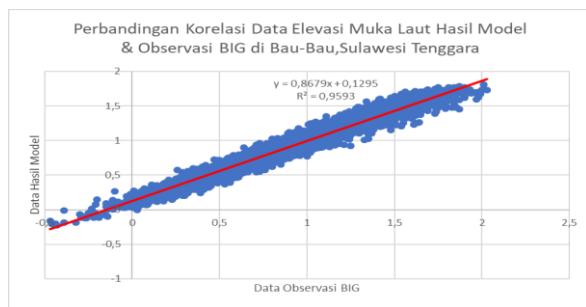
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh output berupa elevasi muka air laut dan kecepatan arus dalam arah zonal (barat-timur) dan meridional (utara-selatan) yang dirata-ratakan terhadap kedalaman. Data elevasi muka air laut hasil model terlebih dahulu ditambahkan rata-rata muka air laut atau *mean sea level* (MSL). Alasannya karena *setting* MSL di model dibuat bernilai 0. Kemudian dilakukan verifikasi pola arus pasang surut dengan membandingkan data hasil model dan data observasi milik BIG (Badan Informasi Geospasial) di Bau-bau, Sulawesi Tenggara.



Gambar 1. Hasil verifikasi pasang surut selama 15 hari

Melalui verifikasi elevasi muka air laut antara data model dengan data observasi lapangan, keduanya memiliki pola yang serupa (**Gambar 1**). Pola pasang surut yang ditunjukkan berupa pola pasang surut campuran condong harian ganda. Untuk lebih merepresentasikan hasil maka dilakukan korelasi dengan perhitungan *R-squared* dan RMSE (*Root Mean Square Error*).



Gambar 2. Korelasi data model dan data observasi lapangan

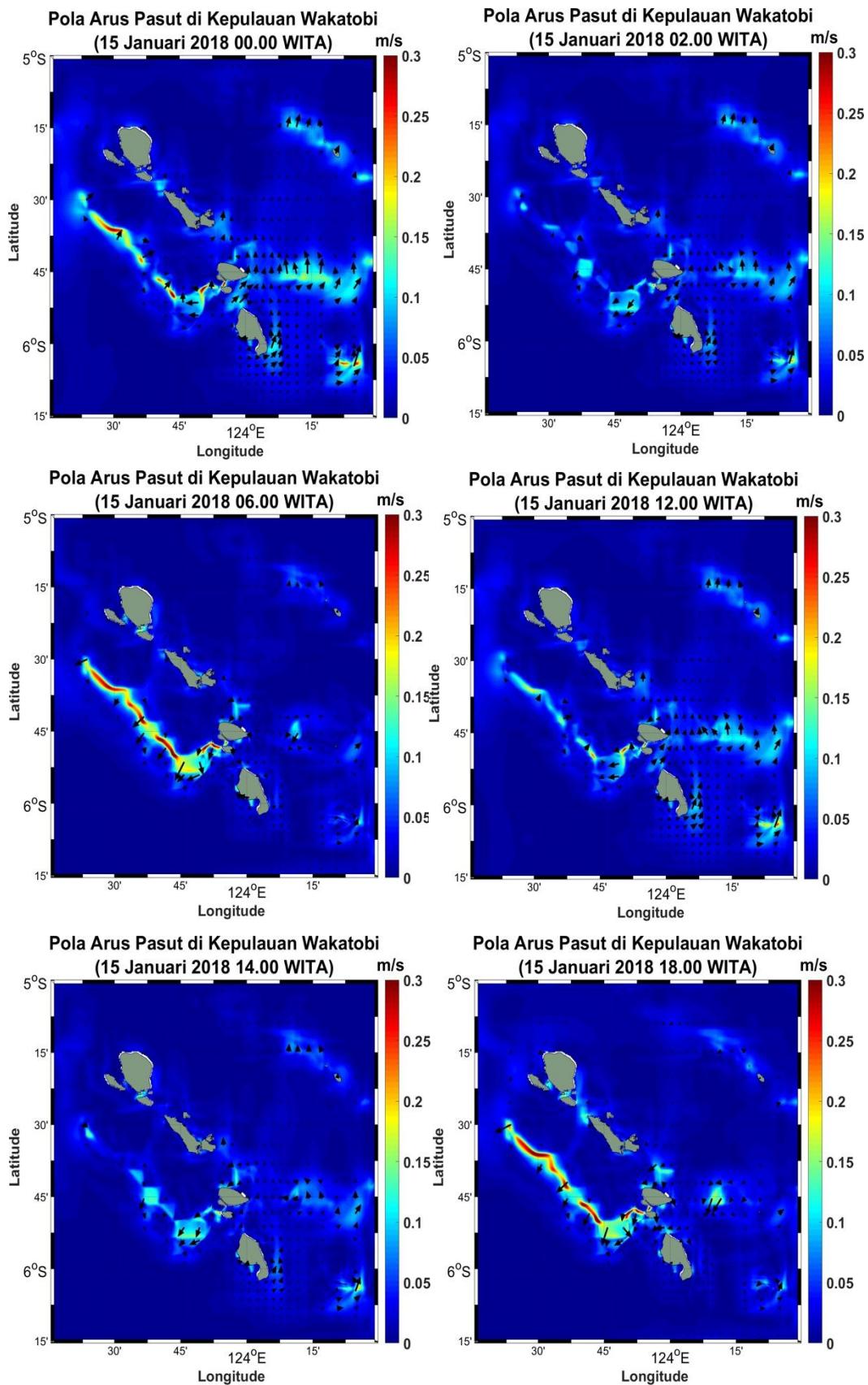
Pada **Gambar 2** ditunjukkan bahwa korelasi data menunjukkan nilai *R-squared* mendekati nilai 0.9593 dari skala 0 hingga 1. Hal ini menunjukkan adanya kemiripan data hasil model dengan data lapangan. Sedangkan untuk *error* data observasi dan data hasil model ditentukan dengan menggunakan RSME. Setelah dihitung secara manual, maka diperoleh nilai RMSE sebesar 0.1117 meter. Baik *R-squared* maupun *RMSE* menunjukkan tingkat kepercayaan

Seminar Nasional Kelautan XIV

" Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir Dalam Peningkatan Daya Saing Indonesia"

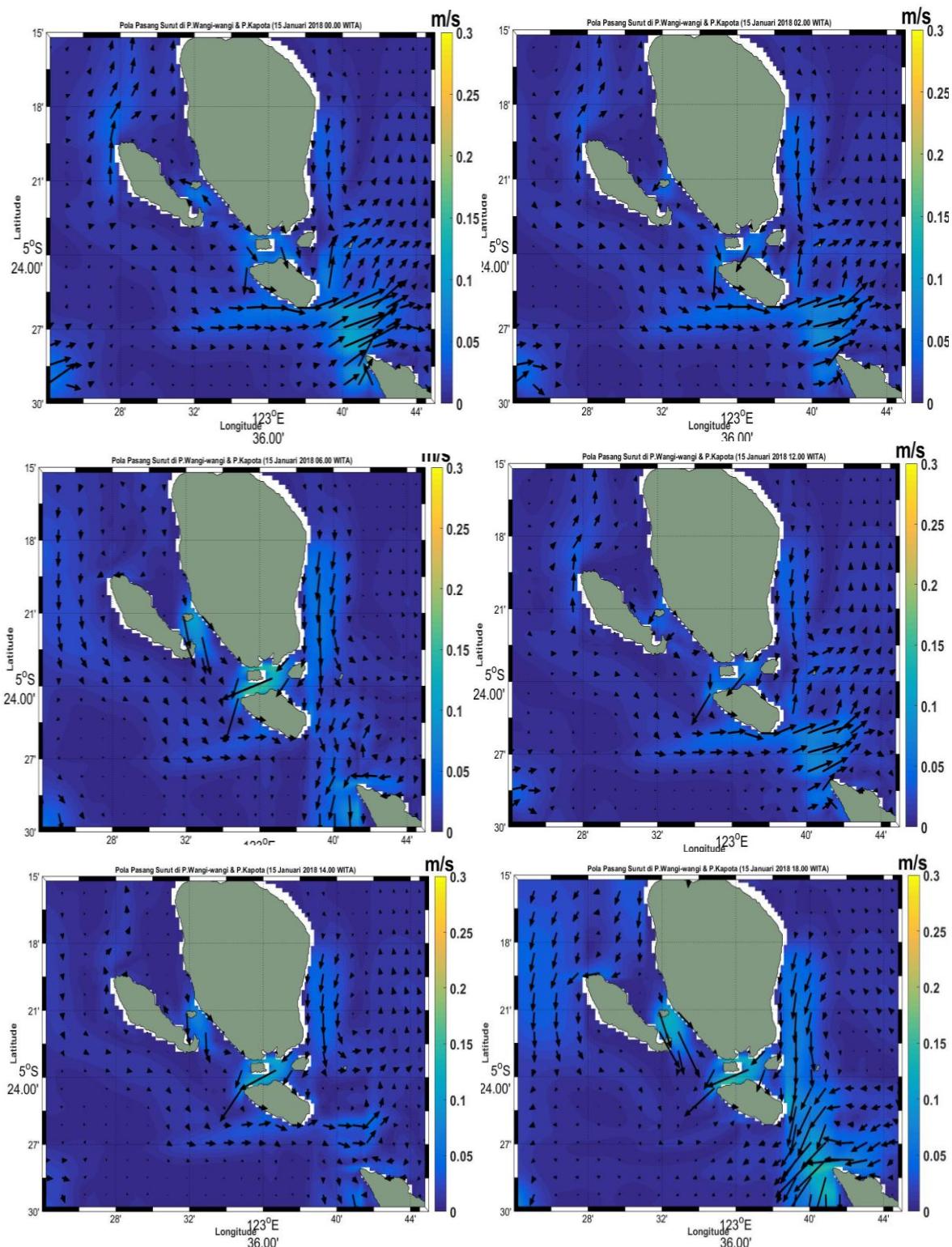
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 11 Juli 2019

data cukup baik dan bisa digunakan. Untuk memperlihatkan pola arus pasang surut yang terjadi di perairan Wakatobi, dilakukan visualisasi dalam bentuk gambar sebagai berikut.



Gambar 3 Pola Arus Pasang Surut di Kepulauan Wakatobi

Berdasarkan **Gambar 3**, dalam sehari simulasi terdapat dua kali siklus pasang surut. Hal ini sesuai dengan penelitian Ray dkk (2005), bahwa di perairan dekat Laut Banda dan Laut Flores terjadi tabrakan sinyal pasang surut M_2 dan K_1 . Sehingga tipe pasang surut di perairan Wakatobi adalah campuran condong harian ganda.



Gambar 4. Pola pasang surut di Pulau Wangi-wangi dan Pulau Kapota

Gambar 4 bertujuan untuk memperlihatkan pola arus pasang surut di sekitar pulau yang berada di perairan Wakatobi. Berdasarkan **Gambar 4**, pola pasang surut di Pulau Wangi-wangi dan Kapota menunjukkan kondisi perairan di sekitarnya tiap waktu tertentu. Kondisi pasang ditunjukkan pada saat perairan berada pada jam 00.00 WITA, arah arus diantara pulau Wangi-wangi dan pulau Kapota bergerak ke timur laut. Dua jam setelahnya, yaitu pada jam 02.00 WITA, arah arus mulai berubah. Pada saat inilah kondisi perairan sedang menuju surut. Tepat pada jam 06.00 WITA, pola arus berubah dalam arah berlawanan. Arah arus bergerak menuju selatan. Elevasi muka air laut sedang surut. Satu siklus pasang surut sudah terjadi.

Pada jam 12.00 WITA, kondisi perairan sedang pasang. Artinya, dari interval jam 06.00 WITA hingga sebelum 12.00 WITA terjadi perubahan kecepatan dan arah arus yang berlawanan dengan arah sebelumnya (kondisi surut). Dua jam setelahnya, kondisi perairan berubah menuju surut. Perubahan arah dan kecepatan arus berubah seiring bertambahnya waktu. Pada 18.00 WITA, kondisi perairan sedang surut. Berdasarkan **Gambar 3**, pola arus cukup kencang ke arah selatan dengan kecepatan berada di antara 0,15 m/s hingga 0,2 m/s. Pada kondisi ini pula, terjadi surut terendah.

Siklus pasang surut yang terdiri atas dua kali kondisi pasang dan dua kali kondisi surut ini menunjukkan pola pasang surut *semidiurnal* dalam arah meridional (utara-selatan). Sinyal pasang surut yang dominan di perairan sekitar laut Banda dan laut Flores adalah M_2 . Sesuai dengan **Gambar 1**, terdapat dua kali pasang dan dua kali surut. Namun, amplitudo saat pasang siklus pertama dan saat pasang siklus kedua memiliki nilai yang berbeda. Begitu pula saat surut siklus pertama dan saat surut siklus kedua, nilai elevasinya pun berkurang jauh. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh lain yang menyebabkan perbedaan elevasi. Hal ini bisa jadi karena adanya pengaruh sinyal pasut lain. Salah satunya karena ada gelombang pasut K_1 yang bergerak ke selatan melewati Selat Makassar dan Laut Moluska. Ketika sampai di Laut Banda dan Laut Flores, gelombang pasut ini (K_1) bertemu dengan gelombang pasut M_2 yang berasal dari Samudera Hindia (Ray dkk, 2005) sehingga terjadi percampuran sinyal pasang surut. Akibatnya amplitudo meningkat saat periode waktu tertentu. Hal ini menyebabkan perbedaan tinggi muka air laut saat siklus pasut pertama dan siklus pasut kedua.

KESIMPULAN

Verifikasi elevasi pasang surut hasil model dengan data observasi menunjukkan hasil yang baik. Hal ini dibuktikan oleh nilai RMSE yang rendah yaitu sebesar 0,1117 meter dan *R-squared* sebesar 0,9593. Selain itu, berdasarkan hasil *scatter plot* menunjukkan bahwa pola sebaran data model dengan observasi telah mendekati kurva linear 1:1 sehingga dapat dikatakan bahwa data model telah mendekati data observasi. Berdasarkan hasil model, tipe pasang surut di daerah kajian adalah campuran condong harian ganda dengan komponen dominannya adalah M_2 dengan arus pasang surut bergerak dalam arah meridional (utara-selatan). Saat masuk ke laut Banda dan laut Flores, sinyal pasang surut K_1 bertabrakan dengan sinyal pasang surut M_2 sehingga menyebabkan perbedaan tinggi muka air laut.

Seminar Nasional Kelautan XIV

" Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir Dalam Peningkatan Daya Saing Indonesia"
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 11 Juli 2019

DAFTAR PUSTAKA

- Deltas, 2014, *Delft3D-FLOW: User Manual*.
- Deltas, 2014, *Delft3D-QUICKPLOT: User Manual*.
- Diastomo, H., 2013, *Pemodelan Gerak Sampah Laut Terapung (Marine Debris) di Selat Bali*,
Tugas Akhir Sarjana, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung.
- Dronkers, J.J., 1964, *Tidal Computations in Rivers and Coastal Water*, North – Holland
Publishing Company, Amsterdam.
- Ray, R.D., G. D. Egbert, dan S. Y. Erofeeva, 2005, A Brief Overview of Tides in The Indonesian
Seas, *The Oceanography Society*, **18(4)**.
- Robertson, R. dan Ffield, A., 2005, M2 Baroclinic Tides in The Indonesian Seas,
Oceanography, **18**:62–73.
- Robertson, R. dan Ffield, A., 2008, Baroclinic Tides in The Indonesian Seas: Tidal Fields and
Comparisons to Observations, *J. Geophys. Res.*, **113**.
- Wei, Z., F. Guohong, R. D. Susanto, T. R. Adi, B. Fan, A. Setiawan, S. Li, Y. Wang, X. Gao,
2016, Tidal Elevation, Current, and Energy Flux in The Area Between The South China
Sea and Java Sea, *Ocean Sci*, **12**:517–531.