Amplitudo K_1 dan M_2 di Perairan Kepulauan Tambelan Berdasarkan Hasil Pemodelan Dua Dimensi

The Amplitude of K_1 and M_2 in the Waters of the Tambelan Islands Based on the Results of Two-Dimensional Modeling.

Venansius^{1*}, Arie Antasari Kushadiwijayanto¹, Risko¹, Yusuf Arief Nurrahman¹, Shifa Helena¹

¹Laboratorium Ilmu Kelautan, FMIPA Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

*E-mail : venansius@student.untan.ac.id

Received : 10 Juni; Accepted: 19 September 2020

Published: 30 Oktober 2020 © Author(s) 2020. This article is open access

Abstract

The tidal characteristics of the K_1 and M_2 components in the waters of the Tambelan Islands, the Province of Riau Islands have studied using the Princeton Ocean Model (POM) two-dimensional hydrodynamics. The hydrodynamic equations of two-dimensional with non-linear terms are solved explicitly through the finite difference method. The procedure of this research begins with the measurement of the water level for 30 days. The model input is the elevation and tidal currents data by Tidal Model Driver (TMD) result, and the pushidorsal bathymetry data given by the boundary requirements section. The conduct of this model is about 30 days, in this case, the water level elevation simulation for the first 3 days is used as spin up and the simulation results of the last 27 days are analyzed to get the amplitude and phase which will be verified with data observation. The results of the model simulation are good by observational data, the difference of amplitude and phase delay is K_1 (4 cm and 273°), M_2 (16 cm and 101°). The elevation are analyzed harmonically to get the direction of tidal wave propagation so that it can show the distribution pattern of the amplitude and phase. The amplitude of K_1 ranges from 14 cm to 26 cm, and M_2 range from 12 cm to 26 cm. While the direction of K_1 wave propagation enters from the North which spreads to the South and the M_2 wave enters from the Northwest which propagates towards the Southeast of Tambelan Island. Based on the results, obtained it can be concluded that the K_1 component tidal waves enter from the Pacific Ocean, and the M_2 component waves enter from the North Natuna Sea.

Keywords : POM, t_{tide} , Tides, Amplitude, Phase, Tambelan Islands.

Abstrak

Karakteristik pasang surut Komponen K_1 dan M_2 di Perairan Kepulauan Tambelan, Provinsi Kepulauan Riau telah dipelajari menggunakan model *Princeton Ocean Model* (POM) hidrodinamika Dua-Dimensi. Persamaan hidrodinamika Dua-Dimensi dengan suku non-linearnya diselesaikan secara eksplisit melalui metode beda hingga. Prosedur penelitian diawali dengan pengukuran elevasi muka air selama 30 hari. Masukan model adalah data elevasi dan arus pasang surut dari hasil *Tidal Model Driver* (TMD) serta data batimetri pushidorsal yang diberikan pada bagian syarat batas. Model dijalankan selama 30 hari, dalam hal ini simulasi elevasi muka air selama 3 hari pertama digunakan sebagai *spin up* dan hasil simulasi 27 hari terakhir dianalisis untuk mendapatkan amplitudo dan keterlambatan fase yang akan diverifikasi dengan data lapangan. Hasil simulasi model cukup baik ketika diverifikasi dengan data observasi, selisih amplitudo dan keterlambatan fase ialah K_1 (4 cm dan 273°), M_2 (16 cm dan 101°). Elevasi dianalisis harmonik untuk mendapatkan arah perambatan gelombang pasang surut sehingga dapat menunjukkan pola sebaran amplitudo dan fase. Amplitudo K_1 berkisar dari 14 cm sampai 26 cm dan M_2 berkisar antara 12 cm sampai 26 cm. Sedangkan arah penjalaran gelombang K_1 masuk dari Utara yang menyebar ke Selatan dan gelombang M_2 masuk dari Barat Laut yang merambat ke arah Tenggara Pulau Tambelan. Berdasarkan hasil yang didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa gelombang pasang surut komponen K_1 masuk dari Samudra Pasifik dan gelombang komponen M_2 masuk dari laut Natuna Utara.

Kata kunci : POM, t_{tide} , pasang surut, kontur amplitudo, kontur fase, kepulauan Tambelan.

1. Pendahuluan

Perairan Kepulauan Tambelan memiliki wilayah pesisir dan perairan yang digunakan untuk berbagai macam kegiatan seperti pemukiman Penduduk, perikanan tangkap, keramba, transportasi laut, dan bangunan pantai serta sebagai sumber mata pencaharian bagi masyarakat setempat (Ardriani *et al.*, 2019).

Kawasan ini sangat mempengaruhi pertumbuhan perekonomian bagi masyarakat, dimana mayoritas penduduk disekitar beraktivitas di sektor Kelautan. Kegiatan tersebut tidak terlepas dari pengaruh dinamika perairan, seperti pasang surut air laut.

Pasang surut (pasut) merupakan salah satu faktor yang berperan penting di dalam perencanaan bangunan pantai dan pelabuhan. Sementara kedalaman alur pelayaran di tentukan oleh muka air saat surut. Hal ini berguna dalam mengurangi resiko kecelakaan kapal (Susanti *et al.*, 2019).

Perlunya data dan informasi dalam bentuk peta guna untuk memahami sifat dan karakteristik pasang surut (pasut). Pemahaman tentang Karakteristik pasut dapat dipelajari dengan model hidrodinamika menggunakan program *Pricenton Oceano Model* (POM). Penelitian sebelumnya menggunakan POM di lakukan oleh Fadli *et al.*

(2014) tentang Pemodelan Hidrodinamika di Perairan Teluk Ambon.

Mengingat pentingnya peran dan pengaruh pasang surut, maka penelitian terkait karakteristik pasang surut komponen K_1 dan M_2 di Perairan Kepulauan Tambelan Berdasarkan Hasil Pemodelan Dua-Dimensi sangat perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik pasut serta memberikan gambaran pola perambatan gelombang dan memetakan kontur amplitudo, kontur fase. Data yang digunakan ialah data primer dan sekunder, dimana data primer merupakan hasil dari pengukuran secara langsung di Perairan Kepulauan Tambelan selama 30 hari serta data sekunder merupakan data batimetri Pushidorsal dan data pasang surut dan arus hasil peramalan dari *Tidal Model Driver* (TMD) yang ada didalam *software* Matlab.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Lokasi, Waktu dan Data

Wilayah kajian model penelitian dilakukan di Kepulauan Tambelan, Kecamatan Tambelan, Provinsi Kepulauan Riau, dan titik verifikasi secara geografis $00^{\circ}58.30.2'$ Lintang Utara dan $107^{\circ}32.53.9'$ Bujur Timur.

Pengukuran elevasi muka air dan arus selama 30 hari telah dilakukan sejak tanggal 27 April sampai dengan 27 Mei 2019 (lokasi pengukuran ditandai dengan titik merah pada Gambar 1). Pengolahan serta analisis data

Gambar 1. Peta lokasi penelitian (titik berwarna merah merupakan stasiun pengambilan data Pasang surut)

Gambar 2. Verifikasi Elevasi (atas) dan Arus (bawah)

dilakukan di Laboratorium Ilmu Kelautan FMIPA Universitas Tanjungpura Pontianak.

Penelitian ini menggunakan dua Data yaitu data primer dan data skunder. Data primer adalah data hasil pengukuran langsung berupa data arus dan elevasi. Sedangkan data sekunder adalah data elevasi dan arus hasil peramalan dari *Tidal Model Driver* (TMD), serta data batimetri hasil digitasi dari peta Pushidorsal TNI AL No 281 Tahun 2010. Data batimetri didigitasi dari peta Pushidorsal menggunakan program *Surfer 9*.

Data elevasi diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan papan pasut. Proses pengamatan pasut dilakukan dengan interval 1 jam, selama 30 hari. Data hasil pengukuran, berupa data ketinggian muka air laut per jam, kemudian dianalisis harmonik menggunakan Metode *Least Square*, dengan program *t_tide*. Analisis harmonik menghasilkan nilai amplitudo dan fase, yang digunakan sebagai verifikasi hasil model.

2.3. Desain Model

Tahap awal pemodelan adalah *seting* model dengan membuat grid pada daerah yang dimodelkan berdasarkan kedalaman. Grid yang digunakan adalah grid dalam sistem koordinat kartesian meliputi seluruh Perairan Kepulauan Tambelan. Luas daerah model ialah 3.387,24 km² dan lebar grid $\Delta x = \Delta y = 200$ yang dibagi menjadi 291 x 291 grid. Kedalaman maksimum daerah model mencapai 70 m maka langkah waktu (*time*

step) yang memenuhi stabilitas *Courant-Friedrichs-Levy* (CFL) 3 detik. Simulasi model dijalankan selama 30 hari.

Untuk memenuhi kriteria stabilitas CFL dalam persamaan momentum dengan berdasarkan pada kedalaman maksimum dan lebar sel maka didapatkan waktu dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta t \leq \frac{\Delta L}{\sqrt{2gH_{maks}}}$$

$$\Delta t \leq 5 \text{ detik} \quad (1)$$

Dimana :

ΔL : Lebar sel = $\Delta x = \Delta y$

H_{maks} : kedalaman maksimum perairan daerah model.

g : percepatan gravitasi bumi.

Syarat batas yang digunakan pada model ini meliputi syarat batas tertutup dan syarat batas terbuka. Pada syarat batas tertutup (darat) diterapkan $(U, V, \eta) = 0$, untuk mengontrol proses perhitungan pada daerah dengan kedalaman nol (darat). Pada syarat batas terbuka sebagai masukan model ialah data elevasi dan kecepatan arus arah (u, v) hasil peramalan (TMD), sedangkan data Suhu dan Salinitas disetiap grid diberi nilai sama dengan nilai suhu 30°C dan nilai Salinitas 33 ‰ karena tidak meninjau pengaruh suhu dan salinitas terhadap perubahan pasut serta data angin diberi nilai 0 (nol) / diabaikan karena tidak menggunakan data angin dalam masukan model. Data amplitudo dan fase masukan model ditunjukan pada Tabel 1.

Tabel 1. Amplitudo dan fase masukan model dari TMD

Komponen	Amplitudo dan Fase	Stasiun1	Stasiun2	Stasiun3	Stasiun4
O ₁	Amplitudo (m)	0.2397	0.2285	0.3024	0.269
	Fase (°)	297.74	286.71	237.27	243.41
K ₁	Amplitudo (m)	0.2315	0.2165	0.366	0.306
	Fase (°)	1.1	347.79	280.74	286.51
M ₂	Amplitudo (m)	0.1727	0.2133	0.1548	0.223
	Fase (°)	290.3	275.83	265.67	264.89
S ₂	Amplitudo (m)	0.0359	0.055	0.0433	0.0639
	Fase (°)	302.84	295.32	285.45	283.15

Verifikasi model bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh model mampu mendekati data hasil pengukuran lapangan. Model dijalankan selama 30 hari. Dalam hal ini, simulasi elevasi muka air selama 3 (tiga) hari pertama digunakan sebagai *spin up* dan hasil simulasi 27 hari terakhir dianalisis harmonik menggunakan *t_{tide}* untuk mendapatkan amplitudo dan keterlambatan fase dari komponen utama pasut (K₁ dan M₂). Data hasil observasi meliputi data kecepatan arus dan pasang surut.

2.4. Persamaan Pembangunan

Penelitian ini menggunakan program POM untuk memodelkan dinamika pasut komponen K₁ dan M₂. POM merupakan model numerik sirkulasi laut 3-dimensi yang dikembangkan oleh Mellor. (2001). Program ini juga dapat melakukan simulasi 2-dimensi. Dalam penelitian ini, model 2 dimensi (2D) merupakan model eksternal POM, yang digunakan untuk memperoleh nilai amplitudo, fase dan bilangan fromzahl yang dirata-ratakan terhadap kedalaman. Persamaan mode eksternal dalam POM adalah :

Persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}D}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

Persamaan momentum dalam arah x dan y:

$$\frac{\partial uD}{\partial t} + \frac{\partial u^2D}{\partial x} + \frac{\partial uvD}{\partial y} - F_x - f\bar{v}D + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\tau_x}{\rho\omega} - C_D u(u^2 + v^2) = \quad (3)$$

$$\frac{\partial vD}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}\bar{v}D}{\partial x} + \frac{\partial v^2D}{\partial y} - \bar{F}_y - f\bar{u}D + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\tau_y}{\rho\omega} - C_D v(u^2 + v^2) = \quad (4)$$

Dimana $D = H + \eta$. $\bar{u}, \bar{v}$ merupakan komponen kecepatan rata-rata untuk arah-x dan arah-y, dengan $\bar{u} \equiv \int_{-1}^0 u d\sigma \equiv$

$\int_{-1}^0 v d\sigma, -< wu(0) >$ dan $-< wv(0) >$ adalah komponen gesekan angin, $-< wu(-1) >$ dan $-< wv(-1) >$ adalah komponen gesekan dasar, t adalah waktu, H adalah kedalaman perairan, η adalah elevasi permukaan laut, f adalah gaya coriolis, F_x dan F_y adalah suku difusidan viskositas horizontal dalam arah x dan y.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Verifikasi Model

Hasil simulasi model arus dan elevasi dengan data pengukuran di lapangan secara umum menunjukkan pola grafik naik turun yang hampir sama dengan rata-rata selisih elevasi - 0,01 m dengan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) 17 cm. Sementara Selisih rata-rata arus yaitu -0,0039 cm/s serta nilai RMSE arus 0,0439 cm/s. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2. Grafik pasut (atas), arus (bawah) dimana grafik berwarna biru menandakan data pengukuran lapangan dan grafik berwarna merah menandakan data model.

Amplitudo pasut hasil model dan pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil verifikasi amplitudo pasut komponen K₁ dan M₂ menunjukkan bahwa hasil model memiliki nilai yang sedikit lebih besar, dibandingkan nilai amplitudo dari hasil pengukuran, dengan selisih komponen K₁ 4 m dan komponen M₂ menunjukkan selisih yang cukup besar yaitu 16 m. Hal ini terjadi pada inputan model sehingga menampilkan perbedaan yang cukup besar.

Dari hasil verifikasi model dan observasi diperoleh perbandingan amplitudo pasut pada setiap komponen utama sehingga dapat menunjukkan pola sebaran kontur amplitudo dan kontur fase. Analisa peta dilakukan untuk mengetahui karakteristik pasang surut di

Tabel 2. Perbandingan amplitudo dan Fase pasut hasil model dan pengukuran.

		Amplitudo dan Fase		
Komponen		Observasi	Model	Selisih
O ₁	Amplitudo(m)	25	25	0
	Fase (°)	15	250	125
	Arus(cm/s)	0.01	0	01
K ₁	Amplitudo(m)	22	26	4
	Fase (°)	57	300	117
	Arus(cm/s)	0.01	0.01	0
M ₂	Amplitudo(m)	10	26	16
	Fase (°)	104	200	96
	Arus(cm/s)	0.01	0	0.01
S ₂	Amplitudo(m)	7	7	0
	Fase (°)	122	200	78
	Arus(cm/s)	0	0	0

Perairan Kepulauan Tambelan dengan melihat kontur amplitudo, kontur fase. Kontur amplitudo untuk mengetahui konstanta pasut yang berpengaruh di suatu perairan dengan cara melihat nilai berdasarkan satuan meter sedangkan kontur fase untuk mengetahui arah rambatan gelombang pasut di masing-masing konstanta harmonik, dimana gelombang merambat dari fase terendah menuju fase tertinggi.

3.2. Amplitudo dan Fase Komponen (K₁ dan M₂) di Perairan Kepulauan Tambelan

Amplitudo komponen pasut K₁ di Perairan Kepulauan Tambelan seperti yang terlihat pada Gambar 3, berkisar dari 16 cm sampai 26 cm. Amplitudo maksimum berada di sebelah Utara dengan nilai 0.26 m. Amplitudo K₁ lebih besar di bagian Timur Pulau Tambelan dibandingkan dengan amplitudo di sebelah Barat Pulau Tambelan. Amplitudo K₁ di sebelah Barat Pulau Tambelan terdapat nilai paling rendah yaitu 16 cm.

Fase K₁ berkisar antar 250° sampai 330°. Gelombang K₁ merambat dari arah utara menuju selatan selatan. Gelombang k₁ diduga masuk dari Samudera Pasifik, hal ini sejalan dengan penelitian Rey *et al*, (2005) Bahwa gelombang pasang surut K₁ lebih besar masuk dari Samudra Pasifik.

Gelombang K₁ menjadi melemah Setelah melewati pulau Tambelan. kondisi ini terjadi dikarenakan adanya pengaruh pendangkalan

dan berkurangnya luas penampang yang memungkinkan terjadinya pengurangan energi sehingga menyebabkan periode gelombang berkurang. Melemahnya periode gelombang pasut dimungkinkan terjadi karena adanya pengaruh gesekan yang disebabkan oleh perubahan kedalaman disuatu perairan (Van rijin, 2011).

Amplitudo M₂ di Perairan Kepulauan Tambelan dapat dilihat pada Gambar 4, dimana amplitudo M₂ berkisar antara 12 cm sampai 26 cm dan fase berkisar antara 190° sampai 205°. Amplitudo M₂ masuk dari Barat Laut yang meyebar kearah Tenggara Pulau Tambelan. Menurut Phan *et al*, (2019) bahwa Pasang M₂ menyebar terutama ke arah barat daya dari Samudera Pasifik melalui Selat Luzon ke Laut Natuna Utara sebagai gelombang progresif dan gelombang minor.

Amplitudo M₂ lebih besar di sebelah Timur Laut dibandingkan dengan amplitudo dibagian Barat Daya. Amplitudo yang merambat kearah Barat Daya Pulau Tambelan terdapat pengurangan energi sehingga menyebabkan penurunan tunggang pasut dengan nilai amplitudo 16 cm, sedangkan amplitudo yang merambat kearah Tenggara mengalami peningkatan energi dengan amplitudo maksimum menjadi 26 cm dibagian Timur Laut Pulau Tambelan dengan beda fase 200°. Gelombang pasang surut dapat mengalami peningkatan dan pengurangan energi ketika adanya pengaruh topografi seperti pendangkalan dan pengurangan luas penampang (Van rijin, 2011).

Gambar 3. a) Amplitudo; dan b) Fase K_1 di Perairan Kepulauan Tambelan

Gambar 4. Amplitudo dan Fase M_2 di perairan Kepulauan Tambelan

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Data pasang surut yang dihasilkan dari pengukuran langsung di olah menggunakan program *least square* dan menghasilkan nilai amplitudo komponen pasut K_1 sebesar 22 cm dan komponen M_2 sebesar 10 cm. sedangkan untuk hasil pemodelan nilai rata-rata amplitudo komponen pasut K_1 sebesar 26 cm dan komponen pasut M_2 sebesar 26 cm.

Gelombang amplitudo komponen *diurnal* K_1 masuk dari arah Utara yang merambat ke arah Selatan Pulau Tambelan dan gelombang amplitudo komponen *Semidiurnal* M_2 merambat dari arah Barat Laut yang kemudian

menyebar ke arah Tenggara Pulau Tambelan. Gelombang pasang surut komponen K_1 masuk dari Samudra Pasifik dan gelombang M_2 masuk dari laut Natuna Utara.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak atas bantuan dana dari DIPA FMIPA Universitas Tanjungpura Tahun anggaran 2019 yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Daftar Pustaka

Ardiani, D.; Susanti,F.; Yulianti; Muliadi; Kushadiwijiyanto, A. A., 2019, Pola Pasang Surut Komponen Semi Diurnal di Teluk Tambelan Provinsi Kepulauan Riau,

- Universitas Tanjungpura, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Pontianak, *J. Prisma Fisika*, Vol. 7, 2: 87 - 93.
- Fadli, M.; Radjawane, I, M.; Susanna, 2014, Pemodelan Hidrodinamika di Perairan Teluk Ambon, ITB. *J. Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia*.
- Mellor, L, G, 2001, *One-dimensional, ocean surface modeling, a problem and a solution. J. Phys. Oceanogr.*, 31, 790-809.
- Phan, H.M,; Ye, Q,; Raniers.J.H.M.Ad,; Stive, Marcel.J.F, 2019, *Tidal wave propagation along the mekong deltaic coast*, Institute of Coastal and Offshore Engineering, Ministry of Agriculture and Rural Development, 658 Vovankiet Boulevard, Hochiminh City, Viet Nam. *J. estuarine, coastal and shelf sciene* 73-98.
- Susanti, F,; Ardiani, D,; Yulianti,; Muliadi,; Kushadiwijiyanto. A. A, 2019, Pola Pasang Surut Diurnal diPerairan Teluk Tambelan Provinsi Kepulauan Riau, Universitas Tanjungpura, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Pontianak, *J. Prisma Fisika*, Vol. 7, 2:94 - 100.
- Van Rijn LC. 2011. *Analytical and numerical analysis of tides and salinities in estuaries; Part I: Tidal wave propagation in convergent estuaries. Ocean Dyn.*, 61: 1719-1741.