

Analisis Sensitifitas Model Pasang Surut di Laut Indonesia Bagian Timur Menggunakan *ROMS_Agrif*

Arie Antasari Kushadiwijayanto^{1)*}, Nining Sari Ningsih²⁾, Muchamad Al Azhar³⁾

¹⁾ Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura, Pontianak-Indonesia

²⁾ Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

³⁾ Plymouth Marine Laboratory, Prospect Place, Plymouth, PL1 3DH, United Kingdom.

Email korespondensi : arie.antasari.k@fmipa.untan.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v16i2.5439>

Submitted: 09 Oktober 2018; Accepted: 12 Mei 2019

ABSTRACT—Tide has strong impact on the East part of Indonesian Seas Dynamics. Therefore the hydrodynamic modeling forced by the tide is the important key to understand the physical process on that water. This research gives a review about the effect of model input such as minimum depth and length scale that it will helpful to improve understanding of the hydrodynamic model on those waters. *ROMS_Agrif* with varying minimum depth and length scale was applied in this study. Several observed data were used to validate model results. This result showed that both parameters have significant influence on model output. The best model result is obtained when both model inputs, minimum depth and length scale, are respectively 20 m and 5 mm. M_2 is the most sensitive tidal constituent against both parameters changing. The best model generates M_2 amplitude bigger than observed data. The Southern boundary condition problem is the main issue in this model setting because the propagation of tidal energy from Indonesia (Hindia) Ocean is complicated especially in northern Australia.

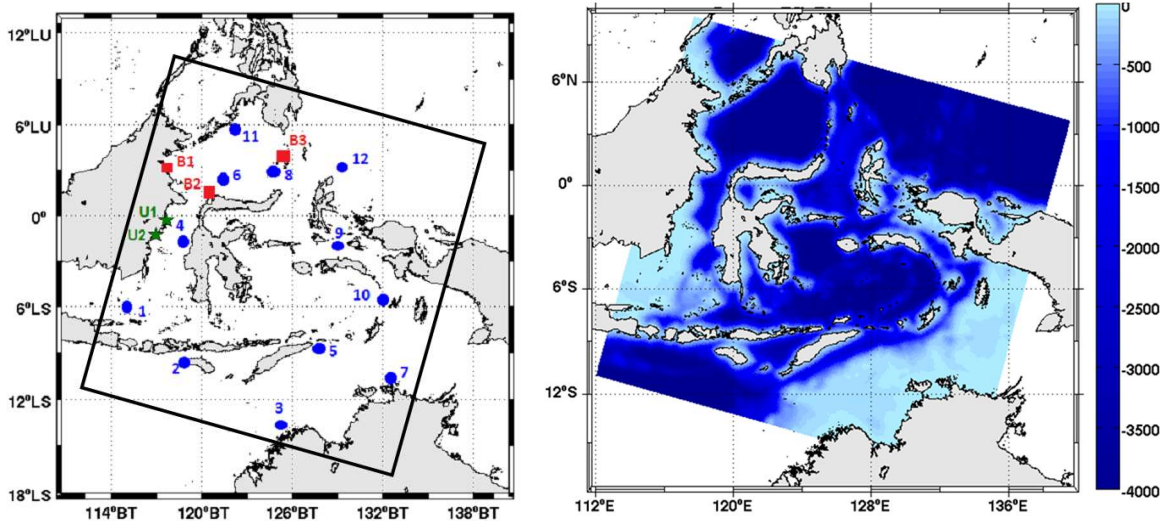
KEYWORDS : *Minimum depth, Hydrodynamic Model, Length Scale, East Indonesian Seas, Roms_Agrif*

PENDAHULUAN

Lautan di Indonesia bagian timur memiliki karakteristik fisik yang sangat kompleks. Laut ini memiliki banyak saluran sempit, tebing-tebing bawah laut yang curam, dan bentuk morfologi yang rumit. Secara umum, lautan ini memiliki kedalaman lebih dari 2000 meter. Perairan ini juga merupakan alur utama Arus Lintas Indonesia (Arlindo) (Ffield & Gordon, 1996; Susanto et al., 2000; Hatayama, 2004, Gordon et al., 2008; Kartadikaria et al., 2011). Arlindo merupakan pergerakan massa air dari samudera pasifik menuju samudera hindia. Dalam pergerakannya, massa air tersebut mengalami banyak perubahan karena pengaruh pasang surut laut (Hatayama, 2004; Koch-Larrouy et al. 2007; Kartadikaria et al., 2011).

Pasang surut laut (selanjutnya disebut pasut) memiliki pengaruh yang besar terhadap perubahan massa air yang dibawa oleh Arlindo. Energi pasut yang besar mendorong terjadinya proses pencampuran di kedalaman 200 sampai 400 meter (Robertson & Ffield, 2008). Proses pencampuran ini timbul karena interaksi pasut dengan tebing-tebing laut sehingga menghasilkan gelombang pasut internal yang merupakan energi utama dalam proses pencampuran (Hatayama, 2004; Robertson & Ffield 2008). Pada skala lokal, pasut juga sangat mempengaruhi pola arus utama di daerah pesisir Indonesia bagian timur seperti di sekitar Pulau Selayar, Sulawesi Selatan (Bayhaqi, Iskandar, & Surianti, 2017).

Proses pencampuran dan pola arus dapat



Gambar 1 Kiri: Daerah model berada di dalam kotak hitam. Lingkaran biru adalah data verifikasi yang didapatkan dari hasil analisis data TOPEX/POSEIDON oleh Robertson & Ffield (2008). Kotak merah adalah data verifikasi dari BIG. Bintang hijau adalah data untuk verifikasi dari UHSCL. Kanan: Batimetri perairan Indonesia Timur yang diperoleh dari ETOPO2.

dipahami dengan bantuan pemodelan hidrodinamika laut. Dalam pemodelan, faktor utama yang menjadi kunci keberhasilan adalah pengaturan batimetri (kedalaman) dan gesekan dasar (Ray, Egbert, & Erofeeva, 2005; Zu, Gun, & Erofeeva, 2008; Minh et al., 2014). Hal ini dikarenakan karakteristik dan perambatan pasut sangat dipengaruhi oleh kedalaman dan bentuk lautan (Harianto, Kushadiwijayanto, & Apriansyah, 2018). Selain itu, kedalaman merupakan faktor utama dalam pembentukan interaksi non linier antar komponen pasut dan massa air yang terstratifikasi (Daryabor et al., 2016). Oleh sebab itu, pengetahuan mengenai pengaturan batimetri dan gesekan dasar yang tepat sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil pemodelan yang optimal.

Tulisan ini memaparkan analisis sensitifitas terhadap model hidrodinamika, ROMS_Agrif, di Indonesia Bagian Timur. Masukan model yang dianalisis adalah kedalaman minimum dan parameter kekasaran. Diharapkan informasi tersebut bermanfaat dalam meningkatkan pemahaman tentang model hidrodinamika laut di Indonesia bagian timur. Pada akhirnya, hasil model dengan masukan parameter yang tepat dapat digunakan untuk berbagai keperluan riset dan terapan di lokasi studi.

METODE PENELITIAN

Model Numerik dan Data

Regional Ocean Modular System Regional with Adaptive Grid Refinement in Fortran (Shchepetkin & McWilliams, 2005), ROMS_Agrif, digunakan sebagai alat utama dalam penelitian ini. ROMS_Agrif merupakan model 3 dimensi untuk laut regional yang dikembangkan oleh tiga institusi yaitu *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD), *Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique* (INRIA), dan *University of California, Los Angeles* (UCLA). Kelebihan ROMS_Agrif adalah *toolbox* untuk pengaturan model dan sub program tambahan untuk simulasi multi skala. Tambahan ini sangat membantu untuk mendapatkan hasil model yang berkualitas tinggi pada daerah kajian dengan melakukan penurunan skala di area kajian.

Domain model dalam kajian ini adalah perairan Indonesia Bagian Timur, diperlihatkan pada Gambar 1. Daerah model memasukkan sebagian dari Samudera Pasifik dan Samudera Indonesia karena pasut di perairan Indonesia bagian timur berasal dari kedua samudera tersebut. Orientasi daerah model diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan luasan laut yang maksimum dan sebaliknya luas daratan diusahakan

minimum. Daerah model dibagi menjadi 318×330 grid. Lebar masing-masing grid adalah ~11,1 km. Model ini membagi kedalaman menjadi 26 level dengan porsi yang sama besar. Model mensimulasikan pasut selama 70 hari yaitu sejak 1 Januari 2006 sampai dengan 11 Maret 2007. Pemilihan waktu ini dilakukan untuk menyesuaikan waktu simulasi terhadap ketersediaan data pengukuran muka air laut dari BIG di Tarakan (Stasiun B1) dan Tahuna (Stasiun B3).

Data batimetri diperoleh dari *Earth Topography with 2 minute gridded* (ETOPO2). Gambar 1, kanan, adalah kondisi batimetri daerah kajian dari data ETOPO2. Nilai awal elevasi muka laut diatur berharga 0 diseluruh daerah model. Data *The OSU TOPEX/Poseidon Global Inverse Model* (TPXO 7.2) digunakan untuk memprediksi pasut laut di daerah batas model. Nilai awal dan syarat batas untuk salinitas dan suhu laut di daerah model diperoleh dari *World Ocean Atlas* (WOA). Data pengukuran pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG), *University of Hawaii Sea Level Center* (UHSLC), dan hasil analisis TOPEX/POSEIDON oleh Robertson dan Field (2008) yang berada di dalam daerah kajian digunakan untuk verifikasi hasil model (Gambar 1).

Skenario Model dan Analisis Data

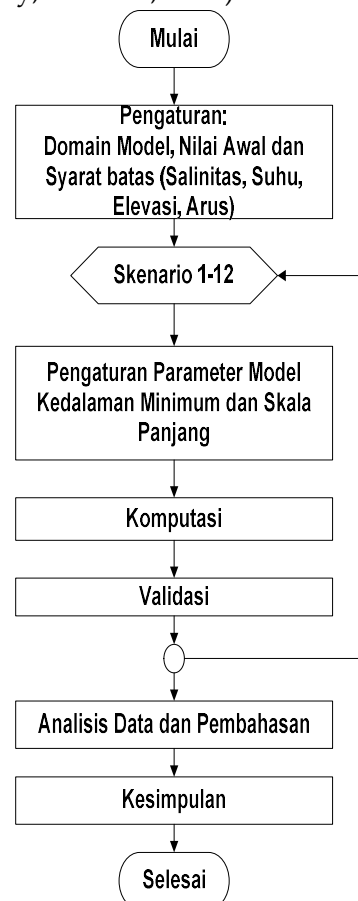
Tabel 1 Pengaturan parameter model dalam uji sensitifitas.

Kedalaman minimum, h_{min} (m)	Skala Panjang, Z_{ob} (mm)
40	5
	1
35	5
	1
30	5
	1
25	5
	1
20	1
	0,5
10	0,5
	0,1

Pencarian kedalaman minimum (h_{min})

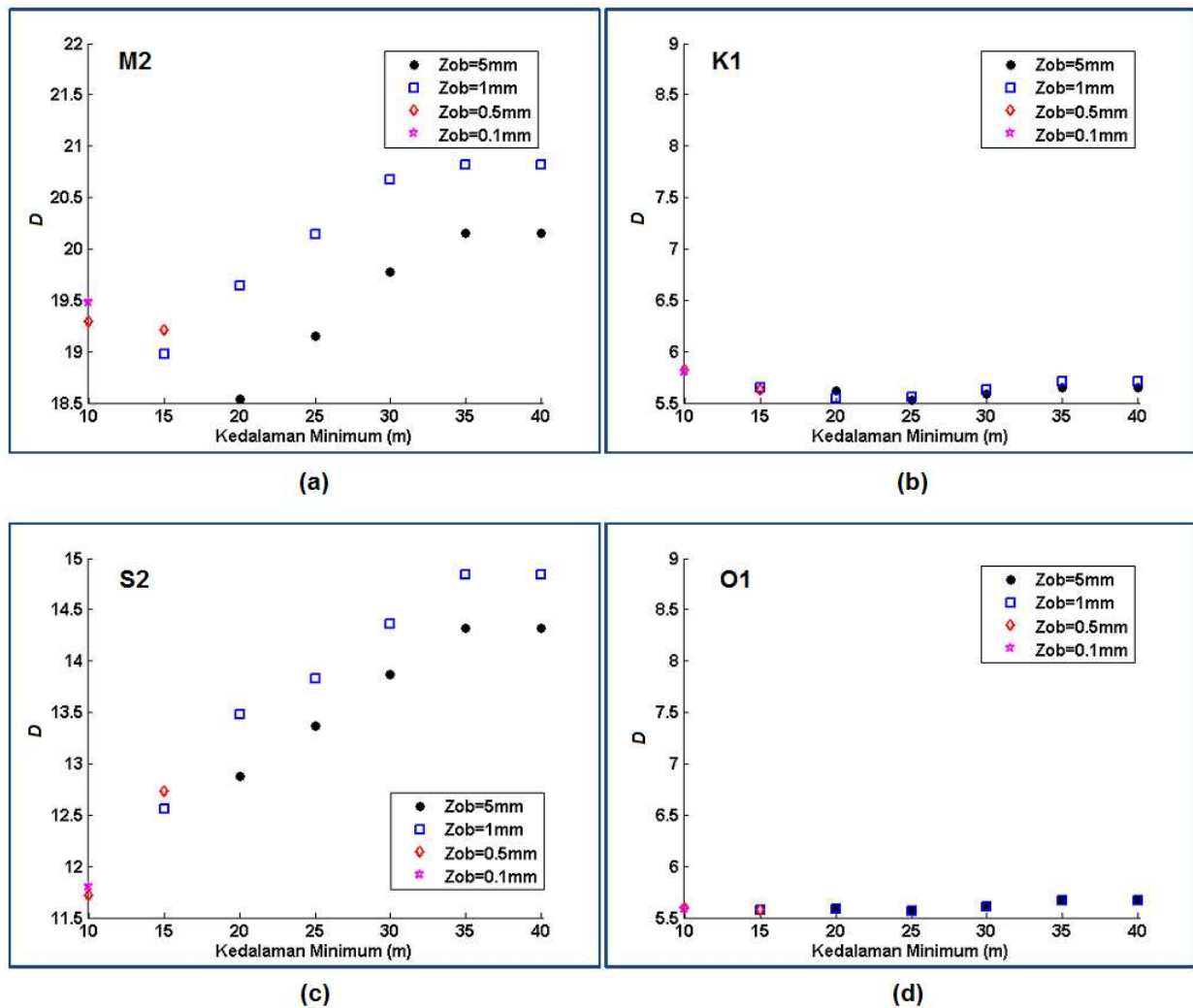
dan skala panjang (Z_{ob}), merupakan parameter dalam penentuan koefisien gesek, yang optimal terhadap model ini dilakukan dengan serangkaian percobaan dan evaluasi hasil yang diperoleh. Nilai kedalaman tersebut divariasikan dari 40 m sampai 10, sedangkan nilai kekasaran divariasikan dari 5 mm sampai 0,1 mm. Tabel 1 merupakan skenario model dengan variasi kedalaman dan gesekan dasar dan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

Verifikasi hasil model dilakukan dengan membandingkan amplitudo dan fase masing-masing komponen utama pasut dari hasil model terhadap data pengukuran. Komponen pasut utama tersebut adalah M_2 , S_2 , K_1 , dan O_1 . Amplitudo dan fase komponen pasang surut dicari menggunakan t_{tide} (Pawlowicz, Beradsley, & Lentz, 2002).



Gambar 2 Alur Penelitian

Uji sensitifitas dilakukan dengan membandingkan hasil dari masing-masing model dengan cara mencari nilai jarak kesalahan atau *distance error* (D) yang paling kecil (Minh 2014). Jarak kesalahan dicari



Gambar 3 Perbandingan Kesalahan jarak (D) dari masing-masing komponen pasang surut terhadap variasi kedalaman minimum dan parameter skala panjang

dengan Persamaan (1).

$$D = \sqrt{A^2 + B^2} \quad (1)$$

$$A = A_0 \cos P_0 - A_m \cos P_m$$

$$B = A_0 \sin P_0 - A_m \sin P_m$$

dimana A_0 , A_m , P_0 , dan P_m adalah amplitudo setiap komponen pasang surut untuk masing-masing hasil observasi dan model. Persamaan ini memudahkan evaluasi kesalahan terhadap amplitudo dan fase secara bersamaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Model

Perairan Indonesia Bagian Timur umumnya memiliki kedalaman melebihi 2000 m (Gambar 1). Dengan kondisi geografis seperti ini, pengaruh gesekan dasar akan kecil kecuali di beberapa tempat yang memiliki kedalaman kurang dari 100 m. Ada beberapa

tempat di dalam domain model yang memiliki kedalaman kurang dari 100 m yaitu di bagian Utara Australia dan di bagian Barat (Sisi Timur Laut Jawa dan Selatan Selat Makassar). Keberadaan perairan dangkal akan sangat mempengaruhi penjalaran gelombang pasut yang melewati perairan tersebut karena akan menghilangkan banyak energi pasut (Ray, Egbert, & Erofeeva, 2005; Robertson & Field, 2008; Zu, Gun, & Erofeeva, 2008).

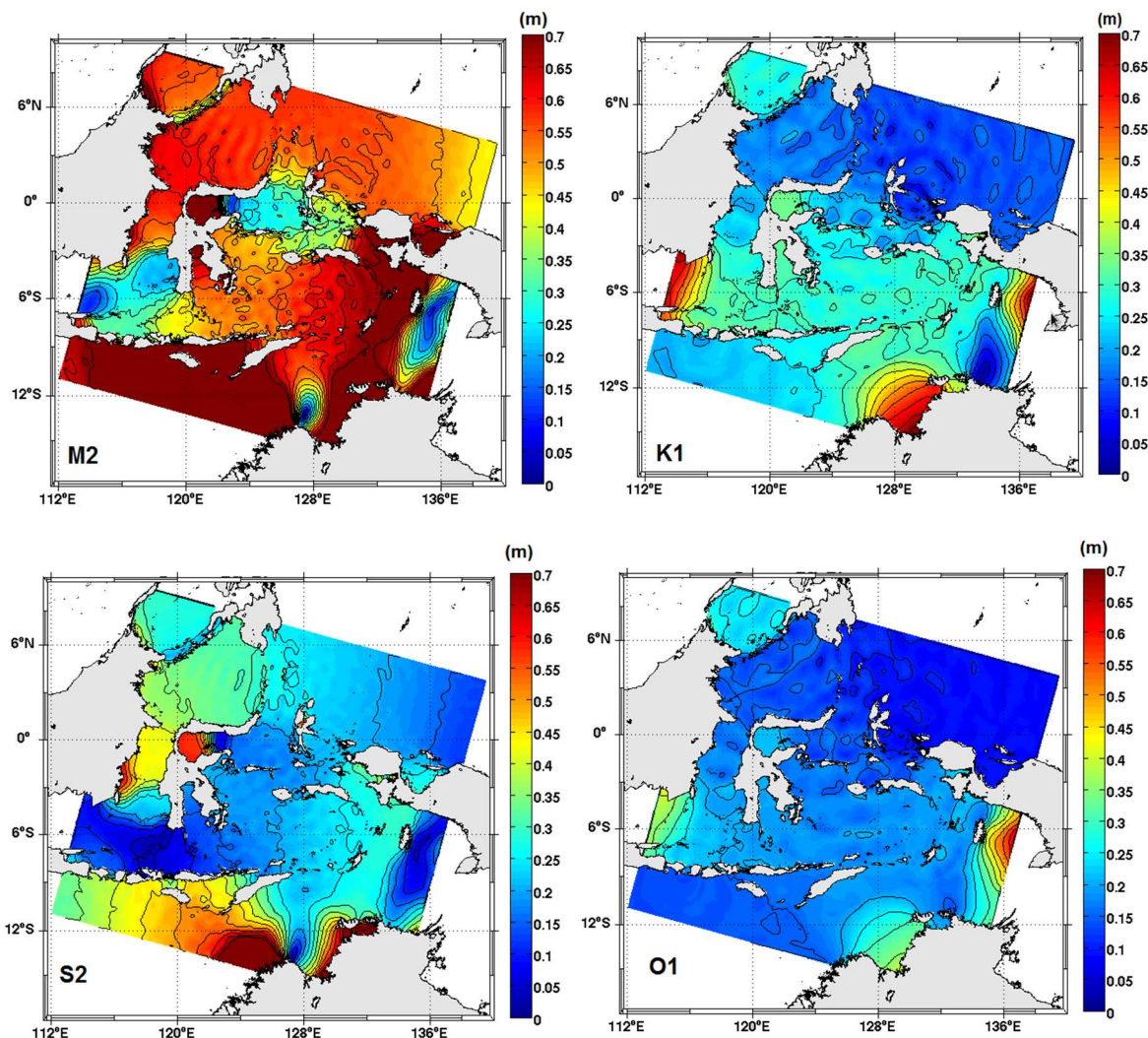
Kedalaman tidak hanya mempengaruhi banyaknya energi yang hilang karena gesekan dasar tetapi juga akan mempengaruhi kecepatan rambat gelombang. Dalam simulasi numerik, sebaiknya kecepatan komputasi sebanding dengan kecepatan rambat gelombang sebenarnya. Seringkali, dalam perhitungan numerik hal ini sulit dihindari karena proses digitasi dan diskritisasi daerah

model. Selain itu, keterbatasan skema numerik juga menambah sulit pengaturan model.

Gambar 3 memperlihatkan kesalahan jarak dari masing-masing komponen karena perubahan kedalaman minimum dan skala panjang Z_{ob} . Untuk komponen M_2 , jarak kesalahan terbesar tercapai apabila nilai Z_{ob} 1 mm dan kedalaman 40 m. Sebaliknya jarak kesalahan terkecil tercapai apabila nilai Z_{ob} 5 mm dan kedalaman minimum 20 m. Nilai jarak kesalahan dari M_2 lebih besar jika dibandingkan ketiga komponen utama lainnya karena M_2 merupakan komponen paling dominan di Indonesia bagian Timur (Ray, Egbert, & Erofeeva, 2005; Robertson & Field, 2008; Zu, Gun, & Erofeeva, 2008; Kartadikaria et al., 2011). Untuk komponen semidiurnal lain, S_2 , kesalahan terbesar juga terjadi pada kedalaman 40 m dan Z_{ob} 1 mm,

dan sebaliknya kesalahan minimum dicapai pada kedalaman minimum 10 m dan Z_{ob} 0,5 mm. Sedangkan komponen diurnal seperti K_1 dan O_1 tidak sensitif terhadap perubahan kedalaman minimum dan Z_{ob} . Kedua komponen diurnal ini hanya mengalami sedikit perubahan. Selain itu, kedua komponen tersebut memiliki pola yang sama yaitu hasil model optimum didapatkan pada kedalaman 25 m dan Z_{ob} 5 mm.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa komponen semi-diurnal terutama M_2 sangat dipengaruhi oleh perubahan nilai kedalaman minimum dan Z_{ob} . Hal ini terjadi karena komponen M_2 merupakan komponen pasang surut dominan yang masuk dari Samudera Pasifik dan Hindia. Diantara kedua samudera tersebut, pengaruh M_2 yang masuk dari Samudera Hindia jauh lebih besar daripada



Gambar 4 Amplitudo M_2 , K_1 , S_2 dan O_1 di perairan Indonesia bagian timur

pengaruh yang datang dari Samudera Pasifik (Ray, Egbert, & Erofeeva, 2005).

Pembahasan

Uraian di atas menerangkan bahwa hasil model terbaik dicapai dengan pengaturan kedalaman minimum 20 m dan Z_{ob} sebesar 5 mm. Komponen pasut yang sangat dipengaruhi oleh perubahan parameter adalah komponen pasut semi-diurnal yaitu M_2 dan S_2 . M_2 merupakan komponen yang sangat terpengaruh terhadap perubahan parameter kedalaman dan Z_{ob} karena M_2 merupakan komponen yang sangat dominan di perairan Indonesia bagian timur. Pada bagian pembahasan ini, akan didiskusikan mengenai pengaruh dari pengaturan kedua parameter tersebut terhadap pola pasut di daerah kajian.

Hasil model terbaik dari percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini dibandingkan dengan data pengukuran dan hasil studi Robertson & Ffield (2008). Ada 17 stasiun pengukuran di dalam domain model, dimana 12 dari 17 stasiun tersebut digunakan juga untuk memvalidasi model pasut yang telah dilakukan oleh Robertson & Ffield (2008). Meskipun domain model penelitian ini hampir sama dengan penelitian Robertson & Ffield (2008) namun memiliki perbedaan dalam pengaturan letak batas model dan kedalaman minimum. Robertson & Ffield (2008) menggunakan kedalaman minimum 40 m. Perbandingan ini diharapkan dapat membantu meningkatkan model pasut yang akan dikembangkan berikutnya karena pasut laut di Indonesia bagian timur sangat rumit dan memiliki peran penting terhadap variabilitas transfor massa, densitas, suhu, salinitas yang mengatur iklim lokal maupun global.

Kesalahan akar rata-rata kuadrat untuk amplitudo hasil model ini terhadap hasil pengukuran lapangan adalah 19,03 m, sedangkan untuk fase adalah 13,28°. Kesalahan ini lebih besar jika dibandingkan dengan hasil Robertson & Ffield (2008) yaitu 15,66 m untuk amplitudo dan 11,99° untuk fasenya. Kesalahan tersebut dapat terjadi

karena energi M_2 yang masuk ke dalam domain model lebih besar dari yang diharapkan. M_2 merupakan komponen gelombang pasut yang lebih dominan berasal dari Samudera Indonesia (Ray, Egbert, & Erofeeva, 2005; Robertson & Ffield, 2008; Zu, Gun, & Erofeeva, 2008; Kartadikaria et al., 2011). Oleh sebab itu, kesalahan mungkin disebabkan oleh penentuan batas model yang kurang tepat, terutama batas di bagian Samudera Indoensia. Batas model dari penelitian ini dekat dengan titik ampidormik yang berada pada bagian utara Australia dan berdekatan dengan Stasiun 6. Elevasi pada titik tersebut bernilai ~ 0 m. Pada stasiun ini, hasil model dapat lebih besar daripada hasil pengukuran. Hal ini terjadi karena batas model terlalu dekat dengan titik ampidormik sehingga tidak dapat memperhitungkan pengaruh kedalaman, pemantulan, dan peredaman yang terjadi di sekitar titik ampidormik. Penentuan batas di Samudera Indonesia juga mempengaruhi profil M_2 di seluruh wilayah perairan. Umumnya, karena posisi batas tersebut menyebabkan gelombang M_2 yang dirambat ke seluruh daerah model menjadi lebih besar dari yang seharusnya (Gambar 4).

Berbeda dengan M_2 , hasil model untuk komponen K_1 memiliki hasil yang jauh lebih baik dan bersesuaian dengan hasil pengukuran. K_1 merupakan komponen pasut yang energinya merambat dari Samudera Pasifik (Ray, Egbert, & Erofeeva, 2005; Robertson & Ffield, 2008; Zu, Gun & Erofeeva, 2008; Kartadikaria et al, 2011). Hal ini terjadi karena batas model bagian utara, Samudera Pasifik, cukup jauh dari perairan dangkal. Ini merupakan kebalikan dari profil kedalaman di batas bagian Selatan, Samudera Indonesia. Oleh sebab itu tidak terpengaruh oleh proses fisis yang timbul diperairan dangkal seperti tranformasi gelombang, peredaman, dan pemantulan (Kushadiwijayanto, Apriansyah, & Idiawati, 2016; Harianto, Kushadiwijayanto, & Apriansyah, 2018).

Komponen S_2 dan O_1 hasil model memiliki nilai yang berdekatan dengan data

Tabel 2 Perbandingan hasil model terbaik dalam penelitian ini (Model), terhadap hasil pengukuran Topex/Poseidon Crossover (T/P crossover) dan hasil model dari Robertson dan Ffield (2008), BIG, dan UHSLC

Obs./Mod.	Stat.	M ₂		S ₂		K ₁		O ₁	
		Amp (m)	Fase (°)	Amp (m)	Fase (°)	Amp (m)	Fase (°)	Amp (m)	Fase (°)
T/P crossover	1	13,40	140	5,30	78	44,90	201	22,50	165
Model		26,73	152	7,10	83	45,06	205	29,91	155
Model_rf		10,80	124	6,80	127	32,90	243	26,00	172
T/P crossover	2	83,10	54	45,70	107	24,50	169	14,30	161
Model		84,51	38	44,39	90	23,23	167	15,41	147
Model_rf		92,90	60	52,50	105	39,50	185	23,40	171
T/P crossover	3	84,70	62	56,60	124	40,10	193	23,20	182
Model		144,22	56	89,71	119	40,79	192	23,05	170
Model_rf		68,10	31	42,20	85	63,40	208	42,20	185
T/P crossover	4	46,40	277	32,40	326	22,10	155	16,20	116
Model		48,95	268	42,86	318	24,18	156	19,75	125
Model_rf		43,30	289	27,30	336	20,80	143	21,80	129
T/P crossover	5	62,20	120	24,10	167	29,90	184	19,20	172
Model		61,47	122	23,75	173	29,61	179	18,58	160
Model_rf		49,70	122	25,10	173	41,20	200	30,20	178
T/P crossover	6	58,90	290	34,40	334	17,90	133	13,40	116
Model		64,25	278	37,88	317	18,56	132	14,14	105
Model_rf		61,70	292	33,70	339	18,70	95	14,30	124
T/P crossover	7	43,5	189	14,20	252	26,60	230	26,40	217
Model		61,62	181	24,28	244	18,52	195	16,81	208
Model_rf		91,2	188	47,10	247	51,60	218	40,20	187
T/P crossover	8	57,2	291	32,80	334	17,30	127	12,80	112
Model		60,06	277	34,23	313	11,52	132	14,99	113
Model_rf		58,9	293	31,40	338	18,00	116	15,80	106
T/P crossover	9	25,6	160	11,00	249	21,80	170	14,20	155
Model		32,68	171	16,84	241	24,42	156	15,46	133
Model_rf		24,4	157	13,70	217	21,9	159	16,80	145
T/P crossover	10	58,5	139	18,50	199	27,70	187	18,60	174
Model		71,40	142	27,89	205	29,36	178	18,33	159
Model_rf		52,5	150	27,50	207	38,10	196	28,50	172
T/P crossover	11	59,6	290	33,10	334	17,60	135	13,50	117
Model		61,3	280	35,01	316	15,70	124	12,82	103
Model_rf		59,9	294	31,20	339	16,00	100	13,80	99
T/P crossover	12	49,3	288	21,40	318	19,20	87	12,90	175
Model		54,9	266	22,17	296	13,54	76	9,07	66
Model_rf		40,7	275	18,00	314	35,50	63	19,90	25
BIG	B1	82,1	298	53,90	324	21,30	145	13,90	126
Model		67,7	279	40,68	317	18,30	131	13,83	103
BIG	B2	61,8	288	25,90	328	28,60	137	13,80	107
Model		63,6	278	38,17	316	17,67	139	15,74	105
BIG	B3	56,2	291	31,10	323	16,50	125	12,20	121
Model		61,2	273	33,31	308	15,14	121	12,57	103
UHSLC	U1	64,0	302	50,00	1	22,00	184	20,00	137
Model		59,1	272	45,67	318	20,28	146	15,65	119
UHSLC	U2	59,3	285	51,00	342	23,00	176	17,00	139
Model		60,0	267	53,51	319	23,37	157	18,10	129

pengukuran. Meskipun komponen S₂ juga merambat dari Samudera Indonesia, seperti

M_2 , namun memiliki selisih yang lebih kecil dibandingkan M_2 . Umumnya amplitudo S_2 jauh lebih kecil dari M_2 sehingga pengaruh kedalaman lebih kecil daripada M_2 . Sedangkan O_1 berasal dari Samudera Pasifik (Zu, Gun, & Erofeeva, 2008; Ray, Egbert, Erofeeva, 2005), sama seperti K_1 , namun memiliki amplitudo yang lebih kecil.

Tabel 2. menunjukkan perbandingan antara hasil model terhadap data pengukuran dan hasil model Roberson & Ffield (2008). Robertson & Ffield (2008) mengatur kedalaman minimum daerah model dengan nilai 40 m dan ukuran grid model ~5 km, dua kali lebih kecil dari model ini yaitu ~11 km, dan mendapatkan hasil yang lebih baik dari model ini. Berdasarkan perbandingan ini, diketahui juga bahwa ukuran grid sangat berpengaruh pada hasil model terutama di perairan dangkal seperti di Australia bagian utara. Selain itu, batas model Robertson & Ffield (2008) jauh dari titik ampidormik.

KESIMPULAN

Model terbaik dalam temuan penelitian ini diperoleh dengan mengatur kedalaman minimum sebesar 20 m dan skala panjang Z_{ob} sebesar 5 mm. M_2 merupakan komponen pasut yang sangat sensitif terhadap perubahan parameter masukan model. Amplitudo komponen M_2 umumnya lebih besar daripada hasil pengukuran karena belum mampu menyelesaikan permasalahan syarat batas bagian selatan. Hasil model ini juga masih tidak begitu baik jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh peneliti sebelumnya karena permasalahan syarat batas bagian selatan dan ukuran grid. Meskipun demikian, akurasi hasil model dapat ditingkatkan dengan meningkatkan resolusi model dan mengatur letak batas model terutama pada batas Samudera Hindia.

DAFTAR PUSTAKA

Bayhaqi, A., Iskandar, M.R., & Surlianti D. (2017). Pola Arus dan Kondisi Fisika Perairan di Sekitar Pulau Selayar pada Musim Peralihan 1 dan Musim Timur. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*,

2(1), 83-95.

- Daryabor F., Ooi, S. H., Samah, A., & Akbari A. (2016). Tides and Their Dynamics over the Sunda Shelf of the Southern South China Sea. *PLoS ONE*. 11(9), e0162170. doi:10.1371/journal.pone.0162170.
- Ffield, A., & Gordon, A.L. (1996). Tidal Mixing Signature in the Indoensian Seas. *J. Phys. Oceanogr*, 24, 1924-1937.
- Gordon, A. L., Susanto, R. D., Ffield, A., Huber, B. A., Pranowo, W., & Wirasantosa, S. (2008). Makassar Strait throughflow, 2004 to 2006. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L24605, doi:10.1029/2008GL036372
- Hariato, A. A. Kushadiwijayanto, & Apriansyah. (2018). Physical Oceanography Condition in Eastern Karimata Strait: Pasir Mayang Beach West Kalimantan. *JPFA*, 8(1), 51-60. doi:10.26740/jpfa.v8n1.p51-60.
- Hatayama, T. (2004). Transformation of the Indonesian throughflow water by vertical mixing and its relation to tidally generated internal waves. *Journal of Oceanography*, 60(3), 569-585.
- Kartadikaria, A. R., Miyazawa, Y., Varlamov, S. M., & Nadaoka, K. (2011). Ocean circulation for the Indonesian seas driven by tides and atmospheric forcings: Comparison to observational data, *J. Geophys. Res.*, 116, C09009, doi:10.1029/2011JC007196.
- Koch-Larrouy A., Madec, G., Bouruet-Aubertot, P., Gerkema, T., Bessières, L., & Molcard, R. (2007). On the transformation of Pacific Water into Indonesian Throughflow Water by internal tidal mixing. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L04604, doi:10.1029/2006GL028405.
- Kushadiwijayanto, A. A.; Apriansyah, & Idiawati, N. (2016). Pemodelan Arus Musiman di Perairan Lemukutan Kalimantan Barat. Prosiding Semirata 2017 Bidang Mipa Bks-Ptn Wilayah Barat, 12-14 Mei 2017, Jambi, 1034-1040.
- Minh, N. N., Patrick, M., Florent, L., Sylvain, O., Gildas, C., Damien, A., & Uu, D.V. (2014). Tidal characteristics of the gulf of Tonkin. *Continental Shelf Research*, 91, 37-56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2014.08.003>

- Pawlowicz, R., Beardsley, B., & Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Computers & Geosciences*, 28, 929–937.
- Ray, R. D., Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2005). A brief overview tides in the Indonesian seas. *Oceanography*, 18, 74-79.
- Robertson, R., & Ffield, A. (2008). Baroclinic tides in the Indonesian seas: Tidal fields and comparisons to observations. *J. Geophys. Res.*, 113, C07031, doi:10.1029/2007JC004677.
- Susanto, R. D., Gordon, A. L., Sprintall, J., & Herunadi, B., (2000). Intraseasonal Variability and Tides in Makassar Strait. *Geophy Res. Lett.*, 27(10): 1499-1502.
- Schepetkin, A. F., & McWilliams, J. C. (2005). Method for computing horizontal pressure-gradient force in an ocean model with a free-surface and topography-following vertical coordinate. *J. Geophys. Res.*, 108, C33090, doi:10.1029/2001JC001047.
- Zu, T., Gun, J., & Erofeeva, S.Y. (2008). Numerical study of the tide and tidal dynamics in the South China Sea. *Deep-Sea Research*, 55, 137-154.