

Studi Karakteristik Arus Laut di Selat Mansuar, Kabupaten Raja Ampat Berdasarkan Pemodelan Hidrodinamika 2D

Rina Hazrina Nusratina*, Dwi Haryo Ismunarti dan Aris Ismanto

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
Email: * rinahazrinan@students.undip.ac.id

Abstrak

Kabupaten Raja Ampat terkenal dengan pemandangan alamnya yang indah disertai pasir pantainya yang berwarna putih. Raja Ampat terletak pada kawasan *Coral Triangle* atau pusat segitiga karang dunia. Kabupaten Raja Ampat terdapat beberapa selat dan teluk salah satunya yaitu Selat Mansuar yang berada diantara Pulau Gam dan Pulau Mansuar. Kondisi morfologi dasar laut yang terjal dan tertutup terumbu karang, topografi perairan yang tidak teratur, posisi perairan yang berada di pintu masuk bagian timur laut ARLINDO, serta adanya pengaruh arus *Halmahera Eddie* memberikan pengaruh yang pada kecepatan dan arah arus di Selat Mansuar. Kondisi tersebut dipengaruhi pula oleh batimetri perairan yang cukup kompleks sehingga sangat menarik untuk dilakukan pengkajian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik arus laut di Selat Mansuar, Kabupaten Raja Ampat. Pendekatan numerik dilakukan melalui pemodelan hidrodinamika dua dimensi. Hasil pendekatan hidrodinamika akan menghasilkan kecepatan dan arah arus, serta nilai pasang surut. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data angin ERA-5, batimetri nasional (BATNAS), serta data arus dan pasang surut pengukuran lapangan bersumber dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL). Hasil pemodelan berupa kecepatan dan arah arus untuk kemudian di validasi dengan data pengukuran lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik arus di Selat Mansuar lebih dominan dipengaruhi oleh arus pasang surut. Pola arus yang dihasilkan pada puncak siklus angin Musim peralihan I bergerak dominan ke arah Tenggara. Pada kondisi surut menuju pasang arus memiliki kecepatan lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi lainnya, dengan nilai kecepatan rata-rata mencapai 0.235 m/s. Berdasarkan hasil analisis komponen pasang surut, Selat mansuar termasuk tipe pasang surut Campuran Condong Harian Ganda.

Kata kunci: Karakteristik arus, Hidrodinamika 2D, Selat Mansuar, Raja Ampat

Abstract

The Characteristics of Ocean Current In Mansuar Straits, Raja Ampat Regency Based on 2D Hydrodynamic Modelling

Raja Ampat Regency is famous for its beautiful natural scenery and white sand beaches. Raja Ampat is located in the Coral Triangle area or the center of the world's coral triangle. Raja Ampat Regency has several straits and bays, one of which is the Mansuar Strait between Gam Island and Mansuar Island. The morphological conditions of the seabed are steep and covered with coral reefs, irregular water topography, the position of the waters at the entrance to the northeast part of ARLINDO, and the influence of the Halmahera Eddie current which affects the speed and direction of the current in the Mansuar Strait. These conditions are also influenced by the bathymetry of the waters which are quite complex so it is very interesting to do an assessment. This study aims to determine the characteristics of ocean currents in the Mansuar Strait, Raja Ampat Regency. The numerical approach is done through two-dimensional hydrodynamic modeling. The results of the hydrodynamic approach will produce current speed and direction, as well as tidal values. The data used in this study are ERA-5 wind data, national bathymetry (BATNAS), and field measurement data of currents and tides sourced from the Marine Geology Research and Development Center (P3GL). Modeling results in the form of current speed and direction and then validated with field measurement data. The results showed that the characteristics of the currents in the Mansuar Strait are dominantly influenced by tidal currents. The resulting current pattern at the peak of the wind cycle Transitional season I moves dominantly to the Southeast. At low tide conditions towards the tide the current has a higher speed compared to other conditions, with an average speed value reaching 0.235 m/s. Based on the results of the tidal component analysis, the mansuar Strait includes a Mixed Tide Prevailing Semi Diurnal type.

Keywords: Current Characteristic, 2D Hydrodynamics, Mansuar Strait, Raja Ampat

PENDAHULUAN

Kepulauan Raja Ampat merupakan salah satu kepulauan yang berada di Papua Barat. Raja Ampat berada pada koordinat $2^{\circ}25'LU - 4^{\circ}25'LS$ dan $130^{\circ} - 132^{\circ}55'BT$. Raja Ampat terkenal akan pemandangan alamnya yang indah disertai dengan pasir pantainya yang berwarna putih dan berbagai keanekaragaman biota lautnya. Raja Ampat berada pada kawasan *Coral Triangle* atau pusat segitiga karang dunia dimana lebih dari 75% jenis terumbu karang dari seluruh dunia terdapat disini (Sutono *et al.*, 2020). Secara biogeografi Perairan Raja Ampat merupakan jalur masuk Timur Laut ARLINDO dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia dan terletak pada batas Barat wilayah Samudra Pasifik di khatulistiwa (Herwindra *et al.*, 2020). Perairan Raja Ampat Terdiri atas beberapa selat dan teluk yang berada didalamnya salah satunya yaitu Selat Mansuar. Selat Mansuar merupakan salah satu selat yang kedalamannya paling dangkal diantara selat-selat lainnya. Selat Mansuar berada diantara Pulau Gam dan Pulau Mansuar dengan morfologi dasar laut yang memiliki kedalaman maksimum 98,22 meter. Pada perairan Selat Mansuar terdapat terbing terjal yang tertutup oleh terumbu karang dan koral dengan 3 – 20 meter (Yosi *et al.*, 2013). Perairan Raja Ampat memiliki arus yang dominan dipengaruhi oleh angin pada perairan dengan laut terbuka sedangkan arus dominan dipengaruhi oleh pasut terdapat pada pulau-pulau kecil yang berdekatan, selat, dan teluk (Mira *et al.*, 2016). Pranowo (2006) menjelaskan bahwa, nilai kecepatan arus akan besar pada saat pasang menuju surut ataupun surut menuju pasang. Kondisi perairan Raja Ampat berada di pintu masuk bagian timur laut ARLINDO serta adanya pengaruh arus *Halmahera Eddie* memberikan pengaruh pada kecepatan arus di perairan ini (Mira *et al.*, 2016).

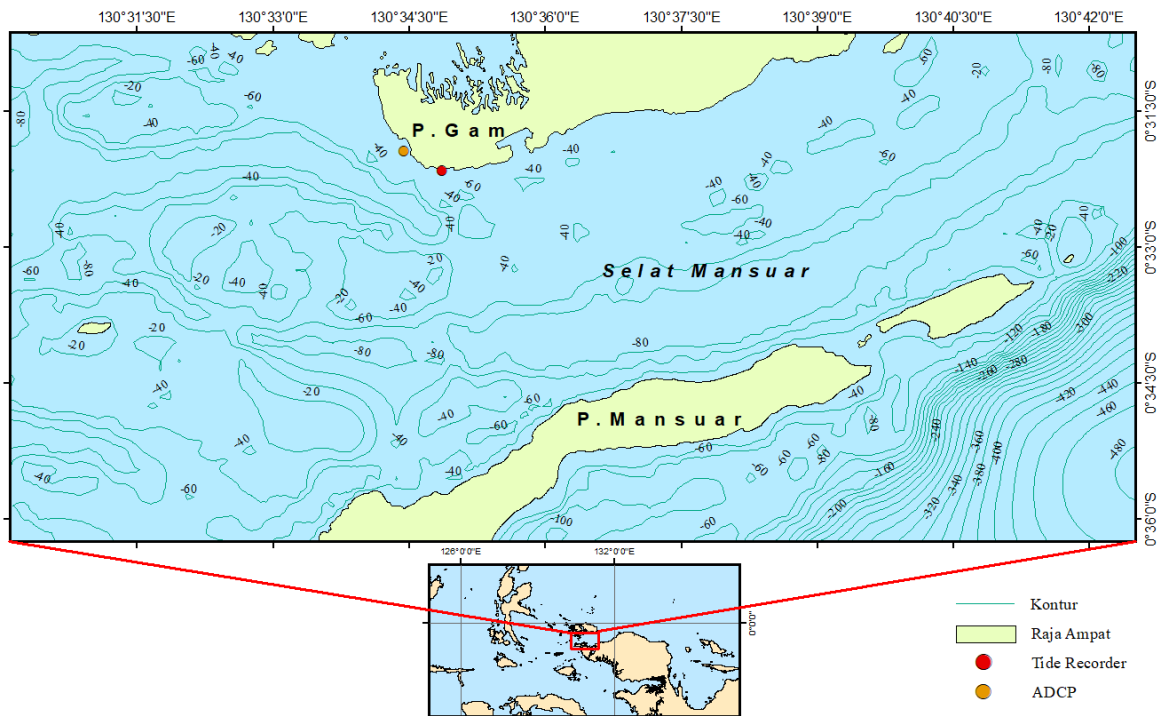
Selat Mansuar berada di Kecamatan Meos Mansar, Kabupaten Raja Ampat, Povinsi Papua Barat. Ditinjau dari kompleksnya fenomena perairan pada wilayah ini maka perlu dilakukan pengkajian untuk menghasilkan informasi mengenai gambaran besar mengenai karakteristik arus laut di Selat Mansuar yang memiliki pengaruh penting sebagai *basic data* oseanografi serta dasar bagi penelitian lebih lanjut pada wilayah ini. Salah satu alternatif untuk mengkaji karakteristik pada Selat Mansuar yaitu dapat menggunakan pendekatan model hidrodinamika 2D dengan menggunakan *software MIKE21*. Mahardika *et al.* (2015) menyatakan bahwa dalam melihat akurasi serta untuk merepresentasikan pola arus pada daerah penelitian dapat menggunakan solusi berbasis model hidrodinamika. Hiwari dan Subiyanti (2020) menyatakan, *MIKE21* adalah suatu aplikasi berbasis numerik dan biasanya digunakan pada berbagai jenis pemodelan seperti arus, gelombang, transport sedimen dan sebagainya. Adapun modul yang digunakan untuk kajian ini yaitu menggunakan *MIKE21 flow model FM*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis karakteristik arus laut dan pola pergerakannya di Selat Mansuar, Kabupaten Raja Ampat pada Musim Peralihan I tahun 2013. Pada saat Musim Peralihan I khususnya bulan April, kondisi perairan yang dipengaruhi oleh kecepatan ARLINDO yang semakin kuat (Atmadipoera dan Hasanah, 2017). Manfaat dari penelitian ini adalah hasil penelitian berupa karakteristik arus dan pola pergerakan arus pada puncak Musim peralihan I Tahun 2013. Hasil penelitian dapat menjadi basis data oseanografi, dasar bagi penelitian selanjutnya serta sebagai bahan masukan dan juga informasi tambahan di Selat Mansuar, Kabupaten Raja Ampat.

MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan untuk simulasi numerik pada penelitian ini yaitu menggunakan data sekunder angin, batimetri, dan pasang surut. Data sekunder pengukuran lapangan kecepatan dan arah arus laut serta pasang surut pengukuran lapangan digunakan untuk memvalidasi hasil model. Data sekunder arus laut dan data pasang surut diperoleh dari hasil pengukuran lapangan oleh Kelompok Pelaksana Penelitian dan pengembangan (KP3) Sumber Daya Geologi Kelautan, Raja Ampat Tahun 2013, Puslitbang Geologi Kelautan. Data angin merupakan data sekunder berupa data komponen *U- Wind*, *V- Wind* yang diperoleh dari laman ERA-5 *copernicus* dengan interval 1 jam dan resolusi spasial $0,25 \text{ degree}$ pada bulan April tahun 2013. Data batimetri dan garis pantai bersumber dari Peta BATNAS dan Peta RBI Tahun 2017. Peta lokasi penelitian dan peta batimetri penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di Selat Mansuar.



Gambar 2. Peta Batimetri Pada Lokasi Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode kuantitatif dengan pendekatan hidrodinamika dua dimensi. Pada model matematis hidrodinamika maka dasar teori yang paling utama yaitu persamaan momentum dan kontinuitas. Persamaan pembangun dalam model 2D menggunakan persamaan konversi massa dan momentum terhadap arah sumbu x dan sumbu y (Irwan *et al.*, 2020; DHI, 2013) yang dapat ditulis sebagai berikut:

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

Persamaan Momentum

Arah sumbu x:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fV V_x = 0$$

Arah sumbu y:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fV V_y = 0$$

Keterangan:

- $h(x,y,t)$ = kedalaman air.
- $d(x,y,t)$ = kedalaman air dalam berbagai waktu (m).
- $\zeta(x,y,t)$ = elevasi permukaan (m).
- $p, q(x,y,t)$ = kerapatan densitas dalam arah x dan y ($m^3/s/m$)=(uh, vh).
- (u,v) = kecepatan rerata terhadap kedalaman dalam arah x dan y.
- ρ_w = merupakan berat jenis air (kg/m^3).
- $C(x,y)$ = tahanan Chezy ($m^{1/2}/s$).
- g = percepatan gravitasi bumi 9.81 (m/s^2).
- $f(V)$ = faktor gesekan angin.
- $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = komponen *effective shear stress*.

Validasi Model

Validasi hasil model perlu dilakukan untuk menguji kesesuaian model, yaitu dengan membandingkan hasil model dan hasil pengukuran lapangan. Ismunarti *et al.*, 2020 menyatakan diperlukan validasi untuk menunjukkan kecocokan dua jenis data. Validasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu MRE (*Mean Relative Error*), RMSE (*Root Mean Square Error*), dan MAE (*Mean Absolute Error*). Kesalahan relatif tidak akan mengalami masalah apabila tidak melebihi 50% (Purwanto, 2011). MRE dapat dihitung dengan:

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_i^n \left| \frac{a - b}{a} \right| \times 100\%$$

Dimana:

- a = Data Model
- b = Data lapangan
- n = Jumlah data.

RMSE adalah sebuah metode yang dapat digunakan sebagai suatu alternatif dalam analisis teknik peramalan. RMSE ini bertujuan untuk mengukur tingkat kesesuaian hasil perkiraan dari sebuah model. Batas maksimum suatu model dapat diterima kesalahannya adalah 0,4 (Yasra *et al.*, 2022). Nilai RMSE dapat dihitung dengan formula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (bi - ai)^2}$$

Dimana:

- a = Data Model
- b = Data lapangan
- n = Jumlah data.

Analisis *Mean Absolut Error* (MAE) digunakan untuk mengetahui kualitas model yang telah dilakukan. Nilai MAE pada rentang 0 – 0,5 dapat dikatakan memiliki kualitas pemodelan yang baik (Chai dan Draxler, 2014). Formulasi MAE dapat dihitung dengan formula:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_i^n |a_i - b_i|$$

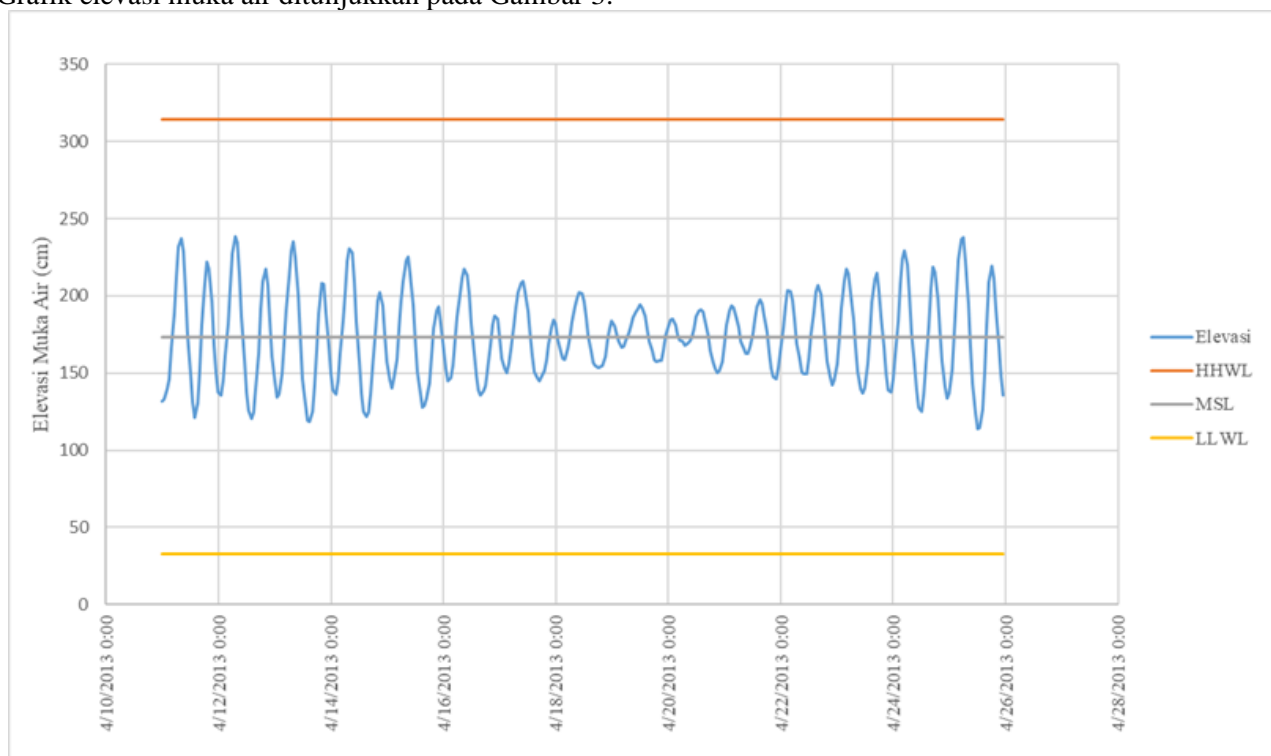
Dimana:

- a = Data Model
- b = Data lapangan
- n = Jumlah data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pasang Surut

Berdasarkan pengukuran pasang surut dilakukan selama 15 hari pada 10 April 2013 - 26 April 2013 diketahui bahwa tipe pasang surut Selat Mansuar adalah pasang surut campuran condong ke harian ganda. Grafik elevasi muka air ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Elevasi Muka Air

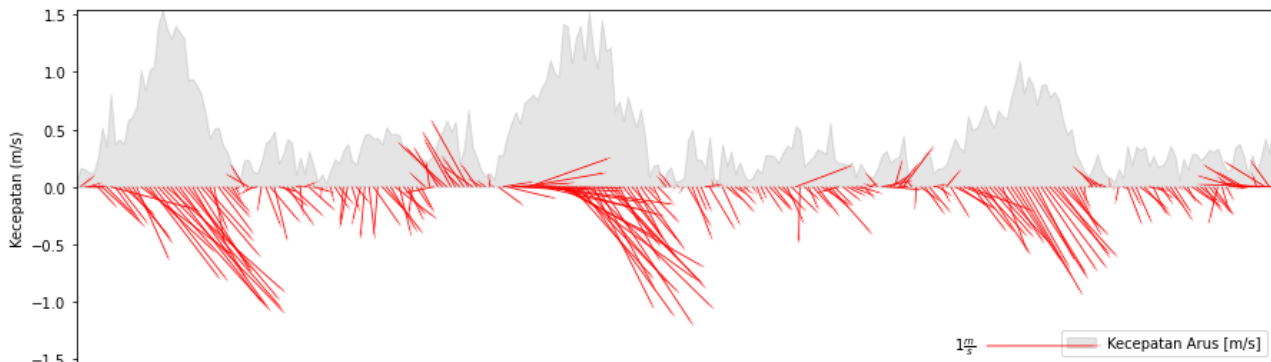
Tipe pasang surut didapatkan dari hasil komponen pasut yang didapatkan pada Selat Mansuar kemudian dari hasil komponen pasut yang didapatkan dengan nilai *formzahl* sebesar 0,61 sehingga dapat diketahui tipe pasang surut pada Selat Mansuar yaitu pasang surut campuran condong ke harian ganda (*semidiurnal*). Pasang surut di Selat Mansuar dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan amplitude dan waktu yang berbeda. Hal ini sesuai dengan pernyataan Triatmodjo (1999) bahwa Nilai *formzahl* yang terletak pada $0,25 < f \leq 1,5$ merupakan pasang surut campuran condong ke harian ganda.

Kecepatan dan Arah Arus

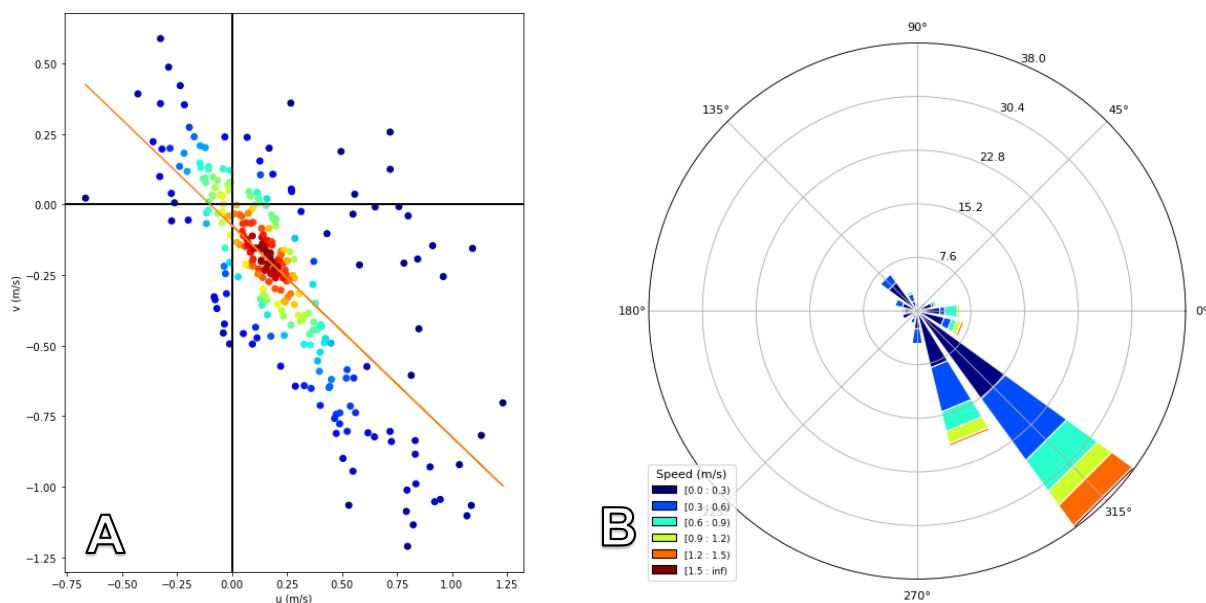
Berdasarkan data hasil pengukuran Tim Penelitian P3GL di Raja Ampat Tahun 2013 dengan menggunakan ADCP jenis Argonaut-XR selama 4 hari (15 April 2013 - 18 April 2013), kecepatan arus di Selat Mansuar memiliki kecepatan maksimum sebesar 1,479 m/s, kecepatan minimum sebesar 0,001 m/s, serta kecepatan rata-rata sebesar 0,41 m/s pada keseluruhan layer. Hasil data lapangan yang sudah dikonversi

didapatkan 10 lapisan kedalaman (*cell*) dengan interval dari setiap lapisan kedalaman yaitu sebesar 2,5 meter. Nilai kecepatan minimum pada seluruh kedalaman yaitu 0,001 – 0,12 m/s dan kecepatan maksimum berkisar antara 1,371 – 1,576 m/s. Setelah itu dilakukan pemisahan komponen arus total yang terdiri dari arus pasut (*astronomic*) dan arus residu. Kedua jenis arus dipisahkan menjadi komponen u dan komponen v untuk mengetahui jenis arus yang mendominasi pada perairan Selat Mansuar. Berdasarkan hasil pengolahan data, arus pasut lebih mendominasi di Selat Mansuar

Data arus laut yang diperoleh dari hasil pengukuran Tim Penelitian P3GL di Raja Ampat Tahun 2013 terdiri atas besaran kecepatan arus total dan arah arus. Dari data arus laut yang diperoleh kemudian akan mendapatkan nilai u dan v yang kemudian diolah menjadi grafik *stick plot* (Gambar 4), *scatter plot* (Gambar 5) dan *current rose* (Gambar 6).



Gambar 4. Grafik *Stick Plot* Arus Pengukuran Tim Penelitian P3GL di Raja Ampat Tahun 2013



Gambar 5. Grafik Arus Pengukuran Lapangan Kedalaman Rata-Rata (A) *Scatter Plot*, (B) Grafik *Current Rose*.

Grafik *Scatter Plot* dan *Stick Plot* menunjukkan persebaran arus dalam 4 (empat) kuadran mata angin (Barat, Utara, Timur, dan Selatan) untuk menunjukkan gambaran kecepatan dan arah arus. *Stick Plot* arus pada daerah penelitian menunjukkan bahwa pergerakan arus cenderung ke arah tenggara dengan kecepatan maksimum 1,5 m/s (Gambar 5A). *Scatter plot* (Gambar 5B) arus pada daerah penelitian digunakan untuk merepresentasikan sebaran kecepatan serta arah arus laut melalui komponen U yaitu kecepatan arus pada arah timur – barat serta komponen V yaitu kecepatan arus pada arah utara – selatan. Arah arus pada *Scatter Plot*

juga diwakili oleh garis berwarna orange pada grafik UV *Scatter Plot*. Pola arus di Selat Mansuar bergerak ke segala arah namun didominasi bergerak ke arah Tenggara dengan sudut 315°

Gambar 6 menunjukkan arah arus didominasi ke arah Tenggara dengan sudut 315°. Kecepatan arus pada arah Tenggara terbesar yaitu antara 1,2 m/s – 1,5 m/s dengan presentase sebesar 38%. Frekuensi arah arus pada arah Selatan menuju ke arah Tenggara berada pada sekitar 19%. Adapun arah arus lainnya dengan presentase kurang dari 7.6% yaitu dari arah Barat, Barat Laut, Timur Laut, dan Timur.

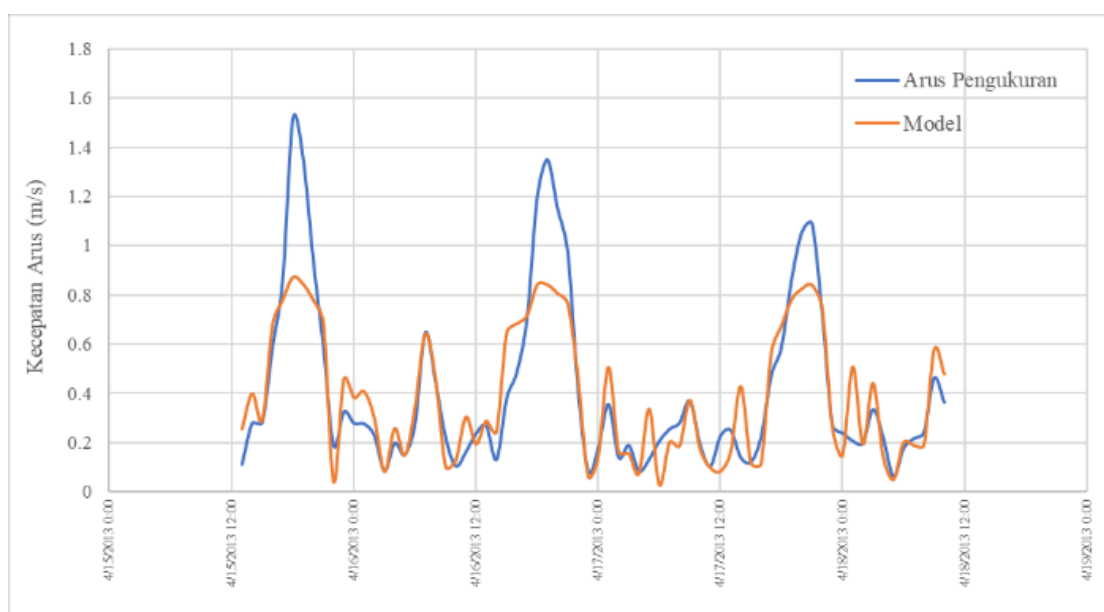
Validasi Model

Suatu model dapat dikatakan baik apabila nilai *error* atau kesalahan model semakin kecil, hal ini dapat berarti bahwa model dapat mendekati atau sesuai dengan kenyataan di lapangan. Grafik validasi ditunjukkan pada Gambar 6 untuk kecepatan arus, Gambar 7 untuk grafik validasi komponen u dan komponen v, dan Gambar 8 untuk grafik elevasi muka air.

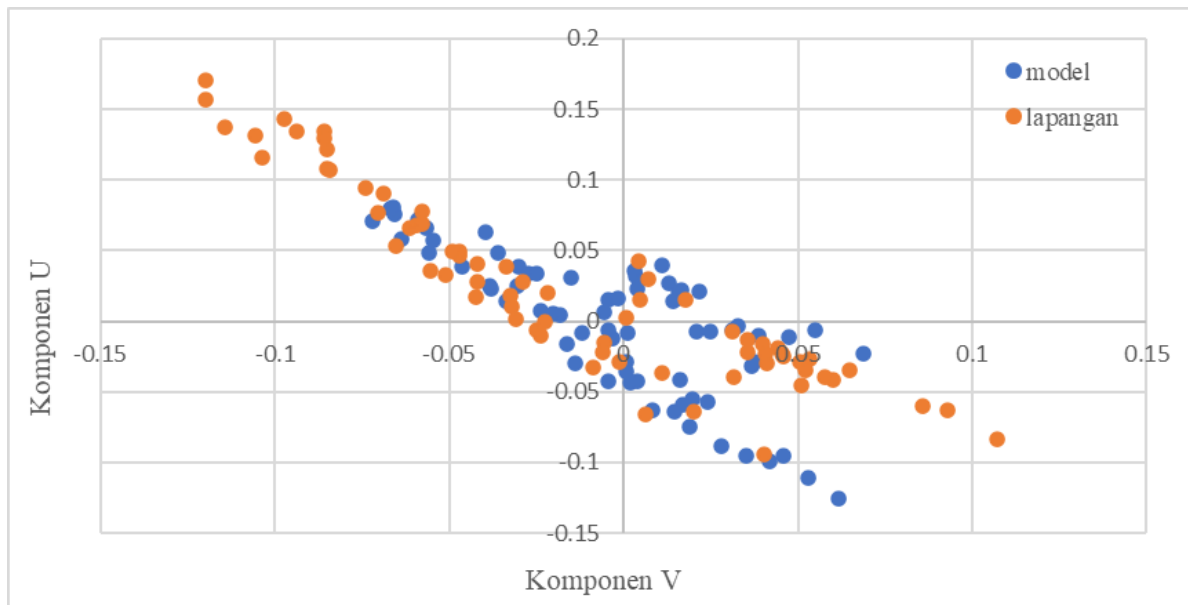
Tabel 1. Nilai Validasi Arus

Parameter	MRE	RMSE	MAE
Kecepatan Arus	39,04%	0,3234	0,255
Komponen U	65,60%	0,3635	0,286
Komponen V	71,01%	0,2765	0,231
Elevasi Muka Air	7,95%	0,3651	0,359

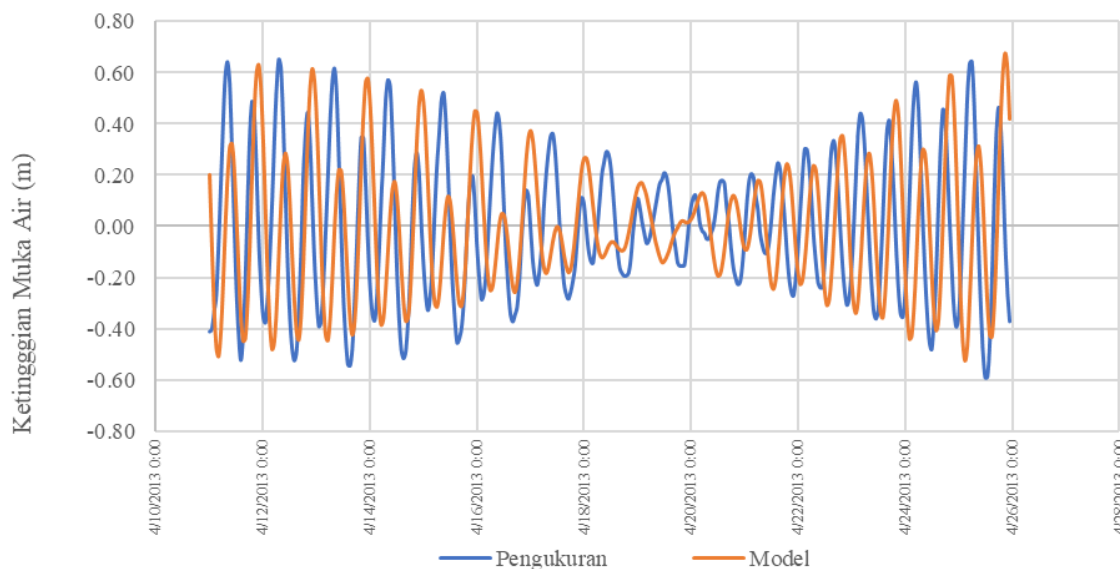
Perhitungan MRE yang didapatkan pada model untuk kecepatan arus yaitu sebesar 39,04%, untuk komponen u yaitu sebesar 65,60%, untuk komponen v yaitu sebesar 71,01%, dan untuk elevasi muka air didapatkan nilai sebesar 7,95%. Nilai ini menunjukkan nilai peramalan yang rendah dari model yang dihasilkan. Menurut Purwanto (2011), koreksi kesalahan relatif tidak akan mengalami masalah apabila kesalahan relatif < 50%. Nilai RMSE yang didapat dari validasi data model dan observasi pada setiap parameter adalah 0,3 dimana nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil model menunjukkan perbedaan sebesar 0,3 lebih kecil dari data observasi lapangan. Hal tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor seperti adanya pembangkit arus lainnya dan kondisi perairan sebenarnya. Menurut Chai dan Draxler (2014), klasifikasi untuk nilai RMSE dan MAE dikatakan sangat baik untuk nilai 0 – 0,29 ; Baik untuk nilai 0,3 – 0,59; Cukup untuk nilai 0,6 – 0,7 dan dikatakan tidak baik untuk nilai > 0,7.



Gambar 6. Grafik Validasi Arus



Gambar 7. Grafik Validasi Komponen U dan Komponen V Arus Model dan Pengukuran



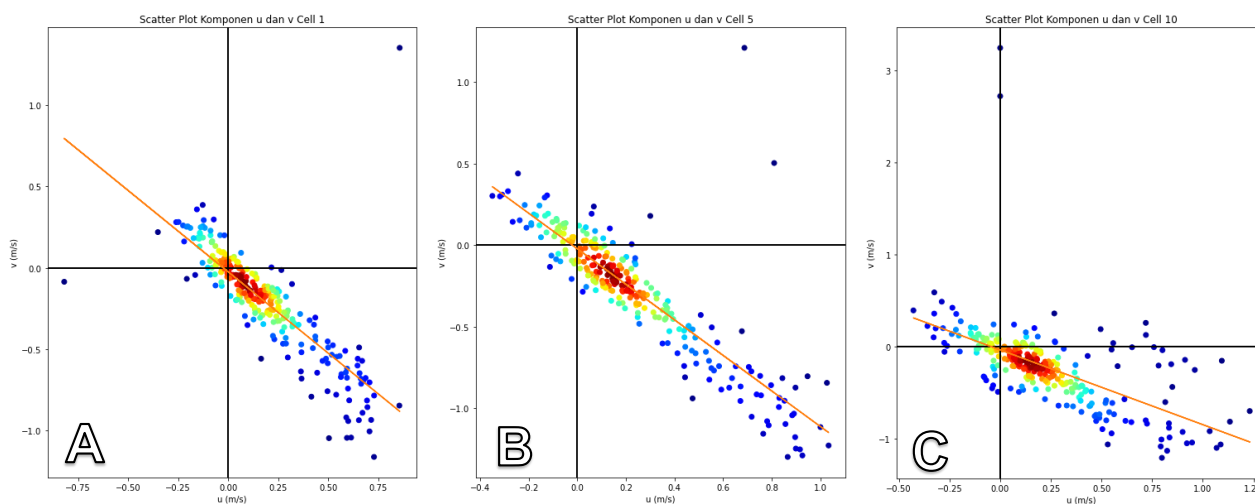
Gambar 8. Grafik Validasi Pasang Surut

Rendahnya nilai akurasi pada model dapat disebabkan oleh berbagai jenis faktor salah satunya model yang dibangun secara barotropik yaitu suatu pendekatan dengan pergerakan fluida sebagai fungsi tekanan sehingga mengabaikan perlapisan perairan akibat variasi kedalaman oleh temperatur dan salinitas (Yasra *et al.*, 2022). Faktor lain yang mempengaruhi yaitu topografi dasar perairan yang tidak teratur dengan keterbatasan data dan informasi mengenai nilai kekasaran dasar laut yang berada di Selat Mansuar, pengaruh dari letak Selat Mansuar yang terdapat pusaran (*Eddie*) pengaruh dari Samudera Pasifik, termasuk dalam ARLINDO, variasi salinitas, temperatur yang tidak terakumulasi didalam model sehingga memberikan pengaruh yang signifikan. Selain itu kondisi perairan bagian barat selat tertutup oleh terumbu karang sehingga alur terbagi menjadi dua tinggian. Tinggian pada bagian barat selat cukup landai hingga pada kedalaman 3(tiga) meter lalu pada kedalaman 15 – 20 meter berubah menjadi terjal dan membentuk dataran sempit yang kemudian berubah kembali menjadi terbing terjal ke arah bawah yang tertutup oleh berbagai jenis koral dan terumbu karang yang menjadi pengaruh bagi batimetrinya (Yosi *et al.*, 2013). Keadaan ini dapat mempengaruhi nilai dan sirkulasi arus di daerah tersebut. Secara total kondisi ini akan memberikan pengaruh

yang nyata dan penting pada hasil kesalahan peramalan relatif dimana pada gesekan dasar akan lebih besar pada perairan yang lebih akibat dari morfologi dasar perairan memberikan pengaruh distribusi vertikal kecepatan arus (Asri *et al.*, 2014).

Karakteristik dan Pola Arus

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dapat diketahui dari hasil data pengukuran lapangan pada 10 (sepuluh) kedalaman yang diperoleh menunjukkan ketika kedalaman suatu perairan bertambah maka kecepatan arus akan semakin berkurang ditunjukkan pada Tabel 2. Indrayanti *et al.* (2021) menyatakan bahwa, Kecepatan arus lebih kuat pada lapisan permukaan perairan dan akan secara bertahap semakin melemah seiring dengan bertambahnya kedalaman suatu perairan. Kecepatan arus yang semakin melemah seiring dengan mendekati dasar perairan dapat diakibatkan dari semakin tingginya densitas perairan serta pergeseran arah gerak arus yang disebut *Spiral Ekman*. Kecepatan arus pada lapisan bawah mulai menurun disebabkan karena adanya proses perambatannya energi terkikis oleh gesekan antar arus dengan massa air, sehingga kecepatan yang ditimbulkan oleh angin dan pasang surut akan semakin lemah seiring mendekati dasar perairan. Pergerakan arus pada Selat Mansuar arahnya menunjukkan dominan ke arah Tenggara menuju Selatan seiring dengan bertambahnya kedalaman (Gambar 9). Dari Lapisan (*Cell*) 10 yang merupakan lapisan permukaan hingga ke lapisan (*Cell*) 1 yang merupakan kedalaman yang mendekati dasar laut. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dalam menuju dasar suatu perairan maka arah arus akan bergerak searah dengan jarum jam dapat diasumsikan massa air yang lebih ringan dimiliki oleh arus yang cepat sehingga perubahan arah nya tidak begitu signifikan. Pada perairan yang lebih dalam massa air akan semakin berat sehingga perubahan arah arusnya akan semakin besar. Hal ini disebabkan adanya pengaruh dari gaya gravitasi bumi dan gaya *coriolis* yang akan menyebabkan arus pada Belahan Bumi Utara berbelok ke arah kanan dan menimbulkan *spiral ekman* (Aziz, 2006).



Gambar 9. (A) *Cell* 1 kedalaman 2,5 meter; (B) *Cell* 5 kedalaman 12,5 meter; (C) *Cell* 10 kedalaman 25 meter.

Tabel 2. Kecepatan Arus

Lapisan	Kedalaman (m)	Arus Total			Arus Pasut			Arus Residu		
		Maks. (m/s)	Min. (m/s)	Rata-rata (m/s)	Maks. (m/s)	Min. (m/s)	Rata-Rata (m/s)	Maks. (m/s)	Min. (m/s)	Rata-Rata (m/s)
10	2.5	1.294	0.021	0.438	0.933	0.007	0.332	0.361	0.309	0.335
9	5	1.272	0.034	0.353	0.929	0.017	0.27	0.353	0.265	0.309
8	7.5	1.535	0.066	0.44	1.133	0.036	0.355	0.402	0.315	0.358
7	10	1.376	0.028	0.42	0.982	0.034	0.343	0.393	0.321	0.357
6	12.5	1.353	0.001	0.410	0.98	0.05	0.34	0.372	0.31	0.341
5	15	1.479	0.026	0.406	1.11	0.017	0.342	0.368	0.308	0.338
4	17.5	1.436	0.038	0.392	1.071	0.022	0.341	0.365	0.262	0.314
3	20	1.37	0.014	0.389	1.009	0.052	0.332	0.36	0.275	0.317
2	22.5	1.397	0.121	0.377	1.071	0.054	0.331	0.32	0.264	0.295
1	25	1.228	0.014	0.344	0.93	0.011	0.292	0.297	0.223	0.263

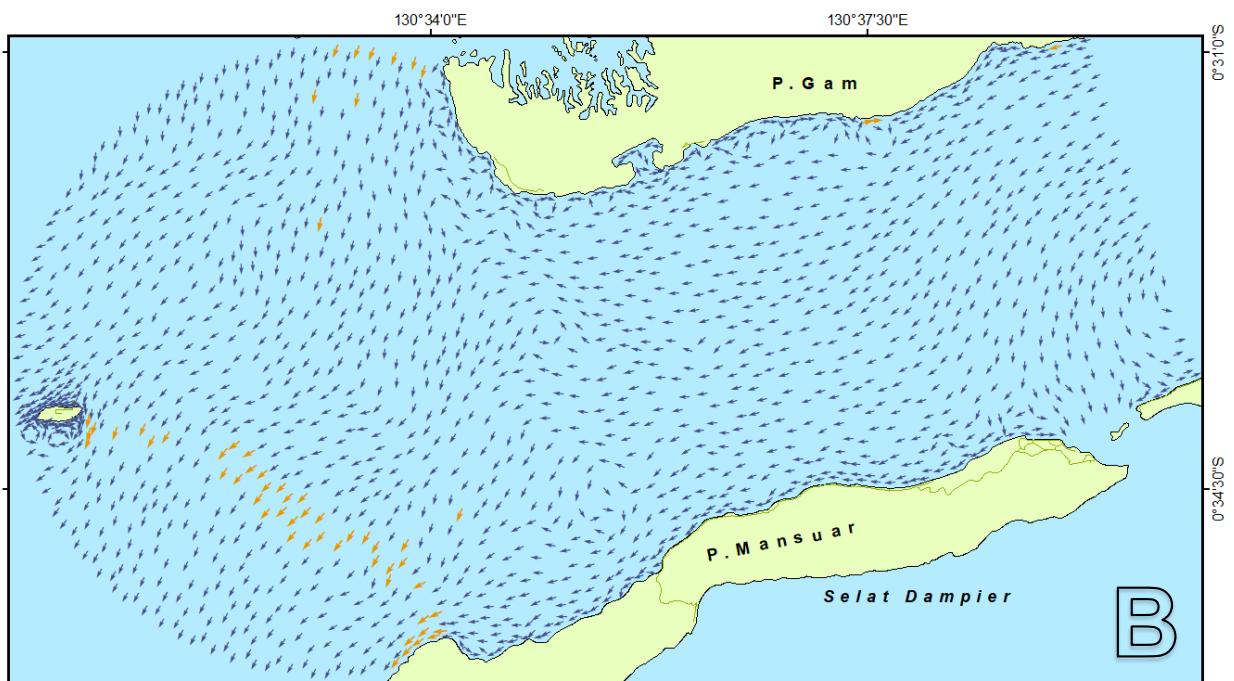
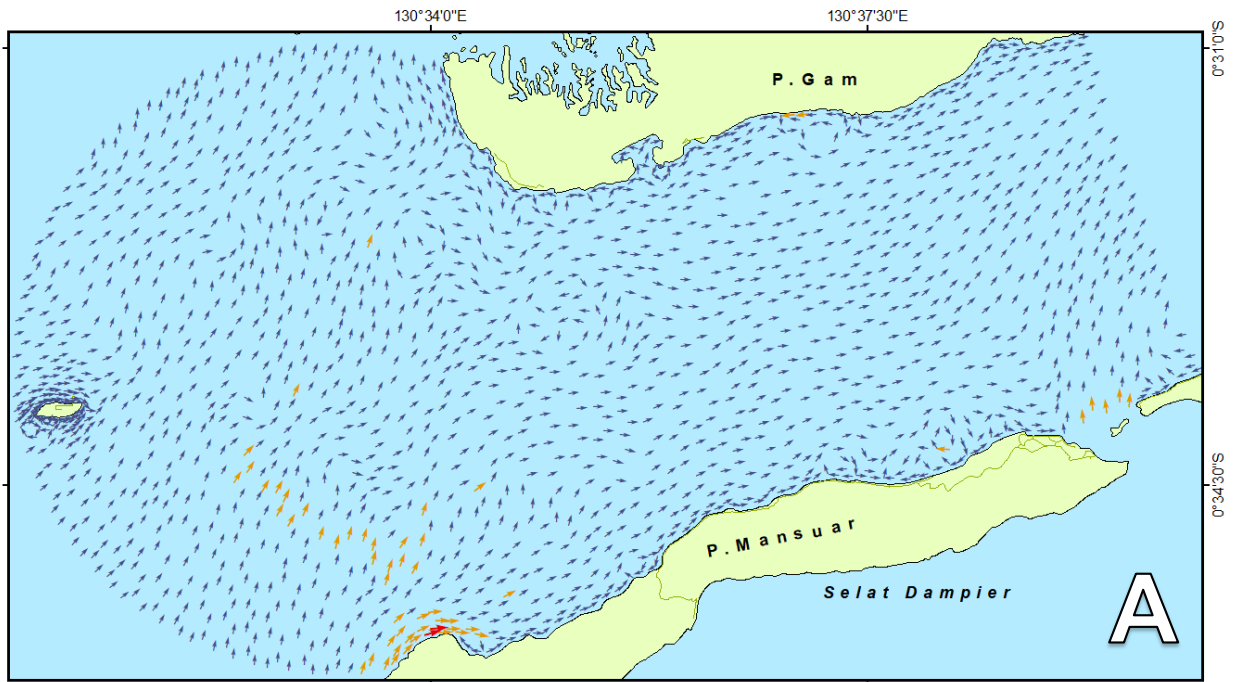
Pada perairan Selat Mansuar dihubungkan dengan kondisi morfologinya yang ditumbuhi berbagai jenis karang dapat pula menyebabkan kecepatan yang menurun. Kondisi dasar perairan dapat menyebabkan arus yang lemah didekat dasar karena adanya hambatan fisik (Wisha *et al.*, 2019). Pada perairan Selat Mansuar dibangkitkan oleh arus pasang surut dimana hal ini dapat diartikan bahwa arus residu tidak begitu memiliki pengaruh pada perairan ini (Mira *et al.*, 2016). Mambriaw *et al.* (2006) menyatakan, daerah-daerah pada Selat Mansuar, Selat Kabui, dan Selat Sagawin memiliki arus pasang surut yang deras. Perairan Raja Ampat arusnya dominan dipengaruhi oleh angin pada bagian perairan terbuka dan didominasi oleh pengaruh pasang surut pada pulau-pulau kecil yang berdekatan, selat, dan teluk.

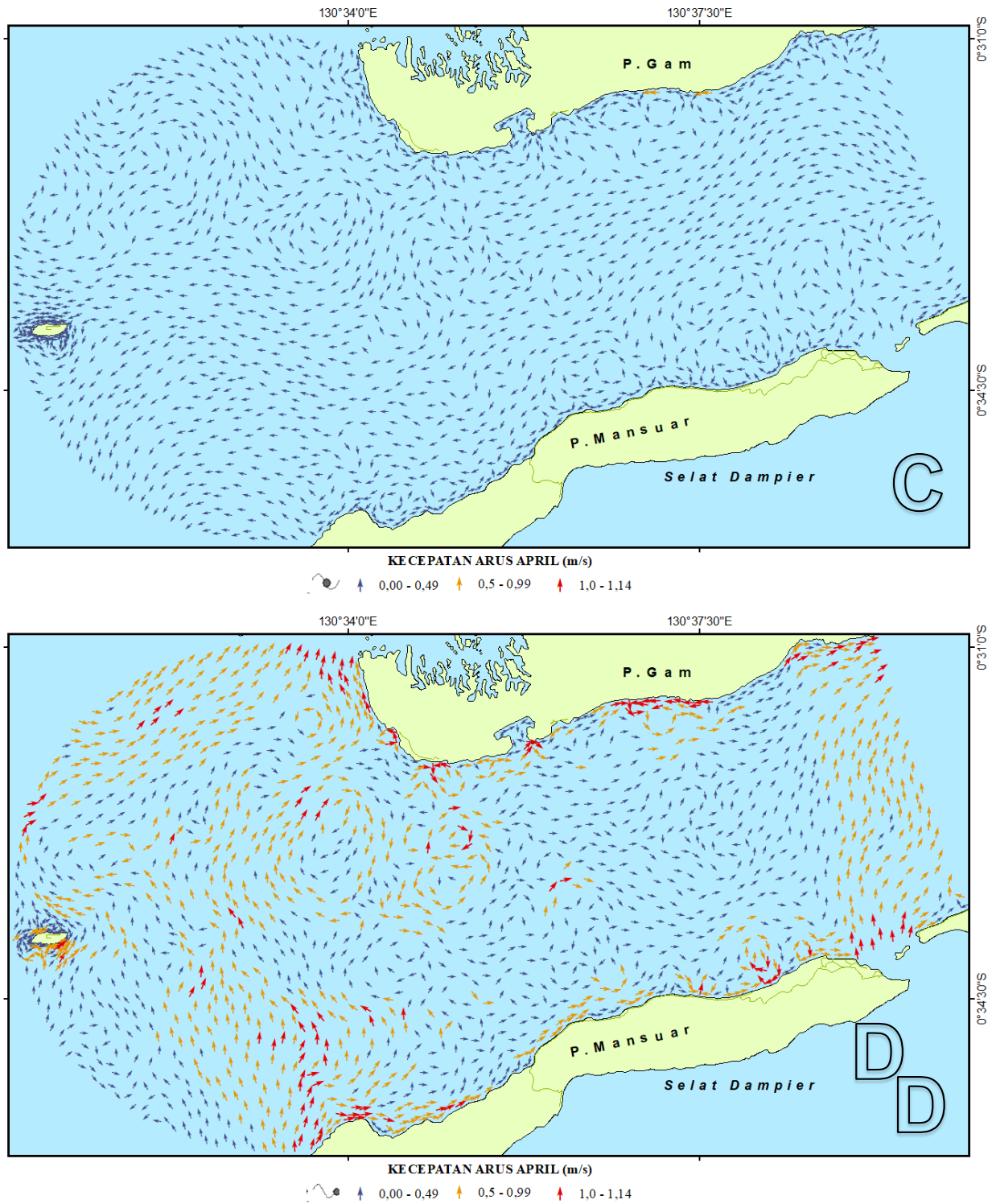
Simulasi model pergerakan arus menghasilkan 4 (empat) kondisi arus yaitu kondisi saat pasang tertinggi, kondisi saat surut terendah, kondisi saat pasang menuju surut, dan kondisi saat surut menuju pasang. Nilai kecepatan arus pada masing-masing kondisi disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kecepatan Arus Pada Kondisi Pasang Surut

Kondisi	Kecepatan Maks (m/s)	Kecepatan Min (m/s)	Kecepatan Rata-Rata (m/s)
Pasang Tertinggi	1.14	0.00	0.106
Surut Terendah	0.73	0.00	0.306
Pasang Menuju Surut	1.15	0.00	0.09
Surut Menuju Pasang	1.17	0.00	0.235

Peta pola arus pada masing-masing kondisi ditunjukkan pada Gambar 10.





Gambar 10. Kondisi Arus Saat (A) Pasang tertinggi, (B) Surut Terendah, (C) Pasang Menuju Surut, (D) Surut Menuju Pasang

Kondisi pola arus pada saat pasang tertinggi ditunjukkan pada Gambar 10A. Arah massa air bergerak dari laut terbuka menuju selat ke arah pulau dengan kecepatan maksimum yaitu 1,14 m/s dan kecepatan rata-rata sebesar 0,016 m/s. Pada saat kondisi surut terendah (Gambar 10B) massa air bergerak dari arah pulau keluar menuju laut terbuka dengan kecepatan maksimum sebesar 0,73 m/s dan kecepatan rata-rata sebesar

0,306 m/s. Pada saat kondisi pasang menuju surut (Gambar 10C) massa air bergerak ke arah laut terbuka namun berputar-putar masuk ke dalam selat dengan kecepatan maksimum 0,08 m/s dan kecepatan rata-rata sebesar 0,09 m/s. Pada kondisi surut menuju pasang (Gambar 10D) massa air bergerak bulak balik dan berputar namun dari laut terbuka akan menuju ke dalam selat dengan kecepatan maksimum 1.17 m/s dan nilai kecepatan rata-rata 0.235 m/s.

Pada kondisi surut menuju pasang (Gambar 10D) nilai kecepatan rata-rata nya yaitu 0.235 m/s. Arah massa air pada kondisi ini tidak beraturan dimana terdapat arus yang masuk menuju selat dan ada yang keluar menuju perairan terbuka. Adapun gerakan arus yang tidak beraturan dapat disebabkan karena adanya perubahan dan perpindahan arah arus oleh gerak pasang surut. Pada kondisi ini arus bolak balik yang juga diakibatkan adanya pengaruh gesekan angin terhadap elevasi muka air. Di tengah-tengah selat terbentuk pusaran (*eddy*) yang cukup besar bergerak searah dengan jarum jam namun ada juga pusaran-pusaran kecil yang terbentuk pada sekitar selat bergerak tidak searah dengan jarum jam. Bulan April merupakan musim pancaroba dimana arus melemah ke arah timur kemudian arahnya berbalik dan terjadi pusaran (*eddie*) pada beberapa tempat (Nontji, 1993). Kondisi pola arus yang menumpuk bagian pulau kecil di keempat kondisi disebabkan oleh resolusi horinzontal pada bagian pulau kecil lebih tinggi. Pada saat kondisi surut menuju pasang lebih besar dibandingkan dengan kondisi lainnya kecepatan rata-rata arus yang dihasilkan oleh pemodelan 2D lebih besar. Selat Mansuar termasuk kedalam daerah yang diperkirakan memiliki arus pasang surut yang kencang. Mira *et al.* (2016) menyatakan, Arus diperkirakan memiliki nilai yang tinggi ketika duduk tengah pasang atau pada saat duduk tengah surut. Kecepatan arus pada Perairan Raja Ampat diperkirakan memiliki nilai sekitar 0,11 m/s. Selain itu dari keempat kondisi pola arus menunjukkan terdapatnya pusaran (*Eddie*) di dalam selat, maupun di dekat garis pantai. Fenomena ini terjadi karena adanya pengaruh dari massa air yang berasal dari Samudera Pasifik bergerak dari Timur ke Barat Laut dan sejajar dengan daratan Papua bagian Utara. Pola arus di Perairan Raja Ampat dominan dipengaruhi oleh massa air dari Samudera Pasifik Barat yang bergerak dari Timur menuju Barat Laut dan sejajar dengan bagian utara. Arus yang telah sampai di Laut Halmahera yang merupakan bagian Utara dari Perairan Raja Ampat, bergerak menuju Selatan sedangkan sebagian arusnya kembali menuju Samudera Pasifik. Arus ini dikenal dengan *Halmahera Eddie* (Bawole *et al.* 2006).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui karakteristik arus di Selat mansuar, Kabupaten Raja Ampat berdasarkan pemodelan Hidrodinamika 2D dapat disimpulkan Arus pada Selat Mansuar didominasi oleh arus pasang surut. Pola arus yang dihasilkan pada puncak siklus angin Musim peralihan I bergerak dominan ke arah Tenggara. Pada kondisi surut menuju pasang arus pada Selat Mansuar lebih kencang dibandingkan dengan kondisi lainnya dimana kecepatan rata-ratanya mencapai 0.235 m/s. Tipe pasang surut di Selat Mansuar bersifat campuran condong harian ganda.

DAFTAR PUSTAKA

- Asri, A. C. A., Suryoputro, A. A. D., dan Atmodjo, W. 2014. Studi Karakteristik Arus Laut Di Perairan Marunda, Jakarta Utara. *Journal of Oceanography*, 3(4):601-609.
- Atmadipoera, A. S., dan Hasanah, P. 2017. Karakteristik dan Variabilitas Arlindo Flores dan Koherensinya Dengan Arus Pantai Selatan Jawa. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(2):537-556.
- Azis, M. F., 2006. Gerak Air di Laut. *Oseana*, 31(4): 9-21.
- Bawole, R., Hutahuruk, R. W., dan Pattiasina, T. F. 2006. Atlas Sumber Daya Wilayah Pesisir Beberapa Kabupaten di Provinsi Papua dan Papua Barat. Pemerintah Provinsi Papua Barat.
- Chai, T., dan Draxler, R. R. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) -Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3):1247-1250.
- DHI. 2013. MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic Module: Short Description. DHI headquarters, Denmark, 14 p.
- Hiwari, H. dan Subiyanto 2020. Pemodelan Arus Permukaan Laut Selat Lembeh, Sulawesi Utara Menggunakan Aplikasi MIKE 21. *Jurnal Akuatek*, 1(2):84-93.

- Indrayanti, E., Sugianto, D. N., Purwanto, H. S. S., dan Siagian, H. S. R. 2021. Identifikasi Arus Pasang Surut di Perairan Kemujan, Karimunjawa Berdasarkan Data Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler. *Jurnal Kelautan Tropis Juni*, 24(2):247-254
- Irwan, A., A. Wicaksono dan F.A. Khairin. 2020. Identifikasi Distribusi Beban Sedimentasi pada Intake DAM dan Reservoir PLTA (Studi Kasus: PLTA Cirata, Purwakarta – Jawa Barat). *Journal of Applied Science (Japps)*, 2(1):022–030
- Ismunarti, D. H., Zainuri, M., Sugianto, D. N., dan Saputra, S.W. 2020. Pengujian Reliabilitas Instrumen Terhadap Variabel Kontinu Untuk Pengukuran Konsentrasi Klorofil-a Perairan. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(1):1–8
- Mahardika, R. W., Ismanto, A., dan Purwanto, P. 2015. Studi Perbandingan Simulasi Model Flow Model Fm Dan Adcirc Terhadap Pola Arus Pasut Perairan Teluk Lembar Lombok. *Journal of Oceanography*, 4(1):206-214
- Mambriaw, A., B. Wurkianty, F. Liuw, S. Hamel, A. A. Mulyadi, A. Sukmara, H. Sumantri dan Y. Omkarsba. 2006. Atlas Sumber Daya Pesisir Raja Ampat. Conservation International (CI) Indonesia
- Milasari, A., Ismunarti, D. H., Indrayanti, E., Muldiyatno, F., dan Ismanto, A., Rifai, A. 2021. Model Arus Permukaan Teluk Lampung pada Musim Peralihan II dengan Pendekatan Hidrodinamika. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(3):259-268.
- Mira, Muhartono, R., dan Suryawati, S. H. 2016. Pengembangan Energi Terbarukan pada Pulau-Pulau Kecil. *Buletin Ilmiah Marina Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 2(1):19-27.
- Pranowo, W. S., A. R. T. D. Kuswardhani, T. L. Kepel, U. R. Kadarwati, S. Makarim dan S. Husrin. 2005. Mengungkap Arus Lintas Indonesia. Departemen Kelautan dan Perikanan: Jakarta
- Purwanto. 2011. Analisa Spektrum Gelombang Berarah di Perairan Pantai Kuta, Kabupaten Bandung, Bali. *Buletin Oseanografi Marina*, 1(1): 45-59.
- Sutono, D., Robert, P., dan Mustasim. 2020. Ekosistem Terumbu Karang Pulau Arborek Raja Ampat, Papua Barat. *Jurnal Airaha*, 9(1):63-70.
- Triadmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Yogyakarta, Beta Offset
- Wardheni, A., Satriadi, A., dan Atmodjo, W., 2014. Studi Arus dan Sebaran Sedimen Dasar di Perairan Pantai Larangan Kabupaten Tegal. *Journal of Oceanography*, 3(2): 277-283.
- Wisha, U.J., dan Ilham, I., 2019. Velocity Components of Currents and Transport Mechanism in the Ie Meulee Waters, Weh Island, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 22(2): 93-102.
- Yasra, E., Ismunarti, D. H., Pranowo, W. S., dan Setiyadi, J. 2022. Karakter Perairan Kepulauan Sula dan Kepulauan Taliabu Berdasarkan Pemodelan Hidrodinamika 3D. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(3): 330-346.
- Yosi, Mira., Nazar Nurdin. E, Herawati, Beben, R., Mario, D. S., Evie, H., Sudjono, Hananto, K., dan Rina, Z. 2013. Penelitian Potensi Energi Arus Laut Sebagai Energi Baru Terbarukan Di Perairan Raja Ampat, Papua Barat. Kelompok Pelaksana Penelitian dan Pengembangan (KP3) Sumber Daya Geologi Kelautan, Puslitbang Geologi Kelautan. Pulitbang Geologi Kelautan.