



## MODEL POLA ARUS DUA DIMENSI DI PERAIRAN TELUK BAKAU KABUPATEN BINTAN

### TWO-DIMENSIONAL FLOW PATTERN MODEL IN THE WATERS OF BAKAU BAY BINTAN DISTRICT

Anggun Safutri Fahrianti\*, Asep Ma'mun, Try Febrianto, Mario Putra Suhana,  
Abdul Rahman Ritonga

Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Maritim Raja Ali Haji,  
Tanjung Pinang, Kepulauan Riau, Indonesia

\*Korespondensi: anggungf0105@gmail.com (AS Fahrianti)

Diterima 5 November 2023 – Disetujui 4 Maret 2024

**ABSTRAK.** Arus laut merupakan perpindahan massa air laut dengan arah tertentu yang disebabkan oleh beberapa faktor yaitu angin, pasang surut dan batimetri. Pemodelan hidrodinamika bertujuan untuk mengetahui kecepatan dan arah arus laut di perairan Teluk Bakau melalui model dua dimensi. Pola arus musim utara sampai musim timur dipengaruhi oleh massa air laut dengan arus kecepatan rata-rata berkisar 0.22-0.24 m/s, sedangkan musim selatan sampai musim barat arus dengan kecepatan rata-rata 0.24-0.26 m/s, hal ini menunjukkan pertemuan massa air yang berbeda sehingga kecepatan dan arah arus mengakibatkan terjadinya arus acak atau berputar. Dari perhitungan uji normalitas dan uji anova diketahui bahwa arus lapangan dan simulasi model nilai berdistribusi normal dan tidak ada perbedaan nilai secara signifikan pada kedua data sehingga berdasarkan nilai RMSE menunjukkan bahwa perbedaan nilai antara hasil simulasi model dengan pengukuran data secara langsung relatif kecil. Hal ini juga menunjukkan bahwa model arus permukaan laut yang dibuat cukup untuk menggambarkan kondisi sebenarnya.

**Kata Kunci:** Arus laut, pemodelan hidrodinamika, Perairan Teluk Bakau.

**ABSTRACT.** Ocean currents are the movement of sea water masses in a certain direction caused by several factors, namely wind, tides and bathymetry. Hydrodynamic modeling aims to determine the speed and direction of ocean currents in the waters of Bakau Bay through a two-dimensional model. The current pattern of the north season to the east season is influenced by sea water masses with an average current speed ranging from 0.22-0.24 m/s, while the south season to West season currents with an average speed of 0.04-0.26 m/s, this shows the meeting of different water masses so that the speed and direction of the current results in random or rotating currents. From the calculations of the normality test and anova test, it is known that the field current and model simulation values are normally distributed and there is no significant difference in values in the two data, so based on the RMSE value, it shows that the difference in values between the model simulation results and direct data measurements is relatively small. This also shows that the ocean surface current model created is sufficient to describe actual conditions.

**Keywords:** Ocean currents, hydrodynamic modeling, Bakau Bay waters

#### 1. Pendahuluan

Kondisi hidrooseanografi seperti pola arus penting untuk mengidentifikasi dampak negatif yang terjadi di laut seperti kondisi pesisir seperti alur pelayaran, perkembangan wilayah laut dan perubahan garis pantai (Suhana, 2016). Salah satu ciri hidro-oseanografi yang mempengaruhi karakteristik kawasan Bintan khususnya perairan Teluk Bakau adalah arus laut. Penggunaan model hidrodinamika pola arus adalah salah satu langkah awal dalam mengetahui kondisi perairan yang memperoleh gambaran perubahan pola arus yang terjadi sekarang maupun prediksi untuk masa yang akan datang (Wisha *et al.*, 2015).

Model hidrodinamika pola arus ini dapat dijadikan solusi alternatif untuk melakukan penelitian yang membutuhkan jumlah data dan deret waktu (*line series*) yang cukup banyak dan cukup panjang,

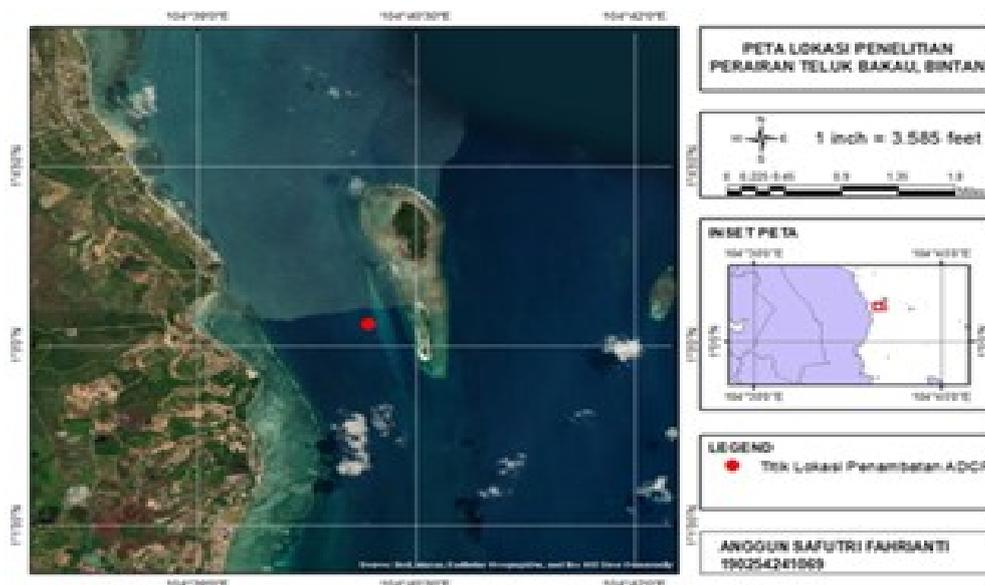
mengingat bahwa penelitian mengenai pola arus umumnya melihat kondisi masa yang lalu dan memprediksi kondisi yang akan datang. ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) alat ini menggunakan gelombang suara (*sonar*) sebagai alat pendeteksi dan memiliki akurasi yang tinggi. Keunggulan ADCP dapat mengukur arus secara per lapisan pada kedalaman perairan (Harjono *et al.*, 2016; Arifiyanto *et al.*, 2016). Kelebihan dalam penggunaan ADCP antara lain dapat mengambil data sampai beberapa lapisan sesuai dengan kebutuhan penelitian, mampu mengukur komponen arus vertikal, efektif dan efisien untuk pengamatan jangka panjang, mampu mengukur dengan selang waktu yang pendek sekitar 3 detik, sehingga data yang dihasilkan merupakan data dengan resolusi tinggi (Sontek, 2017).

Kondisi perairan di Teluk Bakau ini menarik untuk dikaji dan diukur untuk mengetahui pola pergerakan arus yang dihasilkan oleh berbagai faktor gaya luar seperti pasang surut, angin, batimetri dasar laut dan menganalisis fenomena arus yang terjadi selama erosi garis pantai dan kegiatan rekreasi. Perairan Teluk Bakau merupakan salah satu perairan yang dianggap memiliki proses hidro-oseanografi yang sangat dinamis dan kompleks. Perairan Teluk Bakau juga merupakan salah satu daerah yang memiliki destinasi pariwisata bawah air unggulan di Bintan, hal ini didukung dengan banyaknya resort dan bagan wisata pada wilayah tersebut. Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai permukaan arus laut melalui model hidrodinamika dua dimensi untuk mengetahui informasi kondisi arus laut pada perairan tersebut.

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data lapangan dilaksanakan selama 4 (empat) hari pada tanggal 1-4 Mei 2023 di Perairan Teluk Bakau. Pengukuran data arus lapangan dilakukan pada satu titik lokasi penelitian. Lokasi ini merupakan daerah yang seringkali dijadikan daerah wisata menyelam dan dari studi sebelumnya merupakan area yang memiliki kecepatan arus cukup tinggi. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1. Lokasi Penelitian.**

### 2.2. Alat dan Bahan (data yang digunakan) pada penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi GPS yang akan digunakan untuk perekaman koordinat pengukuran arus di lapangan. ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) yang digunakan untuk pengukuran data arus lapangan dengan baterai sebagai sumber energi alat yang digunakan. Laptop digunakan untuk pengolahan data dan penyusunan laporan. *Software* ArcGIS digunakan untuk

pembuatan peta lokasi penelitian dan area model, selanjutnya *software* MIKE 21 digunakan untuk prediksi pasang surut dan pembuatan area model dan *Ocean Data View* digunakan untuk ekstrak data angin. Mengekstrak data arus lapangan menggunakan *software* Win ADCP dan SPSS digunakan untuk uji validasi data sekunder dan primer.

### 2.3. Metode yang digunakan pada penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk pengolahan data. Metode kuantitatif adalah metode yang menggunakan angka dan menganalisisnya menggunakan statistik atau model. Metode survei digunakan untuk mengumpulkan atau cara mengukur data langsung di lapangan. Penentuan titik pengambilan data menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu melihat langsung kondisi lingkungan sekitar lokasi penelitian. Hasil pemodelan hidrodinamika dideskripsikan menggunakan metode deskriptif. Metode deskriptif adalah metode yang secara sistematis memperoleh gambaran umum hasil model sesuai fakta yang ada dan keterkaitan antara fenomena yang satu dengan fenomena yang diteliti lainnya (Leksono *et al.*, 2013). Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer adalah informasi yang diperoleh melalui pengukuran langsung atau pengambilan langsung di lapangan. Data primer berupa arus yang diukur langsung di lapangan yang akan digunakan sebagai data validasi. Data sekunder yang digunakan berupa data pasang surut dari prediksi menggunakan *software* MIKE 21, data kedalaman perairan dan data garis pantai diperoleh dari citra satelit BATNAS BIG serta data arah dan kecepatan angin diperoleh dari *Copernicus* yang akan digunakan untuk data masukan model sebagai pembangkit arus.

#### a. Data Arus Menggunakan ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

Pengukuran arus dengan menggunakan ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) dilakukan dengan metode *Eulerian* yaitu metode pengukuran arus pada lokasi tetap dengan waktu tertentu. Metode ini merupakan metode pengukuran arus stationer dengan menggunakan ADCP di satu titik untuk mendapatkan nilai kecepatan arus dengan sesuai kedalaman di perairan (Yuningsih & Achmad, 2011). Pengukuran ADCP dengan setting ADCP dilakukan sebelum meletakkan alat di laut, dengan tujuan untuk menentukan waktu pengukuran, titik kedalaman dan interval waktu perekaman data. Selain itu, ADCP ditempatkan di *platform* (rangka besi) untuk keamanan dan memudahkan saat diletakkan di dasar laut. Pemasangan ADCP menggunakan metode *Sea Bottom Mounted* dan posisi sensor menghadap ke atas (Arifiyanto *et al.*, 2016). Tujuannya adalah untuk melakukan pengukuran pada titik tetap dengan jangka waktu tertentu. ADCP diletakkan pada kedalaman total 17 m dengan kedalaman aktif pengukuran adalah 14 m. Pengukuran dilakukan selama 3 x 24 jam dengan interval waktu sebesar 15 menit. Pemantauan harian dilakukan untuk melihat posisi dan kondisi alat (ADCP).

#### b. Prediksi Pasang Surut

Data pasang surut diperoleh dari prediksi menggunakan modul *tide prediction of heights* dari MIKE 21 (DHI, 2014). Data pasang surut pada penelitian ini akan digunakan sebagai salah satu data input model. Data pasang surut yang digunakan disesuaikan dengan periode rentang waktu (*time series*) dimulai dari 1 Desember 2021 hingga 30 November 2022 dengan interval data per 1 (satu) jam, dengan memasukkan titik koordinat lokasi penelitian, sesuai dengan model yang akan dibangun.

#### c. Data Batimetri

Data batimetri yang akan digunakan diperoleh dari BATNAS BIG dengan skala peta 1:1.553.427 dengan resolusi spasial 6-arcsecond. Data diunduh dengan format GeoTIFF (TIF FILE). Data batimetri ini digunakan sebagai data input pada pembuatan mesh model pada MIKE 21. Berikut link akses data batimetri yang digunakan <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/>.

#### c. Data Angin

Data arah dan kecepatan angin diperoleh dengan mengunduh (download) di <https://climate.copernicus.eu/>. Data arah dan kecepatan angin yang diunduh adalah data arah dan kecepatan angin harian dengan grid spasial 0.125 x 0.125 ° selama 1 tahun dimulai dari 1 Desember 2021 hingga 30 November 2022 dengan interval perekaman data setiap 1 (satu) jam. Data tersebut akan digunakan sebagai pembangkit arus untuk membangun kondisi model arus.

#### 2.4. Analisis Data Model

##### a. Pasang Surut

Hasil dari pengukuran pasang surut dianalisis menggunakan menggunakan metode Admiralty untuk memperoleh nilai ketinggian muka laut rata-rata (MSL) dan konstanta harmonik pasang surut. Nilai konstanta harmonik pada metode Admiralty digunakan untuk menghitung nilai pasang surut dan bilangan *formzahl* (F) yang pasang surut. Perhitungan nilai tipe pasang surut dapat diketahui menggunakan persamaan bilangan *Formzahl* (Pugh, 1987).

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana O1 adalah amplitudo pasut tunggal utama yang diakibatkan oleh gaya tarik bulan; K1 adalah amplitudo pasut tunggal utama yang diakibatkan oleh gaya tarik bulan dan matahari; M2 adalah amplitudo pasut ganda utama yang diakibatkan oleh gaya tarik bulan; dan S2 adalah amplitudo pasut ganda utama yang diakibatkan oleh gaya tarik matahari (Riyadi & Santos, 2018).

Dimana:

- F = Bilangan formzahl (F)
- K1 = Konstanta harmonik pasang surut diurnal akibat gaya tarik matahari dan bulan
- O1 = Konstanta harmonik pasang surut diurnal akibat gaya tarik bulan
- M2 = Konstanta harmonik pasang surut semi diurnal akibat gaya tarik bulan
- S2 = Konstanta harmonik pasang surut semi diurnal akibat gaya tarik matahari

Kategori tipe pasang surut disajikan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1. Tipe Pasang Surut Berdasarkan Nilai Bilangan Formzahl (F).**

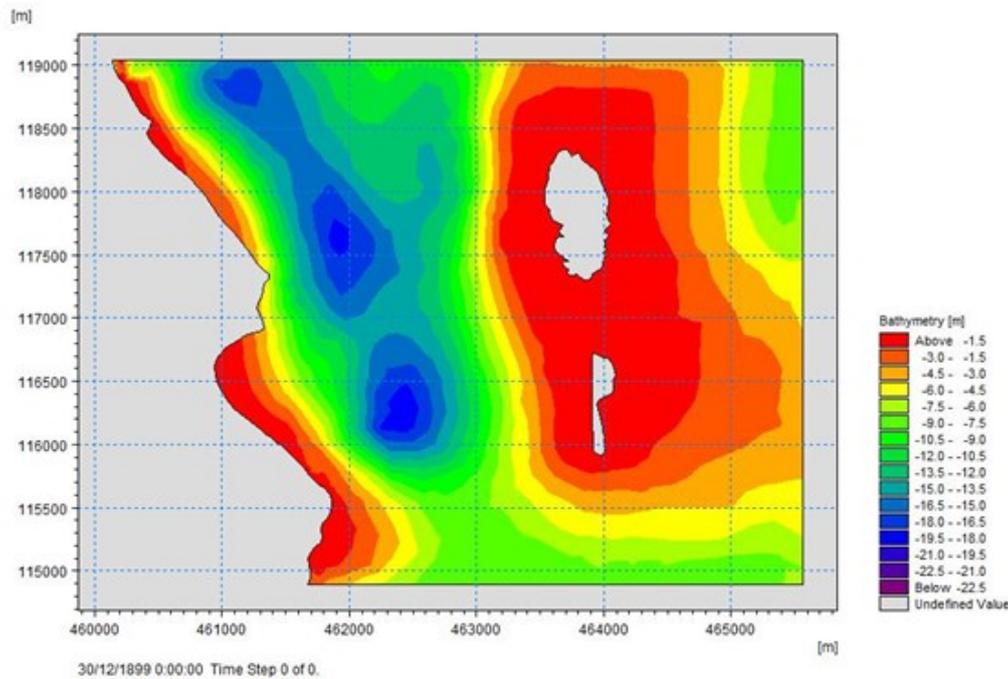
Kriteria Bilangan Formzahl	Tipe Pasang Surut
0.0 < F ≤ 0.25	Setengah harian (Semi <i>diurnal</i> /Ganda)
0.25 < F ≤ 1.5	Campuran condong harian ganda
1.5 < F ≤ 3.0	Campuran condong harian tunggal
F > 3.0	Tunggal ( <i>diurnal</i> )

Sumber : Pasaribu et al., 2022 / Source : Pasaribu et al., 2022

##### b. Pembuatan Domain Model

Pembuatan domain model dilakukan dengan menggunakan *software* MIKE 21 dengan menggunakan modul MIKE 21 dengan menggunakan modul Flow Model FM (DHI, 2014). Modul ini pada umumnya digunakan untuk mengetahui pola pada arus laut (Amirullah et al., 2014; Sri Suharyo & Adrianto, 2018). Langkah awal pembuatan simulasi pemodelan arus yaitu dengan cara pembuatan domain model untuk menentukan luasan dan area pada lokasi penelitian. Selanjutnya untuk simulasi pemodelan arus yaitu dengan cara membuat mesh dengan memasukkan data posisi garis pantai dan data batimetri dengan menggunakan modul *mesh generator*, selanjutnya menentukan *boundary condition* untuk menentukan batasan area model. Untuk batas terbuka yaitu bagian yang menghadap ke laut lepas atau perairan terbuka yang akan menjadi batasan area pembentukan pasang surut secara spasial dan batas tertutup

yaitu bagian darat atau garis pantai. Setelah batas domain terbentuk, tahapan selanjutnya adalah melakukan *gridding* berupa *unstructured mesh*. Grid berbentuk segi tiga yang ukurannya berbeda-beda. Selanjutnya dilakukan interpolasi data batimetri ke dalam bentuk spasial 2 (dua) dimensi. Tampilan domain model dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Tampilan domain model di Perairan Teluk Bakau.

### c. Arah dan Kecepatan Angin

Data arah dan kecepatan angin dilakukan dengan tujuan untuk pembangkit model arus. Koreksi data arah dan kecepatan angin menggunakan beberapa persamaan berikut mengacu pada (Suhana *et al.*, 2021; Adji *et al.*, 2020). Koreksi kecepatan angin terdiri dari beberapa tahapan diantaranya yaitu koreksi ketinggian, koreksi durasi, koreksi stabilitas, koreksi efek lokasi, dan *wind stress faktor*. Data angin hasil koreksi digunakan sebagai input untuk mendapatkan persentase arah dan kecepatan angin yang bertiup setiap musim selama 1 tahun dan ditampilkan dalam bentuk mawar angin (*wind rose*) menggunakan *software* MIKE 21. Pengolahan data arah dan kecepatan angin menggunakan *software* MIKE 21 dengan modul time series diawali dengan melakukan input data berupa jam, tanggal, bulan, tahun, serta arah dan kecepatan angin untuk dilakukan konversi data. Untuk menampilkan bentuk mawar angin (*wind rose*) data yang sudah dikonversi selanjutnya diinput dengan modul *plot composer* untuk ditampilkan dalam bentuk mawar angin (*wind rose*).

## 2.5. Analisis Data Validasi Arus

### a. Uji Normalitas dan Uji Anova

Uji normalitas bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi, variabel pengganggu atau residual memiliki distribusi normal atau tidak (Siregar & Syofiyon, 2015). Uji normalitas berguna untuk menentukan data yang telah dikumpulkan lalu berdistribusi normal atau diambil dari populasi normal. Metode yang digunakan pada uji normalitas adalah metode Kolmogorov-Smirnov.

Menurut Marpaung *et al.*, (2017) uji Anova adalah bentuk khusus dari analisis statistik yang banyak digunakan dalam penelitian eksperimen. Hal pertama yang harus dilakukan pada saat analisis anova satu arah adalah membuat asumsi bahwa data tersebut berdistribusi normal. Selanjutnya, membuat kalimat hipotesis ( $H_0$  dan  $H_1$ ), lalu menentukan nilai signifikan dengan nilai Sig (P Value). Untuk menentukan nilai  $H_0$  dan  $H_1$  diterima, maka ketentuan yang harus diikuti adalah jika (P Value)

sama atau lebih kecil dari nilai 0.05 , maka H0 diterima dan H1 ditolak dan bila (P Value) lebih besar dari 0.05, maka H0 ditolak dan H1 diterima. Sebagai soalan diketahui bahwa nilai arah dan kecepatan arus simulasi model terhadap lapangan, H0 dan H1 diterima karena tidak ada perbedaan secara signifikan antara kedua nilai tersebut.

**b. RMSE (Root Mean Square Error)**

RMSE (*Root Mean Square Error*) digunakan untuk validasi hasil model arus laut dengan melakukan perbandingan data yang dihasilkan dari simulasi model dengan data hasil pengukuran dilapangan. Perhitungan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dengan menggunakan persamaan berikut (Wang & Yanmin, 2018).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- At : Hasil pengukuran di lapangan
- Ft : Hasil pemodelan
- n : Jumlah data

**Tabel 2. Nilai Interpretasi pada RMSE.**

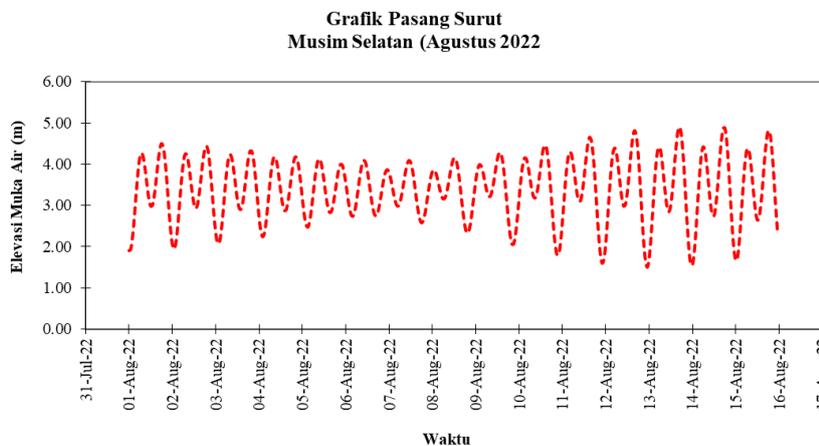
RMSE	Tingkat Kesalahan
0,00 - 0,299 (0% - 29,9%)	Kecil
0,30 - 0,599 (30% - 59,9%)	Sedang
0,60 - 0,899 (60% - 89,9%)	Besar
>0,9 (>90%)	Sangat Besar

Sumber : Astari *et al.*, 2018 / Source : Astari *et al.*, 2018

**3. Hasil dan Pembahasan**

**3.1. Tipe dan Pola Pasang Surut**

Tipe dan pola pasang surut diperairan Teluk Bakau dapat dilihat berdasarkan elevasi muka air. Berdasarkan pengolahan data pasang surut menunjukkan bahwa kondisi pasang tertinggi di perairan Teluk berkisar 4.90 m dan terendah berkisar -1.90 m. Grafik elevasi muka air laut dapat dilihat pada **Gambar 3.**



**Gambar 3. Grafik Elevasi Muka Air Perairan Teluk Bakau.**

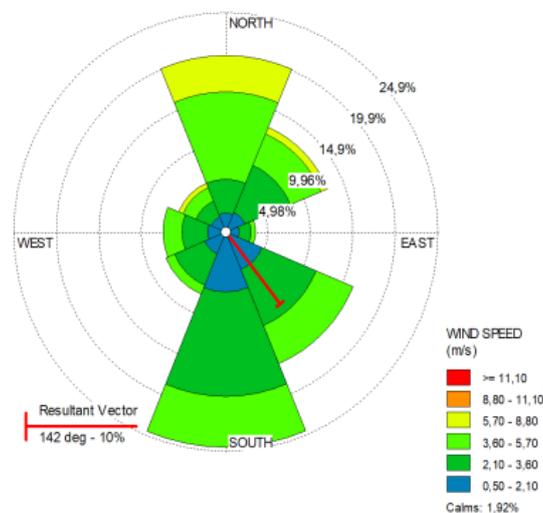
Pasang surut di perairan Teluk Bakau diklasifikasikan sebagai pasang surut tipe campuran condong harian ganda (*mixed predominantly semi diurnal tide*). Tipe pasang surut ini diperoleh berdasarkan perhitungan nilai formzahl (F) yaitu 0,65 (**Tabel 3**). Berdasarkan hasil perhitungan komponen harmonik pasang surut (**Tabel 3**) bahwa komponen pada perairan Teluk Bakau dipengaruhi oleh komponen M2 (komponen harian ganda akibat pengaruh bulan). Hasil dari penelitian yang dilakukan bahwa pasang surut di perairan Pulau Bintang bagian timur adalah pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed predominantly semi diurnal tide*) dengan bilangan formzahl  $0.25 < F \leq 1.5$ . Tipe pasang surut pada setiap wilayah di permukaan bumi tidak selalu sama. Hal ini disebabkan oleh perbedaan besarnya gaya tarik bulan dan matahari yang tidak sama pada setiap wilayah atau dengan kata lain tergantung pada posisi tempat serta keadaan topografi dasar lautnya (Muhidin *et al.*, 2020). Hasil perhitungan pasang surut pada perairan Teluk Bakau terdapat tipe yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi terkadang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dengan memiliki tinggi dan waktu berbeda (Irawan, 2017). Berdasarkan Muhidin *et al.*, (2020) pasang surut di perairan Indonesia bersifat campuran sebagai perambatan dari dua samudera yang bersifat campuran, terutama jenis pasang surut campuran condong ke harian ganda. Perambatan pasang surut ini dipengaruhi oleh kedalaman suatu perairan. Laut Jawa bagian timur menerima perambatan pasang surut dari Samudra Pasifik melalui Laut Banda dan Selat Malaka yang merupakan perairan dalam, sedangkan pada Laut Jawa bagian barat juga mendapat perambatan pasang surut dari Samudera Pasifik namun melalui Laut Cina Selatan yang merupakan perairan dangkal.

**Tabel 3. Komponen Harmonik Pasang Surut di Perairan Teluk Bakau.**

	M2	S2	N2	K1	O1	K2	P1
Amplitudo (m)	0.82	0.25	0.17	0.46	0.24	0.07	0.15
Fase (°)	80.10	169.77	9.16	52.97	241.17	169.77	52.97
Formzahl (F)	<b>0.65</b>						

### 3.2. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin

Distribusi arah angin terbagi menjadi 8 arah mata angin diantaranya utara, timur laut, timur, tenggara, selatan, barat daya, barat dan barat laut. Hasil frekuensi kejadian angin dan mawar angin (windrose) yang telah di klasifikasikan berdasarkan arah dan kecepatan angin dapat dilihat pada (**Tabel 4** dan **Gambar 4**) angin dominan bertiup dari arah selatan dengan presentase frekuensi kejadian sebesar 24.38% dengan dominan kecepatan berkisar 2.1-3.6 m/s. Berikut adalah tampilan distribusi frekuensi arah dan kecepatan angin pada perairan Teluk Bakau selama Desember 2021 – November 2022.



**Gambar 4. Mawar Angin Selama 1 Tahun (Desember 2021-November 2022).**

**Tabel 4. Persentase Arah dan Kecepatan Angin Desember 2021-November 2022.**

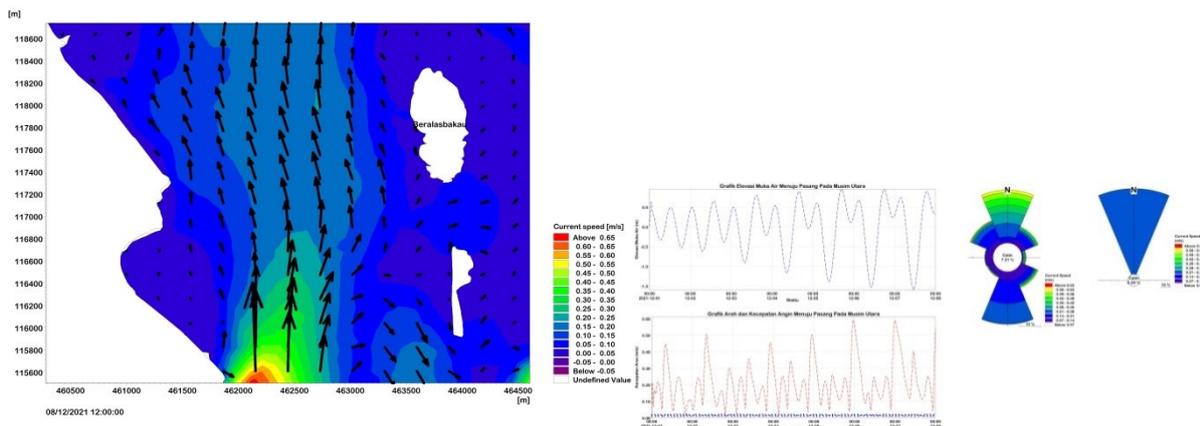
Direction	Speed (m/s)						Direction (%)
	0.5-2.1	2.1-3.6	3.6- 5.7	5.7-8.8	8.8-11.1	>= 11.1	
North	2.19	3.84	9.86	4.11	0.00	0.00	20.00
Northeast	2.47	5.75	3.84	0.82	0.00	0.00	12.88
East	1.64	1.37	0.55	0.00	0.00	0.00	3.56
Southeast	4.66	6.85	4.66	0.00	0.00	0.00	16.16
South	6.85	11.78	5.75	0.00	0.00	0.00	<b>24.38</b>
Southwst	2.74	3.84	1.10	0.00	0.00	0.00	7.67
West	2.19	3.01	2.19	0.00	0.00	0.00	7.40
Northwest	1.92	1.92	1.64	0.55	0.00	0.00	6.03
<b>Sub Total</b>	24.66	<b>38.36</b>	29.59	5.48	0.00	0.00	98.08
<b>Calms</b>							1.92
<b>Total</b>							100

3.3. Model Pola Arus Permusim

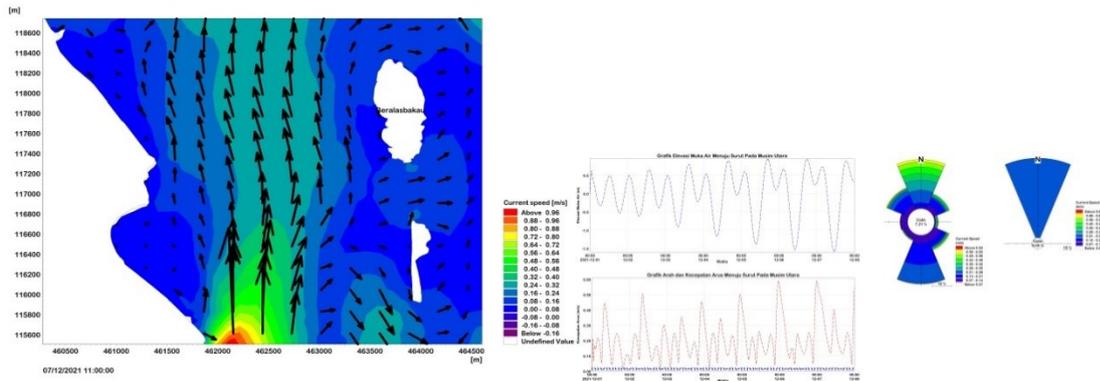
Hasil pola arus permusim ini tidak disajikan secara keseluruhan pada simulasi model, hanya disajikan pada kondisi tertentu yang menggambarkan arus musiman dan arus yang dipengaruhi oleh angin dan pasang surut. Arus musiman atau yang di pengaruhi oleh angin musiman diperoleh dari hasil rata-rata simulasi model. Untuk melihat pengaruh angin dan pasang surut maka penjelasan arus musiman disajikan dalam dua kondisi, yaitu saat menuju pasang dan saat menuju surut.

a. Musim Utara

Pada musim utara kecepatan arus rata-rata berkisar 0,22 m/s. Pada saat musim utara kondisi pasang tertinggi (p) kecepatan arus laut berkisar 0,61 m/s dengan vektor arus bergerak menuju ke arah utara perairan Teluk Bakau dengan elevasi muka air berkisar 1.57 m. Pada saat kondisi surut terendah (Gambar 6) kecepatan arus berkisar 0,00 m/s dengan vektor arus dominan bergerak menuju utara, namun ada beberapa vektor yang bergerak menjauhi pantai dengan elevasi muka air berkisar -1,60 m/s. Pada saat musim utara kondisi pasang tertinggi dan surut terendah angin bertiup dari arah utara.



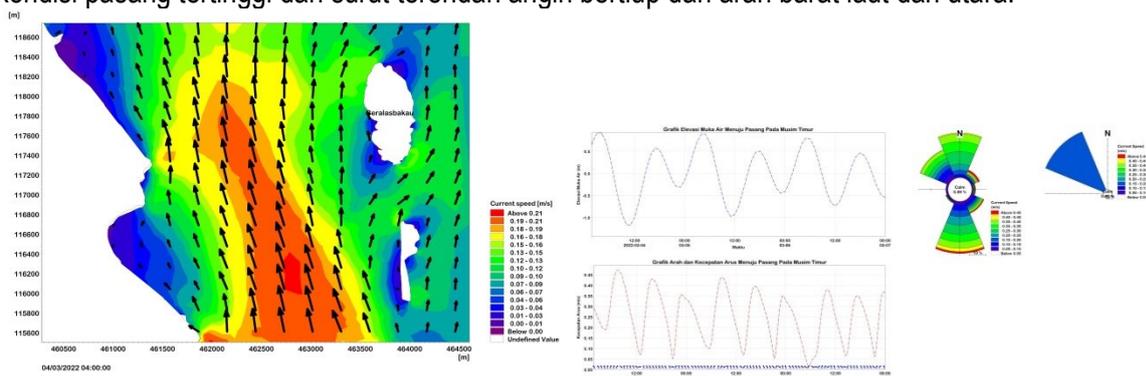
**Gambar 5. (A) Pola Arus Menuju Pasang Musim Utara; (B) Grafik Elevasi Pasang Surut; (C) Grafik Kecepatan Arus; (D) Arah Arus.**



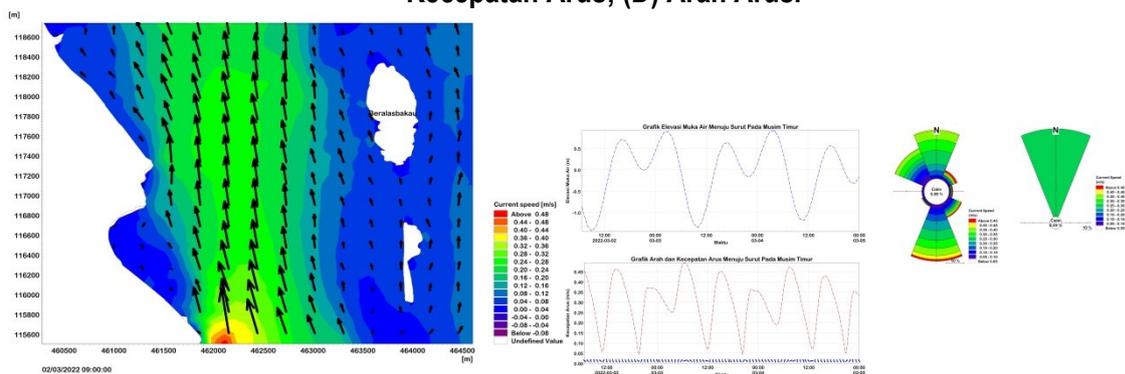
**Gambar 6. (A) Pola Arus Menuju Surut Musim Utara; (B) Grafik Elevasi Pasang Surut; (C) Grafik Kecepatan Arus; (D) Arah Arus.**

**b. Musim Timur**

Pada musim timur kecepatan arus rata-rata berkisar 0,24 m/s. Arus laut pada saat kondisi pasang tertinggi (**Gambar 7**) kecepatan arus berkisar 0.49 m/s dengan vektor arus menuju ke arah utara perairan Teluk Bakau dengan elevasi muka air 0.92 m. Pada saat kondisi surut terendah (**Gambar 8**) kecepatan arus berkisar 0.01 m/s dengan vektor arus bergerak menjauhi pantai menuju ke utara dan timur laut perairan Teluk Bakau dengan elevasi muka air berkisar -1,44 m. Pada saat musim timur kondisi pasang tertinggi dan surut terendah angin bertiup dari arah barat laut dan utara.



**Gambar 7. (A) Pola Arus Menuju Pasang Musim Timur; (B) Grafik Elevasi Pasang Surut; (C) Grafik Kecepatan Arus; (D) Arah Arus.**

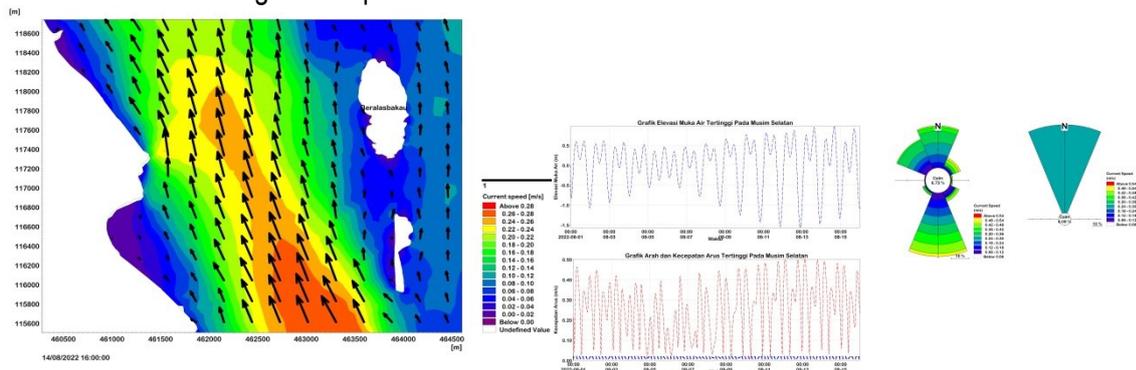


**Gambar 8. (A) Pola Arus Menuju Surut Musim Timur; (B) Grafik Elevasi Pasang Surut; (C) Grafik Kecepatan Arus; (D) Arah Arus.**

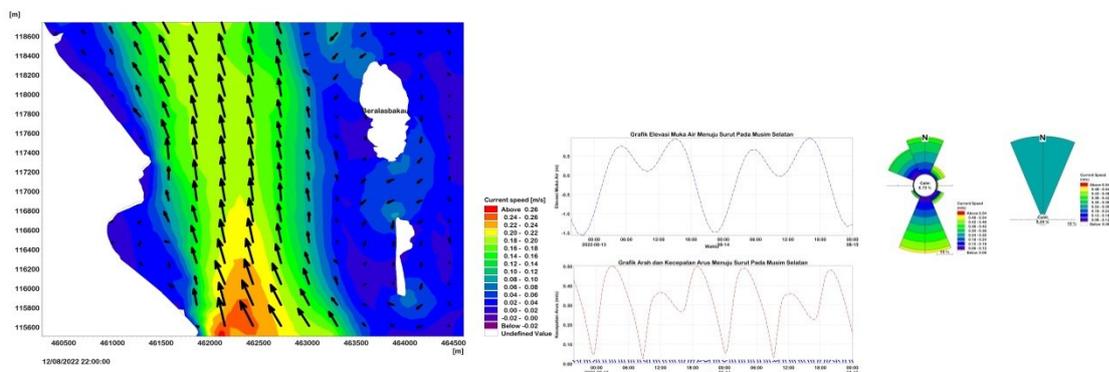
**c. Musim Selatan**

Musim selatan kecepatan arus rata-rata 0,26 m/s. Arus laut pada saat kondisi pasang tertinggi (**Gambar 9**) kecepatan arus berkisar 0,50 m/s dengan vektor arus bergerak menuju ke arah selatan perairan Desa Berakit dengan elevasi muka air berkisar 0.97 m. Pada saat kondisi surut terendah (**Gambar 10**)

kecepatan arus berkisar 0,01 dengan arah arus bergerak menjauhi pantai menuju utara perairan Desa Berakit dengan elevasi muka air berkisar -1,57 m. Pada saat musim selatan kondisi pasang tertinggi dan surut terendah angin bertiup dari arah utara.



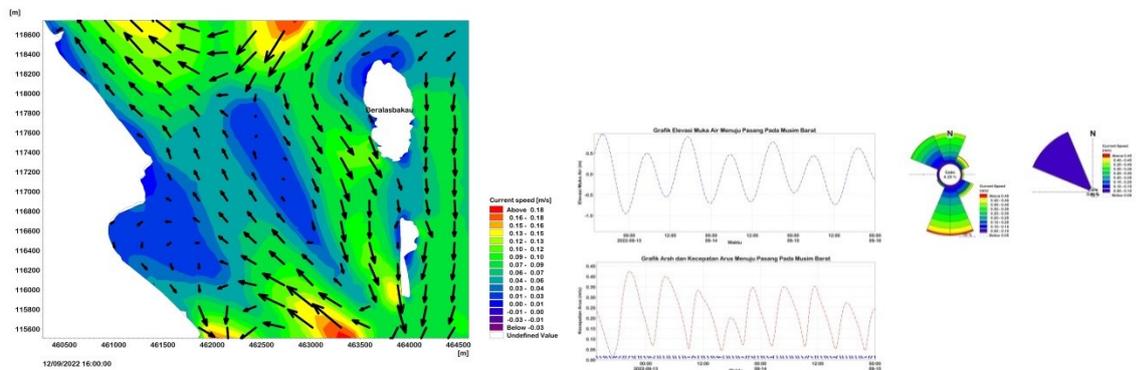
**Gambar 9. (A) Pola Arus Menuju Pasang Musim Selatan; (B) Grafik Elevasi Pasang Surut; (C) Grafik Kecepatan Arus; (D) Arah Arus.**



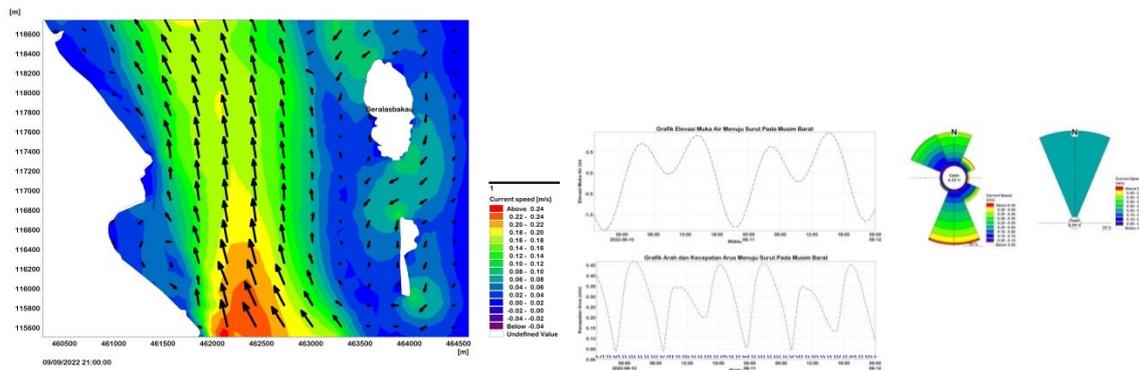
**Gambar 10. (A) Pola Arus Menuju Surut Musim Selatan; (B) Grafik Elevasi Pasang Surut; (C) Grafik Kecepatan Arus; (D) Arah Arus.**

**d. Musim Barat**

Musim barat kecepatan arus rata-rata berkisar 0,24 m/s. Arus laut pada saat kondisi pasang tertinggi (**Gambar 11**) kecepatan arus berkisar 0,47 m/s dengan vektor arus bergerak menuju secara acak dengan elevasi muka air berkisar 0.96 m. Pada saat kondisi surut terendah (**Gambar 12**) kecepatan arus berkisar 0,01 m/s dengan vektor arus bergerak menuju ke selatan perairan, namun ada vektor arus yang bergerak dari arah barat menuju ke arah utara dengan elevasi muka air berkisar – 1.39 m. Pada saat musim barat kondisi pasang tertinggi dan surut terendah angin bertiup dari barat laut dan utara.



**Gambar 11. (A) Pola Arus Menuju Pasang Musim Barat; (B) Grafik Elevasi Pasang Surut; (C) Grafik Kecepatan Arus; (D) Arah Arus.**



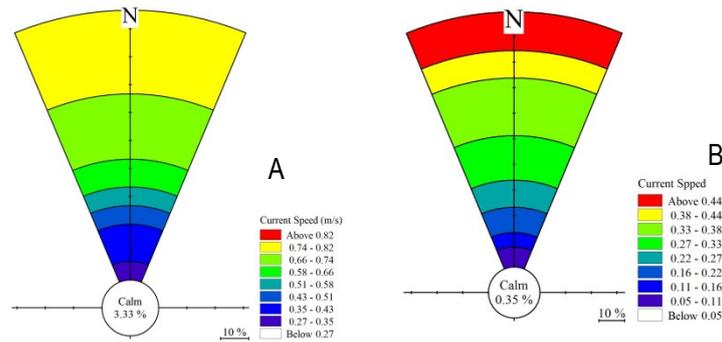
**Gambar 12. (A) Pola Arus Menuju Surut Musim Barat; (B) Grafik Elevasi Pasang Surut; (C) Grafik Kecepatan Arus; (D) Arah Arus.**

Berdasarkan hasil simulasi arus pada perairan Teluk Bakau, arus dominan bergerak tidak sesuai atau berbeda dari hembusan angin. Kecepatan angin rata-rata pada setiap musimnya tidak berpengaruh signifikan terhadap kecepatan rata-rata arus permukaan pada perairan Teluk Bakau. Menurut (Aziz, 2006), arus permukaan laut khususnya pada perairan dangkal sangat kuat mendapat pengaruh dari pasang surut, gesekan angin di permukaan, perbedaan gradien tekanan maupun densitas air laut. Oleh karena itu, pada perairan Teluk Bakau arus laut dominan bergerak tidak sesuai dengan arah angin, hal ini terjadi karena pola arus permukaan laut khususnya pada perairan dangkal ini banyak faktor yang mempengaruhinya.

Kecepatan arus laut permukaan umumnya juga dipengaruhi oleh adanya perbedaan kedalaman perairan, dimana kecepatan arus laut lebih besar pada kedalaman perairan yang lebih dangkal sedangkan pada perairan yang lebih dalam kecepatan arus dominan lebih kecil (Meidji *et al.*, 2022). Pola pergerakan arus di perairan Teluk Bakau berdasarkan hasil simulasi model merupakan pola arus yang dibangkitkan oleh pasang surut dengan asumsi tidak ada pengaruh angin dan juga gesekan dasar hal ini sesuai dengan pernyataan Hardani *et al.*, (2015) bahwasannya arus yang faktor pembangkit utamanya adalah pasang surut dominan bergerak ke dua arah. Pola arus pada perairan Teluk Bakau dominan bergerak ke dua arah (*bi-directional*) yaitu utara dan barat daya. Dari hasil simulasi model menunjukkan adanya perbedaan pola arus yang terbentuk pada saat kondisi pasang dan kondisi surut, bahwasannya arus di sekitar sungai, estuari dan teluk gerakan arus pasang surut adalah bolak balik, dimana pada masing-masing kondisi pasang surut pola arus pasang surutnya akan berbeda Permadi *et al.*, (2015). Pergerakan arus bolak-balik dikarenakan adanya perubahan batimetri dan elevasi muka air laut. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Poerbandono & Djunasjah, 2005) bahwasannya arus pasang surut mempunyai arah sifat yang berlawanan dari arah menuju pantai dan menjauhi pantai yang menyebabkan meninggi dan merendahnya permukaan laut.

### 3.4. Validasi Data Arus

Hasil pengukuran dan validasi data arus yang dihasilkan dari model dan instrumen. Data arus ini digunakan untuk mengetahui nilai arah dan kecepatan arus lapangan dan simulasi model dengan menggunakan uji normalitas dan uji *One Way Anova* (satu arah). Validasi data arus lapangan dan simulasi model dapat dilihat pada gambar 13 berupa *windrose* (mawar angin).



Gambar 13. (A) Arus Lapangan; (B) Arus Simulasi Model.

**a. Uji Normalitas**

Berdasarkan hasil uji normalitas kecepatan arus model terhadap kecepatan arus lapangan pada *Test Normality Statistic* dapat diketahui bahwa nilai Sig. (P value 0.541 > 0.05) bahwa nilai dapat disimpulkan bahwa berdistribusi normal (Tabel 5). Hasil uji normalitas arah arus model terhadap arah arus lapangan pada *Test Normality Statistic* diketahui bahwa nilai Sig. (P value 1.000 > 0.05) bahwa nilai dapat disimpulkan bahwa berdistribusi normal (Tabel 6).

**Tabel 5. Test Normality Statistic Pada Kecepatan Arus Model Terhadap Kecepatan Arus Lapangan.**

TEST NORMALITY STATISTIC		
Kecepatan Arus		
Most Extreme Differences	Absolute	0.429
	Positive	0.000
	Negative	-0.429
Kolmogrov-Smirnov Z		0.802
<b>Asymp. Sig. (2-tailed)</b>		<b>0.541</b>

**Tabel 6. Test Normality Statistic Pada Arah Arus Model Terhadap Arah Arus Lapangan.**

TEST NORMALITY STATISTIC		
Arah Arus		
Most Extreme Differences	Absolute	0.100
	Positive	0.100
	Negative	0.000
Kolmogrov-Smirnov Z		0.229
<b>Asymp. Sig. (2-tailed)</b>		<b>1.000</b>

**b. Uji Anova**

Hasil uji *one-way* anova kecepatan arus model terhadap kecepatan arus lapangan dengan nilai Sig. (P Value 0.198 ≥ 0.05), berkesimpulan bahwa nilai kecepatan arus pada kedua data tersebut tidak ada perbedaan secara signifikan (Tabel 7). Hasil uji *one-way* anova arah arus model terhadap arus lapangan dengan nilai Sig. (P Value 0.306 ≥ 0.05), berkesimpulan bahwa nilai arah arus pada kedua data tersebut tersebut tidak ada perbedaan secara signifikan.

**Tabel 7. Uji One Way Anova Pada Kecepatan Arus Model Terhadap Kecepatan Arus Lapangan.**

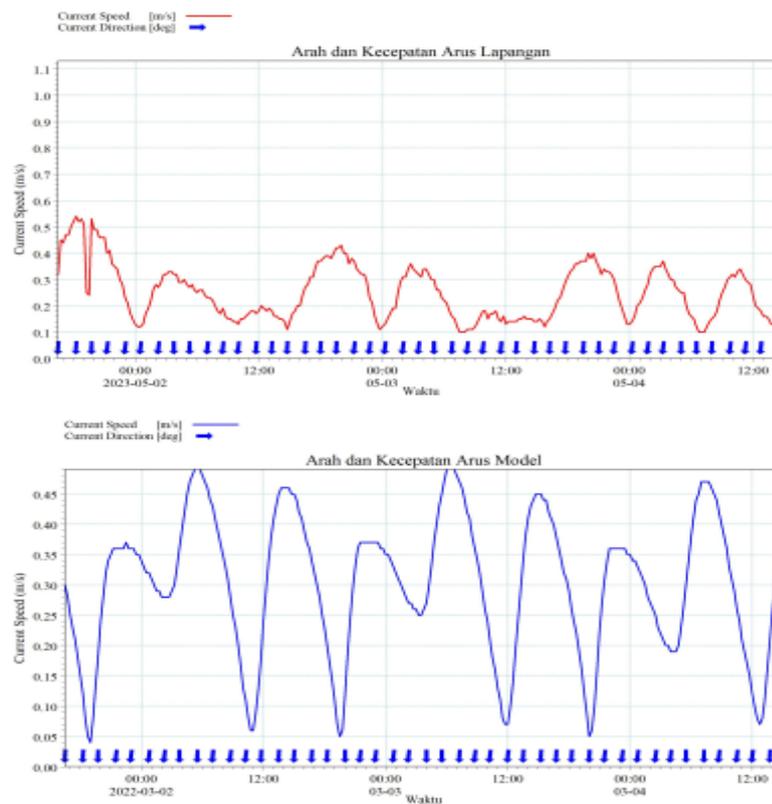
ONE WAY ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Kec. Arus Model	Between Groups	5720.643	1	5720.643	1.853	<b>0.198</b>
	Within Groups	37047.714	12	3087.310		
	Total	42768.357	13			

**Tabel 8. Uji One Way Anova Pada Arah Arus Model Terhadap Arah Arus Lapangan.**

ONE WAY ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Arah Arus Model	Between Groups	4195.138	1	4195.138	1.106	<b>0.306</b>
	Within Groups	72080.100	19	3793689		
	Total	76275.238	20			

**c. RMSE (Root Mean Square Error)**

Validasi dari hasil pencuplikan kedua data tersebut diperoleh nilai sebesar 0.19 atau sama dengan 19% dengan kategori kecil (Astari *et al.*, 2018). Grafik arah kecepatan arus lapangan dan simulasi model dapat dilihat pada **Gambar 14**.



**Gambar 14. Grafik Arah Kecepatan Arus Lapangan dan Simulasi Model.**

Validasi data pada penelitian ini untuk mengetahui perbedaan nilai kecepatan dan arah arus model terhadap lapangan. Sebelum melakukan uji hipotesis maka terlebih dahulu melakukan uji statistik *one-way* anova sebagai teknik analisis datanya. Adapun Uji asumsi dasar yaitu uji normalitas. Uji normalitas data dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kenormalan distribusi antara nilai data

dilapangan dan simulasi model. Untuk mengetahui normalitas dapat digunakan signifikansi yang ada pada hasil penghitungan menggunakan SPSS (*Stastical Program for Social Science*) 21, Apabila nilai signifikansi lebih besar atau sama dengan 0,05, maka berdistribusi normal, jika nilai signifikansi kurang, maka data tidak berdistribusi normal (Santoso & Singgih, 2015).

Data arah dan kecepatan arus simulasi model terhadap lapangan dilakukan pengujian normalitas data untuk mengetahui data tersebut berdistribusi normal atau tidak. Hasil uji normalitas data yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai arah dan kecepatan arus simulasi model terhadap lapangan berdistribusi normal. Setelah melakukan uji normalitas data dilanjutkan dengan melakukan uji *One Way* anova untuk mengetahui nilai arah dan kecepatan arus model terhadap lapangan ada perbedaan nilai secara signifikansi atau tidak. Pada saat dilakukan uji *One Way* anova nilai arah dan kecepatan arus simulasi model terhadap arus lapangan, H0 dan H1 diterima karena tidak ada perbedaan secara signifikan antara kedua nilai tersebut.

Untuk membuktikan nilai kedua data tersebut tidak ada perbedaan secara signifikan yakni menggunakan uji akurasi RMSE (*Root Mean Square Error*) yang dimana nilai tersebut digunakan untuk mengukur tingkat akurasi hasil perkiraan pada suatu model. Nilai uji akurasi menggunakan RMSE pada data arus simulasi model terhadap lapangan sebesar 0.19 atau sama dengan 19%. Dari perhitungan uji normalitas dan uji anova diketahui bahwa arus simulasi model terhadap lapangan nilai berdistribusi normal dan tidak perbedaan nilai secara signifikan pada kedua data sehingga berdasarkan nilai RMSE menunjukkan bahwa perbedaan nilai antara hasil simulasi model dengan pengukuran data secara langsung relatif kecil. Hal ini juga menunjukkan bahwa model arus permukaan laut yang dibuat cukup untuk menggambarkan kondisi sebenarnya.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, kecepatan arus rata-rata pada musim utara berkisar 0.22 m/s, kecepatan arus rata-rata pada musim timur berkisar 0.24 m/s, kecepatan arus rata-rata pada musim selatan berkisar 0.26 m/s dan pada musim barat kecepatan arus rata-rata berkisar 0.24 m/s dengan arah dominan menuju utara dan barat laut. Hal ini menunjukkan bahwa pertemuan massa air yang berbeda sehingga kecepatan dan arah arus mengakibatkan terjadinya arus acak atau berputar. Dengan pola tersebut dapat dijadikan sebagai acuan penentuan daerah berbahaya secara spasial dan temporal. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan bahwa hasil validasi data arus simulasi model dan data arus lapangan pada RMSE menunjukkan 19% dengan kategori kecil dan tidak adanya perbedaan nilai secara signifikan sehingga menggambarkan kondisi real (nyata) pada perairan Teluk Bakau.

#### Daftar Pustaka

- Adji, S. H., Putra, R. D., Suhana, M. P., Febrianto, T., & Koenawan, C. J. (2020). Characteristic of sea waves Southern Batam City Waters-Northern Lingga District waters. *Journal of Applied Geospatial Information*. 4(2), 367–371.
- Amirullah, A. N., Sugianto, D. N., & Indrayanti, E. 2014. Kajian pola arus laut dengan pendekatan model hidrodinamika dua dimensi untuk pengembangan pelabuhan Kota Tegal. *Journal of Oceanography*. 3(4), 671-682.
- Arifiyanto, Pranowo, W.S., Fatoni, K.I. & Dewi, A.R.T. (2016). Pengolahan dan penyajian data arus pasang surut hasil pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) sontek argonaut-XR menggunakan perangkat lunak T\_Tide\_V1.3beta. *Jurnal Hidropilar*. 1(2), 56–67.
- Astari, K. F., A. Hendri., & M. Fauzi. (2018). Analisis pasang surut perairan Dumai menggunakan metode admiralty. *Jom FTEKNIK*. 5(2), 1-7.
- Azis, F. (2006). Gerak air di laut. *J. Oseana*. 31(4), 9–21.
- [DHI] Danish Hydraulic Institute. (2014). *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM. Hydrodynamic Module. Step by Step Training Guide*. DHI.

- Hardani, O. M., Rifai, A., Sugianto, D. N. (2015). Kajian pola arus di Teluk Ujungbatu Jepara. *Journal of Oceanography*. 4(1), 242-252.
- Harjono, S., Dewi, A.R.T., Rawi, S., & Fauzi, A. (2016). Akuisisi data arus ADCP teledyne dengan sistem sea bottom mounted dan processing data arus. *Jurnal Hidropilar*. 1(1), 79-89.
- Irawan, S. (2017). Kondisi hidro-oseanografi perairan Pulau Bintan (studi kasus perairan Teluk Sasah). *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*. 10(1), 41-53. <https://doi.org/10.21107/jk.v10i1.2145>.
- Leksono, A., Atmodjo, W., & Maslukah, L. (2013). Studi arus laut pada musim barat di perairan pantai Kota Cirebon. *Journal of Oceanography*. 2(3), 206-213.
- Lareno, B. (2015). Analisa Dan Perbandingan Akurasi Model Prediksi Rentet Waktu Arus Lalu Lintas Jangka Pendek. *CSRID (Computer Science Research and Its Development Journal)*. 6(3), 148. <https://doi.org/10.22303/csrid.6.3.2014.148-158>.
- Meidji, I. U., Demulawa, M., & Rifai, R. R. (2022). Kajian model hidrodinamika sebaran pola arus permukaan di Teluk Palu. *Jurnal Pembelajaran dan Sains Fisika*. 3(1), 30-37.
- Milasari, A., Ismunarti, D. H., Indrayanti, E., Muldiyatno, F., Ismanto, A., & Rifai, A. (2021). Model arus permukaan Teluk Lampung pada musim peralihan II dengan pendekatan hidrodinamika. *Jurnal Buletin Oseanografi Marina*. 10(3), 259–268.
- Muhidin, A., Atmawidjaja, R. R., & Riadi, B. (2020). Analisis tipe dan karakteristik pasang surut di Pulau Jawa. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Geodesi*. 1(1), 1-10.
- Pasaribu, R., P, Sewiko., & R, Arifin. (2022). Penerapan metode admiralty untuk mengolah data pasang surut di perairan Selat Nasik, Bangka Belitung. *Jurnal Ilmiah Platax*. 10(1), 149.
- Permadi, L., C., Indrayanti, E., & Rochaddi, B. (2015). Studi arus pada perairan laut di sekitar PLTU Sumuradem Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat. *Oseanografi*. 4(2), 516-523.
- Poerbandono & E, Djunansjah. (2005). *Survei hidrografi*. Refika Aditama, Bandung. 180 Halaman .
- Pugh. (1987). *Tides, Surges and Mean Sea Level*. California (USA). John Wiley & Sons Ltd.
- Riyadi, A., & Santos, M. 2018. Kondisi Oseanografi di Selat Matak Kabupaten Kepulauan Anambas Melalui Model Hidrodinamika. *Jurnal Air Indonesia*. 7(2), 181-192.
- Santoso & Singgih. (2015). *Statistik NonParametrik*. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta. 300 Halaman.
- Siregar & Syofian. (2015). *Statistika Parametrik Untuk Penelitian Kuantitatif Dilengkapi Dengan Perhitungan Manual dan Aplikasi SPSS Versi 17*. Bumi Aksara. Jakarta. 560 Halaman.
- Sontek/YSI. (2017). *Argonaut Acoustic Doppler Current Meter Technical Documentation*. (Manual Book). San Diego.
- Suhana, M. P. (2016). *Analisis Perubahan Garis Pantai di Pantai Timur Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau*. Tesis. Institut Pertanian Bogor. 99 Halaman.
- Suhana, M. P., Shafitri, L. F., Putra, R. D., Nugraha, A. H., Koenawan, C. J., Idris, F., Karlina, I., Febrianto, T., Anggraini, R., Apdillah, D., Nurjaya, I.W., Natih, N. M. N., Syakti, A. D. (2021). Characteristics of sea waves condition at the northern and eastern of Bintan Island within period of 2015-2019. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1–10. IOP Publishing Ltd.
- Suharyo, S., O & Adrianto, D. 2018. Studi hasil running model arus permukaan dengan software numerik mike 21/3 (guna penentuan lokasi penempatan stasiun energi arus Selat Lombok (Nusapenida). *Applied Technology and Computing Science Journal*. 1(1), 30-38.
- Wisha , U. J., Husrin, S., & Prihantono, J. (2015). Hidrodinamika Perairan Teluk Banten pada musim peralihan (Agustus-September). *Jurnal Ilmu Kelautan*. 20(2), 101-112.
- Wang. W & Lu. Y. 2018. Analysis of the Mean Absolute Error (MAE) and the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Rounding Model. *IOP Conf. Series Materials Science and Engineering*. 324(1), 012049. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/324/1/012049>.

Yuningsih, A. & Achmad, M. (2011). Potensi energy arus laut untuk pembangkit tenaga listrik di Kawasan Pesisir Flores Timur, NTT. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Teknologi Kelautan Tropis*. 3(1), 13-25.