

**PEMODELAN ARUS PASANG SURUT 2D
MENGUNAKAN METODE NUMERIK *FLOW MODEL MIKE 21*
DI PERAIRAN PELABUHAN PAOTERE MAKASSAR PADA BULAN JANUARI 2024**

***2D TIDAL CURRENT MODELING
USING THE MIKE 21 FLOW MODEL NUMERICAL METHOD
IN THE WATERS OF PAOTERE PORT MAKASSAR IN JANUARY 2024***

¹Linaria Anugraheni *, ²Kurnia Malik, ²Arochim

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya

²Pusat Hidro-oseanografi TNI Angkatan Laut

*Koresponden penulis: linariaa16@student.ub.ac.id

Abstrak

Pelabuhan Paotere merupakan pelabuhan penting yang berada di Makassar karena salah satu jalur perdagangan sehingga perairan tersebut ada penelitian perairan tersebut salah satunya mengenai pola arus yang dapat mendukung keselamatan navigasi dan proses sedimentasi yang terjadi didalam pelabuhan tersebut. Penelitian ini bertujuan memodelkan pola arus pasang surut dua dimensi (2D) di perairan Pelabuhan Paotere, Makassar, pada Januari 2024 menggunakan MIKE 21 Flow Model (FM) untuk mengkaji karakteristik kecepatan dan arah arus yang dipengaruhi oleh pasang surut. Hasil model akan divalidasi menggunakan data buku prediksi pasang surut milik Pushidrosal dengan perhitungan RMSE (*Root Mean Square Error*). Hasil pemodelan menunjukkan kecepatan arus pasang surut yang bervariasi antara 0,01–0,02 m/s. Arah arus dominan bergerak dari utara ke barat daya pada saat surut, sedangkan pada saat pasang atau menuju pasang, arus cenderung berbelok ke tenggara mendekati pesisir. Elevasi muka air laut maksimum tercatat 0,6 m pada pasang tertinggi, sedangkan minimum sebesar -0,74 m pada surut terendah. Hasil validasi pasang surut menunjukkan nilai RMSE sebesar 0,10 m yang mengindikasikan bahwa model yang dibangun dapat merepresentasikan kondisi aktual pola arus pasang surut di perairan Pelabuhan Paotere dengan baik. Hal ini tentunya akan sangat mendukung dalam upaya keselamatan navigasi dan kajian tentang proses sedimentasi yang akan terjadi.

Kata Kunci: Arus, MIKE 21, Pemodelan Hidrodinamika, Model Aliran, Pelabuhan Paotere

Abstract

This study aims to model the two-dimensional (2D) tidal current pattern in the waters of Paotere Port, Makassar in January 2024 using the MIKE 21 Flow Model (FM) software. This study was conducted to provide an understanding of the characteristics of the speed and direction of tidal currents influenced by tides and wind. The model results will be validated using data from the Pushidrosal tidal prediction book with RMSE (Root Mean Square Error) calculations. The modeling results show tidal current speeds varying between 0,01–0,02 m/s. The dominant current direction moves from north to southwest during low tide, while during high tide or approaching high tide, the current tends to turn southeast approaching the coast. The maximum sea level elevation was recorded at 0,6 m at the highest tide, while the minimum was -0,74 m at the lowest tide. The tidal validation results show an RMSE value of 0,10, indicating that the model can represent the actual conditions of the tidal current pattern in the waters of Paotere Port well.

Keyword: Current, MIKE 21, Hydrodynamic Modeling, Flow Model, Paotere Port

1. PENDAHULUAN

Arus merupakan pergerakan suatu massa air secara horizontal maupun vertikal menuju keseimbangannya pada wilayah yang luas. Arus permukaan merupakan pergerakan massa air yang dipengaruhi oleh

angin secara horizontal yang terbatas pada lapisan atas kolom air, umumnya terjadi pada permukaan hingga kedalaman kurang dari 200 meter. Pola pergerakan arus dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti

tiupan angin, perbedaan densitas, topografi, pasang surut dan pola pergerakan gelombang (Daruwedho *et al.*, 2016). Berdasarkan gaya pembangkitnya, salah satu jenis arus yaitu arus pasang surut. Arus pasang surut adalah pergerakan massa air secara horizontal yang disebabkan oleh gaya pasang surut. Pergerakan ini terjadi secara periodik mengikuti pasang naik (air laut naik mendekati daratan) dan pasang surut (air laut surut menjauhi daratan), sehingga arah dan kecepatan arus dapat berubah sesuai dengan fase pasang. Pergeseran massa air akibat perubahan tinggi muka laut tersebut memunculkan arus yang disebut arus pasang surut Indrayanti *et al.*, 2021).

Pasang surut merupakan pergerakan naik atau turun pada permukaan air laut yang terjadi secara periodik. Proses ini terjadi akibat interaksi gravitasi antara bumi, bulan, dan matahari. Perbedaan vertikal antara ketinggian air pasang tertinggi dan air surut terendah disebut rentang pasang surut (*tide range*). Waktu yang diperlukan untuk satu siklus pasang surut penuh dinamakan periode pasang surut, durasinya berkisar antara 12 jam 25 menit hingga 25 jam 50 menit (Khalid *et al.*, 2022). Berdasarkan analisis menggunakan metode Admiralty, pasang surut dapat diuraikan menjadi beberapa komponen utama seperti M2, S2, N2, K1, O1, P1, M4, MS4, dan K2 (Pasaribu *et al.*, 2022).

Arus pasang surut memiliki peran penting dalam dinamika perairan antara lain membantu proses pencampuran massa air, mendistribusikan sedimen dan nutrisi, serta memengaruhi ekosistem pesisir dan aktivitas perikanan. Salah satu manfaat utamanya adalah mendukung keselamatan navigasi dan efisiensi alur pelayaran. Dengan informasi akurat mengenai pola, kecepatan, dan arah arus, operator kapal dapat merencanakan rute yang lebih aman, menghindari kondisi arus yang dapat mempersulit atau bahkan membahayakan. Selain itu, pemahaman tentang arus memungkinkan perencanaan dan

pembangunan struktur kelautan serta pekerjaan fisik di wilayah pesisir dilakukan dengan lebih tepat dan aman (Saputro *et al.*, 2023).

Makassar merupakan sebuah wilayah yang berada di pesisir barat dan bagian selatan Pulau Sulawesi. Secara geografis, Pulau Sulawesi sendiri diapit oleh Pulau Kalimantan di sisi barat dan Kepulauan Maluku di sisi timur. Kota Makassar merupakan pusat ekonomi yang menimbulkan terjadinya peningkatan aktivitas perdagangan pada pelabuhan kota Makassar. Salah satu pelabuhan rakyat terbesar di Indonesia Timur berada di kota Makassar yaitu Pelabuhan Paotere (Djafar, 2023).

Tingginya aktivitas kapal di pelabuhan tersebut menuntut pengelolaan jalur pelayaran yang baik untuk mencegah kecelakaan (Ariyanto, 2022). Salah satu faktor yang harus dianalisa yaitu kondisi arus pada lokasi tersebut. Informasi kondisi arus dapat diketahui dengan pendekatan model hidrodinamika menggunakan *software* Mike 21 metode numerik *Flow Model* (FM). Mike 21 HD *Flow Model* (FM) dapat menggambarkan pola sirkulasi arus di laut (Hiwari, 2020). Namun, informasi kuantitatif mengenai pola arus pasang surut di Pelabuhan Paotere masih terbatas / belum terdokumentasi dengan baik, khususnya yang berbasis pemodelan numerik. Padahal, pelabuhan ini memiliki kepadatan lalu lintas kapal yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menunjang keselamatan navigasi dan mengetahui proses sedimentasi yang berlangsung di Pelabuhan Paotere.

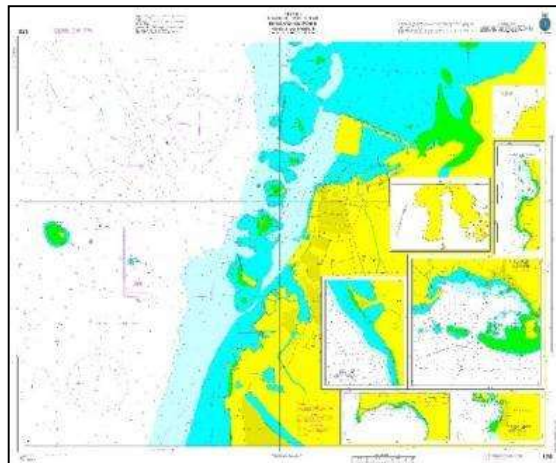
2. METODE

Metode pengolahan data yang digunakan adalah Pemodelan hidrodinamika *Flow Model* (FM) 2D MIKE 21, yaitu sistem pemodelan berbasis numerik yang dirancang untuk mensimulasikan ketinggian muka air serta pola aliran di wilayah estuari dan pesisir (Rahma *et al.*, 2022). Domain model yang

digunakan berlokasi di Perairan Pelabuhan Paotere, Makassar, Sulawesi Selatan. Lokasi penelitian berada pada koordinat bujur 119.414416° BT dan lintang -5.10700177° LS. Pemodelan arus dilakukan dengan rentang waktu pada tanggal 1 – 31 Januari 2024, dengan interval 1 jam.

Input data yang dibutuhkan dalam pemodelan hidrodinamika 2D MIKE 21 *Flow Model* (FM) di Perairan Pelabuhan Paotere Makassar, Sulawesi Selatan yaitu sebagai berikut.

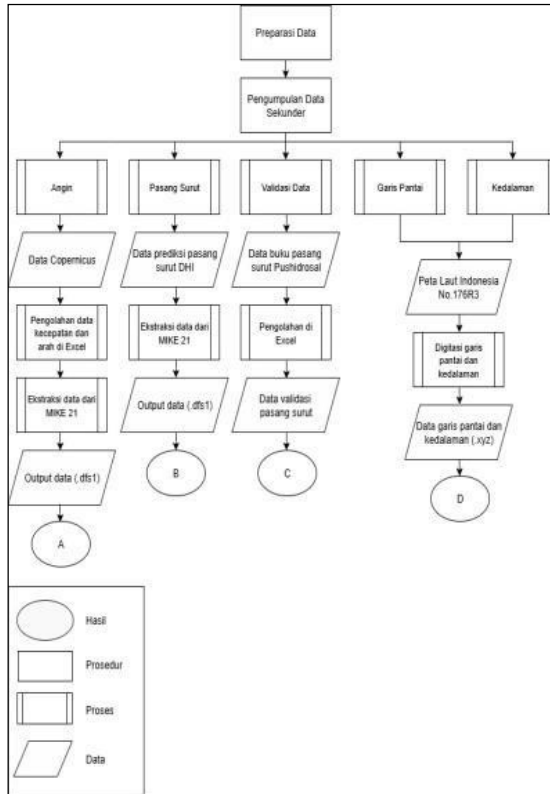
- a. Data angin sekunder yang didapatkan dari *website European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Copernicus*. Data angin yang digunakan yaitu tanggal pada 1 – 31 Januari tahun 2024, kemudian diolah menggunakan *software* Ms. Excel dan MIKE 21 dengan format .dfs0.
- b. Data pasang surut yang digunakan yaitu data sekunder dari hasil pemodelan dan data buku prediksi pasang surut Pushidrosal. Data sekunder model pasang surut didapatkan menggunakan *Tidal Prediction of Heights Toolbox* yang tersedia di MIKE 21. Data buku prediksi pasang surut Pushidrosal akan digunakan untuk validasi data pasang surut hasil pemodelan.
- c. Data kedalaman dan garis pantai didapatkan dari Peta Laut Indonesia milik Pushidrosal No. 176R3 Tahun 2022. Data kedalaman dan garis pantai didapatkan dengan cara digitasi manual menggunakan *software* ArcMap 10.8 sehingga menghasilkan data dengan format .xyz sebagai input model pada *software* MIKE 21. Data kedalaman dan garis pantai berfungsi dalam pembuatan domain wilayah kajian pemodelan arus pasang surut.



Gambar 29. Peta Laut Indonesia (PLI) No.176R3
(Sumber: Pushidrosal, 2022)

2.1 Preparasi Data

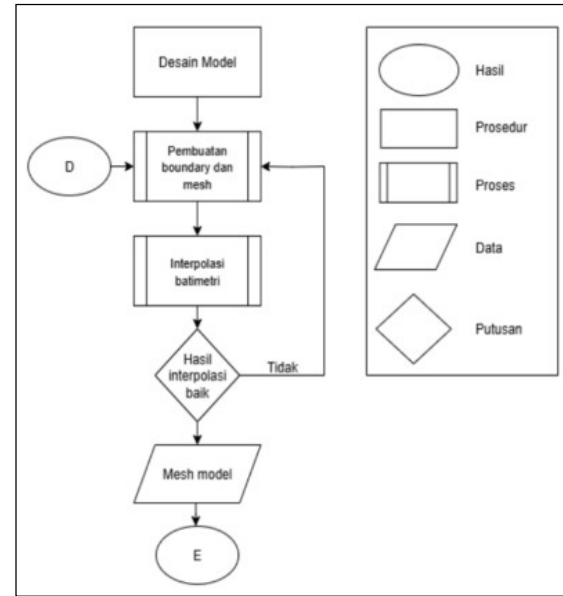
Proses preparasi data dilakukan dengan pengolahan data mentah menjadi data yang siap untuk digunakan sebagai data masukan dalam pengolahan pemodelan hidrodinamika 2D. Sumber data yang digunakan yaitu data sekunder yang akan digunakan sebagai data masukan dan validasi hasil model. Tahapan preparasi data disajikan dalam diagram alir sebagai berikut.



Gambar 30. Flowchart preparasi data

2.2 Pembuatan Desain Model

Pembuatan desain model dilakukan dengan cara memberikan batasan wilayah kajian yang akan dilakukan pemodelan. Proses tersebut akan menghasilkan *domain* model yang akan digunakan untuk membatasi luasan proses simulasi. Pemilihan posisi *domain* berpengaruh langsung terhadap stabilitas numerik dan besarnya error. Hal tersebut berfungsi untuk menghasilkan model yang akurat dan mengurangi nilai *error* atau kesalahan dalam proses simulasi. Proses desain model akan menghasilkan *mesh* dalam proses *design* mesh bukan hanya membagi area menjadi elmen tetapi juga menggambarkan garis boundary condition yang kemudian digunakan pada tahanan *setting*.



Gambar 31. Desain Model

2.3 Setting Model

Tahapan *setting* model merupakan pengaturan terhadap model hidrodinamika untuk mendapatkan komponen pola pergerakan arus pasang surut yang sesuai. Proses *setting* model membutuhkan beberapa data dan tahapan seperti *mesh domain* model, data angin, data prediksi pasang surut, pengaturan periode model dan melakukan pengaturan pada *Flow Model Hydrodynamics Module software* MIKE 21. *Flow Model Hydrodynamics Module software* MIKE 21 adalah proses visualisasi dengan sistem pemodelan numerik yang dirancang untuk mensimulasikan perubahan muka air serta pola aliran di wilayah perairan (Sianturi *et al.*, 2013).

Persamaan kekekalan massa atau kontinuitas ditulis sebagai berikut (DHI Software, 2017):

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan momentum untuk dua komponen horizontal x dan y ditulis sebagai berikut.

Persamaan momentum massa sumbu X:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan momentum massa sumbu Y:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- $h(x, y, t)$ = kedalaman air ($\eta - d, m$)
 $d(x, y, t)$ = kedalaman air dalam berbagai waktu (m)
 $\eta(x, y, t)$ = elevasi permukaan (m)
 $p, q(x, y, t)$ = *flux densities* dalam arah x dan y ($m^3/s/m$)
 $C(x, y)$ = *Chezy resistace* ($m^{\frac{1}{3}}/s$)
 g = kecepatan gravitasi (m/s^2)
 $V, V_x, V_y(x, y, t)$ = kecepatan angin dalam arah x dan y (m/s)
 $\Omega(x, y)$ = *Coriolis parameter* (s^{-1})
 $p_a(x, y, t)$ = tekanan atmosfer ($kg/m/s^2$)
 ρ_w = berat jenis air (kg/m^3)
 $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = *shear stress*

Tabel 3. *Setup data pemodelan*

Lama simulasi	31 hari
Jumlah <i>timestep</i>	744
<i>Interval timestep</i>	3600 detik
<i>Simulation start time</i>	01/01/2024 00:00:00
<i>Simulation stop time</i>	31/01/2024 23:00:00
<i>Module selection</i>	<i>Hydrodynamics Flow Model (FM)</i>
<i>Type boundary condition</i>	<i>Specified level</i>
<i>Format boundary</i>	<i>Varying in time and along boundary</i>
<i>Grid</i>	<i>Unstructured grid</i>

2.4 Validasi Data

Hasil model yang telah didapatkan perlu dilakukan uji akurasi untuk mengetahui apakah hasil model sudah sesuai dengan yang terjadi di lapangan. Hasil model akan divalidasi dengan data pasang surut. Nilai yang dihasilkan dari proses uji akurasi akan menunjukkan tingkat kesalahan atau *error* yang terjadi. Penelitian ini menggunakan data buku prediksi pasang surut Pushidrosal sebagai bahan uji akurasi. Perhitungan uji akurasi dapat dilakukan dengan menggunakan rumus RMSE (*Root Mean Square Error*).

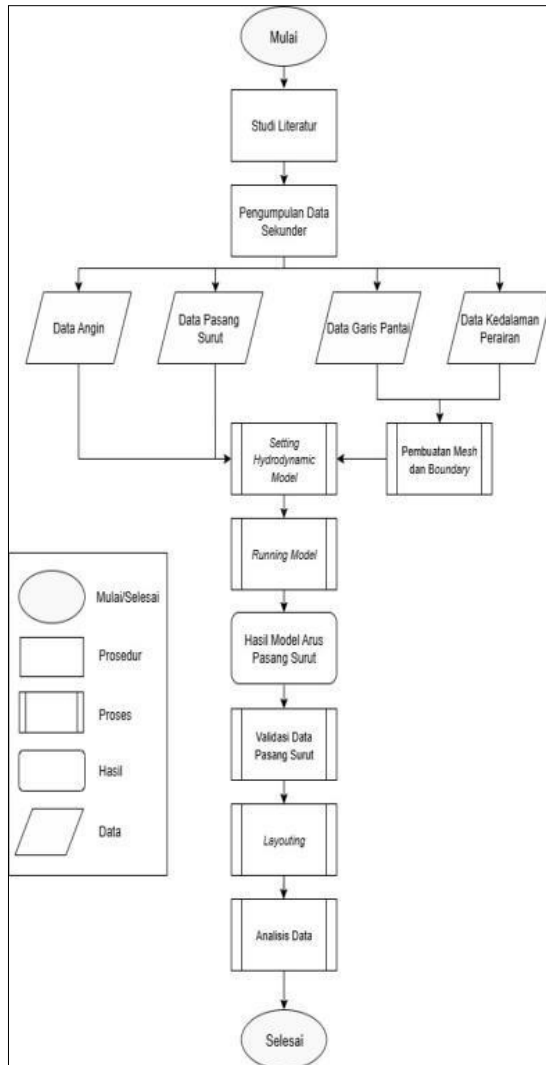
RMSE (*Root Mean Square Error*) merupakan ukuran standar deviasi dari residu (kesalahan prediksi) yang digunakan untuk mengevaluasi akurasi model regresi. RMSE menunjukkan seberapa jauh rata-rata prediksi model menyimpang dari nilai aktual, karena memiliki satuan yang sama dengan data asli yang diprediksi. Semakin kecil nilai RMSE atau mendekati angka nol, semakin baik kualitas model yang diuji. Hal ini menunjukkan bahwa hasil prediksi model memiliki tingkat konsistensi yang tinggi serta mendekati nilai aktual di lapangan. Sebaliknya, nilai RMSE yang besar atau jauh dari nol mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara nilai hasil prediksi dengan data observasi, sehingga model perlu dievaluasi atau disempurnakan. Nilai RMSE yang mendekati nol dapat diartikan bahwa perhitungan serta proses validasi model menghasilkan prediksi yang stabil (Suarna dan Prihartono, 2025). Nilai RMSE dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{X}_i - X_i]^2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- $RMSE$ = akar rata-rata kuadrat kesalahan
 $\hat{X}_i$ = hasil pemodelan
 X_i = data validasi
 N = jumlah data

Proses pengolahan data pemodelan hidrodinamika 2D dengan metode numerik *Flow Model* (FM) menggunakan *software* MIKE 21 digambarkan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut.



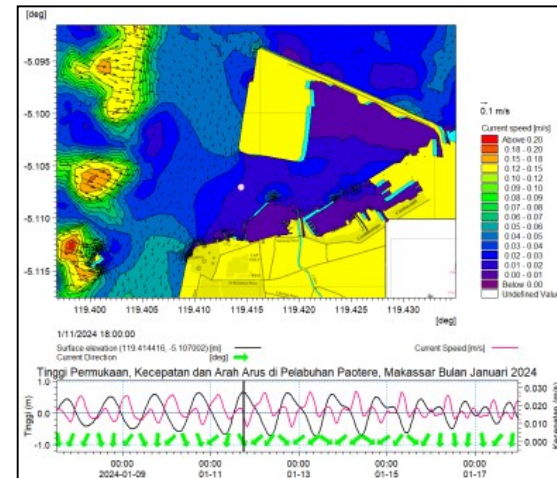
Gambar 32. Pengolahan data *flow model*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

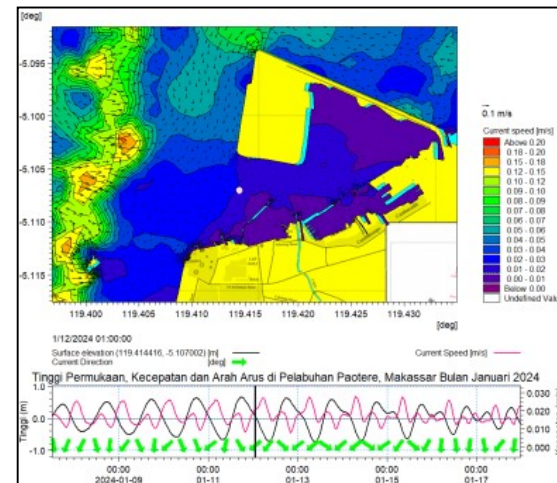
Analisis hasil pemodelan arus pasang surut di perairan Pelabuhan Paotere, Makassar bulan Januari tahun 2024 terbagi menjadi empat kondisi yaitu pasang tertinggi, menuju surut, surut terendah dan menuju pasang. Titik lokasi penelitian berada pada koordinat bujur 119.414416° BT dan lintang -5.10700177° LS yang berada di bagian barat Pelabuhan Paotere, Makassar. Lokasi

penelitian ditandai dengan titik berwarna merah muda.

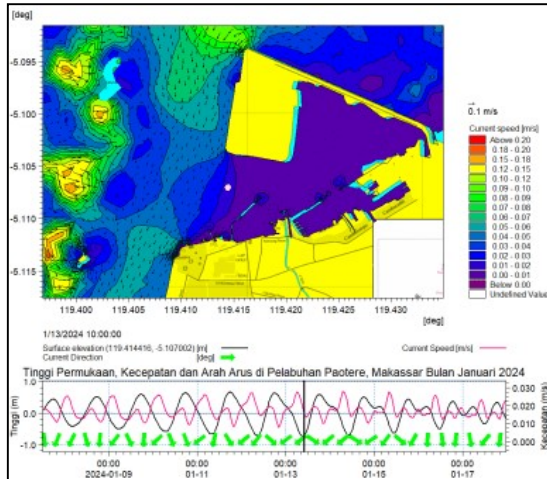
3.1 Kecepatan Arus Pasang Surut



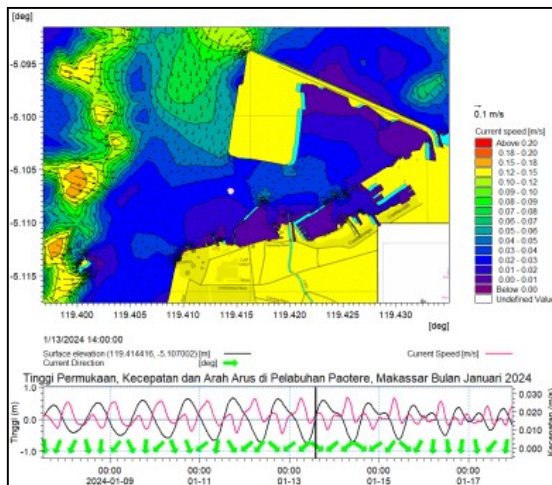
Gambar 33. Kecepatan arus pasut pada saat pasang



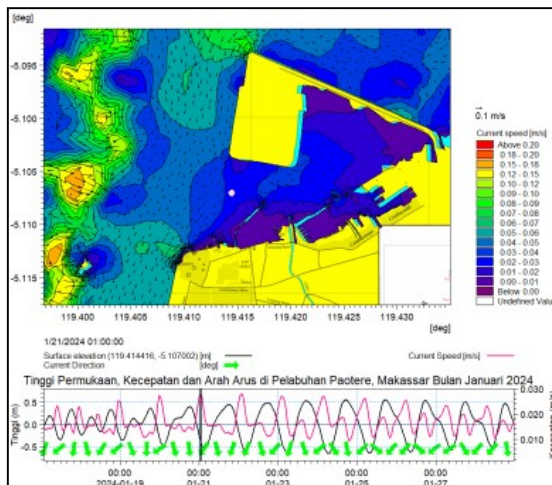
Gambar 34. Kecepatan arus pasut pada saat menuju surut



Gambar 35. Kecepatan arus pasut pada saat surut



Gambar 36. Kecepatan arus pasut pada saat menuju pasang

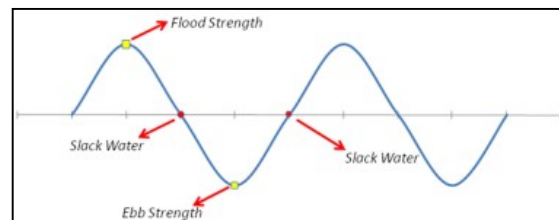


Gambar 37. Kecepatan arus tertinggi

Hasil pemodelan arus di Pelabuhan Paotere, Makassar bulan Januari 2024

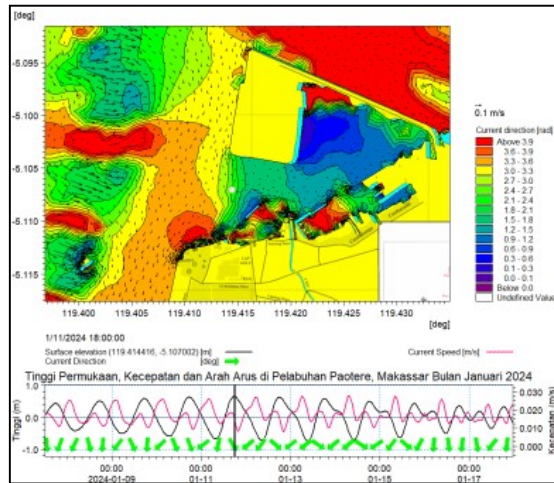
menunjukkan kecepatan arus bervariasi mengikuti elevasi muka air laut. Kecepatan arus pada saat pasang tertinggi yang terjadi pada tanggal 11 Januari 2024 pukul 18.00 WIB dengan rentang nilai 0,01 – 0,02 m/s, yang ditandai dengan warna biru tua (Gambar 5). Kecepatan arus pada saat menuju surut yang terjadi pada tanggal 12 Januari 2024 pukul 01.00 WIB dengan rentang nilai 0,01 – 0,02 m/s, yang ditandai dengan warna biru tua (Gambar 6). Kecepatan arus pada saat surut terendah yang terjadi pada tanggal 13 Januari 2024 pukul 10.00 WIB yaitu sebesar 0,01 – 0,02 m/s, yang ditandai dengan warna biru tua (Gambar 7). Kecepatan arus pada saat menuju pasang yang terjadi pada tanggal 13 Januari 2024 pukul 14.00 WIB dengan rentang nilai 0,01 – 0,02 m/s, yang ditandai dengan warna biru tua (Gambar 8). Kecepatan arus tertinggi dalam kurun waktu 1 bulan terjadi pada saat menuju surut yang terjadi pada tanggal 21 Januari 2024 pukul 01.00 WIB dengan rentang nilai 0,02 – 0,03 m/s, yang ditandai dengan warna biru tua (Gambar 9).

Hasil pemodelan kecepatan arus pada empat periode yaitu pasang tertinggi, menuju surut, surut terendah dan menuju surut, menunjukkan bahwa kecepatan arus cenderung lebih tinggi ketika terjadi fenomena menuju surut dan surut. Hal tersebut dapat disebabkan karena adanya perubahan elevasi muka air yang menurun, sehingga meningkatkan kecepatan aliran arus (Arifin *et al.*, 2012). Kondisi saat arus menuju pasang atau menuju surut disebut *slack water*, yaitu kondisi ketika arus laut berada pada keadaan tenang atau hampir tidak bergerak.

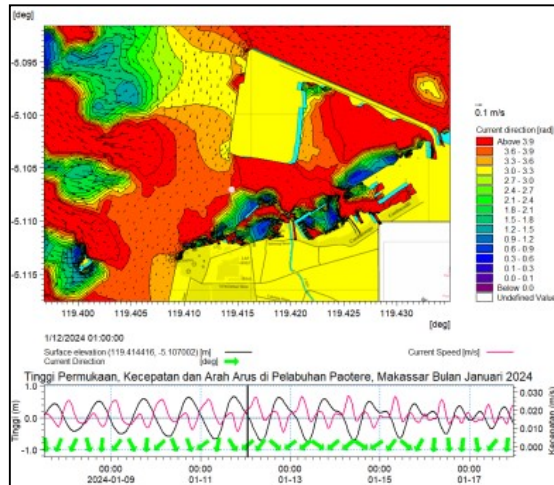


Gambar 38. Kondisi *slack water*, *flood strength*, dan *ebb strength*
(Sumber: Hadi dan Radjawane, 2009)

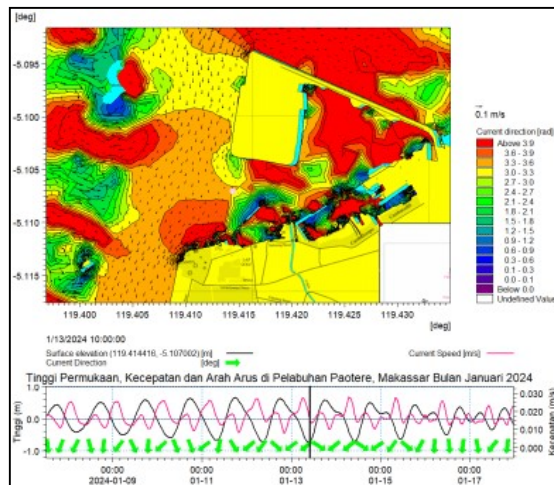
3.2. Arah Arus Pasang Surut



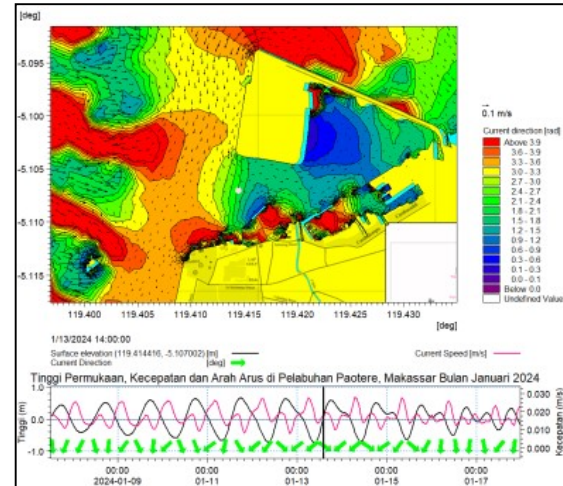
Gambar 39. Arah arus pasut pada saat pasang



Gambar 40. Arah arus pasut pada saat menuju surut



Gambar 41. Arah arus pasut pada saat surut

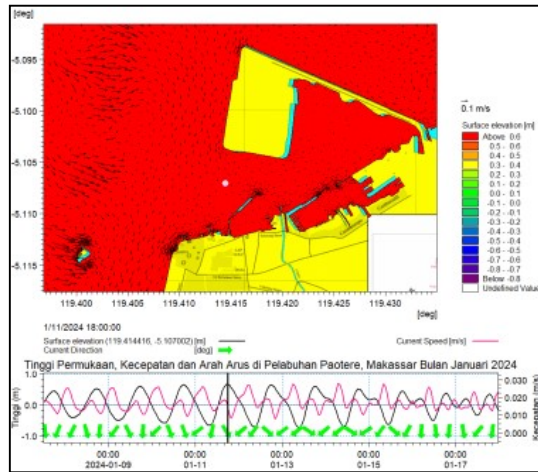


Gambar 42. Arah arus pasut pada saat menuju pasang

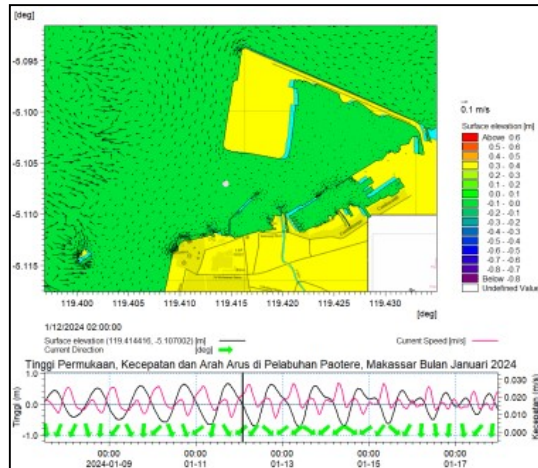
Kondisi pasang tertinggi terjadi pada tanggal 11 Januari 2024 pukul 18.00 WIB, arah vektor arus saat kondisi pasang tertinggi cenderung bergerak dari utara lalu berbelok ke arah tenggara atau mendekati pesisir (Gambar 11). Kondisi menuju surut terjadi pada tanggal 12 Januari 2024 pukul 01.00 WIB, arah vektor arus saat kondisi menuju surut cenderung bergerak dari arah timur laut berbelok ke arah barat daya atau menjauhi pesisir (Gambar 12). Kondisi surut terendah yang terjadi pada tanggal 13 Januari 2024 pukul 10.00 WIB, arah vektor arus saat kondisi surut terendah bergerak dari utara ke arah barat daya dan tidak terdapat vektor arus yang mendekati pesisir (Gambar 13). Kondisi menuju pasang yang terjadi pada tanggal 13 Januari 2024 pukul 14.00 WIB, vektor arus bergerak dari utara ke arah barat daya, namun terdapat vektor yang bergerak dari arah utara lalu berbelok ke arah tenggara atau mendekati pesisir (Gambar 14).

Hasil simulasi model hidrodinamika menunjukkan bahwa pola pergerakan arus pasang surut pada saat menuju surut dan saat surut terendah, umumnya mengalir ke arah barat atau menjauhi pesisir, sebaliknya pada kondisi menuju pasang dan saat pasang tertinggi, arus bergerak ke arah timur menuju pesisir Makassar (Arifin *et al.*, 2012).

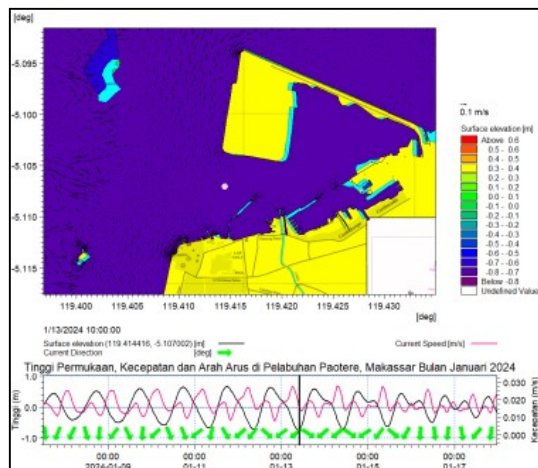
3.3 Elevasi Muka Air Laut



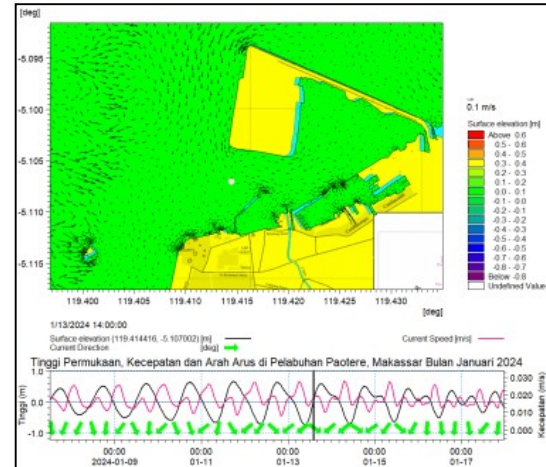
Gambar 43. Elevasi muka air laut pada saat pasang



Gambar 44. Elevasi muka air laut pada saat menuju surut



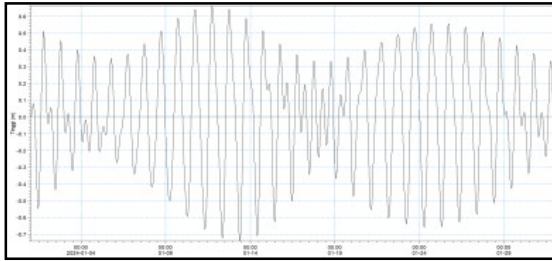
Gambar 45. Elevasi muka air laut pada saat surut



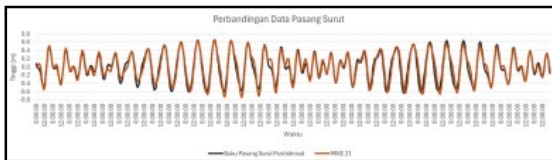
Gambar 46. Elevasi muka air laut pada saat menuju pasang

Hasil pemodelan pasang surut di Pelabuhan Paotere, Makassar bulan Januari 2024 menunjukkan elevasi muka air laut dengan kondisi pasang tertinggi terjadi pada tanggal 11 Januari 2024 pukul 18.00 WIB. Kontur elevasi muka air menunjukkan warna merah dengan ketinggian muka air maksimum lebih dari 0,6 meter (Gambar 15). Kondisi menuju surut terjadi pada tanggal 12 Januari 2024 pukul 14.00 WIB. Kontur elevasi muka air menunjukkan warna hijau dengan rentang ketinggian muka air sebesar 0,1 – 0,2 meter (Gambar 16). Kondisi surut terendah terjadi pada tanggal 13 Januari 2024 pukul 10.00 WIB. Kontur elevasi muka air menunjukkan warna ungu dengan rentang ketinggian muka air sebesar -0,7 sampai -0,8 meter (Gambar 17). Kondisi menuju pasang terjadi pada tanggal 13 Januari 2024 pukul 14.00 WIB. Kontur elevasi muka air menunjukkan warna hijau dengan rentang ketinggian muka air sebesar -0,4 sampai -0,5 meter (Gambar 18).

3.4. Time Series Pasang Surut



Gambar 47. Time series pasang surut pada Januari 2024



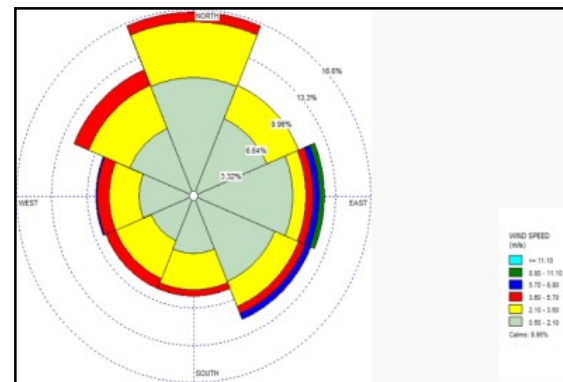
Gambar 48. Validasi data pasang surut model mike 21 dengan data buku prediksi pasang surut Pushidrosal

Berdasarkan hasil *time series* pasang surut hasil pemodelan di perairan Pelabuhan Paotere, Makassar bulan Januari tahun 2024 didapatkan fenomena pasang tertinggi terjadi pada tanggal 11 Januari 2024 pukul 18.00 WIB, dengan ketinggian muka air maksimum 0.66 meter. Sedangkan fenomena surut terendah terjadi pada tanggal 13 Januari 2024 pukul 10.00 WIB, dengan ketinggian muka air maksimum -0,74 meter. Data elevasi muka air laut merupakan hasil dari pemodelan pasang surut yang merupakan salah satu pembangkit arus dalam model.

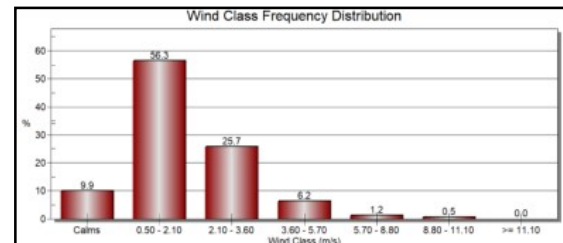
Berdasarkan hasil perhitungan RMSE (*Root Mean Square Error*) dari data MIKE 21 dengan buku prediksi pasang surut Pushidrosal diperoleh nilai sebesar 0,10. Nilai RMSE yang didapatkan mendekati nilai 0, yang menandakan bahwa perbandingan antara data model pasang surut MIKE 21 dengan data pasang surut buku Pushidrosal dinyatakan akurat atau dapat menggambarkan kondisi perairan yang sebenarnya di wilayah kajian. Berdasarkan perhitungan bilangan *formzahl* menggunakan data validasi buku prediksi pasang surut milik Pushidrosal didapatkan nilai sebesar 1,76, yang termasuk tipe campuran condong harian tunggal. Hal tersebut didukung oleh

peneliti yang menyatakan bahwa tipe pasang surut di Stasiun Makassar tergolong pasang surut campuran yang cenderung harian tunggal, yang berarti dalam satu hari umumnya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut. Namun, pada waktu tertentu dapat terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, meskipun dengan perbedaan tinggi dan periode yang cukup signifikan. Klasifikasi ini didukung oleh nilai rata-rata bilangan *formzahl* sebesar 2,10 (Pranowo *et al.*, 2023).

3.5 Wind Rose



Gambar 49. Wind rose (blowing from) Pelabuhan Paotere Tahun 2024

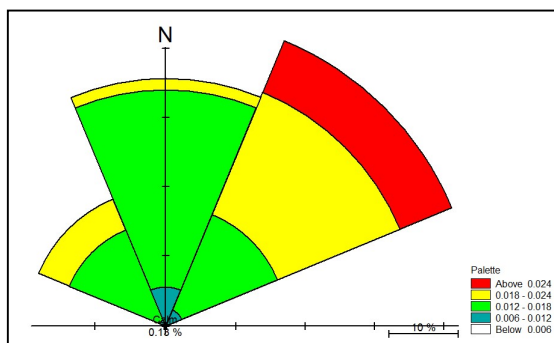


Gambar 50. Wind class frequency distribution

Wind rose adalah diagram lingkaran yang digunakan untuk menunjukkan distribusi arah dan kecepatan angin di suatu lokasi dalam periode waktu tertentu. Gambar 21 menunjukkan kecepatan dan arah datang angin yang berhembus di Perairan Pelabuhan Paotere, Makassar bulan Januari 2024. Berdasarkan diagram *wind rose*, angin dominan berhembus dari arah utara. Kecepatan angin maksimum yaitu berada direntang 8,80 – 11,10 m/s, yang ditandai dengan warna hijau tua. Sedangkan

kecepatan angin minimum berada pada rentang 0,50 – 2,10 m/s, yang ditandai dengan warna hijau keabuan. Gambar 22 menunjukkan grafik frekuensi kecepatan angin, berdasarkan grafik tersebut didapatkan kecepatan angin dominan berada pada rentang 0,50 – 2,10 m/s sebanyak 56,3%.

3.6 Current Rose



Gambar 51. Current rose Pelabuhan Paotere tahun 2024

Current rose adalah diagram lingkaran yang digunakan untuk menunjukkan distribusi arah dan kecepatan arus di suatu lokasi dalam periode waktu tertentu. Gambar 23 menunjukkan kecepatan dan arah datang arus di Perairan Pelabuhan Paotere, Makassar bulan Januari 2024. Berdasarkan diagram *current rose*, arus dominan berasal dari arah timur laut. Kecepatan arus maksimum yaitu lebih dari 0,024 m/s, yang ditandai dengan warna merah. Sedangkan kecepatan angin minimum berada pada rentang 0,006 – 0,012 m/s, yang ditandai dengan warna hijau biru.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian adalah Pengolahan model arus dilaksanakan melalui beberapa tahapan yaitu preparasi data, pembuatan *mesh* dan interpolasi, *setting* model, validasi data pasang surut menggunakan buku prediksi pasang surut Pushidrosal dan analisis hasil model arus.

Kecepatan arus pasang surut di perairan Pelabuhan Paotere, Makassar tahun

2024 pada empat periode dominan berada pada rentang nilai 0,01 – 0,02 m/s. Kecepatan arus tertinggi dalam kurun waktu 1 bulan terjadi pada saat menuju surut yang terjadi pada tanggal 21 Januari 2024 pukul 01.00 WIB dengan rentang nilai 0,02 – 0,03 m/s dengan hasil ini dapat memberikan informasi yang berguna untuk keselamatan navigasi kapal.

Arah arus pada saat pasang atau menuju pasang cenderung bergerak dari arah utara menuju ke tenggara atau mendekati pesisir. Sedangkan pada saat surut, cenderung bergerak dari arah utara dan timur laut ke arah barat daya sehingga dapat mengetahui proses sedimentasi yang terjadi dipelabuhan.

Ketinggian elevasi permukaan air maksimum terjadi pada saat pasang tertinggi yaitu 0,6 meter dan ketinggian elevasi muka air minimum terjadi pada surut terendah yaitu sebesar -0,74 meter. Validasi data pasang surut model MIKE 21 dengan buku prediksi pasang surut Pushidrosal mendapatkan nilai RMSE sebesar 0,10, sehingga dapat dikatakan hasil model akurat atau dapat menggambarkan kondisi perairan yang sesungguhnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut (Pushidrosal) beserta seluruh jajaran yang telah memberikan izin, pendampingan, penyediaan data, dukungan, serta fasilitas dalam pelaksanaan penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, T., Yulius, Y., & Ismail, M. F. A. (2012). Kondisi arus pasang surut di perairan pesisir kota Makassar, Sulawesi Selatan. *Depik*, 1(3).
- Ariyanto, S. (2022). Pelabuhan Makassar 1900-1930. *WIKSA: Prosiding Pendidikan Sejarah Universitas Indraprasta PGRI*, 1(1).

- Daruwedho, H., Sasmito, B., & Amarrohman, F. J. (2016). Analisis pola arus laut permukaan perairan Indonesia dengan menggunakan Satelit Altimetri Jason-2 Tahun 2010-2014. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2), 147-158.
- DHI. (2017). *MIKE 21 Flow Model, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation*. DHI Documentation.
- Djafar, W., Indrus, M., Chairunnisa, A. S., Djalante, A. H., Hasbullah, M., Firmansyah, M. R., ... & Fitriah, R. (2023). Sosialisasi Perhitungan Kinerja Pelabuhan untuk Karyawan di Lingkungan Pelabuhan Rakyat Paotere. *JURNAL TEPAT*, 6(1), 161-170.
- Hadi, S. dan Radjawane, I. (2009). Arus Laut. ITB Press, Bandung.
- Hiwari, H. (2020). pemodelan arus permukaan laut Selat Lembeh, Sulawesi Utara menggunakan aplikasi MIKE 21. *Jurnal Akuatek*, 1(2), 84-93.
- Indrayanti, E., Purwanto, P., & Siagian, H. S. R. (2021). Identifikasi Arus Pasang Surut di Perairan Kemujan, Karimunjawa Berdasarkan Data Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler.
- Khalid, M., Akram, R., & Muttaqin, K. (2022). Sistem Monitoring Pasang Surut Air Laut Berbasis Web Menggunakan Fuzzy Logic Pada Kuala Langsa. *J. Inf. Technol*, 2(2), 65-69.
- 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), 146-160.
- Pranowo, W. S., Adrianto, D., Rahmatullah, A., & Aji, T. (2023). Analisa Karakteristik Pasang Surut Berdasarkan Panjang Data Pengamatan di Perairan Makassar: Analysis of Tidal Characteristics Based on The Length of Observation Data in Makassar Coastal Waters. *Jurnal Chart Datum*, 9(2), 135-144.
- Rahma, A. A., Adrianto, D., & Malik, K. (2022). Pemodelan Numerik Arus Pasang Surut 2D Menggunakan Software Mike 21 (Studi Kasus Selat Bangka): 2D Numerical Model of Tidal Current Using Software Mike 21 (Bangka Strait Study Case). *Jurnal Hidrografi Indonesia*, 4(2), 87-94.
- Saputro, A. A., Hidayah, Z., & Wirayuhanto, H. (2023). Pemodelan Dinamika Arus Permukaan Laut Alur Pelayaran Barat Surabaya. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 16(1), 88-100.
- Sianturi, O. R., Widada, S., Prasetyawan, I. B., & Novico, F. (2013). Pemodelan hidrodinamika sederhana berdasarkan data hidro-oseanografi lapangan di Teluk Lampung. *Journal of Oceanography*, 2(3), 299-309.
- Suarna, N., & Prihartono, W. (2025). Algoritma regresi linier sederhana untuk prediksi penggunaan volume air berdasarkan jenis pelanggan pdam. *Jurnal Kecerdasan Buatan dan Teknologi Informasi*, 4(1), 43-52.