

Karakteristik Arus Pasut Di Perairan Teluk Amurang Menggunakan Pemodelan Numerik

Bayu H. Kusuma^{1*}, I.W. Sumardana E. Putra^{2,3}, Kurnia Malik⁴, Yulianto², Ardi D. Novianto¹, Hariyuda K.D. Cahyanto¹, Muh A. A. Fainjit¹, Ahmad Yusron¹, Al Impron¹, Baharuddin¹

¹Program Studi S1 Hidrografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL), Jakarta, Indonesia

²Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL), Jakarta, Indonesia.

³Prodi Ilmu Kelautan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Indonesia.

⁴Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut (Pushidrosal), Jakarta, Indonesia
Jl. Ganesha, Jakarta Utara, 14240

Email: *bayukusuma5858@gmail.com

Abstrak

Teluk Amurang, Sulawesi Utara, memiliki sistem arus pasut yang kompleks akibat pengaruh faktor geografis dan oseanografi. Studi sebelumnya telah menganalisis pengaruh pasang surut terhadap pola arus serta karakteristik arus berdasarkan periode umur bulan, namun belum secara spesifik membahas pola pergerakan arus pasut dengan resolusi spasial dan temporal yang lebih tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan menganalisis pola arus pasut di Teluk Amurang menggunakan pendekatan numerik dengan validasi yang lebih ketat. Pemodelan numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak MIKE 21 dengan modul hidrodinamika (HD). Proses ini mencakup pengumpulan data batimetri, pasang surut, serta pengaturan batas domain. Model yang dihasilkan divalidasi menggunakan nilai Root Mean Square Error (RMSE) untuk memastikan tingkat akurasi hasil simulasi. Validasi model menunjukkan RMSE sebesar 8,1% (stasiun 1), 10% (stasiun 2), dan 8% (stasiun 3), yang masih dalam batas penerimaan (RMSE <40%). Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus dominan berasal dari barat dengan kecepatan maksimum 1,37 m/s di stasiun 2 dan 1,2 m/s di stasiun 3, sebelum berbelok ke utara dan barat laut. Arus di stasiun 1 lebih lemah (0,0029–0,017 m/s) karena lokasi yang lebih terlindungi dalam teluk. Dibandingkan studi sebelumnya, penelitian ini menggunakan resolusi spasial dan temporal yang lebih tinggi serta validasi model yang lebih ketat untuk meningkatkan akurasi prediksi pola arus pasut. Hasil penelitian ini memberikan informasi penting bagi keselamatan navigasi, perencanaan pembangunan pesisir, dan analisis transport sedimen di Teluk Amurang.

Kata kunci : Arus Pasut, MIKE 21, Pemodelan, Teluk Amurang

Abstract

Characteristics of Tidal Currents in Amurang Bay Using Numerical Modeling

Amurang Bay, located in North Sulawesi, has a complex tidal current system influenced by geographical and oceanographic factors. Previous studies have analyzed the impact of tides on current patterns and the characteristics of currents based on lunar age periods. However, they have not specifically examined tidal current movement patterns with higher spatial and temporal resolution. Therefore, this study aims to model and analyze tidal current patterns in Amurang Bay using a numerical approach with more rigorous validation. Numerical modeling was conducted using MIKE 21 software with the Hydrodynamic (HD) module. The process included the collection of bathymetric and tidal data, as well as domain boundary configuration. The resulting model was validated using the Root Mean Square Error (RMSE) to ensure simulation accuracy. Model validation showed RMSE values of 8.1% at Station 1, 10% at Station 2, and 8% at Station 3, all within the acceptable range (RMSE <40%). The simulation results indicate that the dominant current originates from the west, with a maximum velocity of 1.37 m/s at Station 2 and 1.2 m/s at Station 3, before turning north and northwest. The current at Station 1 is weaker (0.0029–0.017 m/s) due to its more sheltered location within the bay. Compared to previous studies, this research employs higher spatial and temporal resolution and a more stringent model validation process to enhance the accuracy of tidal current pattern predictions. The findings

provide valuable information for navigation safety, coastal development planning, and sediment transport analysis in Amurang Bay.

Keywords: Tidal Current, MIKE 21, Modeling, Amurang Bay

PENDAHULUAN

Teluk Amurang di Sulawesi Utara merupakan wilayah perairan yang memiliki dinamika arus pasut yang kompleks. Karakteristik arus pasut di perairan ini dipengaruhi oleh interaksi antara faktor astronomis seperti gaya tarik gravitasi bulan dan matahari, serta faktor lokal seperti morfologi dasar laut dan kondisi atmosfer (Polii, 2012). Pemahaman mendalam tentang pola arus pasut penting untuk mendukung pengelolaan sumber daya pesisir, kegiatan pelayaran, serta mitigasi risiko bencana seperti banjir rob dan abrasi pantai (Rahma *et al.*, 2024). Selain itu, pemanfaatan informasi oseanografi yang akurat juga berkontribusi dalam pengembangan potensi kelautan guna mewujudkan Indonesia sebagai poros maritim dunia (Nugroho & Apriyanti, 2022). Penelitian terkait arus pasut di Teluk Amurang masih terbatas. Studi sebelumnya lebih berfokus pada pengaruh pasang surut terhadap pola arus secara umum (Polii, 2012), serta hubungan antara pasut, gelombang, dan arus berdasarkan periode umur bulan (Irawan *et al.*, 2018). Namun, penelitian ini belum secara spesifik membahas pola pergerakan arus pasut dengan resolusi spasial dan temporal yang lebih tinggi. Selain itu, penelitian sebelumnya belum menerapkan validasi model numerik secara ketat untuk memastikan akurasi hasil simulasi. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi kesenjangan (research gap) dengan menggunakan pendekatan pemodelan numerik yang lebih rinci dan validasi yang lebih komprehensif.

Kondisi hidrodinamika perairan mencakup informasi mengenai arus, gelombang, dan pasang surut. Kecepatan arus umumnya mencapai nilai maksimum saat air laut mulai surut atau berada dalam fase menuju surut. Ketika ketinggian air mencapai puncak pasang, kecepatan arus cenderung menyerupai kondisi saat surut. Peningkatan kecepatan arus biasanya terjadi sekitar 4 hingga 6 jam setelah mencapai puncak pasang, dengan arah gerakan air laut yang berorientasi ke daratan selama fase pasang (Irawan *et al.*, 2018). Pemodelan numerik oseanografi merupakan sebuah sistem untuk mempelajari suatu fenomena oseanografi (dinamika laut) ke dalam persamaan-persamaan diskrit/numerik. Dalam perkembangan ilmu oseanografi, model numerik dianggap cukup membantu dalam menjelaskan fenomena-fenomena yang teramati di alam dengan lebih mendalam dimana model numerik ini mampu menjelaskan kondisi pasang surut, arus, gelombang bahkan kondisi Hidrodinamika di laut (Pushidrosal, 2016).

Perangkat lunak Mike21 merupakan suatu perangkat lunak rekayasa profesional yang berisikan pemodelan yang komprehensif untuk program komputer yang dikembangkan oleh Danish Hydraulic Institute (DHI) Water & Environment (Salim *et al.*, 2015). Modul yang digunakan adalah Mike21 Flow Model FM dimana pada modul ini adalah sebuah sistem pemodelan dengan pendekatan Flexible Mesh yang artinya bahwa ukuran dan jumlah mesh dalam suatu area model dapat diatur sedemikian rupa oleh modeller, sesuai dengan tujuan dan fokus penelitian. Modul ini dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolika dan fenomena oseanografi terkait baik di sungai, estuari, pantai dan laut (DHI Mike, 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola arus pasut di Teluk Amurang menggunakan simulasi numerik dengan MIKE 21. Model yang dihasilkan akan divalidasi menggunakan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) guna memastikan akurasi prediksi pola arus pasut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengelolaan wilayah pesisir, perencanaan pembangunan infrastruktur maritim, serta peningkatan keselamatan navigasi di kawasan tersebut. Selain itu, studi ini juga berpotensi memberikan wawasan baru terkait transport sedimen serta mitigasi dampak bencana di Teluk Amurang (Alam *et al.*, 2023; Bakri *et al.*, 2024; Bisyrri *et al.*, 2020; Erfiko *et al.*, 2023; Reiner *et al.*, 2017; Nadira *et al.*, 2023; Pranowo *et al.*, 2014; Rahmania *et al.*, 2021; Ranadipura *et al.*, 2019). Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya di wilayah lain, studi ini diharapkan dapat memperlihatkan apakah pola arus pasut di Teluk Amurang memiliki karakteristik unik dibandingkan dengan daerah pesisir lainnya, sehingga dapat menjadi referensi bagi penelitian oseanografi di masa depan.

MATERI DAN METODE

Teluk Amurang terletak di Kabupaten Minahasa Selatan, Provinsi Sulawesi Utara, Indonesia. Teluk ini memiliki posisi geografis yang strategis dengan koordinat sekitar 1°8' hingga 1°20' Lintang Utara dan 124°25'

hingga 124°40' Bujur Timur. Teluk Amurang berbatasan langsung dengan Laut Sulawesi di bagian utara dan dikelilingi oleh dataran pesisir (Gambar 1).

Data Penelitian

Data batimetri diperoleh melalui digitasi peta batimetri yang tersedia dan dikonversi menjadi format yang dapat diinput ke dalam MIKE 21. Proses interpolasi dilakukan untuk memastikan kelancaran transisi kedalaman pada model. Data pasang surut diperoleh dari hasil simulasi MIKE 21 serta data sekunder dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS). Data ini digunakan sebagai kondisi batas model untuk mensimulasikan variasi muka air yang mengontrol dinamika arus pasut di Teluk Amurang. Domain model ditentukan berdasarkan batas geografis Teluk Amurang dengan mempertimbangkan kedalaman dan struktur garis pantai. Pemilihan area ini dilakukan agar model dapat menangkap dinamika arus pasut secara representatif, termasuk interaksi antara arus utama dan daerah pesisir yang lebih terlindungi.

Metode Penelitian

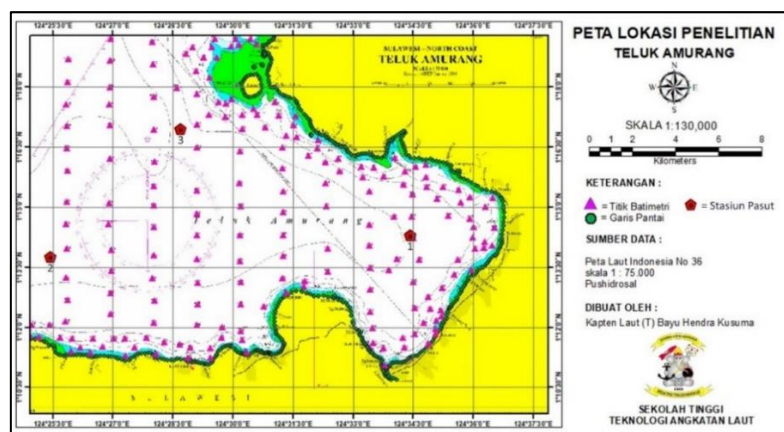
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yaitu metode ilmiah yang bersifat konkret atau empiris, objektif, terukur, rasional, dan sistematis. Data yang diperoleh dianalisis model statistik untuk mendapatkan informasi yang dapat diuji secara ilmiah (Diputra *et al.*, 2022). Metode penelitian yang utama dalam penelitian ini adalah pemodelan Hidrodinamika dua dimensi (2D) menggunakan MIKE 21 yang mampu mensimulasikan dinamika arus pasut secara spasial dan temporal di Teluk Amurang. Model hidrodinamika Mike 21 *flow model* (Mike 21 HD) merupakan sebuah sistem model numerik yang mensimulasikan level muka air dan alirannya di estuary serta perairan pesisir. Pemodelan dilakukan dengan beberapa tahapan utama, yaitu pengumpulan data, pemrosesan data, penentuan domain model, kalibrasi, dan validasi model.

Pemilihan tiga stasiun pengamatan didasarkan pada representasi karakteristik hidrodinamika di Teluk Amurang meliputi Stasiun 1 berada di bagian terdalam teluk yang cenderung terlindungi dari pengaruh arus dominan. Stasiun 2 berlokasi di tengah atas teluk dengan eksposur tinggi terhadap arus pasut utama. Stasiun 3 terletak di area terbuka yang lebih dekat ke laut lepas, memungkinkan analisis perubahan pola arus dari daerah pesisir ke perairan terbuka. Pemilihan stasiun ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif mengenai dinamika arus pasut di seluruh wilayah Teluk Amurang, sehingga hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi dalam pengelolaan wilayah pesisir dan perencanaan pembangunan infrastruktur maritim.

Pemodelan Arus

Preparasi Data

Tahap preparasi data berupa pengumpulan dan pengolahan data mentah menjadi data yang siap digunakan sesuai fungsinya. Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder yang di download dari web BIG dan CMEMS kemudian diekstraksi dengan *software Ocean Data View* (ODV) yang digunakan sebagai data komparasi.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber: Peta Laut Indonesia Nomor 36)

Pembuatan Desain Model

Running model secara komputasi otomatis oleh *software* MIKE 21. Pembuatan desain model dilakukan untuk batasan wilayah dan sebagai tempat *input* data masukkan pembangun model. Desain Model dibangun sesuai domain model dengan batasan-batasannya serta data masukan model yang diharapkan membangun model dengan simulasi yang baik dengan data *error* yang kecil.

Pendefinisian Syarat Batas dan Pembuatan Mesh

Syarat Batas (*Boundary Condition*) yang dibentuk meliputi Utara, Barat, dan *Land Boundary*. *Mesh* yang dibentuk menggunakan *mesh generator* pada modul MIKE Zero, akan menghasilkan *nodes* dan *elements* secara otomatis melalui *triangle code*. *Mesh* yang dibentuk dimodifikasi dengan sudut terkecil dan dilakukan *smoothing mesh* untuk menghasilkan *mesh* yang lebih baik dalam penerapan simulasi model (Gambar 2).

Analisis Interpolasi Batimetri

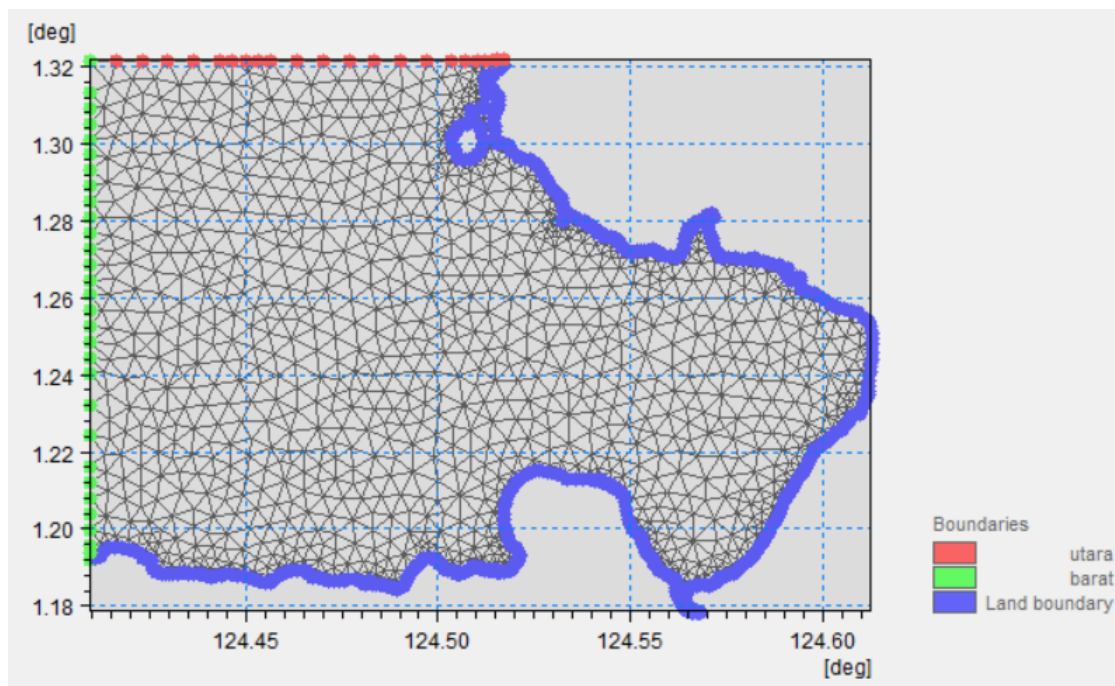
Berdasarkan data batimetri Pushidrosal pada Peta Laut Indonesia No.36, perairan ini memiliki nilai kedalaman maksimum sebesar 1.300 meter. Tidak ada pulau-pulau kecil di perairan Teluk Amurang. Dari data tersebut juga terlihat bermacam-macam kedalaman pada perairan Teluk Amurang. Analisis hasil interpolasi batimetri dilakukan menggunakan *software* MIKE 21 dengan dokumen *Mesh Generator*. Nilai yang dianalisis merupakan nilai *scatter* data yang berisi batimetri untuk mengisi titik-titik interpolasi (Gambar 3).

Setting Model HD

Setting Model HD (Hidrodinamika) merupakan proses pengaturan model hidrodinamika untuk mendapatkan komponen arus laut sebagai data masukan pada model gelombang. Proses ini meliputi domain model, input periode dan pemilihan serta setting modul model (*Hydrodynamics Module*). Setelah proses tersebut dilakukan maka dilakukan.

Parameterisasi Hidrodinamis Model (HD)

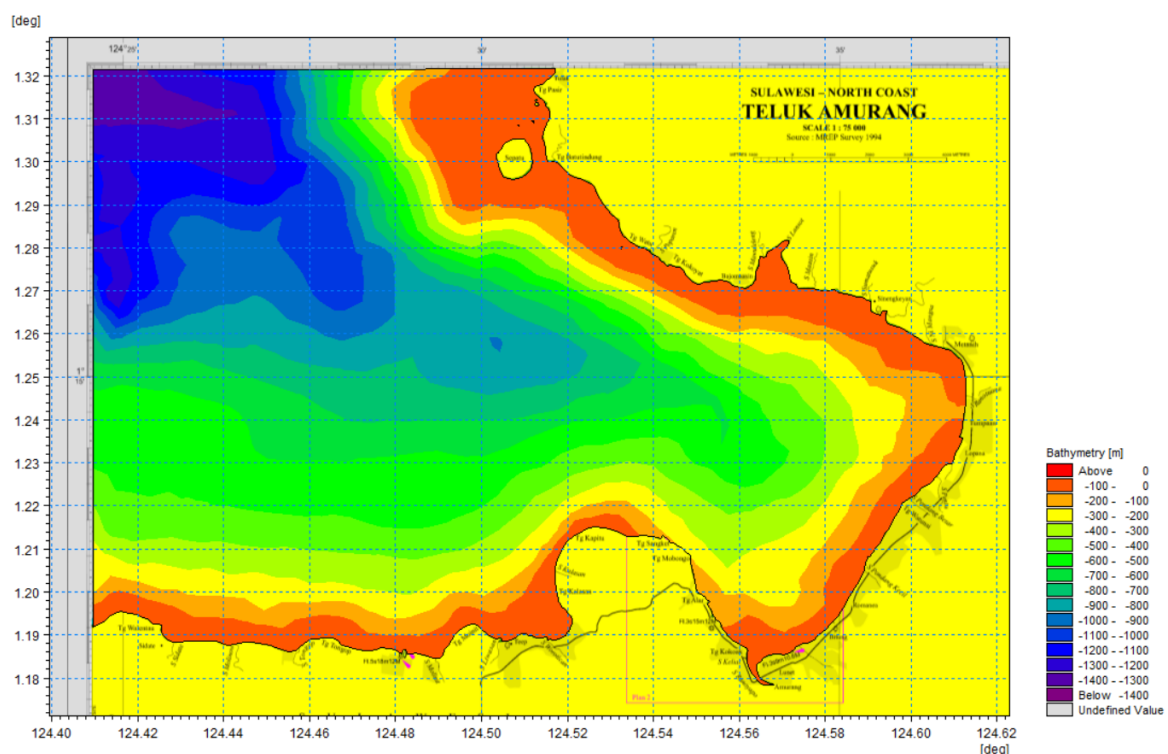
Pemodelan HD menggunakan data masukan *boundary* berupa data pasang surut terhadap *mesh* yang telah dibentuk (Tabel 1).



Gambar 2. Desain Model Teluk Amurang

Tabel 1. Parameter Hidrodinamis Model

Parameter	Implementasi dalam model
Mesh	Mesh skenario Perairan Teluk Amurang (Peta Laut Indonesia No. 36)
Time of Simulation	1) Number of Time step = 8784 2) Time Step Interval = 3600 s 3) Simulation Start Date = 01/01/2024 00:00 AM 4) Simulation End Date = 01/01/2025 00:00 PM
Module Selection	Hydrodynamic
Solution Technique	Low Order
Boundary Condition	1) Type = Specified level 2) Format = Varying in time and along boundary 3) Time series = Tide forecasting

**Gambar 3.** Interpolasi Batimetri Teluk Amurang

Analisis Pasang Surut

Tipe pasang – surut juga berpengaruh untuk perubahan arus laut secara temporal. Menurut Pond & Pickard (1983) pasang – surut yang lebih sistematis menggunakan “rasio bentuk” F dengan formulasi sebagai berikut:

$$F = \frac{(K1 + O1)}{(M2 + S2)}$$

Hasil analisis komponen pasut utama di Teluk Amurang menunjukkan bahwa konstanta pasut harian utama ($K1$ dan $O1$) serta konstanta pasut ganda utama ($M2$ dan $S2$) memiliki pengaruh signifikan terhadap dinamika pasang surut di wilayah tersebut. Berdasarkan perhitungan parameter F (*Formzal*), hasil yang diperoleh dikategorikan sebagai pasang surut ganda (semi-diurnal) jika F berada dalam rentang 0 – 0,25, pasang surut campuran dengan dominasi ganda jika F berkisar antara 0,25 – 1,5, pasang surut campuran dengan dominasi

tunggal jika F berada dalam rentang 1,5 – 3, serta pasang surut tunggal apabila nilai F lebih dari 3. Dengan demikian, karakteristik pasang surut di Teluk Amurang dapat diklasifikasikan sesuai dengan nilai F yang diperoleh dari hasil perhitungan harmonik analisis.

Pasang Surut merupakan salah satu data masukan model dalam membangun model yang diharapkan. Data pasut pada 3 Stasiun divalidasi agar model yang terbangun dapat mendekati kondisi sebenarnya. Data pasang surut hasil prediksi DHI *Global Tide* melalui *software MIKE 21 toolbox* dengan format data masukan *Line Series* (.dfs1) terhadap *boundary* terbuka dikomparasikan dengan data prediksi pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Waktu pengukuran dari 1 Januari 2024 00:00:00 WIB sampai 1 Januari 2025 00:00:00.

Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk memastikan keakuratan hasil simulasi dengan membandingkan data model terhadap data observasi. Beberapa langkah validasi meliputi: *Root Mean Square Error* (RMSE) merupakan parameter statistik yang digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan antara data hasil simulasi (X_i) dan data lapangan (Y_i), dengan mempertimbangkan jumlah data yang digunakan dalam analisis (N). Nilai RMSE dihitung untuk mengevaluasi sejauh mana perbedaan antara hasil pemodelan dan observasi, nilai RMSE yang lebih kecil menunjukkan akurasi model yang lebih baik. Validasi kedua dengan perbandingan pola arus hasil model dengan pola arus yang telah diamati untuk memastikan kesesuaian antara prediksi dan kondisi nyata di lapangan.

Model yang dibangun dapat dikatakan baik jika model tersebut mendekati kondisi sebenarnya di alam, besaran nilai validasi model yang dapat diterima dengan nilai $RMSE < 40\%$. Nilai dari validasi didapatkan dengan menggunakan persamaan RMSE dan metode korelasi *Pearson Product Moment* sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Wibowo *et al.*, 2023).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (X_i - Y_i)^2}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pasang Surut

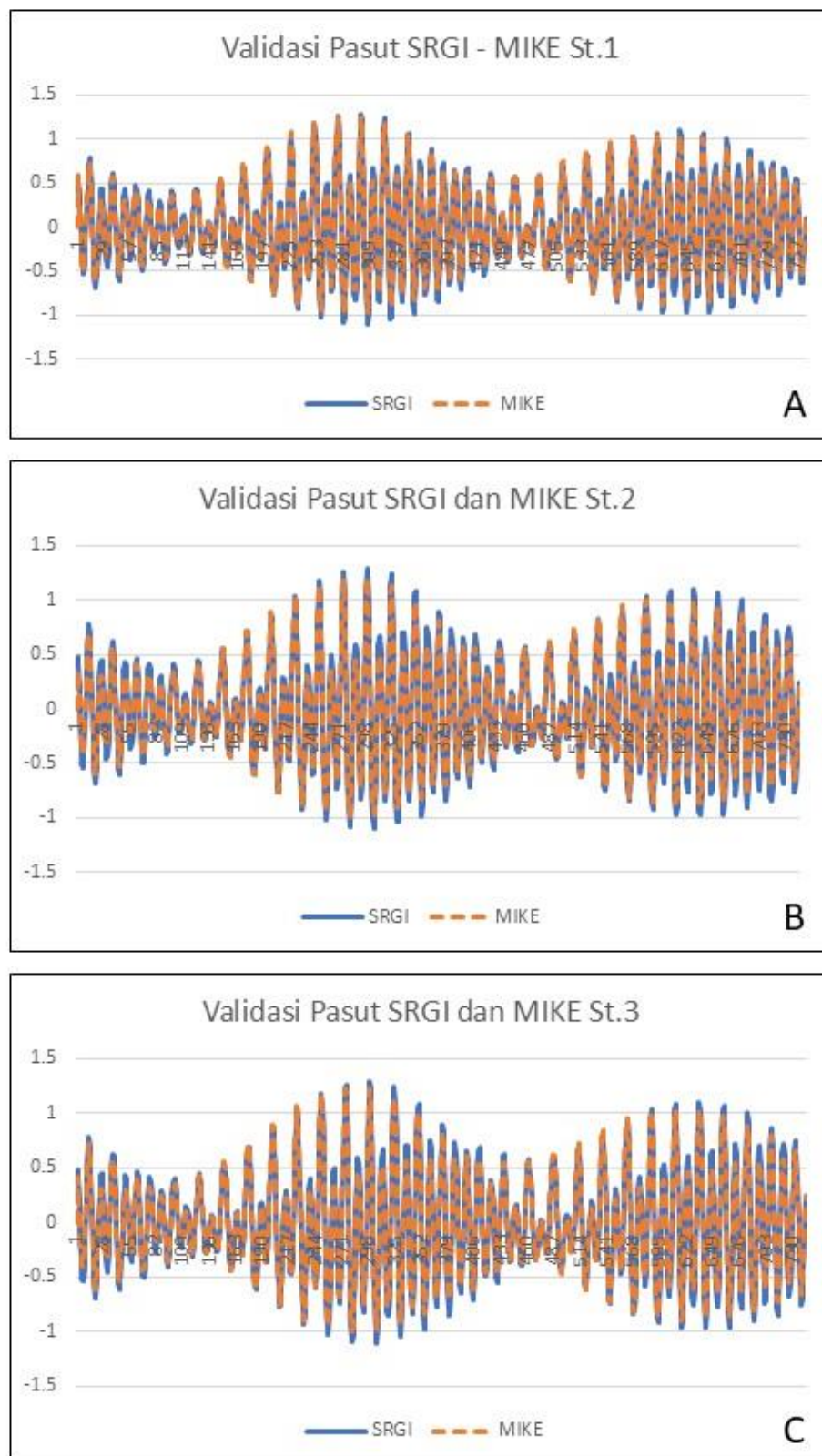
Hasil validasi data pasut hasil prediksi model dan data lapangan (BIG) pada Stasiun 1, 2, dan 3 tersaji pada Gambar 5. Garis biru mewakili prediksi DHI *Global Tide* dan garis oranye mewakili data pasut BIG. Berdasarkan grafik pada Gambar 5 nampak pada ketiga stasiun menunjukkan periode pasang – surut yang hampir sama pada setiap elevasinya. Nilai RMSE yang didapatkan pada Stasiun 1 (Gambar 4A) sebesar 0.081 atau sebesar 8,1% . Pada Stasiun 2 (Gambar 4B) diperoleh nilai RMSE sebesar 0.10 atau sebesar 10 % , dan pada Stasiun 3 (Gambar 4C) diperoleh nilai RMSE 0.080 atau sebesar 8 % . Dari ketiga stasiun diperoleh nilai RMSE kurang dari 40%, sehingga data ini dapat digunakan untuk membangun model yang baik.

Pola Arus Teluk Amurang

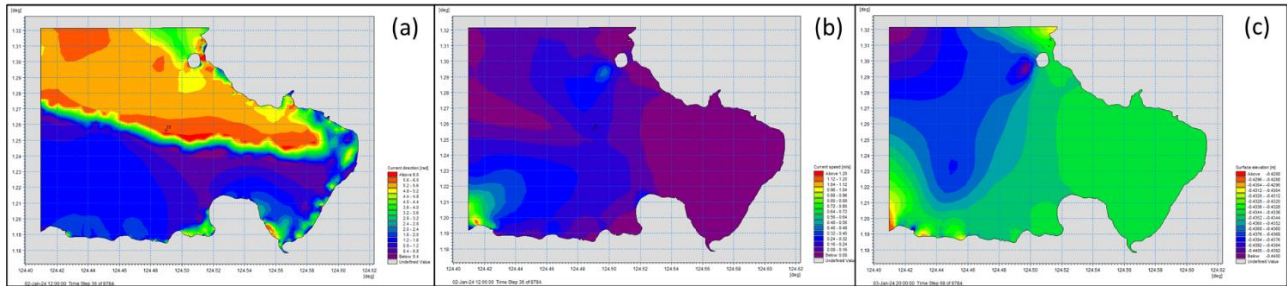
Hasil pengolahan data didapatkan elevasi permukaan (*surface elevation*), kecepatan arus (*current speed*) dan arah arus (*current direction*) seperti yang tersaji pada Gambar 5. Kondisi topografi mempengaruhi pola arus di Teluk Amurang, di bagian dalam teluk dengan kedalaman antara 1-700 m, kecepatan arus lebih rendah dibandingkan di bagian luar teluk dengan kedalaman 800-1300 m.

Hasil pemodelan kecepatan dan arah arus yang menunjukkan bahwa pola arus yang bergerak menuju Timur laut (Gambar 6). Arah arus digambarkan dengan *vector* yang menunjukkan arah rerata pergerakan arus serta visualiasi arus pada area perairan Teluk Amurang.

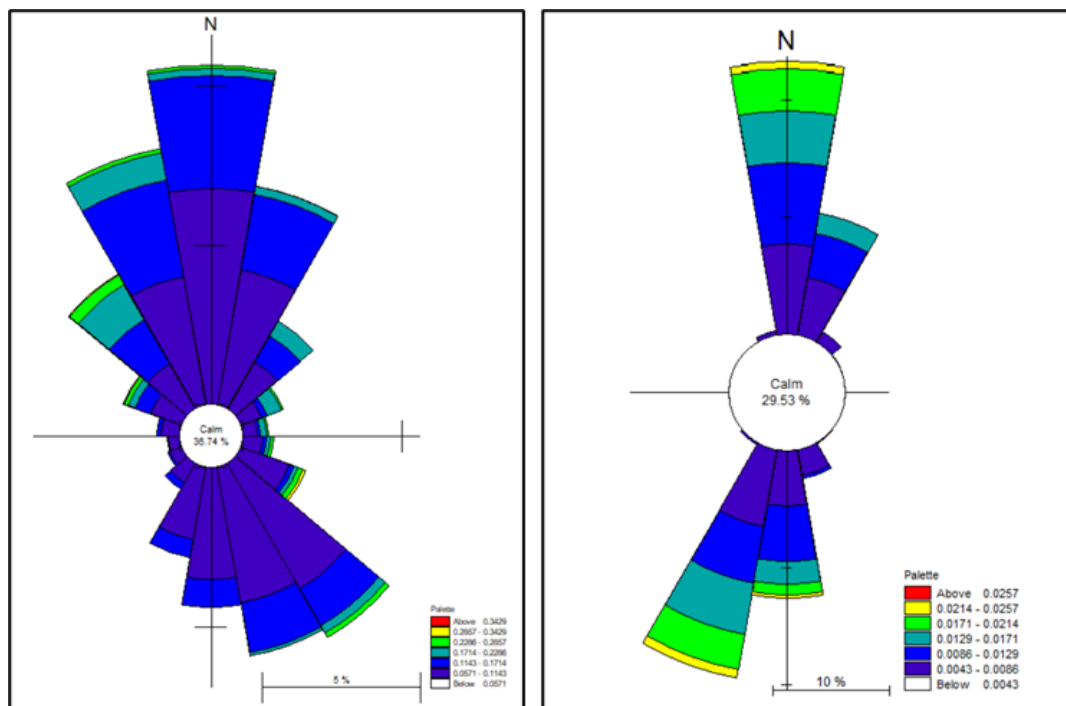
Pola arus di Teluk Amurang pada saat pasang (Gambar 8) bergerak dari barat masuk lewat sisi bawah teluk kemudian bergerak ke utara dan keluar lewat sisi atas teluk membentuk pola setengah lingkaran seperti pusaran pada tanda X dengan koordinat 1,26 LU dan 124,6 LS dengan kedalaman 917 m. Pola arus seperti ini hampir serupa dengan pola arus di Teluk Banten dan Teluk Jakarta (Pranowo *et al.*, 2014; Wisha *et al.*, 2015).



Gambar 4. Grafik Validasi Pasang Surut Hasil Model Mike dengan BIG pada Stasiun 1 (A), Stasiun 2 (B) dan Stasiun 3 (C)



Gambar 5. (a) Current direction, (b) Current speed (c) Surface elevation



Gambar 6. Plot arus (a) model Mike dan (b) model CMEMS

Pola Arus Musiman Teluk Amurang Musim Barat (Desember-Februari 2024)

Pola arus pada musim barat pada kondisi surut divisualisasikan dalam Gambar 8. Arus bergerak dari barat melewati stasiun 2 dan berbelok ke utara dengan kecepatan arus berkisar 0,22-1,37 m/s. Arus di lokasi stasiun 2 tergolong tinggi, hal ini dikarenakan lokasi stasiun 2 dekat dengan perairan terbuka. Kemudian dari stasiun 2 arus bergerak ke arah utara melewati stasiun 3 dan berbelok ke arah barat laut dengan kecepatan arus berkisar 0,2-1,2 m/s. Arus di lokasi stasiun 3 tergolong tinggi, hal ini dikarenakan lokasi stasiun 3 dekat dengan perairan terbuka. Sebagian arus dari stasiun 2 masuk ke stasiun 1 dengan kecepatan arus berkisar 0,0029-0,017 m/s cenderung ke arah selatan. Arus di lokasi stasiun 1 tergolong rendah, hal ini dikarenakan lokasi stasiun 1 berada di dalam teluk.

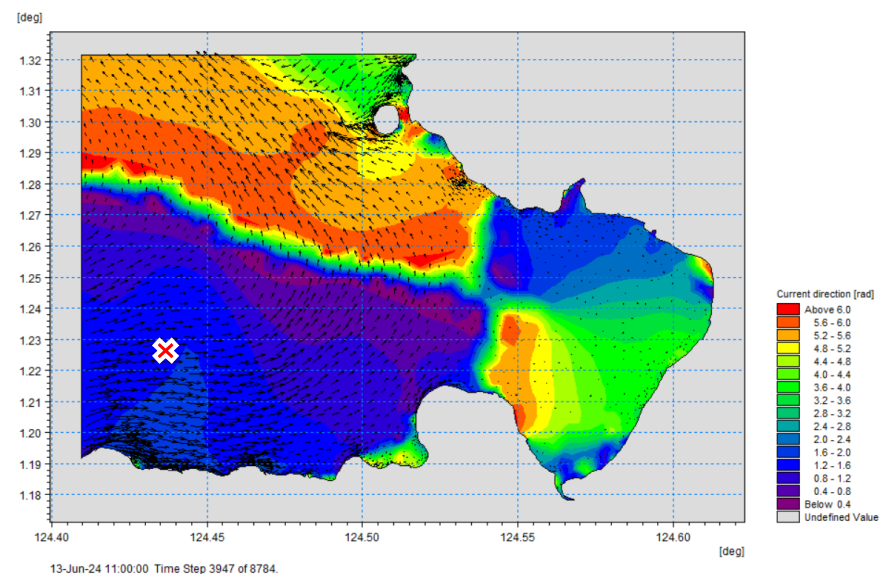
Musim Peralihan I (Maret-Mei 2024)

Arus pada musim peralihan I pada kondisi surut divisualisasikan dalam Gambar 9. Arus dari barat melewati stasiun 2 dan berbelok ke utara dengan kecepatan berkisar 0,22-1,37 m/s. Arus di lokasi stasiun 2 tergolong tinggi, hal ini dikarenakan lokasinya dekat dengan perairan terbuka. Kemudian dari stasiun 2 arus bergerak ke arah utara melewati stasiun 3 dan berbelok ke arah barat laut dengan kecepatan arus berkisar 0,2-

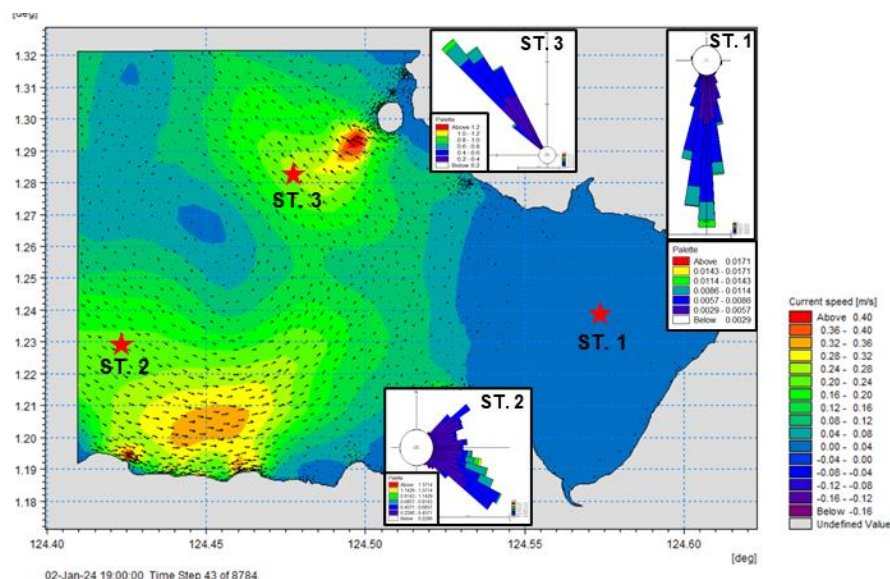
1,2 m/s. Arus di lokasi stasiun 3 tergolong tinggi, dikarenakan dekat dengan perairan terbuka. Sebagian arus dari stasiun 2 masuk ke stasiun 1 dengan kecepatan arus berkisar 0,0029-0,017 m/s cenderung ke arah selatan. Arus di lokasi stasiun 1 tergolong rendah, hal ini dikarenakan lokasi stasiun 1 berada di dalam teluk.

Musim Timur (Juni-Agustus 2024)

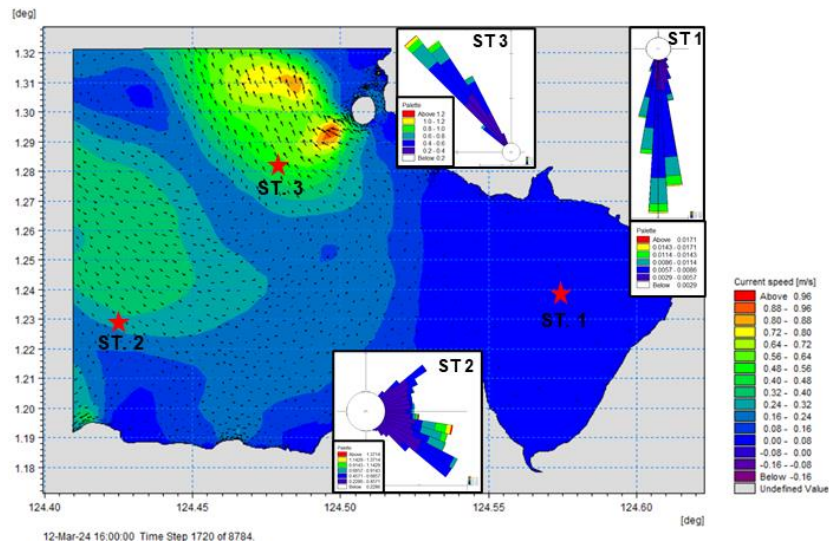
Arus pada musim timur pada kondisi surut divisualisasikan dalam Gambar 10. Arus bergerak dari barat melewati stasiun 2 dan berbelok ke arah utara dengan kecepatan arus berkisar 0,22-1,37 m/s. Arus di lokasi stasiun 2 tergolong tinggi, hal ini dikarenakan lokasi stasiun 2 dekat dengan perairan terbuka. Kemudian dari stasiun 2 arus bergerak ke arah utara melewati stasiun 3 dan berbelok ke arah barat laut dengan kecepatan arus berkisar 0,2-1,2 m/s. Arus di lokasi stasiun 3 tergolong tinggi, hal ini dikarenakan lokasi stasiun 3 dekat dengan perairan terbuka. Sebagian arus dari stasiun 2 masuk ke stasiun 1 dengan kecepatan arus berkisar 0,0029-0,017 m/s cenderung ke arah selatan. Arus di lokasi stasiun 1 tergolong rendah, hal ini dikarenakan lokasi stasiun 1 berada di dalam teluk.



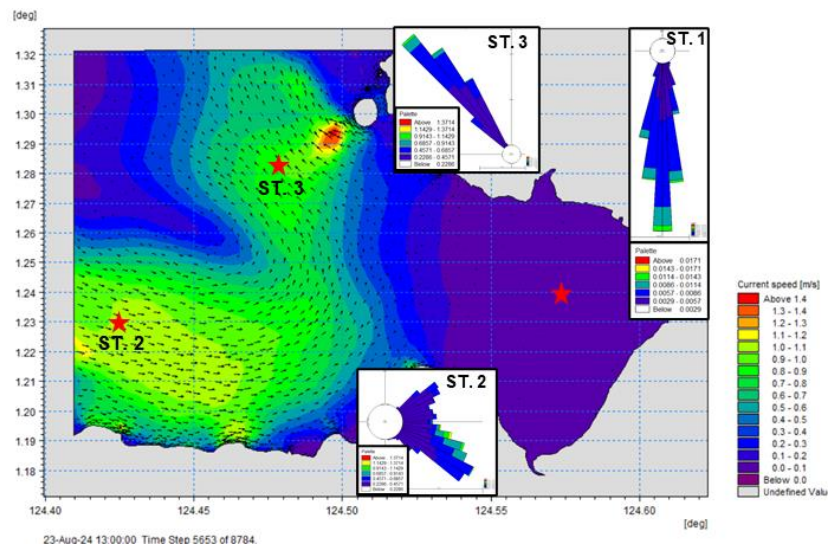
Gambar 7. Pola arus pada saat pasang



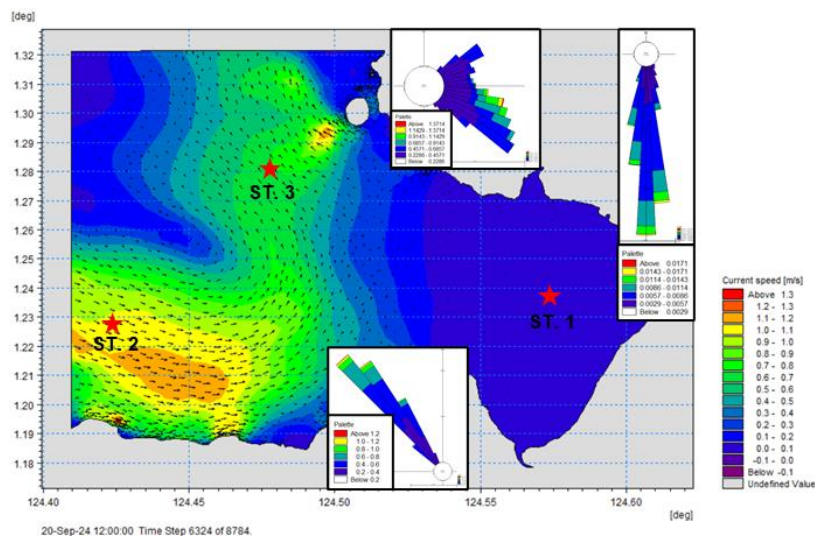
Gambar 8. Plot arus pada musim barat



Gambar 9. Pola arus musim peralihan I



Gambar 10. Pola arus musim timur



Gambar 11. Pola arus musim peralihan II

Musim Peralihan II (September-November 2024)

Arus pada musim timur pada saat surut divisualisasikan dalam bentuk gambar 11. Berdasarkan gambar tersebut terlihat pola arus dari barat melewati stasiun 2 dan berbelok ke arah utara dengan kecepatan arus berkisar 0,22-1,37 m/s. Arus di lokasi stasiun 2 tergolong tinggi, hal ini dikarenakan lokasi stasiun 2 dekat dengan perairan terbuka. Kemudian dari stasiun 2 arus bergerak ke arah utara melewati stasiun 3 dan berbelok ke arah barat laut dengan kecepatan arus berkisar 0,2-1,2 m/s. Arus di lokasi stasiun 3 tergolong tinggi, hal ini dikarenakan lokasi stasiun 3 dekat dengan perairan terbuka. Sebagian arus dari stasiun 2 masuk ke stasiun 1 dengan kecepatan arus berkisar 0,0029-0,017 m/s cenderung ke arah selatan. Arus di lokasi stasiun 1 tergolong rendah, hal ini dikarenakan lokasi stasiun 1 berada di dalam teluk.

KESIMPULAN

Pola arus di Teluk Amurang didominasi oleh pergerakan dari barat ke utara dan barat laut dengan kecepatan yang bervariasi, di mana arus di perairan terbuka cenderung lebih kuat dibandingkan dengan yang berada di dalam teluk. Validasi model menunjukkan bahwa nilai RMSE di ketiga stasiun pengamatan berada dalam batas penerimaan, sehingga model ini dapat digunakan sebagai representasi yang cukup akurat terhadap kondisi hidrodinamika di Teluk Amurang. Hasil penelitian ini memiliki implikasi penting dalam pengelolaan wilayah pesisir, terutama dalam mitigasi abrasi dan perencanaan infrastruktur maritim. Pemerintah daerah dapat memanfaatkan informasi ini dalam menentukan lokasi pembangunan tanggul atau pemecah gelombang untuk mengurangi dampak erosi. Selain itu, pemahaman terhadap pola arus juga berkontribusi dalam perencanaan jalur pelayaran dan pengelolaan sumber daya perikanan yang lebih efektif. Penelitian selanjutnya disarankan untuk meningkatkan resolusi spasial dan temporal model guna memperoleh hasil yang lebih rinci. Selain itu, integrasi dengan data observasi jangka panjang serta analisis tambahan terkait interaksi arus dengan parameter lingkungan seperti sedimen dan kualitas air dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap dinamika hidrodinamika di Teluk Amurang.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, A.M. F., Indrayanti, E. & Yusuf, M. 2023. Simulasi Pola Arus Permukaan 2 Dimensi di Perairan Pulau Nyamuk Taman Nasional Karimunjawa Pada Musim Peralihan II. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(2): 187–197. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v5i2.16554>
- Bakri, M., Santosa, Y. N., Awaluddin, Hawati, Malik, K. & Pranowo, W.S. 2024. Simulasi Pemodelan Arus Pasang Surut di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Chart Datum*, 10(2): 131–140.
- Bisyri, F. A., Satriadi, A. & Purwanto, P. 2020. Studi Muka Air Laut Rencana Dan Elevasi Puncak Breakwater di Wilayah Pesisir Kecamatan Tugu, Kota Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(2): 129–136. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.7987>
- DHI Mike. 2024. *MIKE 21 Hydrodynamic*. Diakses pada 01 Maret 2025, dari https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/MIKE_Zero_General.htm#top
- Diputra, A. E., S., S. M., Pranowo, W. S. & Adrianto, D. 2022. Studi Hidrodinamika dan Pola Sebaran Sedimen Pada Perencanaan Pembangunan Dermaga Pangkalan TNI AL Di Teluk Ratai - Lampung. *Jurnal Chart Datum*, 4(2): 75–86. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v4i2.129>
- Erfiko, M. F., Widada, S. & Atmodjo, W. 2023. Pemetaan Pola Sebaran Sedimen Dasar Di Perairan Wedung, Demak. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(2), 132–140. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v5i2.16660>
- Irawan, S., Fahmi, R. & Roziqin, A. 2018. Kondisi Hidro-Oseanografi (Pasang Surut, Arus Laut, Dan Gelombang) Perairan Nongsa Batam. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(1): 56–68. <https://doi.org/10.21107/jk.v11i1.4496>
- Nadira, A. I., Ismanto, A., Hakim, A. R. & Ramdhani, A. 2023. Tinjauan Pengaruh Pasang Surut Terhadap Arus Permukaan Menggunakan Data HF Radar di Perairan Selat Sunda. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(4): 256–264. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v5i4.16834>
- Nugroho, A. & Apriyanti, R. 2022. Konsep Perancangan Berbasis Kearifan Lokal Padasentra Kelautan dan Perikanan Terpadu (Skpt) Saumlaki, Maluku. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(7): 10217–10230.
- Polii, J. F. 2012. *Oseanografi Fisika Perairan Teluk Amurang*. VIII(April), 17–22.
- Pranowo, W. S., Arifin, T. & Heriati, A. 2014. *Dinamika Teluk Jakarta, Sirkulasi Arus Perairan Teluk Jakarta Pra dan Pasca-Konstruksi Jakarta Giant Sea Wall* (Cetakan 1,). PT Penerbit IPB Press.

- Pushidrosal. 2016. *Pemodelan*. Diakses pada 01 Maret 2025, dari <http://www.pushidrosal.id/buletin/43>
- Rahma, A. A., Adrianto, D. & Malik, K. 2024. Pemodelan Numerik Arus Pasang Surut 2D Menggunakan Software Mike 21 (Studi Kasus Selat Bangka). *Jurnal Hidrografi Indonesia*, 4(2): 87–94. <https://doi.org/10.62703/jhi.v4i2.36>
- Rahmania, R., Setiawan, A., Tussadiah, A., Kusumaningrum, P. D., Yulius, Prihantono, J., Gautama, B. G., Pranowo, W. S., Aisyah, Nugraha, A. W., Gusmawati, N. F., Widjanarko, E. & Arifin, T. 2021. Mapping seasonal marine debris patterns and potential hotspots in Banten Bay, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 763(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/763/1/012056>
- Ranadipura, A., Sugianto, D. N., Atmodjo, W., Suryoputro, A. A. D., Subardjo, P. & Widiaratih, R. 2019. Pola Arus Di Perairan Kabupaten Jepara. *Indonesian Journal of Oceanography*, 1(1): 13–25. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v1i1.6247>
- Reiner, M., Suryoputro, A.A.D. & Prasetyawan, I. B. 2017. Karakteristik Pola Arus Dan Kondisi Kualitas Perairan Di Pantai Marina Ancol , Jakarta. *Jurnal Oseanografi*, 6(2): 349–358.
- Salim, M., Risandi, J., Kuswardani, A. R. T. D. & Dharma, C. S. 2015. Pengoperasian Perangkat Lunak Mike 21 untuk Pemodelan Arus (Studi Kasus Perairan Teluk Ambon). *Jurnal Hidropilar*, 1(2): 113–123. <https://doi.org/10.37875/hidropilar.v1i2.31>
- Wibowo, N. S. W., Setiyadi, J., Putra, I. W. S. E. & Astika, I. M. J. 2023. Kajian Perawatan Kolam Pelabuhan dalam Aspek Hidro-Oseanografi (Studi Kasus Dermaga Sunda Pondok Dayung). *Jurnal Chart Datum*, 9(1): 21-38. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v9i1.263>
- Wisha, U. J., Husrin, S. & Prihantono, J. 2015. Hydrodynamics Banten Bay During Transitional Seasons (August–September) (Hidrodinamika Perairan Teluk Banten Pada Musim Peralihan (Agustus–September)). *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 20(2), 101. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.20.2.101-112>