

**PERBANDINGAN HASIL ANALISIS PASANG SURUT MENGGUNAKAN METODE
ADMIRALTY DAN PEMODELAN MIKE 21 DI PERAIRAN TANJUNG UBAN
PADA BULAN SEPTEMBER 2024**

**COMPARISON OF TIDAL ANALYSIS USING THE ADMIRALTY METHOD AND MIKE 21
MODELING IN THE COASTAL WATERS OF TANJUNG UBAN IN SEPTEMBER 2024**

¹Hawa Aurela Kumala*, ²Agus Hirmawan, ³Dhimas Prabu Pratama,

¹Program Studi Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

²Pusat Hidro-oseanografi TNI Angkatan Laut

*Koresponden penulis: hawaaurelakumala@students.undip.ac.id

Abstrak

Penentuan konstanta harmonik pasang surut, datum, dan tipe pasang surut laut sangat dipengaruhi oleh kondisi lokasi pengamatan, serta posisi relatif bulan maupun matahari yang memiliki periode tertentu pada setiap waktunya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik pasang surut menggunakan metode Admiralty dan membandingkan hasil analisis pasang surut di Perairan Tanjung Uban dengan data prediksi BIG (Badan Informasi Geospasial), TMD (*Tide Model Driver*), dan MIKE 21 dengan interval satu jam pada bulan September 2024. Validasi data pasang surut dilakukan dengan menghitung *Root Mean Square Error* (RMSE) dan korelasi dari kedua data. Hasil pengolahan menggunakan 29 piaman menghasilkan komponen utama dan nilai bilangan Formzahl di Tanjung Uban mencapai 0,8 pada data lapangan dan data prediksi BIG (1,0), MIKE (0,7), dan TMD (0,6) yang termasuk ke dalam kategori campuran condong ke ganda. Perairan Tanjung Uban pada bulan September 2024 memiliki nilai *mean sea level* setinggi 7,89 m. Prediksi dilakukan untuk dijadikan perbandingan dan mencari nilai RMSE yang dapat dijadikan acuan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi pasang surut yang terverifikasi cukup akurat diantara data prediksi lainnya dengan nilai RMSE data BIG sebesar 0,0062 dengan korelasi 0,92 sehingga perbandingan data lapangan dengan data prediksi memiliki korelasi yang kuat.

Kata Kunci: Pasang Surut, Admiralty, Tanjung Uban, Data Prediksi, Komponen Harmonik

Abstract

The determination of tidal harmonic constants, tidal datum, and tidal type is influenced by site conditions as well as the relative positions of the moon and sun, which follow specific astronomical cycles. This study analyzes tidal characteristics in Tanjung Uban using the Admiralty method and compares the results with tidal predictions from BIG (Geospatial Information Agency), TMD (Tide Model Driver), and MIKE 21 at one-hour intervals throughout September 2024. Validation was conducted by calculating the Root Mean Square Error (RMSE) and correlation between field observations and model predictions. The tidal analysis employed 29 harmonic constituents, producing the main components used to determine tidal type. The Formzahl number for field observations in Tanjung Uban reached 0,8, while predictions from BIG (1,0), MIKE (0,7), and TMD (0,6) also indicated a mixed semidiurnal tide. The mean sea level (MSL) during September 2024 was recorded at 7,89 m. For comparison, RMSE values were used to evaluate model accuracy. Among all datasets, BIG produced the lowest RMSE of 0,0062 with a correlation coefficient of 0,92, indicating strong agreement between observations and predictions. These findings demonstrate that BIG provides the most reliable prediction accuracy for tidal analysis in Tanjung Uban.

Keyword: Tides, Admiralty, Tanjung Uban, Prediction Data, Harmonic Components

1. PENDAHULUAN

Wilayah Tanjung Uban merupakan bagian dari Pulau Bintan yang memiliki fasilitas pelabuhan untuk pelayanan kapal ekspedisi, kapal logistik, dan kapal penumpang jenis perintis. Tanjung Uban berfungsi sebagai jalur penghubung utama menuju Pulau Batam dan menuju Singapura. Aktivitas pelayaran yang cukup tinggi menjadikan kawasan Tanjung Uban berperan sebagai pusat mobilitas penduduk dan wilayah strategis yang mendukung pergerakan ekonomi regional serta lintas batas (Irawan, 2017).

Tanjung Uban merupakan kawasan pesisir strategis di Provinsi Kepulauan Riau yang berada pada jalur pelayaran penting antara Selat Malaka, Selat Singapura, dan Laut Natuna. Wilayah ini memiliki kondisi hidrodinamika yang kompleks akibat interaksi pasang surut dan arus laut, serta aktivitas transportasi laut yang tinggi seperti lintasan Telaga Punggur–Tanjung Uban yang tergolong dalam wilayah penting untuk kajian dinamika perairan dan operasi pelayaran (Bayhaqi et al., 2021).

Kondisi pasang surut di perairan Indonesia sangat beragam karena terdapat berbagai pengaruh signifikan seperti faktor geografis, bentuk topografi dasar laut, dan interaksi gaya tarik gravitasi matahari maupun bulan terhadap massa air laut sehingga menyebabkan perubahan secara teratur pada permukaan laut sepanjang pantai. Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di antara Samudra Hindia dan Samudra Pasifik, setiap wilayah pesisir Indonesia memiliki karakteristik pasang surut yang berbeda-beda. Perairan Tanjung Uban dipengaruhi langsung oleh dinamika pasang surut dari Selat Singapura dan Laut Natuna. Interaksi massa air dari kedua wilayah tersebut menghasilkan pola pasang surut campuran dengan kecenderungan harian ganda yang ditandai oleh dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari. Kombinasi faktor astronomis,

geografis, dan batimetri lokal dapat mempengaruhi fluktuasi muka air di Tanjung Uban sehingga wilayah sangat penting untuk analisis pasang surut, perencanaan pelabuhan, serta keselamatan navigasi kapal (Suhana et al., 2018).

Menurut Handoko et al. (2024), pasang surut adalah fluktuasi permukaan air laut yang terjadi secara periodik sebagai fungsi waktu karena adanya gaya gravitasi benda astronomi terutama matahari, bulan, dan bumi terhadap massa air. Fluktuasi muka air laut dapat berubah-ubah secara periodik dalam suatu selang waktu tertentu atau sering disebut dalam satu siklus pasang surut. Karakteristik pasang surut di perairan Indonesia dipengaruhi oleh letak geografis, morfologi pantai, maupun batimetri pada setiap perairan.

Keragaman kondisi pasang surut di perairan Indonesia dan keterbatasan jumlah stasiun pengamatan pasang surut di berbagai wilayah menjadikan pemanfaatan model prediksi pasang surut sangat relevan. Variasi karakteristik lokal seperti morfologi pantai, kedalaman perairan, dan dinamika oseanografi setempat dapat menyebabkan data observasi yang tersedia sering kali belum mencukupi untuk analisis secara berkelanjutan sehingga pemodelan pasang surut berbasis data global maupun analisis harmonik tetap diperlukan dalam meningkatkan ketepatan prediksi serta mendukung perencanaan dan pengelolaan wilayah pesisir (Tambunan et al., 2024).

Metode Admiralty merupakan metode yang digunakan menghitung konstanta pasang surut harmonik dari pengamatan ketinggian air laut tiap jam selama 15 atau 29 piantan (Anindra dan Wulansari, 2024). Metode Admiralty digunakan untuk menentukan Muka Air Laut Rerata (MLR) harian, bulanan, tahunan dan menghitung dua konstanta harmonik yaitu amplitudo dan keterlambatan fase. Keunggulan dalam menggunakan metode Admiralty dengan

mempertimbangkan faktor astronomis dan meteorologis pada data yang dihasilkan untuk melihat variasi pasang surut berdasarkan bulanan dan musiman yang terjadi (Ulum dan Khomsin, 2013). Proses perhitungan metode Admiralty dihitung dengan bantuan tabel. Proses perhitungan analisa harmonik metode Admiralty dilakukan dengan perhitungan sistem formula dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel yang akan menghasilkan nilai dari beberapa parameter yang ditabelkan sehingga perhitungan pada metode Admiralty menjadi efisien dan memiliki keakuratan yang tinggi serta fleksibel (Pasaribu et al., 2022).

Pasang surut dapat digunakan untuk menentukan elevasi muka air sehingga berguna dalam merancang dimensi bangunan fasilitas pelabuhan dan melengkapi kebutuhan penggambaran peta batimetri (kontur kedalaman laut) maupun untuk penentuan pola pasang surut selama pengamatan. Data elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) juga digunakan untuk merencanakan bangunan dermaga (Amri et al., 2021). Transportasi laut memiliki peran penting sebagai sarana pendukung dan penghubung antar daerah, antar pulau, bahkan antar negara dengan wilayah perairan yang sangat berdampak besar dari dinamika gelombang laut. Analisis terhadap variasi pasang surut laut dilakukan untuk meminimalkan risiko limpasan air laut yang dapat merusak infrastruktur pesisir. Oleh karena itu, gelombang pasang surut menjadi faktor utama yang harus diperhatikan terutama dalam penentuan elevasi puncak bangunan yang disesuaikan dengan ketinggian muka air pasang.

Informasi pasang surut pada umumnya diperoleh dari stasiun pasang surut yang terletak di beberapa pelabuhan. Indonesia memiliki dua instansi pemerintah yang menyediakan data pasang surut di pelabuhan yaitu BIG (Badan Informasi Geospasial) dan PUSHIDROSAL. Ketersediaan data pasang

surut hasil pengukuran lapangan yang kontinu masih sangat terbatas karena besarnya usaha dan biaya yang dikeluarkan jika melakukan pengukuran lapangan. Salah satu alternatif untuk mendapatkan data pasang surut adalah menggunakan model pasang surut global yang dapat memodelkan pasang surut di lokasi manapun sehingga dapat diketahui nilai amplitudo dan fase dari pasang surut di suatu lokasi sesuai dengan lokasi pengamatan (Sufyan et al., 2023).

Menurut Budiyo et al. (2018), salah satu cara untuk memperoleh data pasang surut pada perairan yang letaknya jauh dari garis pantai adalah dengan menggunakan perangkat lunak *Tidal Model Driver* (TMD) sebagai alat prediksi. TMD merupakan suatu alat bantu yang dapat digunakan untuk melakukan sesuatu analisis harmonik dengan koreksi nodal menggunakan prinsip metode *Least Square*. TMD diterapkan pada MATLAB berupa *toolbox* yang tersusun dari beberapa *function* untuk suatu analisis dan prediksi pasang surut, *function* tersebut yang kemudian akan mengolah data pengamatan pasang surut yang diperintah melalui *toolbox* TPXO 7.2 atau sesuai dengan versi yang digunakan.

Menurut Bakri et al. (2024), *Software MIKE Zero* merupakan *software* yang digunakan dalam berbagai pemodelan seperti pemodelan pasang surut, gelombang, arus dan sebagainya. *Software MIKE Zero* dipakai dalam memprediksi parameter yang akan diukur dengan membuat model hidrodinamika. Model hidrodinamik dalam *MIKE Zero* adalah sistem model numerik umum untuk muka air dan aliran di estuari, teluk, dan pantai.

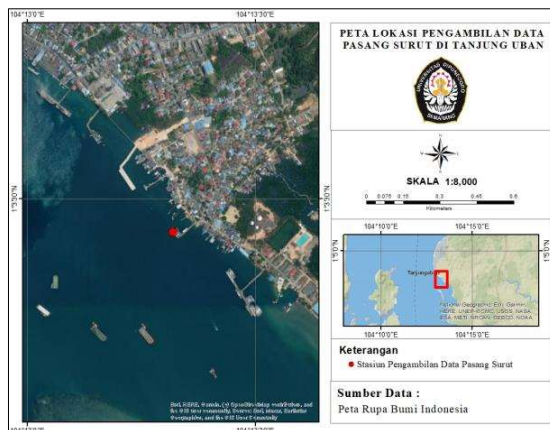
2. METODE

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Metode yang digunakan yaitu dengan membandingkan model prediksi pasang surut diantaranya yaitu BIG

(<https://geoportal.big.go.id/#/>), TMD (TPXO 7.2) dan MIKE Zero dengan data hasil pengamatan lapangan sebagai referensi untuk melihat akurasi dari masing-masing model tersebut. Pengamatan elevasi muka air di Tanjung Uban diukur dengan menggunakan Telemetri. Periode pengukuran data pasang surut dilaksanakan selama 30 hari (1 hingga 30 September 2024) dengan interval pengamatan selama 1 jam. Alat pengukuran data pasang surut telemetri yang digunakan ditempatkan pada titik koordinat 1,057111°LU, 104,222167°BT yang terletak di bagian utara Pulau Bintan Kepulauan Riau, Indonesia.

Pasang surut juga memengaruhi sirkulasi dan pencampuran massa air. Pergantian massa air saat terjadi pasang dari laut terbuka relatif lebih dingin sehingga menurunkan suhu di perairan pesisir dan sebaliknya, ketika terjadi surut maka air yang tersisa akan berada lebih lama di area pantai sehingga menyebabkan suhu perairan lebih tinggi akibat pemanasan sinar matahari yang lebih intensif. Pola pasang surut di Tanjung Uban berperan penting dalam mengatur keseimbangan termal perairan yang dapat memengaruhi ekosistem pesisir, produktivitas primer, dan kenyamanan biota laut (Amin et al., 2013).



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Data Pasang Surut di Tanjung Uban Provinsi Riau pada Bulan September 2024.
(Sumber: Pushidrosal, 2024)

2.2 Analisis Data

Gaya tarik dari benda langit dalam peramalan pasang surut direpresentasikan melalui komponen amplitudo dan beda fase masing-masing gaya tarik tersebut seperti *principal lunar* (M2), *principal solar* (S2), *larger lunar elliptic* (N2), *luni-solar semi diurnal* (K2), *luni-solar diurnal* (K1), *principal lunar diurnal* (O1), *principal solar diurnal* (P1), *main lunar* (M4), serta *main luni-solar* (MS4). Data didapatkan melalui penggunaan satelit altimetri kemudian diolah untuk mendapatkan nilai *sea surface high* yang digunakan untuk menentukan komponen harmonik dengan analisis metode Admiralty pada stasiun yang diamati (Handoko et al., 2024).

Komponen pasang surut karena faktor astronomi dan perairan dangkal bersifat periodik, sedangkan gangguan faktor meteorologi bersifat musiman tanpa memperhatikan faktor *meteorology* sehingga elevasi pasang surut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$h(t_i) = S_0 + \sum_{k=1}^m a_j \cos(2\pi f t_i - \theta_j) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

$H(t)$ = tinggi rata-rata permukaan air di atas datum yang digunakan

S_0 = percepatan gravitasi

t_i = waktu ke- i

m = jumlah komponen yang digunakan

a_j = amplitudo komponen ke- j

$2\pi f t_i$ = frekuensi komponen ke- j (ω_j)

θ_j = keterlambatan fase komponen ke- j

Menurut Wahid et al. (2023), nilai amplitudo didapatkan melalui perhitungan analisis harmonik untuk mendapatkan tipe pasang surut dengan persamaan sebagai berikut:

$$F = \frac{A_{K1} + A_{O1}}{A_{M2} + A_{S2}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

F = Bilangan Formzahl

A_{K1} = Amplitudo komponen harmonik K1

A_{O1} = Amplitudo komponen harmonik O1

A_{M2} = Amplitudo komponen harmonik M2

A_{S2} = Amplitudo komponen harmonik S2

Menurut Triatmodjo (1999) pasang surut di Indonesia dapat dibagi menjadi empat tipe diantaranya, yaitu:

1. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*) atau terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dalam satu hari dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur.
2. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), yaitu terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut dalam satu hari.
3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*), dimana terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dalam satu hari, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.
4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*), yaitu dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

2.3 Kriteria Tingkat Kesalahan (Error)

Proses validasi atau verifikasi dilakukan dengan perhitungan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) pada setiap data, sehingga diperoleh rata-rata tingkat kesalahan (*error*) dari masing-masing data perbandingan (Wahid et al., 2023). Keakuratan pada data lapangan dengan hasil pengolahan dapat diketahui dalam presentase nilai melalui perhitungan nilai kesalahan relatifnya (RMSE) dengan rumus sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [y_1 - y_2]^2}{n}} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

$RMSE$ = akar dari rata-rata kuadrat kesalahan

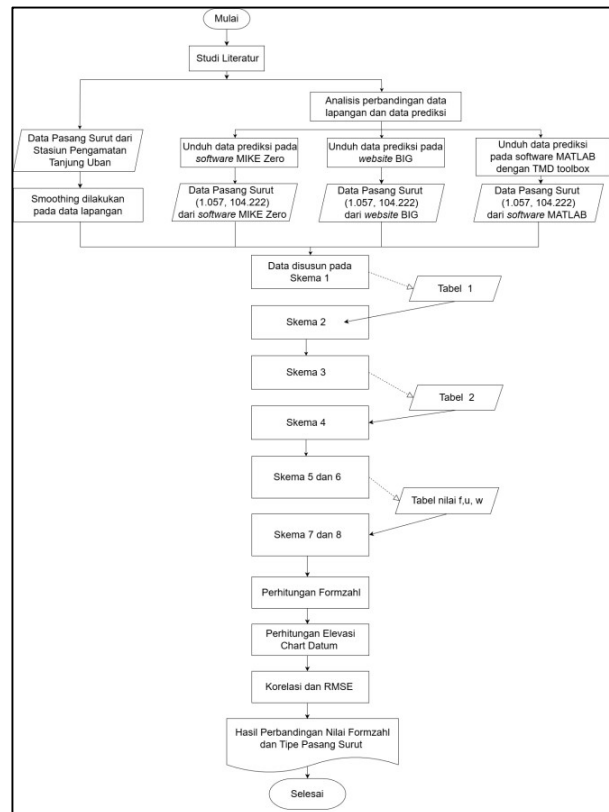
y_1 = data prediksi

y_2 = data validasi

n = jumlah data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Data Pasang Surut Telemetry PUSHIDROSAL bulan September tahun 2024
- b. Data pasang surut dengan menggunakan *Tidal Prediction of Heights Toolbox* yang tersedia di MIKE 21 sebagai perbandingan terhadap data lapangan PUSHIDROSAL.
- c. Data prediksi Badan Informasi Geospasial (BIG) sebagai perbandingan terhadap data lapangan pasang surut PUSHIDROSAL.
- d. Data prediksi pasang surut TMD sebagai perbandingan terhadap data lapangan pasang surut PUSHIDROSAL.



Gambar 2. Flowchart Pengolahan Data

Langkah pertama pada metode Admiralty, yang harus dilakukan adalah penghalusan (*smoothing*) data untuk menghilangkan *noise*. Metode Admiralty pada penelitian menggunakan delapan buah skema dan bantuan tabel konstanta dimana setiap

skema dan tabel yang digunakan pada penelitian memiliki fungsinya masing-masing sebagai berikut:

- a. Skema 1 : Matriks data tinggi pasang surut yang terdiri dari jam serta tanggal pengamatan selama 15 atau 29 piamtan.
- b. Skema 2 : Matriks penyesuaian skema 1 dengan kolom sebagai X1, Y1, X2, Y2, X4, dan Y4 dan baris sebagai tanggal pengamatan menggunakan tabel 1 sebagai tabel bantuan.

Tabel 1 : Daftar 1 (konstanta pengali untuk menyusun skema II waktu (jam).

- c. Skema 3 : Matriks penyesuaian skema 2 dengan kolom sebagai X0, X1, Y1, X2, Y2, X4, dan Y4 dan baris sebagai jam pengamatan.

Tabel 2 : Tabel pengali untuk skema 3.

- d. Skema 4 : Matriks penyesuaian skema 3 dengan kolom sebagai kombinasi X dan Y dengan 0, 2, B, 3, C, 4, dan D dan baris sebagai tanggal pengamatan.
- e. Skema 5 : Matriks penyesuaian skema 4 dengan kolom sebagai X dan Y sedangkan baris sebagai 28 kombinasi parameter X dan Y dengan 0, 2, B, 3, C, 4, dan D pada skema 4.
- f. Skema 6 : Matriks penyesuaian skema 5 dengan kolom sebagai S0, M2, S2, N2, K1, O1, M4, dan MS4 dan nilai-nilai penjumlahan atau pengurangan dari skema 5.

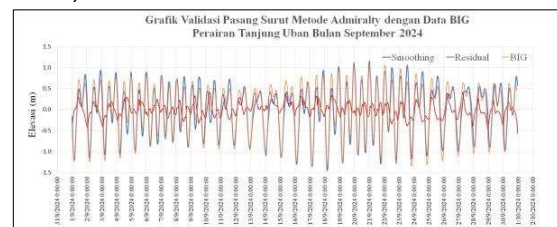
Tabel 3 : Tabel parameter w/f dan W/f.

- g. Skema 7 : Penyusunan nilai komponen pasang surut utama
- h. Skema 8 : Hasil komponen pasang surut utama dengan menggunakan bantuan Tabel 3.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perbandingan Data Pasang Surut Lapangan PUSHIDROSAL dan Prediksi

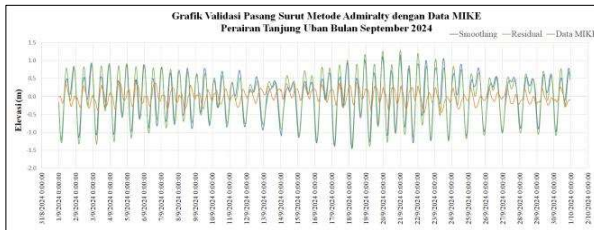
Gambar 3 menunjukkan elevasi muka air laut saat kondisi yaitu saat pasang tertinggi pada 21 September 2024 pukul 00.00 WIB dan surut pada 18 September pukul 04.00 WIB. Ketinggian air maksimum terjadi pada saat pasang yaitu sebesar 1,2 m dan ketinggian air minimum terjadi pada saat surut yaitu sebesar -1,5 m terhadap datum acuan. Selisih antara ketinggian pasang tertinggi dan surut terendah tersebut menunjukkan *range* pasang surut sebesar 2,7 m yang mengindikasikan bahwa wilayah ini memiliki amplitudo pasang surut cukup besar sehingga termasuk kategori pasang surut meso-tidal apabila >2 m (Pamungkas, 2018).



Gambar 3. Perbandingan Data Lapangan dengan Data Prediksi BIG.

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa model prediksi BIG memiliki akurasi tinggi terhadap data lapangan, dengan nilai RMSE yang sangat kecil yaitu 0,0063 m yang menunjukkan bahwa metode Admiralty mampu merepresentasikan kondisi pasang surut aktual di perairan Tanjung Uban sesuai dengan pernyataan Arinal dan Azhari (2023), bahwa semakin kecil nilai *Root Mean Square Error* (semakin mendekati 0) maka hasil pengukuran akan semakin akurat. Tinggi muka air maksimum (HHWL) tercatat 1,7 m. Surut terendah (LLWL) mencapai -1,7 m yang menandakan kisaran pasang surut relatif seimbang antara pasang dan surut. Bilangan Formzahl sebesar 1,01 termasuk ke dalam tipe pasang surut campuran condong harian ganda, di mana dalam satu hari terjadi dua

kali pasang dan dua kali surut dengan ketinggian yang berbeda. Kondisi tersebut sejalan dengan karakteristik perairan Kepulauan Riau yang umumnya dipengaruhi oleh kombinasi komponen astronomis setengah harian (M2, S2) dan harian (K1, O1).



Gambar 4. Perbandingan Data Lapangan dengan Data Prediksi MIKE

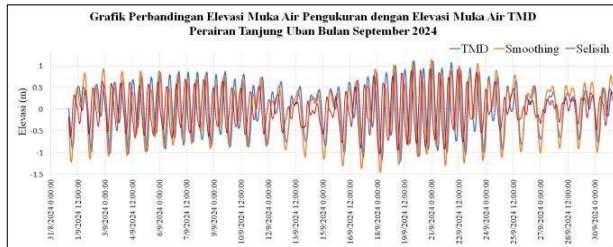
Gambar 4 menunjukkan elevasi muka air laut saat kondisi pasang tertinggi dan surut terendah sebagai berikut:

- 20 September 2024 dan 21 September pukul 00.00 WIB terjadi pasang tertinggi dengan ketinggian air maksimum terjadi pada saat surut yaitu sebesar 1,3 m.
- 18, 19 September 2024 pukul 05.00 WIB di Ketinggian air minimum terjadi pada saat surut yaitu sebesar -1,4 m.
- 19 September 2024 pukul 06.00 WIB di Ketinggian air minimum terjadi pada saat surut yaitu sebesar -1,4 m.
- 17, 18 September 2024 pukul 04.00 WIB di Ketinggian air minimum terjadi pada saat surut yaitu sebesar -1,4 m.

Berdasarkan hasil perhitungan pasang surut dengan metode Admiralty berupa nilai elevasi muka air. Perbedaan ketinggian muka air laut diduga dipengaruhi oleh posisi bulan terhadap bumi, faktor jarak antara bulan dengan bumi dan jarak antara bumi dan matahari dalam masing-masing lintasan orbit, faktor lokal yang tidak dapat diperhitungkan dalam metode Admiralty meliputi tekanan atmosfer, densitas air laut, arus laut, curah hujan, dan faktor lainnya di Perairan Tanjung Uban. Elevasi muka air pada bulanan ditentukan melalui nilai rerata muka air harian untuk waktu sebulan yang dipengaruhi oleh cuaca, sedangkan pada elevasi muka air

tahunan berubah dari tahun ke tahun walaupun perubahan tidak terlalu besar. Pasang tertinggi terjadi pada 20–21 September 2024 dengan ketinggian maksimum sekitar 1,3 m sedangkan surut terendah berulang pada 17–19 September dengan nilai minimum mencapai -1,4 m. Pergeseran waktu surut yang bergeser sekitar satu jam setiap hari mengindikasikan karakter pasang surut campuran condong harian ganda yang umum terjadi di wilayah sekitar Selat Singapura. Wilayah yang memiliki tipe pasang surut semi-diurnal cenderung lebih rentan terhadap pencemaran karena material pencemar tidak cepat terbawa keluar dari perairan sehingga membuat akumulasi polutan lebih mudah terjadi. Selain itu, dinamika pasang surut juga berperan penting dalam berbagai aktivitas budidaya perikanan terkait sirkulasi air dan ketersediaan nutrisi di sekitar lokasi budidaya (Yulius et al., 2017). Pola yang terjadi berimplikasi pada dinamika arus yang kuat, potensi perubahan elevasi muka air yang signifikan, serta pengaruh terhadap aktivitas pelayaran dan pesisir di Tanjung Uban. Elevasi muka air bulanan di Tanjung Uban ditentukan oleh rerata muka air harian selama satu bulan dan dipengaruhi oleh kondisi cuaca terutama variasi angin musiman dan hujan yang umum terjadi di wilayah Kepulauan Riau.

Hasil perhitungan analisa konstanta harmonik data PUSHIDROSAL pada September 2024 menunjukkan nilai MSL sebesar 7,89 meter; HHWL sebesar 9,55 meter; dan LLWL sebesar 6,23 meter. Nilai elevasi muka air tertinggi (HHWL) yang diperoleh dapat menjadi acuan atau dasar dalam perencanaan sistem reklamasi dan acuan dalam menentukan tinggi elevasi lahan reklamasi (Kurniawan et al., 2019).



Gambar 5. Perbandingan Data Lapangan dengan Data Prediksi TMD

Gambar 5 menunjukkan elevasi muka air laut saat kondisi pasang tertinggi dan surut terendah sebagai berikut:

- 18 September 2024 pukul 00.00 WIB terjadi pasang tertinggi dengan ketinggian air maksimum terjadi pada saat surut yaitu sebesar 1,1 m.
- 20 September 2024 pukul 01.00 WIB di Ketinggian air minimum terjadi pada saat surut yaitu sebesar -1,9 m.

Grafik menunjukkan bahwa pola fluktuasi elevasi muka air dari hasil pengukuran dan TMD cenderung serupa atau menunjukkan siklus pasang surut harian ganda (*semidiurnal tide*). Perbedaan yang muncul ditunjukkan oleh suatu kurva yang menunjukkan selisih pada periode tertentu terlihat adanya selisih yang cukup jelas ketika terjadi pasang maupun surut. Jika nilai residu semakin mendekati nol, maka tingkat kesesuaian kedua metode dalam menggambarkan pola pasang surut di lokasi penelitian akan semakin tinggi atau sesuai (Nirmala et al., 2024).

Tabel 1. Perbandingan Nilai Formzahl

	Lapangan	TMD	BIG	Mike 21
F	0,8	0,618	1,009	0,704

Berdasarkan tipe pasang surut bilangan Formzahl, dengan nilai $0,25 < F \leq 1,5$ dapat ditentukan tipe pasang surut di daerah pesisir Tanjung Uban termasuk ke dalam tipe pasang surut campuran dengan condong harian ganda. Tipe pasang surut tersebut ditandai dengan dua kali pasang dan dua kali surut tetapi terkadang tinggi dan periodenya berbeda.

3.3 Perbandingan Parameter Komponen Pasang Surut Telemetri PUSHIDROSAL dan Data Prediksi

Penentuan muka air laut dengan menggunakan metode Admiralty dilakukan dengan mencari nilai komponen harmonik pasang surut yang kemudian dilakukan perhitungan hingga didapatkan besaran nilai muka air laut seperti *Mean Sea Level* (MSL), *Highest High Water Level* (HHWL), *Lowest Low Water Level* (LLWL), dan bilangan formzahl untuk menentukan karakteristik serta tipe pasang surutnya.

Tabel 2. Perbandingan Parameter Data Lapangan Pushidrosal dengan Prediksi MIKE

	PUSHIDROSAL	MIKE	Selisih
F	0.84	0.70	0.14
z0	1.87	1.90	0.04
HHWL	1.66	1.73	0.07
MHWL	1.26	1.32	0.06
MSL	0.00	0.00	0.00
MLWL	-1.26	-1.31	0.06
LLWL	-1.66	-1.73	0.07

Perbandingan parameter pasang surut antara data lapangan Pushidrosal dan prediksi MIKE menunjukkan pola yang konsisten, dengan tipe pasut campuran condong harian ganda dengan bilangan formzahl pada data lapangan mencapai 0,84 dan MIKE menghasilkan bilangan formzahl 0,704. Perbedaan nilai rerata pasang tinggi (MHWL) yang diprediksi MIKE lebih besar sebesar 1,73 m dibandingkan hasil lapangan. Nilai rata-rata muka laut (MSL) juga menunjukkan selisih LLWL mencapai -1,73 m pada data MIKE sehingga menandakan adanya bias positif pada model prediksi. Selisih pada pasang rendah relatif kecil.

Tabel 3. Perbandingan Parameter Data Lapangan Pushidrosal dengan Prediksi BIG

	PUSHIDROSAL	BIG	Selisih
F	0.84	1.01	0.16
z0	1.87	1.87	0.00
HHWL	1.66	1.73	0.07
MHWL	1.26	1.38	0.12
MSL	0.00	0.00	0.00
MLWL	-1.26	-1.38	0.12
LLWL	-1.66	-1.72	0.07

Perbandingan parameter pasang surut antara data lapangan Pushidrosal dengan prediksi pasang surut BIG menunjukkan pola yang konsisten, dengan tipe pasang surut campuran condong harian ganda dengan bilangan formzahl pada data lapangan mencapai 0,84 dan BIG menghasilkan bilangan formzahl 1,01. Perbedaan nilai pasang tertinggi (HHWL) yang diprediksi BIG lebih besar sebesar 1,73 m dibandingkan hasil lapangan. Nilai LLWL pada data prediksi BIG mencapai -1,72 m pada data BIG sehingga menandakan adanya bias positif pada model prediksi. Elevasi yang cukup penting yaitu muka air tinggi tertinggi dan muka air rendah terendah. Muka air tinggi tertinggi sangat diperlukan untuk perencanaan bangunan pantai, sedangkan muka air rendah terendah sangat diperlukan untuk perencanaan pembangunan pelabuhan.

Tabel 4. Perbandingan Parameter Data Lapangan Pushidrosal dengan Prediksi TMD

	PUSHIDROSAL	TMD	Selisih
F	0.84	0.62	0.23
z0	1.87	1.73	0.14
HHWL	1.66	1.53	0.13
MHWL	1.26	1.11	0.15
MSL	0.00	0.00	0.00
MLWL	-1.26	-1.10	0.16
LLWL	-1.66	-1.52	0.14

Perbandingan parameter pasang surut antara data observasi lapangan Pushidrosal dengan prediksi pasang surut dari TMD menunjukkan bahwa tipe pasang

surut di lokasi penelitian adalah campuran condong harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*) karena diperoleh bilangan Formzahl (F) yang berada di antara 0,25–1,5. Data lapangan menghasilkan nilai F sebesar 0,84 sedangkan hasil prediksi TMD menghasilkan nilai 0,62. Perbedaan nilai Merepresentasikan bahwa terdapat sedikit deviasi, namun kedua metode tetap mengklasifikasikan tipe pasang surut yang sama. Nilai LLWL (*Lowest Low Water Level*), prediksi TMD memberikan hasil hingga -1,52 m. Kesesuaian pola umum yang ditunjukkan oleh kedua sumber data tetap memberikan gambaran bahwa model TMD dapat merepresentasikan dinamika pasang surut di wilayah tersebut.

3.2. Perbandingan Amplitudo Komponen Pasang Surut Telemetry PUSHIDROSAL dan BIG

Perbedaan komponen harmonik dapat disebabkan oleh resolusi model TPXO 7.2 yang tidak dapat menggambarkan secara detail lokasi pengamatan karena TMD berbasis pada model numerik global/region tertentu dengan resolusi spasial *grid* yang relatif kasar dan faktor tambahan seperti gesekan dasar laut, pencampuran non linier, pengaruh angin dan tekanan atmosfer yang tidak ditangkap dengan baik oleh TMD sehingga hasil prediksi TMD menghasilkan pola pasang surut mirip tetapi dengan residual lebih besar dari perbandingan data prediksi lainnya (Hermialingga et al., 2020).

Komponen pasang surut pada Tabel 4 menunjukkan bahwa komponen bulan utama (M2) memiliki nilai yang relatif besar dengan amplitudo sekitar 0,58 m untuk data lapangan dan 0,67 m untuk data prediksi MIKE, sedangkan nilai terendah MIKE terdapat pada M4 dan MS4 dengan amplitudo 0,00 cm. Komponen tunggal dengan nilai amplitudo yang relatif besar yaitu pada K1 pada data lapangan mencapai 0,36 m dan pada data prediksi MIKE yaitu 0,34 m.

Tabel 5. Perbandingan Komponen Harmonik Data Aktual dengan Data Prediksi MIKE, BIG, dan TMD

	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	O ₁	M ₄	MS ₄	K ₂	P ₁
Pushidrosal	0	58	22	17	36	32	2	2	6	12
MIKE	0	67	24	18	34	30	0	0	6	11
BIG	0	60	17	14	41	37	0	0	4	13
TMD	0	59	25	15	29	22	6	0	7	10

Komponen pasang surut dengan metode Admiralty pada Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai maksimum komponen adalah M₂ dengan amplitudo sekitar 0,58 m dan 0,60 m, sedangkan nilai terendah BIG terdapat pada M₄ dan MS₄ dengan amplitudo 0,00 cm. Komponen tunggal dengan nilai amplitudo yang relatif besar yaitu pada K₁ pada data lapangan mencapai 0,36 m dan pada data prediksi BIG yaitu 0,41 m.

Komponen pasang surut yang didapatkan dengan metode Admiralty pada Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai maksimum komponen adalah M₂ dengan amplitudo sekitar 0,58 m dan 0,67 m, sedangkan nilai terendah TMD terdapat pada MS₄ dengan amplitudo 0,00 m. Komponen tunggal dengan nilai amplitudo yang relatif besar yaitu pada K₁ pada data lapangan mencapai 0,36 m dan pada data prediksi BIG yaitu 0,29 m.

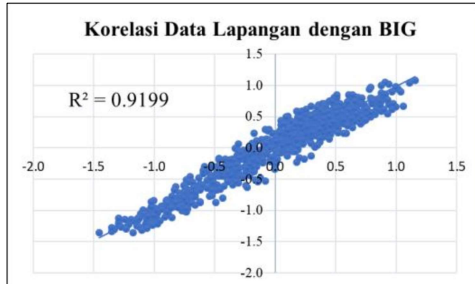
Tabel 4, 5, dan 6 menunjukkan perbandingan data pasang surut hasil pengukuran lapangan hasil *smoothing* dengan data prediksi dari beberapa model yaitu BIG, MIKE, dan TMD pada Perairan Tanjung Uban pada bulan September 2024. Grafik pola pasang surut prediksi (BIG, MIKE, dan TMD) mendekati nilai dari data lapangan (*smoothing*). Perbedaan kecil terdapat pada amplitudo dan fase di beberapa titik waktu. Pengukuran lapangan dengan data prediksi dari beberapa model memperlihatkan bahwa pola elevasi pasang surut dari semua model menunjukkan fluktuasi yang sejalan dengan data lapangan. Perbedaan yang muncul terutama pada amplitudo, di mana data TMD terkadang menunjukkan nilai elevasi lebih rendah. Fenomena tersebut serupa dengan dinamika arus pasang surut, di mana kecepatan arus berfluktuasi mengikuti

perubahan elevasi muka air laut. Pasang surut terjadi bersamaan dengan gelombang dan menyebabkan muka air laut yang terjadi akan relatif tidak konstan (Wisha et al., 2017). Amplitudo dan fase pasang surut ketika mendekati pesisir dapat mengalami perubahan akibat faktor lokal seperti topografi dasar laut, bentuk pantai, serta gesekan dasar yang dapat menimbulkan perbedaan antar model dalam menggambarkan kondisi aktual di lapangan.

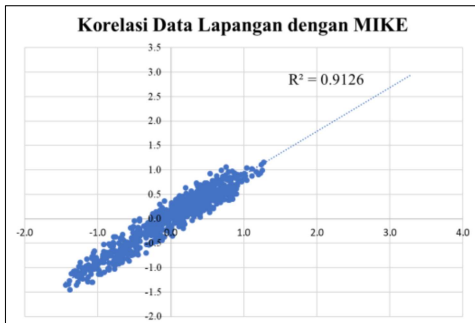
Pengujian keakuratan hasil prediksi pasang surut dari perangkat lunak TMD terhadap data lapangan dilakukan dengan pendekatan statistik melalui analisis regresi linear sederhana. Metode ini digunakan untuk melihat tingkat kedekatan hubungan antara data prediksi dan hasil pengamatan, yang ditampilkan dalam bentuk diagram regresi serta dihitung menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) guna mengetahui besarnya rata-rata penyimpangan prediksi terhadap data lapangan. Sementara itu, keluaran utama dari program TMD berupa konstanta harmonik (M₂, S₂, N₂, K₁, O₁, M₄, K₂, P₁) kemudian divalidasi dengan konstanta harmonik yang diperoleh dari hasil pengolahan menggunakan metode Admiralty, sehingga dapat diketahui tingkat kesesuaian serta akurasi TMD dalam menggambarkan karakteristik pasang surut di lokasi penelitian (Mustikawan et al., 2015).

Hasil analisis amplitudo dengan metode Admiralty didapatkan nilai untuk setiap komponen utama pasang surut yaitu S₀, M₂, S₂, N₂, K₁, O₁, M₄, MS₄, K₂, dan P₁. Variasi amplitudo pasang surut di suatu wilayah umumnya dipengaruhi oleh empat faktor fisik, yaitu resonansi gelombang berdiri akibat refleksi gelombang pasang, pengaruh gesekan dasar, konvergensi geometri (penyempitan luas penampang menuju pesisir), serta efek inersia (Kusmanto et al., 2016). Resonansi dan konvergensi geometri pantai memberikan dampak paling besar terhadap peningkatan amplitudo. Resonansi gelombang berdiri dapat dijelaskan secara

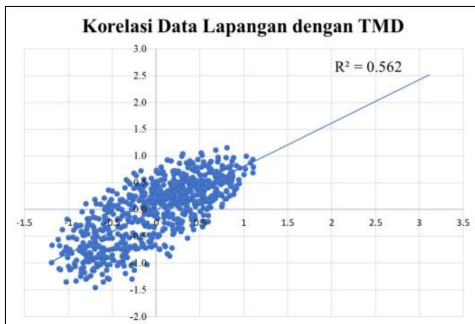
sederhana melalui model saluran prismatik, di mana gelombang pasang surut terbentuk dari hasil superposisi antara gelombang datang dan gelombang yang dipantulkan.



(a)



(b)

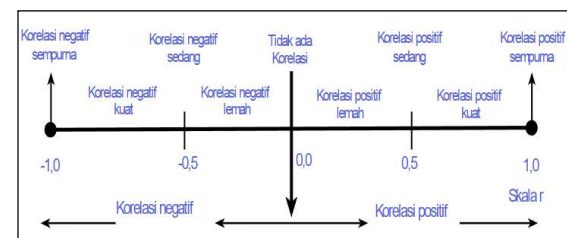


(c)

Gambar 6. Korelasi Data Lapangan dengan Data (a) BIG, (b) MIKE dan (c) TMD

Gambar 6 menunjukkan *scatter plot* berbentuk elips menunjukkan bahwa hasil prediksi pasang surut memiliki hubungan positif dengan data lapangan, sumbu horizontal (x) merepresentasikan variabel bebas, sedangkan sumbu vertikal (y) menunjukkan variabel terikat dimana semakin tinggi nilai prediksi maka nilai pada data observasi juga cenderung akan

meningkat (Wahyudi dan Yunianto, 2024). Nilai regresi mencapai 0,562 yang dapat diartikan bahwa hanya sekitar 56,2% variasi pasang surut di Tanjung Uban dapat dijelaskan oleh TMD, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lokal yang tidak terakomodasi dalam model. Wilayah Tanjung Uban yang merupakan perairan semi-tertutup di Pulau Bintan serta memiliki pelabuhan aktif, kondisi geografis seperti kedangkalan perairan, bentuk garis pantai, dan adanya aktivitas manusia (misalnya alur pelayaran kapal dan reklamasi) sangat memengaruhi dinamika pasang surut. Bentuk sebaran elips juga mengindikasikan adanya perbedaan fase dan amplitudo antara prediksi dengan hasil pengamatan terutama saat kondisi transisi dari pasang purnama menuju perbani. Data prediksi mampu menggambarkan pola umum pasang surut di Tanjung Uban, namun akurasi masih perlu divalidasi dengan data lapangan agar dapat digunakan untuk kebutuhan praktis seperti navigasi pelabuhan, perencanaan konstruksi laut, dan analisis lingkungan pesisir.



Gambar 9. Korelasi Antara Dua Variabel (Sumber: Umam et al., 2019).

Pengamatan altimetri satelit perlu dikorelasikan dengan data pengukur pasang surut yang berada dalam jarak tertentu dari stasiun pengamatan pasang surut agar integrasi antara kedua jenis data dilakukan secara optimal (Handoko et al., 2024). Hasil perhitungan korelasi antara elevasi muka air laut dari data PUSHIDROSAL dan *Sea Surface Height* (SSH) altimetri pada setiap titik normal menunjukkan nilai dari korelasi data lapangan dengan data BIG; MIKE; TMD

secara berurutan yaitu 0,919; 0,9126; 0,562. Nilai pada data BIG dan MIKE tergolong tinggi yang menunjukkan bahwa data lapangan dan data satelit memiliki korelasi yang sangat kuat, sedangkan pada data TMD memiliki korelasi yang lemah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan bahwa Pasang surut di Perairan Tanjung Uban dikategorikan sebagai pasang surut campuran condong harian ganda, dengan bilangan Formzahl berada pada rentang 0,6–1,0 atau dalam satu hari dapat terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda. Selain itu, nilai *Mean Sea Level* (MSL) yang diperoleh dari hasil pengolahan data tercatat sekitar 7,89 m yang merepresentasikan rata-rata elevasi muka laut di lokasi pengamatan selama periode penelitian. Data pengamatan observasi dengan prediksi pasang surut di lokasi Perairan Tanjung Uban memiliki selisih nilai beda fase (konstanta sudut pada sebuah gerakan), tetapi tidak terlalu besar dan pola tunggang pasang surut data lapangan cenderung sama dengan data prediksi.

Nilai prediksi yang paling sesuai dengan data lapangan adalah data BIG yang memiliki RMSE hasil model pasang surut yaitu 0,0063 dan korelasi mencapai 0,919 atau besarnya nilai korelasi tersebut menunjukkan adanya hubungan korelasi positif kuat antara data lapangan PUSHIDROSAL dengan hasil ekstrak data BIG di perairan Tanjung Uban. Nilai RMSE kecil menunjukkan bahwa selisih antara hasil model dan data pengamatan bernilai kecil sehingga model mampu merepresentasikan fluktuasi muka air secara presisi. Kesesuaian ini dapat terjadi karena sistem model pasang surut milik BIG umumnya telah disesuaikan dengan kondisi lokal Indonesia, termasuk penggunaan konstanta harmonik yang lebih representatif untuk wilayah pesisir dangkal seperti Tanjung Uban.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Komandan Pushidrosal atas izin yang diberikan untuk melaksanakan kegiatan magang dan penelitian di Pushidrosal. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada berbagai pihak yang telah berkontribusi sehingga penyusunan jurnal penelitian dapat berlangsung dengan baik dan lancar.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Amin, B., Nurrachmi, I., Putri, E. D. dan Sandra, K. (2013). Hubungan Kandungan Minyak dan Nitrat dengan Kelimpahan Diatom Di Perairan Pantai Tanjung Uban Kepulauan Riau. *Jurnal Teknobiologi*, 4(01):15-22.
- Amri, K., Tanjung, D. dan Sarifah, J. (2021). Analisa Perencanaan Bangunan Pemecah Gelombang (Breakwater) pada Pelabuhan Ikan Tanjung Tiram. *Buletin Utama Teknik*, 16(3): 171-178.
- Arinal, V. dan Azhari, M. (2023). Penerapan Regresi Linear untuk Prediksi Harga Beras di Indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 5(1): 341-346.
- Bakri, M., Santosa, Y. N., Awaluddin, A., Hawati, H., Malik, K. dan Pranowo, W. S. (2024). Simulasi Pemodelan Arus Pasang Surut Di Perairan Teluk Jakarta: Tidal Current Modelling Simulation in The Waters of Jakarta Bay. *Jurnal Chart Datum*, 10(2):131-140.
- Bayhaqi, A., Sugianto, D. N., & Prasetyawan, I. B. (2021). *Tidal Current Pattern in the Surrounding Bintan Island Waters Based on Model Simulation*. Universitas Diponegoro.
- Budiyanto, A., Pranowo, W. S. dan S, S. M. (2018). Pembuatan Peta Konstanta Pasang Surut Selat Sunda Berdasarkan Data Pasang Surut Model TMD: Making a Map of the Sunda Strait Tidal Constants Based on Tidal Data Model TMD. *Jurnal Hidropilar*, 4(2):59–68.
- Handoko, E. Y., Syariz, M. A. dan Ashiddiqi, M. H., 2024. Perbandingan Komponen Pasang Surut Yang diperoleh Melalui Pengukuran Tide Gauge dan Satelit Altimetri. *Jurnal Teknologi Perikanan*

- dan Kelautan, 15(1):79-91.
- Hermialingga, S., Purwiyanto, A. I., dan Iskandar, I. (2020). Analisis Pemodelan Data Pasang Surut Menggunakan Model TPXO 7.1 di Pelabuhan Tanjung Priok, Jakarta Utara. *Jurnal Kelautan Nasional*, 15(2):85-90.
- Irawan, S., 2017. Kondisi Hidro-oseanografi Perairan Pulau Bintan (Studi Kasus Perairan Teluk Sasah). *Jurnal Kelautan*, 10(1): 41-53.
- Kamija, K., Kuswardani, A. R. T. D. dan Mustikawan, J. A. (2015). Pemanfaatan Software Tidal Model Driver untuk Memprediksi Pasang Surut (Studi Kasus Perairan Pondok Dayung, Sungai Barito dan Perairan Pulau Batek). *Jurnal Hidropilar*, 1(1): 37-45.
- Kurniawan, A. P., Jasin, M. I. dan Mamoto, J. D. (2019). Analisis data pasang surut di pantai Sindulang Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(5):567-574.
- Kusmanto, E., Hasanudin, M. dan Budisetyawan, W. (2016). Amplifikasi pasang surut dan dampaknya terhadap perairan pesisir Probolinggo. *OLDI (Oseanologi dan Limnologi di Indonesia)*, 1(3):69-80.
- Nirmala, A. (2024). Model Matematis Peramalan Pasang Surut Menggunakan Metode Least Square di Perairan Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 12(1):1-9.
- Pamungkas, A. (2018). Karakteristik Parameter Oseanografi (Pasang-Surut, Arus, dan Gelombang) di Perairan Utara dan Selatan Pulau Bangka. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(1): 51-58.
- Pasaribu, R. P., Sewiko, R. dan Arifin, A. (2022). Application of The Admiralty Method to Process Tidal Data in The Waters of The Nasik Strait-Bangka Belitung. *PLATAX*, 10(1):146-160.
- Sufyan, A., Risandi, J. dan Akhwady, R. (2023). Observasi Pasang Surut dan Arus di Muara Porong untuk Mendukung Pengembangan Pulau Lusi: Observation of Tide and Current in Muara Porong to Support Lusi Island Development. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2):200-206.
- Suhana, M. P., Nurjaya, I. W. dan Natih, N. M. N., 2018. Patterns and Tidal Characteristics of East Coast of Bintan Island, Riau Archipelago province. *Journal of Applied Geospatial Information*, 2(1): 98-101.
- Supriyono, S., Pranowo, W. S., Rawi, S. dan Herunadi, B. (2015). Analisa dan Perhitungan Prediksi Pasang Surut Menggunakan Metode Admiralty dan Metode Least Square (Studi Kasus Perairan Tarakan dan Balikpapan). *Jurnal Chart Datum*, 1(1): 9-20.
- Tambunan, C., Rampengan, R., Pelle, W., Angmalisang, P., Tilaar, S. dan Bara, R., 2024. Prediksi Pasang Surut Perairan Sekitar Kota Bitung dengan Penambahan Konstanta Harmonik Perairan Dangkal. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 12(3): 117-129.
- Triatmodjo Bambang. (1999). Teknik Pantai. Unit Antar Universitas Ilmu Teknik, Universitas Gaja Mada, Beta Offset, Yogyakarta.
- Umam, C., Pranowo, W. S. dan Fatoni, K. I. (2019). Studi Perbandingan Karakteristik Pasang Surut Hasil Perhitungan Data Lokal dengan Model Pasang Surut Global di Perairan Indonesia. *Jurnal Chart Datum*, 5(2): 97-112.
- Wahid, A., Munarti, D. H., dan Handoyo, G. (2023). Elevasi Muka Air di Pantai Gesing, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(2): 124-131.
- Wahyudi, W. dan Yuniarto, I. (2024). Perbandingan Korelasi-Regresi Berat Badan Terhadap Tinggi Badan dengan Parameter Benn. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 2(3):256-265.
- Wisha, U. J., Gemilang, W. A., Rahmawan, G. A. dan Kusumah, G. (2017). Pola Sebaran Sedimen Dasar Berdasarkan Karakteristik Morfologi dan Hidro-Oseanografi Menggunakan Model Interpolasi dan Simulasi Numerik di Perairan Utara Pulau Simeuluecut. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of*

- Marine Science and Technology, Jurnal Kelautan, 10(1): 29-40.
- Yulius, Y., Heriati, A., Mustikasari, E. dan Zahara, R. I., 2017. Karakteristik Pasang Surut dan Gelombang di Perairan Teluk Saleh, Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Segara*, 13(1): 65-73.