



Kajian Harmonika Pasang Surut dan Implikasinya terhadap Ekosistem dan Budidaya Laut di Satonda

Study of Tidal Harmonics and Its Implications for the Ecosystem and Marine Cultivation in Satonda

M. Munawirul Umam¹, Aziz Prabwo Hendratno^{2*}, Aira Dwi Rahayu Putro³,
Muhammad Zaki Abyantara³

^{1*} Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas
Diponegoro

^{2*} Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan Institut
Teknologi Sumatera

^{3*} Program Studi Oseanografi Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas
Diponegoro

*Corresponding author E-mail : munawirulumam02@gmail.com

ABSTRAK

Kajian pasang surut merupakan aspek penting dalam dinamika oseanografi karena berpengaruh terhadap sirkulasi massa air, distribusi nutrisi, serta perencanaan aktivitas di wilayah pesisir. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik pasang surut di perairan Pulau Satonda, Kabupaten Dompu, Nusa Tenggara Barat, menggunakan pendekatan harmonik dan evaluasi tidal datum. Data pasang surut harian dianalisis dengan metode harmonik Fourier untuk memperoleh amplitudo dan fase komponen utama, meliputi M₂, S₂, K₁, dan O₁. Nilai rasio Formzahl (F) digunakan untuk menentukan tipe pasang surut, sedangkan tidal range menggambarkan tingkat energi pasut. Hasil analisis menunjukkan tipe pasang surut campuran condong diurnal dengan nilai F = 1,54, ditandai oleh dominasi komponen diurnal K₁ dan O₁. Rentang pasang surut maksimum ±1,7 m mengategorikan Satonda sebagai wilayah mesotidal dengan energi pasut sedang yang berpengaruh terhadap arus lokal, sirkulasi vertikal, dan zonasi ekosistem pesisir. Temuan ini memberikan dasar ilmiah bagi pengelolaan sumber daya pesisir, perencanaan budidaya laut, konservasi habitat, serta pengembangan wisata bahari berkelanjutan di wilayah tropis Indonesia timur.

Kata kunci: Pasang Surut Campuran, Diurnal, Semi-diurnal, Mesotidal, Harmonik, Satonda, NTB

ABSTRACT

Tidal analysis is a fundamental component of coastal oceanographic dynamics, influencing water mass circulation, nutrient transport, and coastal resource management. This study analyzes the tidal characteristics of Satonda Island, Dompu Regency, West Nusa Tenggara, through a harmonic approach combined with tidal datum evaluation. Daily tidal data were processed using the Fourier harmonic method to determine the amplitude and phase of the principal constituents (M₂, S₂, K₁, and O₁). The Formzahl ratio (F) was calculated to classify the tidal type, while the tidal range was used to estimate tidal energy levels. Results indicate a mixed tide prevailing diurnal pattern with F = 1.54, showing dominant diurnal constituents (K₁ = 36.91 cm, O₁ = 25.37 cm) over semi-diurnal ones (M₂ = 34.38 cm, S₂ = 6.08 cm). The maximum tidal range of ±1.7 m identifies Satonda as a mesotidal region with moderate tidal



energy that affects local currents, vertical mixing, and the zonation of mangrove, seagrass, and coral reef ecosystems. The findings provide a scientific basis for sustainable coastal resource management, supporting marine navigation, aquaculture planning, habitat conservation, and marine tourism development in eastern Indonesia.

Keywords: mixed tide, diurnal, semi-diurnal, tidal range, mesotidal, harmonic, Satonda, West Nusa Tenggara

I. Pendahuluan

Pasang surut laut merupakan fenomena periodik naik turunnya muka air laut akibat interaksi gaya gravitasi Bulan dan Matahari serta pengaruh rotasi Bumi. Fenomena ini menjadi komponen penting dalam dinamika oseanografi pesisir karena memengaruhi sirkulasi lokal, distribusi nutrisi, zonasi ekosistem, serta aktivitas manusia seperti navigasi, budidaya laut, dan wisata bahari (Pugh dan Woodworth, 2014). Pemahaman terhadap dinamika pasang surut diperlukan sebagai dasar pengelolaan wilayah pesisir secara berkelanjutan.

Perairan tropis di Indonesia, termasuk Pulau Satonda, menunjukkan variasi pola pasang surut yang dikendalikan oleh komponen harmonik utama yaitu semi-diurnal (M2, S2) dan diurnal (K1, O1). Kombinasi kedua kelompok komponen tersebut membentuk tipe pasang surut campuran yang lazim di wilayah timur Indonesia (Godin, 1972; Wyrtki, 1961). Hasil studi terbaru di Teluk Jakarta menunjukkan karakteristik serupa, dengan variasi intrabulanan akibat dominasi konstituen diurnal yang menghasilkan fluktuasi elevasi tidak seimbang dalam satu hari (Aini *et al.*, 2025). Fenomena tersebut juga ditemukan di Pantai Watiginanda, Sulawesi Tenggara, dengan tipe pasang campuran condong harian ganda ($F = 0,68$) dan elevasi maksimum $\pm 1,25$ m.

Metode Admiralty menjadi pendekatan umum dalam analisis pasang surut karena efisien dan mampu menghasilkan komponen harmonik utama dengan data pengamatan 15–29 hari (Foreman, 1977; Supriyadi *et al.*, 2018). Prinsip metode ini adalah mendekomposisi sinyal muka air laut menjadi sejumlah konstituen harmonik untuk memperkirakan tinggi muka air pada waktu tertentu. Keunggulan metode ini telah dibuktikan melalui validasi terhadap metode *Least Square* dan *Fast Fourier Transform* (FFT) dengan korelasi tinggi ($R^2 > 0,9$) pada berbagai lokasi perairan Indonesia (Sidik *et al.*, 2025; Abdur *et al.*, 2024).

Metode *Least Square* juga digunakan dalam beberapa studi oseanografi, misalnya pada pemodelan pasang di perairan Belitung dan Cilacap, karena mampu mengekstraksi lebih banyak konstituen hingga 32 komponen (Wicaksono *et al.*, 2024). Namun, analisis berbasis *Admiralty* tetap menjadi pilihan efektif ketika deret data yang tersedia terbatas, seperti pada studi berbasis data SRGI–BIG dengan interval waktu satu jam.

Pulau Satonda merupakan pulau kecil vulkanik di Kabupaten Dompu, Nusa Tenggara Barat, yang memiliki ekosistem pesisir penting seperti terumbu karang, lamun, dan mangrove. Informasi ilmiah tentang karakteristik harmonik pasang surut di wilayah ini masih terbatas, padahal data tersebut diperlukan untuk mendukung kegiatan budidaya laut, pariwisata bahari, dan konservasi ekosistem pesisir.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik harmonik pasang surut di perairan Pulau Satonda menggunakan metode *Admiralty* serta mengevaluasi implikasi hasil analisis terhadap dinamika ekosistem pesisir dan kegiatan budidaya laut di wilayah



tersebut. Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam perencanaan pengelolaan pesisir yang berkelanjutan di kawasan Nusa Tenggara Barat.

II. Metode penelitian

Penelitian dilakukan di perairan Pulau Satonda (8°07'48" LS dan 117°45'00" BT), Kabupaten Dompu, Nusa Tenggara Barat, Indonesia. Lokasi ini dipilih karena mewakili karakteristik perairan pulau kecil vulkanik yang dikelilingi laut dalam. Data pasang surut diperoleh dari stasiun pasang surut SRGI-BIG yang paling representatif terhadap wilayah Satonda. Pemilihan stasiun didasarkan pada kedekatan geografis serta kesamaan karakteristik perairan terbuka di sekitar Pulau Satonda.

Periode data yang digunakan mencakup 1–29 Januari 2025 dengan resolusi waktu 1 jam, sesuai kebutuhan format Metode *Admiralty*, yang memerlukan data berurutan selama satu siklus sinodik (29 hari) untuk mengidentifikasi komponen harmonik utama (Supriyadi *et al.*, 2018; Khairunnisa *et al.*, 2021).

Data yang digunakan meliputi data prediksi pasang surut, konstanta harmonik pasang surut, dan datum pasang surut. Data prediksi diperoleh dari SRGI-BIG (<https://srgi.big.go.id>), berupa hasil pemodelan harmonik berdasarkan kombinasi data altimetri satelit dan pengamatan pasang surut dari stasiun pasut permanen (Abdur *et al.*, 2024). Deret waktu elevasi muka air laut diolah menggunakan Metode *Admiralty*, dengan hasil amplitudo komponen utama yaitu $M2 = 34,38$ cm, $S2 = 6,08$ cm, $K1 = 36,91$ cm, dan $O1 = 25,37$ cm. Nilai-nilai tersebut bukan diambil langsung dari katalog BIG, melainkan hasil olah data sekunder SRGI-BIG dengan skema *Admiralty* (Supriyadi *et al.*, 2018; Wicaksono *et al.*, 2024).

Datum pasang surut yang mencakup HHWL, MHWL, MHWS, MSL, MLWS, MLWL, LLWL, dan LAT dihitung dari deret data yang sama. Perhitungan dilakukan menggunakan pendekatan statistik berdasarkan rerata ekstrem muka air laut sesuai kaidah *Admiralty Tide Tables* (Foreman, 1977; Pugh dan Woodworth, 2014). Nilai tunggang air (*tidal range*, TR) dihitung menggunakan persamaan:

$$TR = \eta_{max} - \eta_{min}$$

yang digunakan untuk menentukan kategori energi pasut dan mendukung interpretasi terhadap tipe pasang surut dan implikasinya pada ekosistem.

Analisis data dilakukan melalui tiga tahapan utama.

1. Analisis deskriptif, untuk menghitung nilai rata-rata, maksimum, minimum, serta tunggang air sebagai gambaran umum karakter pasut.
2. Analisis harmonik menggunakan Metode *Admiralty*, untuk menguraikan sinyal pasut menjadi konstanta harmonik utama ($M2$, $S2$, $K1$, $O1$) dan menghitung Formzahl (F) sebagai indikator tipe pasang surut (Foreman, 1977; Godin, 1972).
3. Validasi dan perbandingan hasil, dengan membandingkan nilai konstanta harmonik dan Formzahl terhadap studi terdahulu seperti Wyrski (1961), Supriyadi *et al.* (2018), dan Abdur *et al.* (2024), guna memastikan konsistensi hasil analisis di perairan Indonesia.



III. Hasil dan pembahasan

4.1 Karakteristik Harmonik Pasang Surut di Perairan Satonda

Berdasarkan analisis harmonik menggunakan Metode *Admiralty*, diperoleh konstanta harmonik pasang surut di perairan Satonda sebagaimana ditunjukkan pada (Tabel 1). Hasil analisis menunjukkan bahwa komponen diurnal K_1 (36,91 cm) dan O_1 (25,37 cm) memiliki amplitudo tertinggi, sedangkan komponen semi-diurnal M_2 (34,38 cm) dan S_2 (6,08 cm) menunjukkan nilai yang lebih kecil. Perbandingan ini mengindikasikan dominasi pasang surut diurnal dengan kontribusi terbatas dari komponen semi-diurnal, yang menegaskan bahwa perairan Satonda memiliki karakteristik pasang surut campuran condong diurnal.

Tabel 1. Hasil Komponen Harmonik Pasut Perairan Satonda

Konstituen Harmonik	Simbol	Amplitudo (A, cm)	Fase (G, °)
Principal Solar Constant	S_0	-0,04	184,45
Principal Lunar Semi-diurnal	M_2	34,38	82,25
Principal Solar Semi-diurnal	S_2	6,08	187,99
Larger Lunar Elliptic	N_2	4,61	82,25
Lunisolar Semi-diurnal	K_2	18,92	36,73
Principal Lunar Diurnal	K_1	36,91	26,66
Principal Lunar Diurnal	O_1	25,37	36,73
Principal Solar Diurnal	P_1	12,12	60,33
Shallow Water Constituent	M_4	0,04	229,72
Compound Constituent	MS_4	0,14	—

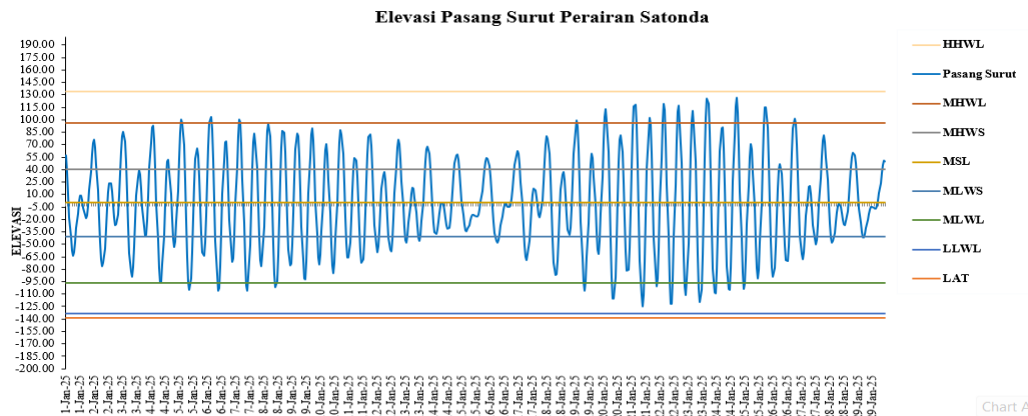
Nilai *Formzahl* (F) dihitung menggunakan persamaan:

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2} = \frac{36,91 + 25,37}{34,38 + 6,08} = \frac{62,28}{40,46} = 1,54$$

Diperoleh nilai $F = 1,54$, yang menunjukkan bahwa perairan Satonda memiliki tipe pasang surut campuran condong diurnal (*mixed tide prevailing diurnal*). Tipe ini menandakan dominasi satu kali pasang dan satu kali surut dalam sehari, dengan kemungkinan muncul dua kali pasang dan dua kali surut tidak seimbang pada periode tertentu. Kondisi tersebut bersifat periodik dan stabil secara harmonik, bukan menunjukkan perubahan tipe pasut. Hasil ini berbeda dari nilai *Formzahl* regional yang dilaporkan oleh Wyrski (1961), namun sejalan dengan hasil Supriyadi *et al.* (2018) di Belitung dan Khairunnisa *et al.* (2021) di Bintan Timur, yang menunjukkan pola campuran diurnal di perairan tropis Indonesia.

4.2 Pola Elevasi dan Energi Pasang Surut

Grafik elevasi pasang surut (Gambar 1) memperlihatkan fluktuasi muka air yang mengikuti siklus bulan. Pada fase bulan purnama (*spring tide*), amplitudo pasang surut mencapai maksimum dengan rentang 2,52 m ($\pm 1,26$ m), sedangkan pada bulan perbani (*neap tide*) amplitudo menurun hingga sekitar 0,8 m. Pola ini mencerminkan superposisi antara komponen diurnal dan semi-diurnal yang menghasilkan ketidaksamaan tinggi antara pasang pertama dan kedua dalam satu hari, suatu ciri khas pasut campuran (Pugh dan Woodworth, 2014; Godin, 1972)



Gambar 1. Grafik elevasi pasang surut perairan Pulau Satonda, Kabupaten Dompu, Nusa Tenggara Barat, hasil olah data prediksi pasang surut SRGI–BIG periode 1–29 Januari 2025 menggunakan *Metode Admiralty*.

Berdasarkan rentang maksimum 2,52 m, perairan Satonda dikategorikan mesotidal menurut klasifikasi geomorfologi pantai (*range* 2–4 m). Kondisi mesotidal ini menunjukkan energi pasang surut sedang hingga kuat, yang memengaruhi arus pasut, *transport* sedimen, dan distribusi nutrisi (Foreman, 1977; Abdur *et al.*, 2024). Sebagai pembandingan, perairan Cilacap dengan rentang $\pm 2,3$ m (Wicaksono *et al.*, 2024) menunjukkan pola serupa, di mana energi pasut signifikan berperan dalam sirkulasi vertikal dan produktivitas primer.

4.3 Analisis Komparatif dengan Studi Sejenis di Indonesia

Analisis terhadap berbagai studi pasang surut di Indonesia menunjukkan variasi spasial yang disebabkan oleh perbedaan letak geografis, topografi dasar laut, serta interaksi massa air regional (Tabel 2).

Tabel 2. Perbandingan Tipe Pasang Surut di Berbagai Perairan Indonesia

Lokasi	Formzahl	Tipe Pasang Surut	Referensi
Satonda	1,54	Campuran condong diurnal	Penelitian ini (olah data SRGI–BIG, 2025)
Belitung	7,0792	Harian tunggal	Supriyadi <i>et al.</i> , (2018)
Pameungpeuk	0,6126	Campuran condong harian ganda	Supriyadi <i>et al.</i> , (2018)
Sarmi	1,1889	Campuran condong harian ganda	Supriyadi <i>et al.</i> , (2018)
Belawan	0,186	Harian ganda	Syahputra dan Rahma (2023)
Bintan Timur	0,74	Campuran condong harian ganda	Khairunnisa <i>et al.</i> , (2021)
Sungai Musi	3,025–3,501	Harian tunggal	Nurisman <i>et al.</i> , (2012)



Teluk Lampung	0,85	Campuran condong harian ganda	Abdur <i>et al.</i> , (2024)
Benoa Bali	1,2	Campuran condong harian ganda	Hikmah <i>et al.</i> , (2022)

Variasi tipe pasang surut tersebut terutama dipengaruhi oleh dua faktor utama. Pertama, pengaruh geografis dan topografi: perairan terbuka seperti Belawan dan Bintang cenderung bertipe harian ganda, sementara perairan semi-tertutup seperti Teluk Lampung dan Benoa menunjukkan pola campuran. Kedua, pengaruh massa air regional, di mana Satonda yang berada di wilayah transisi antara Samudra Hindia dan Laut Flores menerima pengaruh propagasi gelombang pasut dari Samudra Pasifik bagian barat melalui sistem ARLINDO. Kombinasi ini menjelaskan mengapa karakter pasut Satonda menyerupai perairan Bali dan Nusa Tenggara, meskipun secara spasial lebih dekat ke Selat Sape.

4.4 Implikasi terhadap Ekosistem, Budidaya Laut, dan Aktivitas Pesisir

Metode Admiralty yang digunakan dalam penelitian ini telah teruji secara luas dan terbukti menghasilkan konsistensi tinggi dibandingkan metode *Least Square* maupun *Fast Fourier Transform* (FFT) (Syahri, 2020; Abdur *et al.*, 2024). Hasil penelitian di Bintang Timur menunjukkan selisih RMSE 0,098 m antara prediksi dan observasi, yang menandakan tingkat kesalahan relatif rendah (Khairunnisa *et al.*, 2021).

Tipe pasang surut campuran condong diurnal dengan energi mesotidal di perairan Satonda memiliki implikasi langsung terhadap struktur ekosistem pesisir dan aktivitas manusia. Fluktuasi muka air setinggi 2,52 m memengaruhi durasi paparan udara (*emersion time*) bagi biota intertidal, zonasi vegetasi mangrove, serta produktivitas ekosistem lamun dan terumbu karang (Pugh dan Woodworth, 2014). Proses pasang surut juga berperan dalam *flushing* alami, yang menjaga kualitas perairan di sekitar pulau kecil vulkanik seperti Satonda.

Fluktuasi pasang surut turut menentukan kedalaman efektif unit budidaya laut, waktu panen, dan stabilitas struktur keramba jaring apung. Dengan mempertimbangkan karakter pasut mesotidal, kedalaman optimal unit budidaya direkomendasikan berada pada posisi setidaknya 1,5 kali nilai tunggang air, sehingga konstruksi tidak terpapar udara pada kondisi surut ekstrem.

Informasi pasang surut juga krusial bagi navigasi dan wisata bahari. Aktivitas snorkeling dan diving paling aman dilakukan pada periode neap tide, ketika arus relatif tenang dan visibilitas meningkat. Pergerakan kapal kecil disarankan dilakukan pada fase pasang tinggi untuk menghindari kandas di area dangkal. Penelitian ini belum mencakup pengukuran arus pasang surut secara langsung, sehingga analisis hidrodinamika lanjutan menggunakan instrumentasi ADCP direkomendasikan untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif tentang hubungan antara pasut dan pola arus di perairan Satonda.

IV. Kesimpulan

Perairan Satonda memiliki tipe pasang surut campuran condong diurnal dengan nilai Formzahl sebesar 1,54, menunjukkan dominasi komponen diurnal K1 (36,91 cm) dan O1 (25,37 cm) dibandingkan komponen semi-diurnal M2 (34,38 cm) dan S2 (6,08 cm). Rentang pasang surut maksimum $\pm 1,7$ m menempatkan wilayah ini pada kategori



mesotidal, yang mencerminkan energi pasang surut sedang hingga tinggi. Karakteristik tersebut berimplikasi pada dinamika arus, pertukaran massa air, dan distribusi nutrisi di perairan sekitar. Kondisi pasang ini memengaruhi zonasi ekosistem pesisir dan menjadi dasar penentuan kedalaman serta waktu operasional budidaya laut, khususnya keramba jaring apung. Informasi hasil analisis harmonik ini dapat digunakan sebagai dasar ilmiah dalam pengelolaan pesisir Pulau Satonda yang berkelanjutan, mencakup kegiatan budidaya, konservasi ekosistem, dan pengembangan wisata bahari berbasis oseanografi.

Daftar pustaka

- Abdur, R., R. Rahmawati, dan W.S. Pranowo. 2024. Analisis Karakteristik Pasang Surut di Teluk Lampung Menggunakan Metode Admiralty. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 16(2): 147–160.
- Aini, D., A.S. Sidik, dan A. Hartati. 2025. Karakteristik Arus Akibat Gaya Pasang Surut di Teluk Jakarta. *Jurnal Oseanografi*. 14(1): 23–35.
- Fadilah, F., S. Suripin, dan D.P. Sasongko. 2014. Menentukan Tipe Pasang Surut dan Muka Air Rencana Perairan Laut Kabupaten Bengkulu Tengah Menggunakan Metode Admiralty. *Maspari Journal*. 6(1): 1–12.
- Foreman, M.G.G. 1977. Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction. Pacific Marine Science Report 77–10. *Institute of Ocean Sciences, Sidney, B.C., Canada*.
- Godin, G. 1972. The Analysis of Tides. University of Toronto Press, Toronto, Canada.
- Hendri, A., M. Fauzi, dan W. Safitri. 2019. Kajian Pengaruh Awal Data Pasang Surut terhadap Nilai Komponen Pasang Surut Metode Admiralty. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 11(1): 34–39.
- Hikmah, N., W.S. Pranowo, dan R. Triyono. 2022. Analisis Pasang Surut di Perairan Benoa, Bali Menggunakan Metode Admiralty. *Jurnal Ilmu Kelautan Universitas Udayana*. 27(1): 11–20.
- Khairunnisa, D., Apdillah, dan R.D. Putra. 2021. Karakteristik Pasang Surut di Perairan Pulau Bintan Bagian Timur Menggunakan Metode Admiralty. *Jurnal Kelautan*. 14(1): 58–69.
- Khoirunnisa, H., A.G.D. Kartika, O.W. Jayanthi, N.Z. W., dan R.N. Agassi. 2023. Studi Komparasi Tipe Arus Pasang Surut di Perairan Banda Besar dengan Menggunakan Metode Admiralty dan Least Square. *Jurnal Hidrografi Indonesia*. 5(1): 1–10.
- Nurisman, N., Fauziyah, dan H. Surbakti. 2012. Karakteristik Pasang Surut di Alur Pelayaran Sungai Musi Menggunakan Metode Admiralty. *Maspari Journal*. 4(1): 110–115.
- Pugh, D.T., dan P.L. Woodworth. 2014. Sea-Level Science: Understanding Tides, Surges, Tsunamis and Mean Sea-Level Changes. *Cambridge University Press, Cambridge, UK*.
- Salnuddin, A., Hendra, dan A. Fathoni. 2018. Analisis Periode Sinodik dalam Penentuan Konstanta Harmonik Pasang Surut. *Jurnal Hidrografi Indonesia*. 3(2): 45–54.
- Sidik, A.S., M. Arifin, dan M. Hidayat. 2025. Pemodelan Pergerakan Pasang Surut di Pantai Watiginanda, Kecamatan Sampolawa, Kabupaten Buton Selatan. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 10(1): 77–88.



- Supriyadi, E., Siswanto, dan W.S. Pranowo. 2018. Analisis Pasang Surut di Perairan Pameungpeuk, Belitung, dan Sarmi Berdasarkan Metode Admiralty. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 19(1): 29–38.
- Syahputra, T.R., dan E.A. Rahma. 2023. Karakteristik Pasang Surut Air Laut di Perairan Belawan Menggunakan Metode Admiralty. *Jurnal Laot: Ilmu Kelautan*. 5(1): 8–16.
- Wicaksono, K.R., W.S. Pranowo, dan Y.P. Triatmojo. 2024. Karakteristik Pasang Surut di Wilayah Perairan Cilacap Berdasarkan Metode Analisis Least Square. *Jurnal Hidropilar*. 10(2): 65–72.
- Wyrski, K. 1961. Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters. Naga Report. 2: 1–195. *University of California Press, La Jolla, USA*.