

Analisis Karakteristik Pasang-Surut Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil (Studi Kasus: Dermaga Sunda, Pondok Dayung, Jakarta Utara)

Abdul Hadi Adriansyah^{1*}, Anasya Arsita Laksmi², Abigail Christy³,
Andreas Robert Panogu Sitorus⁴, Arya Maulana Kampai⁵, Deakonius Silalahi⁶,
Dewa Ramadhan Astama Putra⁷, Dewi Fauzah⁸

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan RI
Email: ^{1*}ahadiadr@gmail.com; ²anasyaarsita@gmail.com; ³abigchrist462@gmail.com;
⁴andreas.nampaikid80@gmail.com; ⁵maulanaarya119@gmail.com; ⁶kimonius766hi@gmail.com;
⁷oledewarmdhn@gmail.com; ⁸dewifauzaah@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara arkipelago dengan jumlah 17.504 pulau dan wilayah laut seluas 3,2 juta kilometer persegi. Indonesia memiliki tantangan dalam menjaga pertahanan laut di sekitar kepulauannya. Pangkalan TNI Angkatan Laut tidak hanya berperan sebagai pusat komando dan kendali operasi pertahanan laut, tetapi juga sebagai penyedia fasilitas labuh bagi Kapal Perang Republik Indonesia (KRI). Operasional pangkalan TNI Angkatan Laut bergantung pada kondisi oseanografi, salah satunya pasang-surut. Penelitian ini ditujukan untuk menganalisis karakteristik pasang-surut, berupa konstituen harmonik, pola pasang-surut, dan elevasi muka air laut. Penelitian dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ErgTide berbasis metode kuadrat terkecil yang memberikan keakuratan, ketelitian, dan ketepatan yang tinggi terhadap luaran penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bilangan Formzahl sebesar 4,997; bahwa perairan di Pondok Dayung termasuk perairan dengan pola pasang-surut harian tunggal (*diurnal tide*), dengan fenomena satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari. Elevasi air laut rata-rata adalah 60,07 cm dengan tunggang pasang sebesar 127,20 cm, di mana elevasi tertinggi berada pada ketinggian 121,96 cm dan elevasi terendah berada pada ketinggian -5,24 cm.

Kata Kunci: *ErgTide, Metode Kuadrat Terkecil, Pasang-Surut, Pondok Dayung.*

ABSTRACT

Indonesia is an archipelago state with 17.504 islands and an ocean area is 3,2 million square kilometers. Indonesia has challenges in maintaining maritime defense around its archipelago. Naval bases not only act as command and control centers for sea defense operations but also as providers of berthing facilities for Indonesian Warships (KRI). Navy base operations depend on oceanographic conditions, including tides. This research aims to analyze the tidal characteristics, in the form of harmonic components, tidal types, and tidal forecasting. In the analysis, the least squares method is used which provides high accuracy and precision to the research output. The results showed a Formzahl number 4,997; that the waters at Pondok Dayung have a diurnal tidal type, with the phenomenon of one high tide and one low tide in one day. The mean sea level is 60,07 cm with a tidal ridge is 127,20 cm, where the highest level is 121,96 cm and the lowest level is -5,24 cm.

Key words: *ErgTide, Least Square Method, Tides, Pondok Dayung.*

Submitted:	Reviewed:	Revised	Published:
25 Jan 2024	15 Feb 2024	28 Feb 2024	01 August 2024

PENDAHULUAN

Pada umumnya, sebuah negara kepulauan (*archipelago*) termasuk Indonesia, memiliki perairan yang berperan strategis dalam konteks pertahanan matra laut. Dengan keberadaan 17.504 pulau dan wilayah laut sebesar 3,2 juta kilometer persegi, Indonesia dihadapkan pada tantangan dalam menjaga pertahanan laut di sekitar kepulauannya (Arto, Prakoso, dan Sianturi, 2019; Marsetio, 2014). Luas wilayah laut yang dimiliki, memberikan banyak permasalahan yang dapat terjadi di wilayah laut, seperti kejahatan transnasional, *illegal fishing*,

penyeludupan barang, tindak pidana perdagangan orang, penyeludupan narkoba, terorisme, dan bajak laut. Kompleksitas tantangan yang dihadapi perlu upaya perlindungan untuk memastikan keamanan wilayah laut Indonesia (Hermawan dan Sutanto, 2022).

Termaktub dalam regulasi tentang Tentara Nasional Indonesia, yaitu Undang-Undang Nomor 34 Tahun 2004, pertahanan matra laut dilaksanakan oleh TNI Angkatan Laut. Tugas pokok dan fungsi prajurit laut ini melibatkan pelaksanaan penegakkan hukum dan pemeliharaan hankam di wilayah laut yang berada di bawah kekuasaan republik, dengan

berasas pada hukum nasional dan internasional yang diabsahkan/diratifikasi. Pada pelaksanaan tugasnya, TNI Angkatan Laut mempunyai peran militer, peran polisional (*constabulary*), dan peran diplomasi (*naval diplomacy*) (Hermawan dan Sutanto, 2022).

Untuk mendukung upaya menjaga keamanan laut ini, terdapat sejumlah pangkalan TNI Angkatan Laut yang tersebar di berbagai lokasi strategis. Salah satu pangkalan utama yang memegang peranan krusial adalah Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut III Jakarta di Dermaga Sunda, Ksatrian Pondok Dayung, Jakarta Utara. Pangkalan ini tidak hanya berfungsi sebagai pusat komando dan pengendalian, tetapi juga sebagai fasilitas yang menyediakan fasilitas labuh bagi unsur Kapal Perang Republik Indonesia (KRI). Pentingnya Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut III Jakarta terletak pada perannya dalam mendukung operasional pertahanan laut. Fasilitas pangkalan diperlukan KRI untuk melakukan perbaikan serta pengisian perbekalan dan bahan bakar, memastikan bahwa kapal-kapal tersebut selalu siap mendukung tugas dan tanggung jawab TNI Angkatan Laut.

Namun, operasional pangkalan laut ini tidak terlepas dari pengaruh kondisi oseanografi di sekitarnya, khususnya dalam hal perubahan pasang-surut. Pasang-surut menjadi satu faktor pertimbangan penting dalam berbagai keperluan dalam operasi pertahanan laut. Pasang-surut air didefinisikan sebagai perubahan tinggi permukaan air laut dalam suatu periode tertentu. Fluktuasi ini dipengaruhi oleh interaksi gaya tarik-menarik antara Matahari dan Bulan terhadap massa air laut di permukaan Bumi (Triatmodjo, 2016).

Informasi karakteristik pasang-surut dapat digunakan untuk menentukan ketinggian (level) air laut yang menjadi dasar dalam pembuatan peta batimetri sebagaimana telah dilakukan oleh peneliti lain (Lesmana dan Haykal, 2021). Pasang-surut juga digunakan untuk menganalisis bentuk dan laju sedimentasi di suatu dasar laut (Lahopang, Widada, dan Atmodjo, 2023; Mahardika, Helmi, dan Suryoputro, 2022). Hal ini dapat digunakan dalam perencanaan dan peningkatan kemampuan dermaga pada pangkalan laut.

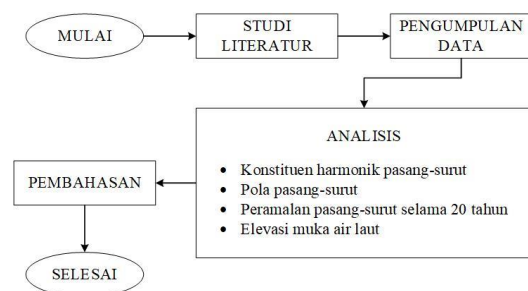
Peta batimetri dan elevasi muka air laut dapat dipakai dalam hal penentuan elevasi struktur dermaga. Sedangkan, perhitungan laju sedimentasi digunakan pada kegiatan pemeliharaan kolam putar dan alur pelayaran

pada pangkalan laut, yang digunakan dalam perhitungan volume pengerukan yang perlu dilakukan dalam suatu periode. Aktivitas demikian berguna dalam operasional pangkalan TNI Angkatan Laut secara menyeluruh, sehingga membantu aksesibilitas navigasi dan operasional kapal-kapal perang di wilayah tersebut.

Oleh sebab itu, wawasan yang mendalam terhadap fluktuasi pasang-surut menjadi esensial bagi keberhasilan operasional pangkalan laut dalam mendukung pertahanan laut di perairan Indonesia. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis data pasang-surut berbasis metode kuadrat terkecil. Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan konstituen-konstituen harmonik, untuk selanjutnya menentukan pola pasang-surut yang terjadi pada perairan Pondok Dayung. Dilakukan juga pengolahan data untuk memperoleh nilai elevasi permukaan air laut.

METODE PENELITIAN

Gambar 1 menjelaskan prosedur yang dilakukan selama penelitian. Penelitian dimulai dengan telaah pustaka untuk mengidentifikasi isu-isu yang relevan serta merangkum kerangka teoritis yang mendukung penyelenggaraan penelitian. Langkah berikutnya melibatkan proses pengumpulan data yang akan dianalisis secara mendalam dalam penelitian ini. Proses-proses ini penting untuk memberikan dasar empiris yang kuat bagi analisis dan temuan dalam penelitian.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Sumber: (Olahan penulis, 2023)

Penelitian ini merupakan riset yang mengolah data nonprimer (data sekunder) yang diperoleh dari Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut atau Pushidrosal (2023). Data tersebut berupa elevasi muka air laut dengan interval satu jam selama 31 hari, mulai tanggal 1 sampai 31 Desember 2023. Elevasi muka air laut yang di ukur berada pada koordinat $06^{\circ} 05' 45''$ LS dan $106^{\circ} 53' 10''$ BT, di sekitar perairan Pondok Dayung, Tanjung Priok, Jakarta Utara. Area studi dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Peta batimetri Pondok Dayung
 (Sumber: (Pushidrosal, 2023))

Dalam studi terdahulu, yang diteliti oleh Supriyono, Pranowo, Rawi, dan Herunadi (2015), menyatakan bahwa perhitungan menggunakan metode kuadrat terkecil memberikan hasil analisis yang akurat. Metode ini terbukti memiliki ketelitian dan ketepatan dalam menentukan besaran beda fase dan amplitudo untuk setiap konstituen harmonik pasang-surut. Keakuratan metode ini juga dibuktikan dalam beberapa penelitian terdahulu, yang membandingkan metode kuadrat terkecil dengan berbagai metode analisis pasang-surut lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode kuadrat terkecil memiliki *root mean square error* (RMSE) atau nilai deviasi akar rata-rata kuadrat yang lebih kecil daripada metode lainnya. Pernyataan bahwa nilai RMSE yang didapat adalah lebih kecil, hal ini menandakan hasil prediksi atau ramalan pasang-surut mendekati kondisi yang sebenarnya (Kurniawan, Azhari, Pranowo, dan Handoko, 2023; Lang *et al.*, 2022; Nurfadlillah, Prawirabhakti, dan Yunar, 2020; Ulum dan Khomsin, 2013; Umam, Pranowo, dan Fatoni, 2019).

Dengan demikian, penggunaan metode kuadrat terkecil dalam penelitian ini dapat dianggap sebagai pendekatan yang dapat diandalkan untuk menganalisis data pasang-surut di sekitar perairan Pondok Dayung. Keakuratan analisis ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam terhadap pola pasang-surut di wilayah tersebut, yang mendukung perencanaan operasional pangkalan laut, navigasi kapal, dan aspek keamanan laut lainnya.

Prinsip metode kuadrat terkecil adalah meminimalkan tinggi muka air pengamatan dan model peramalan. Jika $\eta(t)$ adalah prediksi tinggi

muka air, maka menurut Ongkosono (dalam Rosida, Anwar, Sholeh, Mushofa, dan Prayogo, 2022), persamaan dalam metode kuadrat terkecil dapat ditulis dalam Persamaan (1) di bawah ini.

$$\eta(t) = SO + \sum_{i=1}^N A_i \cos(\omega_i t - P_i) \quad (1)$$

Dengan:

- $\eta(t)$ = tinggi muka air pasang-surut
- ω_i = $\frac{2}{T_i}$, kecepatan angular komponen ke-i, T_i adalah periode ke-i
- P_i = fase konstituen ke-i
- SO = *mean sea level*
- t = waktu
- N = jumlah konstituen
- A_i = amplitudo ke-i

Dalam rangka mempermudah analisis pasang-surut berbasis metode kuadrat terkecil, digunakan bantuan ErgTide, sebuah perangkat lunak untuk menghitung nilai konstituen harmonik pasang-surut dan memprediksi elevasi pasang-surut. ErgTide telah digunakan dalam beberapa penelitian terkait pasang-surut untuk berbagai keperluan. Dalam prosesnya, ErgTide membutuhkan kumpulan data pasang-surut yang diketahui, setidaknya selama empat belas hari. Prediksi elevasi yang dilakukan oleh ErgTide menunjukkan kesesuaian yang cukup baik antara model dan data lapangan (Lahopang *et al.*, 2023; Lesmana dan Haykal, 2021; Mahardika *et al.*, 2022; Pratama, 2019; Sufyan, Risandi, dan Akhwady, 2023).

Tipe pasang-surut memiliki perbedaan di setiap daerah perairan. Terdapat empat jenis pasang-surut,

yaitu pasang-surut harian ganda (*semidiurnal tide*), pasang-surut harian tunggal (*diurnal tide*), dan terdapat dua jenis pasang-surut campuran dengan kecenderungan. Menurut Wyrcki (dalam Dinaryoko, Zakaria, dan Tugiono, 2021) dan Triatmodjo (2016), empat jenis pasang-surut di Indonesia dan sekitarnya, yaitu:

1. Pasang-surut harian ganda (*semidirunal*) terjadi peristiwa dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari dengan elevasi yang sama secara beruntun dan teratur.
2. Pasang-surut harian tunggal (*diurnal*), terjadi peristiwa satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari.
3. Pasang-surut campuran condong ke harian ganda (*mixed, mainly semidiurnal*) terjadi peristiwa dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari dengan elevasi dan periode yang berbeda.
4. Pasang-surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed, mainly diurnal*) terjadi peristiwa satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari, dengan kemungkinan terjadinya dua kali pasang dan dua kali surut dalam beberapa waktu yang memiliki elevasi dan periode yang berbeda.

Penelitian dilanjutkan dengan mendefinisikan jenis pola pasang-surut menggunakan bilangan Formzahl. Bilangan Formzahl didefinisikan sebagai jumlah harga amplitudo konstituen utama pasang-surut *semidiurnal* (M2 dan S2) dibagi dengan jumlah harga amplitudo konstituen utama pasang-surut *diurnal* (K1 dan O1) sebagaimana dalam Persamaan (2) berikut (Muliati, 2020; Pugh, 1987).

$$F = \frac{A(K1)+A(O1)}{A(M2)+A(S2)} \quad (2)$$

Dengan:

- F = bilangan Formzahl
- A(K1) = amplitudo konstituen pasang-surut tunggal utama akibat gaya tarik bulan dan matahari
- A(O1) = amplitudo konstituen pasang-surut tunggal utama akibat gaya tarik bulan
- A(M2) = amplitudo konstituen pasang-surut ganda utama akibat gaya tarik bulan
- A(S2) = amplitudo konstituen pasang-surut ganda utama akibat gaya tarik matahari

Hasil dari perhitungan bilangan Formzhal merupakan indikator penentu jenis pasang-surut yang terbentuk di suatu perairan. **Tabel 1** menunjukkan empat rentang nilai hasil perhitungan bilangan Formzahl. Pertama, nilai

bilangan Formzahl nol sampai sama dengan 0,25 dinyatakan sebagai tipe *semidiurnal*. Kedua, nilai bilangan Formzahl 0,26 sampai 1,50 dinyatakan sebagai tipe pasang-surut *mixed mainly semidiurnal*. Ketiga, nilai bilangan Formzahl 1,51 sampai 3,00 dinyatakan sebagai tipe pasang-surut *mixed mainly diurnal*. Keempat, nilai bilangan Formzahl 3,01 atau lebih dinyatakan sebagai tipe pasang-surut *diurnal*.

Langkah berikutnya adalah meramalkan elevasi penting pasang-surut. Muliati (2020) dalam bukunya yang berjudul *Rekayasa Pantai*, menyatakan bahwa terdapat beberapa elevasi penting muka air laut, yaitu *MLWL*, *MLWS*, dan *LWS*, *MSL*, *HWS*, *MHWS*, dan *MHWL*.

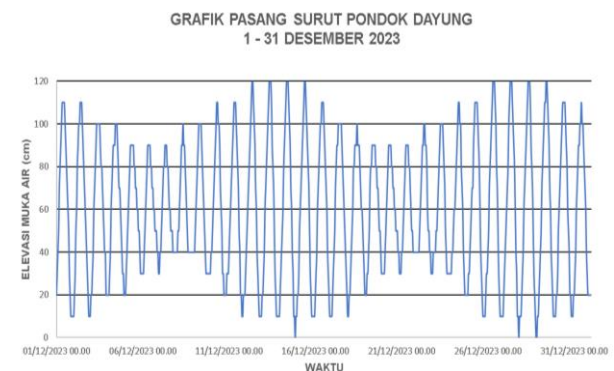
Tabel 1 Tipe pasang-surut menurut bilangan Formzahl

Bilangan Formzahl	Pola Pasang-Surut
0,00 sampai 0,25	<i>Semidiurnal</i>
0,26 sampai 1,50	<i>Mixed, mainly semidiurnal</i>
1,51 sampai 3,00	<i>Mixed, mainly diurnal</i>
lebih dari 3,01	<i>Diurnal</i>

(Sumber: Pugh, 1987)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik pasang-surut adalah hasil visualisasi dari data pasang-surut yang disusun secara berurutan dalam format deret waktu (*time series*). Proses penyusunan dilakukan di perangkat lunak Microsoft Excel untuk kemudian diplotkan dalam bentuk grafik. Grafik ini memberikan representasi visual yang jelas mengenai fluktuasi tinggi muka air laut pada periode 1 sampai 31 Desember 2023. Informasi yang ditampilkan pada Gambar 3 memberikan gambaran pola pasang-surut di Dermaga Sunda, Ksatrian Pondok Dayung.



Gambar 3 Grafik pasang-surut (Sumber: Pushidrosal, 2023)

Data ketinggian pasang-surut diolah dengan pendekatan metode kuadrat terkecil melalui *software* ErgTide. Hasil pengolahan menampilkan nilai amplitudo dan beda fase tiap-tiap konstituen harmonik. Konstituen harmonik terdiri atas M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, M4, MS4, dan SO dalam **Tabel 2**. Hasil menunjukkan bahwa konstituen harmonik

penyusun pasang-surut *diurnal* (K1, O1, dan P1) memiliki nilai amplitudo yang lebih besar daripada konstituen harmonik penyusun pasang-surut *semidiurnal* (M2, S2, N2, dan K2). Diketahui juga nilai amplitudo konstituen SO yang merupakan ketinggian permukaan air laut rata-rata (*mean sea level* atau MSL), diperoleh nilai MSL sebesar 60,07 sentimeter.

Tabel 2 Nilai konstituen harmonik pasang-surut

Konstituen	Amplitudo (cm)	Beda Fase (°)
M2	4.58	238.98
S2	4.83	-67.24
N2	0.82	225.39
K2	2.26	-39.8
K1	31.73	59.2
O1	15.29	79.67
P1	10.44	212.03
M4	0.89	-89.93
MS4	0.96	92.58
SO	60.07	

(Sumber: Olahan penulis, 2023)

Berdasarkan komponen harmonik yang telah didapatkan pada **Tabel 2**, pola pasang-surut di wilayah laut sekitar Dermaga Sunda, Ksatrian Pondok Dayung dapat didefinisikan dengan bilangan Formzahl dalam Persamaan (2). Perhitungan menunjukkan bahwa nilai Formzahl adalah sebesar 4,997. Nilai ini menyatakan bahwa pola pasang-surut tersebut diklasifikasikan sebagai pola pasang-surut harian tunggal atau *diurnal tide*, sebagaimana telah dinyatakan dalam **Tabel 2**.

Perairan di sekitar Ksatrian Pondok Dayung mengalami kejadian satu kali pasang dan satu kali surut dalam waktu satu hari. Pernyataan ini sejalan dengan studi yang telah dilakukan Wibowo, Setiyadi, Putra, dan Astika (2023), yang juga mengkaji aspek hidro-oseanografi untuk pemeliharaan kolam pelabuhan di Pondok Dayung. Tipe pasang-surut harian tunggal di kawasan Tanjung Priok juga disampaikan dalam penelitian Dinaryoko, Zakaria, dan Tugiono pada 2021, bahwa pola pasang-surut dalam wilayah laut Tanjung Priok adalah pasang-surut berjenis harian tunggal.

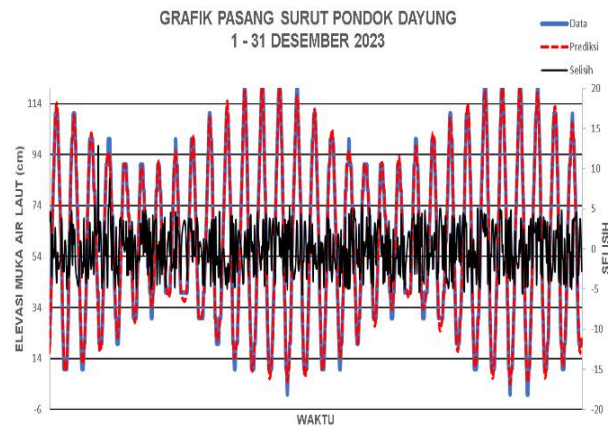
$$\begin{aligned}
 F &= \frac{A(K1)+A(O1)}{A(M2)+A(S2)} \\
 &= \frac{31,73+15,29}{4,58+4,81} \\
 &= 4,997 \dots \dots \dots \geq 3 \text{ (diurnal)}
 \end{aligned}$$

Proses analisis berlanjut dengan mengalkulasikan nilai elevasi muka air laut. Proses ini memerlukan data pasang-surut yang terdokumentasi

setidaknya selama 18,6 tahun. Durasi waktu tersebut merupakan waktu yang diperlukan untuk satu siklus (*cycle*) lengkap pasang-surut. Peristiwa ini menggambarkan periode di mana titik tertinggi dan terendah permukaan air laut berada dalam satu keseluruhan gelombang. Penggunaan panjang data sedemikian untuk memastikan bahwa data yang digunakan mencakup titik pasang tertinggi dan titik surut terendah untuk pengolahan data yang lebih lengkap.

Dengan demikian, peneliti menyediakan kebutuhan data tersebut dengan cara melakukan peramalan data pasang-surut selama rentang waktu dua puluh tahun dengan rincian selama 7.305 hari (dalam satu tahun terdapat 365,25 hari). Pendekatan ini memungkinkan sistem ErgTide dapat membaca titik pasang-surut tertinggi dan terendah yang dapat terjadi di lokasi penelitian.

Selanjutnya, tinggi muka air laut hasil peramalan disusun *overlay* dengan data tinggi muka air laut yang sudah dimiliki. Gambar 4 menunjukkan garis berwarna biru adalah data ketinggian muka air laut yang dipublikasikan oleh Pushidrosal, sedangkan garis merah putus-putus adalah data ketinggian air laut yang dihasilkan melalui peramalan, dan garis hitam menyajikan selisih antara keduanya.



Gambar 4 Grafik perbandingan data dan ramalan (Sumber: Olahan penulis, 2023)

Terdapat perbedaan nilai elevasi pada beberapa titik waktu pasang-surut, tetapi secara keseluruhan, pola grafik yang dihasilkan memiliki kemiripan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil prediksi pasang-surut menggunakan perangkat lunak ErgTide memiliki keakuratan terhadap nilai sebenarnya.

Hasil peramalan selama kurun waktu dua dekade tersebut memunculkan beberapa situasi tinggi permukaan air laut. Elevasi ini merupakan faktor kunci dalam merencanakan dan mengembangkan infrastruktur pantai. Analisis tinggi permukaan air laut dipresentasikan dalam

Tabel 3 Elevasi muka air laut Pondok Dayung

Situasi Elevasi Muka Air Laut	Elevasi (cm)	Jumlah Kejadian
<i>Highest Water Spring</i>	121,96	1
<i>Mean High Water Spring</i>	109,02	493
<i>Mean High Water Level</i>	91,33	8.360
<i>Mean Sea Level</i>	60,07	175.320
<i>Mean Low Water Level</i>	28,29	8.358
<i>Mean Low Water Spring</i>	8,66	493
<i>Lowest Water Spring</i>	-5,24	1

(Sumber: Olahan penulis, 2023)

Highest water spring (HWS) adalah elevasi muka air laut tertinggi ketika terjadi pasang-surut purnama atau bulan mati. Elevasi HWS adalah 121,96 cm. Sedangkan, *lowest water spring* (LWS) adalah elevasi muka air laut terendah ketika terjadi pasang-surut purnama atau bulan mati. Elevasi LWS adalah -5,24 cm.

Selanjutnya, nilai rata-rata dari muka air tinggi yang beruntun tanpa jeda selama periode pasang purnama (ketika terjadi tunggang pasang tertinggi) disebut sebagai *mean high water spring* (MHWS). Sedangkan, nilai rata-rata dari muka air rendah yang beruntun tanpa jeda selama periode pasang purnama disebut *mean low high water spring* (MLWS). Elevasi MHWS dan MLWS secara berturut-turut adalah 109,02 cm dan 8,66 cm.

Dalam kurun waktu 18,6 tahun yang telah diramalkan, muka air pasang yang terjadi dirata-rata disebut sebagai *mean high water level* (MHWL) muka air surut yang dirata-ratakan disebut *mean low water level* (MLWL). Didapatkan bahwa nilai rata-rata muka air tinggi adalah 91,33 cm dan nilai rerata muka air rendah adalah 28,29 cm.

Nilai mean dari tinggi permukaan air laut pasang dan surut rata-rata disebut sebagai *mean sea level* (MSL). Elevasi MSL yang terjadi adalah 60,07 cm dalam periode pasang-surut tersebut. Dilakukan juga perhitungan tunggang pasang (*tidal range*) yang merupakan selisih antara elevasi muka air pasang yang paling tinggi dan elevasi muka air surut yang paling rendah. Nilai tunggang pasang yang terjadi adalah 127,20 cm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari temuan penelitian yang dijelaskan sebelumnya, dapat diperoleh beberapa kesimpulan bahwa pasang-surut di perairan Ksatrian Pondok Dayung diklasifikasikan sebagai pola pasang-surut harian tunggal atau *diurnal tide*, dengan nilai bilangan Formzahl yang dihitung mencapai 4,997.

Juga dapat disimpulkan bahwa elevasi tertinggi permukaan air laut mencapai 121,96 cm, elevasi minimum permukaan air laut mencapai -5,24 cm,

dan rata-rata elevasi muka air laut yang terjadi adalah 60,07 cm.

Hasil riset ini diharapkan dapat berperan positif sebagai bahan bacaan dan sumber referensi untuk kajian lebih lanjut dalam pengambilan keputusan di lingkungan TNI Angkatan Laut. Karakteristik pasang-surut ini dapat berperan sebagai salah satu faktor pertimbangan dalam upaya pemeliharaan serta pengembangan infrastruktur dermaga yang mendukung operasional TNI Angkatan Laut di Dermaga Sunda, Ksatrian Pondok Dayung, Jakarta Utara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan diberikan kepada Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut (Pushidrosal) dan Dinas Fasilitas Pangkalan TNI Angkatan Laut (Disfaslanal) atas kontribusinya dalam memberikan bantuan ketersediaan data dalam mendukung penelitian ini. Atas segala dukungan dan bantuan terhadap seluruh kontributor penulis, disampaikan ucapan terima kasih kepada Kaprodi, Dosen, Staf Kependidikan, dan seluruh Kadet Mahasiswa *Cohort-1* Prodi Teknik Sipil Universitas Pertahanan RI.

DAFTAR PUSTAKA

- Arto, R. S., Prakoso, L. Y., & Sianturi, D. (2019). Strategi Pertahanan Laut Indonesia dalam Perspektif Maritim Menghadapi Globalisasi. *Jurnal Strategi Pertahanan Laut*, 5(2), 65–86. <https://doi.org/10.33172/spl.v5i2.644>
- Dinaryoko, A., Zakaria, A., & Tugiono, S. (2021). Analisis Perbandingan Data Pasang Surut Terukur dengan Data Pasang Surut Hasil Peramalan (Studi Kasus Stasiun Pasut Tanjung Priok). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 9(1), 131–142. Diambil dari <https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/article/view/1693>
- Hermawan, T., & Sutanto, R. (2022). Strategi Pertahanan Laut Indonesia dalam Analisa Ancaman dan Kekuatan Laut. *Journal Education and Development*, 10(2), 363–371. Diambil dari <https://journal.ipts.ac.id/index.php/ED/article/view/3751>
- Kurniawan, M. A., Azhari, F., Pranowo, W. S., & Handoko, D. (2023). Studi Komparasi Pengolahan Data Pasang Surut di Perairan Sebatik Kalimantan Utara Menggunakan Metode Least Square dan Metode Admiralty. *Jurnal Chart Datum*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v9i1.145>
- Lahopang, V. R. A., Widada, S., & Atmodjo, W. (2023). Sebaran Ukuran Butir Sedimen di

- Muara Sungai Sragi Baru-Wonokerto, Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah. *Indonesia Journal of Oceanography (IJOCE)*, 5(1), 18–27. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v5i1.15628>
- Lang, A. E. F., Kalangi, P. N. I., Dien, H. V., Masengi, K. W. A., Pamikiran, R. D. C., & Kaparang, F. E. (2022). Perbandingan Hasil Analisis Pasang Surut di Pelabuhan Perikanan Pantai Tumumpa Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil dan Metode Admiralty. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 10(1), 77–84. <https://doi.org/10.35800/jip.v10i1.36887>
- Lesmana, N. T., & Haykal, M. F. (2021). Pemetaan Batimetri dalam Perencanaan Pembangunan Pesisir. *Journal of Empowerment Community and Education*, 1(1), 27–32. Diambil dari <https://jurnalpengabdian.com/index.php/jec/article/view/10>
- Mahardika, D. I., Helmi, M., & Suryoputro, A. A. D. (2022). Pola Sebaran Material Padatan Tersuspensi Berdasarkan Pemodelan Hidrodinamika 2D saat Pasang dan Surut di Perairan Pulau Menjangan Besar, Kepulauan Karimunjawa. *Indonesia Journal of Oceanography (IJOCE)*, 4(3), 44–56. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i3.14383>
- Marsetio. (2014). *Sea Power Indonesia*. Jakarta: Universitas Pertahanan Indonesia.
- Muliati, Y. (2020). *Rekayasa Pantai*. Bandung: Penerbit Itenas.
- Nurfadlillah, Prawirabhakti, A., & Yunar, A. (2020). Perbandingan Akurasi Prediksi Pasang-Surut Antara Metode Admiralty dan Metode Least Square di Pantai Batasuya. *Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako*, 6(1), 21–32. <https://doi.org/10.22487/jstt.v6i1.355>
- Pratama, M. B. (2019). Tidal Flood in Pekalongan: Utilizing and Operating Open Resources for Modelling. *The 2nd EPI International Conference on Science and Engineering*. Gowa. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/676/1/012029>
- Pugh, D. T. (1987). *Tides, Surges, and Mean Sea-Level*. California: John Wiley and Sons Ltd.
- Pushidrosal. (2023). *Daftar Pasang Surut Kepulauan Indonesia*. Jakarta: Pushidrosal.
- Rosida, L. A., Anwar, M. S., Sholeh, O. M., Mushofa, A. S., & Prayogo, L. M. (2022). Penerapan Metode Least Square untuk Analisis Harmonik Pasang Surut Air Laut di Kabupaten Tuban, Jawa Timur. *El-Jughrafiyah*, 2(2), 67–74. <https://doi.org/10.24014/jej.v2i2.17160>
- Sufyan, A., Risandi, J., & Akhwady, R. (2023). Observasi Pasang Surut dan Arus di Muara Porong untuk Mendukung Pengembangan Pulau Lusi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 200–206. <https://doi.org/10.55981/jtl.2023.986>
- Supriyono, Pranowo, W. S., Rawi, S., & 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. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v1i1.7>
- Triatmodjo, B. (2016). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Ulum, M., & Khomsin. (2013). Perbandingan Akurasi Prediksi Pasang-Surut antara Metode Admiralty dan Metode Least Square. *Geoid: Journal of Geodesy and Geomatics*, 9(1). <https://doi.org/10.12962/j24423998.v9i1.746>
- Umam, C., Pranowo, W. S., & 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. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v5i2.149>
- Wibowo, N. S., 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>