

APLIKASI METODE LEAST SQUARE PADA PEMODELAN PASANG SURUT DI PERAIRAN PEMANGKAT

Qalbi Hafiyyan¹, Puspita Rahmasari^{2*}, Wiwik Wiharti³, Putri Yusella⁴, Riza Aulia⁵,
Daslin S.J.L. Tobing⁶

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Pontianak

^{2,3,4}Program Studi Perencanaan Perumahan dan Pemukiman, Politeknik Negeri Pontianak

^{5,6}Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak

*Email: 2294puspitarahmasari@gmail.com

ABSTRAK: Perairan Pemangkat yang terletak di Kalimantan Barat merupakan kawasan pesisir dengan berbagai aktivitas seperti perikanan, pelayaran, dan pembangunan infrastruktur. Aktivitas-aktivitas tersebut sangat rentan dipengaruhi oleh pasang surut. Dengan demikian, pengetahuan dan pemahaman karakteristik pasang surut pada perairan pemangkat menjadi sangat penting. Pendekatan yang dapat dilakukan untuk memahami karakteristik pasang surut adalah pemodelan pasang surut dengan metode least square. Pendekatan ini umum digunakan karena mampu memberikan hasil yang akurat. Pada penelitian ini, pemodelan pasang surut dilakukan berdasarkan data observasi pasang surut sepanjang 15 hari dengan luaran berupa amplitudo dan fase 9 komponen harmonik. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa komponen harmonik M_2 menjadi komponen harmonik dengan nilai tertinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa efek gravitasi bulan sangat mempengaruhi karakteristik pasang surut perairan Pemangkat. Selain itu, penelitian ini juga memberikan nilai bilangan formzahl sebesar 0,955. Hal tersebut menunjukkan bahwa perairan pemangkat memiliki tipe pasang surut campuran cenderung harian ganda, dimana selama kurun waktu satu hari terjadi pasang dan surut masing-masing dua kali dengan ketinggian yang berbeda. Selanjutnya, amplitudo dari komponen harmonik juga digunakan untuk menghitung elevasi muka air penting meliputi MSL, MHWL, HHWL, MLWL, dan LLWL. Adapun, nilai dari kelima elevasi tersebut adalah -0,525 m untuk LLWL, -0,329 m untuk MLWL, 0,555 m untuk MSL, 1,439 m untuk MHWL, dan 1,635 m untuk HHWL. Akhirnya, penelitian ini diproyeksikan bisa menjadi referensi dalam merencanakan berbagai aspek di perairan pemangkat, seperti pelayaran dan infrastruktur.

Kata Kunci: Pasang Surut, Komponen Harmonik, Formzahl, Least Square

ABSTRACT: The Pemangkat waters in West Kalimantan are a coastal area with various activities such as fishing, shipping, and infrastructure development. These activities are highly susceptible to tidal influences. Therefore, knowledge and understanding of the tidal characteristics in the Pemangkat waters are crucial. One approach to understanding tidal characteristics is tidal modeling using the least squares method. This method is commonly used and is capable of providing accurate results. In this study, tidal modeling was conducted based on 15 days of tidal data with outputs in the form of amplitudes and phases of 9 harmonic components. The modeling results show that the M_2 harmonic component is the harmonic component with the highest amplitude and phase values. That indicates that the effects of lunar gravity strongly influence the tidal characteristics of the Pemangkat waters. Furthermore, this study also shows that the tidal class of the Pemangkat waters is a mixed tides prevailing semidiurnal with a Formzahl number of 0.955. Moreover, the amplitude of the harmonic components is also used to compute significant water level elevations such as MSL, HHWL, MHWL, MLWL, and LLWL. Meanwhile, the values of the five water surface elevations are -0.525 m for LLWL, -0.329 m for MLWL, 0.555 m for MSL, 1.439 m for MHWL, and 1.635 m for HHWL. Finally, this research is expected to serve as a reference for planning various aspects of Pemangkat's waters, including shipping and infrastructure.

Keywords: Tide, Harmonic Component, Formzahl, Least Square

PENDAHULUAN

Pasang surut merupakan suatu kejadian atau fenomena air laut berfluktuasi secara berkala atau periodik sebagai akibat adanya gaya tarik gravitasi bulan, matahari, dan bumi (Dina 'Amalina dkk., 2019). Fenomena pasang surut di suatu perairan seringkali mempunyai pengaruh terhadap berbagai aktivitas pada wilayah tersebut, seperti pembangunan infrastruktur, navigasi pelayaran, pengelolaan perikanan, hingga mitigas bencana akibat banjir rob. Pengaruh ini menyebabkan pengetahuan dan pemahaman mengenai karakteristik pasang surut menjadi penting untuk dipelajari. Untuk memahami karakteristik pasang surut dapat dilakukan dengan berbagai metode, dimana metode yang paling umum adalah analisis harmonik. Metode ini dilakukan dengan cara menyatakan fenomena periodik pasang surut sebagai superposisi dari beberapa fungsi sinusoidal, dimana setiap fungsi tersebut memiliki amplitudo, periode, dan frekuensi masing-masing (Cai dkk., 2018). Fungsi sinusoidal tersebut

tersusun dari komponen-komponen yang dikenal sebagai konstituen atau komponen harmonik pasang surut.

Dua metode yang umum digunakan oleh para peneliti terdahulu dalam melakukan analisis harmonik pasang surut, yaitu metode admiralty (Nirmala & Hafiyyan, 2023; Rumapea dkk., 2024) dan metode least square (Ichsari dkk., 2020; Nirmala, 2024; Triatmojo dkk., 2024). Pada penelitian ini, metode least square akan diaplikasikan untuk melakukan analisis harmonik. Metode atau pendekatan least square sendiri telah terbukti memberikan akurasi yang lebih baik dalam memodelkan pasang surut dibandingkan dengan metode admiralty (Azmi dkk., 2025). Metode ini menggunakan data pasang surut jangka panjang untuk memperoleh nilai fase dan amplitudo berbagai komponen atau konstituen pasang surut. Prinsip dari metode ini adalah meminimalkan selisih kuadrat data observasi dengan model matematis pasang surut. Selanjutnya, penelitian ini menggunakan Microsoft Excel sebagai alat bantu dalam memodelkan pasang surut dengan maksud perhitungan menjadi lebih efisien dan efektif.

Pemodelan pasang surut pada perairan di Indonesia menjadi sesuatu yang penting. Hal ini dikarenakan perairan Indonesia memiliki karakteristik pasang surut yang bervariasi secara spasial. Misalnya, pasang surut di Perairan Ende, Nusa Tenggara Timur bertipe campuran condong campuran ganda (Soares dkk., 2019), sementara pasang surut bertipe diurnal atau harian tunggal terjadi di perairan Kepulauan Bangka Belitung dengan konstituen atau komponen diurnal yang dominan adalah komponen utama K1 dan O1 (Radjawane dkk., 2018). Hal ini menunjukkan pentingnya studi mengenai karakteristik pasang surut sesuai wilayah masing-masing, salah satunya perairan Pemangkat. Perairan ini yang terletak di Kabupaten Sambas, Provinsi Kalimantan Barat. Aktivitas di perairan ini sangat beragam mulai dari perikanan, pelayaran tradisional, dan pembangunan infrastruktur. Semua aktivitas ini tentunya akan sangat dipengaruhi oleh perubahan muka air laut. Dengan demikian, penelitian mengenai pemodelan pasang surut di wilayah perairan Pemangkat diperlukan guna memperoleh dan memahami karakteristik pasang surut pada lokasi tersebut. Pada akhirnya, pemahaman terhadap karakteristik pasang surut perairan Pemangkat akan sangat berguna dalam mendukung segala aktivitas yang terjadi pada daerah tersebut.

Gaya Pembangkit Pasang Surut

Peristiwa pasang surut dapat terjadi karena adanya yaitu gaya tarik menarik antara tiga benda astronomi, yaitu bumi, bulan, dan matahari. Adapun, gerakan ketiga benda astronomi tersebut yang memberikan pengaruh pada peristiwa pasang surut yaitu:

1. Gerakan bulan mengelilingi bumi.
2. Gerakan bumi mengelilingi matahari.
3. Rotasi bumi.

Ketiga gerakan ini akan mempengaruhi karakteristik pasang surut yang terjadi di laut. Karakteristik pasang surut tersebut mencakup amplitudo, periode harian, serta tipe pasang surut yang terjadi.

Tipe Pasang Surut

Setiap lokasi tentu memiliki tipe pasang surutnya masing-masing. Secara umum, tipe pasang surut di Indonesia dapat dibedakan sebagai berikut (Triatmojo dkk., 2024):

1. Tipe diurnal atau pasang surut harian tunggal.
Dalam waktu satu hari hanya terjadi pasang sebanyak satu kali serta surut sebanyak satu kali.
2. Tipe semidiurnal atau pasang surut harian ganda.
Dalam waktu satu hari terjadi pasang sebanyak dua kali serta surut sebanyak dua kali.
3. Pasang surut campuran condong harian tunggal.
Secara umum, pasang dan surut yang terjadi dalam satu hari adalah sebanyak satu kali. Namun, pada kondisi tertentu dapat terjadi pasang dan surut sebanyak dua kali dalam satu hari dengan periode dan ketinggian yang berbeda.
4. Pasang surut campuran condong harian ganda.
Pasang dan surut yang terjadi dalam satu hari adalah sebanyak dua kali dalam satu hari, dimana periode dan ketinggian dari dua kali pasang dan surut tersebut sangat berbeda berbeda.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini memodelkan pasang surut dengan memanfaatkan data observasi pada perairan pemangkat sepanjang 15 hari mulai tanggal 1 Agustus 2025 sampai 15 Agustus 2025. Data tersebut

diperoleh dari Sistem Informasi Geospasial Indonesia (SRGI) yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) Indonesia, dimana stasiun pengamatan berlokasi di 1° 10' 47.388" LU dan 108° 58' 5.520" BT. Adapun, metode atau pendekatan yang diaplikasikan dalam memodelkan pasang surut tersebut yaitu metode least square. Prinsip dari metode ini adalah menggunakan besarnya pasang surut di waktu lalu untuk memperkirakan fenomena pasang surut di waktu yang akan datang (Mardika & Pratama, 2021). Berikut merupakan persamaan umum dari metode least square yang diaplikasikan untuk memodelkan pasang surut.

$$h(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^n H_n \cos(\omega_n t_i + g_n) \quad (1)$$

$$h(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^n A_n \cos(\omega_n t_i) + \sum_{i=1}^n B_n \sin(\omega_n t_i) \quad (2)$$

$$A_n = H_n \cos(g_n) \quad (3)$$

$$B_n = H_n \sin(g_n) \quad (4)$$

$$H_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \quad (5)$$

$$g_n = \tan^{-1} \left(\frac{B_n}{A_n} \right) \quad (6)$$

Dengan $h(t)$ menunjukkan nilai perkiraan elevasi muka air pada saat waktu ke- i , Z_0 menunjukkan nilai rata-rata dari muka air, H menunjukkan amplitudo komponen harmonik, ω menunjukkan kecepatan sudut komponen harmonik, dan n menunjukkan jumlah komponen atau konstituen harmonik.

Selanjutnya, prosedur umum pemodelan pasang surut dari suatu wilayah perairan dengan metode atau pendekatan least square adalah sebagai berikut:

1. Menentukan komponen atau konstituen harmonik pasang surut yang akan dicari.
Komponen-komponen harmonik yang dicari pada penelitian ini ada 9 komponen, yaitu *principal lunar* (M_2), *larger lunar elliptic* (N_2), *principal lunar diurnal* (O_1), *shallow water overtides of principal lunar* (M_4), *principal solar* (S_2), *luni-solar semidiurnal* (K_2), *luni-solar diurnal* (K_1), *principal solar diurnal* (P_1), dan *shallow water quarter diurnal* (MS_4).
2. Mendefinisikan matriks observasi [L] berdasarkan data observasi pasang surut.
Matriks observasi untuk data pengamatan pasang surut selama 15 hari mempunyai dimensi 360 x 1 sebagai berikut:

$$[L] = \begin{bmatrix} ht_1 \\ \vdots \\ ht_{360} \end{bmatrix} \quad (7)$$

3. Mendefinisikan matriks desain [A].
Matriks desain adalah matriks jacobian sebagai berikut.

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & \cos(\omega_1 t_1) & -\sin(\omega_1 t_1) & \cdots & \cos(\omega_9 t_1) & -\sin(\omega_9 t_1) \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cos(\omega_1 t_i) & -\sin(\omega_1 t_i) & \cdots & \cos(\omega_9 t_i) & -\sin(\omega_9 t_i) \end{bmatrix} \quad (8)$$

4. Menghitung matriks parameter [X].
Matriks parameter diperoleh dengan operasi matriks sebagai berikut.

$$[X] = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (9)$$

Dengan

$$[X] = \begin{bmatrix} Z_0 \\ A_1 \\ B_1 \\ \vdots \\ B_8 \\ A_9 \\ B_9 \end{bmatrix} \quad (10)$$

5. Menghitung fase dan amplitudo setiap komponen atau konstituen harmonik.

Persamaan (5) dan (6) menjadi dasar dalam perhitungan fase dan amplitudo komponen atau konstituen harmonik.

Nilai amplitudo dan fase yang telah diperoleh kemudian digunakan untuk memperoleh bilangan Formzahl. Cara memperoleh bilangan tersebut adalah dengan menjumlahkan amplitudo konstituen atau komponen harmonik K_1 dan O_1 yang kemudian dibagi dengan hasil penjumlahan amplitudo konstituen atau komponen harmonik M_2 dan S_2 . Secara matematis, bilangan Formzahl (F) dapat diekspresikan dengan persamaan berikut (Azikin dkk., 2022; Byun & Hart, 2020).

$$F = \frac{A_{K_1} + A_{O_1}}{A_{M_2} + A_{S_2}} \quad (11)$$

Besarnya bilangan Formzahl yang diperoleh akan menentukan jenis pasang surut pada suatu lokasi perairan. Pengelompokan tipe pasang surut menurut bilangan Formzahl disajikan dalam Tabel 1. Selain untuk menghitung bilangan Formzahl, nilai amplitudo dari beberapa komponen harmonik juga dipakai dalam perhitungan elevasi muka air penting. Besarnya elevasi muka air yaitu pasang tertinggi atau *Highest High Water Level* (HHWL), surut terendah atau *Lowest Low Water Level* (LLWL), pasang rerata atau *Mean High Water Level* (MHWL), surut rerata atau *Mean Low Water Level* (MLWL), dan muka air rerata atau *Mean Sea Level* (MSL) dapat dihitung menggunakan persamaan (12) sampai (16).

Tabel 1. Klasifikasi Pasang Surut

Bilangan Formzahl	Klasifikasi Pasang Surut
$F > 3$	Harian Tunggal (<i>diurnal</i>)
$1,5 < F \leq 3$	Campuran Cenderung Harian Tunggal (<i>mixed tides prevailing diurnal</i>)
$0,25 < F \leq 1,5$	Campuran Cenderung Harian Ganda (<i>mixed tides prevailing semidiurnal</i>)
$F \leq 0,25$	Harian Ganda (<i>diurnal</i>)

$$LLWL = Z_0 - A_{M_2} - A_{S_2} - A_{K_1} - A_{O_1} \quad (12)$$

$$MLWL = Z_0 - A_{M_2} - A_{K_1} - A_{O_1} \quad (13)$$

$$MSL = Z_0 \quad (14)$$

$$MHWL = Z_0 + A_{M_2} + A_{K_1} + A_{O_1} \quad (15)$$

$$HHWL = Z_0 + A_{M_2} + A_{S_2} + A_{K_1} + A_{O_1} \quad (16)$$

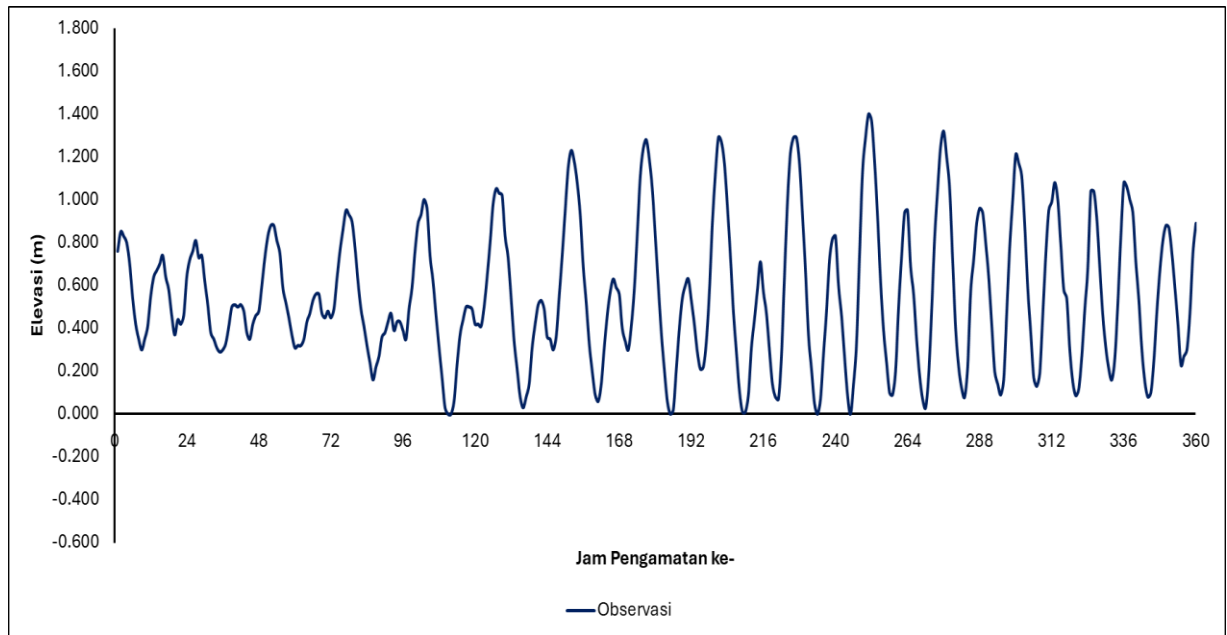
Selanjutnya, fase dan amplitudo dari 9 komponen atau konstituen harmonik pasang surut digunakan untuk memprediksi atau memperkirakan pasang surut. Prediksi tersebut dapat dilakukan dengan mensubstitusi nilai kedua parameter tersebut dari setiap komponen harmonik pasang surut ke persamaan (1). Hasil prediksi pasang surut yang diperoleh kemudian dihitung nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) menggunakan persamaan berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{h}_i - h_i)^2}{n}} \quad (17)$$

Dengan h_i menunjukkan data observasi pasang surut jam ke- i , \hat{h}_i menunjukkan data prediksi atau perkiraan pasang surut saat jam ke- i , dan n menunjukkan jumlah data. Besarnya nilai RMSE ini akan menunjukkan akurasi dari prediksi pasang surut yang dilakukan. Semakin kecil nilai RMSE menunjukkan semakin akurat prediksi pasang surut. Sebaliknya, nilai RMSE yang semakin besar menunjukkan akurasi prediksi pasang surut semakin rendah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

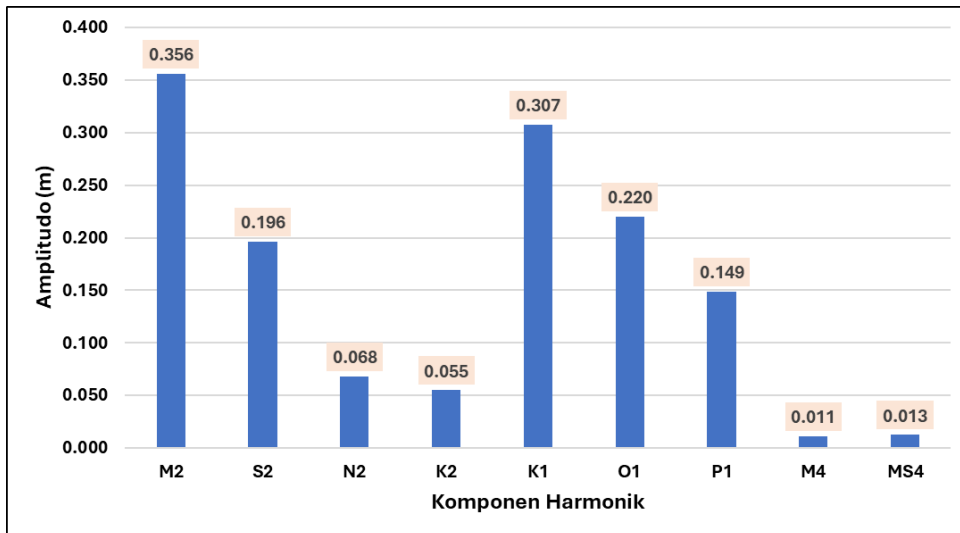
Data pasang surut di perairan pemangkat selama 15 hari (1 - 15 Agustus 2025) dengan interval pengamatan 1 jam digunakan untuk memodelkan pasang surut pada wilayah tersebut (Gambar 1). Pemodelan dilakukan menggunakan metode least square dengan luaran berupa nilai amplitudo dan fase 9 komponen harmonik yang disajikan pada Gambar 2 dan 3.



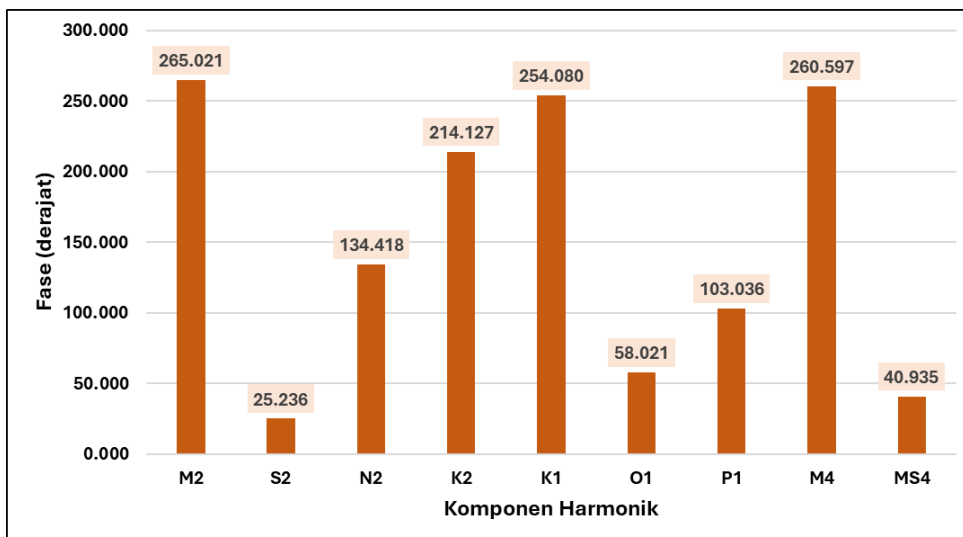
Gambar 1. Data Observasi Pasang Surut Selama 15 Hari

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa komponen atau konstituen harmonik dengan amplitudo terbesar adalah komponen M_2 sebesar 0,356 m. Kemudian, nilai amplitudo terendah berada pada komponen harmonik M_4 sebesar 0,011 m. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa karakteristik dari perairan pemangkat sangat dipengaruhi oleh komponen pembangkit pasang surut semidiurnal khususnya yang disebabkan oleh pengaruh gravitasi bulan. Selain itu, komponen harmonik lainnya yang memiliki pengaruh yang cukup besar pada karakteristik pasang surut yaitu komponen K_1 dengan nilai 0,307 m. Adapun, K_1 yaitu komponen harmonik pasang surut diurnal yang mewakili efek gabungan deklinasi Bulan dan Matahari terhadap pasang surut air laut. M_2 dan K_1 bersama dengan S_2 dan O_1 merupakan empat komponen yang berpengaruh dalam menentukan karakteristik atau jenis pasang surut pada suatu perairan. Hubungan keempat konstanta ini dinyatakan dalam suatu bilangan yang dikenal sebagai bilangan formzahl. Pada penelitian ini, besarnya bilangan formzahl diperoleh adalah sebesar 0,955. Nilai ini menunjukkan bahwa perairan pemangkat memiliki karakteristik pasang surut campuran harian ganda. Hal ini berarti perairan pemangkat akan mengalami dua kali pasang dan dua kali surut dalam kurun waktu satu hari, dimana ketinggian dari masing-masing pasang dan surut tersebut tidak sama.

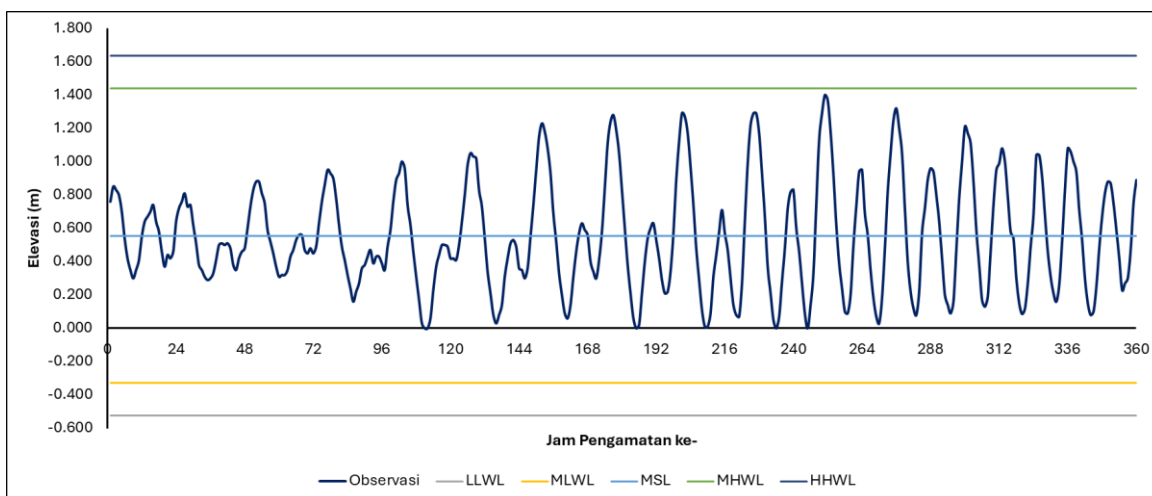
Nilai amplitudo komponen pasang surut kemudian digunakan untuk menghitung elevasi muka air penting pada perairan pemangkat. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh *Lowest Low Water Level* (LLWL) sebesar -0,525 m dan *Highest High Water Level* (HHWL) sebesar 1,635 m. Perhitungan yang dilakukan juga memberikan hasil berupa nilai *Mean Sea Level* (MSL) sebesar 0,555 m, *Mean Low Water Level* (MLWL) sebesar -0,329 m, dan *Mean High Water Level* (MHWL) sebesar 1,439 m. Gambar 4 menyajikan nilai-nilai dari elevasi muka air penting pada perairan Pemangkat dalam bentuk grafik. Nilai-nilai ini sangat penting untuk digunakan dalam berbagai perencanaan pada lokasi penelitian.



Gambar 2. Amplitudo Setiap Komponen / Konstituen Harmonik Pasang Surut

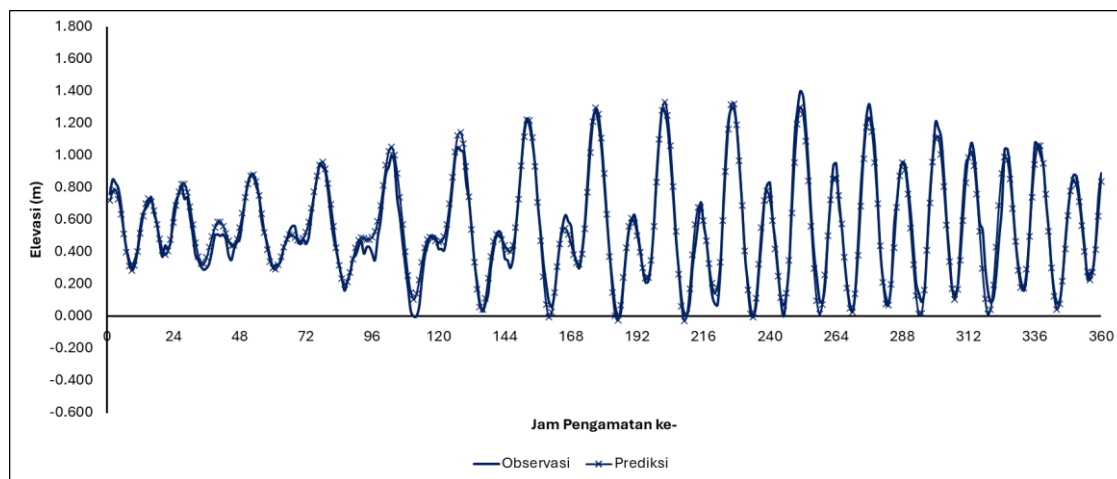


Gambar 3. Fase Setiap Komponen / Konstituen Harmonik Pasang Surut



Gambar 4. Elevasi Muka Air Penting Perairan Pemangkat

Terakhir, besarnya amplitudo dan fase dari 9 komponen atau konstituen harmonik juga digunakan untuk memprediksi pasang surut pada perairan pemangkat. Perbandingan hasil prediksi terhadap data observasi pasang surut sepanjang 15 hari ditampilkan pada Gambar 5. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa hasil prediksi memiliki pola pasang surut yang serupa dengan data observasi. Perbedaan hanya terjadi pada nilai tinggi pasang surutnya, dimana perbedaan tersebut tidak signifikan. Selanjutnya, akurasi model dalam memprediksi pasang surut dapat dilihat dari nilai RMSE model, dimana nilai RMSE yang diperoleh pada penelitian ini yaitu sebesar 0,065. Nilai ini menunjukkan bahwa model Least Square mampu memprediksi pasang surut dengan baik karena nilai RMSE yang kecil dan mendekati nilai nol.



Gambar 5. Perbandingan Data Pengamatan dan Pemodelan Pasang Surut

SIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pemodelan pasang surut perairan pemangkat menggunakan metode least square. Hasil pemodelan telah memberikan luaran berupa nilai fase dan amplitudo untuk setiap komponen atau konstituen harmonik, dimana nilai terbesar berada pada komponen M_2 . Hal ini berarti karakteristik pasang surut dominan dipengaruhi oleh komponen semidiurnal akibat gravitasi bulan. Meskipun, komponen semidiurnal yaitu M_2 memberikan pengaruh utama, interaksi dengan komponen lain, terutama komponen diurnal seperti K_1 dan O_1 juga menentukan sifat campuran pasang surut. Hal ini ditunjukkan dengan nilai bilangan formzahl sebesar 0,955, dimana bilangan ini merupakan rasio amplitudo komponen diurnal dan semidiurnal. Bilangan formzahl ini menunjukkan bahwa pasang surut pada perairan pemangkat berkarakteristik pasang surut campuran harian ganda yang menyebabkan setiap hari mengalami pasang dan surut masing-masing dua kali dengan tinggi yang berbeda. Selain itu penelitian ini juga menunjukkan bahwa keakuratan prediksi pasang surut air laut dengan metode Least Square memberikan hasil yang cukup akurat dengan nilai RMSE sebesar 0,065. Penelitian ini juga memberikan nilai dari setiap elevasi muka air penting pada perairan pemangkat, yaitu LLWL sebesar -0,525 m, MLWL sebesar -0,329 m, MSL sebesar 0,555 m, MHWL sebesar 1,439 m, dan HHWL sebesar 1,635 m. Nilai-nilai sangat berguna dalam perencanaan konstruksi dan operasional di wilayah perairan pemangkat. Akhirnya, penelitian ini diproyeksikan bisa menjadi referensi bagi para perencana atau pihak terkait lainnya dalam merencanakan berbagai hal seperti perencanaan infrastruktur, navigasi pelayaran, hingga mitigasi bencana banjir rob.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada BIG atau Badan Informasi Geospasial yang sudah menyediakan data untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Azikin, H., Nurhidayat, Affandy, E., & Syahrudin, S. S. (2022). Potential of tidal power plants with least square method on Toaya Beach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1212(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1212/1/012038>
- Azmi, U., Adnan Dendy Mardika, Jamrud Aminudin, & Chiquita Laila Mahfud. (2025). Perbandingan Metode Admiralty dan Least-Square untuk Analisis Pasang Surut di Cilacap: Comparison of

- Admiralty and Least-Square Methods for Tidal Analysis in Cilacap. *Jurnal Chart Datum*, 11(1), 19–30. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v11i1.370>
- Byun, D.-S., & Hart, D. E. (2020). A monthly tidal envelope classification for semidiurnal regimes in terms of the relative proportions of the S₂, N₂, and M₂ constituents. *Ocean Science*, 16(4), 965–977. <https://doi.org/10.5194/os-16-965-2020>
- Cai, S., Liu, L., & Wang, G. (2018). Short-term Tidal Level Prediction Using Normal Time-Frequency Transform. *Ocean Engineering*, 156, 489–499. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.03.021>
- Dina 'Amalina, A., Atmodjo, W., & Setiyo Pranowo, W. (2019). Karakteristik Pasang Surut di Teluk Jakarta Berdasarkan Data 253 Bulan. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(1), 25–36. <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v12i1.7>
- Ichsari, L. F., Handoyo, G., Setiyono, H., Ismanto, A., Marwoto, J., Yusuf, M., & Rifai, A. (2020). Studi Komparasi Hasil Pengolahan Pasang Surut Dengan 3 Metode (Admiralty, Least Square Dan Fast Fourier Transform) Di Pelabuhan Malahayati, Banda Aceh. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(2), 121–128. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i2.7985>
- Mardika, M. G. I., & Pratama, M. I. (2021). Analisis Pasang Surut Menggunakan Metode Least Square di Wilayah Perairan Muara Sungai Poso. *Journal of Infrastructure, Planning and Design*, 1(2), 1–8.
- Nirmala, A. (2024). Model Matematis Peramalan Pasang Surut Menggunakan Metode Least Square Di Perairan Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 12(1), 001. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v12i1.72393>
- Nirmala, A., & Hafiyyan, Q. (2023). Analysis of The Types and Characteristics of The Tides Using The Admiralty Method on Two Rivers in The Kubu Raya District. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(2), 262–268.
- Radjawane, I. M., Saputro, B. S. C., & Egon, A. (2018). Model Hidrodinamika Pasang Surut di Perairan Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(2), 121. <https://doi.org/10.5614/jts.2018.25.2.5>
- Rumapea, M. A., Suhana, M. P., & Putra, R. D. (2024). Tipe dan Pola Pasang Surut pada Perairan di Sekitar Kawasan Reklamasi Kota Tanjungpinang. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 17(2), 178–186. <https://doi.org/10.21107/jk.v17i2.18218>
- Soares, C. F. J. P., Wahid, A., & Tanesib, J. L. (2019). Analisis Pasang Surut Menggunakan Metode Least Square di Wilayah Perairan Ende, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Fisika : Fisika Sains dan Aplikasinya*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.35508/fisa.v4i1.1428>
- Triatmojo, Y. P., Pranowo, W. S., & Wibowo, Y. (2024). Analisis Harmonik Pasang Surut di Perairan Dangkal Tanjung Priok Teluk Jakarta Menggunakan Metode Least Square. *Jurnal Riset Jakarta*, 17(1). <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v17i1.98>