



## Penerapan Metode *Least Square* untuk Analisis Harmonik Pasang Surut Air Laut di Kabupaten Tuban, Jawa Timur

Laili Ainur Rosida<sup>1</sup>, Moh. Syaeful Anwar<sup>1</sup>, Oktria Muhammad Sholeh<sup>1</sup>, A. Syahrul Mushofa<sup>1</sup>, Luhur Moekti Prayogo<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas PGRI Ronggolawe, Tuban, Indonesia, 62381

<sup>2</sup> Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas PGRI Ronggolawe, Tuban, Indonesia, 62381

e-mail: [luhur.moekti.prayogo@unirow.ac.id](mailto:luhur.moekti.prayogo@unirow.ac.id)

**ABSTRAK.** Pasang surut merupakan fenomena naik turunnya muka air laut secara periodik akibat gaya tarik antar benda langit yaitu bumi, bulan dan matahari. Pengetahuan mengenai pasang surut penting dilakukan karena setiap wilayah memiliki karakteristik masing-masing dan berpengaruh terhadap aktivitas masyarakat wilayah pesisir seperti pelayaran, tambak garam dan penangkapan ikan. Kabupaten Tuban merupakan salah satu kabupaten di Jawa Timur dimana lima wilayahnya yang berbatasan langsung dengan laut Jawa, yaitu kecamatan Bancar, Tambakboyo, Jenu, Tuban dan Palang. Kelima kecamatan tersebut merupakan tempat aktivitas yang berkaitan dengan pelayaran dan navigasi serta pelabuhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pasang surut air laut di perairan Tuban, Jawa Timur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Least Square* atau Kuadrat Terkecil. Data pasang surut yang digunakan yaitu data pada bulan Januari 2021 yang mewakili data musim penghujan (angin muson barat) dan data bulan Agustus 2021 yang mewakili data musim kemarau (angin muson timur) yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan interval satu jam. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa tipe pasang surut wilayah perairan Tuban yaitu Diurnal atau Harian Tunggal dengan bilangan Formzahl sebesar 5.65 dan 10.25. Pada musim barat, pasang tertinggi terjadi pada awal dan pertengahan bulan. Sedangkan surut terendah terjadi di sekitar tanggal 7-9 dan 21-25 Januari 2021. Sedangkan pada musim timur, pasang tertinggi terjadi pada 7-13 dan 19-25 Agustus 2021 dan surut terendah terjadi pada 15-17 Agustus 2021. Komponen harmonik cenderung lebih besar pada komponen pembentuk pasang surut Diurnal yaitu K1, O1, dan P1.

**Kata kunci:** Metode *Least Square*, Pasang Surut, Komponen Harmonik, Muson Barat, Muson Timur, Kabupaten Tuban

### PENDAHULUAN

Pasang surut merupakan fenomena naik turunnya muka air laut secara periodik akibat gaya tarik antar benda langit yaitu bumi, bulan dan matahari (Ongkosongo, 1989; Prayogo, 2021b). Gaya pembangkit pasang surut adalah resultan dari gaya sentrifugal dan gaya gravitasi benda-benda luar angkasa seperti bulan dan matahari (Azis, 2006). Gaya sentrifugal tercipta akibat revolusi bulan mengelilingi bumi yang arahnya menjauhi bulan serta setiap titik di permukaan bumi besarnya sama. Pengetahuan mengenai pasang surut penting dilakukan karena setiap wilayah memiliki karakteristik masing-masing dan berpengaruh terhadap aktivitas masyarakat wilayah tersebut seperti pelayaran, tambak garam dan penangkapan ikan (Prayogo, 2021a).

Kabupaten Tuban merupakan salah satu kabupaten di Jawa Timur yang berada di titik Koordinat antara 6.40' – 7.14' Lintang Selatan (LS) serta antara 111.30' – 112.35 Bujur Timur (BT) (Tuban Regency Government, 2018). Secara administrasi kabupaten ini terdiri dari 20 kecamatan dimana lima wilayah yang berbatasan langsung dengan laut Jawa, yaitu kecamatan Bancar, Tambakboyo,

Jenu, Tuban dan Palang. Kelima kecamatan tersebut merupakan tempat aktivitas yang berkaitan dengan pelayaran dan navigasi serta pelabuhan. Selain itu terdapat tambak garam yang cukup luas salah satunya di kecamatan Palang, sehingga informasi mengenai pasang surut menjadi penting dimana petani garam dapat memasukkan air ke dalam tambak saat air pasang.

Penelitian mengenai pasang surut pernah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Penelitian Atmodjo & Pranowo (2019) menghasilkan bilangan formzahl pada perairan Teluk Jakarta dengan menggunakan metode Admiralty berkisar antara 2.67 hingga 3.69. Sedangkan metode *Least Square* berkisar antara 3.78 hingga 4.65 sehingga mempunyai variasi tipe pasang surut yaitu Campuran Cenderung Tunggal dan Tunggal. Selanjutnya penelitian Prayogo (2021a) menunjukkan tipe pasang surut yang dihasilkan dari metode Admiralty dan *Least Square* di Pulau Mandangin Kabupaten Sampang, Jawa Timur bertipe Campuran dengan kecenderungan Semidiurnal. Penggunaan metode Admiralty dan *Least Square* menghasilkan selisih nilai Amplitudo pada Komponen Harmonik yang tidak jauh berbeda.

Ichsari dkk (2020) melakukan penelitian dengan membandingkan hasil pengolahan pasang surut pada stasiun Malahayati yang diolah dengan metode Admiralty, *Least Square* dan *Fast Fourier Transform*. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa hasil dari ketiga metode berbeda, tetapi nilai yang dihasilkan cenderung tidak jauh berbeda. Perbedaan nilai Formzahl yaitu kurang dari 0.02 sedangkan perbedaan nilai Amplitudo masing-masing komponen pasang surut kurang dari 0.1 meter. Ketiga metode memberikan hasil tipe pasang surut pada stasiun Malahayati yaitu tipe pasang surut Harian Ganda. Lang et al. (2022) menggunakan metode dua metode yaitu Metode Kuadrat Terkecil dan Metode Admiralty di Pelabuhan Perikanan Pantai Tumumpa menghasilkan tipe pasang surut Campuran Condong Harian Ganda. Berdasarkan nilai *Root-Mean-Square Error* (RMSE) metode Kuadrat Terkecil lebih efektif digunakan untuk melakukan prediksi pasang surut dibandingkan dengan metode Admiralty.

Khairunnisa dkk (2021) melakukan penelitian di Perairan Bintang Bagian Timur menggunakan metode Admiralty. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa Perairan Bintang Bagian Timur memiliki tipe pasang surut yang diklasifikasikan sebagai pasang surut campuran condong harian ganda dengan rata-rata nilai bilangan Formzahl sebesar 0.74 ( $St.Dev \pm 0,03$ ). Jannah & Iskandar (2022) telah melakukan penelitian di Perairan Pulau Pari yang menghasilkan informasi tipe pasang surut harian tunggal (Diurnal) menggunakan program U\_Tide. Bilangan Formzahl yang dihasilkan dari penelitian tersebut sebesar 4,69. Fitriana et al. (2022) melakukan penelitian pasang surut di Surabaya menggunakan data tahun 2015-2020 menggunakan software Geomax Geotide 3.0.23 dan metode *Least Square*. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa tipe pasang surut Stasiun Surabaya adalah campuran condong ke harian ganda. Nilai bilangan Formzahl yang dihasilkan rata-rata sebesar 1,153.

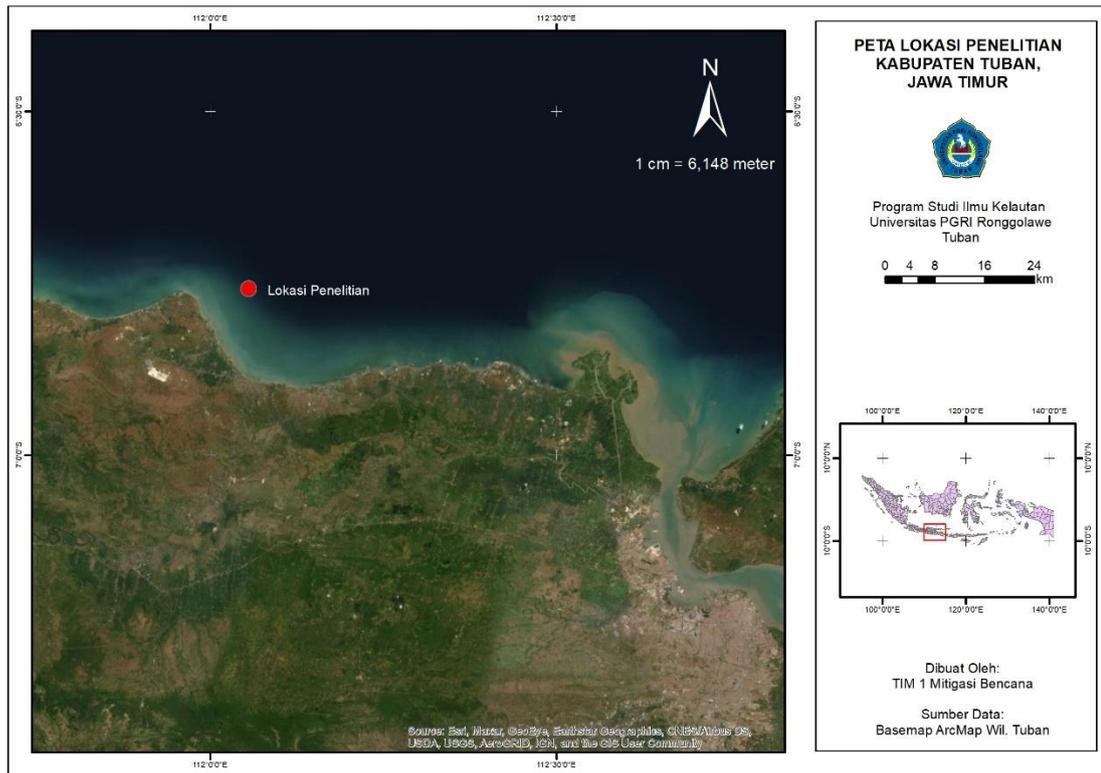
Penelitian pasang surut juga dilakukan oleh Rompas et al. (2022) di Pantai Mahembang dengan metode Admiralty. Dari penelitian tersebut diperoleh informasi bahwa tipe pasang surut Pantai Mahembang adalah harian ganda dengan Elevasi muka air laut tinggi tertinggi sebesar 360cm (+170 cm dari MSL) dan elevasi muka air laut rendah terendah sebesar 50cm (-140 cm dari MSL). Ryanto et al. (2022) melakukan penelitian pasang surut di Pesisir Pantai Pancer, Kecamatan Puger, Kabupaten Jember menggunakan metode Admiralty. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa tipe pasang surut campuran condong harian ganda dengan nilai Formzahl 0,3. Informasi lain yang diketahui bahwa nilai LLWL sebesar 9 cm, HHWL sebesar 278 cm dan MSL sebesar 143 cm.

Dari latar belakang yang telah dijelaskan diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pasang surut air laut di perairan Tuban, Jawa Timur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Least Square* atau Kuadrat Terkecil. Informasi yang diperoleh diharapkan dapat bermanfaat untuk masyarakat khususnya yang beraktivitas di wilayah pesisir dan laut.

## METODE

### Lokasi Penelitian dan Data

Penelitian ini berlokasi di Kabupaten Tuban, Jawa Timur tepatnya di pesisir Utara dengan letak geografis  $6^{\circ}45'54.48''S$  dan  $112^{\circ}4'25.42''E$ . Data pasang surut yang digunakan yaitu data pada bulan Januari 2021 yang merupakan data musim penghujan (angin muson barat) dan data bulan Agustus 2021 yang merupakan data musim kemarau (angin muson timur) yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data yang digunakan memiliki interval satu jam. Gambar 1 merupakan peta lokasi penelitian di perairan sebelah Utara Kabupaten Tuban, Jawa Timur.



**Gambar 1.** Peta lokasi penelitian di perairan sebelah Utara Kabupaten Tuban, Jawa Timur

### Pasang Surut

Pasang surut merupakan fenomena naik turunnya muka air laut karena gaya gravitasi antara benda-benda langit (Ongkosongo, 1989; Prayogo & Hanif, 2022). Karena terjadi secara periodik, maka fenomena ini dapat diprediksi dan dihitung. Nilai amplitudo dan komponen harmonik penting diketahui karena untuk menentukan tipe pasang surut dari persamaan Formzahl (Persamaan 1) (Prayogo & Suspidayanti, 2021; Triatmodjo, 2009):

$$F = \frac{(O1 + K1)}{(M2 + S2)} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- F = Bilangan Formzahl
- M2 = Konstanta yang dipengaruhi posisi bulan
- S2 = Konstanta yang dipengaruhi posisi matahari
- O1 = Konstanta yang dipengaruhi deklinasi bulan
- K1 = Konstanta yang dipengaruhi deklinasi bulan dan matahari

Dimana:

- (a)  $F \leq 0.25$  dengan tipe Semidiurnal,
- (b)  $0.25 < F \leq 1.5$  dengan tipe Campuran, cenderung Semi-Diurnal,
- (c)  $1.50 < F \leq 3.0$  dengan tipe Campuran, cenderung ke Diurnal, dan
- (d)  $F > 3.0$  dengan tipe Diurnal.

### Metode *Least Square*

Metode *Least Square* merupakan salah satu metode pengolahan data pasang surut populer yang digunakan untuk analisis pasang surut air laut. Pariwono (1989) menyatakan bahwa metode ini efektif digunakan untuk menghitung pasang surut karena menghasilkan sembilan komponen beserta elevasinya. Hal tersebut berguna untuk mengetahui seberapa besar perbedaan dari nilai komponen dan perbedaan tipe pasang surut. Persamaan metode *Least Square* yaitu sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 2 (Ongkosongo, 1989).

$$\eta(t) = S0 + \sum_{i=1}^N A_i \cos(\omega_i t - P_i) \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- $\eta(t)$  = Elevasi pasang surut (fungsi waktu)
- $\omega_i$  =  $\frac{2\pi}{T_i}$ ,  $T_i$  merupakan periode komponen
- $P_i$  = Fase ke-i
- $S0$  = *Mean Sea Level*
- $T$  = waktu
- $N$  = Jumlah Komponen
- $A_i$  = Amplitudo ke-i

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tipe Pasang Surut

Perhitungan pasang surut di perairan Tuban menggunakan metode *Least Square* menunjukkan bahwa pada bulan Januari dan Agustus 2021 baik pada musim penghujan dan kemarau menghasilkan bilangan Formzahl secara berturut-turut sebesar 5.65 dan 10.25. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tipe pasang surut yang dihasilkan dari perhitungan yaitu bertipe Diurnal atau biasa di sebut pasang surut harian tunggal ( $F > 3$ ). Tabel 1 menunjukkan hasil bilangan Formzahl yang diperoleh menggunakan metode *Least Square* di perairan Tuban, Jawa Timur.

**Tabel 1.** Hasil bilangan Formzahl

Bulan	Musim	Bilangan Formzahl	Tipe Pasang Surut
Januari	Penghujan	5.65	Diurnal
Agustus	Kemarau	10.25	Diurnal

**Nilai Phase dan Amplitudo Komponen Harmonik**

Perhitungan komponen harmonik dalam penelitian ini terdiri dari *Main lunar constituent* (M4), *Average water level* (Z0), *Soli-lunar constituent* (K1), *Main lunar constituent* (O1), *Main solar constituent* (P1), *Main lunar constituent* (M2), *Main solar constituent* (S2), *Lunar constituent* (N2), *Soli-lunar constituent* (K2) dan *Soli-lunar constituent* (MS4) yang sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

**Tabel 2.** Nilai Phase dan Amplitudo pasang surut bulan Januari 2021

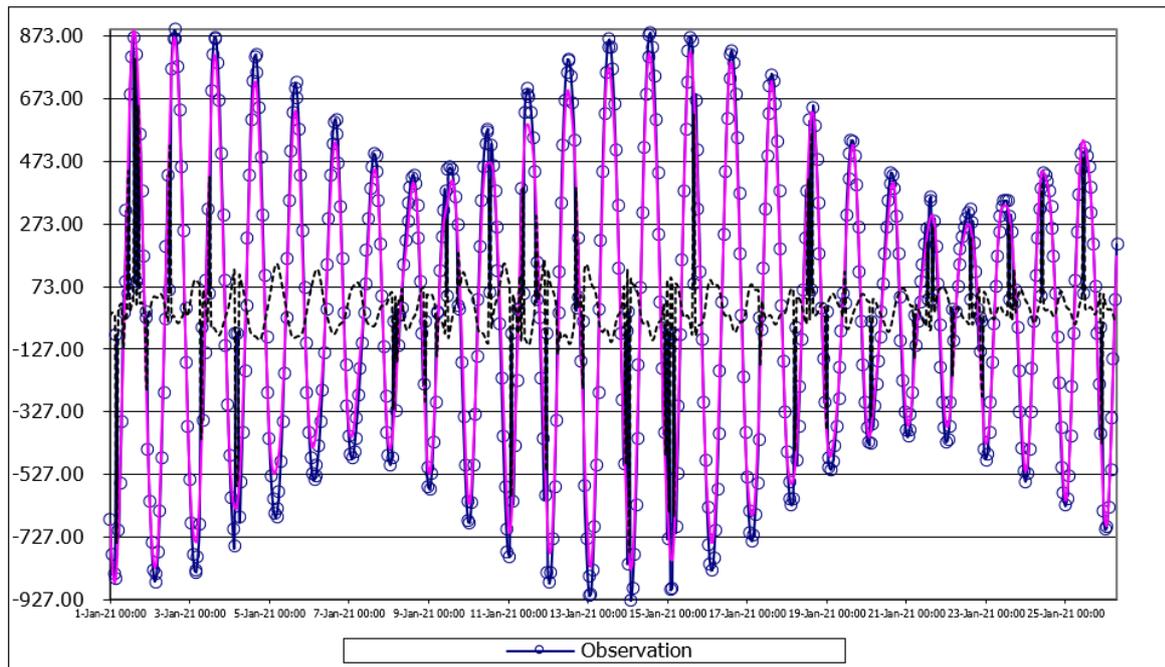
<i>Constituents</i>	<i>Symbol</i>	<i>Description</i>	<i>Period (hour)</i>	$g^\circ$	<i>H=Amplitude (m)</i>
				<i>phase</i>	
<i>Average water level</i>	Z <sub>0</sub>		-		4.8596
<i>Main lunar constituent</i>	M <sub>2</sub>	semi diurnal	12.4206	327.8889°	51.1651
<i>Main solar constituent</i>	S <sub>2</sub>		12.0000	150.4386°	76.2258
<i>Lunar constituent, due to Earth-Moon distance</i>	N <sub>2</sub>		12.6582	111.4348°	19.0726
<i>Soli-lunar constituent, due to the change of declination</i>	K <sub>2</sub>		11.9673	308.0662°	42.4439
<i>Soli-lunar constituent</i>	K <sub>1</sub>	diurnal	23.9346	143.7109°	497.0911
<i>Main lunar constituent</i>	O <sub>1</sub>		25.8194	127.0500°	223.0517
<i>Main solar constituent</i>	P <sub>1</sub>		24.0658	92.6056°	224.2270
<i>Main lunar constituent</i>	M <sub>4</sub>	quarterly	6.2103	232.7578°	12.8154
<i>Soli-lunar constituent</i>	MS <sub>4</sub>		6.1033	289.1803°	6.7342

**Tabel 3.** Nilai Phase dan Amplitudo pasang surut bulan Agustus 2021

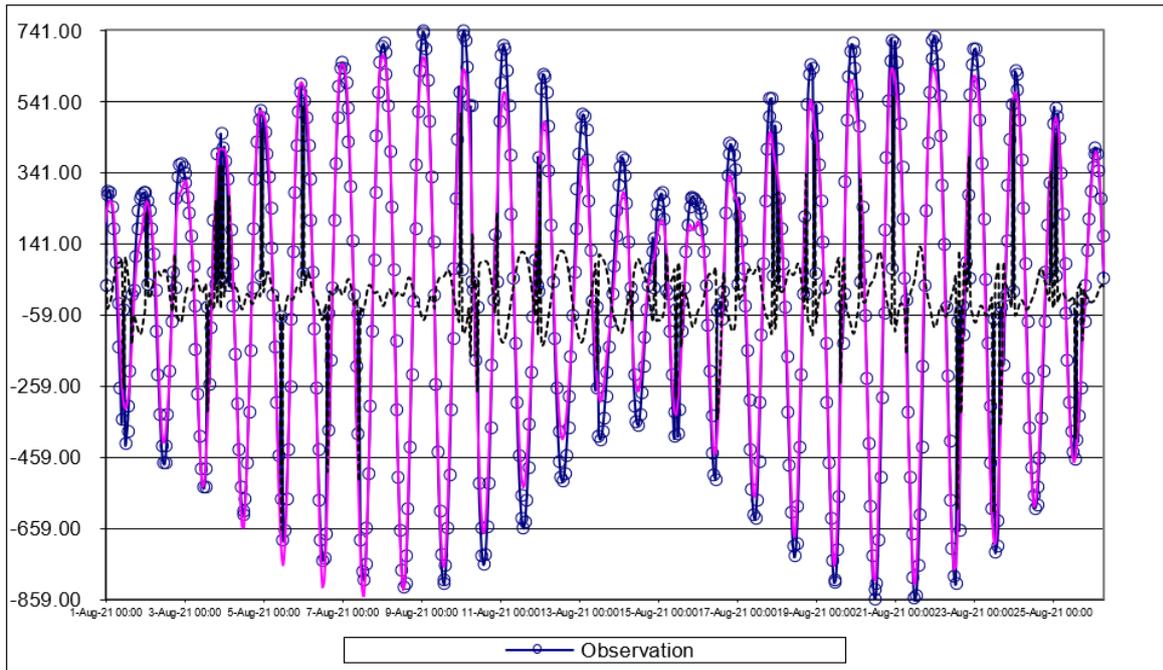
<i>Constituents</i>	<i>Symbol</i>	<i>Description</i>	<i>Period (hour)</i>	$g^\circ$	<i>H=Amplitude (m)</i>
				<i>phase</i>	
<i>Average water level</i>	Z <sub>0</sub>		-		-2.7703
<i>Main lunar constituent</i>	M <sub>2</sub>	semi diurnal	12.4 206	228.8004°	40.0055
<i>Main solar constituent</i>	S <sub>2</sub>		12.0 000	219.5246°	37.8374
<i>Lunar constituent, due to Earth-Moon distance</i>	N <sub>2</sub>		12.6 582	51.0195°	7.7545

<i>Soli-lunar constituent, due to the change of declination</i>	$K_2$		11.9 673	99.4073°	53.4206
<i>Soli-lunar constituent</i>	$K_1$	diurnal	23.9 346	334.7469°	543.7815
<i>Main lunar constituent</i>	$O_1$		25.8 194	150.7309°	253.8315
<i>Main solar constituent</i>	$P_1$		24.0 658	230.6701°	99.8195
<i>Main lunar constituent</i>	$M_4$	quarterly	6.21 03	350.8022°	7.3508
<i>Soli-lunar constituent</i>	$MS_4$		6.10 33	262.6940°	9.7827

Dari perhitungan data bulan Januari dan Agustus 2021 menunjukkan nilai Phase dan Amplitudo yang berbeda-beda. Pada kedua tabel menunjukkan bahwa nilai amplitudo komponen harmonik cenderung lebih besar pada komponen pembentuk pasang surut Diurnal yaitu  $K_1$ ,  $O_1$ , dan  $P_1$ . Hal ini sesuai bahwa tipe pasang surut wilayah perairan Tuban, Jawa Timur pada musim peralihan Barat Timur adalah harian tunggal. Analisis dilanjutkan dengan melihat grafik fluktuasi pasang surut pada kedua bulan (Gambar 2 dan 3).



Gambar 2. Grafik fluktuasi pasang surut bulan Januari 2021



**Gambar 3.** Grafik fluktuasi pasang surut bulan Agustus 2021

Pada Gambar 2, Grafik fluktuasi pasang surut bulan Januari yang mewakili musim penghujan menunjukkan pasang tertinggi terjadi pada awal dan pertengahan bulan. Sedangkan surut terendah terjadi disekitar tanggal 7-9 dan 21-25 Januari 2021. Sedangkan pada musim kemarau pada bulan Agustus (Gambar 3) pasang tertinggi terjadi pada 7-13 dan 19-25 Agustus 2021 dan surut terendah terjadi pada 15-17 Agustus 2021.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada lokasi penelitian tipe pasang surut wilayah perairan Tuban, Jawa Timur yaitu Diurnal atau Harian Tunggal dengan bilangan Formzahl sebesar 5.65 dan 10.25. Pada musim Barat, pasang tertinggi terjadi pada awal dan pertengahan bulan. Sedangkan surut terendah terjadi di sekitar tanggal 7-9 dan 21-25 Januari 2021. Pada musim Timur, pasang tertinggi terjadi pada 7-13 dan 19-25 Agustus 2021 dan surut terendah terjadi pada 15-17 Agustus 2021. Komponen harmonik cenderung lebih besar pada komponen pembentuk pasang surut Diurnal yaitu  $K_1$ ,  $O_1$ , dan  $P_1$ . Hal ini sesuai bahwa tipe pasang surut wilayah perairan Tuban, Jawa Timur pada musim peralihan Barat Timur adalah harian tunggal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah menyediakan data pasang surut sehingga dapat digunakan dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atmodjo, W., & Pranowo, W. S. (2019). Karakteristik Pasang Surut di Teluk Jakarta Berdasarkan Data 253 Bulan. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(1), 25–36.
- Azis, M. F. (2006). Gerak air di laut. *Oseana*, 31(4), 9–21.

- Fitriana, D., Patria, M. P., & Kusratmoko, E. (2022). Karakteristik Pasang Surut Surabaya Diamati Selama 5 Tahun (2015-2020). *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 5(1), 1–7.
- 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), 17–24.
- Jannah, M., & Iskandar, I. (2022). *Pola Pasang Surut Di Perairan Pulau Pari Dan Kemungkinan Pengaruhnya Terhadap Sebaran Salinitas Dan Subu Air Laut*. Sriwijaya University.
- Khairunnisa, K., Apdillah, D., & Putra, R. D. (2021). Karakteristik Pasang Surut Di Perairan Pulau Bintang Bagian Timur Menggunakan Metode Admiralty. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 14(1), 58–69.
- Lang, A. E. F., Kalangi, P. N. I., Dien, H. V., Masengi, K. W. A., Pamikiran, R. D. C., & Kaparang, F. E. (2022). Comparison of Tidal Analysis Results at Tumumpa Coastal Fishing Port Using Least Squares Method and Admiralty Method. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 10(1), 77–84.
- Ongkosongo. (1989). *Pasang Surut* (Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi (ed.)). Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. 257 hal.
- Pariwono. (1989). *Gaya Penggerak Pasang Surut* (P. O. dan Suyarso (ed.)). Puslitbang Oseanologi LIPI.
- Prayogo, L. M. (2021a). Comparison of Admiralty and Least Square Methods for Tidal Analysis in Mandangin Island, Sampang Regency, East Java. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 10(2), 59–69.
- Prayogo, L. M. (2021b). Metode Kuadrat Terkecil untuk Analisis Konstanta Harmonik Pasang Surut Air Laut di Pulau Gili Raja, Kabupaten Sumenep, Madura. *Pena Akuatika: Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 20(1), 72–79.
- Prayogo, L. M., & Hanif, M. (2022). Investigation of the Tidal Character in Bawean Island East Java Using Admiralty Method. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 27(1), 1–5. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31258/jpk.27.1.1-5>.
- Prayogo, L. M., & Suspidayanti, L. (2021). Study of Tidal Characteristics in The South and North Coastal of Sumenep Regency, Madura. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 10(2), 30–44.
- Rompas, N. F., Jasin, M. I., & Tawas, H. J. (2022). Analisis Pasang Surut Di Pantai Mahembang Kecamatan Kakas Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 10(1).
- Ryanto, N. A., Wiyono, R. U. A., & Hidayah, E. (2022). Studi Peramalan Pasang Surut di Pesisir Pantai Pancer Kecamatan Puger, Kabupaten Jember. *Maspari Journal: Marine Science Research*, 14(1), 1–13.
- Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Beta Offset. 490 hal.
- Taban Regency Government. (2018). *Taban Profile*. <https://tubankab.go.id/page/profil-tuban>