

Karakteristik Pasang Surut Perairan Bali dan Lombok

Bachtiar W. Mutaqin^{1,2*} dan Arum Puspitorukmi¹

¹Coastal and Watershed Research Group, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Sekip Utara, Bulaksumur 55281 Yogyakarta, Indonesia

²Guangxi Key Laboratory of Hidden Metallic Ore Deposits Exploration, College of Earth Sciences,
Guilin University of Technology
Guilin 541004, China
Email: mutaqin@ugm.ac.id

Abstrak

Wilayah kepebisiran Bali dan Lombok merepresentasikan interaksi antara potensi ekonomi berbasis kelautan, seperti pariwisata dan perikanan, dengan tingginya *eksposur* terhadap risiko bencana. Salah satu parameter hidro-oseanografi yang sangat penting dalam dinamika kepebisiran dan dapat memengaruhi kondisi lingkungan kepebisiran adalah pasang surut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi karakteristik pasang surut di perairan Bali dan Lombok, mulai 19 Januari 2024 hingga 16 Februari 2024. Data pasang surut dikumpulkan dari tiga stasiun pasang surut di Pulau Bali (Celukan Bawang, Jembrana, dan Benoa) dan empat stasiun pasang surut di Pulau Lombok (Pemenang, Lembar, Teluk Awang, dan Tanjung Luar) dengan interval pengukuran setiap satu jam. Data tersebut mencakup satu siklus sinodik bulan penuh untuk memastikan keterwakilan fenomena pasang surut purnama dan perbani. Data dari masing-masing stasiun tersebut kemudian diproses menggunakan metode Admiralty dengan penyelarasan datum vertikal pada Mean Sea Level untuk menghitung nilai elevasi penting muka air laut, amplitudo konstanta harmonik pasang surut, nilai Formzahl, dan julat pasang surut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tipe pasang surut di perairan Bali dan Lombok Timur adalah tipe campuran condong harian ganda ($F = 0,31-1,23$), sedangkan di Lombok Barat adalah tipe campuran condong harian tunggal ($F = 1,51-2,19$). Perairan Bali dan Lombok termasuk dalam kategori pasang surut meso dengan rentang pasang surut antara 247,1–374,0 cm. Secara teoretis, karakter *meso-tidal* ini mengindikasikan potensi pantai reflektif saat pasang (*high-tide reflective*) dan pantai intermediate-disipatif ketika surut (*low-tide intermediate-dissipative*). Hasil penelitian ini memberikan basis data penting bagi penentuan jendela operasional nelayan, akurasi desain rekayasa pelabuhan untuk mitigasi banjir pasang, serta penjaminan keselamatan navigasi pada alur pelayaran dengan kedalaman terbatas.

Kata Kunci: tipe pasang surut, Admiralty, Formzahl, julat pasang surut, Bali, Lombok

Abstract

Tidal Characteristics of Bali and Lombok Waters

The coastal areas of Bali and Lombok represent the interaction between marine-based economic potential, such as tourism and fisheries, and high exposure to disaster risk. A critical hydro-oceanographic parameter in coastal dynamics that significantly influences environmental conditions is the tide. This study aims to identify the tidal characteristics in the waters of Bali and Lombok. Tidal data were collected from January 19, 2024, to February 16, 2024, from 3 tidal stations on Bali (Celukan Bawang, Jembrana, Benoa) and 4 tidal stations on Lombok (Pemenang, Lembar, Teluk Awang, Tanjung Luar) with hourly measurement intervals. The data include a full synodic lunar cycle to make sure that spring and neap tide events are well represented. Data from each station were processed using the Admiralty method, with vertical datum alignment to the Mean Sea Level, to determine the tidal harmonic constants' amplitude, Formzahl values, significant sea level elevation values, and tidal range. The study's results show that the type of tide in Bali and the Eastern Lombok waters is a mixed type prevailing semidiurnal ($F = 0.31-1.23$), whereas in the Western Lombok it is a mixed type prevailing diurnal ($F = 1.51-2.19$). Bali and Lombok's waters fall into the meso-tide category, with a tidal range of 247.1 to 374.0 cm. Theoretically, this meso-tidal character indicates the potential for high-tide reflective beaches and low-tide intermediate-dissipative beaches. These findings provide a crucial database

*Corresponding author

DOI:10.14710/buloma.v15i2.72399

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma>

Diterima/Received : 12-04-2025

Disetujui/Accepted : 20-03-2026

for determining fishing operational windows, ensuring port engineering accuracy for tidal flood mitigation, and enhancing navigation safety in restricted shipping channels.

Keywords: *tidal types, Admiralty, Formzahl, tidal range, Bali, Lombok*

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan dengan sumber daya alam laut yang melimpah dan bentang alam yang sangat unik (Riggs *et al.*, 2021; Alwi dan Mutaqin, 2022; Amaruzaman *et al.*, 2022; Isnain dan Mutaqin, 2023; Alwi *et al.*, 2023; Widantara dan Mutaqin, 2024). Negara kepulauan dengan panjang garis pantai lebih dari 90.000 km (Pushidrosal, 2018; BIG, 2021; BPS, 2021) tentu saja membutuhkan informasi detail terkait parameter hidro-oseanografi (Mutaqin dan Ningsih, 2023). Informasi tersebut dapat digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk pengelolaan sumber daya laut dan pesisir, mitigasi bencana kepebisiran, maupun perencanaan wilayah kepebisiran (Hamuna *et al.*, 2018; Fitriana *et al.*, 2019; Adalya dan Mutaqin, 2022; Isnain dan Mutaqin, 2023; Ningsih dan Mutaqin, 2024; Wahid dan Mutaqin, 2024; Widantara dan Mutaqin, 2024).

Salah satu parameter hidro-oseanografi yang perlu dipelajari secara detail adalah pasang surut (Pamungkas, 2018; Hamuna *et al.*, 2018; Fitriana *et al.*, 2019; Mutaqin dan Ningsih, 2023; Ningsih dan Mutaqin, 2024; Wahid dan Mutaqin, 2024; Widantara dan Mutaqin, 2024). Pasang surut adalah fenomena naik turun permukaan laut yang berulang dan disebabkan oleh gaya gravitasi dan tarik menarik benda langit, seperti bumi, bulan, dan matahari (Finkl dan Makowski, 2019; Mutaqin dan Ningsih, 2023). Karakteristik pasang surut di Indonesia sangat bervariasi antara suatu daerah dengan daerah lainnya (Pamungkas, 2018; Hamuna *et al.*, 2018; Fitriana *et al.*, 2019; Mutaqin dan Ningsih, 2023; Wahid dan Mutaqin, 2024; Ningsih dan Mutaqin, 2024; Widantara dan Mutaqin, 2024). Selain itu, sebagai akibat dari adanya perbedaan topografi dasar laut, sistem monsun, dinamika morfologi garis pantai, dan interaksi antara gelombang pasang surut dari Samudra Hindia, Laut Cina Selatan, dan Samudra Pasifik, maka sistem pasang surut Indonesia dapat dikategorikan sebagai suatu sistem yang sangat kompleks (Wei *et al.*, 2016; Mutaqin dan Ningsih, 2023).

Pasang surut merupakan salah satu komponen penting dari dinamika perairan di

Indonesia yang dapat memengaruhi area kepebisiran (Pamungkas, 2018; Wei *et al.*, 2016; Finkl dan Makowski, 2019; Mutaqin dan Ningsih, 2023; Ningsih dan Mutaqin, 2024; Wahid dan Mutaqin, 2024; Widantara dan Mutaqin, 2024). Di sisi lain, wilayah kepebisiran merupakan kawasan penting bagi kehidupan dan penghidupan manusia dan makhluk hidup lainnya, termasuk di kepebisiran Bali dan Lombok (Mutaqin *et al.*, 2019; Mutaqin, 2020; Hadmoko *et al.*, 2021; Lazuardi *et al.*, 2021; Marfai *et al.*, 2020; Windayati *et al.*, 2022; Marfai *et al.*, 2022; Widantara dan Mutaqin, 2024). Oleh karena itu, salah satu wilayah yang perlu dilakukan analisis karakteristik pasang surut secara mendalam adalah perairan Bali dan Lombok. Hal tersebut disebabkan karena Bali dan Lombok sudah dikenal dengan berbagai macam potensi sumberdaya perikanan, pariwisata pantai, hingga potensi bencana (Mutaqin *et al.*, 2019; Mutaqin, 2020; Hadmoko *et al.*, 2021; Lazuardi *et al.*, 2021; Marfai *et al.*, 2020; Windayati *et al.*, 2022; Marfai *et al.*, 2022; Widantara dan Mutaqin, 2024).

Hingga saat ini, di Pulau Bali dan Lombok setidaknya ada 11 pelabuhan perikanan maupun pangkalan pendaratan ikan, yaitu Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN) Pengambangan, PPN Teluk Awang, Pelabuhan Perikanan Labuhan Lombok, Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Kedonganan, PPI Sangsit, PPI Tanjung Benoa, PPI Serangan, PPI Yeh Sumbul, PPI Amed, PPI Kusamba, dan PPI Tanjung Luar (Gambar 1). Pemahaman mendalam mengenai fluktuasi pasang surut di lokasi-lokasi tersebut sangat krusial karena menentukan jendela waktu operasional kapal nelayan saat bersandar, akurasi desain infrastruktur dermaga agar terhindar dari risiko banjir pasang atau rob, serta menjamin keselamatan navigasi pada alur pelayaran yang memiliki kedalaman terbatas. Keberadaan data dan informasi karakteristik pasang surut yang memadai akan membantu pemerintah dan masyarakat dalam perencanaan dan pengembangan wilayah kepebisiran (Syahputra dan Nugraha, 2016; Hamuna *et al.*, 2018; Fitriana *et al.*, 2019; Mutaqin dan Ningsih, 2023; Wahid dan Mutaqin, 2024;

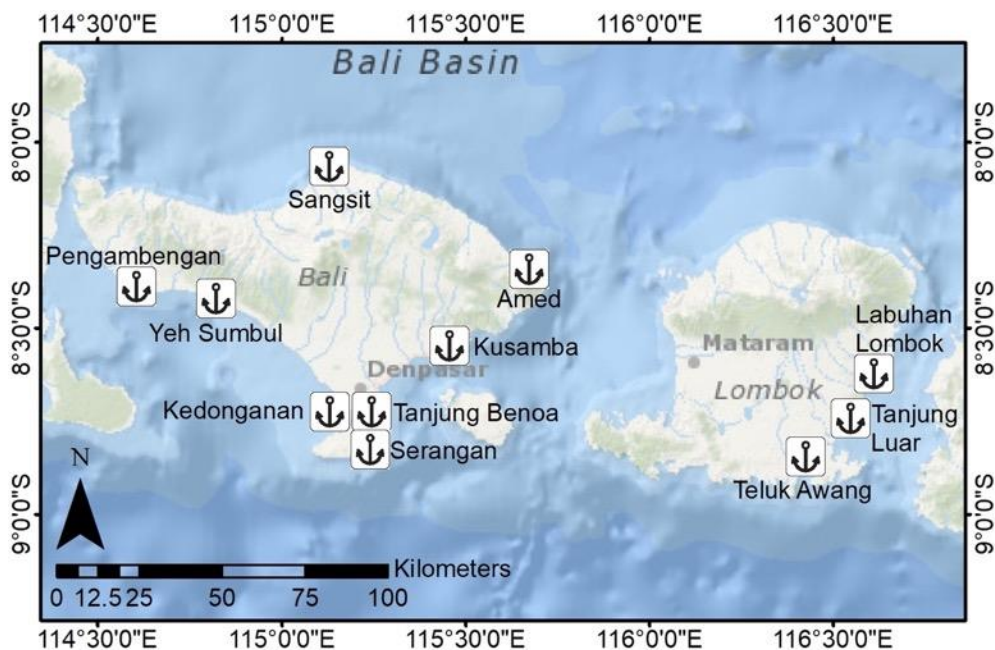
Ningsih dan Mutaqin, 2024; Widantara dan Mutaqin, 2024).

Terkait dengan pengamatan pasang surut, Peraturan Presiden Nomor 93 Tahun 2019, tentang Penguatan dan Pengembangan Sistem Informasi Gempa Bumi dan Peringatan Dini Tsunami, menyebutkan bahwa salah satu tanggung jawab Badan Informasi Geospasial (BIG) adalah melakukan pengoperasian dan pembangunan alat-alat observasi gempa bumi dan/atau tsunami, termasuk melakukan perawatan peralatan tersebut. Peralatan yang dimaksud adalah Sistem Pemosisian Global Berkelanjutan atau Stasiun Referensi Observasi Berkelanjutan (CORS) serta Stasiun Pengamatan Pasang Surut (*Tide Gauge*) (Pemerintah Indonesia, 2019).

Stasiun pasang surut *real time* yang dimiliki BIG, termasuk yang digunakan dalam penelitian ini, adalah sistem peralatan yang secara terus menerus mengawasi dan merekam pergerakan naik turun permukaan air laut dari pusat data daring, yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan secara *real time* dan terus menerus (BIG, 2022). Hingga tahun 2022, setidaknya ada 238 stasiun pasang surut nasional di seluruh Indonesia yang dikelola oleh BIG (BIG, 2022). Fasilitas tersebut tentu saja dapat dimanfaatkan untuk keperluan praktis maupun ilmiah, salah satunya untuk mengetahui karakteristik pasang surut di wilayah tersebut (Mutaqin dan Ningsih, 2023).

Meskipun data stasiun pasang surut telah tersedia secara luas, namun studi komprehensif yang secara khusus membandingkan variasi spasial karakteristik pasang surut di sepanjang perairan Bali dan Lombok, yang dipisahkan oleh Selat Lombok sebagai jalur utama Arus Lintas Indonesia (Arlindo), masih sangat terbatas. Perairan ini memiliki kompleksitas oseanografi tinggi karena pertemuan massa air dari Laut Jawa dan Samudra Hindia, sehingga analisis perbandingan antara kedua wilayah ini diperlukan untuk mengidentifikasi apakah keduanya merepresentasikan satu sistem pasang surut regional yang seragam atau memiliki divergensi karakter akibat pengaruh batimetri serta arus lokal yang spesifik.

Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik pasang surut di perairan Bali dan Lombok, yaitu tipe dan julat pasang surut. Informasi karakteristik pasang surut di lokasi kajian dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk membantu dalam kegiatan rekayasa pelabuhan, navigasi perairan, mitigasi bencana, maupun perencanaan dan pengelolaan wilayah kepesisiran (Syahputra dan Nugraha, 2016; Hamuna *et al.*, 2018; Fitriana *et al.*, 2019; BIG, 2022; Mutaqin dan Ningsih, 2023; Wahid dan Mutaqin, 2024; Widantara dan Mutaqin, 2024; Ningsih dan Mutaqin, 2024).



Gambar 1. Sebaran pelabuhan perikanan dan pangkalan pendaratan ikan di Bali dan Lombok

MATERI DAN METODE

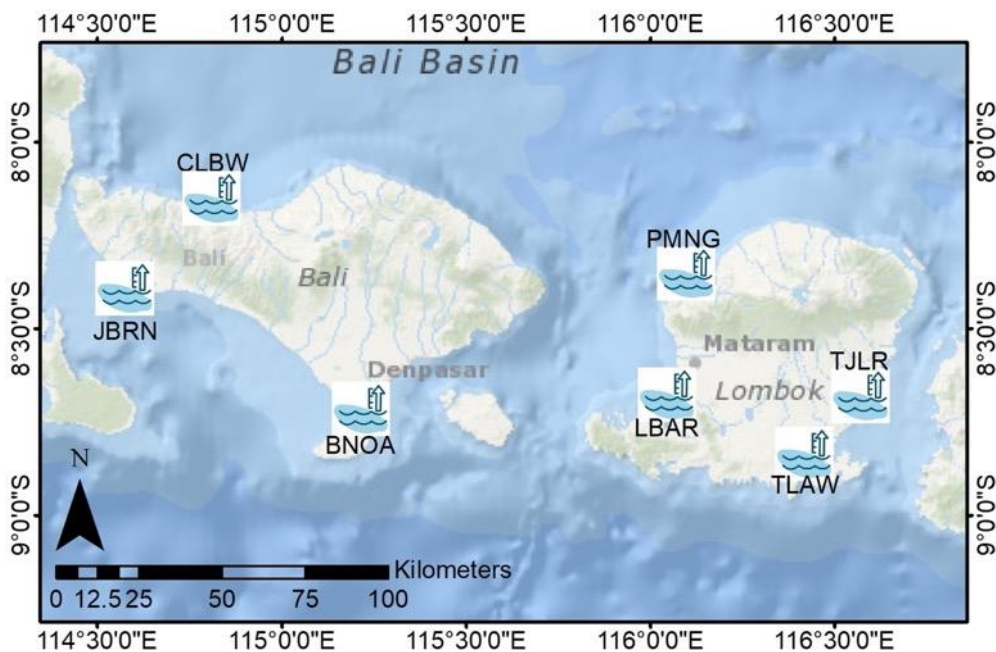
Penelitian ini dilakukan di perairan Bali dan Lombok dan termasuk dalam penelitian kuantitatif untuk mengetahui karakteristik pasang surut di perairan Bali dan Lombok. Data pengukuran pasang surut diperoleh melalui tujuh stasiun pasang surut yang dikelola oleh BIG dan tersedia secara daring pada situs <https://srgi.big.go.id/tides>, yaitu stasiun Celukan Bawang (CLBW), Jembrana (JBRN), Benoa (BNOA), Pemenang (PMNG), Lembar (LBAR), Teluk Awang (TLAW), dan Tanjung Luar (TJLR) (Gambar 2 dan Tabel 1).

Perangkat lunak Microsoft Excel digunakan dalam penelitian ini sebagai alat bantu komputasi untuk menyusun algoritma perhitungan berdasarkan skema Admiralty secara terstruktur. Alat tersebut digunakan untuk mencatat data pasang surut dan melakukan perhitungan

matematis. Perhitungan yang dilakukan meliputi kalkulasi nilai elevasi penting muka air laut, nilai Formzahl, dan nilai amplitudo konstanta harmonik pasang surut. Data yang digunakan adalah data perekaman fenomena pasang surut dari BIG. Rentang waktu perekaman data adalah tanggal 19 Januari 2024 hingga 16 Februari 2024 berdasarkan data dari tiga stasiun pasang surut di Bali, yaitu Celukan Bawang, Jembrana, dan Benoa, serta empat stasiun pasang surut di Lombok yang meliputi Pemenang, Lembar, Teluk Awang, dan Tanjung Luar. Pemilihan rentang waktu 29 hari (piantan tunggal) ini dimaksudkan agar analisis dapat mencakup satu siklus sinodik bulan secara penuh, sehingga fenomena pasang surut purnama (*spring tide*) dan pasang surut perbani (*neap tide*) dapat terwakili secara akurat dalam perhitungan konstanta harmonik.

Tabel 1. Informasi stasiun pasang surut yang digunakan dalam penelitian

No.	Nama stasiun	Kode stasiun	Koordinat		Provinsi
			Lintang (LS/S)	Bujur (BT/E)	
1.	Celukan Bawang	CLBW	08° 11 20,97	114° 49 58,08	Bali
2.	Jembrana	JBRN	08° 23 06,32	114° 34 23,88	
3.	Benoa	BNOA	08° 44 47,36	115° 12 35,64	
4.	Pemenang	PMNG	08° 23 32,60	116° 05 56,61	Nusa Tenggara Barat
5.	Lembar	LBAR	08° 43 51,13	116° 04 20,27	
6.	Teluk Awang	TLAW	08° 53 0,996	116° 23 57,98	
7.	Tanjung Luar	TJLR	08° 46 13,58	116° 31 31,79	



Gambar 2. Lokasi stasiun pasang surut yang digunakan dalam penelitian

Data pengukuran pasang surut yang diperoleh adalah data elevasi muka air laut hasil pengukuran selama 29 piantan/hari, sesuai dengan siklus bulan mati-purnama-mati, yaitu dari tanggal 19 Januari 2024 hingga 16 Februari 2024 dengan interval data setiap 1 (satu) jam. Pengambilan data dilakukan tiap 1 jam sekali sehingga data yang diperoleh dari masing-masing stasiun dapat diolah menggunakan metode Admiralty untuk mendapatkan nilai-nilai amplitudo konstanta harmonik pasang surut (Tabel 2) termasuk nilai Formzahl (Courtier, 1938). Secara operasional, metode Admiralty dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis, diawali dengan tabulasi data 24 jam selama 29 hari, kemudian pengalihan data dengan koefisien skema I dan II untuk mendapatkan nilai pengali X dan Y, hingga akhirnya diperoleh 9 komponen konstanta harmonik utama (S2, M2, K2, N2, P1, O1, MS4, M4, dan K1) beserta nilai fase (g) masing-masing.

Perhitungan nilai Formzahl untuk penentuan tipe pasang surut (Tabel 3) didapat dengan membandingkan antara amplitudo (tinggi gelombang) komponen pasang surut ganda utama dengan unsur pasang surut tunggal utama menggunakan Persamaan 1. Persamaan 1 tersebut digunakan berdasarkan rumusan asli yang diperkenalkan oleh Courtier (1938), sehingga klasifikasi tipe pasang surut yang digunakan dalam

penelitian ini sudah selaras dengan standar hidrografi internasional.

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

Keterangan: F = Nilai Formzahl; S2 = Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari; M2 = Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan; K1 = Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh daya tarik bulan dan matahari; O1 = Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan.

Berdasarkan nilai amplitudo konstanta harmonik pasang surut yang didapat sebelumnya, yang dilakukan berikutnya adalah menghitung nilai elevasi penting muka air laut dan juga tunggang/julat/rentang pasang surut untuk masing-masing stasiun. Nilai yang dimaksud tersebut adalah: *Mean Sea Level* – MSL; muka air laut rata-rata, *Mean Low Water Level* – MLWL; muka air rendah rerata, *Mean High Water Level* – MHWL; muka air tinggi rerata, *Lowest Low Water Level* – LLWL; muka air rendah terendah, dan *Highest High Water Level* – HHWL; muka air tinggi tertinggi.

Tabel 2. Nilai amplitudo konstanta harmonik pasang surut

Kode	Faktor yang memengaruhi nilai konstanta harmonik
S2	Posisi matahari
M2	Posisi bulan
K2	Perubahan jarak matahari
N2	Perubahan jarak bulan
P1	Deklinasi matahari
O1	Deklinasi bulan
MS4	Interaksi antara M2 dan S2
M4	Pengaruh ganda M2
K1	Deklinasi matahari dan bulan

Sumber: Glen (2015)

Tabel 3. Nilai Formzahl (F) dan tipe pasang surut

Nilai Formzahl (F)	Tipe pasang surut
$F \leq 0,25$	Ganda (<i>semidiurnal</i>)
$0,25 < F \leq 1,5$	Campuran condong harian ganda (<i>mixed prevailing semidiurnal</i>)
$1,50 < F \leq 3,0$	Campuran condong harian tunggal (<i>mixed tide prevailing diurnal</i>)
$F > 3,0$	Tunggal (<i>diurnal</i>)

Sumber: Courtier (1938)

Perhitungan variabel rentang pasang surut diperoleh dari perbedaan nilai antara nilai surut terendah dan pasang tertinggi yang diperoleh dari perhitungan metode Admiralty berdasarkan data 29 piantan. Nilai surut terendah ditunjukkan oleh *Lowest Astronomical Tide* (LAT), sedangkan pasang tertinggi ditunjukkan oleh *Highest Astronomical Tide* (HAT). Hasil rentang pasang surut dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu mikro (<2 meter), meso (2-4 meter), dan makro (>4 meter), sesuai dengan kriteria klasifikasi julat pasang surut global (Appelquist *et al.*, 2016).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data pasang surut selama 29 piantan/hari pada setiap stasiun pasang surut, diperoleh amplitudo konstanta harmonik yang disajikan pada Tabel 4. Selanjutnya, dengan membandingkan tinggi gelombang (amplitudo) elemen pasang surut ganda utama dengan elemen pasang surut tunggal utama menggunakan rumus pada Persamaan 1 (Courtier, 1938), nilai Formzahl (F) untuk setiap stasiun pengukuran pasang surut juga dapat diperoleh (Tabel 4). Meskipun pengamatan dilakukan dalam rentang satu bulan selama musim barat, durasi 29 hari ini secara saintifik telah memadai dalam prosedur Admiralty untuk mengekstraksi sembilan komponen harmonik utama yang diperlukan dalam penentuan tipe pasang surut, karena telah mencakup satu siklus sinodik bulan secara penuh (Glen, 2015).

Metode Admiralty memiliki dua keuntungan dalam perhitungan: dapat digunakan pada berbagai kondisi perairan dan membutuhkan input rentang waktu pengamatan yang singkat (Glen, 2015; Hoseini dan Soltanpour, 2022; Adalya dan Mutaqin, 2022; Tapilatu *et al.*, 2022; Mutaqin dan Ningsih, 2023). Oleh karena itu, metode Admiralty banyak digunakan dalam penelitian tentang pasang surut.

Berdasarkan nilai Formzahl (F) pada Tabel 4, diperoleh informasi dari tujuh stasiun pasang surut di perairan Bali dan Lombok, nilai Formzahl berkisar antara 0,31 sampai dengan 2,19. Nilai Formzahl terendah terdapat di stasiun Teluk Awang (TLAW) yang terletak di Kabupaten Lombok Tengah, tepatnya di Desa Mertak, Kecamatan Pujut,. Sementara itu, nilai Formzahl tertinggi terdapat di stasiun Lembar (LBAR), yang terletak di Dermaga Pelindo-Lembar, Lombok Barat. Variasi nilai Formzahl yang cukup signifikan di sepanjang wilayah Bali-Lombok ini merepresentasikan kompleksitas interaksi antara gelombang pasang surut Samudra Hindia dengan morfologi pesisir lokal. Perbedaan tipe pasang surut, khususnya nilai yang sangat tinggi di stasiun Lembar (2,19), diduga dipengaruhi oleh konfigurasi batimetri dan bentuk teluk yang menyebabkan resonansi lokal pada komponen tunggal, berbeda dengan stasiun yang lebih terbuka ke arah laut lepas, seperti Teluk Awang, yang didominasi oleh pengaruh sistem pasang surut samudra (Lee dan Chang, 2019).

Tabel 4. Nilai konstanta harmonik pasang surut dan nilai Formzahl (F) pada setiap stasiun pasang surut

Kode stasiun	Konstanta harmonik	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	O ₁	M ₄	MS ₄	K ₂	P ₁	F
CLBW	A (cm)	130,1	34,2	12,9	6,6	36,4	21,7	0,9	0,6	3,0	12,0	1,23
	g (°)	-	71,9	81,8	65,5	167,9	143,1	194,0	233,0	81,8	167,9	
JBRN	A (cm)	71,8	69,1	38,4	13,1	25,2	13,8	1,1	0,9	8,8	8,3	0,36
	g (°)	-	21,7	75,8	351,9	154,5	147,8	297,4	26,0	75,8	154,5	
BNOA	A (cm)	196,7	64,5	37,7	10,9	27,4	15,8	1,0	0,8	8,7	9,1	0,42
	g (°)	-	20,4	75,6	354,2	159,4	149,5	103,1	152,2	75,6	159,4	
PMNG	A (cm)	146,7	25,3	14,9	5,6	38,1	22,5	1,7	0,9	3,4	12,6	1,51
	g (°)	-	61,0	69,8	48,9	169,8	143,9	79,5	237,6	69,8	169,8	
LBAR	A (cm)	724,4	14,7	12,6	1,4	44,8	14,9	6,1	11,4	2,9	14,8	2,19
	g (°)	-	45,7	242,8	194,1	199,6	162,3	97,9	149,7	242,8	199,6	
TLAW	A (cm)	128,6	75,5	42,4	13,3	23,2	13,7	1,0	0,4	9,8	7,7	0,31
	g (°)	-	18,7	76,4	350,6	152,8	150,5	220,4	307,9	76,4	152,8	
TJLR	A (cm)	110,8	63,6	36,4	11,4	26,7	15,1	0,9	1,2	8,4	8,8	0,42
	g (°)	-	23,3	79,7	5,1	154,5	146,6	344,2	21,9	79,7	154,5	

Secara umum dan berdasarkan nilai Formzahl pada Tabel 4, karakteristik pasang surut di perairan Bali dan Lombok merupakan pasang surut campuran. *Mixed prevailing semidiurnal* atau pasang surut campuran condong harian ganda ($0,26 < F < 1,5$) ditemui di stasiun Celukan Bawang (CLBW), Jembrana (JBRN), Benoa (BNOA), Teluk Awang (TLAW), dan Tanjung Luar (TJLR). Tipe ini menandakan terjadinya dua kali surut dan dua kali pasang dalam satu hari, tetapi periode dan tingginya berbeda (Lee dan Chang, 2019; Finkl dan Makowski, 2019; Tapilatu *et al.*, 2022; Mutaqin dan Ningsih, 2023). Sedangkan stasiun Pemenang (PMNG) dan Lembar (LBAR) di Lombok Barat termasuk dalam *mixed prevailing diurnal* atau pasang surut campuran condong harian tunggal ($1,5 < F < 3,0$). Tipe ini mengindikasikan bahwa terdapat satu kali surut dan satu kali pasang dalam 24 jam, tetapi terkadang dan/atau pada sementara waktu, terjadi dua kali surut dan dua kali pasang dengan periode dan tinggi yang berbeda (Lee dan Chang, 2019; Finkl dan Makowski, 2019; Tapilatu *et al.*, 2022; Mutaqin dan Ningsih, 2023). Lebih jelasnya dapat dilihat secara jelas pada Gambar 3.

Penelitian terkait karakteristik pasang surut di perairan Bali termasuk jarang dilakukan. Penelitian yang ada selama ini cenderung fokus di satu tempat, yaitu di Benoa, yang tergolong dalam tipe campuran condong harian ganda. Hasil penelitian di Benoa juga didukung oleh penelitian dari Hikmah *et al.* (2020), Hirmawan *et al.* (2021), serta Widantara dan Mutaqin (2024). Perhitungan nilai Formzahl pada ketiga penelitian tersebut semuanya menunjukkan nilai $0,26 < F < 1,5$; yang artinya termasuk dalam tipe campuran condong harian ganda (Hikmah *et al.*, 2020; Hirmawan *et al.*, 2021; Widantara dan Mutaqin, 2024).

Tipe pasang surut di stasiun Lembar (LBAR) berdasarkan hasil penelitian ini berbeda dengan temuan dari Nugroho *et al.* (2015) dan Susiati *et al.* (2018). Berdasarkan hasil penelitian ini, tipe pasang surut di stasiun Lembar adalah campuran condong harian tunggal karena mempunyai nilai Formzahl sebesar 2,19. Temuan Nugroho *et al.* (2015) dan Susiati *et al.* (2018) masing-masing menyebutkan nilai Formzahl sebesar 1,19 dan 1,35. Hal ini dapat disebabkan karena perbedaan jumlah pengambilan data pasang surut, lokasi pengambilan data, maupun waktu pengambilan data (Glen, 2015; Lee dan Chang, 2019). Penelitian Nugroho *et al.* (2015) hanya mengambil data selama 15 piantan/hari pada bulan Mei (musim peralihan 1), sedangkan penelitian ini

menggunakan data selama 29 piantan/hari pada bulan Januari-Februari (musim barat). Sayangnya, tidak ada informasi detail terkait jumlah piantan/hari maupun waktu pengambilan data pada penelitian Susiati *et al.* (2018).

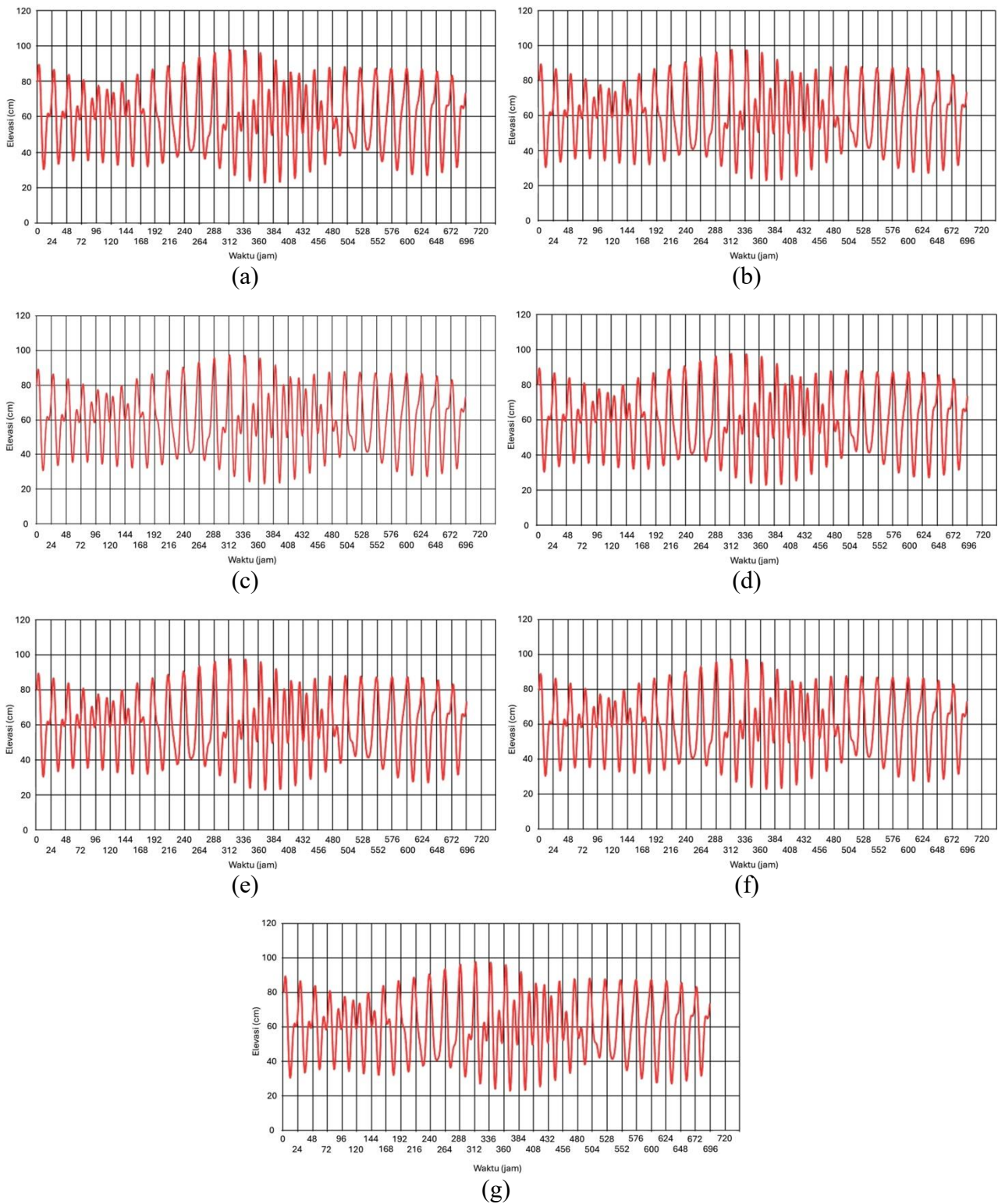
Berdasarkan nilai amplitudo konstanta harmonik pasang surut untuk setiap stasiun pasang surut, diperoleh parameter nilai elevasi penting muka air laut, yang disajikan pada Tabel 5. Selanjutnya, dengan melakukan perhitungan matematika sederhana menggunakan data HAT dan LAT (Appelquist *et al.*, 2016; Widantara dan Mutaqin, 2024; Ningsih dan Mutaqin, 2024), rentang/julat pasang surut untuk setiap stasiun juga dapat diperoleh dan kemudian dibandingkan dengan Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI) Badan Informasi Geospasial (BIG, 2022) (Tabel 5). Penting untuk ditegaskan bahwa seluruh nilai elevasi muka air laut pada Tabel 5 telah diselaraskan dengan referensi datum vertikal Mean Sea Level (MSL) dari stasiun pasang surut BIG, guna memastikan akurasi dan konsistensi perbandingan numerik dengan data sekunder dari SRGI. Hasil data rentang pasang surut dapat dibagi menjadi tiga kategori: mikro (kurang dari 200 cm), meso (200 - 400 cm), dan makro (> 400 cm) (Appelquist *et al.*, 2016).

Berdasarkan nilai elevasi penting muka air laut pada masing-masing stasiun pasang surut yang disajikan melalui Tabel 5, diperoleh informasi bahwa dari tujuh stasiun pasang surut di perairan Bali dan Lombok, julat/rentang pasang surutnya berkisar antara 247,1 sampai dengan 374,0 cm. Berdasarkan rentang pasang surut tersebut, perairan Bali dan Lombok masuk dalam kategori pasang surut meso dengan rentang pasang surut antara 200 hingga 400 cm (Appelquist *et al.*, 2016; Widantara dan Mutaqin, 2024). Rentang pasang surut terendah terdapat di stasiun Lembar (LBAR) yang terletak di Dermaga Pelindo-Lembar, Lombok Barat, yaitu sebesar 247,1 cm. Kisaran pasang surut ini tergolong pasang surut meso (Appelquist *et al.*, 2016) dan memiliki nilai yang hampir sama dengan SRGI BIG (2022), yaitu sebesar $201,4 \pm 7,9$ cm. Sementara itu, rentang pasang surut tertinggi terdapat di stasiun Teluk Awang (TLAW) yang berlokasi di Desa Mertak, Kecamatan Pujut (Kabupaten Lombok Tengah), yaitu sebesar 374,0 cm dan tergolong pasang surut meso (Appelquist *et al.*, 2016).

Secara konseptual berdasarkan tinjauan literatur, kepebisiran yang mempunyai karakteristik pasang surut meso (*wave-tide*

dominated) umumnya dicirikan oleh pantai reflektif saat pasang (*high-tide reflective*) dan pantai intermediate-disipatif ketika surut (*low-tide*

intermediate-dissipative) (Levoy *et al.*, 2000). Pantai reflektif adalah suatu sistem yang memiliki disipasi energi gelombang minimal sebagai akibat



Gambar 3. Pasang surut selama 29 piantan di: a) Celukan Bawang (CLBW), b) Jembrana (JBRN), c) Bena (BNOA), d) Pemenang (PMNG), e) Lembar (LBAR), f) Teluk Awang (TLAW), dan g) Tanjung Luar (TJLR)

Tabel 5. Nilai elevasi penting muka air laut (cm) pada setiap stasiun pasang surut (pasut)

Kode stasiun	HHWL	MHWL	MSL	MLWL	LLWL	HAT	LAT	Julat pasut ^a	Julat pasut ^b	Julat pasut SRGI ^c
CLBW	233,5	175,4	130,1	81,2	23,1	258,4	1,8	256,6	Meso	200,9 ± 7,8
JBRN	325,3	286,4	71,8	71,3	32,3	250,6	-107,1	357,7	Meso	296,3 ± 14,2
BNOA	321,3	278,1	196,7	73,7	30,5	372,6	20,8	351,8	Meso	289,1 ± 13,5
PMNG	225,7	165,1	146,7	84,7	24,2	271,7	21,8	249,9	Meso	Tidak ada data
LBAR	210,5	150,8	724,4	96,3	36,6	847,9	600,8	247,1	Meso	201,4 ± 7,9
TLAW	341,9	304,9	128,6	69,0	32,1	315,6	-58,4	374,0	Meso	Tidak ada data
TJLR	314,2	272,4	110,8	72,6	30,8	283,3	-61,8	345,1	Meso	276,4 ± 11,6

Sumber: a) Pengolahan Data (2024); b) Kategori menurut Appelquist *et al.* (2016); c) BIG (2022)

dari pecahnya gelombang, dan oleh karena itu, sebagian besar energi gelombang yang datang akan dipantulkan kembali ke lepas pantai oleh morfologi dekat pantai (Sherman, 2021). Pantai reflektif dihasilkan oleh gelombang yang rendah (<0,5 m), periode gelombang yang panjang, dan sedimen yang lebih kasar, sehingga semua pantai berpasir kasar dan berbatu/berbatu besar cenderung bersifat reflektif. Sedangkan pantai disipatif adalah sistem di mana sebagian besar energi gelombang sudah dikeluarkan/dialurkan jauh dari garis pantai saat proses pecah gelombang (Sherman, 2021). Pantai disipatif memerlukan gelombang yang tinggi (>2,5 m) dan material pasir halus (Short, 2012). Klasifikasi tipe pantai ini disajikan sebagai dasar diskusi mengenai potensi geomorfologi di lokasi kajian dan bukan merupakan kesimpulan empiris dari pengukuran material sedimen atau energi gelombang secara langsung dalam penelitian ini.

Salah satu manfaat praktis diketahuinya informasi pasang surut di perairan Bali dan Lombok adalah kegunaannya bagi masyarakat yang tinggal di dekat pantai, khususnya yang bekerja sebagai nelayan (NOAA, 2022). Pasang surut dapat digunakan oleh nelayan untuk mengetahui waktu berangkat ke laut yang tepat, sehingga dapat memberikan hasil laut yang maksimal (NOAA, 2022). Sesuai dengan tantangan yang dikemukakan pada bagian pendahuluan, pemahaman mendalam mengenai fluktuasi pasang surut di lokasi-lokasi pendaratan ikan ini sangat krusial karena secara langsung menentukan jendela waktu operasional kapal nelayan saat bersandar di dermaga. Selain itu, akurasi penentuan elevasi seperti HHWL dan LLWL sangat vital bagi rekayasa pelabuhan dan keselamatan navigasi di 11 titik pangkalan pendaratan ikan yang tersebar di

wilayah ini. Nilai-nilai tersebut menjadi basis data utama untuk menjamin akurasi desain infrastruktur dermaga agar terhindar dari risiko banjir pasang atau rob, serta memastikan keselamatan navigasi pada alur pelayaran yang memiliki kedalaman terbatas. Oleh karena itu, penempatan stasiun pasang surut juga harus tepat agar dapat menggambarkan kondisi aktual di lapangan (Mutaqin dan Ningsih, 2023).

Secara lebih luas, keberadaan data dan informasi karakteristik pasang surut yang memadai ini akan membantu pemerintah dan masyarakat dalam pengambilan kebijakan terkait perencanaan dan pengembangan wilayah kepesisiran yang lebih terukur dan berkelanjutan. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penempatan stasiun pasang surut antara lain (Suprpto, 2016): a) letaknya harus mewakili karakteristik pasang surut daerah di sekitarnya, b) tanahnya keras dan tidak berlumpur, c) tidak dekat dengan muara sungai agar terhindar dari pengaruh sedimen, sampah, maupun arus, d) perairannya jernih dan bersih serta bebas dari tumbuhan laut, e) mudah dalam melakukan pemantauan dan pemeliharaan, dan f) terlindung dari aktivitas gelombang permukaan.

KESIMPULAN

Berdasarkan nilai Formzahl dan amplitudo konstanta harmonik pasang surut, tipe pasang surut di perairan Bali dan Lombok Timur adalah pasang surut campuran yang bersifat semi diurnal ($0,25 < F < 1,5$). Tipe pasang surut ini menandakan bahwa terdapat dua kali surut dan dua kali pasang dalam 24 jam, tetapi periode dan tingginya berbeda-beda. Sedangkan perairan Lombok Barat termasuk dalam tipe campuran condong harian tunggal ($1,5 < F < 3,0$). Tipe ini mengindikasikan

bahwa dalam 24 jam terdapat satu kali surut dan satu kali pasang, tetapi terkadang dan/atau pada sementara waktu, terjadi dua kali surut dan dua kali pasang dengan periode dan tinggi yang berbeda. Rentang atau julat pasang surut di perairan Bali dan Lombok berkisar antara 247,1 sampai dengan 374,0 cm dan semuanya tergolong dalam pasang surut meso. Secara teoretis melalui tinjauan literatur, kondisi pasang surut meso tersebut menempatkan wilayah kajian pada karakter yang didominasi gelombang dan pasang surut (*wave-tide dominated*) dengan kecenderungan profil pantai reflektif saat pasang (*high-tide reflective*) dan pantai intermediate-disipatif ketika surut (*low-tide intermediate-dissipative*), meskipun klaim ini memerlukan verifikasi lebih lanjut melalui analisis geomorfologi di lapangan secara langsung. Temuan mengenai variasi tipe dan julat pasang surut ini secara langsung menyediakan basis data parameter hidro-oseanografi yang valid untuk menjawab kebutuhan rekayasa pelabuhan, navigasi perairan, mitigasi bencana, serta perencanaan dan pengelolaan pesisir strategis di wilayah Bali dan Lombok.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada atas dukungannya melalui Hibah Penelitian Mandiri Dosen Tahun 2024 Batch 1 yang tercantum dalam Keputusan Dekan No. 130/UN1/GE/KPT/2024 dengan Bachtiar W. Mutaqin sebagai Peneliti Utama. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fabia Hulwa Shelvia Putri yang sudah meluangkan waktunya untuk merapikan data, kepada Raymond Edward O'Sullivan atas dukungannya selama proses penulisan. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan penuh yang diberikan oleh Department of Science and Technology of Guangxi Zhuang Autonomous Region (China) melalui “The 2025 Guangxi ASEAN Outstanding Youth Scientists Fellowship Program”, serta College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, China, yang telah menyediakan lingkungan penelitian yang sangat mendukung dalam penyusunan artikel ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para peninjau anonim atas saran dan komentar mereka yang bermanfaat pada artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adalya, N.M., & Mutaqin, B.W. 2022. Modeling of hydro-oceanographic parameters and its

possible impact on coral reef cover in Derawan Island waters, East Kalimantan, Indonesia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8: 4191–4203. doi: 10.1007/s40808-022-01355-0.

- Appelquist, L.R., Balstrøm, T., & Halsnæset, K. 2016. Managing climate change hazards in coastal areas: The coastal hazard wheel decision-support system – main manual. United Nations Environment Programme, 48 hlm.
- Alwi, M., & Mutaqin, B.W. 2022. Geospatial mapping of tsunami susceptibility in Parangtritis coastal area of Yogyakarta – Indonesia. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(15): 1332. doi: 10.1007/s12517-022-10608-2.
- Alwi, M., Mutaqin, B.W., & Marfai, M.A. 2023. Shoreline dynamics in the very small islands of Karimunjawa – Indonesia: a preliminary study. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, 10(1): 73–82. doi: 10.14710/geoplanning.10.1.73-82.
- Amaruzaman, S., Bardsley, D.K., & Stringer, R. 2022. Reflexive policies and the complex socio-ecological systems of the upland landscapes in Indonesia. *Agriculture and Human Values*. doi: 10.1007/s10460-021-10281-3.
- BIG. 2021. Peta garis pantai 2021. Badan Informasi Geospasial. URL: <https://geoservices.big.go.id/portal/apps/webappviewer/index.html?id=114dc269c07446ebaa95307bf423fcf6>.
- BIG. 2022. Sistem informasi data stasiun pasang surut Badan Informasi Geospasial. URL: <http://ina-sealevelmonitoring.big.go.id/ipasut/>.
- BPS. 2021. Statistik sumber daya laut dan pesisir 2021. Badan Pusat Statistik, Jakarta, 284 hlm.
- Courtier, A. 1938. Marees. Service Hydrographique de la Marine, Paris, 284 hlm.
- Finkl, C.W., & Makowski, C. 2019. Encyclopedia of coastal science. Springer Nature. doi: 10.1007/978-3-319-93806-6.
- Fitriana, D., Oktaviani, N., & Khasanah, I.U. 2019. Analisa harmonik pasang surut dengan metode Admiralty pada stasiun berjarak kurang dari 50 km. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 6(1): 38–48. doi: 10.36754/jmkg.v6i1.113.
- Glen, N.C. 2015. The Admiralty method of tidal prediction. *International Hydrographic Review*, 54(1): 73–85.

- Hadmoko, D.S., Marfai, M.A., Malawani, M.N., Mutaqin, B.W., Risanti, A.A., & Permatasari, A.Z. 2021. Coastal geomorphosite assessment for ecotourism development in East Lombok, Indonesia. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 36(2sp): 589–596. doi: 10.30892/gtg.362spl05-687.
- Hamuna, B., Tanjung, R.H.R., Kalor, J.D., Dimara, L., Indrayani, E., Warpur, M., Paulangan, Y.Y.P., & Paiki, K. 2018. Studi karakteristik pasang surut perairan laut Mimika, Provinsi Papua. *Jurnal Acropora Ilmu Kelautan dan Perikanan Papua*, 1(1): 19–28. doi: 10.31957/v1i1.503.
- Hikmah, D., Arisanti, L.E., & Irmawan, D. 2020. Tipe pasang surut di Pelabuhan Benoa Bali dengan metode Admiralty berdasarkan data AWS. *Jurnal Widya Climago*, 2(2): 86–95.
- Hirmawan, A., Kamija, K., & Adrianto, D. 2021. Studi komparasi ragam model prediksi pasang surut dengan data elevasi muka air di perairan Benoa Bali. *Jurnal Chart Datum*, 7(2): 99–110. doi: 10.37875/chartdatum.v7i2.214.
- Hoseini, S.M., & Soltanpour, M. 2022. Numerical study of influencing factors on tidal wave propagation in the Persian Gulf. *Ocean Science Journal*, 57: 642–671. doi: 10.1007/s12601-022-00091-x.
- Isnain, M.N., & Mutaqin, B.W. 2023. Geomorphological and hydro-oceanographic analysis related to marine debris characteristics on the south coast of Yogyakarta. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 34(1): 227–239. doi: 10.1007/s12210-022-01125-1.
- Lazuardi, W., Ardiyanto, R., Marfai, M.A., Mutaqin, B.W., & Kusuma, D.W. 2021. Coastal reef and seagrass monitoring for coastal ecosystem management. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 16(3): 557–568. doi: 10.18280/ijstdp.160317.
- Lee, S.H., & Chang, Y.S. 2019. Classification of the global tidal types based on auto-correlation analysis. *Ocean Science Journal*, 54: 279–286. doi: 10.1007/s12601-019-0009-7.
- Levoy, F., Anthony, E.J., Monfort, O., & Larssonneur, C. 2000. The morphodynamics of megatidal beaches in Normandy, France. *Marine Geology*, 171(1–4): 39–59. doi: 10.1016/S0025-3227(00)00110-9.
- Marfai, M.A., Ahmada, B., Mutaqin, B.W., & Windayati, R. 2020. Dive resort mapping and network analysis: Water resources management in Pemuteran Coastal Area, Bali Island, Indonesia. *Geographia Technica*, 15(2): 106–116. doi: 10.21163/GT_2020.152.11.
- Marfai, M.A., Winastuti, R., Wicaksono, A., & Mutaqin, B.W. 2022. Coastal morphodynamic analysis in Buleleng Regency, Bali – Indonesia. *Natural Hazards*, 111(1): 995–1017. doi: 10.1007/s11069-021-05088-8.
- Mutaqin, B.W. 2020. Spatial analysis and geomorphic characteristics of coral reefs on the eastern part of Lombok, Indonesia. *Geographia Technica*, 15(2): 202–211. doi: 10.21163/GT_2020.152.19.
- Mutaqin, B.W., & Ningsih, R.L. 2023. Tidal characteristics in the southern waters of Java – Indonesia. *Jurnal Geografi*, 15(2): 154–164. doi: 10.24114/jg.v15i2.45017.
- Mutaqin, B.W., Lavigne, F., Sudrajat, Y., Handayani, L., Lahitte, P., Virmoux, C., Hiden, Hadmoko, D.S., Komorowski, J.C., Hananto, N., Wassmer, P., Hartono, & Boillot-Airaksinen, K. 2019. Landscape evolution on the eastern part of Lombok (Indonesia) related to the 1257 CE eruption of the Samalas Volcano. *Geomorphology*, 327: 338–350. doi: 10.1016/j.geomorph.2018.11.010.
- Ningsih, R.L., & Mutaqin, B.W. 2024. Multi-hazard assessment under climate change in the aerotropolis coastal city of Kulon Progo, Yogyakarta – Indonesia. *Journal of Coastal Conservation*, 28(1): 5. doi: 10.1007/s11852-023-01015-0.
- NOAA. 2022. Tides and water levels. National Oceanic and Atmospheric Administration. URL: https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_tides/tides09_monitor.html.
- Nugroho, A., Ismunarti, D.H., & Rochaddi, B. 2015. Studi karakteristik dan co-range pasang surut di Teluk Lembar Lombok Nusa Tenggara Barat. *Journal of Oceanography*, 4(1): 93–99.
- 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. doi: 10.14710/buloma.v7i1.19042.
- Pemerintah Indonesia. 2019. Peraturan Presiden Nomor 93 Tahun 2019 tentang Penguatan dan Pengembangan Sistem Informasi Gempa Bumi dan Peringatan Dini Tsunami. 19 hlm.
- Pushidrosal. 2018. Data kelautan yang menjadi rujukan nasional diluncurkan. Pusat Hidro-

- Oseanografi TNI AL. URL: <https://www.pushhidrosal.id/berita/5256/>.
- Riggs, R.A., Achdiawan, R., Adiwinata, A., Boedhihartono, A.K., Langston, J.D., Priyadi, H., Ruiz-Pérez, M., Sayer, J., & Tjiu, A. 2021. Governing the landscape: Potential and challenges of integrated approaches to landscape sustainability in Indonesia. *Landscape Ecology*, 36: 2409–2426. doi: 10.1007/s10980-021-01255-1.
- Sherman, D.J. 2019. Reflective beaches. In: Finkl, C.W. & Makowski, C. (eds). *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer. doi: 10.1007/978-3-319-93806-6_256.
- Short, A.D. 2012. Coastal processes and beaches. *Nature Education Knowledge*, 3(10): 15.
- Susiati, H., Suntoko, H., & Suryanto, S. 2018. Pertimbangan oseanografi fisik dan potensi tsunami tahap pra-survei dalam pemilihan tapak PLTN di Provinsi NTB. *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir 2018*, 209–220.
- Syahputra, H., & Nugraha, R.B.A. 2016. Analisis perbandingan akurasi model prediksi pasang surut: Studi kasus di Selat Larantuka. *Maspari Journal*, 8(2): 119–126. doi: 10.56064/maspari.v8i2.3488.
- Tapilatu, M.E., Kaber, Y., Alzair, N., Wona, H., Grady, K.C., & Tapilatu, R.F. 2022. Using remote sensing to evaluate coastal erosion and accretion to guide conservation of turtle nesting sites. *International Journal of Environmental Science and Technology*. doi: 10.1007/s13762-022-04631-9.
- Wahid, N.M., & Mutaqin, B.W. 2024. Tidal fluctuation effect on marine debris characteristics in Kulon Progo beaches of Yogyakarta, Indonesia. *Journal of Coastal Conservation*, 28(1): 37. doi: 10.1007/s11852-024-01036-3.
- Wei, Z., Fang, G., Susanto, R.D., Adi, T.R., Fan, B., Setiawan, A., Li, S., Wang, Y., & Gao, X. 2016. Tidal elevation, current, and energy flux in the area between the South China Sea and Java Sea. *Ocean Science*, 12(2): 517–531. doi: 10.5194/os-12-517-2016.
- Widantara, K.W., & Mutaqin, B.W. 2024. Multi-hazard assessment in the coastal tourism city of Denpasar, Bali, Indonesia. *Natural Hazards*, 120(8): 7105–7138. doi: 10.1007/s11069-024-06506-3.
- Windayati, R., Mutaqin, B.W., Marfai, M.A., Pangaribowo, E., Helmi, M., & Rindarjono, M.G. 2022. Assessment of coral-reefs ecosystem services in West Buleleng Conservation Zone, Bali, Indonesia. *Journal of Coastal Conservation*, 26(5): 43. doi: 10.1007/s11852-022-00890-3.