

Pengaruh Pasang Surut Terhadap Refraksi Gelombang Pada Pulau Gusung Kota Makassar

Risal¹ | Andi Makbul Syamsuri² | Kasmawati*²

¹ Mahasiswa Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia. opporisa55@gmail.com

²Perencanaan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia.
amakbulsyamsuri@unismuh.ac.id
kasma08@unismuh.ac.id

Korespondensi

* Kasmawati,
kasma08@unismuh.ac.id

ABSTRAK: Pulau Gusung merupakan pulau pasir di pesisir Kota Makassar yang sangat dipengaruhi oleh dinamika oseanografi, khususnya pasang surut dan gelombang laut. Variasi muka air laut akibat pasang surut diduga berpengaruh terhadap proses refraksi gelombang yang terjadi di sekitar pulau tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pasang surut terhadap refraksi gelombang pada Pulau Gusung. Metode yang digunakan meliputi analisis pasang surut dengan metode Admiralty menggunakan data tahun 2023, serta peramalan parameter gelombang melalui metode hindcasting berdasarkan data angin dan fetch periode 2019–2023. Selanjutnya dihitung koefisien refraksi gelombang pada kondisi pasang dan surut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan muka air laut akibat pasang surut memengaruhi kedalaman perairan sehingga menyebabkan variasi nilai koefisien refraksi gelombang. Kondisi pasang menghasilkan nilai refraksi yang berbeda dibandingkan kondisi surut. Kesimpulannya, pasang surut berperan signifikan dalam mengontrol pola refraksi gelombang di Pulau Gusung. Temuan ini berimplikasi penting bagi perencanaan dan pengelolaan wilayah pesisir serta mitigasi abrasi di pulau-pulau kecil.

KATA KUNCI

Pasang Surut, Admiralty, Tinggi Gelombang, dan Periode Gelombang.

ABSTRACT: Pulau Gusung is a sandy island located in the coastal area of Makassar City that is strongly influenced by oceanographic dynamics, particularly tides and ocean waves. Variations in sea level caused by tidal fluctuations are presumed to affect the wave refraction process occurring around the island. This study aims to analyze the influence of tides on wave refraction at Pulau Gusung. The methods employed include tidal analysis using the Admiralty method based on 2023 tidal data, as well as wave parameter prediction using the hindcasting method derived from wind and fetch data for the period 2019–2023. Furthermore, wave refraction coefficients were calculated under tidal and low-tide conditions. The results indicate that sea level variations due to tides affect water depth, leading to changes in wave refraction coefficients. Tidal conditions produce different refraction values compared to low-tide conditions. In conclusion, tides play a significant role in controlling wave refraction patterns at Pulau Gusung. These findings have important implications for coastal planning, management, and abrasion mitigation on small islands.

Keywords:

Tidal, Admiralty, Wave Height and Wave Period

1 | PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara maritim memiliki kekayaan potensi energi laut yang sangat besar, terutama dari gelombang laut (Sri Wahyuni, 2021). Salah satu fenomena yang terjadi di laut adalah refraksi gelombang, yaitu pembelokan arah gelombang akibat interaksi dengan bentuk dasar laut, seperti lereng bawah air. Saat gelombang melewati daerah dengan kedalaman yang berbeda, arahnya akan berubah menuju wilayah yang lebih dalam, mengikuti prinsip hukum Snell untuk gelombang..

Sebagai salah satu kota metropolitan di kawasan timur Indonesia, Makassar memiliki potensi besar dalam pengembangan pariwisata yang selaras dengan alam dan budaya lokal. Kekayaan flora lokal, budaya masyarakat pesisir, serta potensi kerajinan, dapat menjadikan kawasan ini berkembang menjadi ruang wisata yang tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga mampu mengedukasi pengunjung, melestarikan budaya lokal, dan mendorong pertumbuhan ekonomi daerah secara berkelanjutan (Batara dkk., 2020)

Gelombang di laut terbagi menjadi gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak (Triatmodjo, 1999). Pada umumnya gelombang terjadi karena hembusan angin di permukaan air laut. Daerah di mana gelombang itu dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang (wave generating area).

Gelombang merupakan pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus di permukaan air laut. Gelombang terjadi karena beberapa faktor diantaranya angin yang terjadi pada permukaan lautan dan gempa yang terjadi pada dasar laut sehingga mentransfer energinya ke perairan yang menyebabkan riak – riak, alun atau bukit dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang (Asranda et al., 2023).

Gelombang yang muncul di lokasi pembangkitan dikenal sebagai sea, sedangkan gelombang yang terjadi di luar lokasi tersebut disebut swell. Saat gelombang bergerak, partikel air di permukaan beredar dalam pola lingkaran besar, menciptakan puncak di bagian tertinggi dan lembah di titik terendahnya. Di bawah permukaan, gerakan air berlangsung dalam lingkaran-lingkaran yang semakin kecil. Ketika gelombang mendekati tepi, bagian bawah gelombang akan mulai bersentuhan dengan lantai laut, yang mengakibatkan gelombang pecah dan menciptakan edaran di dasar laut yang bisa mengangkat material dari pangkal pantai serta menimbulkan perubahan pada bentuk Pantai (Sri Wahyuni, 2021)

Ada sejumlah teori yang menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan representasi dari alam. Salah satu teori yang dasar adalah teori gelombang linier. Berdasarkan teori gelombang linier, gelombang berkembang sesuai dengan kedalamannya dan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu deep water (gelombang di perairan dalam), transitional water (gelombang perairan transisi), dan shallow water (gelombang di perairan dangkal) (Nur Yuwono, 1982).

Menurut Sorensen (2006:137), refraksi gelombang terjadi ketika gelombang di perairan menengah atau dangkal mengalami perubahan arah akibat kontur dasar laut yang tidak sejajar dengan puncak gelombang. Dengan kata lain, proses refraksi ini dipicu oleh perubahan kedalaman laut. Sementara itu, Triatmodjo (1999:65) menjelaskan bahwa di laut dalam yakni wilayah dengan kedalaman lebih dari setengah panjang gelombang, gelombang bergerak tanpa terpengaruh oleh dasar laut. Namun, di zona transisi dan laut dangkal, dasar laut mulai memengaruhi pergerakan gelombang. Jika dilihat dari puncak gelombang, bagian yang berada di perairan lebih dangkal akan merambat lebih lambat dibandingkan bagian yang berada di perairan yang lebih dalam (Gushaf, 2015).

Refraksi gelombang terjadi akibat perubahan kedalaman laut. Di perairan dalam, yaitu ketika kedalaman air melebihi setengah panjang gelombang, gelombang bergerak tanpa dipengaruhi oleh dasar laut. Namun, di wilayah laut transisi dan dangkal, dasar laut mulai memengaruhi pergerakan gelombang. Pada area ini, bagian puncak gelombang yang berada di perairan lebih dangkal akan merambat lebih lambat dibandingkan bagian yang berada di perairan yang lebih dalam. Perbedaan kecepatan ini menyebabkan garis puncak gelombang membelok, dan secara alami berusaha mengikuti arah kontur dasar laut. Selain itu, garis ortogonal gelombang yaitu garis yang tegak lurus terhadap puncak gelombang dan menunjukkan arah rambat gelombang juga akan membelok, menyesuaikan arah agar tegak lurus terhadap kontur dasar laut (Roni Fitrianto, 2010)

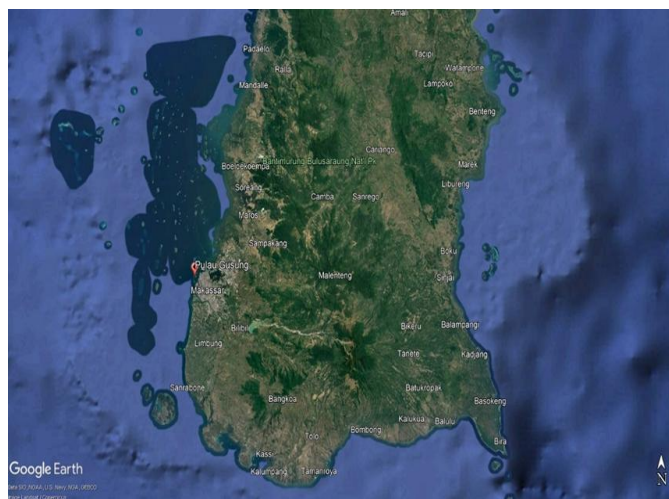
Gelombang yang datang pada kedalaman referensi 10 meter akan mengalami proses refraksi saat mendekati wilayah pesisir. Dalam perjalanannya menuju pantai, gelombang akan dipengaruhi oleh proses pendangkalan, di mana tinggi gelombang awalnya menurun, kemudian perlahan meningkat hingga mencapai puncaknya saat gelombang pecah, dan setelah itu menurun tajam hingga nol saat mencapai garis pantai. Ketika gelombang pecah dan menghantam pantai, sebagian energi gelombang dipantulkan kembali ke laut dan membentuk arus sejajar pantai. Arus ini berperan dalam mengangkut sedimen sepanjang garis pantai. Energi yang digunakan untuk proses pengangkutan sedimen tersebut berasal dari gelombang yang pecah di pantai, sehingga karakteristik gelombang yang sampai di pesisir sangat penting dalam perhitungan transpor sedimen (Roni Fitrianto, 2010).

Arus laut (sea current) merupakan pergerakan massa air dari satu lokasi ke lokasi lain yang disebabkan oleh berbagai faktor, seperti tiupan angin, perbedaan densitas air laut, serta pasang surut (Pariwono, 1989 dalam Tezar et al., 2023).

2 | MOTODE

2.1 | Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di wilayah perairan sekitar Pulau Gusung, yang secara geografis berada pada titik koordinat $5^{\circ} 7' 22,87''$ LS dan $119^{\circ} 23' 42,88''$ BT. Pulau ini terletak dalam wilayah administratif Kelurahan Lae-Lae, Kecamatan Ujung Pandang, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Dikenal sebagai destinasi wisata bahari, Pulau Gusung berjarak kurang lebih 1,6 kilometer dari garis pantai utama Kota Makassar. Pengumpulan data dilakukan dalam kurun waktu tahun 2019 hingga 2023, sementara kegiatan analisis dilakukan pada tahun berjalan.



GAMBAR 1 Peta Lokasi penelitian pulau gusung (sumber : google earth)

2.1 | Pengumpulan Data dan Analisis

Menurut Mundir (2013), suatu penelitian dapat digolongkan sebagai kuantitatif apabila data yang dikumpulkan berbentuk angka maupun informasi naratif yang telah dikonversi menjadi bentuk numerik. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dalam mengkaji pengaruh pasang surut terhadap refraksi gelombang di wilayah Pulau Gusung. Proses pengumpulan data dilakukan guna memperoleh informasi yang relevan dan mendukung pencapaian tujuan penelitian. Data yang dianalisis terdiri dari pasang surut, angin, dan gelombang, dengan cakupan waktu antara tahun 2019 hingga 2023. Seluruh data tersebut diperoleh melalui instansi resmi, yaitu Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Wilayah IV Makassar.

Tahap ini melibatkan proses pengolahan data dengan menggunakan data sekunder, yaitu Admiralty, perhitungan peramalan gelombang serta perhitungan koefisien refraksi gelombang. Metode Admiralty digunakan untuk menentukan ketinggian muka air laut, yang menjadi dasar dalam analisis pasang surut. Sementara itu, perhitungan peramalan gelombang dimanfaatkan untuk memperkirakan parameter gelombang laut, yang memiliki peran penting dalam mempelajari fenomena refraksi gelombang di wilayah perairan sekitar Pulau Gusung.

Metode Admiralty digunakan dalam menganalisis data pasang surut yang dikumpulkan dalam periode pengamatan yang relatif singkat, yakni antara 15 hingga 29 hari, dengan interval pencatatan tiap satu jam. Prosedur perhitungannya mengikuti sejumlah tahapan sistematis yang dirancang untuk memperoleh hasil yang akurat.

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (1)$$

Menghitung fetch efektif dilakukan untuk mengetahui arah angin yang berpotensi membangkitkan gelombang. Arah fetch dapat berasal dari berbagai arah, dan nilai besarnya dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (2)$$

Peramalan tinggi dan periode gelombang menggunakan kecepatan angin pada elevasi 10 meter. Apabila data angin diperoleh dari pengukuran pada elevasi lain (misalnya pada ketinggian y meter), maka nilainya dapat dikonversi menggunakan persamaan berikut:

$$U_{10} = U(y) \frac{10^{\frac{1}{7}}}{y} \quad (3)$$

Perhitungan panjang gelombang menggunakan rumus :

$$L_0 = 1,56 T^2 \quad (4)$$

Cepat rambat gelombang

$$C = \frac{L}{T} \quad (5)$$

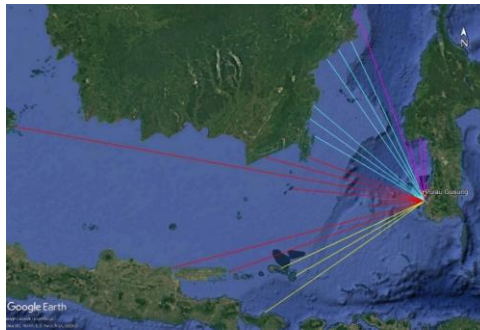
Perhitungan koefisien refraksi

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (6)$$

3 | HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 | Perhitungan Fetch Efektif

Pada studi ini, penghitungan fetch efektif diperlukan untuk menentukan arah angin yang paling berpengaruh dalam membentuk gelombang laut di area penelitian. Fetch sendiri merupakan area permukaan laut tempat gelombang terbentuk, yang diasumsikan memiliki pola arah dan kecepatan angin yang cukup konsisten.



GAMBAR 2 Peta hasil pengukuran fetch efektif di lokasi penelitian-

Berikut tabel perhitungan fetch sebagai berikut :

TABEL 1 Perhitungan fetch efektif utara

	A	COS α	Xi (Km)	Xi cos α
UTARA	-20	0.93969	605.16	568.66
	-15	0.96593	180.98	174.81
	-10	0.98481	31.36	30.88
	-5	0.99619	184.45	183.75
	0	1	180.02	180.02
	5	0.99619	33.95	33.82
	10	0.98481	48.97	48.23
	15	0.96593	40.62	39.24
	20	0.93969	0.16	0.15
	Total	8.77324		1259.56

Berdasarkan tabel diatas untuk perhitungan fetch efektif arah utara dengan rumus berikut ini:

$$\text{Fetch} = (\sum X_i \cos) / (\sum \cos) = 1259.56 / 8.77324 = 143.5686 \text{ Km} \Rightarrow 143568.6 \text{ m}$$

TABEL 2 Hasil Perhitungan Data Fetch di Lokasi Penelitian

ARAH	Fecth Efektif (Km)	Fecth Efektif (m)
UTARA (N)	143.5686	143568.6
BARAT DAYA (SW)	1639.009	163900.9
BARAT (W)	459.8293	459829.3
BARAT LAUT (NW)	319.7192	319719.2

Tabel 2 tersebut menunjukkan nilai fetch efektif berdasarkan arah datang angin dan gelombang yang dinyatakan dalam satuan kilometer dan meter. Nilai fetch efektif terbesar terdapat pada arah Barat Daya (SW) sebesar 1639,009 km atau 163.900,9 m, yang mengindikasikan perairan pada arah tersebut paling terbuka dan berpotensi menghasilkan gelombang yang lebih besar. Sementara itu, arah Utara (N) memiliki fetch efektif terkecil, yaitu 143,5686 km atau 14.356,86 m, yang menunjukkan adanya pembatas perairan seperti daratan atau pulau di sekitarnya. Arah Barat (W) dan Barat Laut (NW) masing-masing memiliki fetch efektif sebesar 459,8293 km (45.982,93 m) dan 319,7192 km (31.971,92 m), yang mencerminkan tingkat keterbukaan perairan sedang dan memberikan kontribusi terhadap variasi karakteristik gelombang di wilayah penelitian.

3.2 | Pasang Surut

Data pasang surut dalam penelitian ini diperoleh dari hasil rekaman digital yang disediakan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), yang berlokasi di Stasiun Paotere, Makassar, Sulawesi Selatan. Pengumpulan data dilakukan sepanjang tahun 2023, mulai dari bulan Januari hingga Desember. Seluruh waktu pencatatan telah disesuaikan dengan zona waktu GMT+8 (Greenwich Mean Time). Data yang diperoleh kemudian diolah lebih lanjut dan disusun ke dalam tabel perhitungan dengan menggunakan pendekatan metode Admiralty.

Tabel perhitungan pasang surut dengan metode Admiralty disusun dalam bentuk matriks yang terdiri atas baris dan kolom, di mana setiap baris merepresentasikan jam pengamatan secara berkala setiap satu jam, mulai dari pukul 00.00 hingga 23.00. Sedangkan kolom menunjukkan tanggal pengamatan selama satu bulan, yang mencakup rentang waktu antara 29 hingga 30 hari, tergantung pada jumlah hari dalam bulan tersebut.

Metode Admiralty merupakan salah satu pendekatan yang digunakan untuk menghitung konstanta harmonik pasang surut dengan cara menganalisis perubahan tinggi muka air laut selama periode pengamatan tertentu, umumnya berlangsung antara 15 hingga 29 hari. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi pola pasang surut serta fluktuasi elevasi permukaan laut di suatu wilayah perairan.

TABEL 3 Rekap hasil perhitungan konstanta harmonik pasang surut

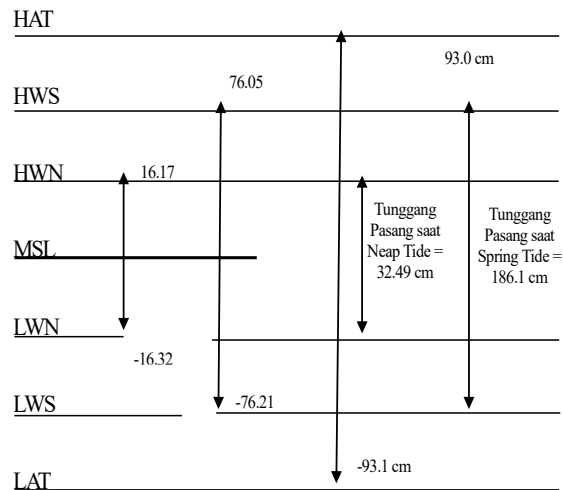
HASIL TERAKHIR										
	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
A cm	-0.1	12.63	13.21	3.21	3.04	29.98	20.31	9.89	0.41	0.35
g		162.54	294.46	98.22	294.46	159.35	140.56	159.35	175.62	164.21

Berdasarkan tabel 2, Tabel hasil akhir menampilkan nilai amplitudo (A) dan fase (g) dari komponen harmonik pasang surut. Komponen dominan ditunjukkan oleh K1 dengan amplitudo terbesar sebesar 29,98 cm, diikuti oleh O1 sebesar 20,31 cm serta komponen setengah harian S2 dan M2 dengan amplitudo masing-masing 13,21 cm dan 12,63 cm. Sebaliknya, komponen M4 dan MS4 memiliki amplitudo sangat kecil, sehingga kontribusinya terhadap fluktuasi muka air laut relatif minor, sedangkan variasi nilai fase (g) mencerminkan perbedaan waktu terjadinya puncak pasang surut di lokasi penelitian.

Penentuan jenis atau tipe pasang surut dilakukan dengan menggunakan rumus bilangan Formzahl, yang dirumuskan sebagai berikut:

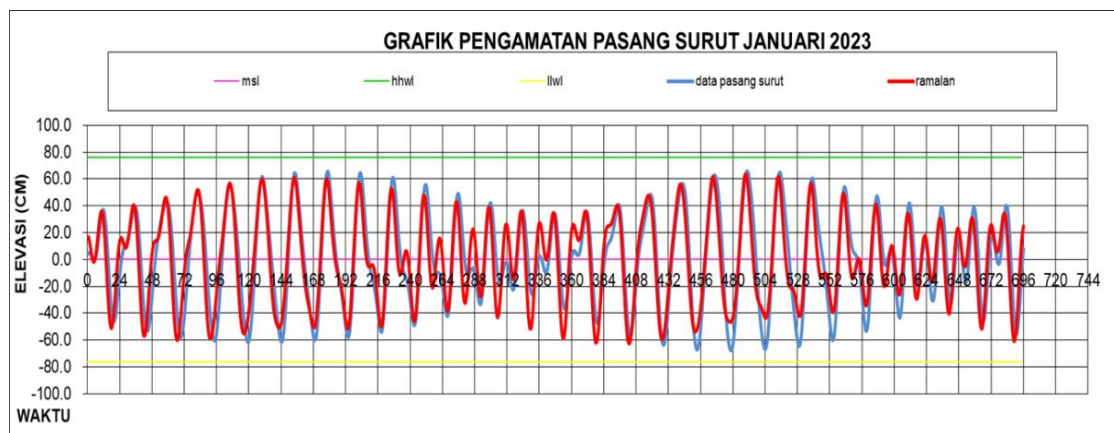
$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$$

$$F = \frac{29.98 + 20.31}{12.63 + 13.21} = 1.947$$



GAMBAR 3 Tunggang pasang surut

Setelah diperoleh hasil akhir dari perhitungan data pasang surut menggunakan metode Admiralty, selanjutnya dilakukan analisis karakteristik pasang surut berdasarkan konstanta harmonik yang dihasilkan. Dari hasil analisis tersebut, diketahui bahwa nilai Formzahl (F) sebesar 1,947. Nilai ini menunjukkan bahwa tipe pasang surut di wilayah Pulau Gusung tergolong pasang surut campuran condong ke harian tunggal (mixed tide, mainly diurnal).



GAMBAR 4 Grafik Pasang Surut januari 2023

Berdasarkan gambar 4, grafik hasil pengamatan pasang surut pada bulan Januari 2023, terlihat bahwa tinggi muka air laut mengalami perubahan secara periodik dengan pola pasang surut yang relatif konsisten sepanjang periode tersebut. Garis biru pada grafik merepresentasikan data observasi, sementara garis merah menunjukkan hasil prediksi yang secara umum mengikuti pola yang serupa dengan data observasi. Adapun nilai HHWL nya bernilai 76,05 cm dan nilai LLWL nya bernilai -76,21 cm.

TABEL 4 Rekap hasil perhitungan jenis pasang surut januari sampai desember 2023

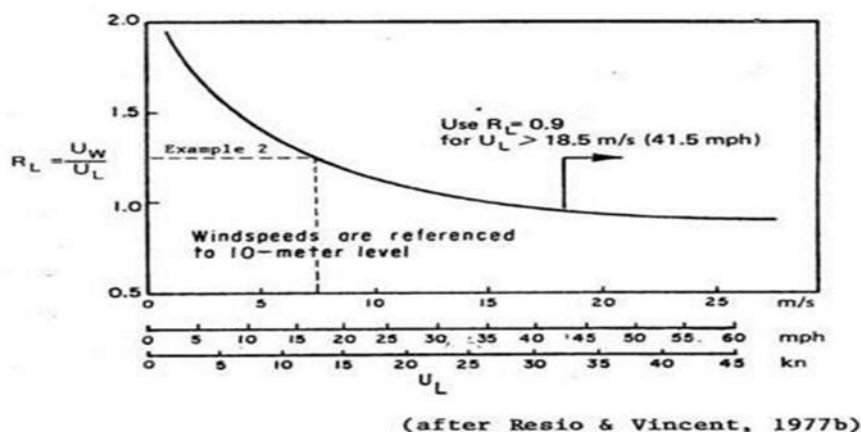
Bulan	Nilai F	MSL/DT	LLWL	HHWL
Jan-23	1.947	-0.1	-76.21	76.05
Feb-23	1.886	-0.04	-74.34	74.26
Mar-23	1.907	0.03	-76.57	76.64
Apr-23	1.876	0.06	-75.36	75.48
May-23	1.819	0.08	-76.31	76.47

Jun-23	1.721	0.08	-77.75	77.91
Jul-23	1.724	0.05	-78.17	78.27
Aug-23	1.812	-0.03	-76.84	76.79
Sep-23	1.872	-0.03	-75.15	75.08
Oct-23	1.857	-0.03	-74.15	74.09
Nov-23	1.871	-0.04	-74.30	74.21
Dec-23	1.940	-0.07	-74.03	73.90

Berdasarkan tabel 4, nilai Formzahl selama periode Januari hingga Desember 2023 berada dalam kisaran $1,5 < F < 3,0$. Hal ini menunjukkan bahwa pola pasang surut yang terjadi termasuk dalam tipe campuran yang condong ke harian tunggal. Pada tipe ini, dalam satu hari umumnya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut, meskipun sesekali dapat terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan ketinggian serta periode yang tidak sama.

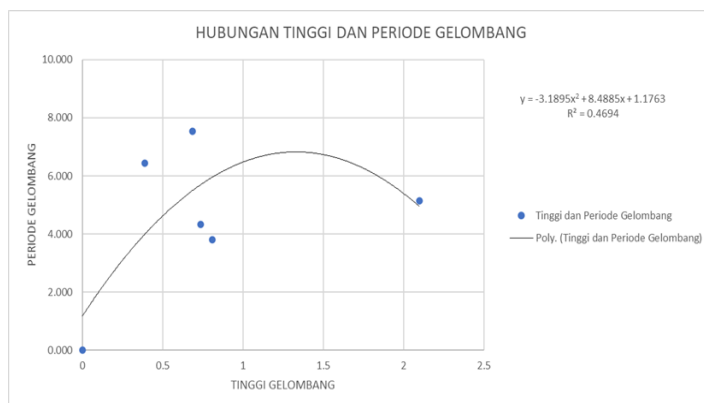
3.3 | Peramalan Tinggi dan Periode Gelombang

Untuk keperluan peramalan gelombang biasanya digunakan data kecepatan angin pada ketinggian 10 m. Apabila kecepatan tidak diukur pada ketinggian tersebut maka kecepatan angin perlu di koreksi terhadap ketinggian dengan rumus sebagai berikut (Pratikto. dkk, 2000):



GAMBAR 5 Grafik Hubungan Koreksi angin (sumber CERC, 1984)

Setelah mendapatkan hasil analisis parameter gelombang pada tahun 2019-2023 kemudian dibuatkan grafik hubungan tinggi dan periode gelombang untuk mendapatkan hasil persamaan nilai y .



GAMBAR 6 Hubungan antara tinggi gelombang dan periode gelombang

Berdasarkan hasil grafik hubungan tinggi dan periode gelombang pada tahun 2019-2023 diperoleh hasil persamaan nilai $y = -3.1895x^2 + 8.4885x + 1.1763$



GAMBAR 7 Rekapitulasi grafik tinggi gelombang tahun 2019-2023

Setiap tahun, tinggi gelombang menunjukkan pola yang berfluktuasi, dengan puncak umumnya terjadi pada awal dan akhir tahun, terutama pada bulan Januari, April, dan Desember. Gelombang tertinggi tercatat pada tahun 2022 dan 2023, dengan ketinggian mendekati 2 meter. Sementara itu, gelombang pada pertengahan tahun cenderung lebih rendah. Secara keseluruhan, pola musiman cukup konsisten, dengan gelombang tinggi muncul pada musim tertentu dan kondisi laut yang lebih tenang di tengah tahun.



GAMBAR 8 Rekapitulasi grafik panjang gelombang tahun 2019-2023

Panjang gelombang mengalami variasi yang cukup besar setiap tahunnya, dengan nilai tertinggi umumnya terjadi di awal dan akhir tahun. Panjang gelombang maksimum mendekati 60 meter, terutama terlihat pada awal tahun 2020, 2021, 2022, dan 2023. Sebaliknya, panjang gelombang terendah biasanya tercatat pada pertengahan tahun, khususnya antara bulan Mei hingga Juli.

3.4 | Perhitungan Koefisien Refraksi Gelombang



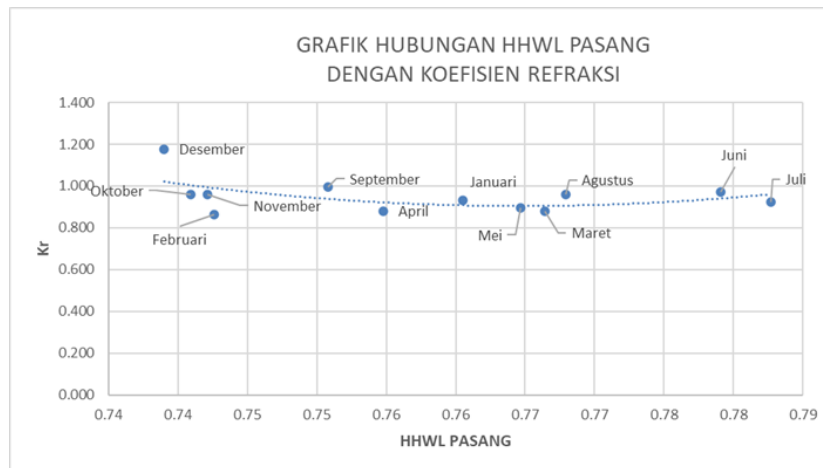
GAMBAR 9 Peta lokasi penelitian

TABEL 5 Hasil Perhitungan Koefisien Refraksi

Bulan	α_0	d	Hi	To	L _o	d/L _o	d/L	L	Co	C	Sin α	Kr	α
Januari	45	4	2,25	4,13	26,59	0,1504	0,18338	21,81	6,43	5,28	0,58	0,931	35,45
Februari	45	4	1,60	6,59	67,81	0,0589	0,12329	32,44	10,58	4,92	0,33	0,865	19,26
Maret	45	4	1,00	6,48	65,41	0,0611	0,10538	37,98	10,09	5,86	0,41	0,880	24,20
April	45	4	1,00	6,48	65,41	0,0611	0,10538	37,98	10,09	5,86	0,41	0,880	24,20
Mei	45	4	0,65	5,35	44,59	0,0897	0,13139	30,44	8,33	5,68	0,48	0,897	28,68
Juni	45	4	0,25	3,10	14,98	0,2670	0,28274	14,14	4,83	4,56	0,66	0,970	41,29
Juli	45	4	0,45	4,35	29,52	0,1355	0,17085	23,41	6,78	5,38	0,56	0,923	34,05
Agustus	45	4	0,30	3,44	18,42	0,2171	0,23959	16,69	5,35	4,85	0,64	0,959	39,79
September	45	4	0,60	5,12	40,91	0,0977	0,13845	28,89	7,99	5,64	0,70	0,995	44,47
Oktober	45	4	0,30	3,44	18,42	0,2171	0,23959	16,69	5,35	4,85	0,64	0,959	39,79
November	45	4	0,30	3,44	18,42	0,2171	0,23959	16,69	5,35	4,85	0,64	0,959	39,79
Desember	45	4	0,35	3,76	22,01	0,1817	0,20925	19,11	5,85	5,08	0,86	1,177	59,31

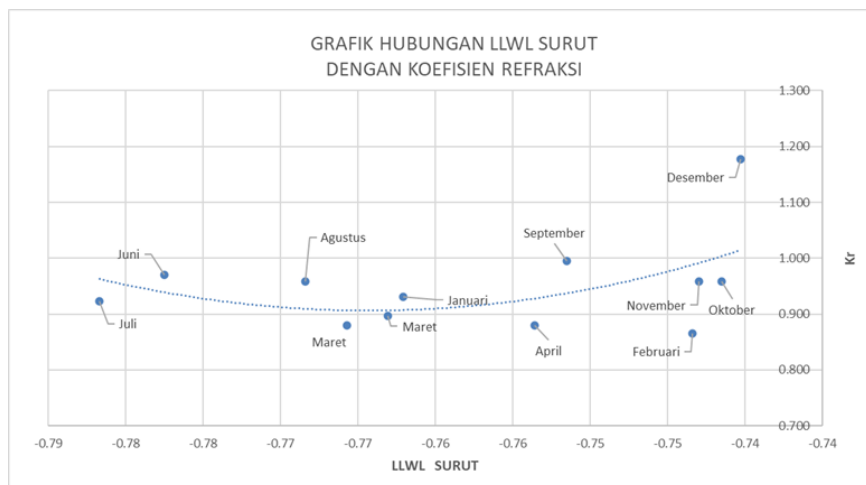
TABEL 6 Rekap hasil perhitungan pasang surut

Bulan	Nilai F	MSL/DT	LLWL	HHWL
Jan-23	1,947	-0,1	0,169	1,692
Feb-23	1,886	-0,04	0,166	1,652
Mar-23	1,907	0,03	0,162	1,694
Apr-23	1,876	0,06	0,168	1,677
Mei-23	1,819	0,08	0,175	1,703
Jun-23	1,721	0,08	0,169	1,726
Jul-23	1,724	0,05	0,169	1,734
Agus-23	1,812	-0,03	0,169	1,706
Sep-23	1,872	-0,03	0,166	1,669
Okt-23	1,857	-0,03	0,174	1,656
Nov-23	1,871	-0,04	0,180	1,665
Des-23	1,940	-0,07	0,174	1,653



GAMBAR 10 Grafik hubungan pasang dengan koefisien refraksi

Grafik menunjukkan hubungan HHWL dan koefisien refraksi gelombang (K_r) sepanjang tahun 2023 dengan kisaran HHWL 0,74–0,78 m dan K_r 0,865–1,177. Secara umum, hubungan keduanya relatif stabil dengan kecenderungan sedikit meningkat. Nilai K_r terendah terjadi pada Februari (HHWL 0,74 m) sebesar 0,865, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada Desember meskipun HHWL sama, yaitu 1,177. Pada Juni saat HHWL tertinggi (0,78 m), K_r bernilai 0,970, dan pada September dengan HHWL 0,75 m, K_r sebesar 0,995. Pola ini menunjukkan bahwa variasi K_r tidak selalu sebanding dengan perubahan HHWL, yang mengindikasikan adanya pengaruh faktor lain seperti kondisi dan arah gelombang serta topografi dasar laut terhadap proses refraksi gelombang.



GAMBAR 11 Grafik hubungan surut dengan koefisien refraksi

Grafik menunjukkan hubungan antara LLWL sebagai indikator surut air laut dan koefisien refraksi gelombang (K_r) sepanjang tahun 2023, dengan nilai LLWL berkisar antara -0,74 hingga -0,78 m dan K_r antara 0,865–1,177. Secara umum, hubungan keduanya relatif stabil dengan kecenderungan sedikit meningkat. Nilai K_r terendah terjadi pada Februari saat LLWL -0,74 m sebesar 0,865, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada Desember meskipun LLWL berada pada nilai yang sama, yaitu 1,177. Pada Juni dengan LLWL -0,78 m, K_r tercatat 0,970, dan pada September dengan LLWL -0,75 m, K_r sebesar 0,995. Pola ini menunjukkan bahwa perubahan K_r tidak sepenuhnya sebanding dengan fluktuasi LLWL, yang mengindikasikan adanya pengaruh faktor lain seperti arah dan energi gelombang serta karakteristik morfologi dasar laut terhadap proses refraksi gelombang.

4 | KESIMPULAN

Hasil analisis terhadap karakteristik gelombang laut di wilayah Pulau Gusung mengindikasikan adanya fluktuasi musiman yang cukup mencolok. Dalam kurun waktu lima tahun terakhir (2019–2023), pola gelombang yang terbentuk menunjukkan konsistensi sesuai musim. Tinggi gelombang tercatat berada dalam rentang 0,15 meter hingga 2,25 meter, dengan puncak tertinggi terjadi pada Januari 2023, sedangkan

nilai terendah tercatat pada April 2022. Secara umum, gelombang paling tinggi muncul pada awal dan akhir tahun. Adapun periode gelombang berkisar antara 2,38 detik hingga 6,82 detik, di mana periode terpanjang terjadi pada tahun 2021 bertepatan dengan puncak tinggi gelombang.

Berdasarkan analisis, baik pada kondisi HHWL maupun LLWL dengan nilai yang sama (0,74 m untuk HHWL dan -0,74 m untuk LLWL), diperoleh hasil yang berbeda pada Februari 2023 nilai Kr tercatat paling rendah (0,865), sedangkan pada Desember 2023 justru tertinggi (1,177). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan muka air pasang surut tidak selalu berbanding lurus dengan koefisien refraksi gelombang, karena dipengaruhi pula oleh faktor arah datang gelombang, energi, serta morfologi dasar laut.

Daftar Pustaka

- Asranda, A., Wahidin, I., Karim, N. T., Imran, H. Al, & ... (2023). Analisis Gelombang Refraksi Terhadap Pemecah Gelombang (Breakwater) Pantai Tamarunang Kabupaten Jeneponto. *Teknik ...*, 16.
<https://journal.unismuh.ac.id/index.php/hidro/article/view/12475%0Ahttps://journal.unismuh.ac.id/index.php/hidro/article/viewFile/12475/6362>
- Blair Kinsman. (1984). *Wind Waves: Their Generation and Propagation on the Ocean Surface*. (hal. 149).
- Bungin, E R, S Pallu, M A Thaha, and R T Lopa. 2017. "Pengaruh Rangkaian Struktur Tenggelam Tidak Simetris Terhadap Deformasi Gelombang." *Registrasi.Seminar.Uir.Ac.Id*.
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (1984). *Water wave mechanics for engineers and scientists*. <https://doi.org/10.1029/eo066i024p00490-06>
- Gushaf, Y. K. (2015). *Prakiraan Laju Transpor Sedimen Pelabuhan Boom Banyuwangi menggunakan Metode Gelombang Angin*.
- Kusnida, Dida, Mira Yosi, Sonny Mawardi, Joni Widodo, and Lukman Arifin. 2020. "Analisis Proses Sedimentasi Di Tapak Pelabuhan Palabuhanratu-Kabupaten Sukabumi." *Jurnal Geologi Kelautan* 18 (2). <https://doi.org/10.32693/jgk.18.2.2020.673>.
- Muliati, Yati. 2020. *Rekayasa Pantai*. Penerbit Itenas. Bandung. Vol. 1.
- Ningsih, Indri Sulistia, Denny Nugroho S, and Fauzi Budi Prasetyo. 2013. "Analisis Penjalaran Dan Transformasi Gelombang Di Pulau Subi Kecil Kabupaten Natuna Provinsi Kepulauan Riau." *Jurnal Oseanografi* 2 (may 2012): 179–88.
- Pasaribu, R. P., Sewiko, R., & Arifin, A. (2022). Application of The Admiralty Method to Process Tidal Data in the Waters of The Nasik Strait - Bangka Belitung. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 10(1), 146. <https://doi.org/10.35800/jip.v10i1.39719>
- Rika Widianita, Dkk. 2023. "Pemodelan Gelombang Di Teluk Lampung." *AT-TAWASSUTH: Jurnal Ekonomi Islam* VIII (I): 1–19.
- Roni Fitrianto. (2010). *EMODELAN PERUBAHAN GARIS PANTAI SEKITAR JETTY DI PELABUHAN PENDARATAN IKAN (PPI) GLAYEM-JUNTINYUAT, KABUPATEN INDRAMAYU*.
- Sri Wahyuni. (2021). *KARAKTERISTIK GELOMBANG MELALUI DINDING PEMUSAT ENERGI PADA CATCHWATER SHORE PROTECTION-DUAL SLOPE (CSP-DS) MODEL ZIG-ZAG*. 6.
- Tezar, M., Immayunita, M., Mualim, A., Faruq, F., & Prayogo, L. M. (2023). Karakteristik Multitemporal Arus Permukaan Laut di Perairan Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research) (J-Tropimar)*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.30649/jrkt.v5i1.53>
- Triatmodjo, B. (1999). *Buku Teknik Pantai*. In *Beta Offset* (hal. 1–405).
- Yuwanto, L. (2012). *Pengantar Metode Penelitian Eksperimen*. 295–336.