

Variasi Musiman Tinggi Gelombang Laut di Perairan Pulau Enggano Provinsi Bengkulu

Jeniu Chinci¹, Lizalidiawati*¹, Suhendra² & Anjasman³

¹ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Bengkulu, Bengkulu 38371, Indonesia

² Program Studi Geofisika, FMIPA, Universitas Bengkulu, Bengkulu 38371, Indonesia

³ Stasiun Meteorologi Badan Meteorologi dan Klimatologi, Bengkulu 38213, Indonesia

*Corresponding author: lizalidiawati@unib.ac.id

Received: 2024-06-18. Revised: 2024-08-30. Accepted: 2024-09-30

ABSTRAK

Pulau Enggano merupakan salah satu Pulau terluar Indonesia yang terletak di Perairan Barat Sumatra. Pulau Enggano berbatasan langsung dengan Samudra Hindia yang luas dan dalam sehingga perairannya sangat dinamis. Salah satunya diketahui gelombang laut di perairan ini sangat fluktuatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi musiman tinggi gelombang laut di perairan Pulau Enggano Provinsi Bengkulu. Penelitian ini menggunakan data primer berupa tinggi gelombang laut yang diukur di Pantai Kaana dan data sekunder selama 3 tahun (2021-2023). Pengolahan data menggunakan *software Python Anaconda 3* untuk tampilan 2D dan *Microsoft Excel* untuk tampilan *time series*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif dan kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi gelombang laut di Perairan Pulau Enggano mengalami variasi terhadap musiman terlihat bahwa tinggi gelombang laut maksimum terjadi pada musim timur di bulan Agustus dengan nilai sebesar 1,5-3 m dengan arah dan kecepatan angin sebesar 5-6 m/s dan 7 m/s di area selatan pulau, sedangkan tinggi gelombang laut minimum terjadi pada musim Barat di bulan Desember dengan nilai sebesar 1-2 m dengan arah dan kecepatan angin sebesar 1-2 m/s bertiup ke arah utara dan barat pulau.

Kata kunci : Pulau Enggano, variasi musiman, tinggii gelombang laut, kecepatan angin

ABSTRACT

Enggano Island is one of Indonesia's outermost islands located in the waters west of Sumatra. Enggano Island is directly adjacent to the vast and deep Indian Ocean so that the waters are very dynamic. One of them is known that the sea waves in these waters are very volatile. This study aims to find out the seasonal variation of sea wave height in the waters of Enggano Island, Bengkulu Province. This study uses primary data in the form of sea wave height measured at Kaana Beach and secondary data for 3 years (2021-2023). Data processing uses Python Anaconda 3 software for 2D display and Microsoft Excel for time series display. The methods used in this study are descriptive and quantitative methods. The results of the study show that the sea wave height in the waters of Enggano Island varies seasonally, it can be seen that the maximum sea wave height occurs in the eastern season in August with a value of 1.5-3 m with a wind direction and speed of 5-6 m/s and 7 m/s in the southern area of the island, while the minimum wave height occurs in the western season in December with a value of 1-2 m with a wind direction and speed of 1-2 m/s blowing towards the North and West of the island.

Keywords : Enggano Island, seasonal variation, high sea waves, wind speed

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan kepulauan terbesar di dunia yang terletak di antara dua Benua yaitu Benua Asia dan Benua Australia, serta di antara dua Samudra, yaitu Samudra Hindia dan Samudra Pasifik dan memiliki populasi lebih dari 17.000 Pulau yang tersebar di seluruh perairan Nusantara. Dari berbagai pulau tersebut, Indonesia juga memiliki pulau-pulau kecil terluar yang kaya akan sumber daya alam (Modeong *et al.*, 2020). Indonesia merupakan negara maritim sehingga laut menjadi salah satu jalur transportasi yang memegang peranan penting sebagai penghubung antar

pulau. Aktivitas yang dilakukan di laut sangat bergantung pada kondisi cuaca maritim antara lain angin dan gelombang (Wardhani *et al.*, 2021).

Pulau Enggano merupakan salah satu pulau terluar Indonesia yang terletak di Samudra Hindia (Usmaya & Muliati, 2018). Pulau Enggano secara administratif masuk ke wilayah Kabupaten Bengkulu Utara, Propinsi Bengkulu dengan luas sebesar $\pm 400,6 \text{ km}^2$ dan berbatasan langsung dengan Samudra Hindia. Gelombang merupakan salah satu faktor utama dalam pelayanan informasi cuaca laut (*Laut Weather Service*). Secara umum gelombang laut yang ditimbulkan oleh angin mempunyai ciri-ciri gelombang tertentu yang dipengaruhi oleh angin, misalnya semakin kuat kecepatan angin maka semakin besar pula kecepatan dan panjang gelombangnya (Zamdial *et al.*, 2020).

Pulau Enggano memiliki iklim basah tropis yang sangat dipengaruhi oleh laut. Menurut zona Agroklimat Oldeman, iklim di Pulau Enggano termasuk zona Agroklimat B-1, dengan curah hujan pada bulan kering lebih dari 100 mm, sedangkan pada bulan basah lebih besar dari 200 mm. Curah hujan tahunan di Pulau Enggano cukup tinggi yaitu diatas 3.230 mm setiap tahunnya. Kelembaban nisbi umumnya diatas 80%, sedangkan suhu udara berkisar antara 24°C sampai 34°C (Agustini *et al.*, 2016).

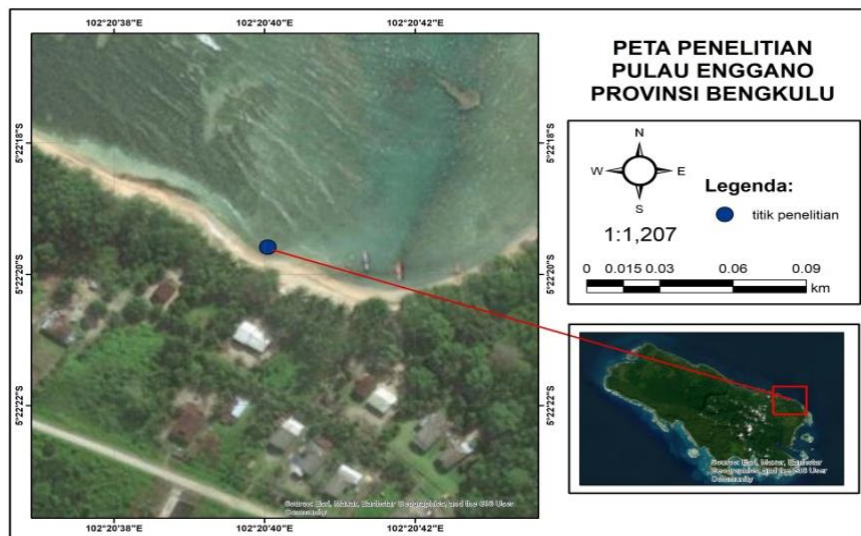
Gelombang laut adalah fenomena permukaan yang naik dan turun secara vertikal sehingga membentuk kurva laut yang sinusoidal (Kasmawati *et al.*, 2020). Teori yang paling sederhana adalah teori Gelombang *Airy*, disebut juga teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil, pertama kali diperkenalkan oleh George Biddell Airy pada tahun 1845 (Mulyabakti *et al.*, 2016). Tingkat bahaya gelombang laut menurut BMKG mempunyai beberapa kriteria, yakni 1,25–2 m berbahaya bagi kapal nelayan, 2–3 m berbahaya bagi kapal nelayan dan tongkang, 3–4 m berbahaya bagi kapal nelayan, tongkang dan kapal Ferry, lebih dari 4 m berbahaya bagi semua kapal. Salah satu faktor pembangkit gelombang yaitu faktor angin yang dipengaruhi oleh arah angin dan kecepatan angin. Faktor-faktor tersebut sulit dihitung dan diprediksikan secara manual karena kondisi angin terus berubah-ubah setiap saat (Rahmadani *et al.*, 2019). Menurut Dero *et al.*, 2022 aturan umumnya angin adalah energi yang terjadi karena perbedaan suhu dan tekanan udara. Angin bergerak dari suhu rendah ke suhu tinggi atau daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Perbedaan tekanan secara spasial disebabkan oleh berbagai macam faktor, namun diantara faktor-faktor tersebut, perbedaan temperatur merupakan faktor yang sangat dominan (Wahid, 2017). Posisi Indonesia juga di antara dua Benua Asia dan Austrasia menjadikannya tidak lepas dari pengaruh monsun. Angin monsun memiliki persistensi dalam arah dan kecepatannya sekitar periodik 3 bulan mengikuti peredaran matahari (Habibie & Fitria, 2019).

Menurut Labania *et al.*, 2018 pergerakan angin monsoon yang berasal dari arah Barat laut atau (tenggara) yang dikenal sebagai angin musim. Pada bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF) disebut musim Barat, sedangkan bulan Juni, Juli, dan Agustus (JJA) disebut musim Timur. Kemudian angin yang bertiup periode bulan Mei hingga Oktober berasal dari arah Tenggara ke Barat laut dan mencapai puncaknya pada bulan juni hingga agustus. Sebaliknya pergerakan angin pada periode bulan November hingga April berasal dari Barat laut ke Tenggara dan mencapai puncaknya pada bulan Desember hingga Februari (Nontji, 2005). Pada bulan Maret, April, dan Mei (MAM) serta September, Oktober, dan November (SON) disebut musim peralihan I dan II dimana angin bertiup tidak menentu dan masih dipengaruhi angin musim sebelumnya. Angin yang berhembus di atas permukaan air yang semula tenang akan menyebabkan gangguan pada permukaan tersebut, selanjutnya timbul riak-riak gelombang kecil di atas permukaan air. Fenomena ini terjadi karena energi angin ditransfer ke permukaan air, sehingga menimbulkan gerakan naik turun pada permukaan air (Pratama *et al.*, 2019). Menurut Napitupulu *et al.*, 2023, gaya yang menyebabkan perubahan garis pantai ditimbulkan oleh dorongan angin di atas permukaan laut dan sebagian lagi oleh tekanan tangensial pada partikel air.

Letak perairan Pulau Enggano yang berhadapan langsung dengan Samudra Hindia memiliki kecepatan angin yang kuat sehingga mengakibatkan gelombang tinggi yang cukup sering terjadi. Gelombang tinggi mempengaruhi aktivitas transportasi kapal menuju Pulau Enggano. Oleh karena itu, diperlukan analisis mengenai tinggi gelombang laut di perairan Pulau Enggano dan pola sebaran tinggi gelombang laut dua dimensi (2D) untuk mengetahui sifat kejadiannya. Selain itu, informasi tentang tinggi gelombang laut di Pulau Enggano diperlukan untuk pelayaran yang menuju pulau tersebut. Informasi tentang cuaca iklim laut di Pulau Enggano ini perlu karena pada waktu-waktu tertentu terjadi gelombang ekstrim, yang dapat membahayakan pelayaran untuk menuju pulau tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi musiman tinggi gelombang laut di perairan Pulau Enggano Provinsi Bengkulu. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data dari citra satelit dan dilakukan pengolahan data menggunakan *software Python Anaconda* dan *Microsoft Excel*.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data tinggi gelombang laut primer diambil dengan koordinat -5.37° LS, 102.34° BT seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 1). Pengukuran tinggi gelombang laut menggunakan *Tide Gauge* yang diukur selama 5 hari dari tanggal 21 hingga 25 Juli 2023 dengan interval 1 menit. Data sekunder berupa data arah dan kecepatan angin, suhu serta densitas diperoleh dari https://data.marine.copernicus.eu/viewer/expert?view=layers&dataset=GLOBAL_ANALYSISFORECAST_PHY_00_024, data tinggi gelombang laut diperoleh dari https://data.marine.copernicus.eu/viewer/expert?view=layers&dataset=GLOBAL_ANALYSISFORECAST_WAV_001_027 yang digunakan selama 3 tahun (2021-2023) karena untuk mengetahui variasi musiman perubahan tinggi gelombang laut di wilayah Pulau Enggano memerlukan data-data tersebut. Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan *software Python Anaconda* dan *Microsoft Excel* untuk menampilkan grafik.



Gambar 1. Daerah Penelitian, titik biru mewakili perairan Desa Kaana Pulau Enggano

Pengolahan Data

Data primer yang diperoleh dari lapangan berupa tinggi gelombang laut yang diukur menggunakan peralatan *Tide Gauge* dengan interval 1 menit selama 5 hari dari tanggal 21 hingga 25 Juli 2023. Pengolahan data tinggi gelombang laut menggunakan *Microsoft Excel* untuk menghasilkan grafik variasi ketinggian gelombang di perairan pantai Pulau Enggano. Sementara itu, data sekunder yang diperoleh meliputi arah dan kecepatan angin, suhu, densitas, tinggi gelombang dan energi gelombang. Pengolahan data sekunder ini menggunakan *Python Anaconda* dan disajikan dalam bentuk grafik 2D.

Arah Angin

Data angin maksimum bulanan selama 3 tahun yaitu tahun 2021 hingga 2023 digunakan untuk menganalisis sifat-sifat gelombang laut di perairan Pulau Enggano. Data angin berasal dari situs *Marine Copernicus*. Angin regional merupakan jenis sirkulasi angin periodik yang berubah secara musiman pada wilayah peredaran yang luas, yaitu antara samudra dan benua (Wardhani *et al.*, 2021). Jika tekanan udara berubah secara mendatar, angin akan terjadi karena massa udara berpindah dari tekanan udara tinggi ke tekanan udara rendah (Dero *et al.*, 2022). Klasifikasi kecepatan angin dilakukan dengan tujuan menghitung frekuensi terjadinya angin dengan kecepatan maksimum. Selain itu, arah angin juga dikategorikan berdasarkan empat musim yang berbeda, yaitu musim barat, musim timur, musim peralihan I, dan musim peralihan II (Threcia H. & Darmawan, 2018). Berdasarkan hasil klasifikasi kecepatan angin maksimum dan arah angin yaitu distribusi frekuensi masing-masing kecepatan dan arah angin dapat dijelaskan dalam bentuk grafik 2D.

Suhu dan Densitas

Menurut Zulfikar *et al.*, 2018 informasi mengenai suhu permukaan laut penting karena berkaitan erat dan berinteraksi dengan iklim. Faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan suhu antara lain radiasi matahari, posisi matahari, letak geografis, musim, kondisi awan, proses interaksi air-udara, penguapan, dan hembusan angin. Sementara itu, densitas adalah massa air laut per satuan volume. Nilai densitas air laut biasanya berkisar antara 1020 dan 1070 kg/m³. Simbol yang digunakan untuk menyatakan densitas adalah ρ . Kadar garam otomatis mempengaruhi densitas air laut, semakin tinggi konsentrasi garam dalam larutan maka semakin tinggi pula densitas (Yanti *et al.*, 2023). Suhu dan densitas merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi energi gelombang laut. Pengolahan data suhu dan densitas menggunakan *software Python Anaconda*. Hasil analisis rata-rata perubahan suhu dan densitas dapat dilihat dalam bentuk gambar 2D.

Perhitungan Tinggi Gelombang Signifikan

Ketinggian Gelombang Signifikan (*Significant Wave Height*), H_s merupakan parameter yang paling sering digunakan untuk menggambarkan keadaan tinggi gelombang laut di suatu perairan. Secara umum kondisi gelombang dapat diperkirakan melalui gelombang tertinggi dalam medan gelombang lautnya (Abdulkadir *et al.*, 2019). Dari data tinggi gelombang laut dapat diperoleh nilai H_s yaitu tinggi gelombang laut rata-rata dari sepertiga gelombang laut tertinggi. Rata-rata tinggi gelombang laut terbesar dari sepertiga ($H_{1/3}$) inilah yang kemudian disebut tinggi gelombang signifikan (H_s), yang mencirikan suatu keadaan tinggi gelombang laut tertentu. Perhitungan data untuk memperoleh tinggi gelombang signifikan menggunakan (Putri *et al.*, 2022) persamaan 1.

$$H_s = H_{33\%} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (1)$$

$n = 33,3\% \times \text{jumlah data}$

dengan

H_s = tinggi gelombang signifikan (m)

n = jumlah data

Perhitungan Energi Gelombang Laut

Energi total suatu gelombang laut merupakan penjumlahan energi kinetik dan energi potensial. Energi kinetik adalah energi yang ditimbulkan oleh kecepatan partikel air akibat gerak gelombang laut, sedangkan energi potensial adalah energi yang ditimbulkan oleh pergerakan permukaan air akibat adanya gelombang laut (Aswad *et al.*, 2021). Energi gelombang laut dan energi rata-rata dihitung dengan persamaan 2.

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (2)$$

dengan

ρ = rapat massa, (kg/m³)

g = percepatan gravitasi, (m/s²)

H = tinggi gelombang, (m)

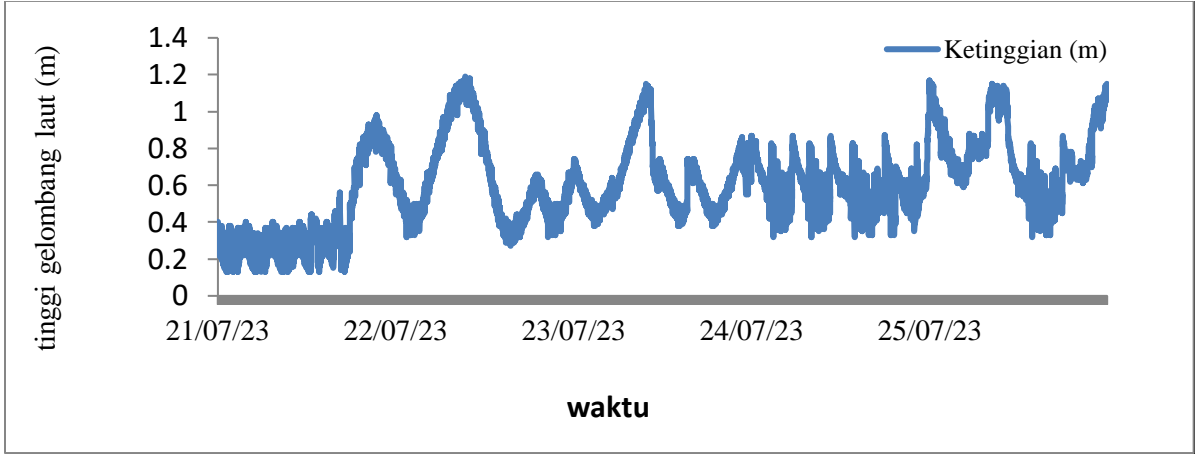
E = energi gelombang laut, (J/m²)

Analisis Hasil

Metode kuantitatif dan deskriptif digunakan dalam analisis data penelitian ini. Metode kuantitatif adalah metode analisis data berupa nilai atau angka dari seluruh parameter yang diteliti yaitu tinggi gelombang laut, kecepatan dan arah angin, densitas, suhu, serta perhitungan gelombang laut signifikan dan energi gelombang laut. Sedangkan metode deskriptif adalah mendeskripsikan data hasil pengolahan dalam bentuk grafik *time series* dan 2D. Data arah dan kecepatan angin, suhu, tinggi gelombang laut, energi gelombang laut yang diperoleh dengan pengolahan *Python Anaconda* direpresentasikan dalam grafik dua dimensi. Selanjutnya, data tinggi gelombang laut yang diukur di lapangan dengan alat *Tide Gauge* ditampilkan secara grafik *time series* dengan menggunakan *Microsoft Excel*.

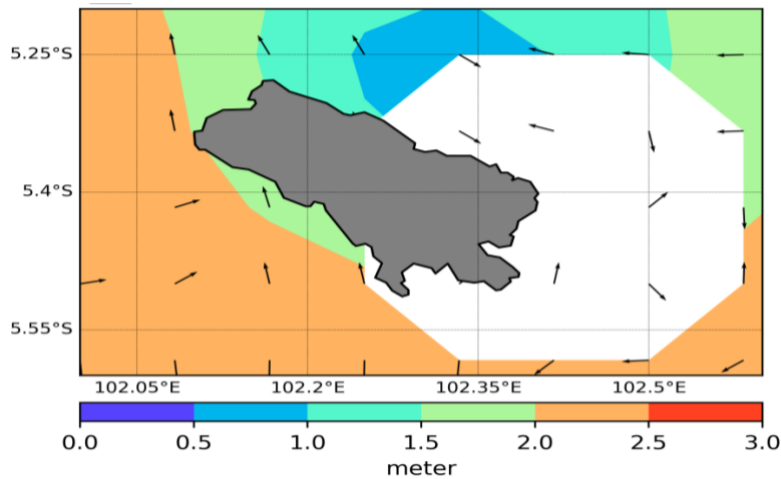
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran tinggi gelombang laut primer pada tanggal 21 hingga 25 Juli 2023 di perairan Pulau Enggano Desa Kaana seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 2). Pengukuran pertama pada tanggal 23 Juli 2024 memiliki rata-rata yang sama. yaitu 0,63 m dimana rata-rata tiap 6 jam pengukuran yaitu, 0,54; 0,84; 0,56 dan 0,59 m dengan nilai tertingginya yaitu 1,12 m terjadi pada 6 jam kedua yang memiliki rata-rata paling tinggi.



Gambar 2. Tinggi gelombang laut di Perairan Kaana Pulau Enggano

Tinggi gelombang laut pada tanggal 24 Juli 2024 memiliki rata-rata yang lebih rendah dari hari sebelumnya berkisar 0,57 m. Tinggi gelombang rata-rata pada hari tersebut relatif sama, yaitu 0,6; 0,58; 0,52 dan 0,59 m pada tiap 6 jam pengukuran. Pada tanggal 25 Juli 2024, tinggi gelombang memiliki rata-rata yang paling tinggi yaitu 0,76 m dengan nilai puncaknya 1,17 m. Pada hari tersebut rata-rata tiap 6 jam pengukurannya berkisar 0,81; 0,9; 0,51 dan 1,03 m. Gelombang cenderung rendah di 6 jam ketiga pada pukul 12:00-17:59 yaitu 0,51m hingga 0,65 m. Pada dasarnya rata-rata tinggi gelombang yang diukur terus meningkat dari yang terendah pada 21 Juli 2024 dan yang tertinggi pada 25 Juli 2024. Apabila dirata-ratakan dari keseluruhan pengukuran didapatkan sebesar 0,60 m (Gambar 2).

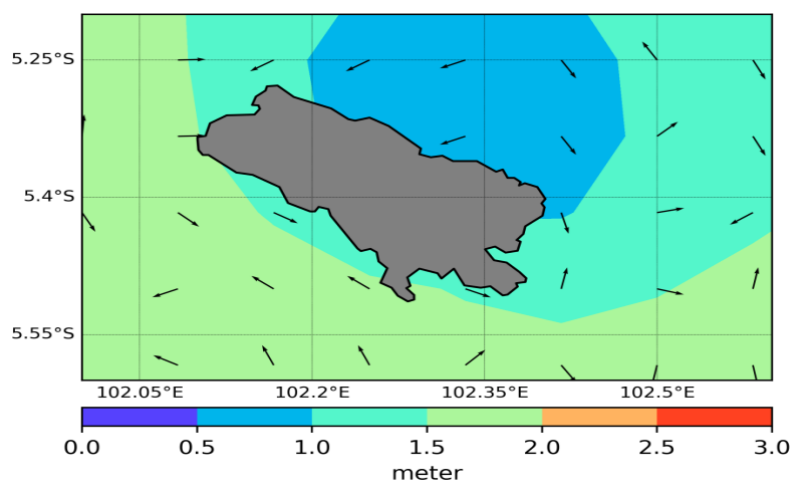


Gambar 3. Rata-rata Tinggi gelombang laut signifikan pada musim Timur (Juli) di Perairan Enggano

Apabila dibandingkan data sekunder tinggi gelombang signifikan selama 3 tahun di wilayah pesisir Perairan Enggano, dapat dilihat bahwa relatif lebih tinggi dibandingkan data primer masing-masing berkisar sebesar 1,5-2 m (data sekunder) dan 0,60 m (data primer) dan nilai maksimum data primer sebesar 1,17 m seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 3).

Grafik Data Sekunder Tinggi Gelombang Signifikan

Analisis tinggi gelombang laut signifikan di wilayah Enggano mulai dari yang terendah pada musim Barat (Desember). Rata-rata tinggi gelombang laut pada bulan Desember memiliki nilai yang relatif lebih rendah, yaitu sebesar 1–2 m dan arahnya bergerak dari Barat ke Timur. Tinggi gelombang laut signifikan dapat ditunjukkan oleh (Gambar 4).

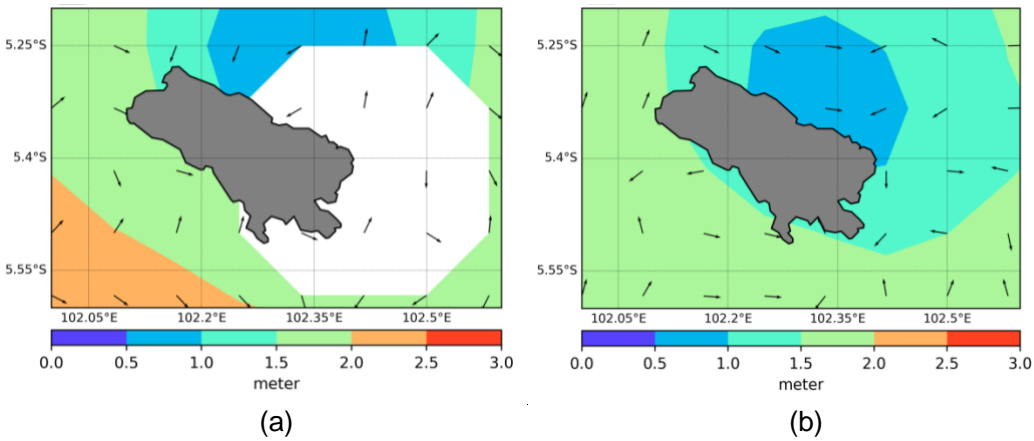


Gambar 4. Rata-rata tinggi gelombang laut signifikan pada musim Barat (Desember) di Perairan Enggano

Gelombang laut cenderung lebih rendah di sisi sebelah Timur Laut dengan kisaran 0,5-1 m pulau daripada di sisi sebelah Barat Daya yang berkisar 1,5-2 m. Tinggi gelombang laut di Perairan Enggano mempunyai variasi dari bulan ke bulan, selama musim Barat (DJF) posisi matahari berada di selatan ekuator sehingga gradien suhu antara Asia dan Australia tinggi, hal inilah yang memicu aktifnya monsun Asia. Arah angin pada saat monsun Asia, bertiup dari benua Asia menuju Australia melintasi Indonesia. Kondisi angin monsun ini mempengaruhi variasi dan karakteristik gelombang laut pada wilayah tertentu. Tinggi gelombang laut sangat dipengaruhi oleh kondisi angin yang bertiup, semakin kuat angin yang bertiup maka akan semakin tinggi gelombang laut yang dibangkitkannya.

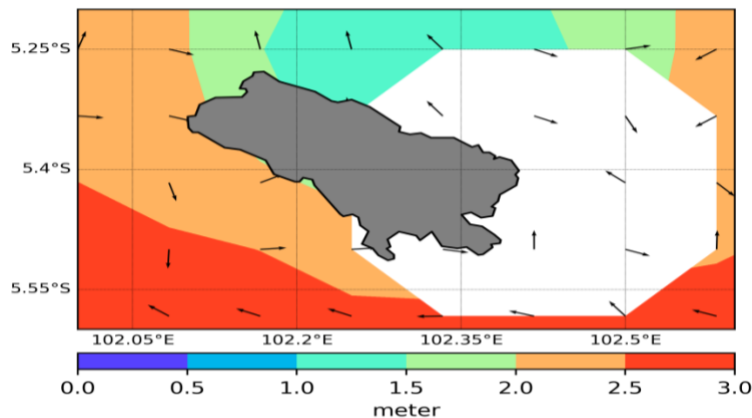
Tinggi gelombang laut pada musim peralihan I (Mei) mulai mengalami kenaikan terutama di arah Barat Daya sebesar 2,5 m seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 5a). Sementara itu, sebagian besar wilayah lainnya memiliki tinggi gelombang laut yang sama seperti bulan sebelumnya. Pada musim peralihan II (November), rata-rata tinggi gelombang laut mulai mengalami penurunan yaitu berada di kisaran 0,5-2 m (Gambar 5b). Tinggi gelombang laut pada bulan Desember cenderung sama dengan bulan November. Arah angin pada bulan November mengalami perubahan, dimana angin bertiup dari Barat dan dibelokkan tidak menentu dikarenakan pengaruh angin monsun transisi yang bertiup menuju Barat.

Pada musim peralihan I (Maret, April, dan Mei) dan musim peralihan II (September, Oktober, dan November) kondisi kecepatan angin di atas perairan Indonesia rendah sehingga gelombang lautnya lebih rendah dibanding dengan musim Barat dan Timur. Pada masa peralihan ini posisi matahari berada di sekitar wilayah ekuator, dengan demikian gradien suhu antara Asia dan Australia tidak besar sehingga kecepatan angin dari kedua benua yang melintasi Indonesia relatif rendah.



Gambar 5. Rata-rata Tinggi gelombang laut signifikan di Perairan Enggano pada (a) musim peralihan I (Mei), (b) musim peralihan II (November)

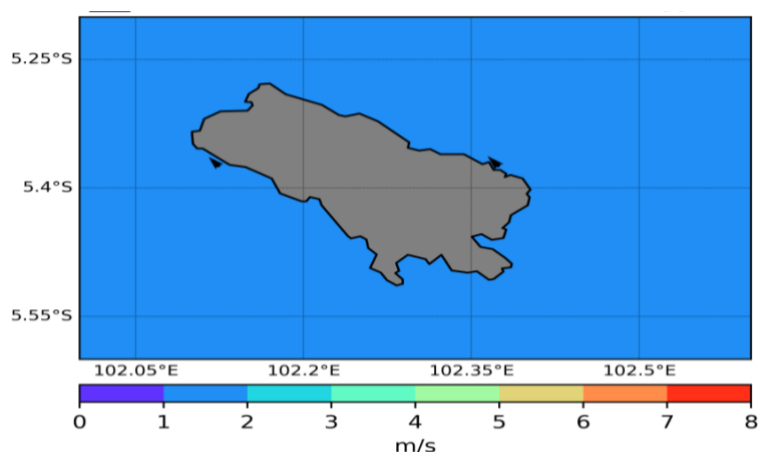
Puncak tertinggi rata-rata tinggi gelombang laut signifikan memasuki musim Timur (Agustus) mengalami kenaikan secara signifikan antara 1,5–3 m seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 6). Gelombang laut sangat tinggi di daerah Barat Daya dengan kisaran sebesar 2,5-3 m, di arah utara memiliki rata-rata 1–2 m. Pada musim Timur (Juni, Juli, dan Agustus), tinggi gelombang laut umumnya meningkat karena pada musim tersebut sedang aktif monsun Australia dimana angin bertiup secara konsisten dari Australia menuju Asia melintasi Indonesia sehingga menyebabkan gelombang laut di Indonesia juga tinggi.



Gambar 6. Rata-rata Tinggi gelombang laut signifikan pada musim Timur (Agustus) di Perairan Enggano

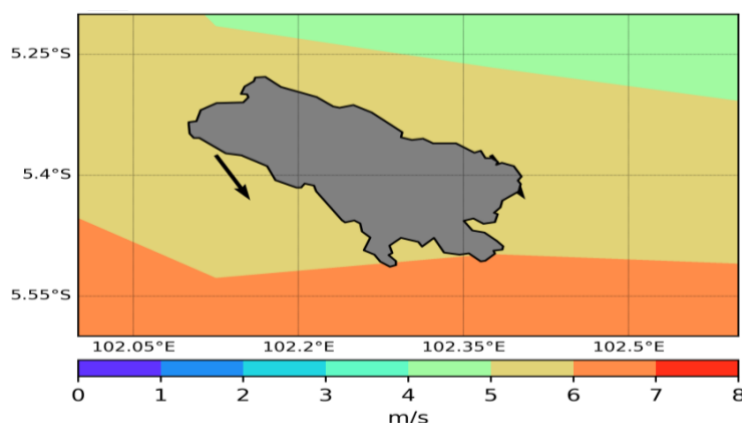
Arah dan Kecepatan Angin

Hasil analisis arah dan rata-rata kecepatan angin terendah pada musim Barat bervariasi musiman kecepatan angin terendah terjadi pada musim Barat, dilihat dari rata-rata kecepatan dan arah angin yang bertiup di perairan Enggano, pada bulan Desember ini angin lebih banyak bertiup ke arah Utara dan Barat dengan kecepatan antara 1-2 m/s seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 7). Selama musim Timur posisi matahari berada di selatan ekuator sehingga gradien suhu antara Asia dan Australia tinggi, hal inilah yang memicu aktifnya monsun Asia. Arah angin pada saat monsun Asia, bertiup dari benua Asia menuju Australia melintasi Indonesia.



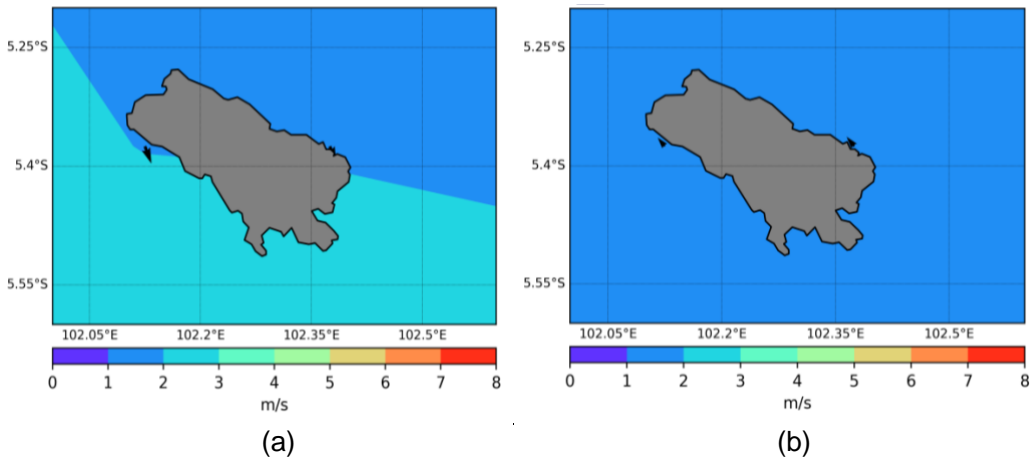
Gambar 7. Rata-rata arah dan kecepatan angin musim Barat (Desember) di Perairan Enggano

Hasil analisis arah dan kecepatan angin tertinggi pada musim Timur bulan Agustus dengan nilai berkisar 4-7 m/s seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 8). Selama bulan Agustus di wilayah Indonesia memasuki musim Timur, dimana pada bulan ini angin Monsun Australia bertiup dari Tenggara menuju ke Barat, pada gambar terlihat bahwa arah angin menuju ke arah sebaliknya yaitu Tenggara. Arah angin memiliki pola yang sama dengan bulan Juni dan Juli, dimana angin bertiup ke arah Tenggara dengan rata-rata kecepatan angin sebesar 4-5 m/s di Utara hingga Timur Laut, di area pertengahan sebesar 5-6 m/s dan 7 m/s di area Selatan Pulau. Pada bulan ini gelombang laut sedang mengalami puncak peningkatan tinggi gelombang laut.



Gambar 8. Rata-rata arah dan kecepatan angin musim Timur (Agustus) di Perairan Enggano

Kondisi kecepatan angin berubah-ubah di setiap bulan. Musim peralihan I pada bulan Mei, arah angin di perairan menuju Barat laut pada umumnya berkisar antara 2-3 m/s di sisi Selatan dan 1-2 m/s di sisi Utara seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 9a). Arah angin mengalami pembelokkan ke bawah sehingga mengakibatkan gelombang laut yang dihasilkan rendah. Ketika memasuki musim peralihan II yang terjadi pada bulan November, rata-rata tinggi gelombang laut mengalami penurunan dengan nilai berkisar 0,5-2m seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 9b). Arah angin bulan November terjadi perubahan, dimana angin bertiup dari Barat dan dibelokkan tidak menentu dikarenakan karena pengaruh angin Monsun Australia yang bertiup menuju Barat. pada musim peralihan I dan II bulan (Maret April, dan Mei) dan (September, Oktober, dan November), kondisi kecepatan angin di atas perairan Indonesia rendah dibanding dengan musim Barat dan Timur. Masa peralihan ini posisi matahari berada di sekitar wilayah ekuator, dengan demikian gradien suhu antara Asia dan Australia tidak besar sehingga kecepatan aliran angin dari kedua Benua yang melintasi Indonesia rendah.

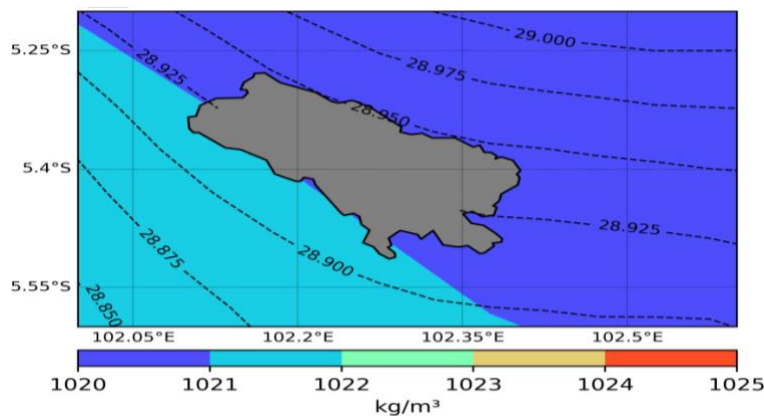


Gambar 9. Rata-rata arah dan kecepatan angin di Perairan Enggano pada (a) musim peralihan I (Mei), (b) musim peralihan II (November)

Menurut Wardhani *et al.*, 2021 kecepatan angin tertinggi ketika memasuki musim Barat dan musim Timur, sedangkan kecepatan angin melemah ketika memasuki musim peralihan. Hal ini disebabkan karena selama musim Barat, tekanan tinggi di Benua Asia dan tekanan rendah di Benua Australia, sehingga angin bergerak dengan kecepatan tinggi dan arah yang dominan dari Benua Asia menuju Benua Australia melalui wilayah Indonesia.

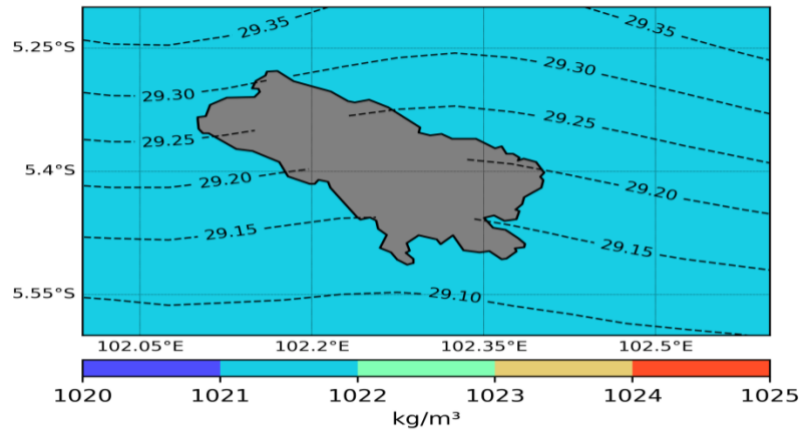
Suhu Dan Densitas

Suhu dan densitas merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pembangkitan energy gelombang laut. Hasil analisis musim Barat, kondisi densitas pada bulan Januari berkisar antara 1021-1022 kg/m³ di arah Barat Daya dan 1020-1021 kg/m³ di arah Timur Laut, yang mana suhunya semakin menurun berkisar antara 28-29 °C seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 10). Diketahui suhu yang lebih rendah menyebabkan densitas semakin tinggi begitupun sebaliknya. Selama musim Barat (DJF) posisi matahari berada di selatan ekuator sehingga gradien suhu antara Asia dan Australia tinggi. Arah angin pada saat monsun Asia, bertiup dari Benua Asia menuju Australia melintasi Indonesia. Kondisi ini yang mempengaruhi variasi dan karakteristik gelombang laut yang ada.



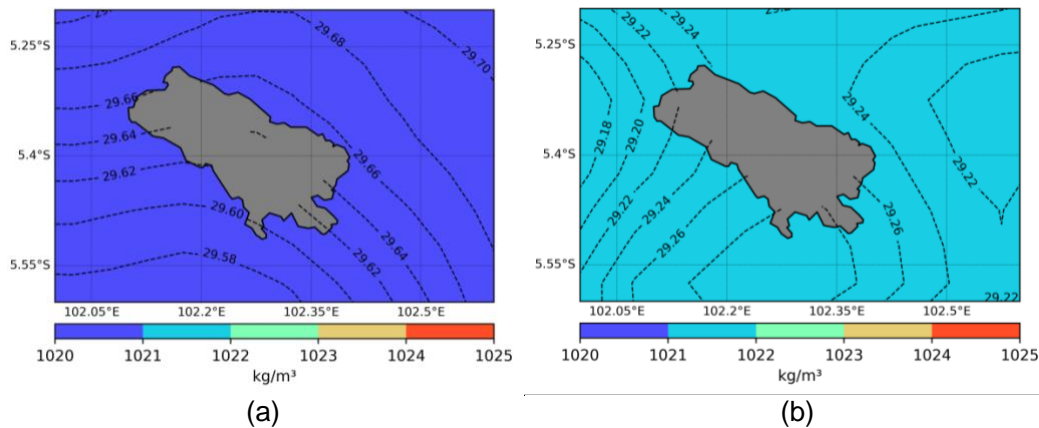
Gambar 10. Rata-rata suhu dan densitas musim Barat (Januari) di Perairan Enggano

Suhu dan densitas mulai meningkat memasuki musim Timur menuju musim peralihan II, yakni pada bulan Agustus, suhu dan densitas memiliki pola yang berbeda dengan bulan Juni dan Juli, dimana persebaran suhunya juga berbeda ke arah Utara, rata-rata suhunya menurun sebesar 29,10 °C. Densitasnya meningkat sedikit ke 1022 kg/m³ seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 11). Dikarenakan musim nya mengalami peralihan ke musim Barat, maka suhunya cenderung menurun dengan densitas yang meningkat. Distribusi nilai densitas tidak memiliki perubahan nilai yang signifikan, hanya terjadi sedikit perbedaan nilai densitas antara musim Barat dan musim Timur. Nilai densitas pada musim Barat berkisar antara 1021–1022 kg/m³, sedangkan pada musim Timur berkisar antara 1020 – 1021 kg/m³.



Gambar 11. Rata-rata suhu dan densitas air laut musim timur (Agustus) di Perairan Enggano

Densitas pada musim peralihan I (Maret, April, Mei) berbeda dengan bulan sebelumnya nilai densitas seragam lebih rendah yang berkisar 1020-1021kg/m³. Hasil analisis suhu dapat dilihat pada bulan Mei suhu di perairan pada umumnya meningkat dengan suhu antara 29,58 – 29,70 °C seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 12a). Suhu yang meningkat pada masa peralihan menuju musim Timur menyebabkan densitas yang semakin rendah di area ekuator. Sebaliknya memasuki musim peralihan II densitas pada bulan (September, Oktober, dan November) seragam meningkat berkisar 1021-1022kg³. Namun rata-rata suhu lautnya menurun, dapat dilihat pada bulan September berkisar antara 28,72-29,20 °C seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 12b). Dari bulan sebelumnya yang mana semakin meningkat ke arah Timur Laut. Terlihat bahwa angin lebih lemah di sisi Utara. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh angin monsun Australia sedikit berkurang.



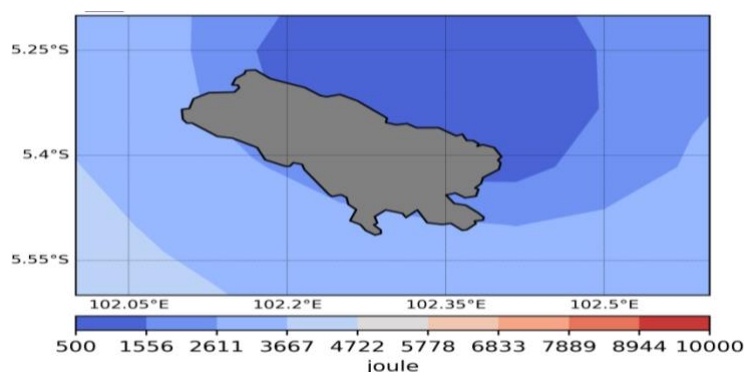
Gambar 12. Rata-rata suhu dan densitas air laut di Perairan Enggano pada (a) musim peralihan I (Mei), (b) musim peralihan II (November)

Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata suhu dan densitas air laut pada musim peralihan I (Maret, April, dan Mei) berkisar 29,58-29,470 °C dan 1020-1021 kg/m³, musim Timur (Juni, Juli, dan Agustus) 29,10-29,725 °C dan 1020-1022 kg/m³ musim peralihan II (September, Oktober, dan Nopember) 28,72-29,26 °C dan 2021-2022 kg/m³, suhu air musim Barat (Desember, Januari, dan Februari) 28,78-29,175 °C dan 1020-1022 kg/m³. Dari data tersebut terlihat rata-rata suhu dan densitas air laut musim Timur lebih tinggi dari musim peralihan I, musim peralihan II dan Musim Barat suhu air lebih rendah, namun densitasnya tinggi. Berbedanya suhu dan densitas air di perairan Pulau Enggano ini diduga karena faktor perbedaan waktu pada setiap musim.

Energi Gelombang

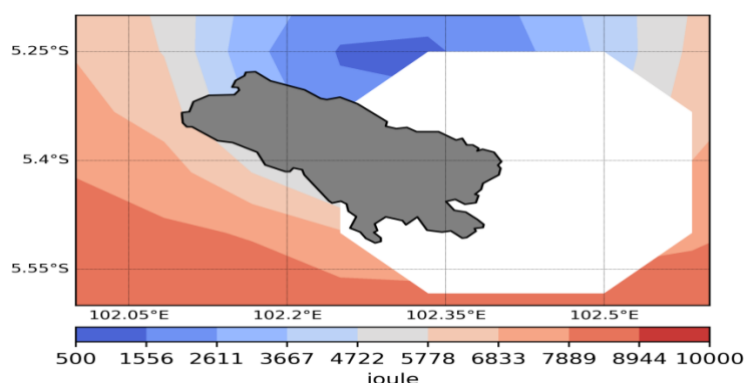
Analisis energi gelombang di wilayah perairan Enggano data yang digunakan selama 3 tahun (2021-2023). Rata-rata energi gelombang pada musim Barat bulan Desember, memiliki energi gelombang yang relatif lebih rendah, dimana energi gelombang bergerak dari arah Timur Laut kemudian menyebar ke Selatan. Mempunyai energi gelombang dari 500-4722 J secara

keseluruhan hasil ditunjukkan pada (Gambar 13), hal ini berkaitan juga dengan tinggi gelombang dimana gelombang yang tinggi disebabkan oleh energi gelombang yang besar.



Gambar 13. Rata-rata energi gelombang laut musim Barat (Desember) di Perairan Enggano

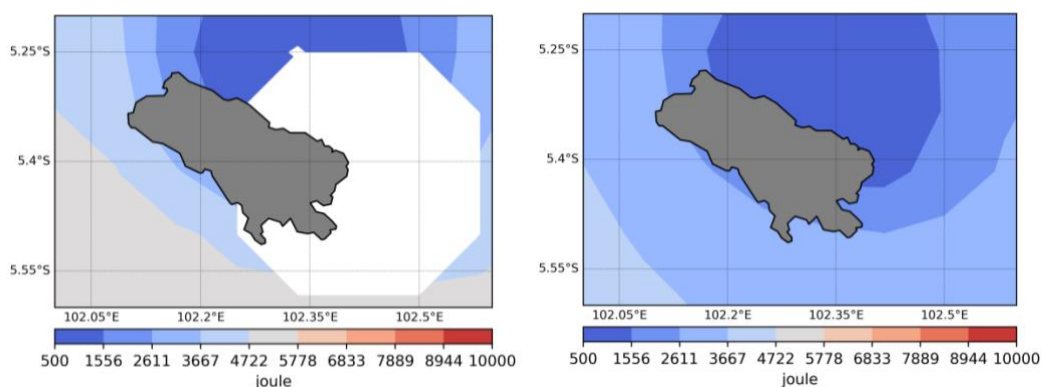
Pada bulan Agustus, perairan mengalami masa peralihan dari musim Barat ke Timur, merupakan puncak energi gelombang yang mengalami kenaikan dengan memiliki 8 tingkatan tinggi antara 500-8944 J seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 14). Semakin melebar pada arah Barat Daya, dengan sebagian besar energi gelombang cenderung sedikit berbeda disetiap tingkatan arah namun mengalami kenaikan dan meluas di arah Barat Daya. Selama bulan Juni memasuki musim Timur, dimana angin mosun Australia bertiup dari arah Tenggara ke Barat. Di area pesisir Selatan energi gelombang laut sangat tinggi dengan bulan sebelumnya yang berkaitan erat dengan tinggi gelombang laut pada bulan Agustus dimana kecepatannya meningkat hingga 8 m/s.



Gambar 14. Rata-rata energi gelombang laut musim timur (Agustus) di Perairan Enggano

Berdasarkan hasil data tersebut, dapat diketahui tinggi gelombang dan energi gelombang laut saling berhubungan. Semakin tinggi gelombang laut yang terbentuk maka energi yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini terbukti dengan tinggi gelombang laut terbesar terjadi pada musim Timur berbanding lurus dengan energi gelombang laut terbesar pada musim Timur terutama bulan Agustus.

Memasuki musim peralihan I pada bulan Mei, gelombang laut mengalami kenaikan dengan memiliki 5 tingkatan yang semakin meningkat terutama di arah Barat Daya sebesar 500-5778 J seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 15a). Yang semakin mendekati ke pesisir dan sebagian besar wilayah lainnya memiliki energi gelombang yang sama seperti bulan sebelumnya.



Gambar 15. Rata-rata energi gelombang laut di Perairan Enggano pada (a) musim peralihan I (Mei), (b) musim peralihan II (November)

Diakhir musim peralihan II energi gelombang laut semakin rendah ke arah Timur menuju pesisir Perairan dapat dilihat pada bulan November, sebesar 500- 4722 J seperti yang ditunjukkan oleh (Gambar 15b). Arah angin bulan November terjadi perubahan, dimana angin bertiup dari Barat dan dibelokkan tidak menentu dikarenakan karena pengaruh angin monsun Australia yang bertiup menuju Barat. Kecepatannya melemah dibandingkan bulan sebelumnya dengan rata-rata 1-2 m/s di seluruh wilayah perairan sehingga menyebabkan energi yang melemah pula.

KESIMPULAN

Kondisi kecepatan angin di Perairan Enggano dari mulai yang terendah pada bulan Desember berkisar 1-2 m/s dengan arah angin yang bertiup ke arah Barat Laut. Kecepatan dan arah angin tertinggi terjadi pada bulan Agustus yang merupakan Musim Timur dengan nilai yang bervariasi 2-3 m/s, 4-5 m/s dan 7 m/s ke arah Tenggara, yang mana semakin ke arah samudra Hindia maka kecepatannya semakin tinggi. Memasuki musim peralihan I dan peralihan II kecepatan angin berkisar antara 2-3 m/s dan 1-2 m/s ke arah Tenggara dan di bulan November 0,5-2 m/s ke arah Barat. Rata-rata suhu dan densitas air laut pada musim peralihan I (Maret, April, dan Mei) berkisar 29,58-29,47 °C dan 1020-1021 kg/ m³, musim Timur (Juni, Juli, dan Agustus) 29,10-29,725 °C dan 1020-1022 kg/ m³, musim peralihan II (September, Oktober, dan November) 28,72-29,26 °C dan 2021-2022 kg/ m³, dan musim Barat (Desember, Januari, dan Februari) berkisar 28,78-29,175 °C dan 1020-1022 kg/ m³. Musim Timur lebih tinggi dari musim peralihan I, musim peralihan II dan musim Barat suhu airnya rendah, namun densitasnya tinggi. Rata-rata energi gelombang pada musim Barat memiliki energi yang relatif rendah berkisar antara 500-4722 J, pada musim Timur merupakan yang tertinggi berkisar antara 500-8944 J terutama pada arah Barat Daya ke arah laut lepas namun tidak terlalu tinggi bila di daerah pesisir. Memasuki musim peralihan I pada bulan Mei, gelombang laut mengalami kenaikan di arah Barat Daya sebesar 500-5778 J Sebaliknya diakhir musim peralihan II energi gelombang laut semakin rendah ke arah Timur menuju pesisir perairan dapat dilihat pada bulan November, sebesar 500-4722 J. Cenderung sama dengan bulan Desember. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tinggi gelombang laut di perairan Pulau Enggano mengalami variasi terhadap musiman terlihat bahwa tinggi gelombang maksimum pada musim tenggara di bulan Agustus dengan nilai sebesar 1,5-3 m sedangkan tinggi gelombang minimum terjadi pada musim Barat di bulan Desember dengan nilai 1-2 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada pihak BMKG Kota Bengkulu dan semua tim peneliti yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkadir, M. Z., Prasetyawan, I. B., Sugianto, D. N., Suryoputro, A. A. D., Setyono, H., & Subardjo, P. 2019. Analisis Spektrum Gelombang Di Perairan Pulau Panjang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 1(1), 26–35. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v1i1.6271>
- Agustini, N. T., Ta'alidin, Z., & Purnama, D. 2016. Struktur Komunitas Mangrove Di Desa Kahyapu Pulau Enggano. *Jurnal Enggano*, 1(1), 19–31. <https://doi.org/10.31186/jenggano.1.1.19-31>

- Aswad, I. A. H., Armono, H. D., Rahmawati, S., Ridwan, A., & Ariefianto, R. M. 2021. Modelling Pemodelan Tinggi Gelombang Untuk Kajian Energi Gelombang Laut Di Perairan Barat Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, 15(2), 75–84.
- Dero, A. I., Abdullah, R. M., & Nuary, Z. A. 2022. Variasi Gelombang, Arus Permukaan, Dan Angin Di Laut Halmahera Bagian Barat. *Jurnal FPIK Universitas Khairun Ternate*, 4(2), 45–53.
- Habibie, M. N., & Fitria, W. 2019. Kajian Indeks Variabilitas Tinggi Gelombang Signifikan Di Indonesia. *Jurnal Segara*, 14(3), 159–168. <https://doi.org/10.15578/segara.v14i3.6650>
- Kasmawati, Indriyanti, & Latif, F. 2020. Pengaruh Porositas Dinding Caisson Terhadap Gaya Seret Gelombang. *Teknik Hidro*, 13(2), 27–38. <https://doi.org/10.26618/th.v13i2.4240>
- Labania, H. M., Sunarto, & Khakhim, N. 2018. Variabilitas Musiman Gelombang dan Arus Laut di Perairan Pantai Lembasada, Kabupaten Donggala. *Gravitas*, 17(1), 1–10.
- Modeong, I., Kalalo, F. P., & Karisoh, F. J. M. M. 2020. *Pengamanan Pulau-Pulau Terluar Indonesia Berdasarkan Hukum Internasional Dalam Upaya Keutuhan Wilayah Negara Republik Indonesia*. 8(3), 130–140.
- Mulyabakti, C., Ihsan Jasin, M., & Mamoto, J. D. 2016. Analisis Karakteristik Gelombang dan Pasang Surut Pada Daerah Pantai Paal Kecamatan Likupang Timur Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 4(9), 585–594. <http://eprints.undip.ac.id/>
- Napitupulu, G., Suprijo, T., Khadami, F., Abdullah, F. A. R., Sesami, H., Poerbandono, Prasetyo, A., Ginting, J., & Simanjuntak, E. 2023. Kajian Perilaku Gelombang Akibat Adanya Struktur Tiang Pancang Silinder Melalui Analisis Spektrum Energi. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 15(1), 13–30. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v15i1.42612>
- Nontji, A., 2005, Laut Nusantara, Cetakan Ketiga, Djambatan, Jakarta.
- Pratama, K. R., Siadari, E. L., & Pratama, B. E. 2019. Respon Kejadian Mesoscale Convective System Dengan Gabungan Model Atmosfer-Oseanografi-Hidrodinamika Terhadap Potensi Gelombang Badai Dan Inundasi Di Area Pesisir Kepulauan Tanimbar. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 6(2), 56–63. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v6i2.124>
- Putri, A. A. K., Diansyah, G., & Putri, W. A. E. 2022. Analisis Tinggi Gelombang Signifikan Berdasarkan Model Wavewatch-III di Pantai Alau-Alau, Kalianda, Lampung Selatan. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 123–130. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.39567>
- Rahmadani, N., Darma Setiawan, B., & Adinugroho, S. (2019). Prediksi Ketinggian Gelombang Laut Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 3(7), 6517–6525. <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Usmaya, A. H., & Muliati, Y. 2018. Analisis Karakteristik Gelombang di Perairan Pulau Enggano, Bengkulu. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 4(2), 94–103. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v4i2.94>
- Wahid, M. A. 2017. *Mengidentifikasi Besar Kecepatan Angin dan Energinya Melalui Data Ncep/Ncar Reanalysis dan 5 Stasiun Bmkg di Provinsi Aceh*. 3(1), 1–10.
- Wardhani, P. A., Widagdo, S., & Prasita, V. D. 2021. Pola Angin dan Kaitannya terhadap Karakteristik Tinggi Gelombang di Perairan Labuan Bajo, NTT. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research) (J-Tropimar)*, 3(1), 34–42. <https://doi.org/10.30649/jrkt.v3i1.37>
- Yanti, D., Fitriani, Rizky, H. M., Norrahimah, & Indah, N. 2023. Fenomena Dua Air Laut Yang Tidak Menyatu Menurut Pandangan Al-Qur'an dan Sains. *Jurnal Religion: Jurnal Agama, Sosial, Dan Budaya*, 1, 1–23.
- Zamdial, Bakhtiar, D., Anggoro, A., Hartono, D., & Muqsit, A. 2020. *Rencana Pengelolaan Dan Zonasi Kawasan Konservasi Perairan Pulau Enggano Provinsi Bengkulu*. 5(1), 23–39.
- Zulfikar, Jaya, Y. V., Pratomo, A., Putra, R. D., & Suhana, M. P. 2018. Variabilitas spasial suhu permukaan laut Pulau Bintang Provinsi Kepulauan Riau pada empat musim berbeda. *Dinamika Maritim*, 6(2), 12–15. <http://ojs.umrah.ac.id/index.php/dinamikamaritim%0Ahttps://www.neliti.com/publications/233825/variabilitas-spasial-suhu-permukaan-laut-pulau-bintang-provinsi-kepulauan-riau-pa>