

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERAMALAN TINGGI GELOMBANG LAUT  
MENGUNAKAN METODE *SHORE PROTECTION MANUAL* (SPM)  
DAN *DARBYSHIRE* DI PANTAI PANGALI-ALI, KABUPATEN MAJENE  
SULAWESI BARAT**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada  
Jurusan Teknik Sipil



**Disusun Oleh:**

**SARMILA**

**D01 21 541**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT  
MAJENE  
2025**

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERAMALAN TINGGI GELOMBANG LAUT  
MENGUNAKAN METODE *SHORE PROTECTION MANUAL* (SPM)  
DAN *DARBYSHIRE* DI PANTAI PANGALI-ALI, KABUPATEN MAJENE  
SULAWESI BARAT**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada  
Jurusan Teknik Sipil



**Disusun Oleh:**

**SARMILA**

**D01 21 541**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT  
MAJENE  
2025**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**ANALISIS PERAMALAN TINGGI GELOMBANG LAUT**  
**MENGGUNAKAN METODE *SHORE PROTECTION MANUAL* (SPM)**  
**DAN *DARBYSHIRE* DI PANTAI PANGALI-ALI, KABUPATEN MAJENE**  
**SULAWESI BARAT**

**SKRIPSI**

Oleh

**SARMILA**

**NIM: D01 21 541**

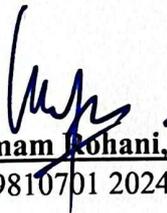
**(Jurusan Teknik Sipil)**

Universitas Sulawesi Barat

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik  
Tanggal 02 Mei 2025

Mengetahui,

Pembimbing 1



**Dr. Ir Imam Rohani, S.T., M.T**  
NIP. 19810701 202421 1 007

Pembimbing 2



**Ir. Yusman, S.Si., M.T**  
NIP. 19910313 202203 1 004

Ketua Jurusan



**Amalia Nurdin, S.T., M.T**  
NIP. 19871212 201903 2 017

Dekan Fakultas Teknik


**Dr. Ir. Hafsah Nirwana, M.T**  
NIP. 19870621 201903 1 007

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Meine, 02 Mei 2025



SARMILA

## ABSTRAK

### ANALISIS PERAMALAN TINGGI GELOMBANG LAUT MENGUNAKAN METODE *SHORE PROTECTION MANUAL* (SPM) DAN *DARBYSHIRE* DI PANTAI PANGALI-ALI, KABUPATEN MAJENE SULAWESI BARAT

SARMILA

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat (2025)

[sarmilaa344@gmail.com](mailto:sarmilaa344@gmail.com)

Gelombang laut merupakan salah satu aspek oseanografi yang penting dalam merencanakan suatu bangunan pantai, penentuan tata letak (layout) pelabuhan, alur pelayaran, dan pengelolaan lingkungan laut. Ada banyak faktor yang mempengaruhi gelombang laut salah satunya ialah kecepatan dan arah angin. Menurut Triatmodjo (2008) gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai. Oleh karena itu dibutuhkan adanya data gelombang sebagai parameter dalam merencanakan bangunan Pantai. Penelitian ini bertujuan untuk 1) mengetahui model distribusi kecepatan angin dan arah angin jam-jaman berdasarkan data angin di Pantai Pangali-ali, Majene periode 10 tahun (2014-2023), 2) mengetahui kecepatan angin maksimum yang diperoleh dalam faktor tegangan angin (wind stress factor) dan 3) menganalisis tinggi gelombang yang diperoleh dengan menggunakan metode SPM dan Darbyshire yang divalidasi dengan data altimetri di Pantai Pangali-ali, Majene. Dalam penelitian ini menggunakan metode *Shore Protection Manual* (SPM) dan Darbyshire dalam menganalisis tinggi gelombang yang terjadi di Pantai Pangali-ali Kabupaten Majene. Hasil penelitian ini menunjukkan arah angin dominan berdasarkan data angin selama 10 tahun (2014-2023) ialah dari arah Tenggara dengan frekuensi kejadian 27,2%. Hasil peramalan tinggi gelombang dengan metode SPM terjadi pada tahun 2014 yaitu sebesar 2,63 m dengan periode gelombang sebesar 7,25 s. Sedangkan dengan metode Darbyshire diperoleh  $H_s$  maksimum sebesar 2,4 m/s dan periode gelombang sebesar 6,8 s terjadi pada tahun 2014.

**Kata kunci:** Peramalan gelombang, SPM, Darbyshire.

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF SEA WAVE HEIGHT FORECASTING USING THE SHORE PROTECTION MANUAL (SPM) AND DARBYSHIRE METHODS AT PANGALI-ALI BEACH, MAJENE DISTRICT, WEST SULAWESI

SARMILA

Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, University Of West Sulawesi (2025)

[sarmilaa344@gmail.com](mailto:sarmilaa344@gmail.com)

*Ocean waves are one of the important aspects of oceanography in planning coastal structures, determining port layouts, shipping routes, and managing the marine environment. There are many factors that influence ocean waves, one of which is wind speed and direction. According to Triatmodjo (2008), waves can generate energy to shape the beach, create currents, and exert forces on coastal structures. Therefore, wave data is needed as a parameter in planning coastal structures. This study aims to 1) determine the hourly wind speed and wind direction distribution model based on wind data at Pangali-ali Beach, Majene over a 10-year period (2014-2023), 2) to determine the maximum wind speed obtained in the wind stress factor and 3) to analyze the wave height obtained using the SPM and Darbyshire methods validated with altimetric data at Pantai Pangali-ali, Majene. In this study, the Shore Protection Manual (SPM) and Darbyshire methods were used to analyze the wave heights occurring at Pantai Pangali-ali, Majene Regency. The results of this study show that the dominant wind direction based on 10 years of wind data (2014-2023) is from the Southeast with an occurrence frequency of 27.2%. The wave height forecast using the SPM method occurred in 2014, measuring 2.63 m with a wave period of 7.25 s. Meanwhile, using the Darbyshire method, a maximum  $H_s$  of 2.4 m/s and a wave period of 6.8 s were recorded in 2014.*

**Keywords:** Wave forecasting, SPM, Darbyshire.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **2.1 Latar Belakang**

Kabupaten Majene yang memiliki bentang alam dengan karakteristik pantai, daratan dan perbukitan menjadi nilai tambah untuk kemajuan Majene kedepan. Potensi laut di Majene yang kaya menyebabkan penduduk di sekitar laut sebagian besar menggantungkan laut sebagai sumber mencari nafkah dan menempati daerah pesisir sebagai pemukiman. Secara geografis, Kabupaten Majene terletak pada posisi 2°38' - 3°38' LS dan 118°45' - 119°4' BT berada di pesisir barat Pulau Sulawesi yang berjarak sekitar 143 km dari ibu kota provinsi Sulawesi Barat, kota Mamuju. Dengan batas wilayah, di sebelah Utara berbatasan dengan kabupaten Mamuju, di sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Polman dan Mamasa, di sebelah Selatan berbatasan dengan Teluk Mandar, dan di sebelah Barat berbatasan dengan Selat Makassar.

Perairan di sekitar Pantai Pangali-ali Majene merupakan kawasan yang sangat penting dalam berbagai aspek kegiatan pemanfaatan ruang pesisir dan laut, mengingat lokasi pantai tersebut yang berdekatan dengan Pelabuhan Majene dan juga pemukiman warga, dimana ramai aktivitas nelayan, sehingga data gelombang sangat penting untuk mengembangkan informasi kondisi gelombang di perairan tersebut. Dengan mengetahui kondisi gelombang maka para nelayan yang melakukan aktivitas di laut akan lebih waspada dan bisa memperhitungkan daerah-daerah yang memiliki gelombang yang tinggi. Informasi kondisi gelombang itu sendiri sangat penting, terutama untuk transportasi laut, pembangunan struktur pantai dan kegiatan penangkapan ikan di laut. Selain itu, data gelombang dapat digunakan dalam perencanaan struktur bangunan pelindung pantai seperti seawall, revetment, breakwater dan lainnya.

Secara umum, gelombang merupakan pergerakan dari permukaan air laut yang disebabkan oleh adanya hembusan dari angin laut. Sementara itu, beberapa alasan pentingnya data gelombang antara lain, dapat digunakan dalam kegiatan maritim,

pembangunan pesisir dan pelindung pantai. Gelombang itu sendiri disebabkan oleh hembusan energi permukaan yang kemudian merambat dan bergerak menuju pantai. Saat gelombang pecah di permukaan laut, tinggi, kecepatan, dan panjangnya akan bertambah.

Semakin panas iklim maka semakin jauh dan semakin cepat angin bergerak. Dalam bidang teknik pantai, gelombang laut didefinisikan sebagai pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, alun/bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang. Gelombang dapat membentuk dan merusak pantai dan berpengaruh pada bangunan-bangunan pantai. Data gelombang laut penting dikaji, terutama di sekitar kawasan pesisir/Pantai karena dapat memberikan dampak langsung, namun menyesuaikan terhadap bentuk pantainya. Laju transportasi sedimen salah satunya dipengaruhi oleh gelombang laut (Astuti et al. 2016). Pada beberapa keadaan, gelombang laut dapat mengakibat abrasi pantai. Seperti di perairan Eretan, karakteristik gelombang laut mampu menyebabkan abrasi pantai mencapai 1,5 m/tahun (Hadikusumah, 2009). Pantai Nampak Utara juga telah terjadi kejadian bencana abrasi sebagai akibat perubahan bentuk gelombang laut (Parauba et al. 2016).

Dalam kehidupan manusia sehari-hari, laut memiliki peran penting. Akan tetapi, untuk beraktivitas di laut, perlu diperhitungkan beberapa aspek yang ada pada laut, salah satunya adalah gelombang laut. Gelombang merupakan salah satu parameter penting yang perlu diketahui dan diperhitungkan. Itulah sebabnya diperlukan pendataan gelombang sebagai parameter dalam merencanakan bangunan pantai. Sayangnya, pengambilan data gelombang di laut secara langsung memiliki tingkat kesulitan teknis yang tinggi dan biaya operasional yang mahal. Tentu saja hal ini dapat berakibat pada fungsionalitas bangunan ataupun system yang diharapkan pada saat tahap perencanaan bangunan tersebut. Itulah sebabnya diperlukan peramalan gelombang laut. Peramalan gelombang sendiri diperlukan

agar mengetahui karakteristik gelombang seperti tinggi, arah, dan durasi gelombang.

Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan metode SPM dan Darbyshire sebagai pendekatan dalam analisis perencanaan dan perlindungan pantai. Metode peramalan gelombang terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan penelitian. Dua metode yang sering digunakan adalah *Shore Protection Manual* (SPM) dan metode Darbyshire. Metode SPM berbasis pada analisis spektrum energi gelombang, sedangkan metode Darbyshire mengadopsi pendekatan empiris yang memanfaatkan hubungan antara parameter meteorologi dan parameter gelombang. Kedua metode ini memiliki kelebihan masing-masing dalam akurasi dan aplikasinya pada kondisi yang berbeda.

Pada penelitian ini digunakan data sekunder berupa data angin yang diperoleh dari situs *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) yang diolah menggunakan WRPlot. Digunakan kedua metode diatas yaitu metode SPM dan Darbyshire dalam melakukan peramalan gelombang di wilayah Pantai Pangali-ali, Majene yang kemudian akan divalidasi dengan menggunakan data altimetri gelombang. Sehingga diangkat penelitian dengan judul “Analisis Peramalan Tinggi Gelombang Laut Menggunakan Metode *Shore Protection Manual* (SPM) dan *Darbyshire* di Pantai Pangali-ali, Kabupaten Majene Sulawesi Barat”.

## **2.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas sebelumnya dan (Wilayah et al., 2024), adapun rumusan masalah yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana model distribusi kecepatan angin dan arah angin jam-jaman berdasarkan data angin di Pantai Pangali-ali, Majene periode 10 tahun (2014-2023)?
- b. Berapa nilai kecepatan angin maksimum yang diperoleh dalam faktor tegangan angin (wind stress factor)?

- c. Berapa nilai tinggi gelombang yang diperoleh dengan menggunakan metode SPM dan Darbyshire yang divalidasi dengan data altimetri di Pantai Pangali-ali, Majene?

### **2.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian peramalan gelombang di perairan Pantai Pangali-ali, Kabupaten Majene yang akan dicapai adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui model distribusi kecepatan angin dan arah angin jam-jaman berdasarkan data angin di Pantai Pangali-ali, Majene periode 10 tahun (2014-2023)
- b. Mengetahui kecepatan angin maksimum yang diperoleh dalam faktor tegangan angin (wind stress factor)
- c. Menganalisis tinggi gelombang yang diperoleh dengan menggunakan metode SPM dan Darbyshire yang divalidasi dengan data altimetri di Pantai Pangali-ali, Majene

### **2.4 Batasan Masalah**

Agar penelitian ini dapat dilaksanakan secara terarah dan terfokus, beberapa batasan penelitian ditetapkan sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini hanya menggunakan metode SPM dan Darbyshire dalam melakukan analisis peramalan gelombang di perairan Pantai Pangali-ali, Kabupaten Majene yang kemudian divalidasi dengan menggunakan data altimetri.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yaitu data angin harian selama 10 tahun (2014-2023) yang diperoleh dari situs CEMWF.

### **2.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah diharapkan mampu mendapatkan informasi mengenai metode peramalan dengan menggunakan metode SPM dan Darbyshire sehingga diketahui ketinggian gelombang yang terjadi dari kedua metode tersebut. Selain itu, metode ini diharapkan mampu menghasilkan nilai peramalan tinggi gelombang dengan akurasi tinggi sehingga dapat membantu dalam proses perencanaan tata ruang di wilayah perairan Majene.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Berikut ini merupakan penelitian terdahulu yang digunakan sebagai pembandingan dalam menyelesaikan penelitian ini.

a. **(Fauzi & Muliati, 2021) Peramalan Gelombang dengan Metode SPM dan Darbyshire dengan Data Altimetri di Pantai Monse, Pulau Wowoni Sulawesi Tenggara**

Hasil analisis distribusi kecepatan angin selama 10 tahun diperoleh angin dominan yaitu pada arah timur laut (North East) sebesar 14,86% dari 87647 frekuensi kejadian. Nilai tinggi gelombang dan periode gelombang signifikan per hari tertinggi berada pada tahun 2017 sebesar 0,7670 meter dan 4,6111 detik. Peramalan tinggi gelombang menggunakan metode Darbyshire selama 1 tahun menggunakan data angin tahun 2017 menghasilkan tinggi gelombang signifikan per hari sebesar 0,679 meter dan periode signifikan per hari sebesar 4,6 detik. Kemudian diperoleh pula angka koreksi dengan metode SPM yang divalidasi dengan data Altimetri yaitu sebesar 0,0689 dan dengan metode Darbyshire sebesar 0,0995. Dapat disimpulkan dari hasil tersebut, dengan faktor koreksi yang mendekati 1 adalah yang paling baik, maka metode Darbyshire yang paling mendekati dengan Altimetri

b. **(David et al., 2022) Penggunaan Data Historis Klimatologi dalam Peramalan Gelombang Laut di Perairan Sorong Provinsi Papua Barat**

Hasil penelitian diperoleh tinggi gelombang maksimum selama 10 tahun pencatatan berdasarkan data angin setinggi 1,13 meter dengan periode gelombang selama 4,7 detik yang terjadi pada bulan Januari, berasal dari arah Barat dan tinggi gelombang yang lebih dari 1 meter dominan terjadi pada bulan Januari dengan persentase kejadian sebesar 2 % dari total keseluruhan data. Diperoleh pula persentase gelombang dominan yang terjadi dari arah Selatan sebesar 79,1 % yang terjadi pada bulan Agustus. Hal ini dipengaruhi oleh Panjang Fetch dan banyaknya kejadian angin yang berasal dari 1 arah yaitu arah Selatan.

c. **(Novi et al., 2013) Peramalan Gelombang Pantai Wotunoho dengan Pendekatan Empiris Analisis Data Angin**

Pada penelitian ini diperoleh arah gelombang, tinggi gelombang dominan dan tinggi gelombang maksimum disetiap bulannya. Adapun tinggi gelombang tertinggi diperoleh pada bulan Januari yang terjadi dari arah Barat dengan frekuensi kejadian sebesar 52,51% dan tinggi gelombang dominan adalah >1,0 m – 2,0 m dengan frekuensi kejadian sebesar 62,01 %, serta tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah >4,0 m – 5,0 m dengan frekuensi kejadian 0,56%.

d. **(Barat et al., 2021) Peramalan Gelombang dengan Metode SPM dan Darbyshire di Perairan Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat**

Hasil peramalan metode SPM pada tahun 2016 menghasilkan nilai tinggi dan periode gelombang signifikan terbesar 2,275 m dan 6,448. Sedangkan hasil peramalan metode Darbyshire pada tahun 2016 menghasilkan nilai tinggi dan periode signifikan terbesar 1,672 m dan 5,983 s. validasi tinggi gelombang yang mendekati dengan data pengukuran adalah hasil peramalan metode SPM dengan faktor pengali 1,613 sedangkan dengan metode Darbyshire 2,271. Hasil perbandingan yang mendekati dengan data altimetri adalah hasil peramalan metode SPM dengan faktor pengali 2,363 sedangkan metode Darbyshire 3,151. Disimpulkan bahwa data peramalan dengan metode SPM lebih mendekati dengan data pengukuran dan data altimetri.

e. **(Nurgraha et al., 2021) Analisis Karakteristik Gelombang Menggunakan Metode SPM dan Data Altimetri Perairan Luwuk Seulawesi Tengah**

Secara umum tinggi gelombang maksimum pada perairan Luwuk untuk tahun 2015 dari berbagai peramalan serta data satelit adalah 0,318-1,2 m, dengan periode gelombang 3,625-3,848 detik. Karakteristik gelombang di Perairan Luwuk berdasarkan data tinggi gelombang hasil peramalan menggunakan metode SPM adalah  $H_{maks}$  sebesar 0,534 m ( $T_{maks} = 3,848$  s),  $H_s$  sebesar 0,086 m ( $T_s = 1,292$  s), dan  $H_{rata-rata}$  sebesar 0,034 ( $T_{rata-rata} = 0,647$  s). Karakteristik gelombang di Perairan Luwuk berdasarkan data hasil pemodelan Wave Watch III dari hasil penelitian yang dilakukan Andri Ramdhani (2015) dalam kurun waktu 24 tahun dari 1988-2011 ialah tinggi gelombang rata-rata per bulan yang berkisar antara 0,2 m - 0,4 m.

Tabel 3. 1 Penelitian Terdahulu

No	Nama penulis, tahun penelitian	Nama Penelitian/Judul Skripsi/Jurnal	Perbedaan penelitian		Persamaan
			Terdahulu	Sekarang	
1	Alifian Nugraha Fauzi dan Yati Muliati, 2021	Peramalan Gelombang dengan Metode SPM dan Darbyshire yang Divalidasi dengan Data Altimetri di Pantai Monse, Pulau Wowoni Sulawesi Tenggara	Menggunakan permodelan Wave Watch III	Tidak menggunakan Wave Watch III	Pada penelitian ini semua menggunakan data altimetri untuk memvalidasi data yang telah dianalisis
2	Wiliam David Tan Pembuaian dan Muh. Akhsan, 2022	Penggunaan Data Historis Klimatologi Dalam Peramalan Gelombang Laut di Perairan Sorong Provinsi Papua Barat	Pada penelitian ini menggunakan analisis perhitungan kala ulang dengan metode distribusi Fisher Tippet Type-1 dan metode Weibull.	Pada penelitian ini menggunakan metode SPM dan Darbyshire	Pada penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu data angin.

3	Novi Andhi Setyo Purwono, Ary Sismiani, 2013	Peramalan Kejadian Gelombang Pantai Watunohu dengan Pendekatan Empiris Analisa Data Angin	Pada penelitian ini peramalan gelombang lebih mendetail, dimana menghasilkan arah angin dan tinggi gelombang disetiap bulan.	Hasil berupa tinggi gelombang maksimum terjadi pada rentang waktu 10 tahun (2014-2024)	Pada penelitian ini menggunakan data sekunder (data angin)
4	Nella Evelyn Enjelina, Yati Muliati, 2021	Peramalan Gelombang dengan Metode SPM dan Darbyshire di Perairan Kepulauan Mentawai, Sumatra Barat	Menggunakan data primer berupa data ukur lapangan sebagai acuan dalam memvalidasi hasil yang telah dianalisis	Menggunakan data sekunder yaitu data altimetri yang digunakan untuk memvalidasi hasil ananlisis dari metode SPM dan Darbyshire	Menggunakan metode SPM dan Darbyshire.
5	Debi Nurgraha Ma'sum, Yati Muliati, 2021	Analisis Karakteristik Gelombang Menggunakan Metode SPM dan Data Altimetri Perairan Luwuk Sulawesi Tengah	Pada penelitian ini hasil yang diperoleh cukup luas yaitu diperoleh hasil berupa karakteristik gelombang.	Pada penelitian ini hanya menghasilkan data ketinggian gelombang.	Data yang digunakan ialah data sekunder yaitu data angin berformat NC.

## 2.2 Teori Gelombang Laut

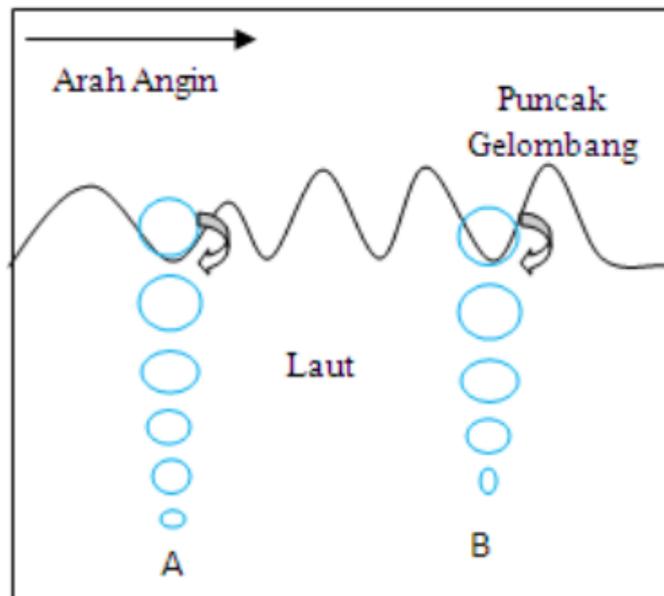
Gelombang adalah suatu fenomena alam dimana terjadinya kenaikan dan penurunan air secara periodik dan dapat dijumpai di semua tempat di seluruh dunia. Gelombang selalu menimbulkan sebuah ayunan air yang bergerak tanpa henti-hentinya pada lapisan permukaan laut dan jarang dalam keadaan sama sekali diam. Susunan gelombang di lautan baik bentuk maupun macamnya sangat bervariasi dan kompleks, sehingga mengakibatkan gelombang ini hampir tidak dapat diuraikan (Baluk et al., 2020). Terdapat beberapa penyebab terjadinya gelombang laut, namun yang paling umum ialah akibat adanya tiupan angin. Gelombang laut tersebut memiliki dimensi berupa periode gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang, serta juga cepat rambat gelombang. Gelombang adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan. Air laut yang membentuk suatu kurva sinusoidal. Bentuk gelombang disebabkan oleh angin di atas lautan mentransfer energi ke perairan dan menyebabkan riak-riak, alun atau bukit (Sistem & Ketinggian, 2017).

Gelombang merupakan salah satu aspek oseanografi yang penting dalam merencanakan suatu bangunan pantai, penentuan tata letak (layout) pelabuhan, alur pelayaran, dan pengelolaan lingkungan laut. Menurut Triatmodjo (2008) gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai. Gelombang biasanya mendekati pantai dengan kedudukan yang membentuk sudut terhadap garis pantai sedemikian rupa, sehingga gelombang menjadi agen pembangkit arus sejajar Pantai (longshore current) sebagai akibat daripengangkutan massa air ke badan pantai (Bengen, 2021).

Gelombang yang bergerak mendekati pantai, semakin dangkal suatu perairan maka gelombang akan semakin bergesekan dengan dasar laut, hal ini menyebabkan pecahnya gelombang. Hal ini menyebabkan terjadinya peristiwa pengadukan yang kemudian membawa material dari dasar pantai. Pengaruh aspek fisika perairan khususnya gelombang terhadap wilayah pesisir merupakan konsekuensi alami. Aktifitas gelombang terhadap wilayah pesisir menyebabkan reaksi terhadap wilayah pesisir tersebut.

(Numeris et al., 2018) menjelaskan bahwa gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam dimana tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah 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 yang terjadi karena adanya letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya. Diantara beberapa macam bentuk gelombang tersebut yang paling penting adalah gelombang angin.

Gelombang angin adalah gelombang yang selalu terdapat di laut atau danau ataupun reservoir. Dengan demikian gelombang angin merupakan gelombang yang sangat penting, terutama terhadap hal – hal yang berkaitan dengan proses morfologi pantai ataupun perencanaan bangunan pantai.(Ii, 1992)



**Gambar 2. 1** Sketsa Gelombang Laut  
(Sumber: Sistem & Ketinggian, 2017)

### 2.3 Pembangkit Gelombang Oleh Angin

Angin yang berhembus diatas permukaan air akan memindahkan energinya ke air dan akan menimbulkan gelombang. daerah dimana gelombang dibentuk disebut daerah pembangkitan atau pembentukan gelombang (wave generating area). Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga

permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil diatas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut akan semakin besar dan akan membentuk gelombang yang semakin besar. (Triatmodjo, 1999).

Gelombang yang dibangkitkan oleh angin jauh lebih kompleks jika dibandingkan dengan gelombang monokromatik sederhana, sehingga perlu diamati dengan seksama bagaimana gelombang tersebut dibangkitkan oleh angin dan beberapa karakteristik penting lain. Hal ini penting untuk memahami cara mengukur gelombang yang dibangkitkan oleh angin untuk digunakan dalam analisis teknik. Hal ini juga penting untuk kemampuan memprediksi gelombang-gelombang dalam kondisi angin yang diketahui baik dalam hindcast gelombang untuk kondisi angin historis maupun peramalan (forecast) gelombang dengan menggunakan prediksi kondisi angin yang akan datang (Sorensen, 2006,p.157).

Karakteristik dari spektrum gelombang angin terutama tergantung pada panjang fetch (F), kecepatan angin (U), lama tiup atau hembus (td). Akan tetapi ada faktor – faktor lain yang berpengaruh seperti lebar fetch, kedalaman air, kekasaran dasar, stabilitas atmosfer dan sebagainya (Ii, 1992).

## **2.4 Angin**

Menurut (Rumsarwir et al., 2023) angin adalah aliran udara yang besar karena rotasi bumi dan sekitarnya. Ini bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah. Angin merupakan sirkulasi udara yang kurang lebih sejajar dengan permukaan bumi. Gerakan udara disebabkan oleh temperature atmosfer. Temperatur atmosfer memengaruhi gerakan udara. Perubahan suhu disebabkan oleh penyerapan panas tanah dan air, perbedaan panas di gunung dan lembah, atau perbedaan suhu di bagian utara dan selatan belahan bumi selama musim dingin dan musim panas. Pada siang hari, udara di atas daratan lebih panas dari udara di laut. Udara di atas daratan akan naik dan diganti oleh udara dari laut, sehingga terjadi angin laut. Sebaliknya, pada waktu malam hari daratan lebih dingin daripada laut, udara di atas laut akan naik dan diganti oleh udara dari daratan sehingga terjadi angin darat.

### **2.4.1 Hindcasting Gelombang**

Hindcasting gelombang merupakan suatu teknik peramalan gelombang yang akan datang yang dilakukan dengan menggunakan data angin dimasa lampau. Penggunaan data angin dalam peramalan gelombang yakni untuk memperkirakan tinggi dan periode gelombang di laut. Terjadinya gelombang di laut paling dipengaruhi oleh tiupan angin. Pada daerah tiupan angin, terjadi peristiwa transfer energi angin ke air. Permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil diatas permukaan air, sebagai akibat dari ketegangan yang ditimbulkan oleh kecepatan angin pada permukaan laut.

Dengan bertambahnya kecepatan angin, riak akan menjadi besar dan pada akhirnya terbentuk gelombang apabila angin terus berhembus. Semakin lama angin berhembus, maka gelombang yang terbentuk akan semakin besar. Hindcasting gelombang akan menghasilkan perkiraan tinggi (H) dan periode (T) gelombang akibat adanya angin dengan besar, arah, dan durasi tertentu. Jadi, hindcasting gelombang dimaksudkan untuk mengalihragamkan (transformasi) data angin menjadi data gelombang (Supit et al., 2024).

### **2.4.2 Data Angin**

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan (Novi et al., 2013). Data angin laut dapat diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut atau pengukuran di darat di dekat lokasi permalan. Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan biasanya ditunjukkan dalam knot. Data angin dicatat setiap jam. Dengan menggunakan pencatatan jam-jam ini, kita dapat mengetahui angin dengan kecepatan tertentu dan lamanya, kecepatan angin maksimum, arah, dan kecepatan angin rerata harian. Dalam penelitian ini data angin diperoleh dari situs <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/browse-reanalysis-datasets>.

### **2.4.3 Arah Angin**

Arah angin merupakan asal dari hembusan angin atau darimana arus angin datang dan dinyatakan dalam derajat yang ditentukan dengan arah perputaran jarum jam dan dimulai dari titik utara bumi dengan kata lain sesuai dengan titik kompas. Umumnya arus angin diberi nama dengan arah darimana angin tersebut bertiup,

misalnya angin yang berhembus dari utara maka angin utara. Kecepatan angin adalah kecepatan dari menjalarnya arus angin dan dinyatakan dalam knot atau kilometer per jam maupun dalam meter per detik (Fadholi, 2013).

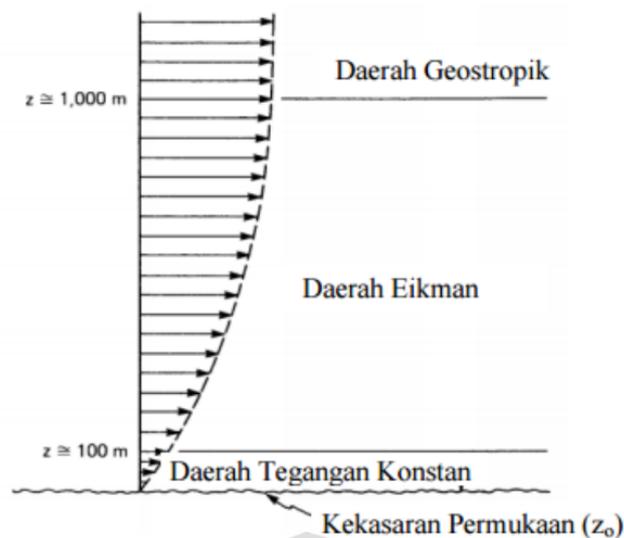
Tabel 3. 2 Besar sudut dan arah angin (Sistem & Ketinggian, 2017)

<i>No</i>	<i>Besar Sudut</i>	<i>Arah yang ditunjukkan</i>
1	360°	Utara (U)
2	22,5°	Utara Timur Laut (UTL)
3	45°	Timur Laut (TL)
4	67,5°	Timur Laut Timur (TLT)
5	90°	Timur (T)
6	112,5°	Timur Teenggara (TTg)
7	135°	Teenggara (Tg)
8	157,5°	Selatan Tenggara (STg)
9	180°	Selatan (S)
10	202,5°	Selatan Barat Daya (SBD)
11	225°	Barat Daya (BD)
12	247,5°	Barat Barat Daya (BBD)
13	270°	Barat (B)
14	292,5°	Barat Barat Laut (BBL)
15	315°	Barat Laut (BL)
16	337,5°	Utara Barat Laut (UBT)
17	0°	Angin Tenang ( <i>Calm</i> )

Perubahan arah dan kecepatan angin dengan waktu pada suatu lokasi dapat disajikan secara diagram dalam bentuk mawar angin. Sebuah mawar angin terdiri atas garis yang memancar dari pusat lingkaran dan menunjukkan arah dari mana angin bertiup. Panjang setiap garis menyatakan frekuensi angin dari arah tersebut. Karena angin merupakan besaran vektor maka angin dinyatakan dalam distribusi frekuensi dua arah, yaitu arah dan kecepatan angin (Fadholi, 2013).

#### 2.4.4 Distribusi Kecepatan Data Angin

Distribusi kecepatan angin di atas permukaan laut diberikan dalam Gambar 2.2 yang terbagi dalam tiga daerah sesuai dengan elevasi di atas permukaan. Kecepatan angin tetap konstan di wilayah geostropok di atas 1000 m. Dua wilayah terletak di bawah elevasi tersebut: wilayah Ekman pada 100 m hingga 1000 m dan wilayah tegangan konstan pada 10 hingga 100 m. Di kedua daerah tersebut kecepatan dan arah angin berubah sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperatur antara air dan udara (Triatmodjo, Teknik pantai 1999).

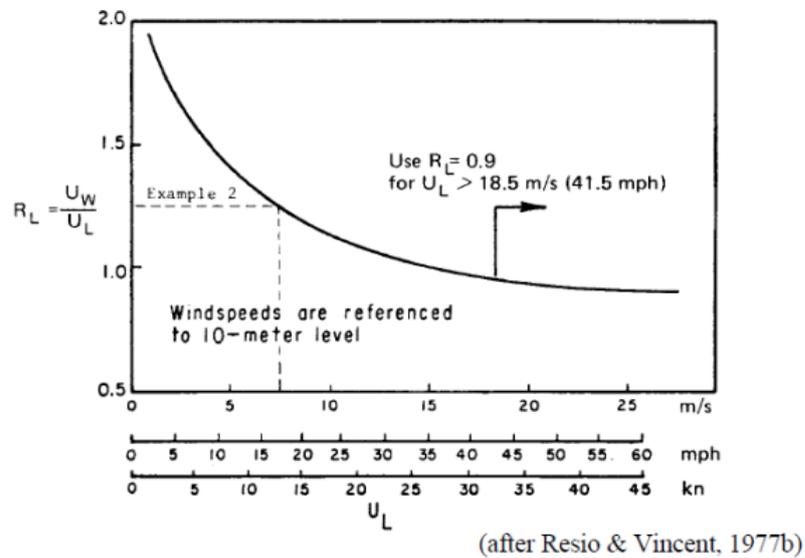


Gambar 2. 2 Distribusi vertical kecepatan angin (Sumber: Triatmodjo (2008.p.150))

$$RL = \frac{UW}{UL} \dots \dots \dots (2.1)$$

### 2.4.5 Konversi Data Angin

Pengukuran angin biasanya dilakukan di daratan, padahal rumus-rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah yang ada di atas permukaan laut. Oleh karena itu diperlukan transformasi dari data angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan terdekat diberikan oleh  $R_L = U_W / U_L$ , seperti pada gambar 2.3.



(after Resio & Vincent, 1977b)  
**Gambar 2. 3** Grafik Nilai Faktor Korelasi Perbedaan Ketinggian  
 (Sumber: CERC, 1984)

### 2.4.6 Peramalan Gelombang Di Laut Dalam

Dalam proses analisis pembangkitan gelombang, rumus-rumus dan grafik-grafik didalamnya mengandung variable  $U_A$ , yaitu faktor tegangan angin (wind-stress factor) yang dapat dihitung dari kecepatan angin. Setelah dilakukan berbagai konversi kecepatan angin, kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan Persamaan 2.

$$U_A = 0,17U_W^{1,23} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana:

$U_W$  = Kecepatan Angin (m/det)

$U_A$  = Faktor Tegangan Angin

#### 2.4.7 Gelombang Signifikan

Gelombang yang terjadi di laut karena angin tidak teratur (acak) dan bervariasi dalam tinggi (H), periode (T), dan arah. Untuk menyederhanakan pemahaman, gelombang acak ini sering diidealiskan menjadi satu gelombang harmonik yang disebut gelombang signifikan dengan tinggi ( $H_s$ ) dan periode ( $T_s$ ) yang tetap. Dalam perencanaan bangunan pantai, digunakan gelombang rencana yang memiliki karakteristik stabil, termasuk panjang gelombang ( $L_s$ ) (T. Sipil et al., 2023). Mekanisme terjadinya gelombang oleh angin terjadi ketika angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air (J. T. Sipil, 2016). . Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus maka semakin besar gelombang yang terbentuk.

#### 2.4.8 Fetch

Fetch ialah daerah pembentukan gelombang yang diasumsikan memiliki kecepatan dan arah angin yang relatif konstan. Dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin (Numeris et al., 2018).

Perhitungan tinggi dan periode gelombang dalam penelitian ini menggunakan fetch efektif. Penentuan Fetch diperlukan dalam peramalan gelombang. Adapun Fetch efektif dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan:

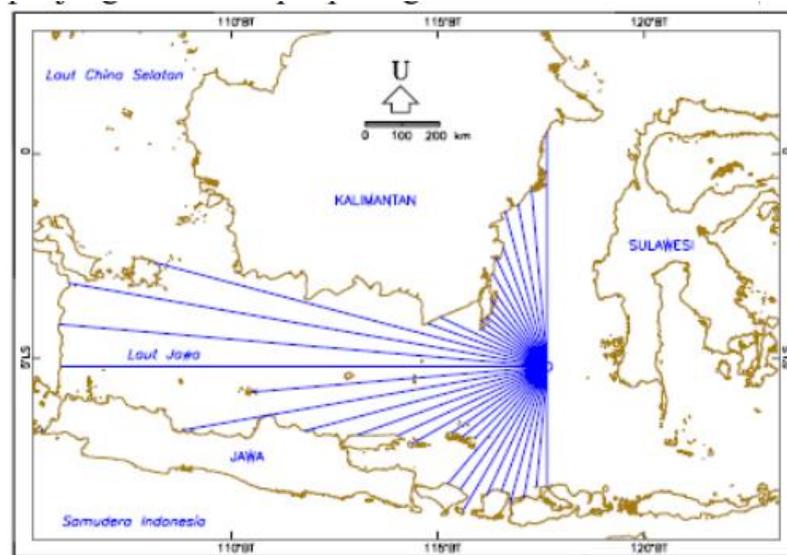
$F_{eff}$  : fetch rerata efektif

$X_i$  : panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch

$\alpha$  : deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan penambahan  $\phi$  sampai sudut sebesar  $42^\circ$  pada kedua sisi dari arah angin.

Data yang dibutuhkan untuk menghitung panjang fetch efektif adalah data lokasi berupa sebuah peta dengan skala daerah perairan dengan skala yang cukup besar. Langkah-langkah perhitungan fetch efektif sebagai berikut (Sistem & Ketinggian, 2017) :

- a. Tentukan titik lokasi yang akan digunakan sebagai lokasi yang dijadikan titik pengukuran.
- b. Membuat garis-garis lurus yang ditarik dari titik lokasi sampai daratan terdekat tiap sudut 5 derajat dalam arah mata angin utama.
- c. Panjang garis lurus diukur berdasarkan skala peta yang digunakan, sehingga panjang garis lurus adalah panjang fetch sebenarnya.
- d. Daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin, maka panjang fetch diukur dari titik pengamatan dengan interval sudut ( $\alpha$ )  $5^\circ$  pada sudut  $45^\circ$  ke samping kiri dan kanan dari arah mata angin
- e. Fetch efektif dihitung dengan menggunakan rumus 2.3. Contoh penggambaran garis-garis lurus untuk perhitungan panjang fetch terdapat pada gambar 2.4 dibawah ini.



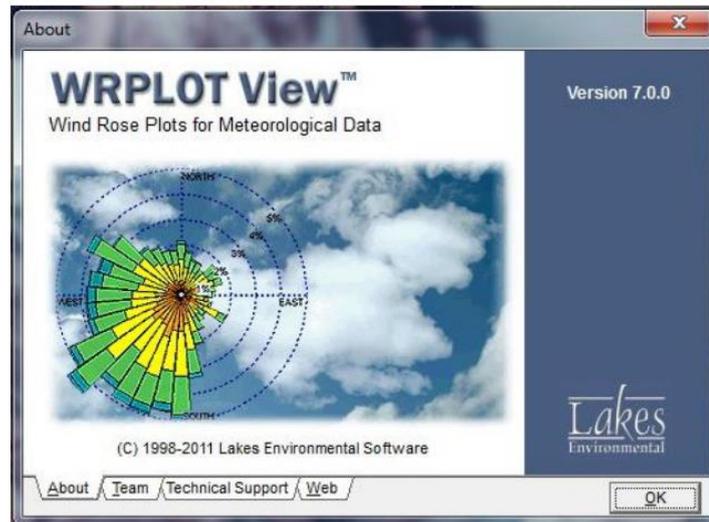
**Gambar 2. 4** Fetch Efektif  
(Sumber: *Sistem & Ketinggian*, 2017)

## 2.5 WRPLOT View (Wind Rose Plots for Meteorological Data)

WRPLOT View adalah program yang memiliki kemampuan untuk mempresentasikan data kecepatan angin dalam bentuk mawar angin sebagai data meteorologi. WRPLOT memberikan gambaran kejadian angin pada kecepatan tertentu dari berbagai arah, persentase kecepatan angin, kecepatan angin minimum dan maksimum. Mawar angin menampilkan distribusi kecepatan angin dalam satuan (knots) dan (m/s). Distribusi tersebut di tandai dengan pengaturan warna yang berbeda di setiap kecepatan angin pada lokasi dan jangka waktu tertentu. Biasanya penyajian seperti ini sangat berguna dalam dunia navigasi atau pelayaran (Komperatif et al., 2017).

Program ini mampu menjelaskan statistik windrose dan plotnya untuk beberapa format data meteorologi. Nilai yang terdapat dalam windrose merupakan nilai hitungan statistika dari sebaran data klimatologi unsur cuaca dengan kata lain perangkat ini menampilkan nilai sebaran frekuensi yang terdapat pada angin di setiap sektor arah angin secara spesifik dan kecepatan kelas angin beserta stabilitas kelasnya, plot windrose untuk kecepatannya dan stabilitas kelasnya, error checking report, resultan unit vector dan fitur yang lainnya. Windrose akan menghasilkan mawar angin dalam bentuk grafik sehingga diketahui kecepatan angin, arah angin

yang dominan dan dan frekuensi angin dalam satu grafik sehingga sangat membantu untuk membaca data angin.



**Gambar 2. 5** Tampilan WRPLOT  
(Sumber: Data Penulis)

## 2.6 Mawar angin (Wind Rose)

Mawar Angin merupakan suatu gambar berbentuk lingkaran sebagai persentase angin, memiliki penyebaran kelopak seperti mawar di tengah lingkarannya dengan variasi warna berbeda-beda menandakan perbedaan kecepatan angin yang terjadi atau suatu gambar yang memetakan kecepatan dan arah angin dengan sederhana.

Wind rose menggambarkan frekuensi kejadian pada tiap arah mata angin dan kelas kecepatan angin (knots atau m/s) pada lokasi dan waktu yang telah ditentukan. Wind rose juga diperjelas dengan menampilkan grafik dari kecenderungan arah pergerakan angin dan persentasenya pada suatu wilayah dengan cepat. Wave rose menghasilkan nilai tinggi gelombang air laut dalam satuan centimeter (cm) atau meter (m). Windrose menggunakan system koordinat kutub gridding, frekuensi angin selama periode tertentu oleh arah angin, dengan pita warna yang menunjukkan rentang kecepatan angin dan arah pita terpanjang menunjukkan arah angin dengan frekuensi terbesar (David et al., 2022).

## 2.7 Perkiraan Gelombang (Pembangkit Gelombang)

Angin yang berhembus di atas permukaan air yang semula tenang, akan menyebabkan gangguan pada permukaan tersebut, dengan timbulnya riak

gelombang kecil. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk 10 gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk (Triatmodjo, 2012).

Faktor-faktor yang perlu diketahui dalam perkiraan gelombang, antara lain:

- a. Kecepatan rerata angin ( $U_w$ ) di permukaan air.
- b. Arah angin.
- c. Panjang daerah pembangkitan gelombang di mana angin mempunyai kecepatan dan arah konstan (fetch), dan
- d. Lama hembus angin pada fetch ( $t_d$ ).

## **2.8 Tinggi Gelombang**

Tinggi gelombang adalah perubahan tinggi secara vertical antara puncak gelombang dan lembahnya. Berikut adalah beberapa kegunaan dari tinggi gelombang signifikan:

- a. Informasi gelombang signifikan dari suatu perairan dapat digunakan para pelaut untuk mengetahui kondisi gelombang di perairan tersebut, dimana gelombang tinggi akan menyulitkan navigasi.
- b. Gelombang signifikan juga sering digunakan untuk studi mengenai erosi pantai. Pada umumnya, gelombang besar lah yang paling dapat menyebabkan erosi.
- c. Kerentanan pesisir, tinggi gelombang signifikan menjadi suatu parameter yang berkaitan dengan bahaya penggenangan pesisir.
- d. Studi mengenai energi laut akhir-akhir ini juga sering menggunakan parameter  $H_s$  untuk menggambarkan potensi energi gelombang laut pada suatu wilayah.
- e. Desain dari anjungan lepas pantai juga menggunakan tinggi gelombang signifikan. Pada umumnya, gelombang signifikan dengan periode ulang 1 tahunan dan 100 tahunan digunakan untuk keperluan analisis struktur masing-masing untuk kondisi operasional dan badai.
- f. Selain untuk desain, operasi pada lepas pantai seperti penggunaan ROV (remotely operated vehicle), instalasi pipa bawah laut, dsb. juga

mempertimbangkan gelombang signifikan untuk keperluan keamanan dan efektifitas operasi.

## 2.9 Metode SPM

*Metode Shore Protection Manual* (SPM) merupakan metode yang digunakan untuk melihat karakteristik gelombang di Pantai Pangali-ali, Majene. Adapun hal yang harus dilakukan dalam menggunakan metode *Metode Shore Protection Manual* (SPM) adalah melakukan koreksi terhadap kondisi pengukuran angin. Berikut ini koreksi data angin yang perlu dilakukan antara lain:

### a. Koreksi Elevasi atau Ketinggian

Untuk melakukan koreksi terhadap Elevasia jika data pengukuran tidak berada di ketinggian 10 meter, maka akan dilakukan konversi terlebih dahulu terhadap Elevasia dengan menggunakan rumus antara lain:

$$U_{10} = U_{(z)} \left( \frac{10}{z} \right)^{1/7} \text{ m/s} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$U_{10}$  = Kecepatan angin pada ketinggian 10m (m/s)

$U_z$  = Kecepatan angin untuk ketinggian pengukuran (m/s)

$z$  = Ketinggian pengukuran (m)

### b. Koreksi Stabilitas

Jika suhu tempat berhembusnya angin dengan tempat terbentuknya suatu gelombang mengalami perbedaan, maka Koreksi terhadap stabilitas dapat di hitung menggunakan rumus atau persamaan yaitu:

$$U = R_T (U_{10}) \text{ m/s} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

$U$  = Kecepatan angin sesudah dikoreksi stabilitas nya (m/s)

$R_T$  = Koefisien stabilitas

$U_{10}$  = Kecepatan angin sebelum dikoreksi stabilitas (m/s)

### c. Koreksi Lokasi

Untuk melakukan koreksi terhadap lokasi maka pengambilan data kecepatan angin dapat dilakukan di darat karena, pengambilan data cenderung akan lebih

mudah. pada Kecepatan angin di darat dengan di laut cenderung berbeda maka dibutuhkan untuk melakukan koreksi terhadap lokasi. Untuk melakukan koreksi terhadap lokasi sebagai berikut:

$$U_w = R_L (U_L) \text{ m/s} \dots\dots\dots(2.6)$$

Persamaan di atas digunakan untuk pembangkitan gelombang. Adapun untuk perhitungan Faktor Tegangan Angin ( $U_A$ ) itu sendiri bisa dihitung dengan rumus atau persamaan sebagai berikut:

$$U_A = 0.71 U^{1,23} \text{ m/s} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

$U_A$  = Faktor Tegangan Angin itu sendiri (m/s)

$U$  = Kecepatan Angin (m/s)

Berikut ini merupakan cara menentukan nilai tinggi gelombang ( $H_{mo}$ ) dan periode gelombang ( $T_p$ ) menurut bagan alir metode SPM (Barat et al., 2021) :

a. Menentukan kondisi gelombang jenis Non Fully Developed Sea atau jenis Fully Developed Sea

$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \leq 7,15 \times 10^4 \dots\dots\dots(2.8)$$

Jikalau nilai  $\frac{gt}{U_A}$  kurang dari  $7,15 \times 10^4$  maka jenis gelombang adalah Non Fully Developed Sea (NFDS) dan jikalau nilai  $\frac{gt}{U_A}$  lebih dari  $7,15 \times 10^4$  maka jenis gelombang adalah *Fully Developed Sea* (FDS).

b. Menentukan nilai time limited atau fetch limited untuk jenis gelombang Non Fully Developed Sea (NFDS)

$$tc = 68,8 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \times \frac{U_A}{g} \leq t \dots\dots\dots(2.9)$$

Jikalau nilai  $tc$  kurang dari sama dengan  $t$  yaitu fetch limited dan nilai  $tc$  lebih besar dari  $t$  yaitu duration limited maka nilai  $F$  yaitu  $F_{min}$  menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_{min} = \left( \frac{gt}{68,8 U_A} \right)^{3/2} \times \frac{U_A^2}{g} \dots\dots\dots(2.10)$$

c. Menentukan nilai tinggi gelombang signifikan ( $H_{mo} = H_s$ ) dan periode gelombang kondisi Non Fully Developed Sea dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$H_{mo} = 0.0016 \left( \frac{g.F}{U_A^2} \right)^{1/2} \frac{U_A^2}{g} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$T_p = 0.2857 \left( \frac{g.F}{U_A^2} \right)^{1/3} \frac{U_A^2}{g} \dots\dots\dots(2.12)$$

d. Menentukan nilai tinggi gelombang dan periode gelombang kondisi Fully Developed Sea dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

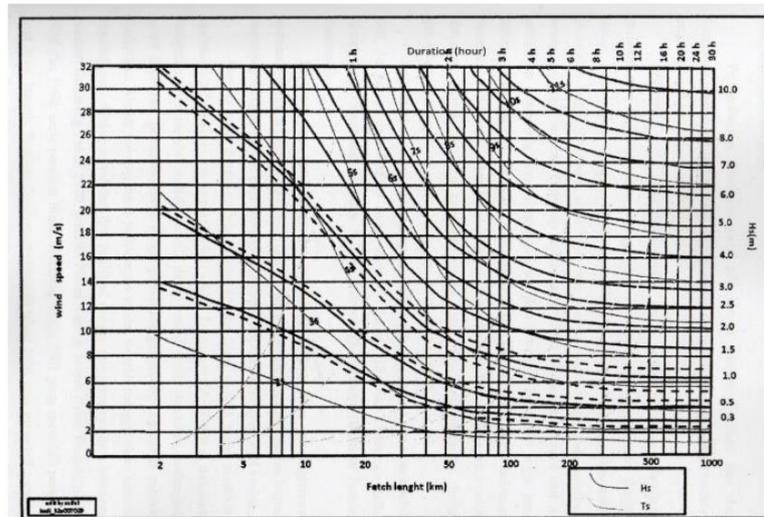
$$H_{mo} = 0.2433 \cdot \frac{U_A^2}{g} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$T_p = 8,134 \cdot \frac{U_A}{g} \dots\dots\dots(2.14)$$

### 2.10 Metode Darbyshire

Metode Darbyshire merupakan metode peramalan tinggi gelombang dengan menggunakan grafik oleh Darbyshire and Draper pada tahun 1963 dalam Coastal Engineering Research Center (CERC) 1984. Peramalan gelombang menggunakan metode grafik Darbyshire sering digunakan untuk meramalkan perairan laut dangkal (CERC,1984). Peramalan gelombang dilakukan dengan menggunakan grafik Darbyshire. Konversi kecepatan angin dalam satuan m/detik. Semua data-data angin hasil analisis yang masih dalam satuan knot dikonversi terlebih dahulu ke satuan m/detik. Menentukan durasi angin dalam jam. Penentuan durasi angin yang digunakan dalam peramala dengan menggunakan grafik Darbyshire didasarkan pada waktu hembus angin untuk masing-masing kecepatan angin (Rumsarwir et al., 2023).

Penggambaran dilakukan berdasarkan data kecepatan angin awal yang ditarik ke kanan berdasarkan durasi kecepatan anginnya, kemudian ditarik garis sejajar mengikuti garis lengkung tinggi gelombang sampai kecepatan angin selanjutnya ditarik ke arah kanan sesuai durasi anginnya sehingga diperoleh nilai tinggi gelombang untuk lebih jelas ditampilkan pada gambar.



**Gambar 2. 6** Grafik Peramalan Gelombang oleh Darbyshire-Draper, 1963  
(Sumber: CERC, 1984)

Berikut ini merupakan langkah-langkah peramalan gelombang menggunakan metode Darbyshire (Rumsarwir et al., 2023):

- a. Konversi kecepatan angin dalam satuan m/s

Semua data angin hasil analisis yang masih dalam satuan knot dikonversi ke dalam satuan m/s.

- b. Menentukan durasi angin dalam jam

Penentuan durasi angin yang digunakan dalam peramalan dengan menggunakan grafik Darbyshire didasarkan pada waktu hembus angin untuk masing-masing kecepatan angin.

- c. Penggambaran kedalam grafik Darbyshire

Penggambaran dilakukan berdasarkan data kecepatan angin maksimal yang ditarik ke kanan berdasarkan durasi kecepatan anginnya, sehingga diperoleh nilai tinggi gelombang dan periode gelombang.

## 2.11 Tinggi Gelombang Data Altimetri

Sistem satelit altimetri berkembang sejak tahun 1973 yang diperkenalkan oleh NASA. Satelit altimetri merupakan teknik pengamatan muka air laut secara ekstraterestris. Satelit altimetri dilengkapi dengan pemancar pulsa radar, penerima pulsa radar yang sensitif, serta jam berakurasi tinggi. Pada saat akuisisi data, altimetri radar yang dibawa satelit memancarkan pulsa-pulsa gelombang elektromagnetik ke permukaan laut (Krisnanto et al., 2019).

Data Altimetri merupakan data yang diambil dari satelit dimana pengambilan datanya menggunakan teknologi radar. Satelit ini dibutuhkan dalam pengamatan oceanografi dimana salah satunya untuk menentukan karakteristik gelombang. Data altimetri hanya berupa tinggi gelombang signifikan harian tanpa periode gelombang namun masih bisa dipakai untuk validasi karakteristik gelombang hasil peramalan, walaupun alangkah baiknya validasi tersebut menggunakan data hasil pengukuran lapangan akan tetapi akibat sulit dan mahal biaya pengukuran, validasi menggunakan data gelombang dari satelit altimetri menjadi alternatif lain (Rumsarwir et al., 2023). Data gelombang altimetri didapatkan dari situs Copernicus Marine.

Satelit Altimetri dilengkapi dengan pemancar pulsa radar (transmitter), penerima pulsa radar yang sensitif (receiver), serta jam berakurasi tinggi. Pada sistem ini, altimeter radar yang dibawa oleh satelit memancarkan pulsa-pulsa gelombang elektromagnetik (radar) ke permukaan laut. Pulsa-pulsa tersebut dipantulkan balik oleh permukaan laut dan diterima kembali oleh satelit. Informasi utama yang ingin ditentukan dengan satelit altimetri adalah topografi dari muka laut. Hal ini dilakukan dengan mengukur ketinggian satelit di atas permukaan laut dengan menggunakan waktu tempuh dari pulsa radar yang dikirimkan ke permukaan laut, dan dipantulkan kembali ke satelit. Parameter tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) diperoleh dengan menganalisis bentuk dan intensitas pancaran sinar radar altimeter yang dipantulkan dari permukaan laut.

## **2.12 ECMWF (ERA5)**

*European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF) merupakan lembaga yang telah mengembangkan selama 100 tahun meteorologi dinamik dan sinoptik, juga selama 50 tahun mengembangkan prediksi cuaca secara numerik (NWP) (Akhir, 2020).

Dalam melakukan peramalan gelombang, ECMWF menggunakan WAM Model dalam peramalannya. WAM model mendeskripsikan perubahan spektrum gelombang disebabkan oleh adveksi, masukan angin, disipasi dan interaksi antar gelombang non linear. Spektrum gelombang tersebut menyatakan distribusi energi

gelombang atas frekuensi dan arah, juga memberikan spesifikasi laut secara lengkap (Akhir, 2020). WAM Model telah terbukti baik dan telah dipergunakan lebih dari 40 grup riset seluruh dunia untuk melakukan peramalan gelombang.

ERA5 merupakan produk terbaru dari ECMWF yang akan menggantikan penggunaan ERA-I. ERA5 dan ERA-I sama-sama mencakup data global dengan resolusi spasial horisontal 80 km untuk ERA-I dan 31 km untuk ERA5. Dalam penelitian ini data angin diperoleh dari situs ECMWF sebagai data sekunder yang akan digunakan sebagai bahan penelitian. Berikut ini tampilan dari situs ECMWF yang dapat diakses di <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/browse-reanalysis-datasets>.



**Gambar 2. 7** Tampilan situs ECMWF  
(Sumber: Data Penulis)

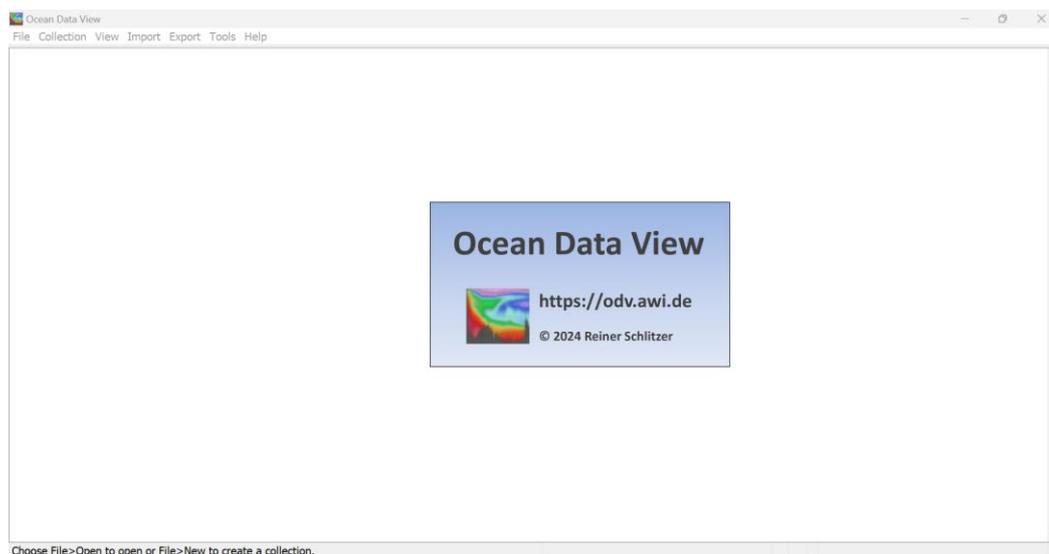
### 2.13 ODV (*Ocean Data View*)

*Ocean Data View* (ODV) adalah software yang dibuat oleh R. Schlitzer berfungsi untuk menampilkan hasil eksplorasi dari oseanografi dan tampilan geo-referensi, juga urutan data (grid data) secara interaktif, ODV dapat dijalankan pada sistem operasi Window, LINUX, UNIXZ, dan Mac OS X. Software ODV ini juga dapat digunakan secara langsung dengan format data yang direkam dari CTD selain itu juga dapat memasukkan data hasil pengukuran dengan alat lain sesuai format yang diberikan oleh ODV (Schlitzer, 2022).

File data dan pengaturan ODV bersifat independen platform dan dapat dipertukarkan antara semua sistem yang didukung. ODV memungkinkan pengguna

untuk memelihara dan menganalisis dataset yang sangat besar pada perangkat keras yang murah dan portabel. Berbagai jenis keluaran grafik dapat dihasilkan dengan mudah, termasuk peta stasiun berkualitas tinggi, plot properti-properti umum dari satu atau lebih stasiun, plot sebar dari stasiun yang dipilih, plot bagian sepanjang jalur pelayaran sembarang, dan distribusi properti pada isosurfaces umum.

(Schlitzer, 2022) Selain nilai data aktual, ODV juga mempertahankan bendera kualitas untuk semua nilai individu. Bendera kualitas ini dapat digunakan untuk penyaringan kualitas data untuk mengecualikan, misalnya, data yang buruk atau meragukan dari analisis. Nilai numerik dan bendera kualitas dapat diedit dan dimodifikasi.

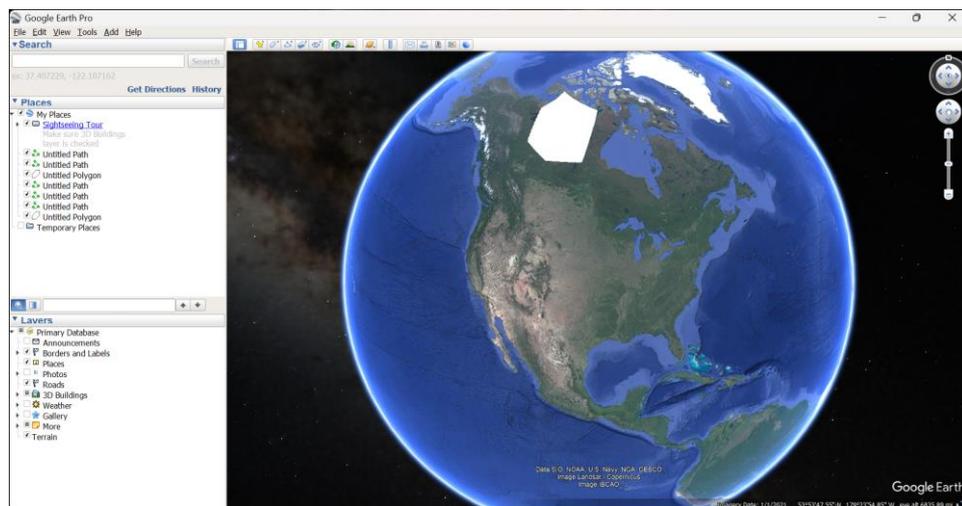


**Gambar 2. 8** Tampilan Aplikasi ODV  
(Sumber: Data Penulis)

## 2.14 Google Earth Pro

(Geosriwijaya 2017) Google Earth merupakan aplikasi yang diciptakan oleh perusahaan Keyhole Inc pada 2004, sebelumnya aplikasi tersebut bernama Earth Viewer dan pada tahun 2005 terjadi perubahan nama. Saat ini Google Earth merupakan salah satu perekaman citra dengan resolusi hingga 15 x 15 m. Aplikasi ini dapat diakses secara gratis, dan banyak dimanfaatkan untuk melihat datum bumi dari udara, dengan bantuan google earth kita bisa melihat lokasi rumah kita, bentuk bangunan, morfologi suatu daerah, lokasi geografis ataupun mencari tempat dengan menggunakan fitur *search* lokasi, dengan

berkembangnya zaman Google Earth selalu memperbarui fitur-fitur yang ada untuk memberikan informasi terbaik yang bisa diberikan kepada penggunanya, adapun salah satu fitur ialah tampilan satelit dan 3D, fitur ini memungkinkan pengguna melihat bumi dari atas menggunakan citra satelit. Pengguna dapat menjelajahi berbagai lokasi dari ketinggian dan sudut berbeda. Selain itu, Google Earth juga menampilkan model 3D yang memberikan representasi visual yang lebih realistis mengenai topografi, bangunan, dan struktur geografis bumi.



**Gambar 2. 9** Tampilan Aplikasi Google Earth Pro  
(Sumber: Data Peneliti)

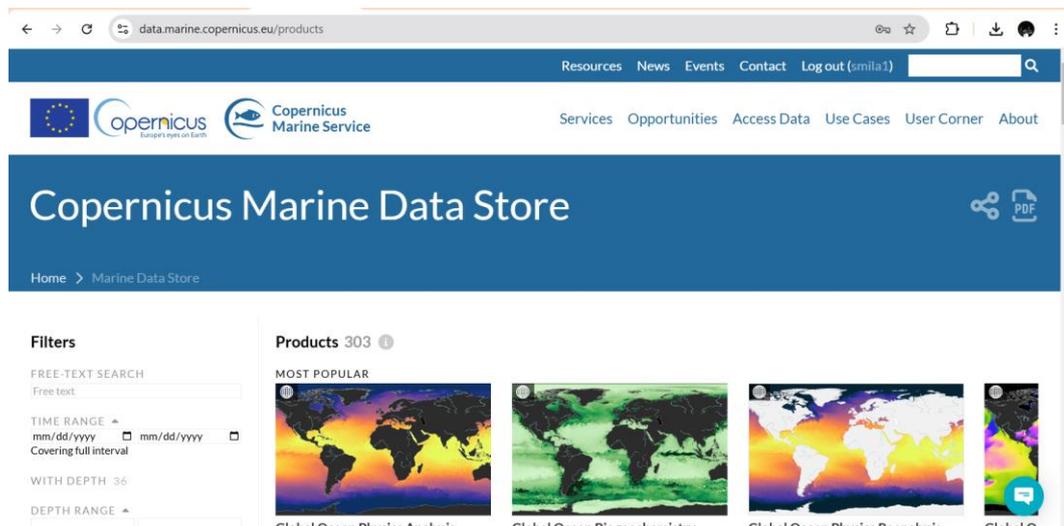
## 2.15 Copernicus Marine

Copernicus Marine, atau Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS), adalah bagian dari program Copernicus yang dikelola oleh Uni Eropa. Program ini bertujuan untuk menyediakan data dan informasi yang berkualitas tinggi tentang lingkungan laut dan oseanografi. Copernicus Marine berfokus pada pemantauan kondisi laut, termasuk suhu permukaan laut, salinitas, arus, tinggi gelombang, dan parameter lainnya yang relevan untuk memahami dinamika laut.

Layanan ini mengumpulkan data dari berbagai sumber, termasuk satelit, pengukuran in situ (seperti buoy dan kapal penelitian), serta model numerik. Data yang dihasilkan kemudian diproses dan dianalisis untuk memberikan informasi

yang berguna bagi berbagai pengguna, termasuk ilmuwan, pembuat kebijakan, industri perikanan, pelayaran, dan sektor energi terbarukan.

Copernicus Marine juga berperan penting dalam penelitian terkait perubahan iklim, pengelolaan sumber daya laut, dan mitigasi risiko bencana. Dengan menyediakan akses terbuka ke data dan produk yang dihasilkan, layanan ini mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dan berkelanjutan dalam pengelolaan lingkungan laut. Data tinggi gelombang diperoleh situs <https://resources.marine.copernicus.eu/>.



**Gambar 2. 10** Tampilan Website Copernicus Marine

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian dan analisis data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

- a. Distribusi arah angin dominan yang terjadi di Pantai Pangali-ali selama 10 tahun (2014-2023) adalah dari arah Tenggara dengan frekuensi 27,2% dan kecepatan angin maksimum berkisar 8,80-11.10 m/s, sedangkan arah Timur Laut angin bertiup cenderung kecil.
- b. Kecepatan angin maksimum yang terjadi selama periode 10 tahun (2014-2023) di pantai Pangali-ali Kabupaten Majene sebesar 16,89 m/s terjadi pada tahun 2014.
- c. Peramalah tinggi gelombang dengan metode SPM dan Darbyshire yang divalidasi dengan satelit perbedaan tinggi gelombang antara SPM dengan data Altimetri sebesar 0,6 sedangkan untuk hasil metode Darbyshire dengan data altimetri sebesar 0,57 . Nilai Hs Max yang diperoleh dengan metode SPM sebesar 2,63 m dan dengan metode Darbyshire sebesar 2,6 sedangkan satelit altimetri yang sesuai dengan titik Lokasi penelitian sebesar 2,03 m. Data ini menunjukkan tingkat akurasi dengan menggunakan metode SPM dan Darbyshire yang cukup akurat.

## 5.2 SARAN

Adapun saran yang dapat penulis berikan berdasarkan hasil penelitian ini ialah sebagai berikut:

- a. Untuk penelitian selanjutnya terkait dengan peramalan tinggi gelombang laut, data angin yang digunakan tidak dibatasi dengan hanya menggunakan periode selama 10 tahun dan memanfaatkan situs-situs lain yang juga menyediakan data angin. Hal ini diharapkan mampu menambah kelengkapan serta keakuratan data yang digunakan dalam perencanaan bangunan pantau atau kepentingan lainnya.
- b. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode lain dalam melakukan peramalan gelombang, seperti metode kala ulang Weibull, Gumbel, metode SMB dan lainnya. Sehingga dapat dilakukan perbandingan analisis dari hasil yang dieproleh metode yang telah ada.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baluk, A. P., Yasin, H., Prof, J., No, S., Semarang, K., & Tengah, J. (2020). *Peramalan Tinggi Gelombang Laut Dengan Metode Vector Autoregressive-Radial Basis Function Network ( Var-Rbfn ) Universitas Diponegoro*. 13(1), 39–46.
- Bengen, D. G. (2021). *PERAMALAN GELOMBANG LAUT DANGKAL DAN HUBUNGANNYA DENGAN SEBARAN LIFEFORM KARANG DI PERAIRAN KOTA PADANG SHALLOW WATER WAVES PREDICTION AND ITS RELATIONSHIP WITH .... July*.  
<https://doi.org/10.15578/jkn.v16i1.8926>
- David, W., Bembuain, T., & Samaila, M. A. (2022). *PENGGUNAAN DATA HISTORIS KLIMATOLOGI DALAM PERAMALAN GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN SORONG PROVINSI PAPUA BARAT*. 8(2), 16–24.
- Enjelina, N. E., Muliati, Y. (2021). Program, M., Teknik, S., Teknologi, I., & Bandung, N. (2021). *Peramalan Gelombang dengan Metode SPM dan Darbyshire di Perairan Kepulauan*. 244–249.
- Fadholi, A. (2013). *ANALISIS DATA ARAH DAN KECEPATAN ANGIN LANDAS PACU ( RUNWAY ) MENGGUNAKAN APLIKASI WINDROSE PLOT ( WRPLOT )*. 9(September), 84–91.
- Faizah, & Setiawan. (2017). *Program Studi Teknik Sipil , Universitas Tadulako ( Untad ) Palu Program Studi Teknik Sipil , Universitas Tadulako ( Untad ) Palu*. 27–28.
- Fauzi, A. N., & Muliati, Y. (2021). *Peramalan Gelombang Dengan Metode SPM dan Darbyshire yang Divalidasi Dengan Data Altimetri di Pantai Monse , Pulau Wowonii Sulawesi Tenggara*. 2018.
- Illona, D. J., Jaya, Y. V., Koenawan, C. J., & Suhana, M. P. (2018). *Dinamika Maritim Global Warming dan Pengaruhnya Terhadap Karakteristik*

*Gelombang Laut di Pantai Timur Pulau Bintan yang Ditinjau dari Perspektif Klimatologi. 7(1), 20–26.*

Islam, M. F., & Fattah, A. (2022). *Merawat ingatan untuk mitigasi bencana : sejarah gempa bumi dan tsunami di Majene tahun 1969. 2(December 2021), 108–118.*

Krisnanto, K. Fajar, Purwanto, H., & Feny, A. (2019). *Analisis Kenaikan Air Muka Laut Dengan Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2 Tahun 2015-2017. 2017, 1–9.*

Lihondatu, R. H. M., Thambas, A. H., & Mamoto, J. D. (2024). *Model Distribusi Kecepatan Angin Untuk Peramalan Gelombang. 22(90).*

Lubis, M. Z., & Khoirunnisa, H. (2016). *Dinamika Pantai Praikalognu Di Provinsi Nusa Tenggara Barat , Indonesia. 8(2), 125–133.*

Mumtaz, M. Y. (2020). *PANTAI SELATAN BANYUWANGI MENGGUNAKAN SUMBER DATA ERA5 ( ECMWF ) DAN PENGUKURAN STUDY OF OCEAN WAVE ENERGY RESOURCES IN SOUTH BANYUWANGI SEA USING ERA5 ( ECMWF ) AND FIELD MEASUREMENT DATA. 5.*

Novi, N., Setyo, A., Sismiani, A., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., Wijayakusuma, U., Kampus, P., Jl, U., Karangsalam, B., & Box, P. O. (2013). *PERAMALAN K EJADIAN G ELOMBANG P ANTAI W ATUNOHU D ENGAN Perairan Pantai Watunohu merupakan. 1–10.*

Numeris, S., Morfologi, P., Cms-flow, D. M., Pantai, D. I., Dua, N., Konsentrasi, T. P., Informasi, S., Daya, S., Brawijaya, U., & Teknik, F. (2018). *Simulasi numeris perubahan morfologi pantai dengan menggunakan cms-flow di pantai nusa dua, bali.*

Nurgraha, D. E. B. I., Sum, M. A., & Muliati, Y. (2021). *ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG MENGGUNAKAN METODE SPM DAN DATA ALTIMETRI PERAIRAN LUWUK SULAWESI TENGAH.*

- Pratiwi et all. (2024). *MEMPAWAH KALIMANTAN BARAT ESTIMATION OF SIGNIFICANT WAVE HEIGHT SENGKUBANG COASTAL* ., 3(1), 8–16.
- Rianto, D. J. (2023). Interpretasi Pemahaman Kontur Melalui Hasil Pemetaan Dengan Menggunakan Surfer. *Madaniya*, 4(1), 216–228.
- Rumsarwir, J. M., Mamoto, J. D., & Tangkudung, N. J. A. (2023). *Model Distribusi Kecepatan Angin Untuk Peramalan Gelombang Menggunakan Metode Darbyshire Dan SPM*. 21(86).
- Schlitzer, R. (2022). *Ocean Data View User's Guide Acknowledgements*. 25–38.
- Setiyawan, Nurkhalisah. (2023). *C o m p o s i t e j o u r n a l*. 3(2), 55–62.  
<https://doi.org/10.37905/jc.v3i2.92>
- Sonya, W. A. (2017). *JARINGAN SARAF TIRUAN DI PERAIRAN DANGKAL i Halaman ini sengaja dikosongkan ii*.
- Supit, S. J. W., Mamoto, J. D., Jasin, M. I., Belakang, L., Masalah, R., & Masalah, B. (2024). *T e k n o*. 22(88).
- Widhiarno, F., Muliati, Y.(2016). *Peramalan Gelombang di Perairan Kabupaten Indramayu dengan Pemodelan Numerik SWAN 41 . 01A*. 2(4).