

SKRIPSI

**PERENCANAAN SEAWALL DI PANTAI GALESONG KABUPATEN
TAKALAR**



OLEH:

**RISKA PUTRI AMIR
105811103421**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2025**

**PERENCANAAN SEAWALL DI PANTAI GALESONG KABUPATEN
TAKALAR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Pengairan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Makassar**

Disusun Dan Diajukan Oleh:

**RISKA PUTRI AMIR
105811103421**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2025**



FAKULTAS TEKNIK

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ PENGESAHAN

Skripsi atas nama RISK A PUTRI AMIR dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 110 3421 dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0012/SK-Y/22202/091004/2025, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Rabu 27 Agustus 2024.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

Makassar,

3 Rabi'ul Awwal 1446 H

27 agustus 2025 M

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, ST., MT., IPU

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., ASEAN., Eng

2. Penguji

a. Ketua : Prof. Dr. Ir. Darwis Panguriseng, M.Sc

b. Sekertaris : Fauzan Hamdi, S.T., M.T.

3. Anggota

1. Dr. Ir. Muh. Yunus Ali, S.T., M.T., IPM

2. Dr. Ir. Hj. Sukmasari Antaria, M.Si.

3. Mahmuddin, S.T., M.T., IPM

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Hamzah Al Imran S.T., M.T., IPM

Dr. Ir. Andi Makbul Syamsuri, S.T., M.T., IPM

Dekan

Ir. Muhammad Syafa'at S Kuba, ST., MT.

NBM : 975 288



Perencanaan Seawall Di Pantai Galesong Kabupaten Takalar

Riska Putri Amir¹ | Hamzah al imran² | Andi Makbul Syamsuri²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Pengairan,
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah
Makassar, Indonesia.
riskaputriamir877@gmail.com

²Dosen Program Studi Teknik Pengairan,
Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Makassar, Indonesia.
unismuh.ac.id
hamzah@unismuh.ac.id
amakbulsyamsuri@unismuh.ac.id

Korespondensi
hamzah@unismuh.ac.id

ABSTRAK: Pantai Galesong di Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan, mengalami abrasi yang mengancam pemukiman dan infrastruktur pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan seawall yang efektif dalam menahan abrasi dan melindungi garis pantai. Data primer berupa kondisi pantai dan data sekunder berupa angin, gelombang, dan pasang surut digunakan untuk analisis. Metode yang digunakan meliputi perhitungan karakteristik gelombang, run-up, pasang surut, serta perencanaan dimensi seawall. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi gelombang signifikan di lokasi mencapai 1,85 m dengan periode 6,78 detik, sedangkan tinggi gelombang pecah 4,81 m. Dengan mempertimbangkan design water level (DWL), run-up, dan freeboard, elevasi mercu seawall ditetapkan pada 6,5 m. Seawall yang direncanakan menggunakan tipe Concrete Block and Rock Walls dengan lapisan lindung batu kali. Perencanaan ini diharapkan mampu mengurangi risiko abrasi serta melindungi infrastruktur dan pemukiman masyarakat pesisir.

KATA KUNCI

Seawall, Abrasi Pantai, Gelombang Laut, Galesong, Takalar

ABSTRACT: Galesong Beach in Takalar Regency, South Sulawesi, is experiencing coastal erosion that threatens settlements and coastal infrastructure. This study aims to design an effective seawall to reduce erosion and protect the shoreline. Primary data included beach conditions, while secondary data included wind, waves, and tides. The methods used included calculations of wave characteristics, run-up, tides, and seawall dimension planning. The results showed that the significant wave height at the study site reached 1.85 m with a period of 6.78 seconds, while the breaking wave height was 4.81 m. Considering the design water level (DWL), run-up, and freeboard, the seawall crest elevation was set at 6.5 m. The designed seawall uses the Concrete Block and Rock Walls type with protective layers of local stone. This design is expected to reduce erosion risks and protect coastal infrastructure and community settlements.

Keywords:

Seawall, Coastal Erosion, Ocean Waves, Galesong, Takalar

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Perencanaan Seawall Di Pantai Galesong Kabupaten Takalar”**. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik di Program Studi Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kemungkinan kekeliruan, khususnya dalam aspek teknis penulisan. Dengan menyadari bahwa kesempurnaan sulit dicapai, penulis dengan penuh kerendahan hati membuka diri terhadap kritik dan saran yang konstruktif demi penyempurnaan karya ini, sehingga dapat memberikan manfaat yang lebih optimal bagi pembaca di masa mendatang.

Penelitian ini dapat terlaksana berkat dukungan, arahan, serta bimbingan yang tak ternilai dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan rasa hormat dan ketulusan yang mendalam, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya serta penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. **Bapak Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, S.T., M.T., IPM.** selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. **Bapak Ir. Muh. Syafaat S Kuba, S.T., M.T., IPM.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. **Bapak Ir. M. Aguslim, S.T., M.T.** selaku Ketua Program Studi Teknik Pengairan Universitas Muhammadiyah Makassar.

4. **Ibu Kasmawati, S.T., M.T.** selaku Sekretaris Program Studi Teknik Pengairan Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. **Bapak Dr. Ir. Hamzah Al Imran S.T., M.T., IPM.** selaku Pembimbing I atas bimbingan, arahan, dan masukan dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
6. **Dr. Ir. Andi Makbul Syamsuri., S.T., M.T., IPM** selaku Pembimbing II atas bimbingan, arahan, dan masukan dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
7. **Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar**, khususnya di Program Studi Teknik Pengairan atas ilmu, bimbingan, dan dedikasi yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan.
8. **Teman-teman seperjuangan di Teknik Pengairan dan saudara-saudara Manufaktur 2021**, yang telah menjadi sahabat dalam suka dan duka, tempat berbagi ilmu, pengalaman, serta semangat selama masa perkuliahan.
9. **Orang tua**, yang senantiasa menyertai setiap langkah penulis dengan doa, kasih sayang, serta dukungan tanpa henti. Terima kasih atas segala pengorbanan, kesabaran, dan motivasi yang tiada henti dalam menyelesaikan studi ini. Semoga keberhasilan ini menjadi kebanggaan bagi keluarga.
10. **Saudara**, yang selalu memberikan doa, dukungan moral, serta semangat tanpa henti. Kehadiran kalian menjadi penyemangat dan penguat bagi penulis dalam melalui setiap proses hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Semoga segala usaha mendapat ridha Allah SWT dan senantiasa diberi rahmat serta petunjuk-Nya. Penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat bagi diri sendiri, rekan-rekan, masyarakat, dan kemajuan bangsa. Semoga ilmu yang diperoleh menjadi berkah. Aamiin.

“Billahi Fii sabilil Haq Fastabiqul khaerat”

Makassar, September 2025

Riska Putri Amir



DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian.....	2
D. Kegunaan Penelitian.....	3
E. Batasan Penelitian.....	3
F. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Landasan Teori.....	5
B. Kerusakan Daerah Pantai.....	9
C. Peta Bathymetri.....	21
D. Bangunan Pantai.....	22
E. Perhitungan Dimensi Seawall.....	30
F. Karakteristik Gelombang.....	34
G. Fetch.....	40
BAB III METODE PENELITIAN.....	45
A. Lokasi dan Waktu.....	45

B. Jenis Penelitian.....	45
C. Sumber Data.....	45
D. Alat dan Bahan Penelitian.....	46
E. Metode Pengumpulan Data.....	46
F. Variabel Penelitian	47
G. Metode Analisis.....	49
H. Prosedur Penelitian.....	49
I. Bagan Alir Penelitian	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
A. Peta Bathimetry.....	53
B. Peramalan Gelombang	54
C. Gelombang Pecah.....	72
D. Perhitungan Tinggi Muka Air.....	74
BAB V PENUTUP.....	94
A. Kesimpulan	94
B. Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA.....	96

DAFTAR GAMBAR

1 Pantai Berpasir	7
2 Pantai Berlumpur	8
3 Pantai Berbatu	9
4 <i>Curved Seawall</i>	25
5 <i>Gravity Seawall</i> yang harus ada di sisi jalan	25
6 <i>Steel Sheet Pile Seawall</i>	26
7 <i>Concrete Block and Rock Walls</i>	26
8 Angka Stabilitas N_s Untuk Pondasi Pelindung Kaki	34
9 Run-Up dan Run-Down Terhadap Bilangan Irrabaren	37
10 Kurva Pasang Surut	38
11 Grafik distribusi kecepatan angin	39
12 Gambar Fetch	41
13 Lokasi Penelitian	45
14 Diagram Alir	52
15 Grafik distribusi kecepatan angin	53
16 Wind Rose di Pantai Galesong	57
17 Grafik distribusi kecepatan angin	57
18 Urutan kejadian gelombang pertahun yang terbesar metode Fisher Tipe I	72
19 Hubungan antara H_b/H_o dan H/gt^2	73
20 Hubungan antara α dan β dengan H/gt^2	74
21 Ketinggian Air	81
22 Grafik Kenaikan Muka Air	83
23 Grafik Run Off Gelombang	85
24 Angka stabilitas rencana minimum	90
25 Gambar Desain Seawall	92

DAFTAR TABEL

1 Klasifikasi lereng	22
2 Koefisien stabilitas Kd untuk berbagai jenis butir	32
3 Tabel koefisien stabilitas	32
5 Persamaan untuk Peramalan Tinggi Gelombang dengan Menggunakan Metode SMB (SI)	44
6 Alat Penelitian	46
7 Data Kecepatan Angin	54
8 Data Arah Angin	55
9 Data Hasil Analisis Distribusi Arah Angin	56
10 Data Kecepatan Angin	60
11 Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang 10 Tahun	65
12 Urutan Kejadian Gelombang Pertahun Yang Terbesar	69
13 Hsm.ym periode ulang gelombang Metode Fisher I	71
14 Hsr periode ulang gelombang Metode Fisher I	71
15 Data Pasang Surut (1-29 Juni 2024)	76
16 Pasang Surut	78
17 Hasil design Seawall	91

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

n	= Jumlah kontur yang memotong horizontal
k	= Interval kontur (m)
j_h	= Jarak horizontal
j_k	= Tinggi vertikal
G	= Perbandingan antara jarak
u	= Kecepatan geser/angin
y	= Elevasi terhadap permukaan air
U	= Kecepatan angin terkoreksi
RT	= Koreksi stabilitas
RL	= Koreksi lokasi pengamatan
U_{10}	= Kecepatan angin pada elevasi 10 m
UA	= Wind stres faktor
Fe_{ff}	= Fetch rerata efektif.
X_i	= Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch.
α	= Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 60 sampai sudut sebesar 42o pada kedua sisi dari arah angin.
$P(H_s \leq \hat{H}_s)$	= Probabilitas bahwa $\hat{H}_s$ tidak dilampaui
H	= Tinggi gelombang representatif
$\hat{H}$	= Tinggi gelombang dengan nilai tertentu
A	= Parameter skala
B	= Parameter lokasi

K = Parameter bentuk/Panjang data(tahun)

$P(H_s \leq H_{sm})$ = Probabilitas dari tinggi gelombang representative ke m yang tidak dilampaui

H_{sm} = Tinggi gelombang urutan ke m

M = Nomor urut tinggi gelombang signifikan = 1,2, ,N

NT = Jumlah kejadian gelombang selama pencatatan

H_{sr} = Tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang

T_r = Periode ulang (tahun)

L = Rerata jumlah kejadian per tahun.

H_b = Tinggi gelombang pecah

H'_0 = Tinggi gelombang pecah

L_0 = Panjang gelombang di laut dalam

db = Kedalaman air saat gelombang pecah

m = Kemiringan dasar laut

g = Percepatan gravitasi

T = Periode gelombang

HHWL = Highest high water level

MHWL= Mean High water level

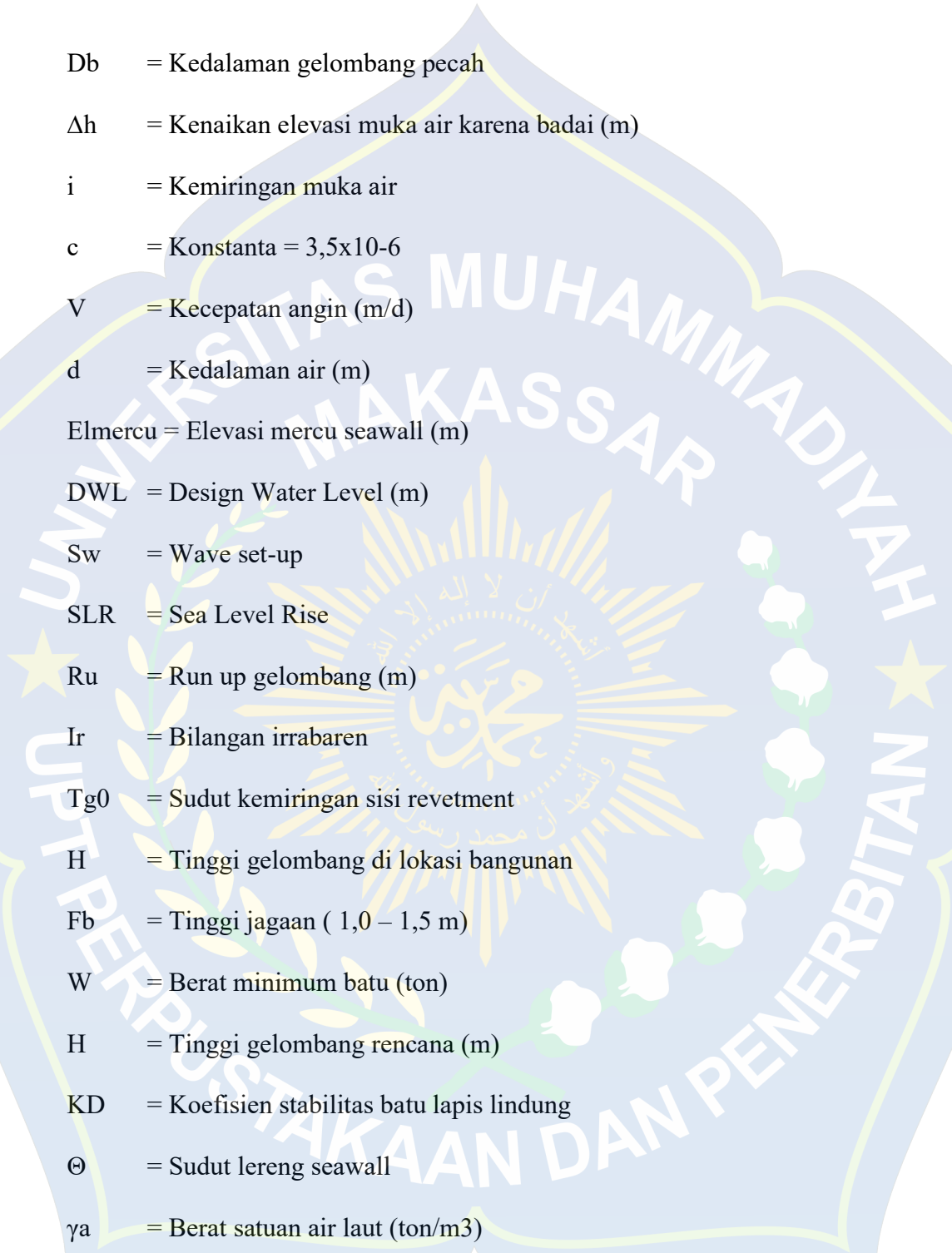
MS = Mean seal level

MLWL = Mean low water level

LLWL = Lowest low water level

S_b = Set-Down di daerah gelombang pecah

H_b = Tinggi gelombang laut dalam ekivalen



D_b	= Kedalaman gelombang pecah
Δh	= Kenaikan elevasi muka air karena badai (m)
i	= Kemiringan muka air
c	= Konstanta = $3,5 \times 10^{-6}$
V	= Kecepatan angin (m/d)
d	= Kedalaman air (m)
Elmercu	= Elevasi mercu seawall (m)
DWL	= Design Water Level (m)
S_w	= Wave set-up
SLR	= Sea Level Rise
R_u	= Run up gelombang (m)
I_r	= Bilangan irabaren
T_{g0}	= Sudut kemiringan sisi revetment
H	= Tinggi gelombang di lokasi bangunan
F_b	= Tinggi jagaan (1,0 – 1,5 m)
W	= Berat minimum batu (ton)
H	= Tinggi gelombang rencana (m)
KD	= Koefisien stabilitas batu lapis lindung
Θ	= Sudut lereng seawall
γ_a	= Berat satuan air laut (ton/m ³)
γ_b	= Berat satuan batu lapis lindung (ton/m ³)
t	=Tebal lapis lindung (m)
d_e	= Diameter equivalen (m)



S_r	= Perbandingan antara berat jenis batu dan berat jenis air laut
N_s	= Angka stabilitas rencana untuk pondasi dan pelindung kaki bangunan
P_a	= Gaya akibat tekanan tanah aktif (tf/m')
K_a	= Koefisien tekanan tanah aktif
H	= Tinggi struktur (m)
C	= Kohesi tanah (tf/m ²)
γ	= Berat volum tanah (tf/m ³)
ϕ	= Sudut geser dalam tanah
P_p	= Gaya akibat tekanan tanah pasif (tf/m')
K_p	= Koefisien tekanan tanah pasi

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pantai Galesong di Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan, merupakan salah satu daerah yang rawan terhadap abrasi dan akresi. Kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan pada infrastruktur dan lingkungan sekitar. Menurut Ridwan (2018), Erosi dan akresi adalah dua proses yang tidak sama, tetapi keduanya dapat mengakibatkan kerusakan pada garis pantai dan fasilitas yang ada di sekitarnya.

Kerusakan akibat abrasi dan akresi mampu memengaruhi secara besar terhadap aktivitas ekonomi komunitas yang tinggal di pantai. Yusuf (2020) menyebutkan bahwa kerusakan pantai dan infrastruktur akibat abrasi dapat mengganggu kegiatan ekonomi masyarakat, terutama dalam sektor perikanan dan pariwisata. Salah satu contoh yang mencerminkan situasi tersebut adalah Pantai Desa Palalakkang, Kecamatan Galesong, Kabupaten Takalar. Berdasarkan hasil survei lapangan dan informasi dari masyarakat setempat, gelombang laut terus mengikis tanah, dan peningkatan permukaan air laut membuat air masuk ke daerah pemukiman warga. Dengan demikian, perencanaan pembangunan seawall sangat diperlukan untuk melindungi daerah pantai dari dampak abrasi dan akresi yang semakin meningkat.

Perencanaan seawall yang efektif dan efisien dapat membantu melindungi pantai dari abrasi dan akresi. Sutrisno (2019) Perencanaan seawall yang optimal tidak semata-mata difokuskan pada upaya perlindungan pesisir terhadap abrasi, tetapi juga memiliki peran penting dalam menekan potensi kerusakan pada infrastruktur serta ekosistem di sekitarnya. Namun, perencanaan seawall yang

efektif dan efisien memerlukan pemahaman yang mendalam mengenai kondisi pantai serta elemen-elemen yang mempengaruhi proses abrasi dan akresi. Ridwan (2018) Mengindikasikan bahwa pengetahuan yang mendalam mengenai karakteristik pantai sangat krusial dalam merancang tembok laut yang sesuai dan berfungsi dengan baik.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang tembok laut yang efektif dan efisien untuk melindungi Pantai Desa Palalakkang, Kecamatan Galesong, Kabupaten Takalar dari abrasi dan akresi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang akurat mengenai perencanaan seawall yang optimal, serta membantu mengurangi kerusakan pada infrastruktur dan lingkungan di sekitarnya.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik gelombang laut di kawasan Pantai Galesong?
2. Bagaimana struktur *seawall* yang sesuai dengan karakteristik fisik dan kondisi laut di kawasan Pantai Galesong?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan Rumusan Masalah yang telah diuraikan di atas Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik gelombang laut yang terjadi di kawasan Pantai Galesong.
2. Perencanaan dan pemilihan tipe *seawall* yang sesuai dengan karakteristik fisik dan kondisi laut di kawasan Pantai Galesong.

D. Kegunaan Penelitian

Manfaat penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi abrasi di Pantai Galesong
2. Merencanakan seawall yang efektif dan efisien
3. Mengurangi risiko kerusakan infrastruktur pantai
4. Meningkatkan dan mempertimbangkan keselamatan masyarakat

E. Batasan Penelitian

Berikut batasan penelitian ini untuk:

1. Penelitian ini menitikberatkan pada perencanaan *seawall*.
2. Penelitian ini tidak menghitung stabilitas bangunan pengaman pantai.
3. Penelitian ini tidak menghitung bangunan pengaman pantai.
4. Penelitian ini dilakukan di Pantai Galesong, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan.
5. Penelitian ini dilakukan dalam waktu tertentu, yaitu pada bulan Juni-Juli 2025.
6. Pengumpulan data primer yaitu tinggi gelombang, arah gelombang, dan kondisi pantai Galesong.
7. Menggunakan sumber data sekunder, yaitu data yang dikumpulkan dari instansi pemerintah dan literatur yang relevan.
8. Menggunakan metode analisis statistik dan regresi untuk menganalisis data yang dikumpulkan.

9. Metode analisis perhitungan tidak sampai pada perhitungan arus gelombang

F. Sistematika Penulisan

Penulisan ini merupakan susunan yang serasi dan teratur oleh karena itu dibuat dengan komposisi bab-bab mengenai pokok-pokok uraian sehingga mencakup pengertian tentang apa dan bagaimana, jadi sistematika penulisan diuraikan sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, Rumusan masalah, Tujuan penelitian, Manfaat penelitian, Batasan masalah, dan Sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang teori-teori yang berhubungan dengan judul Tugas Akhir ini yaitu **“Perencanaan Seawall Di Pantai Galesong Kabupaten Takalar”**

BAB III. METODE PENELITIAN,

Menguraikan tentang Jenis penelitian, Studi literatur penelitian, Lokasi penelitian, sumber data penelitian, Bagan alur penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menguraikan tentang hasil penelitian yang berisi data dan hasil analisis.

BAB V. PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dan saran.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Pantai dan pesisir

Pantai adalah suatu zona peralihan yang mengaitkan daratan dengan lautan. Wilayah yang termasuk dalam pantai mencakup area darat, baik yang terletak di atas maupun di bawah permukaan, dimulai dari titik tertinggi permukaan air saat pasang. Di sisi lain, pantai juga mencakup area laut, mencakup permukaan hingga bawah laut, yang dimulai dari garis surut terendah, termasuk dasar laut dan lapisan tanah yang berada di bawahnya pantai juga meliputi zona perairan, mencakup area dari permukaan sampai ke kedalaman laut, yang dimulai dari titik terendah pasang surut, termasuk tanah dasar laut dan lapisan tanah yang ada di bawahnya.

Menurut Arief *et al.*, (2011) Perubahan pada garis pantai berlangsung secara berkelanjutan karena dampak dari berbagai proses alami di wilayah pesisir, termasuk pergerakan sedimen, arus yang berjalan sejajar dengan pantai, tekanan dari gelombang laut, dan aktivitas penggunaan lahan di area sekitarnya.

Garis pantai merupakan batas antara daratan dan lautan yang letaknya dapat berubah-ubah seiring waktu dan tempat, terutama dipengaruhi oleh perubahan permukaan air laut akibat pasang surut. Pantai sendiri adalah area pertemuan antara laut dan daratan, sekaligus menjadi zona di mana berbagai kekuatan yang berasal dari laut berinteraksi dengan daratan. Pantai merupakan kawasan daratan yang posisinya paling dekat dengan laut. Garis tepi laut berfungsi sebagai penghubung yang membedakan area laut dari tanah. Pesisir merupakan bagian dari tanah yang

terendam oleh air laut pada saat pasang dan akan kembali kering saat surut. Wilayah pesisir atau pantai memiliki lebar yang tidak tetap, mencakup daerah tepi laut (shore) dan meluas ke darat sejauh wilayah tersebut masih dipengaruhi oleh kondisi laut. Pantai secara alami memiliki sejumlah peran penting, antara lain:

- a. Berfungsi sebagai batas alami yang memisahkan daratan dengan lautan.
- b. Menjadi tempat tinggal bagi beragam organisme yang hidup di kawasan pesisir.
- c. Merupakan lokasi bermuaranya sungai, yaitu titik pertemuan antara aliran air dari daratan dan laut.

Dengan berjalannya waktu, pantai dapat memiliki fungsi tambahan atau mengalami perubahan peran sesuai dengan kebutuhan manusia, antara lain:

- a. Berperan sebagai tempat bermuaranya saluran buatan, contohnya saluran untuk tambak.
- b. Menjadi zona transisi bagi aktivitas darat dan laut, seperti pelabuhan dan pelayaran.
- c. Dijadikan area pemukiman bagi komunitas nelayan.
- d. Dimanfaatkan sebagai destinasi wisata.
- e. Digunakan untuk berbagai jenis kegiatan ekonomi atau usaha.
- f. Berfungsi sebagai lahan budidaya pesisir, misalnya tambak dan pertanian di sekitar pantai.
- g. Menjadi penyedia material alami, seperti pasir dan batu koral.

2. Jenis pantai

a. Pantai berpasir

Pantai berpasir merupakan Pantai dengan pasir jenis pantai yang menampilkan area luas yang dipenuhi pasir dengan beragam warna, mulai dari hitam, abu-abu, hingga putih. Di tengah area pasir ini, kadang-kadang terlihat lembah-lembah kecil yang memperindah pemandangan alam. Hutan yang berada di sekitar pantai umumnya dipenuhi oleh pohon kelapa dan cemara laut sebagai vegetasi dominan. Karena keindahannya yang memikat, pantai berpasir kerap menjadi lokasi favorit para wisatawan. Beberapa pantai berpasir yang telah berkembang dan cukup terkenal antara lain Pantai Pangandaran, Carita, serta Pelabuhan Ratu di Jawa Barat; Pantai Parangtritis di Yogyakarta; dan Pantai Sanur serta Kuta di Bali. Di Jakarta, pantai seperti Ancol dan Kepulauan Seribu. termasuk dalam kategori ini, sementara di daerah Takalar, Sulawesi Selatan, ada Pantai Punaga, Puntondo, dan Topejawa.



Gambar 1 Pantai Berpasir
(Sumber : Putra M.K. 2022)

b. Pantai berlumpur

Pantai berlumpur merupakan kawasan pesisir yang didominasi oleh endapan lumpur yang terbentuk akibat proses sedimentasi. Biasanya, pantai jenis

ini terletak di muara sungai, tempat aliran sungai membawa lumpur dan mengendapkannya di tepi laut. Vegetasi khas yang tumbuh di pantai berlumpur di Indonesia adalah hutan mangrove, yang umumnya terdiri dari jenis bakau hitam, bakau putih, dan beberapa varietas lainnya. Hutan mangrove tidak hanya menghasilkan kayu bernilai tinggi, tetapi juga menyediakan bahan alami seperti pewarna dan penyamak. Pertumbuhan tunas-tunas baru di kawasan ini menyebabkan perluasan hutan mangrove secara terus-menerus, sehingga wilayah daratan pun perlahan-lahan semakin menjorok ke laut.

Hutan mangrove berperan krusial dalam melindungi kawasan pesisir dari dampak erosi. Selain menjadi pelindung alami, kawasan ini juga menyediakan tempat hidup bagi berbagai jenis fauna seperti ikan, kepiting, udang, dan kerang. Perairan di sekitarnya kaya akan plankton dan alga yang menjadi sumber pangan utama bagi banyak biota laut. Bagian tumbuhan mangrove yang telah mati seperti daun, ranting, dan batang akan terdekomposisi oleh aktivitas bakteri dan mikroorganisme, menghasilkan zat organik yang berguna bagi ekosistem. Material ini kemudian membantu menyuburkan tanah dan menjadi sumber nutrisi bagi makhluk hidup lainnya.



Gambar 2 Pantai Berlumpur
(Sumber : Putra M.K. 2022)

c. Pantai berbatu

Pantai berbatu biasanya memiliki formasi batuan granit berukuran besar. Tipe pantai ini tersebar di berbagai lokasi, seperti Kepulauan Natuna, Pantai Buton, serta kawasan pesisir selatan Jawa, meliputi Pelabuhan Ratu dan Ujung Kulon.



Gambar 3 Pantai Berbatu
(Sumber : Putra M.K. 2022)

B. Kerusakan Daerah Pantai

Menurut (Utomo, 2019) Menentukan sejauh mana perubahan garis pantai dapat dikategorikan sebagai kerusakan pada wilayah pesisir merupakan tugas yang kompleks. Penilaian terhadap perubahan garis pantai memerlukan tolok ukur yang akurat agar hasil yang diperoleh tidak hanya bersifat sementara, tetapi juga mempertimbangkan perubahan dalam jangka waktu yang lebih panjang. Perubahan garis pantai yang terjadi secara tiba-tiba tidak selalu mencerminkan ketidakstabilan pantai. Oleh karena itu, analisis terhadap dinamika garis pantai perlu dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi perubahan tersebut.

Menurut Arief dalam Darmiati, Garis pantai mengalami perubahan secara terus-menerus sebagai akibat dari berbagai proses alamiah di wilayah pesisir,

seperti pergeseran sedimen, arus sejajar pantai (longshore current), aktivitas gelombang laut, dan pemanfaatan lahan oleh manusia. Perubahan ini dapat terjadi dalam berbagai periode, baik dalam jangka waktu musiman maupun tahunan, bergantung pada daya tahan pantai yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti bentuk topografi, jenis batuan, serta respons pantai terhadap gelombang laut, pasang surut, dan angin. (Opa 2011, dalam Darmiati, 2020).

Kawasan pantai dikategorikan rusak apabila perubahan morfologi yang terjadi telah menurunkan atau bahkan menghilangkan fungsi-fungsi pantai tersebut. Sejalan dengan hal itu, Puslitbang Sumber Daya Air telah melakukan pencatatan tentang kerusakan pantai di Indonesia selama lebih dari 30 tahun terakhir. (Syamsuddin, 2000). Matthew (2010) mengungkapkan bahwa Perubahan iklim global dapat mengakibatkan kerusakan pada ekosistem pesisir dan mangrove akibat kenaikan permukaan laut, yang dapat menenggelamkan kawasan mangrove dan mengurangi habitat alami. Selain itu, perubahan suhu laut dan cuaca ekstrem, seperti gelombang panas dan angin kencang, dapat merusak struktur akar mangrove serta meningkatkan erosi tanah. Peningkatan emisi CO₂ dan gas rumah kaca menyebabkan perubahan utama iklim global, yang berdampak negatif pada ekosistem pesisir, termasuk mangrove. Dampak ini dapat menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati dan mengganggu keseimbangan ekosistem yang ada.

Menurut Ghufroon (2012) Dengan naiknya permukaan air laut, ada beberapa scenario yang dapat terjadi, yaitu:

- a) Peningkatan erosi di pesisir
- b) Peningkatan frekuensi banjir di wilayah pesisir

- c) Perluasan kawasan lahan basah di pesisir
- d) Perubahan kisaran pasang surut di sungai dan teluk
- e) Perubahan tempat pengendapan sedimen di sungai

1. Abrasi

Menurut Budiarti (2020) Sekitar 70% pantai di seluruh dunia, khususnya pantai berpasir, mengalami abrasi. Penyebab utama dari abrasi ini adalah berbagai bentuk campur tangan manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang menyebabkan berkurangnya jumlah cadangan sedimen di pantai dibandingkan dengan sedimen yang dikeluarkan oleh pengaruh alam. Abrasi dapat mengubah bentuk alam dan fungsi yang ada di pesisir, khususnya di pantai berpasir yang mengalami pengikisan

Menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 Abrasi adalah proses pengikisan pantai yang disebabkan oleh gelombang laut dan arus, yang terjadi karena terganggunya keseimbangan alam di wilayah pesisir.

Abrasi merupakan fenomena alam yang mengakibatkan hilangnya tanah di wilayah pesisir akibat dampak ombak dan arus laut yang merusak, yang sering juga dikenal sebagai erosi pantai. Kerusakan pada garis pantai ini dapat disebabkan oleh gangguan pada keseimbangan ekosistem di area pesisir tersebut. Namun, meskipun umumnya abrasi disebabkan oleh faktor alam, terdapat sejumlah aktivitas Secara garis besar, abrasi adalah pengikisan pantai yang disebabkan oleh gelombang laut. Walaupun faktor alam sering kali menjadi penyebab utama, aktivitas manusia juga berperan dalam memicu terjadinya abrasi pantai. ivitas manusia yang juga

berkontribusi pada terjadinya abrasi pantai. Secara sederhana, abrasi adalah pengikisan yang terjadi di pantai akibat gelombang. Walaupun abrasi umumnya disebabkan oleh faktor alam, berbagai aktivitas manusia juga memainkan peran dalam terjadinya abrasi pantai. Arus laut yang memiliki dampak merusak. Proses pengikisan ini mengakibatkan penyusutan area pantai, dengan bagian yang paling dekat dengan air laut menjadi target utama. Oleh sebab itu, jika abrasi dibiarkan tanpa penanganan, akan terus menggerus pantai dan memungkinkan air laut untuk menggenangi wilayah di sekitarnya.

Abrasi juga dikenal sebagai Proses pengikisan ini menyebabkan berkurangnya luas pantai, dengan bagian yang paling dekat dengan laut menjadi area yang paling terdampak. pengikisan pantai. Pengikisan pantai adalah berkurangnya area lahan di kawasan pesisir. Faktor penyebabnya termasuk arus lautan, ombak, bentuk morfologi, keberadaan tanaman pesisir, serta aktivitas manusia yang merugikan pantai. (Muh Haris *et al.*, 2015). Gelombang yang menghantam garis pantai dengan sudut tertentu dapat menciptakan arus yang bergerak di sepanjang pantai. Arus yang mengalir sepanjang pantai, yang dikenal dengan sebutan arus litoral, adalah salah satu faktor yang berkontribusi terhadap Proses terbentuknya bentuk lahan pesisir. (Duhari, 2008). Menurut Triatmodjo Bambang, kerusakan garis pantai yang mengancam area hunian dan infrastruktur kota diakibatkan oleh erosi pantai. Erosi pantai dapat muncul secara alami akibat hempasan ombak atau disebabkan oleh Kegiatan manusia seperti penebangan pohon mangrove, pengambilan batu karang di tepi pantai, serta pembangunan pelabuhan atau infrastruktur lainnya di kawasan pesisir.

Wilayah pantai di Kecamatan Galesong merupakan salah satu lokasi di Kabupaten Takalar yang sangat rawan terkena abrasi. Berdasarkan analisis strategis dari RTRW Kabupaten Takalar periode 2010-2030, wilayah pesisir Galesong Utara yang berbatasan langsung dengan Selat Makassar merupakan area yang sering menghadapi bencana abrasi setiap tahunnya. (Prasetyo *et al.*, 2020). Kemiringan pantai berpedoman pada Mardianto (2004), yaitu:

$$K = \frac{C}{L} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

K = Kemiringan Pantai

C = Kedalaman (m)

L = Jarak dari pantai kearah laut (sejauh 30-50m) dari pasang tertinggi (m)

Nilai K = 0-2% = Datar

> 2-8% = Landai

> 8-30% = Miring

> 30-50% = Terjal

> 50% = Sangat Terjal

Mengukur kecepatan dan orientasi arus, serta ciri-ciri gelombang dilakukan saat terjadi pasang dan surut. Dari data pengamatan ini, energi gelombang selanjutnya dihitung menggunakan rumus:

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

Keterangan:

E = Total Energi (Nm/)

ρ = Densitas air laut (kg/)

yang merupakan fungsi dari salinitas dan kawasan (massa jenis air laut 1,025kg/)

g = Percepatan gravitasi bumi (9,8m/)

h = Tinggi Gelombang (m)

Pengukuran kecepatan arus dengan menggunakan rumus:

$$v = \frac{s}{t} \dots\dots\dots (3)$$

Menurut Junaidi dalam Suwarsono *et al.*, (2011), Kecepatan Abrasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$V = \frac{m}{\frac{A\rho}{t}} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

V = Kecepatan abrasi pantai (m/tahun)

m = Massa subtrat terabrasi (kg) ($m=(p \times l \times t)$)= densitas substrat terabrasi (1,6 x kg)

A = Luas permukaan yang terabrasi (m^2)

T = Waktu (tahun)

2. Tingkat Kerusakan Abrasi

Perubahan garis pantai dapat terjadi akibat gangguan dalam pergerakan sedimen di sepanjang pesisir. berkurangnya pasokan sedimen, adanya struktur

bangunan yang mengganggu, serta kondisi tebing yang tidak stabil yang membuatnya rentan terhadap ombak. Akibat dari perubahan garis pantai ini adalah mundurnya garis pantai dan ancaman terhadap infrastruktur yang berada di kawasan pesisir. Ukuran untuk menilai hal ini adalah tingkat retraksi pantai.

3. Faktor Penyebab Abrasi

Abrasi terjadi karena berbagai alasan. Berdasarkan penjelasan Ongkosongo dalam tulisan Gentur Handoyomo, beberapa penyebabnya berasal dari aktivitas manusia. Beberapa faktor alami yang berkontribusi adalah arus gelombang, angin, proses sedimentasi, perubahan pasang surut, dan sebagainya.

Proses pengikisan pantai, dipicu oleh faktor-faktor alam ketika angin yang bertiup di lautan menciptakan ombak dan arus yang bergerak menuju pesisir. Kekuatan angin dan arus tersebut memiliki dampak yang perlahan-lahan mengikis tepi pantai. Ombak yang membentur sepanjang garis pantai dapat mengguncang atau membuat batuan terlepas dari tanah. Puncak kekuatan gelombang biasanya terjadi saat terjadi badai, yang ini dapat mempercepat proses abrasi. Angin yang bertiup di atas permukaan air yang semula tenang dapat mengganggu ketenangan itu, sehingga menghasilkan ombak kecil.

Ketika kecepatan angin meningkat, gelombang pun mulai terbentuk. Semakin lama dan semakin kencang angin bertiup, semakin tinggi gelombang yang dihasilkan. Tinggi dan rentang waktu gelombang sangat tergantung pada kecepatan angin. Angin yang bergerak di atas permukaan laut berperan sebagai sumber utama bagi munculnya gelombang.

Selain elemen alam, tindakan manusia di daerah pesisir juga mempercepat terjadinya abrasi. Meningkatnya jumlah penduduk di daerah pesisir dapat menyebabkan kerusakan pada keseimbangan masyarakat bangsan ekosistem pesisir. Lonjakan populasi yang pesat di suatu area tentunya akan memunculkan berbagai isu lingkungan.

Berdasarkan survei yang dilakukan di kawasan pantai, ditemukan bahwa salah satu faktor utama peningkatan abrasi dalam beberapa tahun terakhir adalah kegiatan pengambilan pasir di perairan Galesong oleh Makassar New Port. (Prasetyo *et al.*, 2020).

Menurut Muslim D. Imba (2018) Abrasi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, di antaranya abrasi dapat terjadi karena:

a) Faktor Manusia

- 1) Meningkatnya level permukaan laut yang disebabkan oleh lelehnya es di kutub akibat pemanasan global.
- 2) Hilangnya tanaman mangrove (hutan bakau) di tepi pantai.
- 3) Seperti yang diketahui, mangrove ditanam di pinggir pantai, akar-akarnya memiliki kemampuan untuk menahan gelombang sehingga mencegah terjadinya pengikisan pada pantai.
- 4) Ketidakstabilan ekosistem laut, misalnya yang disebabkan oleh eksploitasi besar-besaran oleh manusia terhadap sumber daya laut seperti ikan, terumbu karang, dan lainnya.
- 5) Penambangan pasir yang berlebihan dan tidak terkontrol di kawasan pesisir.

b) Faktor Alam

- 1) Angin yang bertiup di atas lautan menciptakan gelombang dan arus laut yang memiliki kekuatan untuk mengikis area pantai.
- 2) Gelombang yang mencapai pantai dapat mengguncang tanah atau batuan yang akhirnya akan terlepas dari daratan.
- 3) Bencana alam seperti tsunami

4. Dampak abrasi

Menurut Wahyuningsih (2016), erosi laut menjadi isu bagi ekosistem dan tempat tinggal yang terletak di tepi pantai. Pengaruh yang langsung dialami oleh masyarakat termasuk dalam aspek sosial dan ekonomi. Aspek ekonomi dan sosial mencakup berbagai hal yang berkaitan dengan kehidupan masyarakat, seperti kondisi demografi, kesehatan, pendidikan, tempat tinggal, tingkat kriminalitas, dan kesejahteraan keluarga. (Basrowi *et al.*, 2010).

a. Dampak sosial ekonomi

Manumono (2017) menyatakan bahwa pengurangan pendapatan dan pergeseran cara hidup yang diakibatkan oleh lahan yang terkena abrasi secara bertahap mereformasi keadaan komunitas dan pada gilirannya merubah sikap masyarakat tersebut. Secara keseluruhan, para petani tambak dan nelayan merasakan penurunan pendapatan disebabkan oleh abrasi tambak dan rob yang membuat perubahan perilaku yang bersifat merugikan.

b. Dampak lingkungan

Faktor-faktor penyebab abrasi pantai akan menyebabkan erosi pada garis pantai. Konsekuensi abrasi pantai terhadap ekosistem meliputi, semakin

menyusutnya area pantai sehingga mengurangi ruang bagi penduduk yang tinggal di dekat laut secara bertahap, kerusakan pada hutan mangrove di sepanjang pantai akibat gelombang yang terbawa angin kencang, kerusakan infrastruktur di tepi pantai, seperti tiang listrik, jalan, dermaga, dan lainnya, serta hilangnya habitat bagi ikan-ikan di perairan pantai karena terbongkarnya hutan mangrove. (Fauziah, 2018).

Menurut Muslim D. Imba (2018), Sebenarnya, efek dari erosi pantai sangat beragam dan rumit bagi manusia. Berikut adalah penjelasan lebih rinci mengenai konsekuensi dari abrasi pantai:

- 1) Penyempitan wilayah pantai. Penyempitan wilayah pantai adalah konsekuensi yang paling terlihat dari proses abrasi. Ombak dan arus di lautan yang seringkali mendukung rute pergi dan pulang para nelayan atau memberikan pemandangan serta suasana menarik di tepi laut kini berubah menjadi menakutkan. Dampak dari pukulan hebat tersebut pada area pantai dapat menggetarkan batuan dan tanah, sehingga keduanya perlahan-lahan akan terlepas dari daratan dan menjadi bagian yang terendam air. Ini tidak hanya merugikan sektor pariwisata, tetapi juga secara langsung mengancam kelangsungan hidup warga yang tinggal di dekat pantai, baik mereka yang memiliki rumah maupun usaha.
- 2) Kerusakan hutan mangrove. Penanaman hutan mangrove yang seharusnya berfungsi untuk melindungi dan mengurangi risiko erosi pantai bisa berakhir gagal total jika erosi pantai sudah tak terkendalikan. Situasi ini biasanya terjadi saat musim badai, ketika keseimbangan ekosistem benar-benar terganggu atau ketika lautan kehilangan sebagian besar pasokan pasirnya. Apabila dampak ini

muncul, maka langkah penanganan yang lebih serius perlu diambil karena di sebagian besar situasi, keberadaan hutan mangrove masih cukup efektif untuk mengurangi kemungkinan erosi pantai. Ketiga, hilangnya area berkumpul ikan di perairan pesisir. Ini adalah akibat yang logis dari terkikisnya wilayah pantai yang dipicu oleh gelombang dan arus laut yang merusak. Dengan hilangnya habitat tersebut, ikan-ikan pesisir akan kesulitan mencari tempat berkumpul karena mereka tidak dapat tinggal di habitat ikan laut akibat ancaman predator serta suhu yang tidak sesuai dan gelombang lautan yang terlalu besar. Dampak terburuknya adalah kematian ikan-ikan pesisir tersebut.

Dampak dari abrasi yang terlihat menunjukkan bahwa fenomena ini benar-benar berbahaya dan jika tidak ditangani, potensi kerusakannya bisa semakin parah dan merugikan banyak orang. Selain berdampak pada penduduk dan pelaku usaha di area pantai, abrasi yang diabaikan juga dapat memberikan dampak signifikan terhadap hasil tangkapan laut serta berbagai sumber daya alam yang menjadi kebutuhan pokok masyarakat, sekaligus sumber pendapatan bagi banyak orang. Oleh karena itu, berbagai langkah telah diambil atau direncanakan untuk mencegah serta mengurangi terjadinya abrasi di wilayah pantai.

Adnan Sofyan dalam Rahmawati (2020) merincikan efek kerusakan fisik yang disebabkan oleh abrasi, antara lain sebagai berikut:

- 1) Kerusakan pada sarana hiburan yang terdiri dari kursi dan tempat beristirahat.
- 2) Perubahan lahan darat menjadi laut atau pergeseran pantai yang mengurangi ruang tinggal bagi masyarakat di daerah pesisir.

- 3) Akumulasi batu karang yang sejajar dengan tepi pantai. Pengumpulan batu karang ini disebabkan oleh ombak yang membawa material dari area terbuka pantai.

Dari penjelasan mengenai abrasi, terdapat beberapa efek yang ditimbulkan oleh abrasi menurut Ramadhan (2013), antara lain:

- 1) Penurunan ukuran pantai yang mengakibatkan berkurangnya area tinggal bagi masyarakat yang bermukim di tepi laut secara berkelanjutan.
- 2) Kerusakan habitat mangrove di tepi pantai akibat hantaman gelombang yang disebabkan oleh angin kencang yang kuat.
- 3) Kerusakan fasilitas umum yang ada di tepi pantai, seperti tiang listrik, jalan raya, pelabuhan, dan lain sebagainya.
- 4) Hilangnya lokasi berkumpul bagi ikan-ikan di perairan pantai disebabkan oleh penurunan luas hutan mangrove.

5. Upaya pencegahan abrasi

Wilayah tepi laut adalah area yang mudah mengalami pengikisan. Oleh karena itu, tindakan tertentu harus segera diambil untuk menghindari kerusakan ekosistem yang disebabkan oleh pengikisan.

Perilaku manusia dapat menyebabkan abrasi, tetapi faktor alami juga berperan, seperti yang sudah diuraikan sebelumnya. Namun, ini tidak berarti bahwa abrasi pantai tidak bisa diatasi atau dihindari. Ada beberapa metode untuk menangani abrasi pantai yang dapat dilakukan sebagai berikut: (Warisno 2013: 24)

- a. Melindungi hutan mangrove dan menanam pohon bakau di wilayah pantai, selain berfungsi untuk menghindari abrasi juga dapat:

- 1) Melindungi, memelihara dan merawat ekosistem di wilayah pesisir
- 2) Mengurangi efek tsunami
- 3) Memastikan kebersihan air laut
- 4) Penyedia oksigen untuk makhluk hidup.
- b. Membangun perangkat untuk menghadapi ombak, dinding pantai, dan revetment secara bertahap untuk mengurangi pengikisan kawasan pesisir.

6. Deformasi Gelombang

Apabila suatu deretan gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi dan gelombang pecah.

C. Peta Bathymetri

Analisis peta bathymetri dilakukan untuk mengidentifikasi dan memahami kemiringan dari lereng muka (ϕ) dan dasar pantai (β) pada saat sejumlah gelombang bergerak menuju garis pantai. Gelombang-gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk akibat proses refraksi dan penurunan kedalaman, difraksi, pantulan, serta pecahan gelombang di lokasi penelitian. Analisis ini memanfaatkan pendekatan Wentworth, (Sastropawiro, S. dan Yudo W., 1996)

1. Presentase kemiringan

$$s = \frac{(n-1)k}{x} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

2. Derajat kemiringan

$$a = \tan^{-1} x \frac{y}{x} \dots\dots\dots (6)$$

3. Perbandingan antara jarak (Gradien)

$$G = y : x \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

n = jumlah kontur yang memotong horizontal

k = interval kontur (m)

jh = jarak horizontal

jk = tinggi vertical

G = perbandingan antara jarak

Dari hasil nilai tersebut maka kemiringan pantai dapat diklasifikasikan menurut klas diskripsi (US Soil Survey dalam Sastroprawio, dkk., 1966)

Table 1 Klasifikasi lereng

Klasifikasi lereng	0% lereng
Rata hampa/datar	0-2
Landau	2-6
Miring	6-13
Curam menengah	13-25
Curam	25-55
Sangat curam	>55

(Sumber : US Soil Survey dalam Sastroprawiro dan Yudo (1996))

D. Bangunan Pantai

Tipe perlindungan pantai berdasarkan pedoman Perencanaan Perlindungan Pantai dari Kementerian Pekerjaan Umum dibagi menjadi dua kategori, yaitu perlindungan pantai dengan struktur keras dan struktur lembut, sebagai berikut:

1. Pengaman pantai dengan struktur keras, berupa :

No	Tipe Struktur	Tujuan	Fungsi Prinsip
1	Tembok Laut (Sea Wall)	Melindungi daratan dan infrastruktur dari banjir gelombang dan overtopping, serta mencegah Abrasi pantai	Memisahkan garis pantai dari hinterland melalui bangunan impermeable yang tinggi
2	Bulkhead	Menahan tanah dan mencegah longsoran tanah belakang struktur	Penguatan tumpukan tanah
3	Groin	Mencegah Abtasi pantai	Mengurangi transport sedimen sejajar pantai (Longshore transport)
4	Submerged Sill	Mencegah Abrasi pantai	Menahan pergerakan sedimen lepas pantai
5	Breakwater	Shelter kolam pelabuhan, mulut pelabuhan dan pelindung gelombang dan arus	Penyerapan energi gelombang dan/atau refleksi dari energi gelombang kembali ke dalam laut
6	Jetty	Menstabilkan saluran atau alur navigasi pada mulut sungai dan teluk pasang surut	Pembatas aliran-aliran dan arus pasang surut. Pelindung terhadap badai gelombang dan arus putar
7	Sea Dike	Melindungi daratan dari banjir rob, gelombang badai, dan kenaikan muka air laut dengan cara menahan limpasan air agar tidak masuk ke daratan.	Mencegah limpasan air laut (banjir pasang/storm surge)
8	Revetment	Melindungi lereng pantai atau tanggul dari erosi akibat hempasan gelombang laut.	Melindungi lereng dari erosi langsung oleh gelombang

2. Pengaman pantai dengan struktur lunak, berupa :

- 1) Pengisian ulang pasir
- 2) Pendaurlangan pantai
- 3) Drainase pantai
- 4) Penanaman pohon bakau

Upaya pencegahan yang dapat dilakukan secara individual maupun kolektif untuk mengatasi atau menghindari terjadinya pengikisan pantai adalah:

- 1) Konservasi terumbu karang juga berperan dalam mengurangi kekuatan gelombang yang mencapai pantai, oleh karena itu sangat penting untuk menetapkan peraturan yang jelas dalam menjaga habitatnya. Ekosistem terumbu karang, padang lamun, mangrove, serta vegetasi pesisir lainnya berfungsi sebagai benteng alami yang efektif untuk menurunkan kecepatan dan daya energi gelombang laut sehingga dapat mencegah terjadinya pengikisan pantai. Jika pengikisan pantai terjadi pada pulau-pulau kecil yang terletak di lautan terbuka, maka proses tenggelamnya pulau-pulau tersebut akan berlangsung dengan lebih cepat.
- 2) Menjaga kelestarian tanaman bakau atau mangrove, peran dari tanaman bakau atau mangrove ini adalah untuk melindungi pantai dari ombak yang datang, serta berfungsi sebagai habitat bagi ikan dan kepiting.
- 3) Menahan penambangan pasir, pantai yang terus-menerus dieksploitasi akan melemahkan daya tahan pantai.

➤ Jenis-Jenis *Seawall* :

1. *Curved Seawall*

Curved Seawall umumnya terdiri dari konstruksi besar yang terbuat dari kombinasi beton. *Curved Seawall* memiliki desain melengkung ke dalam yang dirancang untuk mengalihkan energi gelombang yang mendekat ke atas, menjauhi bagian bawah seawall, dengan tujuan mengurangi erosi di dasar dinding.



Gambar 4 *Curved Seawall*
(Sumber: Indriyani R., 2019)

2. *Gravity Seawall*

Gravity Seawall adalah jenis bangunan yang mengandalkan massa material yang menyusunnya untuk memberikan ketahanan terhadap tekanan gelombang yang mendekat. Struktur ini memerlukan fondasi yang kuat untuk mampu memikul berat bangunannya dengan baik. *Gravity Seawall* dalam menghadapi gelombang mengandalkan daya geser di sepanjang dasar Bangunan untuk menampung beban yang ada.



Gambar 5 *Gravity Seawall* yang harus ada di sisi jalan
(Sumber: Indriyani R., 2019)s

3. *Steel Sheet Pile Seawall*

Steel Sheet Pile Seawall merupakan bentuk dinding laut yang memakai plat baja yang dipasangkan ke dalam tanah. Tipe dinding laut ini umumnya diterapkan di lokasi yang memiliki kekuatan gelombang yang tidak terlalu besar.



Gambar 6 *Steel Sheet Pile Seawall*
(Sumber: Indriyani R., 2019)

4. *Concrete Block and Rock Walls*

Concrete Block and Rock Walls dibentuk dari unit-unit beton dan batu yang ditempatkan di sisi lereng buatan. Struktur ini umumnya memiliki pengeluaran operasional yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis seawall lain dan memiliki umur layanan yang tidak terlalu panjang. Desain lereng yang miring dapat mengurangi kekuatan gelombang, sementara batu-batu yang telah diatur dapat menyerap daya gelombang dan memecah gelombang utama yang mendekat menjadi gelombang yang lebih kecil.



Gambar 7 *Concrete Block and Rock Walls*
(Sumber: Indriyani R., 2019)

3. Kriteria Pemilihan Bangunan Pantai

1. Kondisi Gelombang

Berdasarkan hasil analisis data gelombang, diketahui bahwa gelombang dominan di lokasi penelitian berasal dari sektor barat, barat laut, dan utara. Gelombang signifikan pada lokasi tersebut memiliki tinggi sebesar 1,85 m dengan periode sebesar 6,78 detik. Gelombang yang merambat menuju pantai mengalami transformasi akibat proses shoaling dan refraction, sehingga pada kedalaman tertentu terjadi gelombang pecah. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tinggi gelombang pecah di lokasi studi mencapai 4,81 m dengan kedalaman pecah sebesar 6,97 m.

2. Transpor Sedimen Menyurus Pantai

Gelombang yang datang dengan membentuk sudut tertentu terhadap garis pantai pada saat pecah akan menghasilkan komponen gaya sejajar pantai yang memicu terjadinya transpor sedimen menyusur pantai atau longshore sediment transport (Komar, 1998). Mekanisme ini terjadi akibat adanya gradien momentum gelombang yang memindahkan butiran sedimen dari satu titik ke titik lainnya sepanjang garis pantai. Berdasarkan hasil pengamatan di lokasi penelitian, arah transpor sedimen netto teridentifikasi menuju ke arah barat. Arah dominan ini menunjukkan bahwa volume sedimen yang berpindah ke arah barat lebih besar dibandingkan ke arah timur, sehingga menimbulkan ketidakseimbangan neraca sedimen di wilayah kajian. Ketidakseimbangan tersebut mengakibatkan terjadinya

defisit sedimen di area tertentu, yang pada akhirnya memicu proses erosi pada pias pantai yang diteliti.

3. Bangunan Eksisting

Berdasarkan hasil survey pada lokasi penelitian terdapat bangunan eksisting di dekat lokasi penelitian dimana pondasi yang digunakan adalah pondasi pasangan batu.

4. Aktivitas Masyarakat di Sepanjang Pantai

Hasil survei lapangan menunjukkan bahwa mayoritas aktivitas ekonomi masyarakat setempat berkaitan dengan sektor perikanan tangkap dan budidaya rumput laut. Berdasarkan wawancara dan observasi, masyarakat menghendaki agar struktur pengaman pantai yang direncanakan memiliki fungsi ganda (multi-purpose structure). Dalam hal ini, bangunan diharapkan tidak hanya berperan dalam melindungi garis pantai dari erosi, tetapi juga dapat berfungsi sebagai pelindung area sandar kapal nelayan serta memberikan perlindungan terhadap fasilitas tambak dan area budidaya rumput laut.

5. Kemudahan Pelaksanaan

Aspek pelaksanaan konstruksi di lapangan merupakan faktor krusial yang harus diperhatikan dalam pemilihan jenis bangunan pengaman pantai. Metode konstruksi yang kompleks atau memerlukan teknologi tinggi cenderung meningkatkan biaya pembangunan serta biaya pemeliharaan jangka panjang (USACE, 2006). Oleh karena itu, perencanaan harus mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan, ketersediaan material lokal, dan keterampilan tenaga kerja

di wilayah setempat guna menekan biaya tanpa mengurangi kualitas dan keandalan struktur (Dean & Dalrymple, 2002). Pendekatan ini sejalan dengan prinsip constructability, yakni integrasi antara perencanaan desain dan kemudahan pelaksanaan di lapangan untuk mengoptimalkan efisiensi biaya dan kinerja struktur.

6. Biaya Pembangunan

Pembangunan struktur pengaman pantai umumnya memerlukan alokasi anggaran yang signifikan, baik dari segi konstruksi maupun pemeliharaan jangka panjang (Dean & Dalrymple, 2002). Oleh karena itu, pemilihan jenis bangunan harus mempertimbangkan efisiensi biaya sekaligus keandalan teknis dalam mereduksi energi gelombang dan mengendalikan proses erosi. Alternatif desain yang memiliki biaya relatif rendah namun tetap memenuhi standar kinerja teknis dan keberlanjutan fungsinya perlu diprioritaskan dalam perencanaan. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pengelolaan wilayah pesisir yang mengedepankan keseimbangan antara efektivitas teknis, kelayakan ekonomi, dan dampak lingkungan (USACE, 2006).

7. Dampak Bangunan terhadap Lingkungan

Secara alami, pantai berada dalam kondisi keseimbangan dinamis, di mana proses erosi dan akresi berlangsung secara berkesinambungan serta relatif seimbang dalam skala waktu tertentu (Bird, 2008). Namun, apabila terjadi intervensi terhadap sistem pantai, seperti pembangunan struktur pelindung pantai (seawall, groin, atau breakwater), keseimbangan dinamis tersebut dapat terganggu. Struktur tersebut mengubah pola penjalaran gelombang, arus sejajar pantai (longshore current), dan

pola transpor sedimen (Komar, 1998). Perubahan ini dapat menyebabkan terjadinya akumulasi sedimen (akresi) di sisi hulu arus sejajar pantai, sementara di sisi hilirnya terjadi kekurangan suplai sedimen yang memicu proses erosi. Mekanisme ini merupakan konsekuensi langsung dari terputusnya kontinuitas transpor sedimen alami di sepanjang garis pantai (Dean & Dalrymple, 2002).

8. Ketersediaan Material

Material yang digunakan pada struktur pengaman pantai eksisting berupa tumpukan batu kali yang berfungsi sebagai seawall (tembok laut). Dari perspektif ketersediaan material lokal, batu kali sebagai komponen utama bangunan memiliki keunggulan karena dapat diperoleh di sekitar lokasi penelitian, sehingga mendukung efisiensi biaya dan kemudahan pelaksanaan konstruksi. Berdasarkan hasil analisis terhadap kriteria pemilihan bangunan pantai, tahap selanjutnya adalah menyesuaikan fungsi dan tujuan bangunan dengan kondisi lapangan serta karakteristik material yang tersedia. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa jenis bangunan pengaman pantai yang paling sesuai dengan kriteria tersebut adalah seawall tipe Concrete Block and Rock Walls, yang menggabungkan elemen beton pracetak dengan tumpukan batu untuk meningkatkan stabilitas struktur dan ketahanan terhadap energi gelombang.

E. Perhitungan Dimensi Seawall

1. Elevasi Marchu

$$\text{Elmercu} = \text{DWL} + \text{Ru} + \text{Fb} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan :

Elmercu : Elevasi mercu seawall (m)

- DWL : Design Water Level (m)
 Ru : Run up gelombang (m)
 Fb : Tinggi jagaan (1,0 – 1,5 m)

2. Lebar merchu

Lebar puncak bangunan penghalang air harus sekurang-kurangnya tiga kali ukuran diameter batu pelindung. Jika bagian puncak dimanfaatkan sebagai jalan, maka lebar puncaknya bisa ditentukan antara 3,0 hingga 6,0 m.

3. Lapis Lindung

$$W = \frac{\gamma b h^3}{K D \times \Delta^3 \cos \theta} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

- W : Berat minimum batu (ton)
 H : Tinggi gelombang rencana (m)
 KD : Koefisien stabilitas batu lapis lindung
 θ : Sudut lereng seawall
 γ_a : berat satuan air laut (ton/m³)
 γ_b : Berat satuan batu lapis lindung (ton/m³)

- Tebal lapis lindung

$$t = 2 d_e = \left(\frac{W}{\gamma_b} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan :

- t : Tebal lapis lindung (m)
 d_e : diameter equivalen (m)
 W : Berat lapis lindung (tf)
 γ_b : Berat satuan batu lapis lindung (ton/m³)

Table 2 Koefisien stabilitas K_d untuk berbagai jenis butir

Lapis Lindung	n	Penem- patan	Lengan Bangunan		Ujung (kepala) bangunan		Kemi- ringan
			K _D		K _D		
			Gelomb. Pecah	Gelomb. Tidak Pecah	Gelomb. Pecah	Gelomb. Tidak Pecah	Cot θ
Batu pecah							
Bulat halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5 - 3,0
Bulat halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	• ²
Bersudut kasar	1	Acak	• ¹	2,9	• ¹	2,3	• ²
Bersudut kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,9	3,2	1,5
Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	• ²
Bersudut kasar	2	Khusus • ³	5,8	7,0	5,3	6,4	• ²
Paralelepipedum	2	Khusus	7,0-20,0	8,5-24,0	-	-	
Tetrapod					5,0	6,0	1,5
dan	2	Acak	7,0	8,0	4,5	5,5	2,0
Quadripod					3,5	4,0	3,0
Tribar	2	Acak	9,0	10,0	8,3	9,0	1,5
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	7,8	8,5	2,0
Kubus dimodifikasi	2	Acak	6,5	7,5	6,0	6,5	3,0
Hexapod	2	Acak	8,0	9,5	8,0	16,0	2,0
Tribar	1	Seragam	12,0	15,0	7,0	14,0	3,0
Batu pecah (KRR)	-	Acak	2,2	2,5	-	-	
(graded angular)							

(SPM, 1984)

(Sumber : buku Teknik pantai Pro.Dr.Ir.Bambang Triatmodjo)

Table 3 Tabel koefisien stabilitas

Batu Pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis (k_A)	Porositas P(%)
Batu alam (halus)	2	random (acak)	1,02	38
Batu alam (kasar)	2	random (acak)	1,15	37
Batu alam (kasar)	> 3	random (acak)	1,10	40
Kubus	2	random (acak)	1,10	47
Tetrapod	2	random (acak)	1,04	50
Quadripod	2	random (acak)	0,95	49
Hexapod	2	random (acak)	1,15	47
Tribard	2	random (acak)	1,02	54
Dolos	2	random (acak)	1,00	63
Tribar	1	seragam	1,13	47
Batu alam		random (acak)		37

4. Tebal toe protection

Tebal toe protection = $1t - 2t$, sedangkan berat batu lapis pelindung dipergunakan kira-kira $\frac{1}{2}$ dari yang dipergunakan pada dinding seawall. (Yuwono, hal:17, 2004). Menurut Triatmodjo, berat butir batu untuk pondasi dan kaki bangunan diberikan oleh persamaan berikut :

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)} \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan :

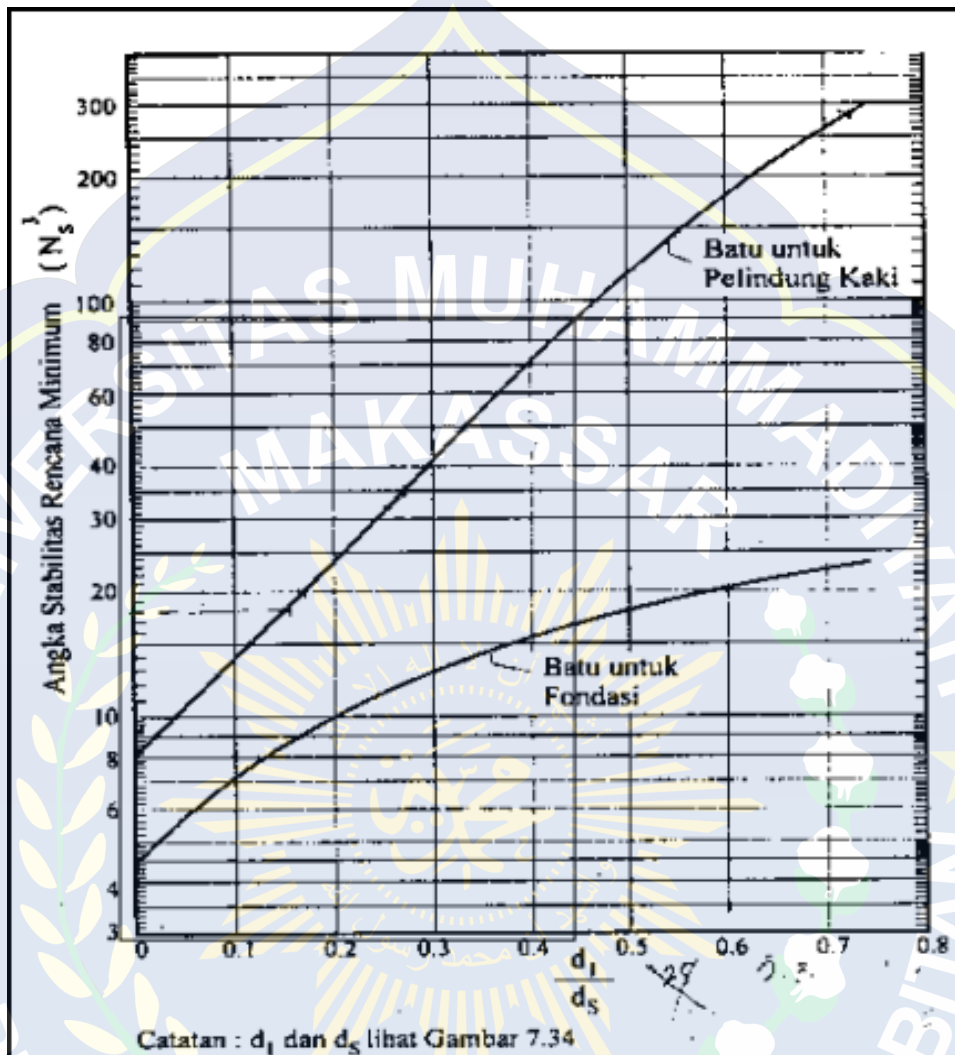
W : Berat rerata butir batu (ton)

γ_b : Berat jenis batu (ton/m³)

S_r : Perbandingan antara berat jenis batu dan berat jenis air laut

N_s : Angka stabilitas rencana untuk pondasi dan pelindung kaki bangunan s

γ_a : berat jenis air laut (= 1,025 -1,03 ton/m³)



Gambar 8 Angka Stabilitas N_s Untuk Pondasi Pelindung Kaki
(Sumber : Buku teknik pantai Pro.Dr.Ir.Bambang Triatmodjo)

F. Karakteristik Gelombang

1. Tinggi gelombang

Tinggi gelombang adalah jarak vertikal antara puncak gelombang (crest) dengan lembah gelombang (trough). Besaran ini sangat penting karena menentukan besarnya energi gelombang yang dibawa ke arah pantai. Tinggi gelombang dipengaruhi oleh kecepatan angin, durasi tiupan angin, serta panjang fetch (jarak laut terbuka tempat angin berhembus). Semakin besar tinggi gelombang, semakin

besar pula energi yang dapat mempengaruhi struktur pantai maupun bangunan pelindung pantai.

2. Priode gelombang

Periode gelombang adalah waktu yang dibutuhkan dua puncak atau dua lembah gelombang berturut-turut melewati suatu titik tetap. Periode ini biasanya diukur dalam detik dan menunjukkan karakteristik gelombang yang terbentuk. Gelombang dengan periode panjang biasanya membawa energi yang lebih besar dan mampu merambat lebih jauh dibandingkan gelombang dengan periode pendek.

3. Panjang gelombang

Panjang gelombang adalah jarak horizontal antara dua puncak atau dua lembah berturut-turut dari suatu gelombang. Panjang gelombang dipengaruhi oleh periode gelombang dan kedalaman perairan, di mana semakin dalam laut, panjang gelombang cenderung lebih besar. Besaran ini penting dalam perencanaan bangunan pantai karena menentukan interaksi gelombang dengan dasar laut.

4. Kecepatan rambat gelombang

Kecepatan rambat gelombang (celerity) adalah kecepatan pergerakan gelombang sepanjang permukaan laut. Kecepatan ini diperoleh dari pembagian panjang gelombang dengan periode gelombang ($C=L/T$). Nilai kecepatan rambat akan berbeda pada perairan dangkal dan dalam, karena adanya pengaruh kedalaman terhadap bentuk dan sifat gelombang.

5. Arah gelombang

Arah gelombang menunjukkan sudut datang gelombang terhadap garis pantai atau arah utara. Arah ini dipengaruhi oleh arah angin dominan dan kondisi oseanografi setempat. Informasi arah gelombang sangat penting untuk menganalisis proses sedimentasi, erosi pantai, serta perencanaan pelabuhan dan struktur pelindung pantai.

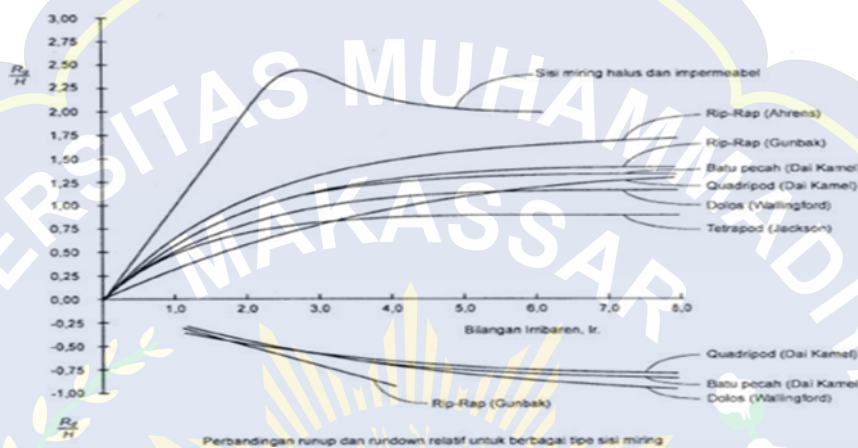
6. Amplitudo gelombang

Amplitudo gelombang adalah jarak vertikal dari muka air laut tenang (still water level) hingga ke puncak gelombang. Secara matematis, amplitudo merupakan setengah dari tinggi gelombang ($a=H/2$). Amplitudo berhubungan langsung dengan energi gelombang yang dapat memberikan gaya tekan pada bangunan di pantai, sehingga perlu diperhitungkan dalam perencanaan teknik pantai.

7. Run-up Gelombang

Gelombang run-up terjadi ketika gelombang bergerak melawan pantai dan bertabrakan dengan struktur perlindungan pantai. Sebagian energi dari gelombang akan berubah menjadi pergerakan air yang meluncur menuju lereng dan struktur pelindung pesisir. Setelah mencapai titik tertinggi, air akan mengalir kembali, yang dikenal sebagai *run-down*, disebabkan oleh gaya berat. Proses run-down ini akan terus berlanjut sampai gelombang run-up diukur secara tegak dari permukaan rata-rata laut. Karena banyak faktor yang berpengaruh, menentukan ukuran run-up secara analitis sangat rumit. Penelitian mengenai run-up gelombang telah dilakukan di laboratorium oleh Irrabaren untuk mengukur besarnya run-up pada struktur

dengan permukaan miring untuk berbagai jenis material. Nilai run-up dan run-down ditampilkan pada Gambar 1, di mana R_u dan R_d masing-masing menunjukkan run-up dan run-down yang diukur dari permukaan air laut rata-rata.



Gambar 9 Run-Up dan Run-Down Terhadap Bilangan Irreguler
(Sumber: Triatmodjo B., 1999)

8. Tinggi muka air rencana

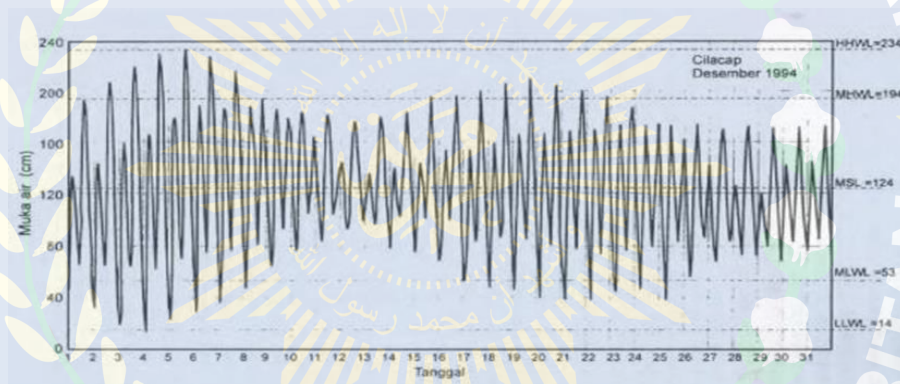
a. Pasang surut

Pasang surut merupakan Perubahan ketinggian muka air laut yang disebabkan oleh gerak gravitasi bulan, matahari, dan benda langit lain di sekitar Bumi. Ini adalah fenomena alam yang tidak dapat dihindari yang terjadi secara alami.

Kurva pasang dapat menunjukkan elevasi muka air dari berbagai jenis yaitu:

- 1) Tingkat air tertinggi yang pernah tercatat (HHWL) adalah ketinggian maksimum permukaan air dalam suatu jangka waktu tertentu.
- 2) Rata-rata tingkat air tinggi (MHWL), yang merujuk pada variasi pada permukaan laut akibat tarikan gravitasi dari bulan, matahari, serta benda langit lainnya yang berdekatan dengan Bumi. Ini adalah fenomena alami

- 3) yang tidak bisa dihindari dan terjadi secara otomatis, yaitu rata-rata ketinggian air pada saat pasang selama suatu periode tertentu.
- 4) Rata-rata tingkat air laut (MSL) mendefinisikan ketinggian rata-rata air pada saat pasang selama jangka waktu tertentu.
- 5) Rata-rata tingkat air surut (MLWL) merupakan ukuran dari ketinggian rendah permukaan air dalam periode yang ditentukan.
- 6) Tingkat air terendah yang pernah tercatat (LLWL) adalah ketinggian minimum dari permukaan air dalam periode tertentu.



Gambar 10 Kurva Pasang Surut
(Sumber: Triatmojo 1999)

b. Kenaikan Muka Air Karena Angin (*Wind Set-Up*)

Angin kencang di atas perairan dapat menyebabkan perubahan besar pada level air laut di sepanjang garis pantai. Kenaikan tinggi permukaan air yang disebabkan oleh fenomena alam seperti badai dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\Delta h = \frac{F_l}{2} \text{ atau } \Delta h = Fc \frac{v^2}{2gd} \dots\dots\dots(15)$$

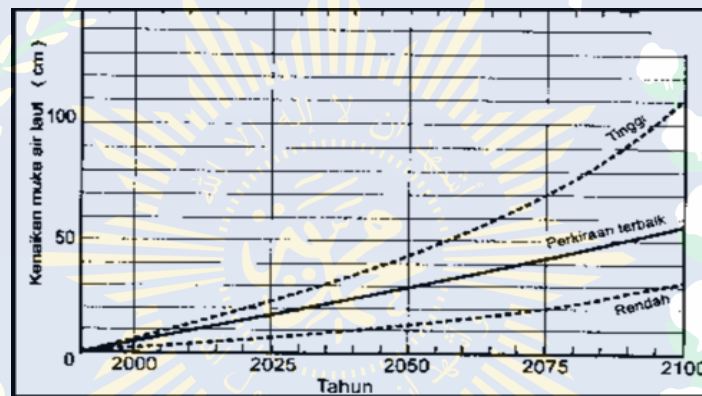
Keterangan:

F : Panjang fetch

- l : Kemiringan muka air
 c : Konstanta = $3,5 \times 10^{-6}$
 V : Kecepatan angin (m/d)
 d : Kedalaman air (m)

c. *Sea Level Rise*

Peningkatan gas rumah kaca di udara meningkatkan suhu planet, yang menyebabkan permukaan lautan mengalami kenaikan.



Gambar 11 Grafik distribusi kecepatan angin
 (Sumber : buku Teknik pantai Pro.Dr.Ir.Bambang Triatmodjo)

Kenaikan permukaan laut yang diprediksi pada tahun yang direncanakan dengan estimasi paling akurat dapat menghasilkan nilai dari peningkatan tingkat laut.

d. Elevasi muka air rencana

Ketinggian air laut yang direncanakan adalah hasil penjumlahan dari variasi pasang surut, pengaruh gelombang, dorongan angin, dan peningkatan level air akibat perubahan iklim global. Peristiwa tsunami tidak dimasukkan dalam

perhitungan, mengingat frekuensinya yang sangat rendah. Jika tsunami dimasukkan dalam pertimbangan, ukuran struktur akan menjadi sangat besar.

$$DWL = HHWL + SW + SLR \dots\dots\dots(16)$$

Keterangan :

DWL = *Design water level* (elevasi muka air rencana)

HHWL = *Higher high water level* (Muka air tinggi tertinggi)

Sw = *Wave set-up*

SLR = *Sea Level Rise*

G. Fetch

Fetch merupakan area di mana gelombang terbentuk, yang diperkirakan memiliki kecepatan dan arah angin yang cukup stabil. Saat menganalisis pembentukan gelombang di lautan, fetch dibatasi oleh kontur daratan yang berada di sekitar laut. Di zona pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya muncul sejalan dengan arah angin, tetapi juga dapat terbentuk pada berbagai sudut relatif terhadap arah angin, sehingga panjang fetch diukur dari titik pengamatan dengan interval 6 derajat.

Untuk mendapatkan fetch efektif dapat diberikan oleh persamaan berikut (Triatmodjo, 1999) :

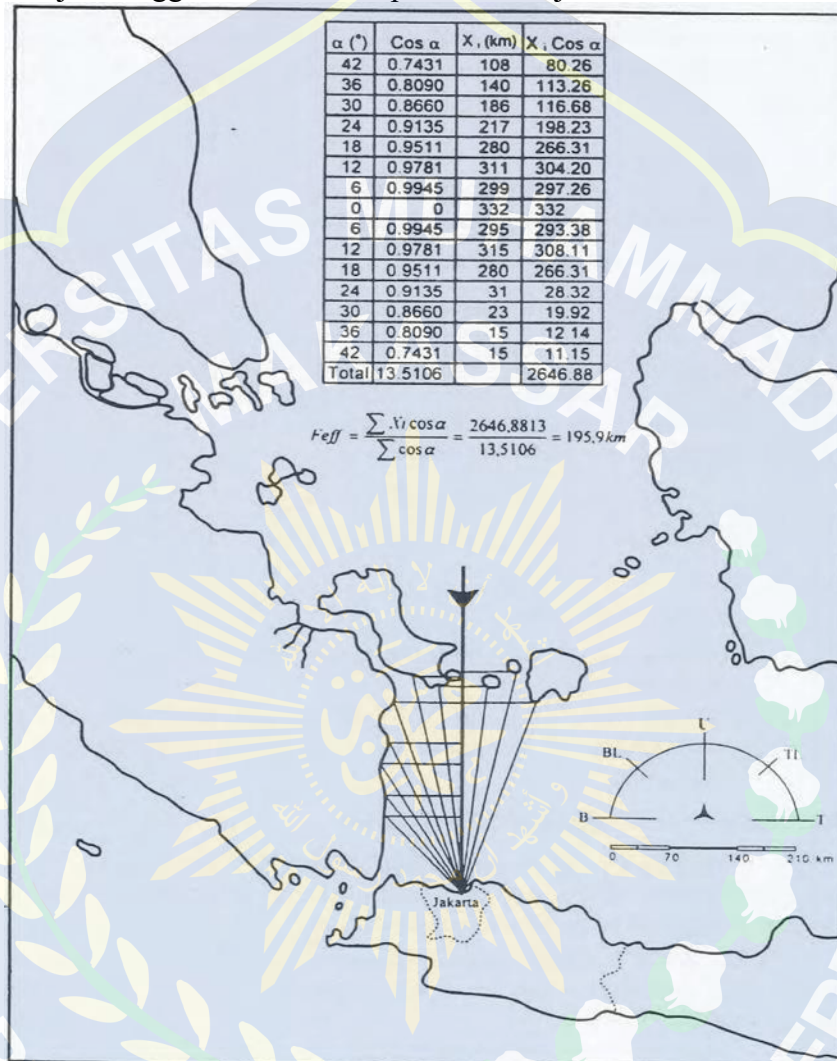
$$F_{ef} = \frac{\sum X_i \cos a}{\sum \cos a} \dots\dots\dots(17)$$

Keterangan :

F_{eff} = fetch rerata efektif.

X_i = Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch.

α = Deviasi di kedua sisi arah angin, dengan menerapkan peningkatan 6 derajat hingga sudut mencapai 42 derajat di kedua sisi arah angin.



Gambar 12 Gambar Fetch
(Sumber: Triatmojo 2011)

Pada gambar diatas ditunjukkan cara untuk mendapatkan fetch efektif.

Perhitungan gelombang di lautan dalam didasarkan pada fetch dan UA.

Secara umum, pola gelombang di alam sangat kompleks untuk dianalisis secara matematis karena sifatnya yang non-linear, berdimensi tiga, dan bentuknya yang acak. Beberapa teori hanya dapat menggambarkan pola gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan terhadap gelombang alami. Dalam analisis

gelombangnya, teori yang digunakan adalah teori gelombang paling dasar, yaitu teori gelombang linear, yang pertama kali diperkenalkan oleh Airy pada tahun 1845.

Prosedur peramalan gelombang menggunakan persamaan (SPM, 1984);

$$\frac{gHs}{U_A^2} = 1,6 \times 10^{-3} \left[\frac{gf}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (18)$$

$$\frac{gTm}{U_A} = 2,857 \times 10^{-1} \left[\frac{gf}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (19)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \left[\frac{gf}{U_A^2} \right]^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (20)$$

Persamaan diatas berlaku untuk kondisi gelombang *Fully Developed Seas*, sehingga tinggi dan periode gelombang dibatasi menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{gHs}{U_A^2} = 2,433 \times 10^{-1} \dots\dots\dots (21)$$

$$\frac{gTm}{U_A} = 8,134 \dots\dots\dots (22)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \left[\frac{gf}{U_A^2} \right]^{\frac{2}{3}} \leq 7,15 \times 10^4 \dots\dots\dots (23)$$

Jika keluaran tidak sesuai dengan perbandingan yang telah disebutkan, gelombang yang terbentuk adalah gelombang ideal. Oleh karena itu, untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang, kita dapat menggunakan rumus berikut:

$$H_{mo} = \frac{0,2433 \times U_A^2}{g} \dots\dots\dots (24)$$

$$H_{mo} = \frac{8,314 \times U_A}{g} \dots\dots\dots (25)$$

Apabila hasil yang diperoleh sesuai dengan perbandingan yang tertera di atas, gelombang yang dihasilkan merupakan hasil dari pertumbuhan gelombang yang tidak ideal. Ketidaksempurnaan dalam pertumbuhan gelombang dipengaruhi

oleh pembatasan fetch (Fetch Limited) serta durasi yang terbatas (Duration Limited). Sebelum membedakan, pertama-tama hitunglah durasi kritis (t_c) dengan menggunakan persamaan.:

$$t_c = 68,8 \left[\frac{U_A}{g} \right] \left[\frac{gf}{U_A^2} \right]^{\frac{2}{3}} \dots \dots \dots (26)$$

Jika t_d lebih besar dari t_c , maka pertumbuhan gelombang terbatas oleh fetch (Fetch Limited), sehingga perhitungan parameter gelombang diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$H_{mo} = 1,6 \times 10^{-3} \left[\frac{U_A}{g} \right] \left[\frac{gf}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (27)$$

$$T_P = 2,857 \times 10^{-1} \left[\frac{U_A}{g} \right] \left[\frac{gf}{U_A^2} \right]^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (28)$$

Jika t_d lebih kecil dari t_c , maka pertumbuhan gelombang akan dikendalikan oleh durasi Terbatas (Duration Limited), maka fetch yang diterapkan adalah F_{min} yang diperoleh melalui rumus:

$$T_P = \left[\frac{U_{AA}^2}{g} \right] \left[\frac{gf_d}{68,8 U_A} \right]^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (29)$$

Untuk mendapatkan nilai parameter gelombang, dilakukan perhitungan dengan metode yang sama seperti Fetch Limited, di mana F yang digunakan Adalah F_{min}

Table 4 Persamaan untuk Peramalan Tinggi Gelombang dengan Menggunakan Metode SMB (SI)

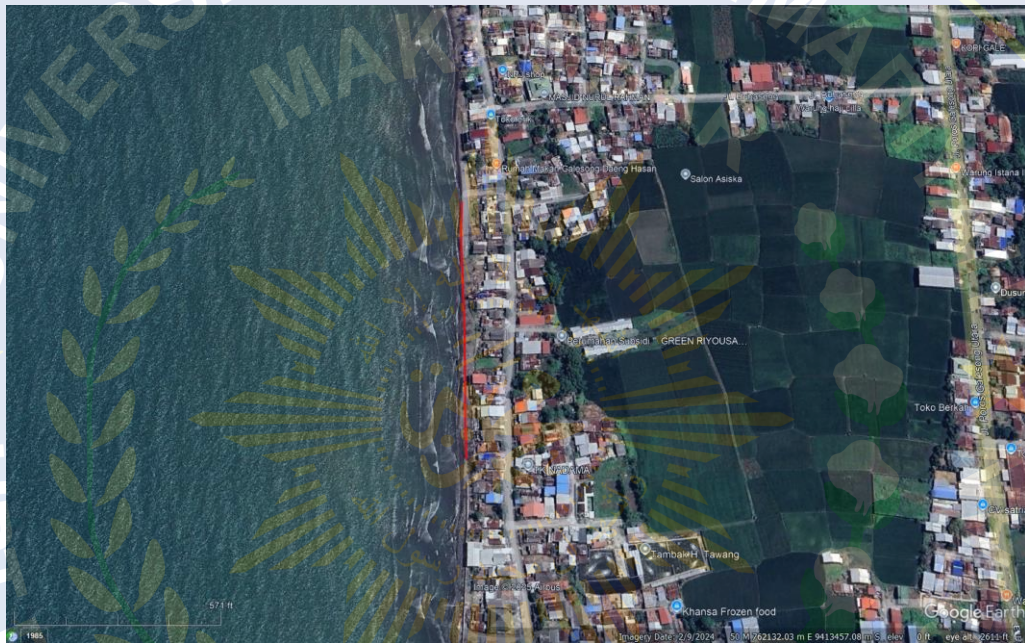
Dimensionless	Metric Units	
	H(m), T(s), U_A (m/s), F(m), t(s)	H(m), T(hr), U_A (m/s), F(km), t(s)
Fetch Limited (F,U)		
$\frac{g \cdot H_{m0}}{U_A^2} = 1,6 \times 10^{-3} \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{1/2}$	$H_{m0} = 5,112 \times 10^{-4} \cdot U_A \cdot F^{1/2}$	$H_{m0} = 1,616 \times 10^{-2} \cdot U_A \cdot F^{1/2}$
$\frac{g \cdot T_m}{U_A} = 2,857 \times 10^{-1} \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{1/3}$	$T_m = 6,238 \times 10^{-2} \cdot (U_A \cdot F)^{1/3}$	$T_m = 6,238 \times 10^{-1} \cdot (U_A \cdot F)^{1/3}$
$\frac{g \cdot t}{U_A} = 6,88 \times 10 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{2/3}$	$t = 3,215 \times 10 \cdot \left(\frac{F^2}{U_A} \right)^{1/3}$	$t = 8,93 \times 10^{-1} \cdot \left(\frac{F^2}{U_A} \right)^{1/3}$
Fully Developed		
$\frac{g \cdot H_{m0}}{U_A^2} = 2,433 \times 10^{-1}$	$H_{m0} = 2,482 \times 10^{-2} \cdot U_A^2$	$H_{m0} = 2,482 \times 10^{-2} \cdot U_A^2$
$\frac{g \cdot T_m}{U_A} = 8,134$	$T_m = 8,308 \times 10^{-1} \cdot U_A$	$T_m = 8,308 \times 10^{-1} \cdot U_A$
$\frac{g \cdot t}{U_A} = 7,15 \times 10^4$	$t = 7,296 \times 10^3 \cdot U_A$	$t = 2,027 \cdot U_A$
$g = 9.8 \text{ m/s}^2$		

(Sumber : CERC, 1984)

BAB III METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Pantai Desa Palalakkang, Kecamatan Galesong, Kabupaten Takalar. Pada titik koordinat ($5^{\circ}18'18.12''S$ $119^{\circ}22'5.33''E$). Penelitian ini akan selama 2 Bulan, yaitu pada bulan juni dan juli 2025.



Gambar 13 Lokasi Penelitian

B. Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif, dimana jenis penelitian yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul.

C. Sumber Data

Peneliti mengelompokkan sumber data ke dalam 2 bagian yaitu:

- 1) Data primer adalah sumber data yang langsung memberikan data kepada pengumpul data. Menggunakan data primer dengan mengumpulkan data-data

yang bersumber langsung dari lokasi penelitian, Pengambilan data dilakukan pada tinjauan kondisi Pesisir Pantai Desa Galesong, Kabupaten Takalar.

- 2) Data Sekunder adalah data yang bersumber dari instansi-instansi yang terkait dengan perencanaan konstruksi. Bangunan pantai dalam upaya Penanggulangan Abrasi Pantai Desa Galesong, Kabupaten Takalar ini memerlukan data sekunder sebagai berikut :

- a) Data Pasang Surut Air laut Kecamatan Galesong Kabupaten Takalar.
- b) Data Angin Kecamatan Galesong Kabupaten Takalar.
- c) Peta Bathymetri

D. Alat dan Bahan Penelitian

Dalam pengambilan data primer dibutuhkan alat, berikut ini alat yang digunakan selama penelitian berlangsung.

Table 5 Alat Penelitian

No.	Alat	Fungsi
1	Meter	Mengukur panjang lokasi penelitian ($\pm 250\text{m}$)
2	Kamera	Dokumentasi/Foto kegiatan
3	Alat Tulis; Balpoin, Papan Pengalas, Kertas	Mencatat data pengukuran

E. Metode Pengumpulan Data

1. Data primer (lapangan)

- a. Survei kondisi pantai: Observasi morfologi/garis pantai dan aktivitas setempat di Pantai Desa Palalakkang, Kec. Galesong, Kab. Takalar, selama Juni–Juli 2025. Pengukuran panjang segmen pantai $\pm 250\text{ m}$ menggunakan

meteran, pencatatan, dan dokumentasi foto. Langkah inti: tentukan BM titik awal–akhir, bentangkan meter dari awal ke akhir, catat hasil, dokumentasikan.

b. Peralatan: meter, kamera, alat tulis (balpoin, papan alas, kertas) beserta fungsi masing-masing.

2. Data sekunder (instansi/literatur)

a. Data pasang surut wilayah Galesong.

b. Data angin (kecepatan & arah) dari Stasiun Maritim Paotere, Makassar, rentang 2015–2024 (bulanan).

c. Peta batimetri wilayah Galesong (Ina-Geoportal)

F. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas (Independen)

Variabel yang memengaruhi proses perencanaan seawall, berupa kondisi alam dan data teknis:

- 1) Data angin: kecepatan angin (U), arah angin dominan (wind rose).
- 2) Fetch efektif (F_{eff}): panjang lintasan angin pada tiap arah.
- 3) Gelombang lepas: tinggi gelombang signifikan (H_s), periode gelombang (T) hasil peramalan SMB/SPM.
- 4) Gelombang ekstrem/rencana: H_s dan T periode ulang (2–50 tahun) dari analisis statistik (Fisher-Tippett).
- 5) Transformasi gelombang: shoaling, refraksi, tinggi gelombang pecah (H_b), kedalaman pecah (db).

- 6) Data pasang surut: komponen pasut dari analisis metode *Admiralty*.
- 7) Kenaikan muka air laut (*sea level rise*).
- 8) Wind set-up akibat tiupan angin.
- 9) Run-up gelombang di depan bangunan.
- 10) Peta batimetri & morfologi pantai: kedalaman, kemiringan dasar, kondisi garis pantai.
- 11) Kondisi lingkungan setempat: aktivitas masyarakat (perikanan, budidaya, akses), kondisi bangunan eksisting.

2. Variabel terikat (Dependen)

Variabel yang menjadi hasil dari analisis variabel bebas di atas, yaitu dimensi perencanaan seawall di Pantai Galesong:

- 1) Elevasi mercu seawall (ditentukan dari EMAR dan freeboard).
- 2) Tinggi bangunan seawall.
- 3) Lebar puncak dan lebar dasar seawall.
- 4) Spesifikasi lapis lindung (berat batu pelindung, tebal lapisan, ukuran blok/armor).
- 5) Filter & inti bangunan.
- 6) Toe protection (perlindungan kaki bangunan).

G. Metode Analisis

1. Pengolahan data angin (2015–2024) dan menyusun statistik kecepatan, arah tampilkan *wind rose*, distribusi frekuensi mengidentifikasi arah dominan.
2. Fetch efektif (Feff) per sektor arah angin sesuai skema segmentasi, menghitung Feff untuk input peramalan.
3. Peramalan gelombang lepas, menggunakan persamaan SMB/SPM (CERC, 1984); pertimbangkan kondisi *fully developed*, *fetch-limited*, atau *duration-limited* (uji t_c vs t_d). Dapatkan H_s dan T .
4. Ekstrem gelombang rencana, mengurutkan H_s tahunan tertinggi, menerapkan Fisher-Tippett Type I untuk periode ulang (2–50 thn) dan mengambil H_s , T rencana.
5. Transformasi dan pecah gelombang serta estimasi tinggi gelombang pecah (H_b) dan kedalaman pecah (db) menggunakan kurva/relasi Goda.
6. Elevasi muka air rencana (EMAR), mengolah pasang surut metode Admiralty dari data observasi dan tambahkan wind set-up, SLR, dan run-up untuk memperoleh EMAR.
7. Perencanaan geometrik seawall, Dengan menentukan elevasi mercu, lebar puncak, lapis lindung (berat batu/ketebalan), serta toe protection, merujuk hasil gelombang & EMAR, dan kondisi lapangan. (Desain contoh hasil: tinggi ~6 m, lebar dasar 19,23 m, bobot batu pelindung utama 510 kg, toe 205 kg).

H. Prosedur Penelitian

1. Studi Pustaka dan Perencanaan

- Melakukan kajian literatur terkait perencanaan seawall, karakteristik pantai, proses hidrodinamika, serta metode analisis gelombang dan pasang surut.
- Menentukan batasan penelitian, meliputi lokasi studi, periode data, serta jenis struktur yang akan direncanakan.
- Menyusun rencana survei lapangan dan daftar kebutuhan data, baik primer maupun sekunder.

2. Pengumpulan Data

a. Data Primer (Lapangan):

- Mengukur panjang segmen pantai yang menjadi lokasi penelitian.
- Melakukan dokumentasi visual berupa foto dan video kondisi garis pantai.
- Mencatat kondisi eksisting, termasuk erosi pantai, pemanfaatan lahan, serta aktivitas masyarakat/nelayan di sekitar lokasi.

b. Data Sekunder:

- Mengunduh peta batimetri wilayah Galesong.
- Mengumpulkan data angin periode 2015–2024.
- Mengumpulkan data pasang surut (pasut) wilayah Galesong.

3. Pengolahan Data

- Statistik Angin: Mengolah data arah dan kecepatan angin serta menyusun diagram *wind rose*.
- Gelombang: Menghitung effective fetch (Feff), melakukan peramalan tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode (T) menggunakan metode SMB/SPM, serta melakukan ekstraksi gelombang ekstrem dengan metode Fisher-Tippett I.

- Gelombang Pecah: Menghitung tinggi gelombang pecah (H_b) dan kedalaman pecah (db) menggunakan metode Goda.
- Pasang Surut: Menganalisis pasut dengan metode Admiralty dan menentukan komponen utama pasut (EMAR).

4. Penentuan Parameter Desain

- Menyusun parameter hidrodinamika desain berdasarkan hasil analisis (H_s , T , H_b , db , dan elevasi muka air).
- Menentukan dimensi utama seawall, meliputi: Elevasi mercu (crest elevation), Lebar puncak, Lapisan pelindung (armor unit: berat dan tebal), Lapisan filter dan inti, Toe protection.
- Menyesuaikan desain dengan kondisi lokal, mempertimbangkan fungsi ganda (perlindungan pantai sekaligus akses nelayan), kemudahan pelaksanaan, dan aspek sosial-ekonomi.

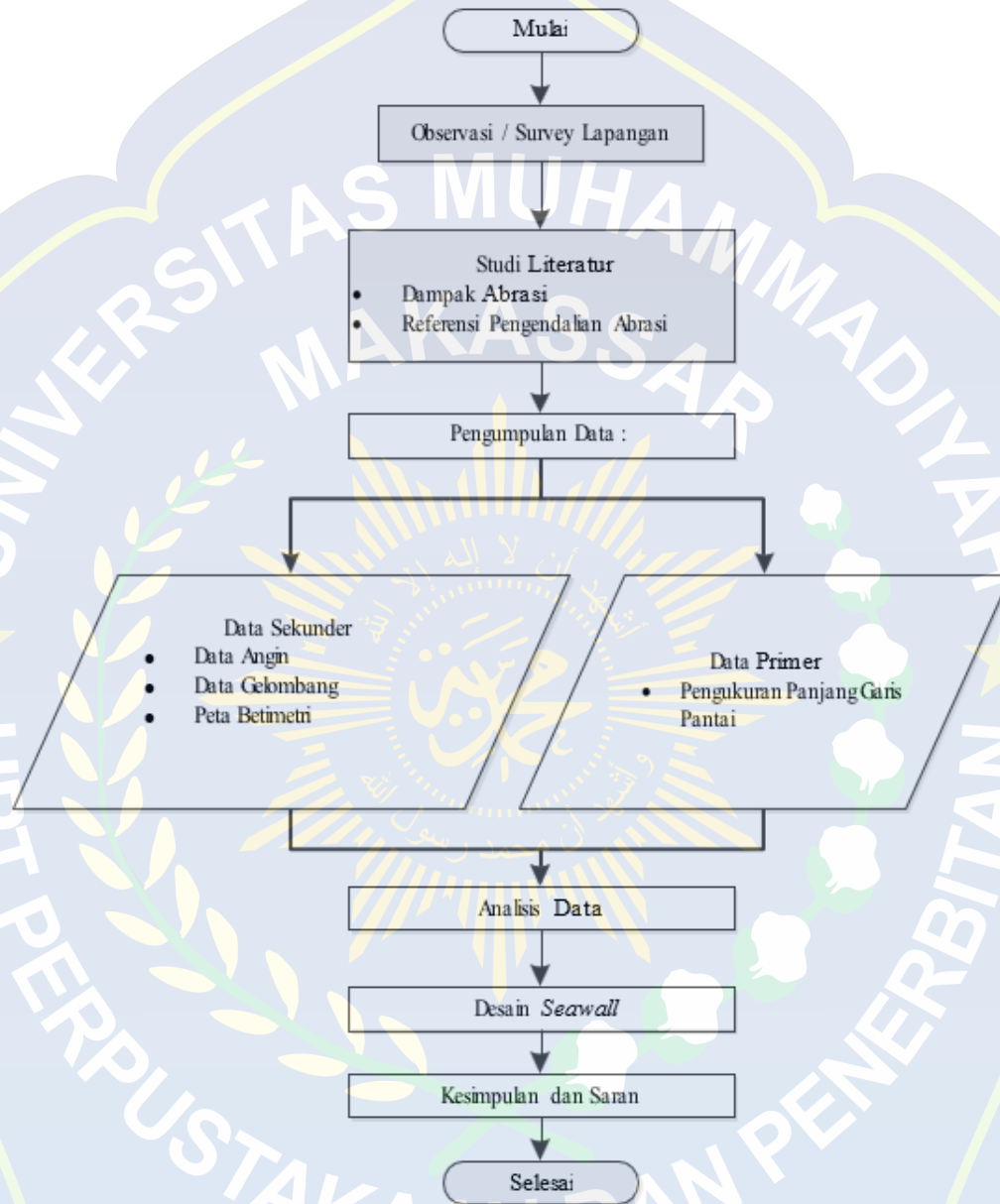
5. Penyusunan Hasil dan Pembahasan

- Menyajikan hasil dalam bentuk peta, tabel (angin, pasut, gelombang), grafik (wind rose, pasut, gelombang), serta gambar desain seawall.
- Membahas efektivitas rancangan terhadap kondisi pantai Galesong.

6. Penutup

- Merumuskan kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan perencanaan desain.
- Memberikan saran untuk penelitian lanjutan, monitoring, serta pemeliharaan struktur.

I. Bagan Alir Penelitian

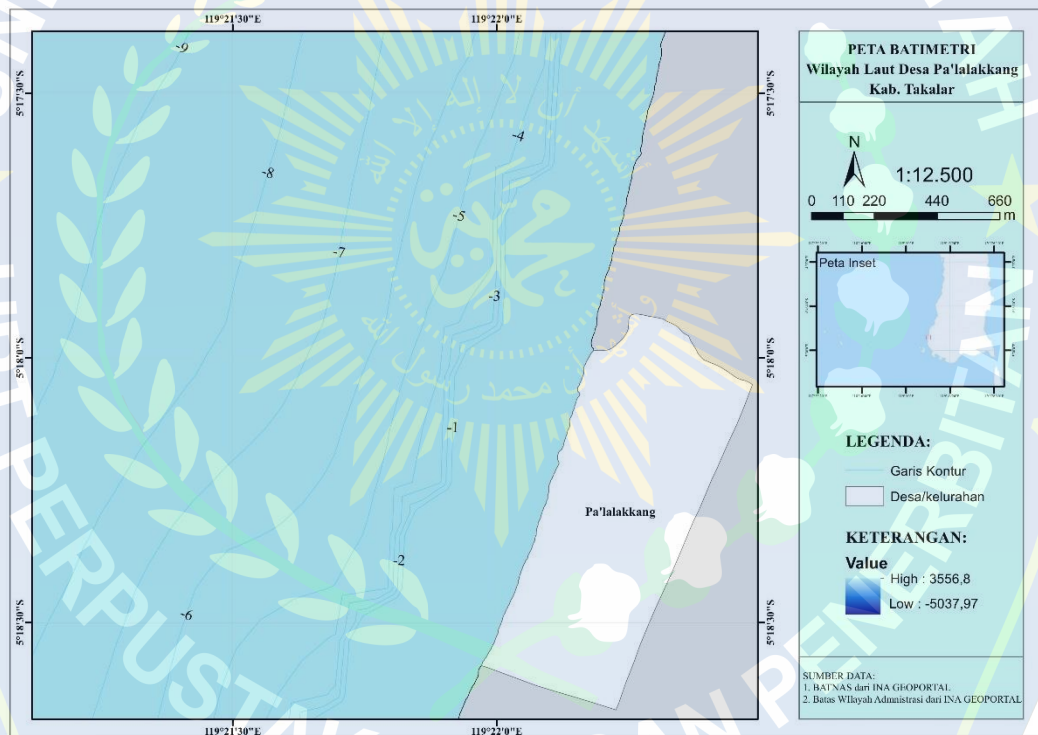


Gambar 14 Diagram Alir

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Peta Bathimetry

Peta bathimetri merupakan representasi grafis yang menggambarkan bentuk dasar laut serta karakteristik topografi dasar laut, yang juga dikenal sebagai peta kedalaman laut. Pada penelitian ini, peta bathimetri wilayah Pantai Galesong, Kabupaten Takalar, diperoleh melalui unduhan langsung dari laman resmi Geospasial untuk Negeri pada situs Ina-Geoportal www.tanahair.indonesia.go.id.



Gambar 15 Grafik distribusi kecepatan angin
Sumber : Arcgis

Dari Gambar 15 Menunjukkan Desa Pa'lakkang, Kabupaten Takalar memiliki kedalaman laut dangkal di dekat pantai (-1 hingga -2 m) yang bertambah hingga -9 m ke arah laut lepas. Kontur rapat di dekat pantai menandakan lereng curam, sedangkan kontur renggang ke arah laut menunjukkan dasar laut lebih

landai. Kondisi ini memengaruhi perambatan dan pecahnya gelombang sebelum mencapai pantai, sehingga menjadi faktor penting dalam perencanaan seawall terkait tinggi gelombang pecah dan energi gelombang yang mengenai struktur pelindung pantai.

B. Peramalan Gelombang

1. Pengolahan Data Angin

Pengolahan data angin pada penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan data sekunder yang diperoleh dari Stasiun Maritim Paotere, Kota Makassar, sebagai salah satu stasiun pengamatan cuaca maritim yang memiliki cakupan wilayah representatif terhadap lokasi penelitian. Data yang digunakan mencakup rentang waktu selama 10 tahun, yakni periode 2015 hingga 2024, sehingga diharapkan mampu memberikan gambaran yang memadai mengenai variasi dan tren karakteristik angin dalam jangka panjang. Data tersebut disajikan dalam format bulanan, memuat informasi yang meliputi kecepatan angin, arah mata angin, dan arah angin aktual pada setiap periode pengamatan.

Table 6 Data Kecepatan Angin

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
2015	7,39	5,32	4,58	4,67	4,29	3,97	4,71	5,10	5,33	5,35	4,83	6,06
2016	6,40	6,00	4,81	4,23	4,77	4,03	4,35	4,74	5,40	5,23	5,20	7,81
2017	7,03	7,93	5,39	5,06	3,61	3,57	4,35	4,26	4,53	4,48	4,77	5,45
2018	5,35	4,93	4,74	4,33	4,13	3,63	3,68	4,32	4,52	4,65	4,29	5,32
2019	6,03	4,86	5,03	3,90	4,35	3,97	4,23	4,52	4,50	4,97	4,80	5,19
2020	5,23	5,17	4,61	3,89	3,65	3,83	3,77	4,65	4,73	4,83	4,35	5,52
Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des

2021	5,16	4,93	4,52	5,13	3,84	4,07	3,71	4,39	4,03	4,13	4,80	4,94
2022	5,52	4,96	4,94	4,33	4,10	4,24	4,26	4,58	5,29	4,71	5,21	5,87
2023	6,10	6,46	5,16	4,55	4,16	4,27	4,19	5,03	5,03	4,61	4,60	5,45
2024	6,90	5,76	5,65	4,40	3,94	3,77	4,26	4,94	5,40	5,87	5,13	6,55

Sumber : Stasiun BMKG Maritim Makassar

Table 7 Data Arah Angin

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
2015	310	350	320	120	120	120	150	200	290	80	310	300
2016	300	300	300	150	150	80	120	120	50	50	170	170
2017	320	320	320	110	100	235	242	110	100	110	310	320
2018	350	320	350	350	203	228	206	211	205	262	350	320
2019	220	262	310	50	222	90	213	212	222	210	310	350
2020	273	252	245	169	192	221	219	185	90	235	247	253
2021	255	263	310	254	234	242	240	243	218	237	330	310
2022	273	280	294	50	235	247	90	217	224	50	240	310
2023	258	268	268	243	50	234	236	230	236	237	310	350
2024	248	275	320	252	252	234	223	219	249	214	320	350

Sumber : Stasiun BMKG Maritim Makassar

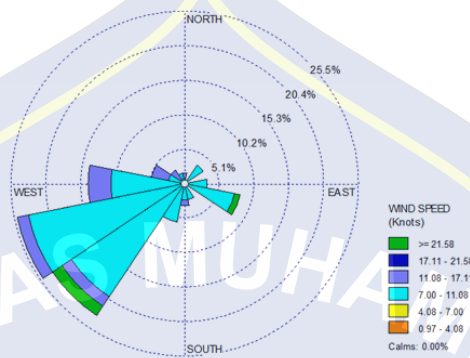
Analisis awal terhadap data angin dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh persentase frekuensi kejadian angin berdasarkan arah datangnya, serta menyusun diagram mawar angin (wind rose) pada wilayah Pantai Galesong. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi distribusi arah angin dominan dan pola penyebarannya, yang selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar dalam memahami dinamika angin serta potensi pengaruhnya terhadap kondisi oseanografi dan morfologi pantai di lokasi penelitian.

Table 8 Data Hasil Analisis Distribusi Arah Angin

Arah		Jumlah	Persentase Kejadian (%)
Notasi	Derajat	Data	
N	0	8	7
NE	45	0	0
E	90	16	13
SE	135	8	7
S	180	6	5
SW	225	39	33
W	270	19	16
NW	315	24	20
Jumlah		120	100

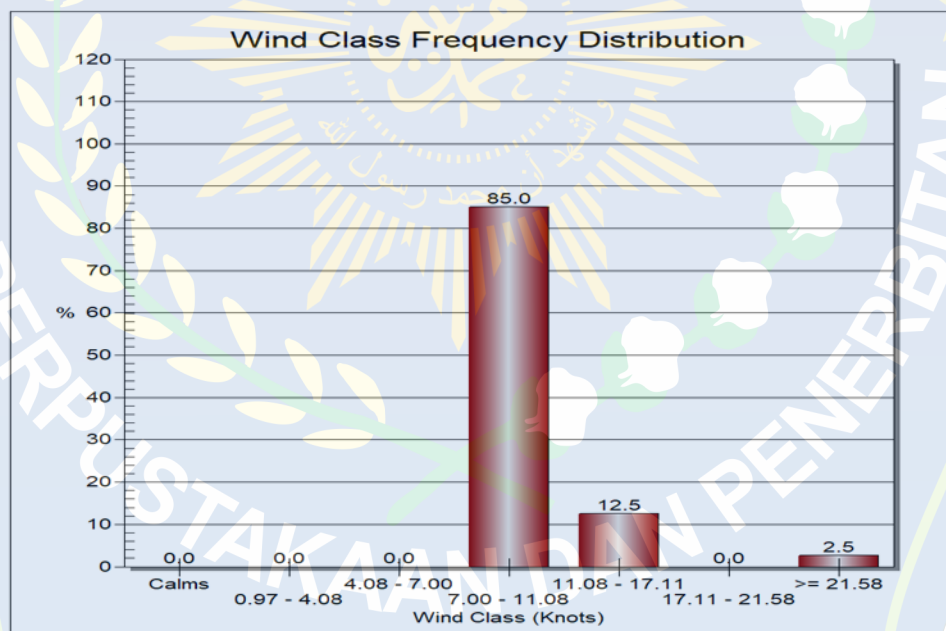
Sumber : Data Olahan

Dari Tabel 9 Dapat dilihat hasil analisis distribusi arah angin di Pantai galesong menunjukkan bahwa arah angin dominan berasal dari sektor barat daya (SW) dengan jumlah kejadian sebanyak 39 data atau sebesar 33% dari total pengamatan. Arah angin berikutnya yang memiliki frekuensi cukup tinggi adalah arah barat laut (NW) sebanyak 24 data atau 20%, serta arah barat (W) sebanyak 19 data atau 16%. Arah timur (E) tercatat sebanyak 16 data atau 13%, diikuti oleh arah utara (N) dan tenggara (SE) masing-masing sebanyak 8 data atau 7%, serta arah selatan (S) sebanyak 6 data atau 5%. Sementara itu, arah timur laut (NE) tidak tercatat adanya kejadian angin selama periode pengamatan. Pola distribusi ini mengindikasikan bahwa angin di wilayah penelitian cenderung dipengaruhi oleh tiupan dari sektor barat daya hingga barat laut.



Gambar 16 Wind Rose di Pantai Galesong

Dari Gambar 16 dapat dilihat diagram mawar angin (wind rose) menunjukkan bahwa angin di Pantai galesong umumnya bertiup dari sektor barat daya hingga barat laut dengan frekuensi kejadian tertinggi mencapai kisaran 25,5%.



Gambar 17 Grafik distribusi kecepatan angin

Dari Gambar garfik 18 Angin yang mendominasi berada pada rentang 7,00–11,08 knot, diikuti oleh kecepatan 11,08–17,11 knot, dan sebagian kecil mencapai lebih dari 21,58 knot. Tidak teridentifikasi kondisi calm (0,00%), yang

mengindikasikan bahwa selama periode pengamatan angin selalu bertiup dengan kecepatan tertentu.

Hasil Distribusi frekuensi kelas kecepatan angin menunjukkan bahwa kelas kecepatan 7,00–11,08 knot memiliki persentase kejadian tertinggi, yakni sebesar 85% dari total pengamatan. Kelas kecepatan berikutnya adalah 11,08–17,11 knot dengan persentase sebesar 12,5%, sedangkan kelas kecepatan $\geq 21,58$ knot tercatat sebesar 2,5%. Tidak terdapat kejadian angin pada kelas kecepatan $< 7,00$ knot maupun pada kondisi calm (0,00%). Pola distribusi ini mengindikasikan bahwa kondisi angin di wilayah penelitian umumnya berada pada kategori kecepatan menengah, dengan intensitas yang relatif konstan sepanjang periode pengamatan.

Hasil analisis data angin di Pantai galesong yang ditampilkan melalui tabel distribusi arah angin, diagram mawar angin (wind rose), dan distribusi frekuensi kelas kecepatan angin menunjukkan pola yang konsisten, di mana arah angin dominan berasal dari sektor barat daya hingga barat laut dengan frekuensi kejadian tertinggi mencapai 33% dari arah barat daya. Diagram mawar angin memperkuat temuan tersebut dengan visualisasi sebaran arah dan kecepatan angin yang didominasi oleh rentang kecepatan 7,00–11,08 knot, diikuti 11,08–17,11 knot, serta sebagian kecil mencapai lebih dari 21,58 knot tanpa adanya kondisi calm. Hal ini sejalan dengan hasil distribusi kelas kecepatan angin yang menunjukkan 85% kejadian berada pada kategori 7,00–11,08 knot, 12,5% pada kategori 11,08–17,11 knot, dan 2,5% pada kategori $\geq 21,58$ knot. Secara keseluruhan, ketiga hasil analisis ini menggambarkan bahwa pola angin di wilayah penelitian cenderung dipengaruhi oleh tiupan dari sektor barat daya hingga barat laut dengan kecepatan dominan pada

kategori menengah, yang berpotensi signifikan dalam memengaruhi dinamika gelombang dan proses oseanografi setempat.

2. Perhitungan Fetch

Analisis fetch untuk peramalan gelombang pada penelitian ini difokuskan pada arah mata angin yang berpengaruh langsung terhadap Pantai Galesong. Penentuan batas panjang fetch mengacu pada garis isobar yang sama atau pada panjang fetch pembentukan gelombang sempurna, yaitu sejauh 200 km. Garis fetch dibedakan berdasarkan perbedaan warna garis untuk mempermudah identifikasi. Arah fetch dibatasi hingga sudut 0° , karena pada rentang sudut 0° hingga 42° ke arah utara wilayah telah berupa daratan, sedangkan pada rentang sudut 0° hingga -42° ke arah barat, area dibatasi oleh keberadaan bangunan pengaman pantai yang terletak di sisi kiri Pantai Galesong. Kondisi tersebut menyebabkan kedua sektor arah tersebut tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap proses pembangkitan gelombang di lokasi penelitian.

Table 9 Data Kecepatan Angin

Barat					Barat					Barat				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	Deviasi Sudut (α)	$\cos \alpha$	Xi (km)	Xi. $\cos \alpha$		Deviasi Sudut (α)	$\cos \alpha$	Xi (km)	Xi. $\cos \alpha$		Deviasi Sudut (α)	$\cos \alpha$	Xi (km)	Xi . $\cos \alpha$
Barat Laut	42	0,743	200,000	148,629	Utara	42	0,743	194,090	144,237	Utara	-	-	-	-
	36	0,809	200,000	161,803		36	0,809	187,480	151,675		-	-	-	-
	30	0,866	200,000	173,205		30	0,866	185,480	160,630		-	-	-	-
	24	0,914	200,000	182,709		24	0,914	200,000	182,709		-	-	-	-
	18	0,951	200,000	190,211		18	0,951	200,000	190,211		-	-	-	-
	12	0,978	200,000	195,630		12	0,978	200,000	195,630		-	-	-	-
	6	0,995	200,000	198,904		6	0,995	200,000	198,904		-	-	-	-
	0	1,000	189,110	189,110		0	1,000	200,000	200,000		0	1,000	187,060	187,060
Barat	-	-	-	-	Barat Laut	-6	0,995	200,000	198,904	Barat Laut	-6	0,995	188,900	187,865
	-	-	-	-		-12	0,978	200,000	195,630		-12	0,978	189,330	185,193
	-	-	-	-		-18	0,951	200,000	190,211		-18	0,951	200,000	190,211
	-	-	-	-		-24	0,914	200,000	182,709		-24	0,914	200,000	182,709
	-	-	-	-		-30	0,866	200,000	173,205		-30	0,866	200,000	173,205
	-	-	-	-		-36	0,809	200,000	161,803		-36	0,809	200,000	161,803
	-	-	-	-		-42	0,743	200,000	148,629		-42	0,743	200,000	148,629
	-	-	-	-		-	-	-	-		-	-	-	-
Fecth Efektif				198,904	Fecth Efektif				200,000	Fecth Efektif				190,211

Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan fetch efektif menunjukkan variasi panjang fetch pada setiap deviasi sudut terhadap arah angin yang mempengaruhi pembangkitan gelombang di Pantai Galesong. Pada sektor barat laut, nilai fetch efektif diperoleh sebesar 198,904 km dengan panjang fetch maksimum 200 km pada sebagian besar sudut deviasi, sedangkan pada sektor barat laut–utara nilai fetch efektif mencapai 200 km. Adapun pada sektor barat laut–barat, nilai fetch efektif lebih rendah yaitu 190,211 km, yang dipengaruhi oleh keterbatasan panjang fetch akibat kondisi geografis dan keberadaan struktur pelindung pantai.

3. Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang

Dalam penelitian ini, perhitungan karakteristik gelombang mengacu pada teori gelombang linier, yang juga dikenal sebagai teori gelombang perairan dangkal atau small amplitude wave theory. Teori ini pertama kali diperkenalkan oleh Airy pada tahun 1845 dan hingga kini dikenal sebagai Teori Gelombang Airy. Pemilihan teori ini didasarkan pada kesederhanaannya dalam memodelkan gelombang dan kemampuannya memberikan hasil estimasi yang memadai pada kondisi tertentu, khususnya pada tahap analisis awal. Analisis yang dilakukan berfokus pada pemanfaatan data angin sebagai faktor pembangkit gelombang serta fetch atau jarak bebas hambatan sebagai daerah pembentukan gelombang. Kecepatan angin yang digunakan dalam perhitungan merupakan kecepatan angin maksimum bulanan yang berasal dari arah dominan yang berpengaruh terhadap pembentukan gelombang di lokasi penelitian.

Studi ini mengambil lokasi penelitian di wilayah pesisir Pantai Galesong, dengan cakupan periode pengamatan selama sepuluh tahun, dimulai dari 1 Januari 2015 hingga 31 Desember 2024. Dalam kurun waktu tersebut, arah angin yang memiliki kontribusi signifikan terhadap pembangkitan gelombang meliputi sektor barat laut, barat, dan utara. Berdasarkan hasil analisis data, dari total 120 bulan periode pengamatan, tercatat sebanyak 43 bulan yang mengalami pengaruh signifikan dari angin dengan arah tersebut.

Untuk memperoleh hasil estimasi tinggi dan periode gelombang yang lebih akurat, dilakukan penerapan faktor koreksi pada data angin. Faktor koreksi tersebut digunakan untuk menyesuaikan perbedaan antara pencatatan data kecepatan angin di darat (UL) dan di laut (UW), yang dinyatakan dalam bentuk rasio $RL = UW/UL$. Selain itu, diperhitungkan pula faktor koreksi akibat perbedaan suhu antara lokasi pencatatan dan lokasi aktual terjadinya pembangkitan gelombang. Penentuan nilai faktor koreksi kecepatan angin mengacu pada grafik yang disajikan dalam Shore Protection Manual (SPM, 1984), yang secara luas digunakan dalam studi-studi oseanografi dan rekayasa pantai.

diketahui:

- Tahun = 2015
- Bulan = Januari
- Arah Derajat = 310
- Arah Mata Angin = NW
- RL = 1,67
- RT = 1,10
- Feff = 198499,06 m

- a. Menghitung Kecepatan Angin (U_z)

$$\begin{aligned} U_z &= 7,39 \text{ knot} \\ &= 7,39 \times 0,514 \\ &= 3,80 \text{ m/det} \end{aligned}$$

- b. Menghitung nilai (U_{10})

$$\begin{aligned} U_{10} &= U_z \times 2^{1/7} \\ &= 3,80 \times 2^{1/7} \\ &= 4,19 \text{ m/det} \end{aligned}$$

- c. Menghitung nilai (t_1)

$$\begin{aligned} t_1 &= 1609 / U_{10} \\ &= 1609 / 4,19 \\ &= 383,81 \text{ det} \end{aligned}$$

- d. Menghitung nilai (U)

$$\begin{aligned} U &= RT \times RL \times U_{10} \\ &= 1,10 \times 1,67 \times 4,19 \\ &= 7,70 \text{ m/det} \end{aligned}$$

- e. Menghitung nilai (U_a)

$$\begin{aligned} U_a &= (0,71 \times U)^{1,23} \\ &= (0,71 \times 7,79)^{1,23} \\ &= 8,08 \text{ m.det} \end{aligned}$$

- f. Menghitung nilai (H_{m0})

$$\begin{aligned} H_{m0} &= 0,0016 \times \left(\frac{9,18 \times Feff}{Ua^{1.2}} \right) \times \left(\frac{Ua^2}{9.81} \right) \\ &= 0,0016 \times \left(\frac{9,18 \times 198499,06}{8,08^{1.2}} \right) \times \left(\frac{8,08^2}{9.81} \right) \\ &= 1,78 \text{ m} \end{aligned}$$

- g. Menghitung waktu nilai (T_p)

$$\begin{aligned} T_p &= 0,2857 \times \left(\frac{9,18 \times Feff}{Ua^{1.2}} \right) \times \left(\frac{Ua^2}{9.81} \right) \\ &= 0,2857 \times \left(\frac{9,18 \times 198499,06}{8,08^{0,33}} \right) \times \left(\frac{8,08^2}{9.81} \right) \\ &= 56,99 \text{ detik} \end{aligned}$$

- h. Menghitung waktu nilai (T_d)

$$\begin{aligned} T_d &= 68,8 \times \left(\frac{9,18 \times F_{eff}}{Ua^{1,2}} \right) \times \left(\frac{Ua}{9,81} \right) \\ &= 0,2857 \times \left(\frac{9,18 \times 198499,06}{8,08^{0,67}} \right) \times \left(\frac{8,08}{9,81} \right) \\ &= 56400,67 \text{ detik} \end{aligned}$$

- i. Jika nilai $T_d > 71500$ maka Tidak Sempurna; Jika nilai $T_d < 71500$ maka Sempurna.

- j. Menghitung nilai Tinggi Gelombang (H_m)

$$\begin{aligned} H_m &= \frac{0,0016 \times Ua^2}{9,81} \times \frac{9,81 \times F_{eff}^{0,5}}{Ua^2} \\ &= \frac{0,0016 \times 8,08^2}{9,81} \times \frac{9,81 \times 198499,6^{0,5}}{8,08^2} \\ &= 1,85 \text{ m} \end{aligned}$$

- k. Menghitung waktu nilai (T_p)

$$\begin{aligned} T_p &= \frac{0,2857 \times Ua^2}{9,81} \times \frac{9,81 \times F_{eff}^{0,5}}{Ua^2} \\ &= \frac{0,2867 \times 8,08^2}{9,81} \times \frac{9,81 \times 198499,6^{0,5}}{8,08^2} \\ &= 7,05 \text{ detik} \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya berada pada tabel 11 berikut:

Table 10 Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang 10 Tahun

Tahun	Bulan	Derajat	Mata Angin	Uz m/dtk	Fecth m	RL	RT	Ua m/dtk	Td dtk	Keterangan Sempurna Dan Tidak Sempurna	Tc dtk	Keterangan <i>Fecth Limited</i> <i>Duration Limited</i>	H m	T dtk
2015	Jan	310	NW	8,08	198499,06	1,67	1,1	8,08	56400,67	Tidak Sempurna	56400,67	Fecth Limited	1,84	7,05
	Feb	350	N	5,40	195256,53	1,67	1,1	5,40	63982,69	Tidak Sempurna	63982,69	Fecth Limited	1,22	6,11
	Mar	320	NW	3,87	195256,53	1,48	1,1	3,87	71651,39	Sempurna	71651,39	Duration Limited	0,37	3,21
	Des	300	NW	3,96	198499,06	1,14	1,1	3,96	71855,01	Sempurna	71855,01	Duration Limited	0,39	3,29
2016	Jan	300	NW	3,38	195256,53	0,95	1,1	3,38	74989,26	Sempurna	74989,26	Duration Limited	0,76	5,22
	Feb	300	NW	5,48	198499,06	1,5	1,1	5,48	64351,07	Tidak Sempurna	64351,07	Fecth Limited	1,25	6,18
	Mar	300	NW	4,73	195256,53	1,66	1,1	4,73	66932,85	Tidak Sempurna	66932,85	Fecth Limited	1,07	5,85
	Des	170	S	3,77	195256,53	0,85	1,1	3,77	72297,03	Sempurna	72297,03	Duration Limited	0,35	3,13
2017	Jan	320	NW	9,50	198499,06	2	1,1	9,50	53391,76	Tidak Sempurna	53391,76	Fecth Limited	2,24	7,87
	Feb	320	NW	9,14	198499,06	1,72	1,1	9,14	54085,23	Tidak Sempurna	54085,23	Fecth Limited	2,07	7,58
	Mar	320	NW	6,26	195256,53	1,86	1,1	6,26	60850,57	Tidak Sempurna	60850,57	Fecth Limited	0,97	5,19

Tahun	Bulan	Derajat	Mata Angin	Uz m/dtk	Fecth m	RL	RT	Ua m/dtk	Td dtk	Keterangan Sempurna Dan Tidak Sempurna	Tc dtk	Keterangan <i>Fecth Limited</i> <i>Duration Limited</i>	H m	T dtk
	Nov	310	NW	4,27	195256,53	1,54	1,1	4,27	69306,98	Tidak Sempurna	69306,98	Fecth Limited	0,45	3,54
	Des	320	NW	3,70	195256,53	1,2	1,1	3,70	72727,59	Sempurna	72727,59	Duration Limited	0,84	5,38
2018	Jan	350	N	3,44	195256,53	1,15	1,1	3,44	74590,24	Sempurna	74590,24	Duration Limited	0,29	2,85
	Feb	320	NW	2,45	195256,53	0,95	1,1	2,45	83646,47	Sempurna	83646,47	Duration Limited	0,55	4,68
	Mar	350	N	5,42	195256,53	1,88	1,1	5,42	63898,42	Tidak Sempurna	63898,42	Fecth Limited	0,73	4,49
	Des	320	NW	5,20	195256,53	1,62	1,1	5,20	64795,38	Tidak Sempurna	64795,38	Fecth Limited	0,67	4,31
2019	Jan	220	SW	6,53	198499,06	1,72	1,1	6,53	60635,27	Tidak Sempurna	60635,27	Fecth Limited	1,49	6,56
	Feb	262	W	3,03	197994,54	1,144	1,1	3,03	78596,14	Sempurna	78596,14	Duration Limited	0,69	5,05
	Mar	310	NW	5,30	197994,54	1,74	1,1	5,30	64983,72	Tidak Sempurna	64983,72	Fecth Limited	0,70	4,40
	Des	350	N	3,85	197994,54	1,3	1,1	3,85	72447,14	Sempurna	72447,14	Duration Limited	0,37	3,19
2020	Jan	273	W	6,03	195256,53	1,86	1,1	6,03	61629,06	Tidak Sempurna	61629,06	Fecth Limited	0,90	5,00
	Feb	252	W	5,29	197994,54	1,69	1,1	5,29	65029,55	Tidak Sempurna	65029,55	Fecth Limited	1,20	6,10

Tahun	Bulan	Derajat	Mata Angin	Uz m/dtk	Fecth m	RL	RT	Ua m/dtk	Td dtk	Keterangan Sempurna Dan Tidak Sempurna	Tc dtk	Keterangan <i>Fecth Limited</i> <i>Duration Limited</i>	H m	T dtk
	Nov	247	SW	5,27	197994,54	2	1,1	5,27	65128,43	Tidak Sempurna	65128,43	Fecth Limited	0,69	4,37
	Des	253	W	5,52	197994,54	1,64	1,1	5,52	64103,28	Tidak Sempurna	64103,28	Fecth Limited	1,25	6,19
	Jan	255	W	5,24	195256,53	1,68	1,1	5,24	64643,92	Tidak Sempurna	64643,92	Fecth Limited	0,68	4,34
	Feb	263	W	5,87	195256,53	1,93	1,1	5,87	62188,71	Tidak Sempurna	62188,71	Fecth Limited	1,32	6,29
2021	Mar	310	NW	4,41	195256,53	1,67	1,1	4,41	68527,40	Tidak Sempurna	68527,40	Fecth Limited	1,00	5,71
	Nov	330	NW	3,93	197994,54	1,43	1,1	3,93	71948,69	Sempurna	71948,69	Duration Limited	0,38	3,26
	Des	310	NW	3,86	195256,53	1,37	1,1	3,86	71729,95	Sempurna	71729,95	Duration Limited	0,87	5,45
	Jan	273	W	6,06	195256,53	1,77	1,1	6,06	61513,95	Tidak Sempurna	61513,95	Fecth Limited	1,37	6,36
2022	Feb	280	W	5,96	195256,53	1,94	1,1	5,96	61867,36	Tidak Sempurna	61867,36	Fecth Limited	1,35	6,32
	Mar	294	NW	2,46	197994,54	0,95	1,1	2,46	84381,06	Sempurna	84381,06	Duration Limited	0,15	2,04
	Des	310	NW	5,87	197994,54	1,62	1,1	5,87	62774,88	Tidak Sempurna	62774,88	Fecth Limited	0,85	4,87
2023	Jan	258	W	3,82	195256,53	1,1	1,1	3,82	71976,09	Sempurna	65793,77	Duration Limited	0,86	5,44
	Feb	268	W	3,56	195256,53	0,98	1,1	3,56	73711,82	Sempurna	73711,82	Duration Limited	0,80	5,31

Tahun	Bulan	Derajat	Mata Angin	Uz m/dtk	Fecth m	RL	RT	Ua m/dtk	Td dtk	Keterangan Sempurna Dan Tidak Sempurna	Tc dtk	Keterangan <i>Fecth Limited</i> <i>Duration Limited</i>	H m	T dtk
2024	Mar	268	W	5,28	195256,53	1,69	1,1	5,28	64483,68	Tidak Sempurna	64483,68	Fecth Limited	1,19	6,07
	Apr	243	SW	4,16	197994,54	1,58	1,1	4,16	70558,92	Tidak Sempurna	70558,92	Fecth Limited	0,43	3,45
	Des	350	N	5,89	197994,54	1,75	1,1	5,89	62694,03	Tidak Sempurna	62694,03	Fecth Limited	0,86	4,88
	Jan	248	W	3,72	197994,54	0,95	1,1	3,72	73333,75	Sempurna	73333,75	Duration Limited	0,84	5,41
	Feb	275	W	3,76	195256,53	1,15	1,1	3,76	72356,67	Sempurna	72356,67	Duration Limited	0,85	5,41
	Mar	320	NW	5,85	195256,53	1,68	1,1	5,85	62266,17	Tidak Sempurna	62266,17	Fecth Limited	1,32	6,28
	Des	350	N	3,48	197994,54	0,95	1,1	3,48	74970,10	Sempurna	74970,10	Duration Limited	0,30	2,89

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang di Pantai Galesong selama periode Januari 2015 hingga Desember 2024, diperoleh data bahwa arah angin dominan yang mempengaruhi pembangkitan gelombang berasal dari sektor barat laut, barat, dan utara, dengan kecepatan angin terkoreksi (U_a) berkisar antara 1,15 hingga 9,14 m/detik. Nilai fetch efektif berada pada kisaran ± 197.994 m hingga ± 198.499 m. Tinggi gelombang signifikan (H) yang terbentuk bervariasi antara 0,15 m hingga 2,07 m, sedangkan periode gelombang (T) berada pada rentang 2,29 detik hingga 7,58 detik. Kategori pembentukan gelombang sebagian besar berada pada kondisi fetch limited dan duration limited, dengan hanya sebagian kecil yang mencapai kondisi sempurna.

Berdasarkan hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang, data dapat dikelompokkan untuk memperoleh urutan kejadian gelombang terbesar setiap tahun. Data tersebut selanjutnya digunakan sebagai acuan awal dalam perhitungan estimasi gelombang dengan periode ulang tertentu.

Table 11 Urutan Kejadian Gelombang Pertahun Yang Terbesar

Tahun	Bulan	Kec Max (m/d)	Arah Angin Mata Angin	H (m)	T (dtk)
2015	Januari	8,08	NW	1,84	7,05
2016	Februari	5,48	NW	1,25	6,18
2017	Januari	9,50	NW	2,24	7,87
2018	Maret	5,42	N	0,73	4,49
2019	Januari	6,53	SW	1,49	6,56
2020	Januari	6,03	W	0,90	5,00
2021	Februari	5,87	W	1,32	6,29
2022	Januari	6,06	W	1,37	6,36

Tahun	Bulan	Kec Max (m/d)	Arah Angin Mata Angin	H (m)	T (dtk)
2023	Desember	5,89	N	0,86	4,88
2024	Maret	5,85	NW	1,32	6,28

Dari Tabel 12 Menunjukkan hasil berdasarkan pengurutan data kejadian gelombang maksimum tahunan, diperoleh bahwa kejadian gelombang signifikan dengan nilai tertinggi terjadi pada bulan Januari tahun 2017. Pada periode tersebut, tinggi gelombang signifikan (H) tercatat sebesar 2,24 meter, sedangkan periode gelombang signifikan (T) mencapai 7,87 detik.

4. Perkiraan Gelombang dengan Periode Ulang

Data tinggi gelombang signifikan bulanan yang diperoleh melalui proses peramalan diurutkan berdasarkan nilai tertinggi pada setiap tahun pengamatan. Selanjutnya, probabilitas kejadian ditentukan untuk masing-masing tinggi gelombang guna mendukung analisis statistik hidrodinamika. Perencanaan bangunan pengaman pantai di Pantai Galesong dirancang untuk memiliki umur rencana 50 tahun. Dalam rangka menghitung tinggi dan periode gelombang rencana, digunakan metode Fisher-Tippett Type I, dengan mempertimbangkan kejadian angin sebagai parameter pembanding. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan estimasi yang lebih akurat terhadap kondisi gelombang ekstrem yang berpotensi terjadi selama umur layan bangunan.

Table 12 Hsm.ym periode ulang gelombang Metode Fisher I

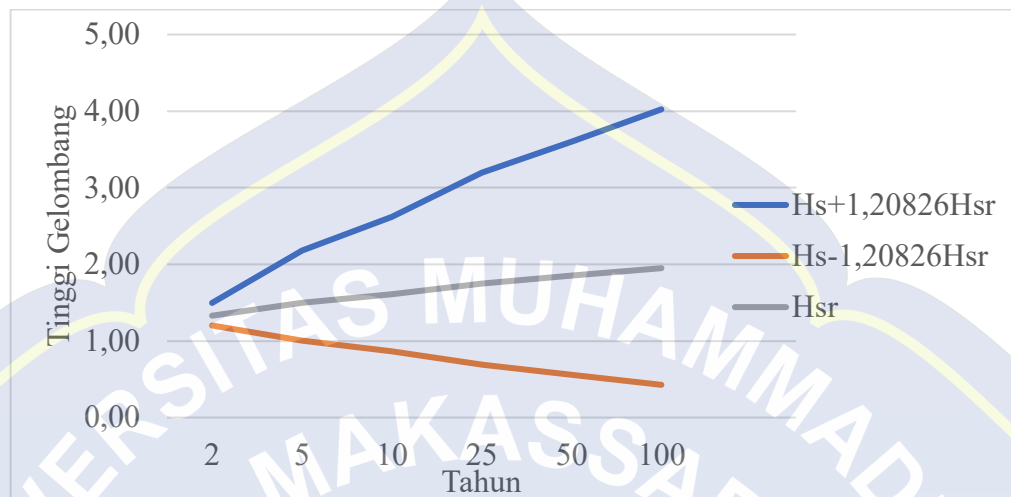
No	Hsm	P	ym	Hsm.ym	ym ²	(H-H)	(Hsm-Hsm) ²
1	2,236	0,0909	-0,875	-1,956	0,765	0,908	0,8245
2	1,839	0,1818	-0,533	-0,981	0,285	0,508	0,2581
3	1,487	0,2727	-0,262	-0,389	0,069	0,158	0,0250
4	1,368	0,3636	-0,012	-0,016	0,000	0,038	0,0014
5	1,325	0,4545	0,238	0,315	0,057	-0,012	0,0001
6	1,320	0,5455	0,501	0,661	0,251	-0,012	0,0001
7	1,248	0,6364	0,794	0,991	0,631	-0,082	0,0067
8	0,901	0,7273	1,144	1,031	1,309	-0,432	0,1866
9	0,861	0,8182	1,606	1,382	2,580	-0,472	0,2228
10	0,729	0,9091	2,351	1,712	5,525	-0,602	0,3624
Jumlah	13,3	5,0	5,0	2,8	11,5	0,0	1,9

Sumber : Hasil Perhitungan

Table 13 Hsr periode ulang gelombang Metode Fisher I

Periode Ulang	yr	Hsr	σ_{nr}	σ_r	Hs - 1, 20826.Hsr	Hs + 1, 20826.Hsr
2	0,370	1,330	0,100	0,130	1,202	1,496
5	1,500	1,500	0,390	0,530	1,001	2,178
10	2,250	1,610	0,580	0,790	0,868	2,621
25	3,200	1,750	0,830	1,130	0,688	3,196
50	3,900	1,850	1,010	1,370	0,557	3,604
100	4,600	1,950	1,190	1,620	0,427	4,024

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 18 Urutan kejadian gelombang pertahun yang terbesar metode Fisher Tipe I

Sumber: Data Olahan

Berdasarkan gambar dari 18 analisis Metode Fisher Tipe I, diperoleh tinggi gelombang rencana (H_s) sebagai berikut: $T = 2$ tahun (1,119–1,297 m), $T = 5$ tahun (0,843–1,573 m), $T = 10$ tahun (0,660–1,756 m), $T = 25$ tahun (0,430–1,987 m), $T = 50$ tahun (0,258–2,158 m), dan $T = 100$ tahun (0,088–2,328 m). Hasil ini menunjukkan tren peningkatan tinggi gelombang rencana seiring bertambahnya periode ulang.

C. Gelombang Pecah

Gelombang pecah dihitung dengan menggunakan rumus yang disajikan pada persamaan di bawah ini, di mana setiap variabel di dalamnya memiliki arti dan fungsi yang spesifik dalam menentukan tinggi gelombang pada saat pecah. Dalam hal ini digunakan nilai H_{sr} untuk periode ulang 50 tahun sebesar 1,850 m.

a. Menentukan tinggi gelombang pecah

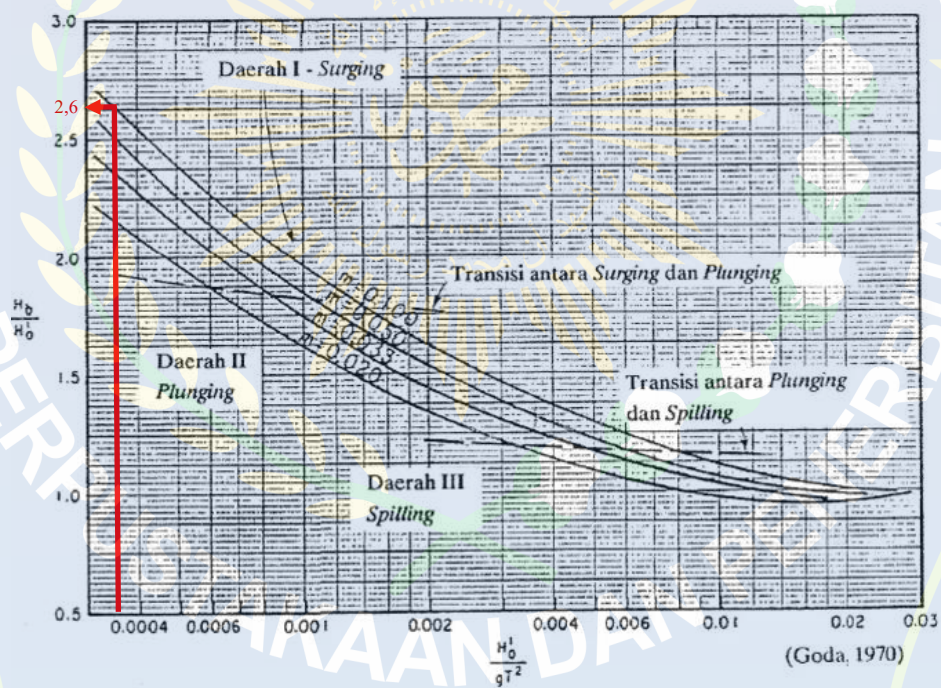
$$H_o = 1,850 \text{ m}$$

$$T = 6,78 \text{ dtk}$$

$$\frac{H_o}{g.T^2} = \frac{1,850}{9,81 \times 6,78^2}$$

$$= 0,00014$$

Dari perhitungan diatas kemudian dimasukan kedalam grafik H_b/H_o , maka di dapat nilai $H_b/H_o = 2,60$ maka $H_b = 2,60 \times 1,85 = 4,81 \text{ m}$

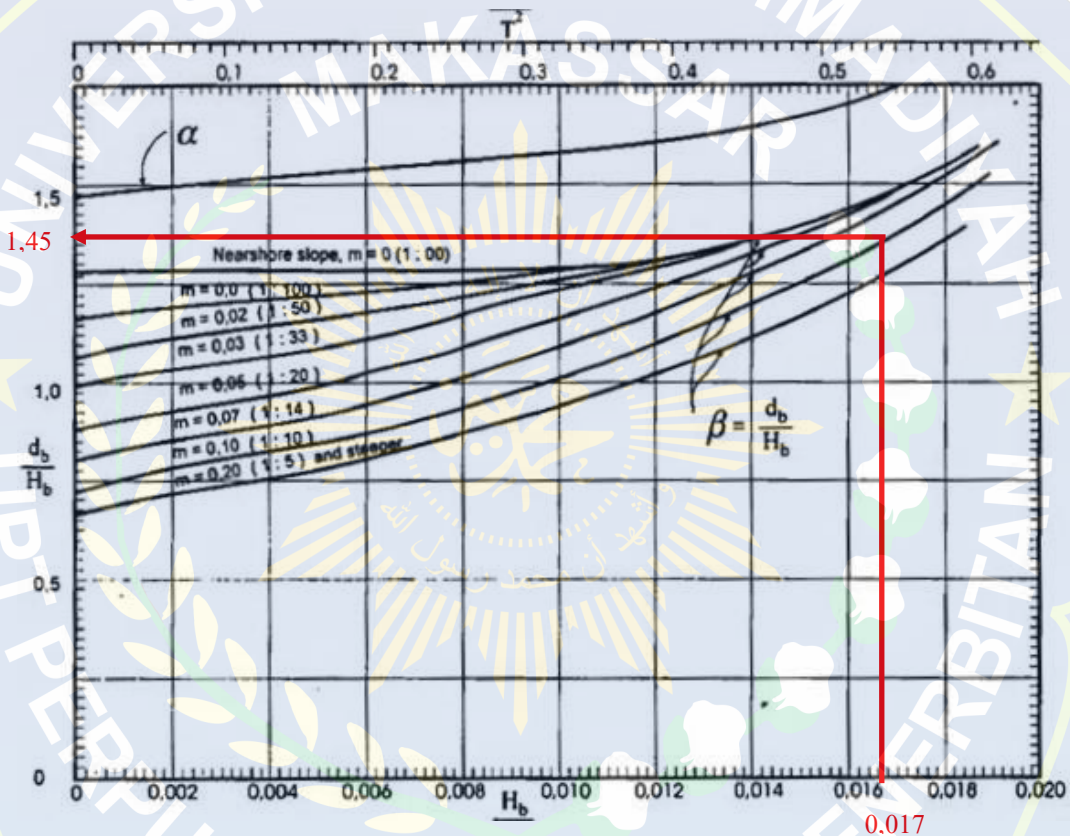


Gambar 19 Hubungan antara H_b/H_o dan H_o^1/gT^2
(Sumber : Goda, 1970)

b. Menentukan kedalaman gelombang pecah

$$= \frac{Hb}{9,81.T^2} = \frac{4,81}{9,81 \times 6,78^2} = 0,017$$

Dari perhitungan diatas kemudian dimasukan kedalam grafik, maka di dapat nilai $d_b/H_b = 1,45$ maka $d_b = 1,45 \times 4,81 = 6,97$ m



Gambar 20 Hubungan antara alpa dan beta dengan H/gT^2
(Sumber : Goda, 1970)

D. Perhitungan Tinggi Muka Air

1. Pasang surut

Perhitungan pasang surut dilakukan menggunakan data yang diperoleh dari BMKG Maritim Paotere, Makassar, pada bulan Juni 2023, selama periode pengamatan 29 hari dengan interval pencatatan setiap 1 jam. Data pasang surut

tersebut diolah untuk memperoleh konstanta harmonis pasang surut di lokasi penelitian.

Analisis konstanta harmonis dilakukan menggunakan metode *Admiralty*, yaitu metode analisis harmonik yang memisahkan tinggi muka air laut menjadi komponen-komponen gelombang pasang surut yang memiliki frekuensi, *amplitudo*, dan fase tertentu. Dengan metode *Admiralty*, setiap konstanta harmonis seperti S_0 , M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , M_4 , dan MS_4 dapat diperoleh melalui proses regresi harmonik terhadap data observasi. Hasil perhitungan ini digunakan untuk menganalisis karakteristik pasang surut, memprediksi kondisi air laut di masa mendatang, serta mendukung perencanaan teknis di wilayah pesisir dan pelabuhan.

Table 14 Data Pasang Surut (1-29 Juni 2024)

Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tanggal																								
1 Juni 2024	0,0544	0,0533	0,0251	-	-	-	0,0287	0,1115	0,2146	0,3157	0,3889	0,4106	0,3668	0,2584	0,1012	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 Juni 2024	-	0,0447	0,0766	0,0885	0,0967	0,1154	0,1526	0,2092	0,2795	0,3515	0,4077	0,4282	0,3961	0,3042	0,1596	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 Juni 2024	-	-	0,0508	0,1172	0,1685	0,2143	0,2608	0,3096	0,3586	0,4036	0,437	0,447	0,4197	0,3443	0,2194	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 Juni 2024	-	-	-	0,0802	0,1792	0,2632	0,3346	0,3928	0,4358	0,4627	0,4736	0,4662	0,4345	0,3693	0,2648	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 Juni 2024	-	0,3149	0,1719	0,0371	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0413	0,2115	-0,369	0,4997	0,5933	-0,641	0,6354	0,5742
6 Juni 2024	0,4637	0,3195	0,1613	0,0061	0,1361	0,2609	0,3657	0,4461	0,4976	0,5188	0,5133	0,487	0,4428	0,3785	0,2887	0,1706	0,029	0,1246	0,2763	0,4145	-0,53	0,6138	-0,655	-0,643
7 Juni 2024	-	0,5731	0,4513	0,2933	0,1189	0,0548	0,2158	0,3552	0,4644	0,5352	0,563	0,5511	0,5094	0,4494	0,3775	0,2933	0,1932	0,0759	0,0542	0,1888	0,3197	0,4406	0,5444	0,6202
8 Juni 2024	-	0,6306	0,5466	0,4091	0,2352	0,0458	0,141	0,3103	0,4489	0,5445	0,5885	0,5808	0,5315	0,4572	0,3729	0,286	0,1959	0,0988	-	-	-	-	-	-
9 Juni 2024	-	0,6367	0,5967	0,4932	0,3371	0,1482	0,0513	0,2415	0,4048	0,5254	0,5906	0,5957	0,548	0,4652	0,3685	0,2737	0,1861	0,103	0,0193	-	-	-	-	-
10 Juni 2024	-	0,5999	0,6022	0,5391	0,4126	0,2385	0,0395	0,1606	0,3406	0,4816	0,568	0,5905	0,5518	0,4679	0,3626	0,2585	0,1685	0,0938	0,0281	0,0361	0,1041	0,1794	0,2643	-0,358
11 Juni 2024	-	0,5301	0,5676	0,5452	0,4554	0,3068	0,1202	0,079	0,2662	0,4201	0,5229	0,5625	0,537	0,4581	0,3493	0,2375	0,1427	0,0721	0,021	0,0209	0,0636	0,1146	0,1787	0,2579
12 Juni 2024	-	0,4359	0,4986	0,5124	0,4614	0,3457	0,1809	0,0077	0,1931	0,3513	0,4631	0,5148	0,5015	0,4304	0,3222	0,205	0,1043	0,0343	-	-	-	-	-	-
13 Juni 2024	-	0,3247	0,4008	0,4423	0,4277	0,3485	-0,213	0,0432	0,1326	0,2876	0,4007	0,4572	0,4507	0,3855	0,2788	0,1572	0,0494	-	-	-	-	-	-	-
14 Juni 2024	-	0,2053	0,2822	0,3398	0,3544	0,3107	0,2087	0,0646	0,0949	0,2411	0,3496	0,4041	0,3975	0,3327	0,2242	0,0966	0,0211	-0,104	0,1398	-0,132	0,0962	0,0535	0,0226	0,0165
2024	0,0902	0,1551	-0,215	-0,247	0,2322	0,1634	0,0492	0,0884	0,221	0,3215	0,3704	0,3586	0,2881	0,1724	0,0342	0,0978	0,1966	0,2444	0,2379	0,1884	0,1173	0,0477	0,0011	0,0182

Jam Tanggal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15 Juni 2024	0,0027	-	-	-	-	-	0,0051	0,1174	0,2325	0,3229	0,3658	0,3481	0,2695	0,1422	-	-	-	-	-	-	-0,233	-	-0,041	0,0232
16 Juni 2024	0,0523	0,0499	0,0287	0,0071	0,0035	0,0309	0,0924	0,1801	0,2754	0,3539	0,3915	0,3712	0,2878	0,1502	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 Juni 2024	0,0395	0,0843	0,1022	0,1081	0,1186	0,1466	0,197	0,2663	0,3427	0,4079	0,4407	0,4221	0,3415	0,2015	0,0193	-	0,3594	-0,499	-0,579	0,5925	0,5424	0,4411	0,3088	0,1694
18 Juni 2024	-	0,0505	0,1161	-0,161	0,1992	0,2425	0,2961	0,358	0,4209	0,4732	0,5002	0,4855	0,4154	0,2856	0,1055	-	-	-0,483	-	-	-	-	-	-0,345
19 Juni 2024	-	-	0,0607	0,1515	0,2268	0,2968	0,3662	0,4332	0,4918	0,5349	0,5551	0,5428	0,4867	0,378	0,2169	0,0171	-	-	-	-	-	-	-	-
20 Juni 2024	-	-0,214	-	0,0769	0,1939	0,2974	0,3912	0,4732	0,5372	0,5774	0,5914	0,5779	0,5329	0,4491	0,3205	0,1497	-	-	-	-0,579	-	-	-	-
21 Juni 2024	-	-	-	-	0,1056	0,2447	0,3667	0,4692	0,5455	0,5892	0,5994	0,581	0,5395	0,4752	0,3823	0,2554	0,0967	-0,081	-	-	-	-	-	-
22 Juni 2024	-	-0,551	0,3899	0,2058	0,0209	0,1503	0,3007	0,425	0,5164	0,5674	0,5765	0,551	0,5042	0,447	0,381	0,2996	0,1949	0,0662	-	-	-0,371	0,5003	0,6071	0,6769
23 Juni 2024	-	-	-	-	-	0,0344	0,2094	0,3544	0,4606	0,5198	0,5291	0,4955	0,4362	0,3717	0,3149	0,2659	0,2142	0,1476	0,0602	-	-	-	-	-
24 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	0,1127	0,2754	0,3951	0,4619	0,4714	0,4292	0,3532	0,2693	0,202	0,1626	0,1466	0,1375	0,1176	0,0748	0,0041	-	-	-
25 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	0,0299	0,2045	0,3364	0,4108	0,4209	0,3706	0,2764	0,1664	0,0724	0,0182	0,0105	0,0375	0,0765	0,1036	0,1012	0,0597	-	-
26 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 Juni 2024	0,3764	-	0,0593	0,0769	0,1939	0,2974	0,3912	0,4732	0,5372	0,5774	0,5914	0,5779	0,5329	0,4491	0,3205	0,1497	0,0483	0,2502	0,4327	-	0,6803	0,7313	0,7272	0,6654
21 Juni 2024	-	-	-	-	0,1056	0,2447	0,3667	0,4692	0,5455	0,5892	0,5994	0,581	0,5395	0,4752	0,3823	0,2554	0,0967	-0,081	-	-	-	-	-	-
22 Juni 2024	-	-0,551	0,3899	0,2058	0,0209	0,1503	0,3007	0,425	0,5164	0,5674	0,5765	0,551	0,5042	0,447	0,381	0,2996	0,1949	0,0662	-	-	-0,371	0,5003	0,6071	0,6769
23 Juni 2024	-	-	-	-	-	0,0344	0,2094	0,3544	0,4606	0,5198	0,5291	0,4955	0,4362	0,3717	0,3149	0,2659	0,2142	0,1476	0,0602	-	-	-	-	-
24 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	0,1127	0,2754	0,3951	0,4619	0,4714	0,4292	0,3532	0,2693	0,202	0,1626	0,1466	0,1375	0,1176	0,0748	0,0041	-	-	-
25 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	0,0299	0,2045	0,3364	0,4108	0,4209	0,3706	0,2764	0,1664	0,0724	0,0182	0,0105	0,0375	0,0765	0,1036	0,1012	0,0597	-	-
26 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 Juni 2024	0,3764	-	0,0593	0,0769	0,1939	0,2974	0,3912	0,4732	0,5372	0,5774	0,5914	0,5779	0,5329	0,4491	0,3205	0,1497	0,0483	0,2502	0,4327	-	0,6803	0,7313	0,7272	0,6654
21 Juni 2024	-	-	-	-	0,1056	0,2447	0,3667	0,4692	0,5455	0,5892	0,5994	0,581	0,5395	0,4752	0,3823	0,2554	0,0967	-0,081	-	-	-	-	-	-
22 Juni 2024	-	-0,551	0,3899	0,2058	0,0209	0,1503	0,3007	0,425	0,5164	0,5674	0,5765	0,551	0,5042	0,447	0,381	0,2996	0,1949	0,0662	-	-	-0,371	0,5003	0,6071	0,6769
23 Juni 2024	-	-	-	-	-	0,0344	0,2094	0,3544	0,4606	0,5198	0,5291	0,4955	0,4362	0,3717	0,3149	0,2659	0,2142	0,1476	0,0602	-	-	-	-	-
24 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	0,1127	0,2754	0,3951	0,4619	0,4714	0,4292	0,3532	0,2693	0,202	0,1626	0,1466	0,1375	0,1176	0,0748	0,0041	-	-	-
25 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	0,0299	0,2045	0,3364	0,4108	0,4209	0,3706	0,2764	0,1664	0,0724	0,0182	0,0105	0,0375	0,0765	0,1036	0,1012	0,0597	-	-
26 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 Juni 2024	0,3764	-	0,0593	0,0769	0,1939	0,2974	0,3912	0,4732	0,5372	0,5774	0,5914	0,5779	0,5329	0,4491	0,3205	0,1497	0,0483	0,2502	0,4327	-	0,6803	0,7313	0,7272	0,6654
21 Juni 2024	-	-	-	-	0,1056	0,2447	0,3667	0,4692	0,5455	0,5892	0,5994	0,581	0,5395	0,4752	0,3823	0,2554	0,0967	-0,081	-	-	-	-	-	-
22 Juni 2024	-	-0,551	0,3899	0,2058	0,0209	0,1503	0,3007	0,425	0,5164	0,5674	0,5765	0,551	0,5042	0,447	0,381	0,2996	0,1949	0,0662	-	-	-0,371	0,5003	0,6071	0,6769
23 Juni 2024	-	-	-	-	-	0,0344	0,2094	0,3544	0,4606	0,5198	0,5291	0,4955	0,4362	0,3717	0,3149	0,2659	0,2142	0,1476	0,0602	-	-	-	-	-
24 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	0,1127	0,2754	0,3951	0,4619	0,4714	0,4292	0,3532	0,2693	0,202	0,1626	0,1466	0,1375	0,1176	0,0748	0,0041	-	-	-
25 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	0,0299	0,2045	0,3364	0,4108	0,4209	0,3706	0,2764	0,1664	0,0724	0,0182	0,0105	0,0375	0,0765	0,1036	0,1012	0,0597	-	-
26 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 Juni 2024	0,3764	-	0,0593	0,0769	0,1939	0,2974	0,3912	0,4732	0,5372	0,5774	0,5914	0,5779	0,5329	0,4491	0,3205	0,1497	0,0483	0,2502	0,4327	-	0,6803	0,7313	0,7272	0,6654
21 Juni 2024	-	-	-	-	0,1056	0,2447	0,3667	0,4692	0,5455	0,5892	0,5994	0,581	0,5395	0,4752	0,3823	0,2554	0,0967	-0,081	-	-	-	-	-	-
22 Juni 2024	-	-0,551	0,3899	0,2058	0,0209	0,1503	0,3007	0,425	0,5164	0,5674	0,5765	0,551	0,5042	0,447	0,381	0,2996	0,1949	0,0662	-	-	-0,371	0,5003	0,6071	0,6769
23 Juni 2024	-	-	-	-	-	0,0344	0,2094	0,3544	0,4606	0,5198	0,5291	0,4955	0,4362	0,3717	0,3149	0,2659	0,2142	0,1476	0,0602	-	-	-	-	-
24 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	0,1127	0,2754	0,3951	0,4619	0,4714	0,4292	0,3532	0,2693	0,202	0,1626	0,1466	0,1375	0,1176	0,0748	0,0041	-	-	-
25 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	0,0299	0,2045	0,3364	0,4108	0,4209	0,3706	0,2764	0,1664	0,0724	0,0182	0,0105	0,0375	0,0765	0,1036	0,1012	0,0597	-	-
26 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 Juni 2024	0,3764	-	0,0593	0,0769	0,1939	0,2974	0,3912	0,4732	0,5372	0,5774	0,5914	0,5779	0,5329	0,4491	0,3205	0,1497	0,0483	0,2502	0,4327	-	0,6803	0,7313	0,7272	0,6654
21 Juni 2024	-	-	-	-	0,1056	0,2447	0,3667	0,4692	0,5455	0,5892	0,5994	0,581	0,5395	0,4752	0,3823	0,2554	0,0967	-0,081	-	-	-	-	-	-
22 Juni 2024	-	-0,551	0,3899	0,2058	0,0209	0,1503	0,3007	0,425	0,5164	0,5674	0,5765	0,551	0,5042	0,447	0,381	0,2996	0,1949	0,0662	-	-	-0,371	0,5003	0,6071	0,6769
23 Juni 2024	-	-	-	-	-	0,0344	0,2094	0,3544	0,4606	0,5198	0,5291	0,4955	0,4362	0,3717	0,3149	0,2659	0,2142	0,1476	0,0602	-	-	-	-	-
24 Juni 2024	-	-	-	-	-	-	0,1127	0,2754	0,3951	0,4619	0,4714	0,4292	0,3532	0,2										

Table 15 Pasang Surut

	S0	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
A (cm)	-0,008	14	8,54	4,51	8,69	39,11	21,69	39,23	0,38	0,33
g		357,65	303,61	21,06	339,89	162,4	2,96	136,05	234,61	41,04

Sumber: Data Olahan

a. Datum Referensi

1) Datum referensi vertikal (Zo)

Berdasarkan definisi yang digunakan di Australia, datum referensi mengacu pada Indian Spring Low Water (ISLW). Datum ini merupakan bidang acuan ketinggian muka air laut yang ditetapkan pada rata-rata terendah muka air laut saat pasang purnama (spring tide) dalam periode tertentu. Nilai (Zo) diperoleh dari hasil analisis harmonik pasang surut dengan metode Admiralty, dan digunakan sebagai Mean Sea Level (MSL).

$$\begin{aligned}
 Z &= AM2 + AS2 + AN2 + AK2 + AK1 + AO1 + AP1 + AM4 + MS4 \\
 &= 14 + 8,54 + 4,51 + 8,69 + 39,11 + 21,69 + 39,23 + 0,38 + 0,33 \\
 &= 136,48 \text{ cm (1,36 m)}
 \end{aligned}$$

$$MSL = 136,48 \text{ cm (1,36 m)}$$

2) Admiralty Tide Table (ATT)

Dalam metode Admiralty, konstanta harmonik dari ATT dijadikan acuan untuk memprediksi atau menghitung ulang pasang surut di lokasi pengamatan.

$$ATT = Z_o + (AM2 + AS2 + AK1 + A01)$$

$$= 136,48 + (14 + 8,54 + 39,11 + 21,69)$$

$$= 219,82 \text{ cm (2,198 m)}$$

3) Tipe Pasang Surut

Tipe Pasang Surut di pantai Galesong sebagai berikut:

$$F = \frac{AK1 + A01}{AM2 + AS2}$$

$$F = \frac{39,11 + 21,69}{14 + 8,54}$$

$$F = 2,697 \text{ cm}$$

Dari nilai F (formzhal) 2,697 maka kriteria pasang surut adalah tipe pasang surut campuran condong ke harian tunggal (Mixed Tide Prevailing Diurnal), $1,5 < F < 3,0$.

4) Tunggang air Pasang Surut

Mean Sea Level pasang surut adalah 136,48 cm di ambil dari nilai Z_o , Jadi, penentuan permukaan air laut akibat pengaruh pasang surut sebagai berikut:

a) Muka air tinggi rerata (High Water Neap, HWN)

$$\text{HWN} = Z_o + (AM2 + AS2)$$

$$= 136,48 + (14 + 8,54)$$

$$= 159,02 \text{ cm (1,590 m)}$$

b) Muka air rendah rerata (Low Water Neap, LWN)

$$\begin{aligned}
 \text{LWN} &= Z_o - (\text{AM2} + \text{AS2}) \\
 &= 136,48 - (14 + 8,54) \\
 &= 113,94 \text{ cm (1,139 m)}
 \end{aligned}$$

c) Muka air tinggi tertinggi (High Water Spring, HWS)

$$\begin{aligned}
 \text{HWS} &= Z_o - (\text{AM2} + \text{AS2}) - (\text{AK1} + \text{AO1}) \\
 &= 136,48 - (14 + 8,54) - (39,11 + 21,69) \\
 &= 174,74 \text{ cm (1,747 m)}
 \end{aligned}$$

d) Muka air tinggi terendah (Low Water Spring, LWS)

$$\begin{aligned}
 \text{LWS} &= Z_o + (\text{AM2} + \text{AS2}) + (\text{AK1} + \text{AO1}) \\
 &= 136,48 + (14 + 8,54) + (39,11 + 21,69) \\
 &= 98,22 \text{ cm (0,982 m)}
 \end{aligned}$$

e) Pasang tinggi astronomi (High Astronomical Tide, HAT)

$$\begin{aligned}
 \text{HAT} &= Z_o + \Sigma A1 \\
 &= 136,48 + (14 + 8,54 + 4,51 + 8,69 + 39,11 + 21,69 + 39,23 + 0,38 + 0,33) \\
 &= 272,96 \text{ cm (2,729 m)}
 \end{aligned}$$

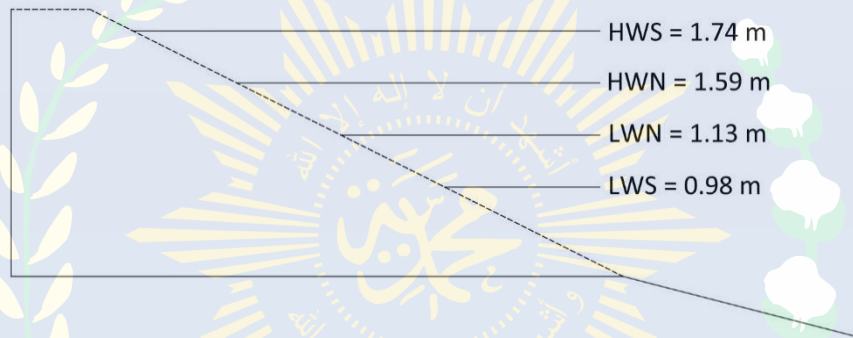
f) Pasang tinggi astronomi (Low Astronomical Tide, LAT)

$$\begin{aligned}
 \text{LAT} &= Z_o - \Sigma A1 \\
 &= 136,48 - (14 + 8,54 + 4,51 + 8,69 + 39,11 + 21,69 + 39,23 + 0,38 + 0,33)
 \end{aligned}$$

$$= 83,34 \text{ cm (0,833 m)}$$

Besar Tunggang pasang surut di pantai Laya putih ditentukan dengan cara penjumlahan (HAT – LAT) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{TR} &= \text{HAT} - \text{LAT} \\ &= 272,96 - 83,34 \\ &= 189,62 \text{ cm (1,896 m)} \end{aligned}$$



Gambar 21 Ketinggian Air
(Sumber : Olah Data)

Berdasarkan hasil pada Gambar 21 Analisis harmonik pasang surut menggunakan metode Admiralty, diperoleh datum referensi vertikal (Zo) sebesar 136,48 cm (1,36 m) yang digunakan sebagai *Mean Sea Level* (MSL). Nilai *Admiralty Tide Table* (ATT) di lokasi penelitian adalah 219,82 cm (2,198 m). Hasil perhitungan nilai *formzahl* (F) sebesar 2,697 menunjukkan bahwa tipe pasang surut di Pantai Galesong termasuk tipe campuran condong ke harian tunggal (*Mixed Tide Prevailing Diurnal*). Tinggi muka air pasang surut bervariasi, dengan *High Water Neap* (HWN) sebesar 159,02 cm (1,590 m), *Low Water Neap* (LWN) sebesar 113,94 cm (1,139 m), *High Water Spring* (HWS) sebesar 198,22 cm (1,982 m), dan *Low*

Water Spring (LWS) sebesar 74,74 cm (0,747 m). Nilai *High Astronomical Tide* (HAT) mencapai 272,96 cm (2,729 m) dan *Low Astronomical Tide* (LAT) sebesar 83,34 cm (0,833 m), sehingga menghasilkan tunggang pasang surut (*tidal range*) sebesar 189,62 cm (1,896 m).

2. *Wind set-up*

Wind set-up adalah kenaikan muka air yang terjadi akibat adanya gaya tekan angin yang bertiup secara terus-menerus menuju pantai atau tepian perairan, sehingga massa air terdorong dan terakumulasi di satu sisi perairan. Perhitungan *Wind Set-Up* didapatkan dari perhitungan gelombang rencana.

Diketahui:

Hs : 1,85 m

Ts : 6,78 dtk

(UA) : 8,08 m/dtk

Fecth (f) : 200 m

Konstanta (c) : $3,5 \times 6 \times 10^{-6} = 0,0000035$

Maka besar *wind set up* adalah:

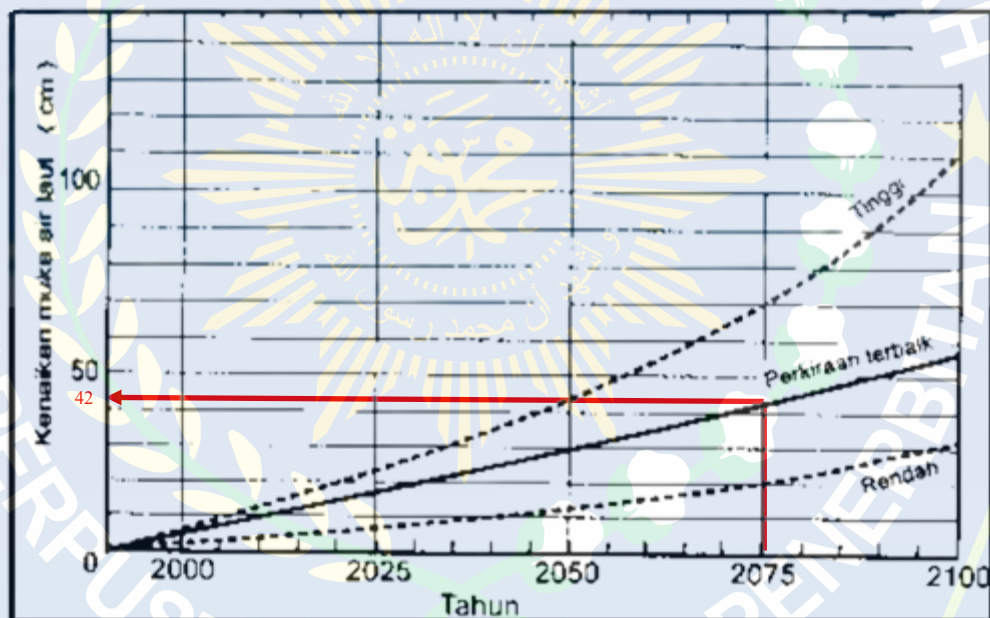
$$\Delta h = \frac{(F \times 1000 \times c) \times (UA^2)}{2 \times g \times 20}$$

$$= \frac{(200 \times 1000 \times 0,0000035) \times (8,08^2)}{2 \times 9,81 \times 20}$$

$$= 0,116 \text{ m}$$

3. Sea level rise

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer menyebabkan terjadinya pemanasan global (global warming) yang berdampak pada naiknya suhu rata-rata bumi. Peningkatan suhu ini memicu dua mekanisme utama penyebab kenaikan muka air laut (*sea level rise*), yaitu ekspansi termal air laut akibat pemanasan serta mencairnya es di wilayah kutub dan gletser. Akumulasi dari kedua proses tersebut mengakibatkan volume air laut bertambah, sehingga muka air laut secara perlahan mengalami kenaikan dari tahun ke tahun.



Gambar 22 Grafik Kenaikan Muka Air
(Sumber : Goda, 1970)

Direncanakan umur bangunan = 50 Tahun, berdasarkan grafik kenaikan muka air, maka kenaikan muka air laut yang terjadi pada tahun 2075 dengan perkiraan terbaik adalah 42 cm = 0,42 m

4. Tinggi muka air rencana

$$DWL = HWS + \Delta h + SLR$$

$$= 1,7474 + 0,116 + 0,42$$

$$= 2,283 \text{ m}$$

Untuk gelombang rencana seawall adalah sebagai berikut:

$$ds = DWL = 2,839 \text{ m}$$

$$Hb = 0,78 \times DWL$$

$$= 0,78 \times 2,839$$

$$= 1,781 \text{ m}$$

$$HD = Hb = 1,781 \text{ m}$$

5. Run up gelombang

Run Up Gelombang direncanakan :

$$\text{Jenis bangunan} = \text{Seawall}$$

$$\text{Lapis lindung} = \text{Batu Alam bersudut kasar}$$

$$\text{Tinggi gelombang} = 1,781$$

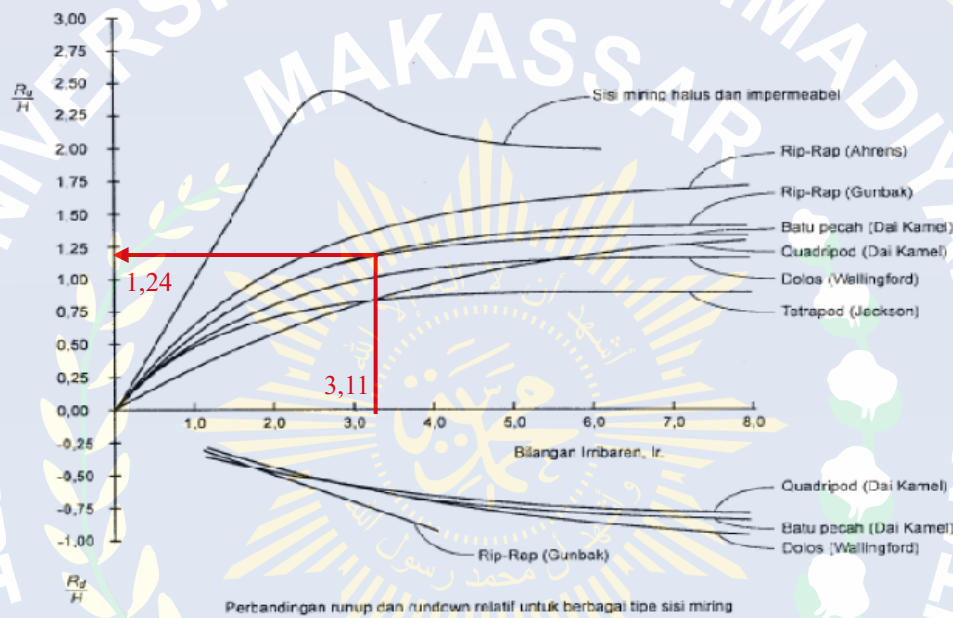
$$\text{Kemiringan bangunan} = 1 : 2 = 0,5$$

$$Lo = 1,56 T^2$$

$$= 1,56 \times 6,78^2$$

$$= 71,71 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 I_r &= \frac{tg\theta}{\frac{H}{L_o^{0,5}}} \\
 &= \frac{0,5}{\frac{1,85}{71,71}^{0,5}} \\
 &= 3,11
 \end{aligned}$$



Gambar 23 Grafik Run Off Gelombang
(Sumber : Goda, 1970)

$$Ru/H = 1,24$$

$$Ru = 1,24 \times 1,781$$

$$= 2,208 \text{ m}$$

6. Perhitungan dimensi seawall

Seawall direncanakan menggunakan type Concrete Block and Rock Walls dan berada pada elevasi 0. Adapun data dari perhitungan sebelumnya diperoleh data sebagai berikut:

Direncanakan:

LLW = +1,747 m

HWL = +0,982 m

Jenis Bangunan = Seawall

Lapis Lindung = Batu Alam Kasar

T Gelombang (hd) = 1,781 m

Kemiringan Bangunan = 1: 2

1. Elevasi Mercu Seawall

Elevasi mercu bangunan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Elevasi mercu} &= \text{DWL} + \text{Ru} + \text{Tinggi Jagaan (0,5-1,5 m)} \\ &= 2,283 + 2,208 + 0,65 \\ &= 5,141 \text{ m (6 m)}\end{aligned}$$

2. Perhitungan Lapis Lindung

1) Berat Butir Lapis Lindung

Untuk lapis lindung dari batu pecah, Butir lapis lindungnya dihitung dengan rumus Hudson, dengan nilai $n = 2$, dan nilai $KD=2$. dihitung dengan cara dibawah ini:

a) Lapis pelindung luar

$$\frac{y_r H^3}{K_D (Sr - 1)^3 \cot \theta}$$

dimana:

$$S_r = \frac{y_r}{y_a}$$

$$= \frac{2,65 \text{ (berat jenis batu)}}{1,03 \text{ (berat jenis air)}}$$

$$= 2,57$$

$$W_1 = \frac{2,65 \times 1,65^3}{2 \times (2,57-1)^3 \times 2} = 0,51 \text{ ton} = 510 \text{ kg}$$

Tebal Lapis Pelindung (t1)

$$t_1 = n K \Delta \frac{w^{1/3}}{y_r}$$

$$= 2 \times 1,10 \times \frac{0,51^{1/3}}{2,57}$$

$$= 1,27 \text{ m (1,3 m)}$$

b) Lapis pelindung kedua

$$\frac{w}{10} = \frac{0,51}{10} = 0,051 \text{ ton} = 51 \text{ kg}$$

Tebal Lapis Pelindung (t2)

$$t_2 = n K \Delta \frac{w^{1/3}}{y_r}$$

$$= 2 \times 1,10 \times \frac{0,051^{1/3}}{2,65}$$

$$= 0,59 \text{ m (0,6 m)}$$

c) Lapis *core layer*

$$\frac{w}{200} = \frac{0,051}{200} = 0,003 \text{ ton} = 3 \text{ kg}$$

2) Jumlah Batu Pelindung

Untuk satuan luas (10 m^2) dan porositas = 40 (dari table koefisien lapis) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N &= A n K \Delta \left(1 - \frac{P}{100}\right) x \left(\frac{y_r}{w}\right)^{\frac{2}{3}} \\ &= 10 \times 2 \times 1,10 \left(1 - \frac{40}{100}\right) x \left(\frac{2,65}{0,51}\right)^{\frac{2}{3}} \\ &= 40 \text{ buah} \end{aligned}$$

3. Lebar Puncak Seawall

Koefisien lapis untuk batu alam (kasar) diambil dari table koefisien lapis yaitu untuk $n = 3$ dan koefisien lapis batu alam kasar ($K\Delta$) = 1,10, maka Lebar puncak Seawall adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} B &= n K \Delta \frac{w^{1/3}}{y_r} \\ &= 3 \times 1,10 \times \frac{0,51^{1/3}}{2,65} \\ &= 1,91 \text{ m (2 m)} \end{aligned}$$

4. Toe Protection

Hasil perhitungan lapis lindung dan tinggi gelombang rencana maka diperoleh :

$$t_1 = 1,3 \text{ m}$$

$$t_2 = 0,6 \text{ m}$$

$$HD = 1,781 \text{ m}$$

$$DS = 2,839 \text{ m}$$

Untuk perhitungan toe protection sebagai berikut:

a. Tinggi Toe Protection (Ttoe)

$$\text{Tebal Lapis Rata Rata (r)} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{1,3 + 0,6}{2} = 0,95 \text{ m (1 m)}$$

b. Lebar Toe Protection

$$B = 2 \text{ HD} - 3 \text{ HD}$$

$$\text{Maka B} = 2 \text{ HD}$$

$$= 2 \times 1,781$$

$$= 3,562 \text{ m}$$

c. Berat Butir Toe Protection (Wtoe)

$$W_{\text{toe}} = \frac{\gamma_r H^3}{N^{\frac{3}{5}} (Sr - 1)^3}$$

Dimana:

γ_r = berat jenis batu (2,65 t/m³)

H = Tinggi Gelombang pecah

$hN^{\frac{3}{5}}$ = Angka stabilitas rencana untuk pelindung kaki

Maka berat butir Toe Protection dihitung dengan cara dibawah ini:

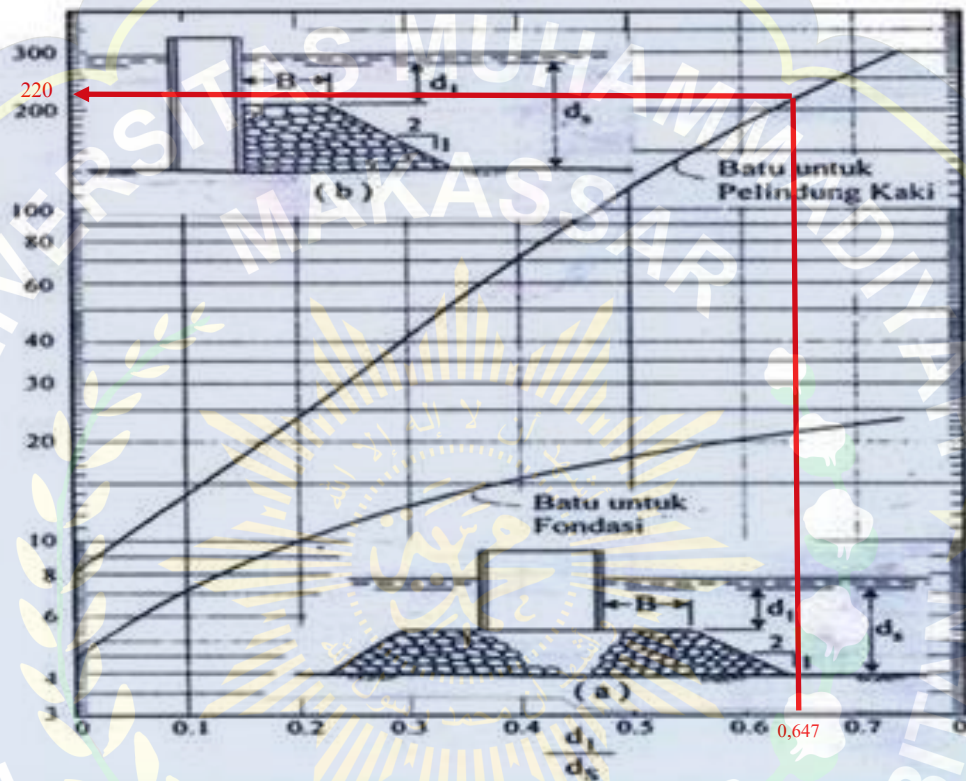
$$d_s = 2,839 \text{ m}$$

$$d_l = d_s - t_{\text{toe}}$$

$$= 2,839 - 1$$

$$= 1,839 \text{ m}$$

$$\frac{d_1}{d_s} = \frac{1,839}{2,839} = 0,647 \text{ kg}$$



Gambar 24 Angka stabilitas rencana minimum
(Sumber : Goda, 1970)

Nilai $N_5^{\frac{3}{5}}$ di dapatkan dari table angka stabilitas $N_5^{\frac{3}{5}}$ untuk pondasi pelindung kaki adalah = 220

$$N_5^{\frac{3}{5}} = 220^{\frac{1}{3}} = 73,33 \text{ cm (7,33 m)}$$

$$W_{toe} = \frac{\gamma_r H^3}{N_5^{\frac{3}{5}} (Sr-1)^3}$$

$$= \frac{2,65 \times 1,65^3}{7,33 (2,57-1)^3}$$

$$= 0,419 \text{ ton (410 kg)}$$

Berat batu lapis lindung toe protection dipergunakan kira-kira setengah dari yang dipergunakan di dinding tembok ($0,5 \times W$). (Yuwono, 2004)

$$W = 0,5 \times 410$$

$$= 205 \text{ kg}$$

Maka berat butir toe protection (W) adalah = 205 kg

Table 16 Hasil design Seawall

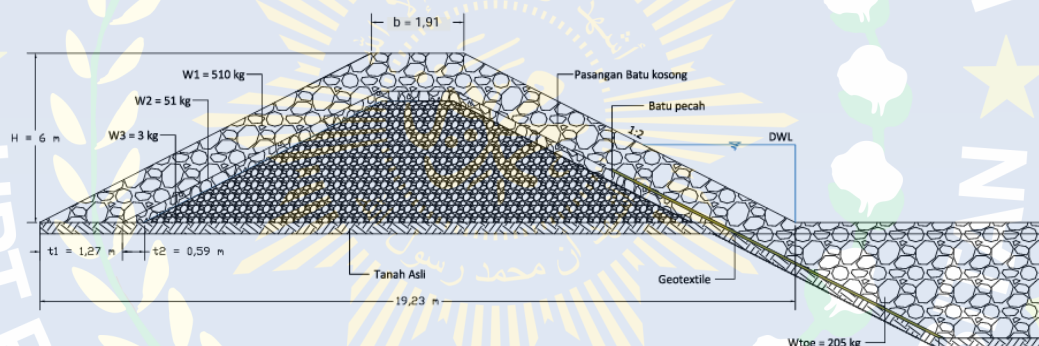
Bagian Seawall	Dimensi	Satuan
Tinggi Seawall	6	m
Lebar Seawall	19,23	m
Lebar Puncak	1,91	m
Berat Lapis Pelindung Luar	510	Kg
Berat Lapis Pelindung Kedua	51	Kg
Berat Lapis Core Layer	3	Kg
Tebal Lapis Pelindung Luar	1,27	m
Tebal Lapis Pelindung Kedua	0,59	m
Tinggi Toe Protection	0,95	m
Lebar Toe Protection	3,562	m
Berat Toe Protection	205	Kg

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Berdasarkan hasil perencanaan teknis, struktur seawall pada lokasi penelitian dirancang dengan tinggi keseluruhan sebesar 6 m dan lebar dasar 19,23 m. Bagian puncak (crest) memiliki lebar 1,91 m. Lapisan pelindung luar (outer armor layer) menggunakan unit batu dengan berat 510 kg per unit dan ketebalan lapisan 1,27 m. Lapisan pelindung kedua (secondary armor layer) direncanakan

menggunakan batu berukuran 51 kg per unit dengan ketebalan 0,59 m. Sementara itu, lapisan inti (core layer) menggunakan material batu dengan berat 3 kg per unit. Bagian kaki struktur dilengkapi dengan perlindungan kaki (toe protection) setinggi 0,95 m dan lebar 3,562 m, dengan material pelindung kaki berbobot 205 kg per unit. Spesifikasi dimensi dan bobot material ini disesuaikan untuk memastikan stabilitas terhadap gaya gelombang, ketahanan terhadap erosi dasar, serta keberlanjutan fungsi perlindungan pantai sesuai kondisi hidrodinamika setempat.

7. Gambar dimensi seawall



Gambar 25 Desain Seawall
(Sumber : Olah Data)

Pantai Galesong memiliki gelombang dominan dari arah barat, barat laut, dan utara dengan tinggi gelombang signifikan hingga 1,85 meter, periode gelombang 6,78 detik, serta tipe pasang surut campuran condong harian tunggal. Kondisi ini berpotensi menimbulkan abrasi sehingga dibutuhkan struktur pelindung pantai yang kuat, stabil, dan efektif. Penggunaan concrete block dan rock wall pada tipe seawall dipilih karena mampu memberikan perlindungan yang handal sekaligus ekonomis terhadap gaya gelombang laut. Concrete block dan batu pecah memiliki

ketahanan tinggi untuk menahan dampak ombak serta menjaga kestabilan lereng timbunan, sementara susunan batu kosong yang permeabel berfungsi meredam energi gelombang dan mengurangi tekanan air di balik struktur, sehingga risiko erosi, piping, maupun uplift pressure dapat diminimalisir. Selain itu, permukaan tidak rata dari lapisan batu membantu memecah energi gelombang, mengurangi gaya pantul, serta meningkatkan daya tahan struktur. Material ini juga tahan lama di lingkungan laut, mudah diperoleh secara lokal, serta memungkinkan perawatan dan perbaikan lebih sederhana, sehingga menjadi pilihan yang tepat untuk perlindungan Pantai Galesong. Berdasarkan hasil perencanaan, potongan melintang konstruksi pelindung tebing memiliki tinggi 6,00 meter dan lebar dasar 19,23 meter, dengan sistem revetment yang terdiri atas pasangan batu kosong sebagai pelindung utama, lapisan batu pecah sebagai filter, serta lapisan inti bergradasi halus untuk menahan tekanan dari tanah belakang. Bagian kaki bangunan diperkuat dengan batu berat (toe) sebesar 205 kg, sedangkan lapisan pelindung utama menggunakan batu dengan berat 510 kg, lapisan kedua 51 kg, dan lapisan inti 3 kg. Struktur ini dirancang untuk menyesuaikan kondisi fisik pantai dan karakteristik gelombang di kawasan Galesong, sehingga dapat memberikan perlindungan jangka panjang terhadap abrasi.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis perencanaan seawall, maka kami dapat menyimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil analisis, arah angin yang berpotensi membangkitkan gelombang di Pantai Galesong berasal dari arah barat, barat laut, dan utara. Tinggi gelombang signifikan terbesar (H_s) tercatat sebesar 1,85 meter dengan periode gelombang signifikan (T_s) terbesar mencapai 6,78 detik. Elevasi muka air rencana di kawasan ini sebesar 2,283 meter dengan tipe pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*Mixed Tide Prevailing Diurnal*).
2. Struktur seawall yang direncanakan memiliki tinggi 6 meter, lebar dasar 19,23 meter, dan lebar puncak 1,91 meter. Lapisan pelindung luar menggunakan batu berbobot 510 kg dengan ketebalan 1,27 meter, dilanjutkan dengan lapisan kedua berbobot 51 kg setebal 0,59 meter, serta lapisan inti berbobot 3 kg. Bagian kaki (toe protection) dirancang dengan tinggi 0,95 meter, lebar 3,562 meter, dan berat pelindung kaki sebesar 205 kg. Dimensi dan spesifikasi ini telah disesuaikan dengan kondisi fisik pantai serta karakteristik gelombang, sehingga diharapkan dapat menjamin stabilitas struktur sekaligus meningkatkan efektivitas perlindungan Pantai Galesong dari ancaman abrasi.

B. Saran

Adapun saran yang kami berikan terhadap tulisan ini :

1. Disarankan untuk melakukan analisis perubahan garis pantai secara menyeluruh guna memperoleh estimasi yang akurat mengenai panjang abrasi yang terjadi di lokasi penelitian.
2. Perlu dilakukan investigasi mekanika tanah pada lokasi rencana pembangunan seawall untuk memastikan daya dukung tanah dan menjamin kestabilan pondasi struktur.
3. Direkomendasikan untuk menghitung dan menganalisis kestabilan struktur seawall sehingga dapat diketahui kemampuan bangunan dalam menahan beban gelombang laut berdasarkan kondisi hidrodinamika setempat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, M., *et al.*, (2011). Kajian Perubahan Garis Pantai Menggunakan Data Satelit Landsat Di Kabupaten Kendal, *Jurnal Penginderaan Jauh*, 8.
- Basrowi, & Suwandi. (2010). *Memahami penelitian kualitatif*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Bird, E. (2008). *Coastal Geomorphology: An Introduction*. John Wiley & Sons.
- Budiarti, R. (2020). *Dinamika abrasi pantai dan dampaknya terhadap lingkungan pesisir*. Jakarta: Penerbit Geosains Indonesia
- Dean, R.G., & Dalrymple, R.A. (2002). *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press.
- Duhari, D. (2008). *Oseanografi pesisir: Proses dinamis dan dampaknya terhadap lingkungan pantai*. Jakarta: Penerbit Kelautan Indonesia.
- Fauziah, N. (2018). *Kerusakan ekosistem pesisir dan dampaknya terhadap infrastruktur dan sumber daya perikanan*. Jakarta: Pustaka Maritim Nusantara.
- Ghufron, M. (2012). *Perubahan iklim dan dampaknya terhadap kehidupan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Imba, M. D. (2018). *Dinamika abrasi pantai: Faktor penyebab dan upaya penanggulangannya*. Gorontalo: Ideas Publishing.
- Komar, P.D. (1998). *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall.
- Lasarika, M. (2017). *Model dan distorsi dalam pemecahan permasalahan geospasial*. Yogyakarta: Penerbit Geospasial Indonesia.
- Matthew, E. (2010). *Climate change and coastal ecosystems: Impacts and adaptation strategies*. London: Earthscan Publications.
- Manumono, E. (2017). *Dampak sosial ekonomi abrasi terhadap kehidupan masyarakat pesisir*. Makassar: Penerbit Nusantara Maritim.

Muh Haris *et al.*, (2015). *Dinamika abrasi pantai dan strategi pengelolaannya di wilayah pesisir*. Makassar: Universitas Hasanuddin Press.

Opa, E. T. (2011). Perubahan Garis Pantai Desa Bentenan Kecamatan Pusomaen, Minahasa Tenggara. *Jurnal perikanan dan kelautan tropis*, 7(3), 109-114.

Prasetyo, A., Hadi, P., & Suryadi, R. (2020). *Strategi pengelolaan wilayah pesisir dan dampaknya terhadap ketahanan lingkungan di Kabupaten Takalar*. Makassar: Penerbit Ilmu Lingkungan.

Rahmawati, N. (2020). *Dampak abrasi terhadap lingkungan fisik dan sosial di wilayah pesisir*. Surabaya: Penerbit Cendekia Maritim.

Ramadhan, R. (2013). *Dampak abrasi terhadap lingkungan pesisir dan kehidupan masyarakat sekitarnya*. Bandung: Penerbit Lingkungan Hidup Indonesia.

Sastroprawiro, S., Sutamihardja, R. T., & Yudo, W. (1966). *Pengantar ilmu tanah dan pemetaan kemiringan lahan*. Surabaya: ITS Press.

Sastroprawiro, S., & Yudo, W. (1996). *Pengantar oseanografi*. Surabaya: ITS Press.

Syamsuri, A. M, Dkk. (2023).). Studi Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai di Sausapor Kab. Tambrau. *Jurnal Teknik Sipil Macca*, Volume 8 (38).

Syamsuddin. (2000). *Inventarisasi kerusakan pantai di Indonesia*. Bandung: Puslitbang Sumber Daya Air, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Triatmodjo, Bambang, 1999, *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.

Utomo, A. C. (2019). Strategi Humas BNPB Meningkatkan Pengetahuan Diorama Bencana. *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, 10(1),

USACE (2006). *Coastal Engineering Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.

Wahyuningsih, S. (2016). *Dampak abrasi terhadap ekosistem dan permukiman di wilayah pesisir*. Semarang: Universitas Diponegoro Press.

Warisno. (2013). *Geografi lingkungan: Dampak dan upaya penanggulangan bencana alam*. Yogyakarta: Pustaka Edukasi.





LAMPIRAN

Lampiran dokumentasi alat penelitian



Meter



Handphone



Papan pengalas

Pengukuran Panjang lokasi penelitian



DATA SEKUNDER PENELITIAN

1. Data Kecepatan dan Arah Angin

Tahun	Bulan	Hari	Jam	Arah Angin		Kecepatan Angin
2015	Januari	1	1	310	NW	7,39
2015	Februari	1	2	350	N	5,32
2015	Maret	1	3	320	NW	4,58
2015	April	1	4	120	SE	4,67
2015	Mei	2	5	120	SE	4,29
2015	Juni	2	6	120	SE	3,97
2015	Juli	2	7	150	SE	4,71
2015	Agustus	2	8	200	S	5,10
2015	September	3	9	290	W	5,33
2015	Oktober	3	10	80	E	5,35
2015	November	3	11	310	NW	4,83
2015	Desember	3	12	300	NW	6,06
2016	Januari	1	1	300	NW	6,40
2016	Februari	1	2	300	NW	6,00
2016	Maret	1	3	300	NW	4,81
2016	April	1	4	150	SE	4,23
2016	Mei	2	5	150	SE	4,77
2016	Juni	2	6	80	E	4,03
2016	Juli	2	7	120	SE	4,35
2016	Agustus	2	8	120	SE	4,74
2016	September	3	9	50	E	5,40
2016	Oktober	3	10	50	E	5,23
2016	November	3	11	170	S	5,20
2016	Desember	3	12	170	S	7,81
2017	Januari	1	1	320	NW	7,03
2017	Februari	1	2	320	NW	7,93
2017	Maret	1	3	320	NW	5,39
2017	April	1	4	110	E	5,06
2017	Mei	2	5	100	E	3,61
2017	Juni	2	6	235	SW	3,57
2017	Juli	2	7	242	SW	4,35
2017	Agustus	2	8	110	E	4,26
2017	September	3	9	100	E	4,53
2017	Oktober	3	10	110	E	4,48
2017	November	3	11	310	NW	4,77
2017	Desember	3	12	320	NW	5,45
2018	Januari	1	1	350	N	5,35
2018	Februari	1	2	320	NW	4,93
2018	Maret	1	3	350	N	4,74

2021	Desember	3	12	310	NW	4,94
2022	Januari	1	1	273	W	5,52
2022	Februari	1	2	280	W	4,96
2022	Maret	1	3	294	NW	4,94
2022	April	1	4	50	E	4,33
2022	Mei	2	5	235	SW	4,10
2022	Juni	2	6	247	SW	4,24
2022	Juli	2	7	90	E	4,26
2022	Agustus	2	8	217	SW	4,58
2022	September	3	9	224	SW	5,29
2022	Oktober	3	10	50	E	4,71
2022	November	3	11	240	SW	5,21
2022	Desember	3	12	310	NW	5,87
2023	Januari	1	1	258	W	6,10
2023	Februari	1	2	268	W	6,46
2023	Maret	1	3	268	W	5,16
2023	April	1	4	243	SW	4,55
2023	Mei	2	5	50	E	4,16
2023	Juni	2	6	234	SW	4,27
2023	Juli	2	7	236	SW	4,19
2023	Agustus	2	8	230	SW	5,03
2023	September	3	9	236	SW	5,03
2023	Oktober	3	10	237	SW	4,61
2023	November	3	11	310	NW	4,60
2023	Desember	3	12	350	N	5,45
2024	Januari	1	1	248	W	6,90
2024	Februari	1	2	275	W	5,76
2024	Maret	1	3	320	NW	5,65
2024	April	1	4	252	W	4,40
2024	Mei	2	5	252	W	3,94
2024	Juni	2	6	234	SW	3,77
2024	Juli	2	7	223	SW	4,26
2024	Agustus	2	8	219	SW	4,94
2024	September	3	9	249	W	5,40
2024	Oktober	3	10	214	SW	5,87
2024	November	3	11	320	NW	5,13
2024	Desember	3	12	350	N	6,55

2021	Desember	3	12	310	NW	4,94
2022	Januari	1	1	273	W	5,52
2022	Februari	1	2	280	W	4,96
2022	Maret	1	3	294	NW	4,94
2022	April	1	4	50	E	4,33
2022	Mei	2	5	235	SW	4,10
2022	Juni	2	6	247	SW	4,24
2022	Juli	2	7	90	E	4,26
2022	Agustus	2	8	217	SW	4,58
2022	September	3	9	224	SW	5,29
2022	Oktober	3	10	50	E	4,71
2022	November	3	11	240	SW	5,21
2022	Desember	3	12	310	NW	5,87
2023	Januari	1	1	258	W	6,10
2023	Februari	1	2	268	W	6,46
2023	Maret	1	3	268	W	5,16
2023	April	1	4	243	SW	4,55
2023	Mei	2	5	50	E	4,16
2023	Juni	2	6	234	SW	4,27
2023	Juli	2	7	236	SW	4,19
2023	Agustus	2	8	230	SW	5,03
2023	September	3	9	236	SW	5,03
2023	Oktober	3	10	237	SW	4,61
2023	November	3	11	310	NW	4,60
2023	Desember	3	12	350	N	5,45
2024	Januari	1	1	248	W	6,90
2024	Februari	1	2	275	W	5,76
2024	Maret	1	3	320	NW	5,65
2024	April	1	4	252	W	4,40
2024	Mei	2	5	252	W	3,94
2024	Juni	2	6	234	SW	3,77
2024	Juli	2	7	223	SW	4,26
2024	Agustus	2	8	219	SW	4,94
2024	September	3	9	249	W	5,40
2024	Oktober	3	10	214	SW	5,87
2024	November	3	11	320	NW	5,13
2024	Desember	3	12	350	N	6,55

2. Data Pusing Surut

Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Trippel																								
1 Jan 2024	0.0244	0.0351	0.0281	-0.0099	-0.0303	-0.3198	0.0287	0.1118	0.2146	0.2121	0.2889	0.4028	0.2088	0.2984	0.2932	-0.0277	-0.2478	-0.2952	-0.4831	-0.4703	0.4295	0.2487	0.2711	0.1148
2 Jan 2024	-0.0167	0.0447	0.0763	0.0885	0.0487	0.1134	0.1816	0.2787	0.2796	0.2155	0.4277	0.4287	0.2881	0.2042	0.1984	-0.0278	-0.2038	-0.2812	-0.4838	-0.5408	-0.5982	-0.5013	-0.4082	-0.2930
3 Jan 2024	-0.1941	-0.0383	0.0400	0.1172	0.1885	0.2543	0.2888	0.2994	0.2908	0.4279	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427	0.427	-0.1244	-0.2987	-0.4482	-0.5124	-0.4873	-0.4873	-0.4873	-0.4873
4 Jan 2024	-0.2149	-0.1718	-0.0271	0.0802	0.1732	0.2022	0.2948	0.2877	0.4481	0.4118	0.2386	0.1233	0.4481	0.2885	0.2885	0.2885	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
5 Jan 2024	-0.4837	-0.2193	-0.1813	-0.0081	0.1281	0.2029	0.2887	0.4481	0.4118	0.2386	0.1233	0.4481	0.2885	0.2885	0.2885	0.2885	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
6 Jan 2024	-0.5721	-0.4513	-0.2833	-0.1582	0.0848	0.2138	0.2882	0.4481	0.4118	0.2386	0.1233	0.4481	0.2885	0.2885	0.2885	0.2885	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
7 Jan 2024	-0.6338	-0.5808	-0.4281	-0.2282	0.0488	0.1481	0.2187	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
8 Jan 2024	-0.6287	-0.5887	-0.4922	-0.3271	-0.1482	0.0813	0.2418	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
9 Jan 2024	-0.5889	-0.6032	-0.5381	-0.4728	-0.2385	-0.0385	0.1988	0.2488	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
10 Jan 2024	-0.5331	-0.6019	-0.5452	-0.4884	-0.3188	-0.1202	0.078	0.2882	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
11 Jan 2024	-0.4318	-0.4888	-0.5124	-0.4814	-0.3487	-0.1888	0.0077	0.1581	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
12 Jan 2024	-0.3247	-0.4208	-0.4423	-0.4277	-0.3485	-0.213	-0.0432	0.1788	0.2887	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
13 Jan 2024	-0.2053	-0.2882	-0.3388	-0.3844	-0.3337	-0.2887	-0.0948	0.0948	0.2411	0.3481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
14 Jan 2024	-0.0982	-0.1581	-0.215	-0.247	-0.2232	-0.1834	-0.0482	0.0848	0.2887	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
15 Jan 2024	0.0027	-0.0377	-0.0849	-0.1184	-0.1215	-0.1215	0.0041	0.1174	0.2887	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
16 Jan 2024	0.0823	0.0409	0.0287	0.0271	0.0285	0.0285	0.0281	0.1881	0.2774	0.3881	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
17 Jan 2024	0.0385	0.0443	0.1182	0.1081	0.1188	0.1488	0.187	0.2881	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	0.4481	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
18 Jan 2024	-0.0431	0.0202	0.1181	0.181	0.1882	0.2423	0.2881	0.2881	0.2881	0.2881	0.2881	0.2881	0.2881	0.2881	0.2881	0.2881	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
19 Jan 2024	-0.1934	-0.0942	0.0887	0.1515	0.2288	0.2881	0.2882	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
20 Jan 2024	-0.3784	-0.214	-0.0483	0.0788	0.1918	0.2881	0.2882	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
21 Jan 2024	-0.5488	-0.3847	-0.2277	-0.0888	0.1038	0.2447	0.2887	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
22 Jan 2024	-0.6884	-0.511	-0.2488	-0.2088	-0.1888	0.1888	0.2887	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
23 Jan 2024	-0.6882	-0.6882	-0.5213	-0.3884	-0.1888	0.0344	0.2881	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487
24 Jan 2024	-0.6178	-0.6382	-0.5885	-0.4888	-0.3287	-0.0788	0.1127	0.2774	0.2887	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	0.4382	-0.0413	-0.2115	-0.389	-0.4487	-0.3892	-0.4487	-0.4487	-0.4487



25 Juni 2024	-0.4918	-0.5784	-0.1929	-0.4838	-0.3894	-0.1641	0.0278	0.2700	0.0266	0.4370	0.4029	0.3296	0.0764	0.1684	0.0224	0.0148	0.2125	0.0079	0.0706	0.1416	0.1072	0.0897	-0.1074	-0.1764
26 Juni 2024	-0.2827	-0.3731	-0.4436	-0.4347	-0.3003	-0.2094	-0.0232	0.1102	0.0071	0.0102	0.0073	0.3206	0.0264	0.088	-0.0411	-0.1888	-0.1802	-0.024	-0.0203	0.003	0.1031	0.17287	0.1478	0.0776
27 Juni 2024	-0.0882	-0.1847	-0.2791	-0.1205	-0.2003	-0.1882	-0.0208	0.1188	0.0278	0.0072	0.0173	0.2305	0.0118	0.0118	-0.1728	-0.0402	-0.3102	-0.0038	-0.2208	-0.1134	0.0048	0.0088	0.1478	0.1764
28 Juni 2024	0.0787	-0.0122	-0.1087	-0.1773	-0.1003	-0.1294	-0.0034	0.1101	0.0278	0.0102	0.4029	0.2879	0.028	0.0018	-0.1728	-0.2817	-0.4164	-0.0728	-0.0104	-0.2804	-0.1162	-0.014	0.028	0.1404
29 Juni 2024	0.1428	0.1077	0.0048	-0.0203	-0.008	-0.0072	0.0017	0.1081	0.0266	0.0082	0.4164	0.2809	0.0081	0.1103	-0.0884	-0.2804	-0.4437	-0.0448	-0.048	-0.077	-0.2078	-0.1288	-0.1282	0.0018



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN**

Alamat kantor: Jl. Sultan Alauddin NO.259 Makassar 90221 Tlp. (0411) 866972,881593, Fax. (0411) 865588



SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

**UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:**

Nama : Riska Putri Amir

Nim : 105811103421

Program Studi : Teknik Sipil Pengairan

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	10%	10 %
2	Bab 2	21%	25 %
3	Bab 3	3%	10 %
4	Bab 4	2%	10 %
5	Bab 5	5%	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 26 Agustus 2025

Mengetahui,

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,

