

SKRIPSI

**PENGARUH TINGGI GELOMBANG TERHADAP REFRAKSI
PADA PULAU GUSUNG**



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



FAKULTAS TEKNIK

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
PENGESAHAN

Skripsi atas nama Sariana dengan nomor induk Mahasiswa 105811100221 dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0010/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 Sabtu 16 Agustus 2025.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

Makassar,

22 Safar 1447 H

16 Agustus 2025 M

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

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

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. Eng. Muhammad Israh Ramli, S.T., MT., ASEAN, Eng

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Andi Makbul Syamsuri, S.T., M.T., IPM

b. Sekretaris : Muh. Amir Zainuddin, ST., MT., IPM

3. Anggota

1. Asnita Virlyani, S.T., M.T.

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

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

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Kasmawati, ST., MT

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

Dekan



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

NBM : 975 288





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **PENGARUH TINGGI GELOMBANG TERHADAP REFRAKSI PADA PULAU GUSUNG**

Nama : 1. SARIANA

Stambuk : 1. 105 81 11002 21

Makassar, Sabtu 16 Agustus 2025

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II


Kasmawati, ST., MT


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

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Pengairan

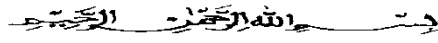



Ir. M. Agusalm, ST., MT.

NBM. 947 993



KATA PENGANTAR



Assalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam tak henti-hentinya curahkan kepada Baginda Rasulullah SAW beserta keluarga dan kerabatnya. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan Program Studi Teknik Pengairan pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah **“PENGARUH TINGGI GELOMBANG TERHADAP REFRAKSI PADA PULAU GUSUNG”**. penyusunan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak masukan yang berguna dari berbagai pihak sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu dengan ketulusan serta keikhlasan hati, kami mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Hj. Abd. Rakhim Nanda, S.T., M.T., IPU selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Ir. Muhammad Syafaat S.Kuba, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Ir. M. Agusalim, S.T., M.T selaku Ketua Prodi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Dan Ibu Kasmawati, S.T., M.T selaku Sekretaris Prodi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Ibu Kasmawati, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I Dan Bapak Dr. Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T., IPM selaku Dosen Pembimbing II yang telah

meluangkan banyak waktu, memberikan bimbingan dan arahan sehingga terwujudnya tugas akhir ini.

5. Bapak dan Ibu Dosen serta para staf administrasi pada Prodi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Kepada kedua orang tua saya, bapak Bahtiar.H dan ibu Meldawati dua orang yang sangat berjasa dalam hidup saya, dua orang yang selalu mengusahakan anak keduanya ini menempuh pendidikan setinggi-tingginya meskipun mereka berdua sendiri hanya bisa menempuh pendidikan sampai tahap dasar kepada bapak saya terima kasih atas setiap cucuran keringat dan kerja keras yang engkau tukarkan menjadi sebuah nafkah demi bisa sampai kepada tahap ini Demi anakmu dapat mengenyam pendidikan sampai ke tingkat ini dan terima kasih telah menjadi contoh untuk menjadi seorang laki-laki yang bertanggung jawab penuh terhadap keluarga. untuk ibu saya terima kasih atas segala motivasi, pesan, doa, dan harapan yang selalu mendampingi setiap langkah dan ikhtiar anakmu untuk menjadi seorang yang berpendidikan terima kasih atas kasih sayang tanpa batas yang tak pernah lekang oleh waktu atas kesabaran dan pengorbanan yang selalu mengiringi perjalanan hidup saya terima kasih telah menjadi sumber kekuatan dan inspirasi serta pelita yang tak pernah padam dalam setiap langkah yang saya tempuh terakhir terima kasih atas segala hal yang kalian berikan yang tak terhitung jumlahnya.
7. Saudara/i saya, Samsir dan Erna Sari yang selalu hadir memberikan dukungan moril, menjadi tempat berbagi cerita, serta memberikan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung. Terima kasih atas tawa yang menguatkan, candaan yang meringankan beban, dan kebersamaan yang membuat perjalanan ini terasa lebih indah.
8. Seluruh keluarga besar, baik dari pihak Ayah maupun Ibu, yang selalu menyelipkan nama penulis dalam setiap doa, memberikan motivasi, serta menjadi sumber inspirasi untuk terus melangkah maju.
9. Sahabat-sahabat terbaik, Nur Auliyah Syahyani S.Tr.Kes, Anisa Nurfayda S.E dan Fathul Hidayat S.M yang telah menjadi saksi perjalanan panjang ini. Terima kasih untuk setiap dukungan, bantuan, dan motivasi yang kalian

berikan. Terima kasih karena telah menemani di saat penulis berada pada titik terendah, dan turut merayakan setiap pencapaian yang diraih.

10. Saudara/saudari serta rekan-rekan Mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus Angkatan 2021.
11. Sahabat Seperjuangan, yaitu Anti, Risal, Nindy, Dayat, dan Fadil, atas kebersamaan, dukungan, serta semangat yang senantiasa diberikan selama masa perkuliahan. Kehadiran dan kerja sama kalian menjadi bagian penting dalam perjalanan akademik ini, sehingga memberikan pengalaman berharga yang tidak terlupakan. Terimakasih telah menguatkan selama masa perantauan untuk menuntut ilmu.
12. Beasiswa BSI Scholarship, dukungan beasiswa ini tidak hanya meringankan langkah saya, tetapi juga menjadi penyemangat untuk terus berusaha hingga skripsi ini terselesaikan.”

Semoga seluruh pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda disisi Allah SWT dan skripsi ini dapat memberi manfaat bagi bidang Pendidikan dan penerapan di lapangan serta bisa dikembangkan lebih lanjut.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Makassar, Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah.....	3
F. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Gelombang Laut	6
B. Karakteristik Gelombang.....	8
C. Transformasi Gelombang.....	15
D. Angin.....	23
E. Peramalan Gelombang.....	25
F. Fetch.....	26
G. Arus.....	27
BAB III METODE PENELITIAN	30
A. Lokasi Penelitian dan waktu penelitian	30
B. Jenis Penelitian dan Sumber Data	30

C. Tahap Pelaksanaan Penelitian	31
D. Flowchart Penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
A. Data Angin.....	36
B. Perhitungan Fetch Efektif.....	37
C. Peramalan Tinggi Dan Periode Gelombang (Hindcasting)	43
D. Perhitungan Koefisien Refraksi.....	63
BAB V PENUTUP	84
A. Kesimpulan.....	84
B. Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	88



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gerak Partikel Air di Laut Dangkal, Transisi Dalam (Triatmodjo, 1999).....	9
Gambar 2. Ilustrasi gelombang dan parameter yang terkait (Dean and Dalrymple, 1991).....	12
Gambar 3. Refraksi Gelombang di Pantai (Triatmodjo, 2009)	18
Gambar 4. Refraksi Gelombang.pada kontur lurus dan sejajar	18
Gambar 5. Proses Difraksi Gelombang (Triatmojo, 2009)	21
Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin Laut dan di Darat	25
Gambar 7. Fetch (Triatmojo, 1999).....	27
Gambar 8. Lokasi Penelitian, Sumber : Google Earth	30
Gambar 9. Flowchart Penelitian	35
Gambar 10. Mawar Angin Tahun 2019-2023	37
Gambar 11. Panjang fetch dari Utara, Barat Daya, Barat dan Barat Laut.....	37
Gambar 12. Grafik hubungan koreksi angin, sumber (CERC 1984)	43
Gambar 13. Grafik hubungan antara tinggi gelombang dan periode gelombang	50
Gambar 14. Grafik Tinggi Gelombang 2019.....	52
Gambar 15. Grafik Panjang Gelombang 2019	52
Gambar 16. Grafik Tinggi Gelombang 2020.....	53
Gambar 17. Grafik Panjang Gelombang 2020	54
Gambar 18. Grafik Tinggi Gelombang 2021.....	55
Gambar 19. Grafik Panjang Gelombang 2021	56
Gambar 20. Grafik Tinggi Gelombang 2022.....	57

Gambar 21. Grafik Panjang Gelombang 2022	57
Gambar 22. Grafik Tinggi Gelombang 2023.....	58
Gambar 23. Grafik Panjang Gelombang 2023	59
Gambar 24. Grafik Gabungan Tinggi Gelombang Tahun 2019-2023	61
Gambar 25. Grafik Gabungan Tinggi Gelombang Tahun 2019-2023	62
Gambar 26. Lokasi Penelitian	63
Gambar 27. Grafik hubungan tinggi gelombang dengan koefisien refraksi.....	81
Gambar 28. Grafik hubungan tinggi gelombang dengan cepat rambat gelombang awal	82
Gambar 29. Grafik perbandingan d/L_0 dengan d/H	83



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi gelombang berdasarkan periode.....	11
Tabel 2. Batasan gelombang laut dangkal, transisi dan dalam.....	14
Tabel 3. Parameter kejadian arah datangnya angin	36
Tabel 4. Perhitungan fetch efektif arah utara	38
Tabel 5. Perhitungan fetch efektif arah Barat Daya	39
Tabel 6. Perhitungan fetch efektif arah Barat	40
Tabel 7. Perhitungan fetch efektif arah Barat Laut	41
Tabel 8. Rekap Perhitungan fetch efektif semua Arah.....	42
Tabel 9. Rekap hasil perhitungan parameter gelombang 2019	45
Tabel 10. Hasil Perhitungan parameter gelombang 2019	45
Tabel 11. Rekap hasil perhitungan parameter gelombang 2020	46
Tabel 12. Hasil perhitungan parameter gelombang 2020.....	46
Tabel 13. Rekap hasil perhitungan parameter gelombang 2021	47
Tabel 14. Hasil perhitungan parameter gelombang 2021.....	47
Tabel 15. Rekap hasil perhitungan parameter gelombang 2022	48
Tabel 16. Hasil perhitungan parameter gelombang 2022.....	48
Tabel 17. Rekap hasil perhitungan parameter gelombang 2023	49
Tabel 18. Hasil perhitungan parameter gelombang 2023.....	49
Tabel 19. Hasil perhitungan Periode dan Panjang Gelombang Tahun 2019.....	51
Tabel 20. Hasil perhitungan Periode dan Panjang Gelombang Tahun 2020.....	53
Tabel 21. Hasil perhitungan Periode dan Panjang Gelombang Tahun 2021.....	55
Tabel 22. Hasil perhitungan Periode dan Panjang Gelombang Tahun 2022.....	56

Tabel 23. Hasil perhitungan Periode dan Panjang Gelombang Tahun 2023	58
Tabel 24. Rekap Tinggi Gelombang 2019 - 2023	60
Tabel 25. Rekap Panjang Gelombang 2019 - 2023	61
Tabel 26. Pembacaan nilai d/L dan n	64
Tabel 27. Pembacaan nilai d/L dan n	65
Tabel 28. Pembacaan nilai d/L dan n	66
Tabel 29. Pembacaan nilai d/L dan n	68
Tabel 30. Pembacaan nilai d/L dan n	69
Tabel 31. Pembacaan nilai d/L dan n	71
Tabel 32. Pembacaan nilai d/L dan n	72
Tabel 33. Pembacaan nilai d/L dan n	73
Tabel 34. Pembacaan nilai d/L dan n	75
Tabel 35. Pembacaan nilai d/L dan n	76
Tabel 36. Pembacaan nilai d/L dan n	77
Tabel 37. Pembacaan nilai d/L dan n	79
Tabel 38. Rekap Nilai Koefisien Refraksi (Kr)	80
Tabel 39. Hasil perhitungan Koefisien Refraksi	81

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

L = Panjang gelombang (m)

a = Amplitudo gelombang

d = Kedalaman perairan (m)

T = Periode gelombang (detik)

H = Tinggi gelombang

h = Kedalaman dimana gelombang terjadi

$\omega = 2\pi/T$; T = periode gelombang

η = Pergerakan muka air relative terhadap muka air tenang (SWL)

K_s = Koefisien pendangkalan (shaoling)

K_r = Koefisien refraksi

H_0 = Tinggi gelombang dilaut dalam

H_1 = Tinggi gelombang pada kedalaman tertentu

L_1 = Panjang gelombang

α_1 = Sudut antara garis puncak gelombang dengan kontur dasar dimana gelombang melintas.

α_2 = Sudut yang sama yang di ukur saat garis puncak gelombang melintasi kontur dasar berikutnya.

L_0 = Panjang gelombang di laut dalam (m)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pulau Gusung merupakan salah satu pulau kecil yang terletak di bagian barat Kota Makassar, Sulawesi. Terletak pada koordinat antara $5^{\circ} 7' 22.87''$ Lintang Selatan (LS) dan $119^{\circ} 23' 42.88''$ Bujur Timur (BT). Letaknya yang dekat dengan daratan utama menjadikan Pulau Gusung sering dikunjungi oleh masyarakat untuk kegiatan wisata, terutama saat air laut surut. Secara geografis, pulau ini dikelilingi oleh laut terbuka dan langsung menerima hantaman gelombang dari arah barat dan barat daya, terutama saat musim angin barat berlangsung.

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi kondisi pantai dan perubahan garis pantai di Pulau Gusung adalah gelombang laut. Gelombang membawa energi dari laut lepas menuju pantai, dan besarnya energi tersebut sangat tergantung pada tinggi gelombang. Semakin tinggi gelombang, maka semakin besar pula energi yang dibawanya. Gelombang tinggi berpotensi menyebabkan abrasi, pengikisan pantai, atau bahkan perubahan bentuk pulau, terutama pada pulau-pulau kecil dengan substrat pasir seperti Pulau Gusung (Sorensen, 2006).

Refraksi adalah Peristiwa terjadinya pembelokan arah gelombang yang memasuki perairan yang dangkal yang disebabkan karena sebagian gelombang masih merambat dengan kecepatan gelombang laut dalam pada waktu masuk ke laut dangkal. Selain mempengaruhi arah gelombang, refraksi juga sangat berpengaruh terhadap tinggi gelombang dan distribusi energi gelombang di sepanjang pantai.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis sejauh mana tinggi gelombang mempengaruhi arah dan pola refraksi gelombang di sekitar Pulau Gusung. Dengan melakukan perhitungan dan pemodelan, diharapkan dapat diketahui hubungan antara tinggi gelombang yang datang dari laut dan arah gelombang setelah mengalami refraksi, terutama di daerah dengan kontur dasar laut yang bervariasi. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui bagian pulau yang rawan abrasi dan bagian yang berpotensi terjadi pengendapan.

Berdasarkan latar belakang di atas, kami penulis ingin melakukan penelitian yang di tuangkan dalam sebuah bentuk karya tulis ilmiah sebagai tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh tinggi gelombang Terhadap Refraksi Pada Pulau Gusung”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tinggi gelombang dan panjang gelombang di sekitar Pulau Gusung?
2. Bagaimana pengaruh tinggi gelombang terhadap nilai koefisien refraksi di sekitar Pulau Gusung?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian yaitu, sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh tinggi gelombang dan panjang gelombang di sekitar Pulau Gusung.
2. Mengetahui seberapa besar pengaruh tinggi gelombang terhadap nilai koefisien refraksi di sekitar Pulau Gusung

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan dapat diperoleh dari hasil penelitian ini, antara lain sebagai berikut ini:

1. Memberikan pemahaman yang lebih baik tentang hubungan tinggi gelombang terhadap nilai koefisien refraksi (K_r) di wilayah pesisir.
2. Menjadi acuan dalam perencanaan dan pengelolaan kawasan pantai yang terpengaruh oleh perubahan arah gelombang.
3. Memberikan data pendukung untuk studi lanjut dan pemodelan gelombang di wilayah Pulau Gusung dan sekitarnya.

E. Batasan Masalah

Agar tujuan penulisan ini mencapai sasaran yang diinginkan dan lebih terarah, maka diberikan batasan-batasan masalah, diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya memfokuskan pada pengaruh tinggi gelombang terhadap nilai koefisien refraksi (K_r) di wilayah Pulau Gusung dan tidak membahas interaksi gelombang dengan struktur pantai secara rinci.

2. Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Matirim Paotere Makassar (2019 – 2023).
3. Kajian difokuskan pada wilayah Pulau Gusung dan tidak membahas wilayah pesisir lainnya.
4. karakteristik gelombang yang dianalisis yaitu panjang gelombang dan tinggi gelombang yang di akibatkan oleh angin.
5. Transformasi gelombang yang ditinjau pada lokasi ini adalah refraksi gelombang pada tahun 2023, karena data tahun tersebut dianggap paling lengkap dan mewakili kondisi terkini.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan proposal tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Merupakan pendahuluan yang berisikan penjelasan umum mengenai materi pembahasan yakni latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Adalah tinjauan pustaka yang berisikan kajian literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang dikaji dalam penelitian ini.

BAB III : METODE PENELITIAN

Merupakan metodologi yang memaparkan mengenai pendekatan penelitian yang digunakan untuk menguji pengaruh tinggi

gelombang terhadap Refraksi pada Pulau Gusung beserta teknik pengumpulan data yang digunakan dalam mendukung dalam penelitian ini

BAB IV : HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Menguraikan mengenai pengumpulan data-data kemudian menganalisa data tersebut serta memberikan pembahasan berdasarkan hasil analisa data.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian, serta saran yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Gelombang Laut

Gelombang laut secara umum terbentuk dari perpindahan energi dari gerakan angin ke permukaan laut yang melepaskan energi ke garis pantai. Penyebab gelombang laut terdiri dari berbagai faktor, diantaranya yaitu oleh gaya tarik gravitasi, gempa bumi atau letusan gunung berapi. Gelombang laut juga memiliki pergerakan yang acak dan kompleks, sehingga sulit diukur dan dirumuskan secara akurat. Gelombang laut adalah peristiwa gerak naik turunnya massa air secara tegak lurus membentuk kurva/grafik sinusoidal (Cindy et al., 2017).

Loupatty (2013) menjelaskan bahwa pergerakan naik turunnya air laut ini tidak teratur dan stabil. Gelombang yang berada di laut sangat kompleks dan sulit digambarkan, puncak permukaan laut sering nampak berubah-ubah, hal ini bisa diamati dari permukaan airnya yang diakibatkan oleh arah perambatan gelombang yang sangat bervariasi serta bentuk gelombang yang tak beraturan. Gelombang laut dapat dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu gelombang permukaan dan gelombang internal.

Gelombang permukaan adalah suatu gelombang yang terjadi di batas antara air dan udara akibat perbedaan rapat massa air dan udara. Gelombang ini terbentuk akibat adanya getaran dan tiupan angin yang lembut di permukaan air. Gelombang permukaan dapat menyebabkan perubahan kondisi pesisir melalui erosi pantai dan sedimentasi, sedangkan gelombang internal adalah suatu gelombang yang terjadi di bawah permukaan air laut yang tidak dapat diamati secara langsung.

Gelombang internal terjadi karena adanya perbedaan rapat massa pada setiap lapisan air laut. Perbedaan rapat massa disebabkan oleh perubahan kadar garam dan temperatur. Perbedaan rapat massa di setiap lapisan ini mengakibatkan munculnya aliran partikel di setiap lapisan air laut. Garis arus dari aliran partikel disebut gelombang internal (Febriano et al., 2014).

Terdapat dua tipe gelombang berdasarkan dari sifatnya, yaitu gelombang pembangun/pembentuk pantai (*constructive wave*) dan gelombang merusak pantai (*destructive wave*). Gelombang pembentuk pantai, mempunyai ketinggian kecil dan kecepatan rambat yang rendah. Pada saat gelombang tersebut pecah di pantai, gelombang akan mengangkut sedimen (material pantai). Material pantai akan tertinggal di pantai (*deposit*) ketika aliran balik dari gelombang pecah meresap ke dalam pasir atau pelan-pelan mengalir kembali ke laut. Gelombang merusak pantai biasanya mempunyai ketinggian dan kecepatan rambat yang besar. Air yang kembali berputar mempunyai lebih sedikit waktu untuk meresap ke dalam pasir. Ketika gelombang datang kembali menghantam pantai akan ada banyak volume air yang terkumpul dan mengangkut material pantai menuju ke tengah laut atau ke tempat lain (Loupatty, 2013).

Menurut Kurniawan et al. (2012) gelombang di laut timbul karena adanya gaya pembangkit yang bekerja pada laut. Gelombang yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan pembangkitnya. Pembangkit gelombang laut dapat disebabkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik menarik bumi, bulan, dan matahari (gelombang pasang surut), gempa (vulkanik atau tektonik) di dasar laut (gelombang tsunami), ataupun gelombang yang disebabkan oleh gerakan kapal besar yang sedang melaju (Usmaya et al., 2018).

B. Karakteristik Gelombang

gelombang yang paling umum ditemukan di lautan adalah gelombang yang dibentuk oleh angin. Energi dari gelombang ini memiliki peran penting dalam membentuk garis pantai, menciptakan arus, serta mengangkut sedimen baik secara tegak lurus maupun sejajar dengan garis pantai. Selain itu, gelombang juga menghasilkan gaya-gaya yang bekerja pada struktur bangunan di wilayah pantai. Ketika gelombang bergerak mendekati pantai, sebagian energinya akan dilepaskan di zona *nearshore*. Dalam perjalanannya melintasi beberapa zona seperti *offshore*, *surf zone*, dan *swash zone*, karakteristik gelombang dan arus mengalami perubahan yang memengaruhi proses-proses di masing-masing wilayah.

Di zona lepas pantai (*offshore zone*), yang membentang dari lokasi pecahnya gelombang ke arah laut, gelombang menyebabkan pergerakan partikel air dalam lintasan orbit yang tidak tertutup, sehingga terjadi angkutan massa air. Pergerakan massa ini sering kali disertai dengan transportasi sedimen dasar laut ke arah daratan (*onshore*) maupun menjauh dari pantai (*offshore*). Di zona pecah gelombang (*surf zone*), yang terletak antara titik pecah gelombang dan garis pantai, gelombang yang telah pecah melanjutkan perjalanannya menuju daratan. Sementara itu, zona *swash* merupakan area yang dibatasi oleh titik tertinggi dan terendah jangkauan gelombang di sepanjang pantai (Triatmodjo, 1999).

Gelombang di laut merupakan gerakan partikel air laut pada jalurnya. Pergerakan partikel air laut disebabkan oleh gaya luar. Ada bermacam-macam gaya luar yang menyebabkan pergerakan partikel air laut seperti gaya angin dipermukaan laut, gaya gempa, gaya gravitasi, ataupun karena pergerakan benda sekitarnya. Gaya luar ini akan berinteraksi dengan gaya tarik permukaan air laut dan akhirnya

akan menyebabkan terjadinya gelombang (Lubis dkk, 2013). Pada umumnya terjadinya gelombang disebabkan oleh hembusan angin di permukaan air laut. Daerah dimana gelombang tersebut dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang. Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut sea, sedangkan yang terbentuk di luar daerah pembangkitan disebut swell. Ketika gelombang menjalar, partikel air di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran besar membentuk puncak gelombang pada puncak lingkarannya dan lembah pada lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang makin kecil



Gambar 1. Gerak Partikel Air di Laut Dangkal, Transisi dan Dalam (Triatmodjo, 1999).

Gelombang laut yang terbentuk akibat tiupan angin terjadi ketika angin bergerak melintasi permukaan laut, menciptakan tegangan yang memicu timbulnya sebagian besar gelombang. Proses ini diawali dengan terbentuknya gelombang-gelombang kecil (*wavelet*) di permukaan air. Munculnya *wavelet* ini meningkatkan gaya tarik yang memungkinkan gelombang-gelombang pendek berkembang. Seiring waktu, gelombang ini terus membesar hingga mencapai titik pecah dan energinya mulai menurun. Perkembangan gelombang akibat badai atau kondisi laut yang bergolak biasanya ditandai dengan munculnya frekuensi tinggi, yang

membentuk spektrum gelombang dengan puncak pada frekuensi tersebut. Ketika badai berlangsung dalam durasi yang cukup lama, kondisi laut dikatakan telah mencapai tahap "*fully developed sea*". Setelah angin berhenti bertiup, frekuensi yang lebih rendah mulai mendominasi, mengakibatkan terbentuknya gelombang panjang atau *swell*, yang menciptakan spektrum gelombang dengan puncak pada frekuensi rendah. Jika gelombang dari satu badai bertemu dengan gelombang dari badai lainnya, maka dapat terbentuk spektrum gelombang dengan dua puncak frekuensi berbeda. Dengan kata lain, proses terbentuknya gelombang laut merupakan suatu mekanisme yang kompleks, dipengaruhi oleh berbagai gaya dan memerlukan pemodelan yang tepat untuk memprediksi parameter-parameter yang berpengaruh terhadap energi gelombang (Kumar, Savitha, & Mamun, 2017).

Gelombang laut memiliki variasi ukuran yang sangat beragam, mulai dari riak kecil setinggi beberapa sentimeter hingga gelombang besar yang dapat menjulang hingga 30 meter. Meskipun umumnya gelombang terbentuk akibat hembusan angin, terdapat pula penyebab lain yang bersifat geofisik, seperti gempa bumi, letusan gunung api bawah laut, dan longsoran bawah laut, yang dapat memicu gelombang besar dan merusak yang dikenal sebagai tsunami. Di samping itu, adanya gaya tarik gravitasi antara bulan dan bumi turut memengaruhi terbentuknya gelombang pasang surut, yaitu gelombang yang bersifat periodik dan terjadi secara terus-menerus. Setiap gelombang sendiri memiliki komponen atau elemen penyusun, di antaranya adalah: Puncak gelombang (*Crest*) adalah titik tertinggi dari sebuah gelombang.

- a. Lembah gelombang (*Trough*) adalah titik terendah gelombang, diantara dua puncak gelombang.

- b. Panjang gelombang (*Wave length*) adalah jarak mendatar antara dua puncak gelombang atau antara dua lembah gelombang.
- c. Tinggi gelombang (*Wave height*) adalah jarak tegak antara puncak dan lembah gelombang.
- d. Periode gelombang (*Wave period*) adalah waktu yang diperlukan oleh dua puncak gelombang yang berurutan untuk melalui satu titik.

Menurut Nontji (1987) antara panjang dan tinggi gelombang tidak ada satu hubungan yang pasti akan tetapi gelombang mempunyai jarak antar dua puncak gelombang yang makin jauh akan mempunyai kemungkinan mencapai gelombang yang semakin tinggi. Pond and Pickard (1983) mengklasifikasikan gelombang berdasarkan periodenya, seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi gelombang berdasarkan periode

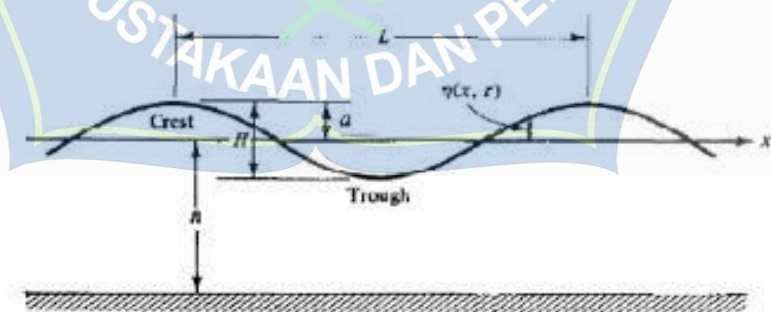
Periode	Panjang gelombang	Jenis Gelombang
0 – 0,2 detik 0,2 – 0,9 detik	Beberapa Centimeter mencapai 130 meter	Riak (Ripples) gelombang angin
0,9 – 1,5 detik	Beberapa ratus meter	Gelombang besar (Swell)
15 – 30 detik 0,5 – 1 jam	Ribuan meter Ribuan Kilometer	Long swell gelombang periode panjang (termasuk Tsunami)
5, 12, 25 jam	Beberapa kilometer	Pasang surut

(Sumber : Pond and Pickard, 1983)

Bhatt (1978), Garisson (1993) dan Gross (1993) mengemukakan bahwa ada empat bentuk besaran yang berkaitan dengan gelombang, yakni :

- Amplitudo gelombang (A) adalah jarak antara puncak gelombang dengan permukaan rata-rata air.
- Frekuensi gelombang (f) adalah sejumlah besar gelombang yang melintasi suatu titik dalam suatu waktu tertentu (biasanya didefinisikan dalam satuan detik).
- Kecepatan gelombang (C) adalah jarak yang ditempuh gelombang dalam satu satuan waktu tertentu.
- Kemiringan gelombang (H/L) adalah perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjang gelombang.

Kondisi suatu gelombang dipengaruhi oleh 3 parameter utama, yaitu panjang gelombang (L), tinggi gelombang (H) dan kedalaman tempat gelombang (d). Dengan diketahuinya tiga parameter ini, nilai parameter yang lain dapat ditentukan secara teoritis. Parameter yang dimiliki gelombang diilustrasikan dalam gambar gelombang harmonik dua dimensi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi gelombang dan parameter yang terkait (Dean and Dalrymple, 1991)

Pada ilustrasi gelombang harmonik dua dimensi di atas, terdapat parameter-parameter sebagai berikut:

L = Panjang gelombang

a = Amplitudo gelombang

H = Tinggi gelombang

h = Kedalaman dimana gelombang terjadi

η = Elevasi muka air laut. Pada ilustrasi di atas dinyatakan sebagai fungsi jarak dan waktu.

Hubungan panjang gelombang (L), kecepatan (*celerity*) gelombang (C) dan periode (T) adalah:

$$C = L / T$$

Perlu di perhatikan bahwa laju gelombang yang telah disebutkan sebelumnya adalah untuk gelombang yang bergerak di lautan dalam. Dalam kondisi perairan yang lebih dangkal, kedalaman air mempengaruhi laju gelombang, dan laju gelombang dapat dijelaskan dalam sebuah persamaan:

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}}$$

Parameter Gelombang

Dalam OCDI (2002), disebutkan bahwa parameter gelombang yang sangat berpengaruh :

- a. Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan ($H^{1/3}$ dan $T^{1/3}$) Tinggi dan periode gelombang signifikan didapatkan dari rata – rata 3 tinggi dan periode gelombang hasil pengukuran yang nilainya paling besar.
- b. Tinggi dan Periode Gelombang Maksimum (H_{max} dan T_{max}) Tinggi gelombang paling tinggi dalam sebuah pengukuran

- c. $H^1/_{10}$ dan $T^1/_{10}$ Tinggi dan periode gelombang sepersepuluh ini didapatkan dari rata-rata 10 tinggi dan periode gelombang hasil pengukuran yang nilainya paling besar.
- d. Tinggi dan Periode Gelombang Rata-Rata (H dan T)
- e. Tinggi dan Periode Gelombang di Laut Dalam (H_0 dan T_0) Gelombang di mana kedalaman laut setidaknya bernilai setengah dari panjang gelombang. Parameter gelombang ini diekspresikan pula dengan tinggi gelombang signifikan di laut dalam tersebut.
- f. Tinggi Gelombang Ekuivalen pada Laut Dalam (H_0), Gelombang hipotesa yang telah dikoreksi berdasarkan perubahan topografi seperti refraksi dan difraksi. Hal ini diekspresikan dengan tinggi gelombang signifikan.

Ada beberapa teori yang menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan dari alam. Teori yang sederhana adalah teori gelombang linier. Menurut teori gelombang linier, gelombang berdasarkan kedalaman relatifnya dibagi menjadi tiga yaitu gelombang di laut dangkal, gelombang laut transisi, gelombang di laut dalam (Yuwono, 1982). Tabel 2 Klasifikasi dari gelombang ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 2. Batasan gelombang laut dangkal, transisi dan dalam.

Kategori gelombang	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh(2\pi d/L)$
Laut dangkal	$> 0,5$	$> \pi$	≈ 1
Laut transisi	$0,005 - 0,5$	$0,25 - \pi$	$\tanh(2\pi d/L)$
Laut dalam	$< 0,05$	$< 0,25$	$\approx 2\pi d/L$

(Sumber Yuwono, 1982)

C. Transformasi Gelombang

Transformasi adalah energi yang bergerak melalui medium tertentu. Gelombang tidak selalu berjalan secara konstan seperti yang diasumsikan pada teori gelombang. Pada kedalaman yang tetap gelombang linier tidak mengalami perubahan selama tidak kehilangan energi atau perubahan energi ke bentuk lain (disipasi). Pada keadaan nyata dasar perairan tidak selalu rata kedalamannya. Laut sangat bervariasi kedalamannya hal tersebut mempengaruhi perambatan gelombang. Dikarenakan hubungan antara energi kinetik dan potensial gelombang yang dipengaruhi kedalaman, kekasaran permukaan, struktur dll. Transformasi gelombang di laut dapat berupa perubahan panjang dan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman (shoaling) dan perubahan arah gelombang yang dapat diakibatkan perbedaan kedalaman (refraksi) dan menabrak struktur (refleksi, difraksi) dan transmisi

Perubahan kecepatan yang dialami gelombang ketika memasuki perairan dangkal (daerah pantai) mengakibatkan gelombang mengalami refraksi atau terjadi pembelokan dari arah penjalaran gelombang. Refraksi ini membuat 'muka gelombang' sejajar garis pantai. Adakalanya gerakan gelombang menuju pantai terhambat oleh adanya bangunan seperti pemecah gelombang (breakwater). Gelombang yang membentur pemecah gelombang ini mengalami difraksi yang mengakibatkan tinggi gelombang menjadi berkurang. Disamping dapat mengalami refraksi dan difraksi, gelombang laut juga mengalami refleksi (pantulan), seperti yang dialami oleh gelombang yang Tinggi Muka Air Laut d 10 memasuki pelabuhan atau suatu teluk. Gelombang yang datang dipantulkan kembali ke arah gelombang berdiri.

a. Refraksi Gelombang

Menurut Sorensen (2006:137), refraksi adalah proses di mana gelombang menengah atau dangkal berubah arah karena kontur bawah tidak sejajar dengan puncak gelombang. Dengan kata lain, refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Menurut Triatmodjo (1999:65), di daerah yang kedalaman airnya lebih besar dari setengah panjang gelombang, yaitu laut dalam gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut. Tetapi di laut transisi dan dangkal, dasar laut mempengaruhi gelombang. Jika ditinjau suatu garis puncak gelombang bagian dari puncak gelombang yang berada di air yang lebih dangkal akan menjalar dengan kecepatan yang lebih kecil daripada bagian di air yang lebih dalam. Akibatnya garis puncak gelombang akan membelok dan berusaha untuk sejajar dengan garis kedalaman laut. Garis ortogonal gelombang, yaitu garis tegak lurus dengan garis puncak gelombang dan menunjukkan arah penjalaran gelombang, juga akan membelok dan berusaha untuk menuju tegak lurus dengan garis kontur laut (Reeve et al,2004).

Adapun langkah-langkah dalam perhitungan refraksi menurut Triatmodjo dalam bukunya Teknik Pantai (2009) adalah sebagai berikut:

- 1) Menghitung panjang gelombang (L_0) dan kecepatan jalar gelombang/celerity (C_0), dimana :

$$L_0 = 1,56 \times T^2 \text{ dan } C_0 = L_0 / T \dots\dots\dots (1)$$

- 2) Menentukan kedalaman di depan breakwater yang ditinjau (d) sehingga diperoleh nilai d/L_0 dan dari tabel Fungsi d/L Untuk Pertambahan Nilai d/L_0 , dapat diketahui nilai d/L .

- 3) Menghitung panjang (L) dari nilai d/L di atas dan kecepatan jalur gelombang (C) dari rumus $C = L/T$.

- 4) Menghitung besar sudut gelombang yang datang (α), dengan rumus:

$$\sin a = \left(\frac{c}{c_0} \right) \sin a_0 \dots\dots\dots (2)$$

- 5) Menghitung koefisien refraksi (K_r) dengan rumus :

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \dots\dots\dots (3)$$

- 6) Menghitung koefisien pendangkalan (K_s), dengan rumus :

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n L}} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan nilai n diperoleh dari tabel Fungsi d/L Untuk Pertambahan Nilai d/L_0 dan n_0 adalah 5.

- 7) Menghitung tinggi gelombang hasil refraksi dengan rumus

$$H_1 = K_s K_r H_0 \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

K_s = Koefisien pendangkalan (shaoling)

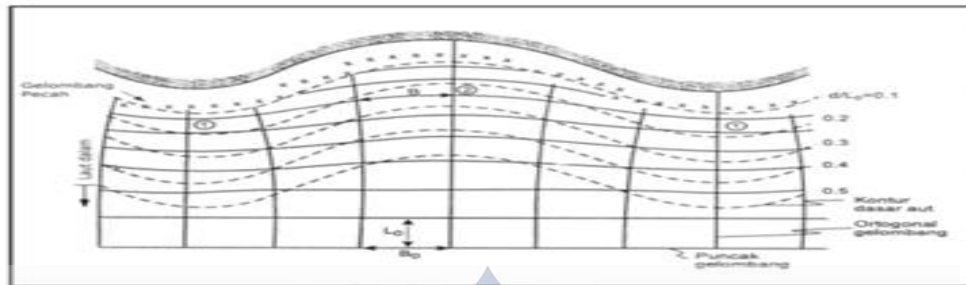
K_r = Koefisien refraksi

H_0 = Tinggi gelombang dilaut dalam

H_1 = Tinggi gelombang pada kedalaman tertentu

Refraksi menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai. Perubahan arah gelombang akibat refraksi akan menghasilkan konvergensi (penguncupan) atau divergensi (penyebaran) energi gelombang dan mempengaruhi

energi gelombang yang terjadi di suatu tempat di daerah pantai, seperti yang terlihat di bawah ini:



Gambar 3. Refraksi Gelombang di Pantai (Triatmodjo, 2009)

Dengan menggunakan orthogonal method yang berdasarkan Hukum Snellius dirumuskan bahwa gelombang yang memasuki perairan yang lebih dangkal (h_1 menjadi h_2) akan berkurang kecepatan dan panjang gelombang dari C_1 dan L_1 menjadi C_2 dan L_2 , pada jarak orthogonal sejauh sumbu x dan selang waktu T , diperoleh $\sin \alpha_1 = C_1 T/x$ dan $\sin \alpha_2 = C_2 T/x$ dengan demikian diperoleh:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{L_1}{L_2} \dots\dots\dots(6)$$

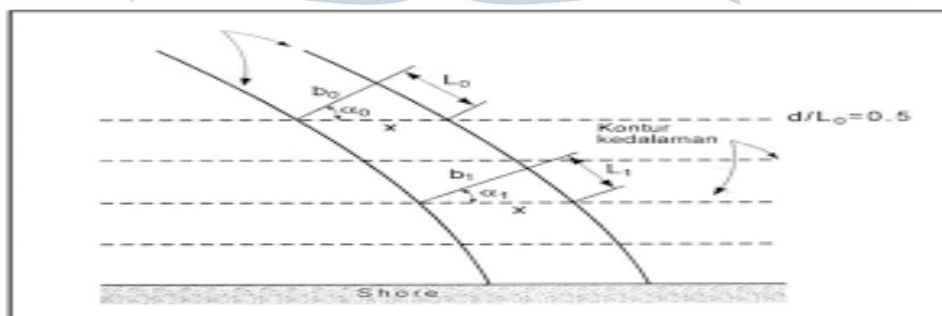
Dimana :

α_1 dan α_2 = Sudut antara kedalaman dan puncak gelombang

C_1 dan C_2 = Kecepatan perambatan gelombang di tempat yang ditinjau

L_1 dan L_2 = Panjang gelombang

Berikut gambar jika gelombang mendekati pantai dengan kontur sejajar:



Gambar 4. Refraksi Gelombang.pada kontur lurus dan sejajar

b. Pendangkalan (*Wave Shoaling*)

Wave shoaling adalah proses dimana terjadinya kenaikan tinggi suatu gelombang, dimana gelombang tersebut memasuki kawasan perairan yang lebih dangkal. Tinggi gelombang bisa meningkat lebih dari dua kali amplitude awal. Karena adanya perubahan kedalaman tersebut, maka terjadi perubahan kecepatan gelombang. Kecepatan gelombang tersebut menurun, sehingga berada pada posisi stasioner. Keadaan ini harus diimbangi oleh kepadatan energi yang meningkat. Meningkatnya kepadatan energi inilah yang menyebabkan meningkatnya ketinggian gelombang.

Pendangkalan Gelombang dikarenakan terjadi adanya pengaruh perubahan kedalaman dasar laut. Pendangkalan gelombang mempunyai fungsi yang sama dengan refraksi gelombang yaitu untuk menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Kecepatan gerak gelombang juga berkurang seiring dengan pengurangan kedalaman di dasar laut, sehingga menyebabkan puncak gelombang yang berada di perairan dangkal bergerak lebih lambat dibandingkan puncak gelombang yang berada perairan yang lebih dalam. Terjadilah pembelokan arah gerak puncak gelombang mengikuti kontur kedalaman dasar laut dimana terjadi juga perubahan tinggi gelombang. Proses ini disebut dengan refraksi. Pendangkalan dan refraksi gelombang disebabkan oleh pendangkalan dasar laut. Namun pada pendangkalan lebih ditekankan pada perubahan langsung tinggi gelombang karena pendangkalan, sementara refraksi ditekankan pada perubahan tinggi gelombang karena pembelokan arah gerak dari puncak gelombang. Persamaan untuk koefisien shoaling sebagai berikut:

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{nL}} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

K_s : Koefisien pendangkalan

L : Panjang gelombang (m)

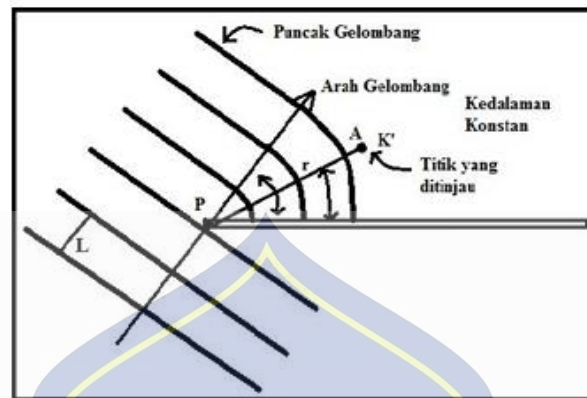
L_o : Panjang gelombang di laut dalam (m)

c. Difraksi

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya (Triatmodjo, 1999). Fenomena ini dikenal dengan difraksi gelombang. Dalam difraksi gelombang ini terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah terlindung. Jadi pengertian dari difraksi gelombang yaitu proses pemindahan energi gelombang ke arah daerah yang terlindungi oleh pulau, bukit batu/karang yang menjorok ke laut atau bangunan pantai. Transfer energi ke daerah terlindung menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut, meskipun tidak sebesar gelombang di luar daerah terlindung. Garis puncak gelombang di belakang rintangan membelok dan mempunyai bentuk busur lingkaran dengan pusatnya pada ujung rintangan. Dianggap bahwa kedalaman air adalah konstan. Apabila tidak maka selain difraksi juga terjadi refraksi gelombang. Biasanya tinggi gelombang berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah terlindung.

Difraksi gelombang terjadi bila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya. Difraksi terjadi apabila tinggi gelombang di suatu titik pada garis puncak gelombang lebih besar daripada titik di dekatnya, yang menyebabkan

perpindahan energi sepanjang puncak gelombang ke arah tinggi gelombang yang lebih kecil.



Gambar 5. Proses Difraksi Gelombang (Triatmodjo, 2009)

d. Refleksi

Refleksi gelombang merupakan fenomena pemantulan gelombang ketika bertemu dengan suatu hambatan yang timbul dari adanya konstruksi seperti pemecah ombak, dermaga, dan groin. Dalam perencanaan pembangunan infrastruktur pesisir, penting untuk memperhatikan aspek refleksi, terutama pada bangunan pelabuhan. Hal ini disebabkan oleh perubahan permukaan air laut yang disebabkan oleh refleksi, yang membuat lingkungan pelabuhan menjadi tidak stabil. Untuk mengurangi efek refleksi, dapat dibangun struktur yang dirancang untuk mereduksi energi gelombang, salah satunya dengan menggunakan bentuk miring. Struktur yang terbuat dari tumpukan batu yang dirancang miring serta berpori terbukti efektif dalam menurunkan refleksi gelombang. Semakin vertikal sebuah dinding atau struktur, semakin besar pula koefisien refleksi yang mendekati satu.

Pada dinding tegak yang tidak permeabel gelombang dipantulkan seluruhnya ($Kr = 1$). Pada kondisi diatas gelombang di depan penghalang dua kali lebih tinggi dari gelombang datang.

Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang dapat diketahui dengan menghitung koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi H_r dan tinggi gelombang datang H_i .

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} \dots \dots \dots (8)$$

H_r didapat dari pengukuran gelombang yang terpantul didepan struktur. H_r dapat dibedakan dengan H_i yaitu, H_r memiliki arah yang berlawanan dengan H_i sehingga sangat jelas terlihat perbedaannya.

e. Gelombang Pecah

Gelombang pecah merupakan sebuah sistem yang sangat kompleks. Saat gelombang menghantam terjadi, energi yang diterima dari angin mengalami penurunan. Sebagian energi ini akan dipantulkan kembali ke laut, dengan jumlahnya tergantung pada sudut kemiringan pantai; semakin kecil sudut kemiringannya, semakin sedikit energi yang dipantulkan. Mayoritas energi tersebut hilang dalam bentuk panas akibat dari percampuran kecil antara buih air dan pasir.

Pecahnya gelombang biasanya terjadi saat gelombang mendekati garis pantai, ketika puncak gelombang menjadi semakin curam dan kedalamannya mencapai sekitar seperempat dari tinggi gelombang. Pada titik ini, gelombang mulai pecah. Perubahan kedalaman laut berpengaruh pada peningkatan tinggi gelombang ketika gelombang memasuki perairan yang lebih dangkal. Gelombang akan terus meningkat hingga mencapai ketinggian tertentu, yang membuatnya menjadi tidak stabil, dan pada akhirnya gelombang tersebut pecah, melepaskan energi.

Gelombang yang melewati area perairan yang tidak dalam akan mengalami pengurangan kecepatan. Namun, energi yang ada dalam gelombang tersebut justru

akan meningkat, yang menyebabkan tinggi gelombang menjadi lebih besar. Oleh karena itu, fenomena gelombang yang mengalami pecah sangat dipengaruhi oleh kemiringan dasar laut dan juga kemiringan gelombang itu sendiri.

Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi tiga tipe berikut ini :

1. *Spilling*, umumnya terjadi ketika gelombang dengan sudut rendah mendekati pantai yang landai. Gelombang mulai merusak dari jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya berlangsung secara bertahap. Buih terbentuk di atas gelombang saat proses pecah berlangsung dan meninggalkan lapisan tipis buih pada jarak yang cukup jauh.
2. *Plunging*, Ketika sudut gelombang dan dasar meningkat, gelombang akan berhenti dan puncaknya akan berputar dengan massa air di bagian atas gelombang terjatuh ke depan. Energi dari gelombang yang berhenti akan hilang karena turbulensi, sebagian kecil akan dipantulkan oleh pantai kembali ke laut, dan hanya sedikit gelombang baru yang terbentuk di perairan yang lebih dangkal.
3. *Surging*, terjadi di pantai yang memiliki kemiringan ekstrem seperti yang terlihat pada pantai berbatu. Zona dimana gelombang pecah sangat terbatas, dan sebagian besar tenaga di pantulkan ke lautan dalam. Jenis gelombang pecah surging ini mirip dengan plunging, tetapi terjadi sebelum mencapai puncaknya.

D. Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat

bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah. Data angin diperlukan untuk peramalan tinggi, periode dan arah gelombang.

1. Pembangkitan Gelombang Oleh Angin

Gelombang yang terjadi di lautan dapat dibangkitkan atau diakibatkan oleh berbagai gaya. Beberapa jenis gaya pembangkit gelombang antara lain, gaya gravitasi benda-benda langit, letusan gunung berapi, gempa bumi, dsb. Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air.

Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar. Dan apabila angin berhembus terus pada akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk (Triadmodjo, 1999). Tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh kecepatan angin (U), lama hembusan angin (D), fetch (F) dan arah angin. Pada umumnya pengukuran angin dilakukan di daratan, sedangkan di dalam rumus - rumus pembangkitan gelombang, data angin yang digunakan adalah yang ada di atas permukaan laut. Oleh karena itu diperlukan transformasi data angin di atas daratan (yang terdekat dengan lokasi studi) ke data angin di atas permukaan laut (Triadmodjo, 1999).

Hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan terdekat diberikan oleh persamaan berikut:

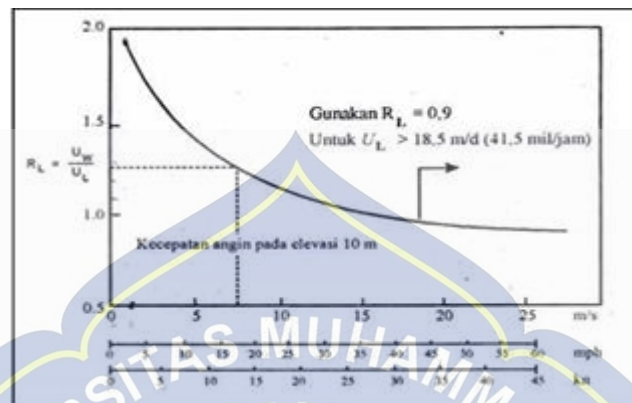
$$RL = \frac{UL}{WL} \dots \dots \dots (9)$$

Dimana:

UL = Kecepatan angin yang diukur di darat (m/dt)

UW = Kecepatan angin di laut (m/dt)

RL = Nilai koreksi hubungan kecepatan angin di darat dan di laut



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin laut dan di darat

Sumber : Triatmodjo (1999)

Setelah dilakukan konversi kecepatan angin, maka kecepatan angina dikonversikan pada faktor tegangan angin (wind stress factor) dengan persamaan :

$$UA = 0,71U^{1,23} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

UA = faktor tegangan angin

U = kecepatan angin (m/dt)

E. Peramalan Gelombang

Peramalan (*forecasting*) adalah sebuah seni dan ilmu untuk meramalkan kejadian di masa mendatang. Peramalan dapat dilakukan dengan melibatkan data masa lalu (historis) lalu memproyeksikannya ke masa depan dengan suatu bentuk model yang matematis (Apriani, 2016).

Data angin yang digunakan dalam peramalan gelombang berupa kecepatan dan arah angin. Klasifikasi kecepatan angin dilakukan untuk mengetahui frekuensi

kejadian kecepatan angin maksimum. Arah angin diklasifikasikan menjadi 8 penjuruan mata angin, yaitu barat, barat laut, barat daya, utara, tenggara, selatan, timur, dan timur laut. Berdasarkan hasil klasifikasi kecepatan angin maksimum dan arah angin, maka didapatkan distribusi frekuensi dari setiap kecepatan dan arah angin. Distribusi frekuensi tersebut digambarkan dalam bentuk diagram mawar angin (*windrose*). Salah satu metode peramalan gelombang adalah *Shore Protection Manual (SPM)*. Metode ini dikembangkan oleh *Coastal Engineering Research Center (CERC) US Army*. Metode ini juga dijelaskan sebagai metode sederhana untuk memprediksi gelombang. Metode SPM merupakan pengembangan dari metode Sverdrup Munk Bretschneider (SMB) (Fatoni, 2019).

F. Fetch

Fetch adalah panjang keseluruhan suatu daerah pembangkitan gelombang dimana angin berhembus dengan arah dan kecepatan yang konstan. Panjang *fetch* dapat ditentukan dari peta atlas dan peta Dinas Hidro Oseanografi Angkatan Laut (Departement Pekerjaan Umum, 2009). Arah angin masih dianggap konstan apabila perubahannya tidak sampai 150. sedangkan kecepatan angin masih dianggap konstan apabila perubahannya tidak lebih dari 5 knot (2,5 m/dt) (Triatmodjo, 1999).

Di dalam peninjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut. Panjang *fetch* membatasi waktu yang diperlukan gelombang untuk terbentuk karena pengaruh angin, jadi mempengaruhi waktu untuk mentransfer energi angin ke gelombang. *Fetch* ini berpengaruh pada periode dan tinggi gelombang yang dibangkitkan. Semakin panjang jarak *fetch*nya, ketinggian gelombangnya akan semakin besar dan periode gelombangnya akan semakin lama. Di daerah pembangkitan gelombang, gelombang tidak hanya

dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin (Triatmodjo, 1999). Untuk memperoleh hasil dari *fetch* rerata efektif digunakanlah rumus di bawah ini:

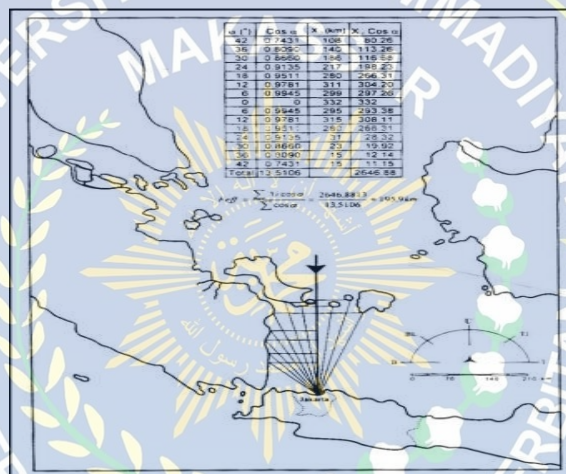
$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots \dots \dots (11)$$

Dimana:

F_{eff} = *Fetch* rerata efektif

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

A = Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 60 sampai sudut sebesar 420 pada kedua sisi dari arah angin



Gambar.7 Fetch (Triatmodjo, 1999)

G. Arus

Arus adalah pergerakan masa air secara vertikal dan horizontal sehingga menuju keseimbangannya, atau gerakan air yang sangat luas yang terjadi diseluruh lautan dunia (Sugianto D N dan Agus, 2007). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi sehingga terjadi arus di laut. Faktor itu dibagi menjadi dua faktor utama, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal seperti perbedaan densitas air laut, gradien tekanan mendatar dan gesekan lapisan air. Sedangkan faktor eksternal seperti gaya tarik matahari dan bulan yang dipengaruhi oleh

tahanan dasar laut dan gaya coriolis, perbedaan tekanan udara, gaya gravitasi, gaya tektonik dan angin. Faktor-faktor ini akan berinteraksi sehingga akan menghasilkan arus permukaan.

1. Arus Dekat Pantai

Gelombang yang bergerak ke arah pantai mengangkut air dan momentum seiring dengan arahnya. Pergerakan massa air dan momentum ini menghasilkan arus di dekat garis pantai. Jalur yang dilalui gelombang mencakup daerah dari tempat gelombang menghempas ke laut (area lepas pantai), wilayah antara gelombang pecah dan daratan (*zona surf*), serta tempat di mana gelombang mulai menghempas (*zona swash*). Di area lepas pantai, gelombang menciptakan pola gerakan melingkar bagi partikel air. Sementara itu, di *zona surf*, gelombang yang pecah membentuk arus yang sangat kuat serta turbulensi yang mampu memindahkan sedimen di dasar laut. Setelah gelombang pecah, ia melanjutkan pergerakannya melewati *zona surf* menuju pantai. Dalam zona ini, partikel air bergerak mengikuti arah gerakan gelombang. Selanjutnya, di *zona swash*, gelombang yang mencapai pantai mengangkat massa air ke atas dan kemudian jatuh kembali ke permukaan pantai. Pergerakan massa air ini juga mengangkut sedimen bersamanya.

2. Arus Sepanjang Pantai

Arus sepanjang pantai, atau arus longshore, terbentuk akibat gelombang yang pecah membentuk sudut terhadap garis pantai. Arus ini hadir di area antara tempat gelombang pecah dan garis pantai. Kecepatan arus tersebut dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu tinggi gelombang dan sudut kedatangan gelombang yang pecah.

Gelombang yang menghantam pantai yang miring akan menyebabkan peningkatan gelombang di area tersebut, yang berakibat pada tingginya permukaan air melebihi kondisi tenang. Peningkatan permukaan air di sepanjang pesisir bervariasi karena tinggi gelombang yang pecah tidak seragam di setiap lokasi pantai. Situasi ini dapat memicu pergerakan arus air di sepanjang pantai menuju lokasi dengan ketinggian permukaan air yang lebih rendah.

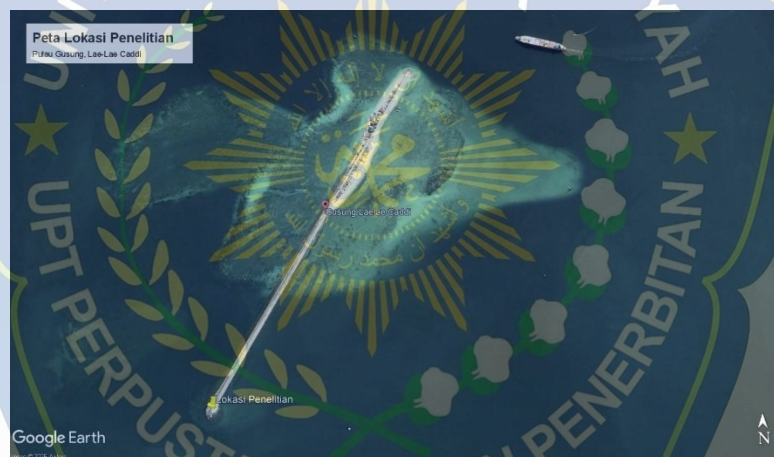


BAB III

METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah perairan sekitar Pulau Gusung, yang terletak di Kelurahan Lae-Lae, Kecamatan Ujung Pandang, Kota Makassar pada titik koordinat $5^{\circ}7'22.87''$ LS, $119^{\circ}23'42.88''$ BT. Pulau ini terletak sekitar 1,5 kilometer dari daratan dan dikenal sebagai pulau kecil hasil sedimentasi di atas struktur pemecah gelombang buatan. Waktu penelitian mencakup proses pengumpulan data tahun 2019–2023 dan analisis dilakukan pada tahun berjalan.



Gambar 8. Lokasi penelitian, Sumber : Google Earth

B. Jenis Penelitian dan Sumber Data

1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah penelitian kuantitatif deskriptif. Pendekatan ini digunakan untuk menggambarkan fenomena gelombang laut secara numerik dan menganalisis keterkaitan antara tinggi gelombang dengan nilai koefisien refraksi yang terjadi di sekitar Pulau Gusung. Penelitian deskriptif

bertujuan untuk memberikan gambaran yang sistematis, faktual, dan akurat mengenai hubungan antar fenomena yang diteliti (Sugiyono, 2017).

2. Sumber Data

Sumber data yang di gunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Data Primer, yang diperoleh langsung dari lokasi penelitian dengan melakukan observasi dan dokumentasi terhadap kondisi pantai.
2. Data Sekunder adalah data yang diperoleh dari stasiun Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Paotere. Data yang akan digunakan seperti data kecepatan angin, data gelombang yang berada di Pulau Gusung Caddi.

C. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Untuk memperoleh hasil penelitian yang sistematis dan terarah, pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Tahap Identifikasi

Pada tahap awal, dilakukan identifikasi permasalahan dan lokasi penelitian. Masalah utama yang diangkat adalah bagaimana pengaruh tinggi gelombang terhadap refraksi gelombang laut di sekitar Pulau Gusung. Selanjutnya, dilakukan peninjauan lokasi di wilayah pesisir Kota Makassar, khususnya Pulau Gusung, yang diketahui memiliki bentuk dan letak strategis sebagai rintangan alami gelombang. Pada tahap ini pula ditentukan variabel yang akan diteliti, yaitu tinggi gelombang datang dan tinggi gelombang hasil refraksi.

2. Tahap Pengambilan Data

Data dikumpulkan melalui dua jalur utama:

a. Data Angin

Data angin didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika atau biasa di singkat (BMKG). Dari data yang sudah diperoleh kemudian akan di olah untuk mengetahui besaran kecepatan angin dalam satuan knot serta mengetahui persentase angin pada masing-masing arah menggunakan *windrose*. Adapun Langkah-langkah pengolahan data *windrose*, yaitu:

- 1) Mengumpulkan data kecepatan angin dari stasiun Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
- 2) Mempersiapkan data kecepatan angin dalam bentuk *Microsoft Excel* dengan isi judul kolom 1-7, yaitu kolom *stnid (station)*, *year*, *month*, *day*, *hour*, *wdir (wind direction)*, *wspd (windspeed)*.
- 3) Menghapus/delete data kecepatan angin yang bernilai 0 (nol) *knots*.
- 4) Kemudian meng-copy seluruh kolom data pada tahun yang sama, karena bentuk *wind rose* yang di olah pertahun (2013 - 2023) meng-copy ke dalam bentuk *text document – add file* di WRPLOT – *wind classes* di ganti sesuai maksimum *wind speed* – posisi *orientation di direction (blowing from)*.
- 5) Lalu *File notepad* dimasukkan ke dalam WRPLOT *View* atau *add file* untuk visualisasi *wind rose*.
- 6) *Wind rose* sudah terbentuk, lalu mengatur *wind classes* (dalam *knots*) menyesuaikan dengan kecepatan angin minimum dan maksimum diikuti dengan pengaturan warna *direction* yang diinginkan.

7) Untuk tampilan *wind rose, orientation* pada posisi *direction (blowing from)* lalu *wind rose* di *save* dalam bentuk kertas A4 (agar mudah dibaca).

Kemudian jika sudah didapatkan nilai persentase kejadian arah angin maka dilanjutkan ke perhitungan *fetch* untuk mencari rata-rata dari nilai *fetch* untuk digunakan dalam grafik hindcasting sehingga diketahui tinggi gelombang dan periode gelombang.

b. Data *fetch*

Dalam penelitian ini, *fetch* dihitung berdasarkan arah angin dominan yang diperoleh dari data mawar angin (*wind rose*) hasil analisis data angin 5 tahun terakhir (2019–2023). Perhitungan *fetch* dilakukan dengan mengukur jarak bebas hambatan dari arah datang angin di atas peta laut menggunakan *Google*. Arah yang dianggap valid adalah arah angin dengan perubahan kurang dari 15° dan kecepatan yang konstan atau mendekati rata-rata. Hasil pengukuran *fetch* efektif kemudian digunakan sebagai input dalam rumus perhitungan tinggi gelombang teoritis.

3. Tahap Pengelolaan Data

Setelah data terkumpul, dilakukan pengolahan data dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Menghitung nilai periode gelombang (T) menggunakan hasil hubungan empiris antara tinggi gelombang (H_o) dan periode gelombang (T).
- 2) Menentukan Nilai kedalaman dan d/L
 - Mengambil data kedalaman (d) di titik pantai yang dianalisis.

- Menghitung nilai perbandingan kedalaman terhadap panjang gelombang laut dalam:

$$\frac{d}{L_0}$$

- Berdasarkan nilai diatas, digunakan tabel fungsi d/L untuk menentukan parameter gelombang lanjutan (seperti koefisien koreksi n dan $\tanh$)..

3) Menghitung Panjang Gelombang di Kedalaman Tertentu (L)

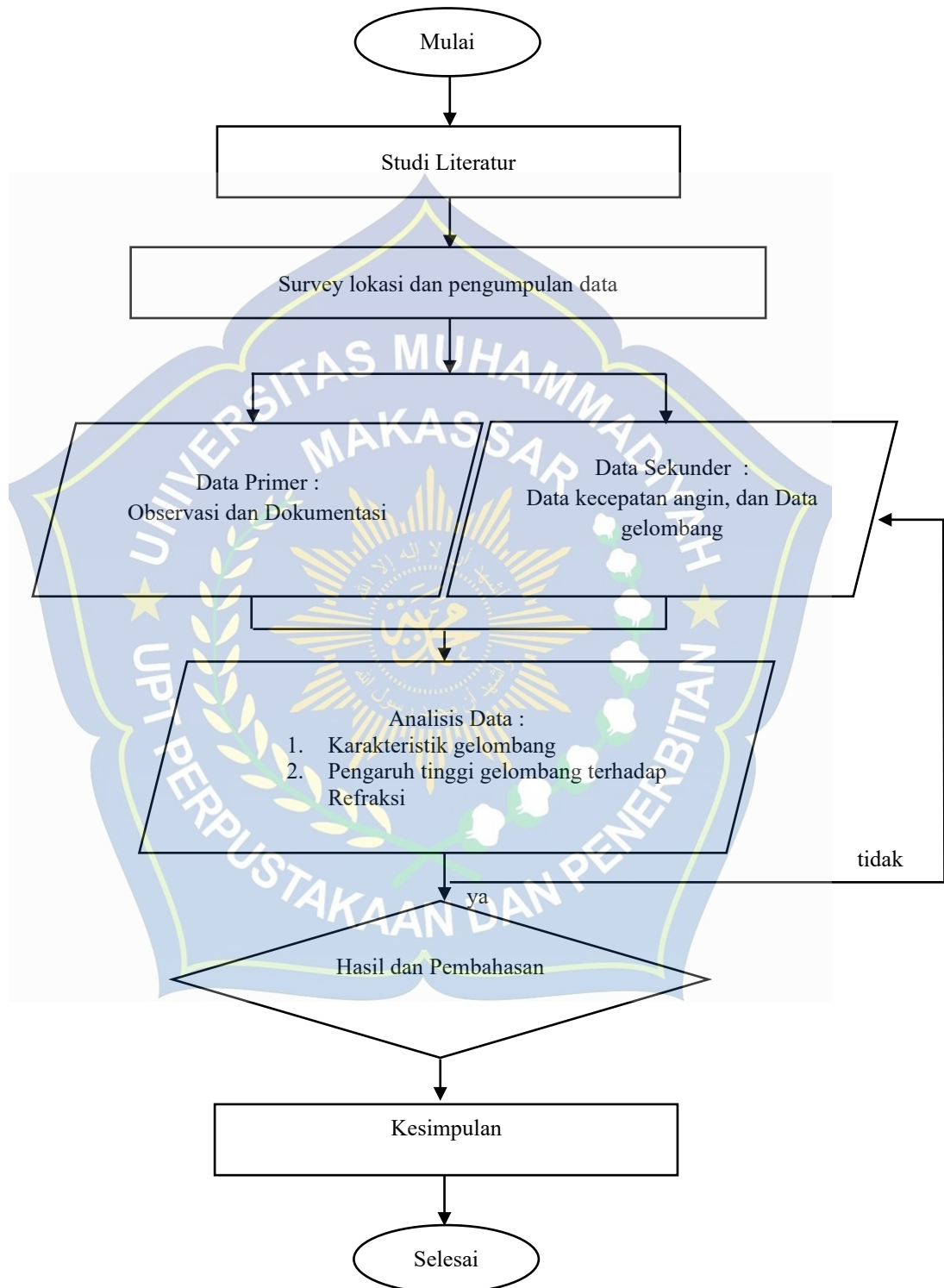
4) Menghitung Sudut Datangnya Gelombang (α_1 dan α_2)

5) Menghitung Koefisien Refraksi (K_r)

4. Tahap Analisis Data

Setelah dilakukan tahap pengolahan data, maka tahap selanjutnya adalah tahap analisis hasil dan pembahasan, Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah hasil dari pengolahan data tersebut sesuai dengan tujuan dari penelitian ini, yaitu mengetahui hasil perhitungan refraksi gelombang, dan mengetahui pengaruh Tinggi dan panjang gelombang di sekitar Pulau Gusung.

D. Flowchart Penelitian



Gambar 9. Flowchart Penelitian

BAB IV

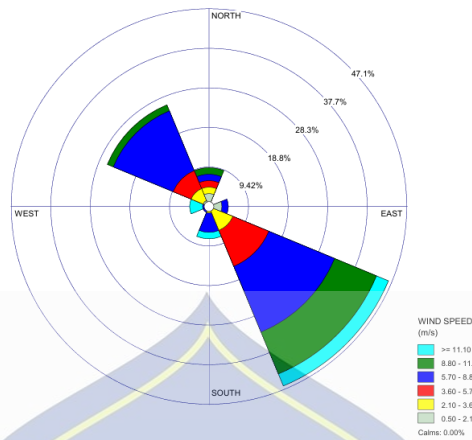
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Angin

Data angin yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Stasiun Meteorologi Maritim Paotere, dengan rentang waktu pengamatan mulai tahun 2019 hingga 2023. Data tersebut dianalisis untuk memperoleh sejumlah parameter penting, seperti kecepatan rata-rata angin (*knot*), arah dominan angin ($^{\circ}$), serta kecepatan maksimum angin dan arah datangnya. Hasil analisis kemudian disusun dalam bentuk tabel, dengan pengelompokan berdasarkan masing-masing tahun, dan disajikan secara lengkap pada bagian lampiran

Tabel 3. Parameter kejadian arah datangnya angin

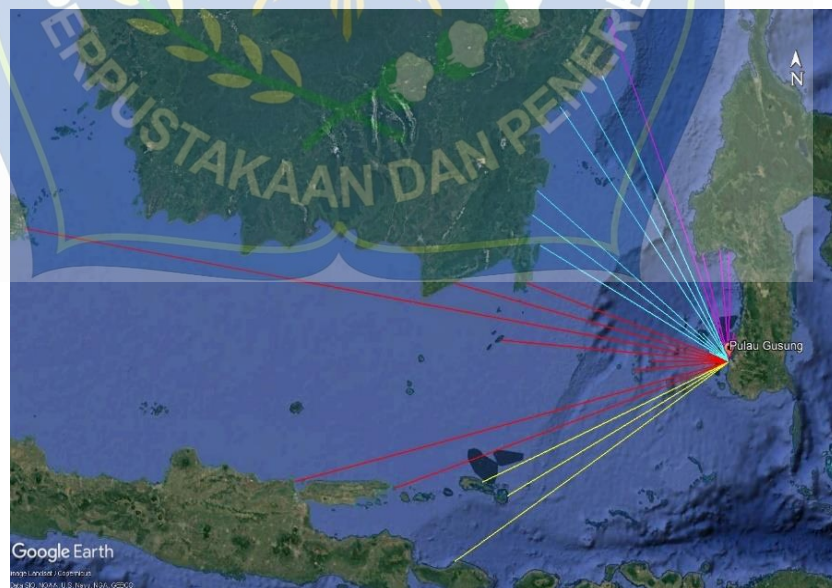
Arah		Jumlah Data	Persentase Kejadian (%)
Notasi	Derajat		
Utara (U)	0	6	10
Timur Laut (TL)	45	0	0.0
Timur (T)	90	3	5
Tenggara (TG)	135	30	50
Selatan (S)	180	4	6.7
Barat Daya (BD)	225	0	0.0
Barat (B)	270	2	3.3
Barat Laut (BL)	315	15	25
Total		60	100



Gambar 10. Mawar angin tahun 2019-2023

B. Perhitungan *Fetch* Efektif

Dalam konteks lokasi penelitian, diperlukan perhitungan *fetch* efektif untuk mengidentifikasi arah angin dominan yang berperan dalam pembangkitan gelombang di wilayah tersebut. *Fetch* merupakan wilayah tempat terbentuknya gelombang laut, yang diasumsikan memiliki arah dan kecepatan angin yang relatif tetap.



Gambar 11. Panjang *fetch* dari utara, barat daya, barat dan barat laut

Tabel perhitungan *fetch* untuk masing-masing arah peramalan gelombang laut yaitu Utara, Barat Daya, Barat dan Barat Laut adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Perhitungan *fetch* efektif arah utara

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

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

$$Fetch = \frac{\sum Xi \cos}{\sum \cos} = \frac{1259.56}{8.77324} = 143.5686 \text{ Km} \Rightarrow 143568.6 \text{ m}$$

Dimana :

X_i = panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung titik *fetch*

α = Deviasi kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan sudut pertambahan 6° sampai dengan 42° pada kedua sisi dari arah angin

Tabel 5. Perhitungan *fetch* efektif arah Barat Daya

BARAT DAYA	A	COS α	Xi (Km)	Xi cos α
	-20	0.93969	0.63	0.59
	-15	0.96593	0.58	0.56
	-10	0.98481	0.54	0.53
	-5	0.99619	0.50	0.50
	0	1	0.47	0.47
	5	0.99619	0.45	0.45
	10	0.98481	575.58	566.84
	15	0.96593	442.14	427.07
	20	0.93969	469.23	440.93
	Total	8.77324		1437.94

Berdasarkan tabel diatas untuk perhitungan fetch efektif arah barat daya

dengan rumus berikut ini:

$$Fetch = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} = \frac{1437.94}{8.77324} = 163.9009 \text{ Km} \Rightarrow 163900.9 \text{ m}$$

Dimana:

Xi = panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung titik *fetch*

α = Deviasi kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan sudut pertambahan

6° sampai dengan 42° pada kedua sisi dari arah angin

Tabel 6. Perhitungan *fetch* efektif arah Barat

BARAT	A	COS α	Xi (Km)	Xi cos α
	-20	0.93969	611.83	574.93
	-15	0.96593	774.29	747.91
	-10	0.98481	14.34	14.12
	-5	0.99619	166.19	165.56
	0	1	136.58	136.58
	5	0.99619	396.52	395.01
	10	0.98481	1260.79	1241.64
	15	0.96593	419.25	404.96
	20	0.93969	376.17	353.48

	Total	8.77324		4034.19
--	-------	---------	--	---------

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

$$Fetch = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} = \frac{4034.19}{8.77324} = 459.8293 \text{ Km} \Rightarrow 459829.3 \text{ m}$$

Dimana :

Xi = panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung titik *fetch*

α = Deviasi kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan sudut pertambahan 6° sampai dengan 42° pada kedua sisi dari arah angin

Tabel 7. Perhitungan *fetch* efektif arah Barat Laut

BARAT LAUT	A	COS α	Xi (Km)	Xi cos α
	-20	0.93969	38.76	36.42
	-15	0.96593	378.63	365.73
	-10	0.98481	416.69	410.36
	-5	0.99619	434.94	433.28
	0	1	66.44	66.44
	5	0.99619	11.04	11.00
	10	0.98481	508.68	500.95

	15	0.96593	512.72	495.25
	20	0.93969	516.70	485.54
	Total	8.77324		2804.97

Berdasarkan tabel diatas untuk perhitungan *fetch* efektif arah Barat Laut dengan rumus berikut ini:

$$Fetch = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} = \frac{1281.33137}{8.77324} = 319.7192 \text{ Km} \Rightarrow 319719.2 \text{ m}$$

Dimana :

X_i = panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung titik *fetch*

α = Deviasi kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan sudut pertambahan 6° sampai dengan 42° pada kedua sisi dari arah angin

Tabel 8. Rekap Perhitungan *fetch* efektif semua Arah

ARAH	<i>Fecth</i> Efektif (Km)	<i>Fecth</i> Efektif (m)
UTARA (N)	143.5686	143568.6
BARAT DAYA (SW)	1639.009	163900.9
BARAT (W)	459.8293	459829.3

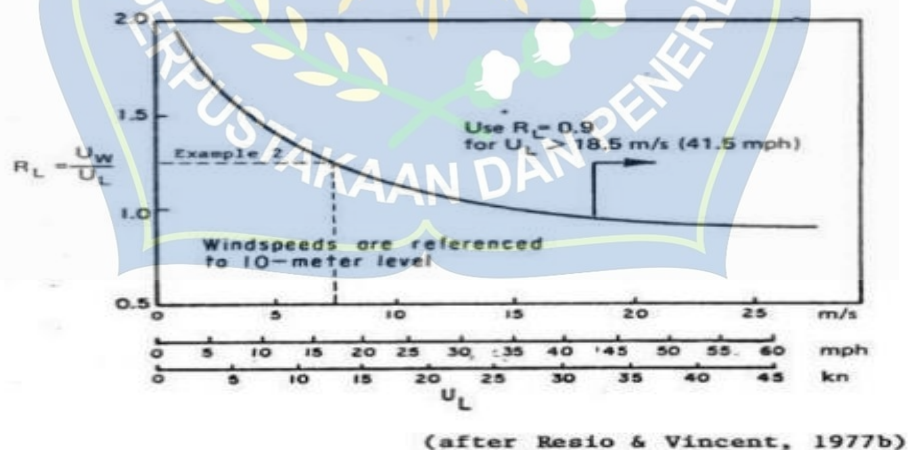
BARAT LAUT (NW)	319.7192	319719.2
-----------------	----------	----------

C. Peramalan Tinggi Dan Periode Gelombang

Untuk keperluan peramalan gelombang biasanya dipergunakan kecepatan angin pada ketinggian 10 m. Apabila kecepatan tidak diukur pada ketinggian tersebut maka kecepatan angin perlu dikoreksi terhadap ketinggian dengan formulasi sebagai berikut (Pratikto. dkk, 2000):

$$U_{10} = U_d \left[\frac{10}{d} \right]^{1/7} \quad \text{if } d < 20 \text{ m}$$

Berdasarkan kecepatan maksimum yang terjadi tiap bulan dicari nilai R_L dengan menggunakan grafik hubungan antara kecepatan angin di laut dan di hitung U_W dengan rumus :



Gambar 12. Grafik hubungan koreksi angin, sumber (CERC 1984)

$$Tl = 1609 / U_{10}$$

$$= 1609 / 7,20$$

$$= 223,47 \text{ m/dtk}$$

$$U_{3600} = U_{10} / RL$$

$$= 7,20 / 0,9$$

$$= 8,00 \text{ m/dtk}$$

$$U_s = U_{3600} \times RT$$

$$= 8,00 \times 1,3715$$

$$= 10,97 \text{ m/dtk}$$

Hitung U_w dengan rumus :

$$U_w = U_s \times RL$$

$$= 10,97 \times 0,9$$

$$= 9,87 \text{ m/dtk}$$

Hitung U_a dengan Rumus :

$$U_a = 0,71 \times U_w^{1,23}$$

$$= 0,71 \times 9,87^{1,23}$$

$$= 11,87 \text{ m/dtk}$$

Dimana :

U_{3600} = kecepatan rata-rata durasi 3600 detik

U = koreksi stabilitas

RL = faktor reduksi

RT = koefisien stabilitas

UA = wind stress factor

UL = Kecepatan angin didarat

RL =Faktor Edukasi

RT = Koefisien Stabilitas

UW = Koreksi Lokasi

UA = Wind stress factor (Factor tegangan angin)

Tabel 9. Rekap hasil perhitungan parameter gelombang 2019

Bulan	Tahun	derajat	Arah	WindSpd	U10	t1	RL	U3600	RT	US	Uw	UA	Fetch
				(m/s)	(m/dtk)	(dtk)		(m/dtk)		(m/dtk)	(m/dtk)	(cm/dtk)	(m/dtk)
1	2019	320	NW	7.20	7.20	223.47	0.9	8.00	1.37	10.97	9.87	11.87	319719
2	2019	330	NW	2.7	2.70	595.93	0.9	3.00	1.37	4.11	3.70	3.55	319719
3	2019	335	NW	5.1	5.10	315.49	0.9	5.67	1.37	7.77	6.99	7.77	319719
4	2019	110	SE	0.9	0.90	1787.78	0.9	1.00	1.37	1.37	1.23	0.92	306
5	2019	150	SE	6.9	6.90	233.19	0.9	7.67	1.37	10.51	9.46	11.27	306
6	2019	140	SE	9.1	9.10	176.81	0.9	10.11	1.37	13.87	12.48	15.84	306
7	2019	130	SE	8.1	8.10	198.64	0.9	9.00	1.37	12.34	11.11	13.72	306
8	2019	140	SE	9.4	9.40	171.17	0.9	10.44	1.37	14.32	12.89	16.48	306
9	2019	140	SE	9.2	9.20	174.89	0.9	10.22	1.37	14.02	12.62	16.05	306
10	2019	150	SE	9.4	9.40	171.17	0.9	10.44	1.37	14.32	12.89	16.48	306
11	2019	160	S	8	8.00	201.13	0.9	8.89	1.37	12.19	10.97	13.51	448
12	2019	300	NW	1.6	1.60	1005.63	0.9	1.78	1.37	2.44	2.19	1.87	319719

Lanjutan **Tabel 10.** Hasil Perhitungan parameter gelombang 2019

t	Cek	t min	Limited	Fetch Min	H	T
(dtk)				(m)	(m)	(dtk)
3600	Nonfully	65872	Durasi Ltd	4085	0.59	2.27
7200	fully	98480	-	319719	0.09	2.95
10800	fully	75876	-	319719	0.19	6.44
3600	Nonfully	1502	Fetch Ltd	306	0.01	0.41
7200	Nonfully	652	Fetch Ltd	306	0.10	0.94
10800	Nonfully	582	Fetch Ltd	306	0.14	1.06
14400	Nonfully	610	Fetch Ltd	306	0.12	1.01
18000	Nonfully	574	Fetch Ltd	306	0.15	1.07
21600	Nonfully	579	Fetch Ltd	306	0.14	1.06
25200	Nonfully	574	Fetch Ltd	306	0.15	1.07
3600	Nonfully	790	Fetch Ltd	448	0.15	1.14
3600	fully	122045	-	319719	0.05	1.55

Tabel 11. Rekap hasil perhitungan parameter gelombang 2020

Bulan	Tahun	derajat	Arah	WindSpd	U10	t1	RL	U3600	RT	US	Uw	UA	Fetch
				(m/s)	(m/dtk)	(dtk)		(m/dtk)		(m/dtk)	(m/dtk)	(cm/dtk)	(m/dtk)
1	2020	310	NW	6.4	6.40	251.41	0.9	7.11	1.37	9.75	8.78	10.27	319719
2	2020	320	NW	6.1	6.10	263.77	0.9	6.78	1.37	9.30	8.37	9.68	319719
3	2020	330	NW	2.6	2.60	618.85	0.9	2.89	1.37	3.96	3.57	3.39	319719
4	2020	110	E	1.8	1.80	893.89	0.9	2.00	1.37	2.74	2.47	2.16	408
5	2020	130	SE	4.8	4.80	0.00	0.9	5.33	1.37	7.31	6.58	7.21	306
6	2020	135	SE	8.2	8.20	0.00	0.9	9.11	1.37	12.50	11.25	13.93	306
7	2020	135	SE	9.3	9.30	173.01	0.9	10.33	1.37	14.17	12.75	16.26	306
8	2020	134	SE	7.8	7.80	206.28	0.9	8.67	1.37	11.89	10.70	13.10	306
9	2020	140	SE	8.9	8.90	180.79	0.9	9.89	1.37	13.56	12.21	15.41	306
10	2020	150	SE	6.8	6.80	236.62	0.9	7.56	1.37	10.36	9.33	11.07	306
11	2020	150	SE	2.3	2.30	699.57	0.9	2.56	1.37	3.50	3.15	2.92	306
12	2020	310	NW	5.8	5.80	277.41	0.9	6.44	1.37	8.84	7.95	9.10	319719

Lanjutan **Tabel 12.** Hasil perhitungan parameter gelombang 2020

t	Cek	t min	Limited	Fetch Min	H	T
(dtk)				(m)	(m)	(dtk)
7200	Nonfully	69131	Durasi Ltd	10746	0.54	2.99
10800	Nonfully	70505	Durasi Ltd	19168	0.68	3.56
14400	fully	100016	-	319719	0.08	2.81
3600	Nonfully	1369	Fetch Ltd	408	0.02	0.60
3600	Nonfully	756	Fetch Ltd	306	0.06	0.81
7200	Nonfully	607	Fetch Ltd	306	0.12	1.01
10800	Nonfully	577	Fetch Ltd	306	0.15	1.06
14400	Nonfully	620	Fetch Ltd	306	0.12	0.99
18000	Nonfully	587	Fetch Ltd	306	0.14	1.05
21600	Nonfully	656	Fetch Ltd	306	0.10	0.94
25200	Nonfully	1022	Fetch Ltd	306	0.03	0.60
3600	fully	71978	-	319719	0.23	3.46

Tabel 13. Rekap hasil perhitungan parameter gelombang 2021

Bulan	Tahun	derajat	Arah	WindSpd	U10	t1	RL	U3600	RT	US	Uw	UA	Fetch
				(m/s)	(m/dtk)	(dtk)		(m/dtk)		(m/dtk)	(m/dtk)	(cm/dtk)	(m/dtk)
1	2021	310	NW	7	7.00	229.86	0.9	7.78	1.37	10.67	9.60	11.47	319719
2	2021	310	NW	6.4	6.40	251.41	0.9	7.11	1.37	9.75	8.78	10.27	319719
3	2021	330	NW	3.7	3.70	434.86	0.9	4.11	1.37	5.64	5.07	5.23	319719
4	2021	180	S	2.8	2.80	574.64	0.9	3.11	1.37	4.27	3.84	3.72	448
5	2021	140	SE	5.1	5.10	315.49	0.9	5.67	1.37	7.77	6.99	7.77	306
6	2021	130	SE	3.8	3.80	423.42	0.9	4.22	1.37	5.79	5.21	5.41	306
7	2021	140	SE	6.4	6.40	251.41	0.9	7.11	1.37	9.75	8.78	10.27	306
8	2021	140	SE	6.2	6.20	259.52	0.9	6.89	1.37	9.45	8.50	9.88	306
9	2021	140	SE	5.6	5.60	287.32	0.9	6.22	1.37	8.53	7.68	8.72	306
10	2021	160	S	7.8	7.80	206.28	0.9	8.67	1.37	11.89	10.70	13.10	448
11	2021	340	N	1.8	1.80	893.89	0.9	2.00	1.37	2.74	2.47	2.16	143569
12	2021	310	NW	6.3	6.30	255.40	0.9	7.00	1.37	9.60	8.64	10.07	319719

Lanjutan Tabel 14. Hasil perhitungan parameter gelombang 2021

t	Cek	t min	Limited	Fetch Min	H	T
(dkt)				(m)	(m)	(dtk)
7200	Nonfully	66637	Durasi Ltd	11355	0.62	3.16
10800	Nonfully	69131	Durasi Ltd	19742	0.74	3.66
14400	fully	86546	-	319719	0.13	4.34
3600	Nonfully	1215	Fetch Ltd	448	0.04	0.74
3600	Nonfully	738	Fetch Ltd	306	0.07	0.83
7200	Nonfully	832	Fetch Ltd	306	0.05	0.74
10800	Nonfully	672	Fetch Ltd	306	0.09	0.91
14400	Nonfully	681	Fetch Ltd	306	0.09	0.90
18000	Nonfully	710	Fetch Ltd	306	0.08	0.87
3600	Nonfully	799	Fetch Ltd	448	0.14	1.12
3600	fully	68193	-	143569	0.05	1.79
3600	Nonfully	69579	Durasi Ltd	3763	0.32	2.09

Tabel 15. Rekap hasil perhitungan parameter gelombang 2022

Bulan	Tahun	derajat	Arah	WindSpd	U10	t1	RL	U3600	RT	US	Uw	UA	Fetch
				(m/s)	(m/dtk)	(dtk)		(m/dtk)		(m/dtk)	(m/dtk)	(cm/dtk)	(m/dtk)
1	2022	309	NW	8.2	8.20	196.22	0.9	9.11	1.37	12.50	11.25	13.93	319719
2	2022	313	NW	6.8	6.80	236.62	0.9	7.56	1.37	10.36	9.33	11.07	319719
3	2022	340	N	3.1	3.10	519.03	0.9	3.44	1.37	4.72	4.25	4.21	143569
4	2022	141	SE	2.1	2.10	766.19	0.9	2.33	1.37	3.20	2.88	2.61	306
5	2022	126	SE	2.4	2.40	670.42	0.9	2.67	1.37	3.66	3.29	3.07	306
6	2022	126	SE	4.3	4.30	374.19	0.9	4.78	1.37	6.55	5.90	6.30	306
7	2022	131	SE	6.9	6.90	233.19	0.9	7.67	1.37	10.51	9.46	11.27	306
8	2022	138	SE	6.1	6.10	263.77	0.9	6.78	1.37	9.30	8.37	9.68	306
9	2022	148	SE	8.2	8.20	196.22	0.9	9.11	1.37	12.50	11.25	13.93	306
10	2022	144	SE	2.8	2.80	574.64	0.9	3.11	1.37	4.27	3.84	3.72	306
11	2022	343	N	1.6	1.60	1005.63	0.9	1.78	1.37	2.44	2.19	1.87	143569
12	2022	350	N	4.6	4.60	349.78	0.9	5.11	1.37	7.01	6.31	6.84	143569

Lanjutan Tabel 16. Hasil perhitungan parameter gelombang 2022

t	Cek	t min	Limited	Fetch Min	H	T
(dkt)				(m)	(m)	(dtk)
7200	Nonfully	62452	Durasi Ltd	12516	0.80	3.48
10800	Nonfully	67434	Durasi Ltd	20492	0.81	3.80
3600	fully	54569	-	143569	0.10	3.49
3600	Nonfully	1061	Fetch Ltd	306	0.02	0.58
7200	Nonfully	1005	Fetch Ltd	306	0.03	0.61
10800	Nonfully	791	Fetch Ltd	306	0.06	0.78
14400	Nonfully	652	Fetch Ltd	306	0.10	0.94
18000	Nonfully	685	Fetch Ltd	306	0.09	0.90
21600	Nonfully	607	Fetch Ltd	306	0.12	1.01
25200	Nonfully	943	Fetch Ltd	306	0.03	0.65
3600	fully	71567	-	143569	0.05	1.55
7200	Nonfully	46416	Durasi Ltd	8771	0.33	2.44

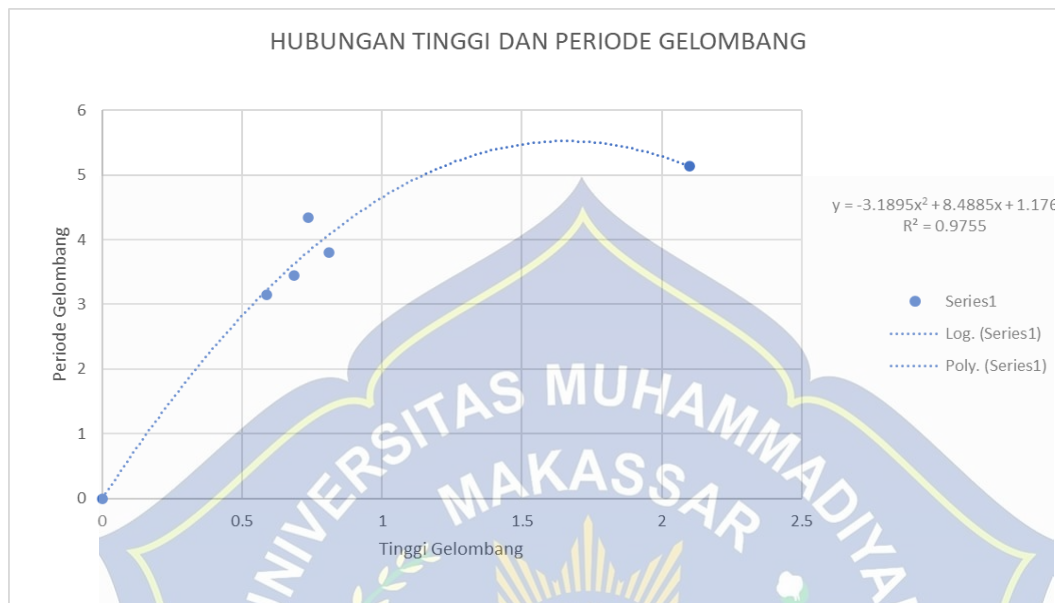
Tabel 17. Rekap hasil perhitungan parameter gelombang 2023

Bulan	Tahun	derajat	Arah	WindSpd	U10	t1	RL	U3600	RT	US	Uw	UA	Fetch
				(m/s)	(m/dtk)	(dtk)		(m/dtk)		(m/dtk)	(m/dtk)	(cm/dtk)	(m/dtk)
1	2023	290	W	17.3	17.30	93.01	0.9	19.22	1.37	26.36	23.73	34.90	459829
2	2023	290	W	15.4	15.40	104.48	0.9	17.11	1.37	23.47	21.12	30.25	459829
3	2023	20	N	10.2	10.20	157.75	0.9	11.33	1.37	15.54	13.99	18.22	143569
4	2023	310	NW	9.7	9.70	165.88	0.9	10.78	1.37	14.78	13.30	17.13	319719
5	2023	172	S	11.5	11.50	139.91	0.9	12.78	1.37	17.52	15.77	21.12	448
6	2023	102	E	6.2	6.20	259.52	0.9	6.89	1.37	9.45	8.50	9.88	408
7	2023	130	SE	11.5	11.50	139.91	0.9	12.78	1.37	17.52	15.77	21.12	306
8	2023	130	SE	9.8	9.80	164.18	0.9	10.89	1.37	14.93	13.44	17.35	306
9	2023	140	SE	14.5	14.50	110.97	0.9	16.11	1.37	22.10	19.89	28.09	306
10	2023	115	SE	7.6	7.60	211.71	0.9	8.44	1.37	11.58	10.42	12.69	306
11	2023	135	SE	5.5	5.50	292.55	0.9	6.11	1.37	8.38	7.54	8.52	306
12	2023	340	N	5.8	5.80	277.41	0.9	6.44	1.37	8.84	7.95	9.10	143569

Lanjutan Tabel 18. Hasil perhitungan parameter gelombang 2023

t	Cek	t min	Limited	Fetch Min	H	T
(dkt)				(m)	(m)	(dtk)
3600	Nonfully	58591	Durasi Ltd	7003	1.49	3.90
7200	Nonfully	61453	Durasi Ltd	18441	2.10	5.13
3600	Nonfully	33487	Durasi Ltd	5061	0.66	2.82
3600	Nonfully	58295	Durasi Ltd	4907	0.61	2.73
3600	Nonfully	681	Fetch Ltd	448	0.23	1.32
3600	Nonfully	824	Fetch Ltd	408	0.10	0.99
3600	Nonfully	529	Fetch Ltd	306	0.19	1.16
7200	Nonfully	564	Fetch Ltd	306	0.16	1.09
10800	Nonfully	481	Fetch Ltd	306	0.25	1.28
14400	Nonfully	626	Fetch Ltd	306	0.11	0.98
18000	Nonfully	715	Fetch Ltd	306	0.08	0.86
3600	Nonfully	42208	Durasi Ltd	3576	0.28	1.99

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



Gambar 13. Grafik hubungan antara tinggi gelombang dan periode gelombang

Berdasarkan hasil grafik hubungan tinggi dan periode gelombang pada tahun 2019-2023 diperoleh hasil persamaan nilai $y = -3,1895x^2 + 8,4885x + 1,1763$.

1. Panjang Gelombang

Untuk menentukan panjang gelombang pada bulan Januari menggunakan rumus:

$$L_0 = 1.56 * T_0^2$$

Dengan :

L_0 = Panjang gelombang

T_0 = Periode gelombang

Dimana diketahui tinggi gelombang pada bulan Januari 2023 adalah 2.25 m dan untuk menentukan periode gelombang digunakan rumus:

$$T_0 = -3.1895 * H_o^2 + 8.4885 * H_o + 1.1763$$

$$T_0 = -3.1895 * 2.25^2 + 8.4885 * 2.25 + 1.1763$$

$$T_0 = 4.13 \text{ det}$$

Untuk periode gelombang pada bulan Januari 2023 yaitu 4.13 detik, panjang gelombangnya adalah

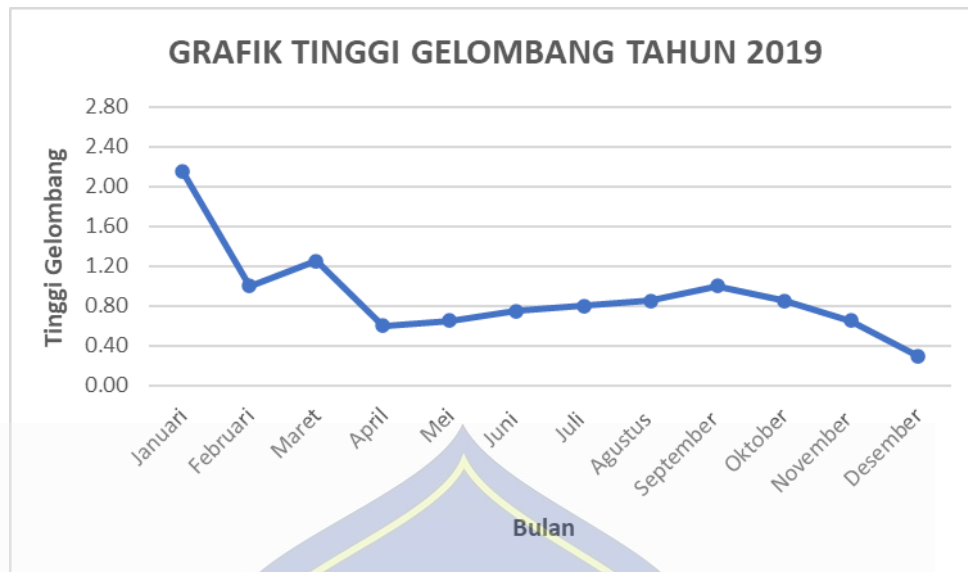
$$L_0 = 1,56 * T_0^2$$

$$L_0 = 1,56 * 4.13^2$$

$$L_0 = 26.59 \text{ m}$$

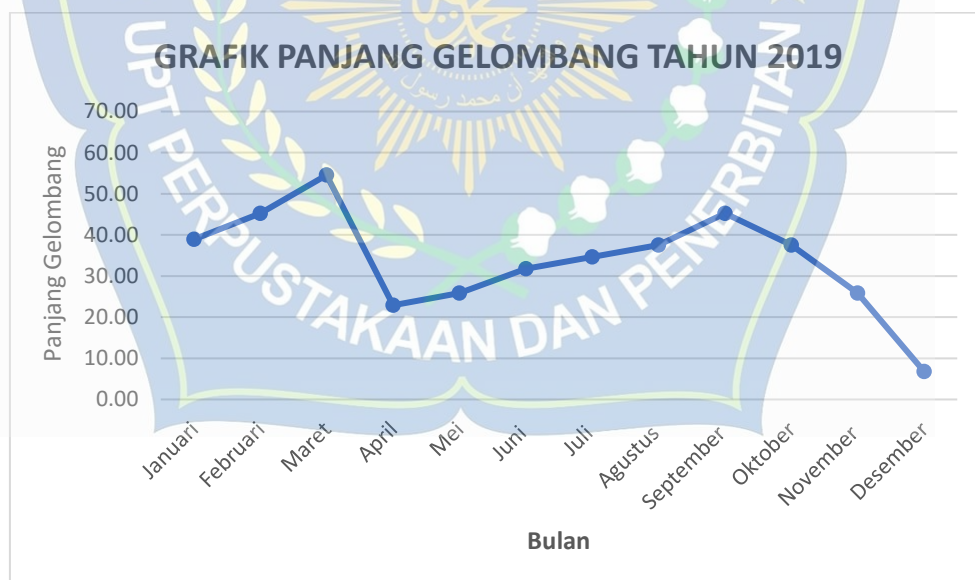
Tabel 19. Hasil perhitungan Periode dan Panjang Gelombang Tahun 2019

Tahun	Bulan	Tinggi Gelombang (m)	Periode Gelombang (m/s)	Panjang Gelombang (m)
2019	Januari	2.15	4.68	38.93
	Februari	1.00	6.48	45.22
	Maret	1.25	6.80	54.54
	April	0.60	5.12	22.87
	Mei	0.65	5.35	25.86
	Juni	0.75	5.75	31.79
	Juli	0.80	5.93	34.69
	Agustus	0.85	6.09	37.50
	September	1.00	6.48	45.22
	Oktober	0.85	6.09	37.50
	November	0.65	5.35	25.86
	Desember	0.30	3.44	6.82



Gambar 14. Grafik Tinggi Gelombang 2019

Tinggi gelombang tertinggi terjadi pada Januari 2.25 m, lalu menurun dan stabil di bawah 1 meter dari April hingga Desember, dengan sedikit kenaikan di September 1.00 m.

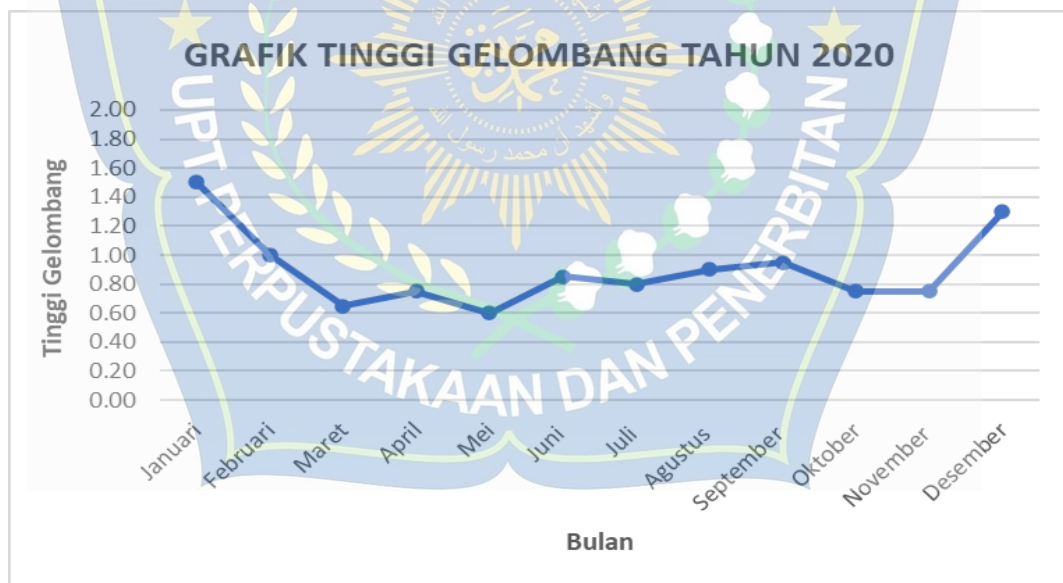


Gambar 15. Grafik Panjang Gelombang 2019

Panjang gelombang tertinggi terjadi pada Maret sebesar 54.54 m, lalu turun drastis di April sebesar 22.87 m, dan kembali meningkat hingga Oktober sebelum menurun tajam di Desember.

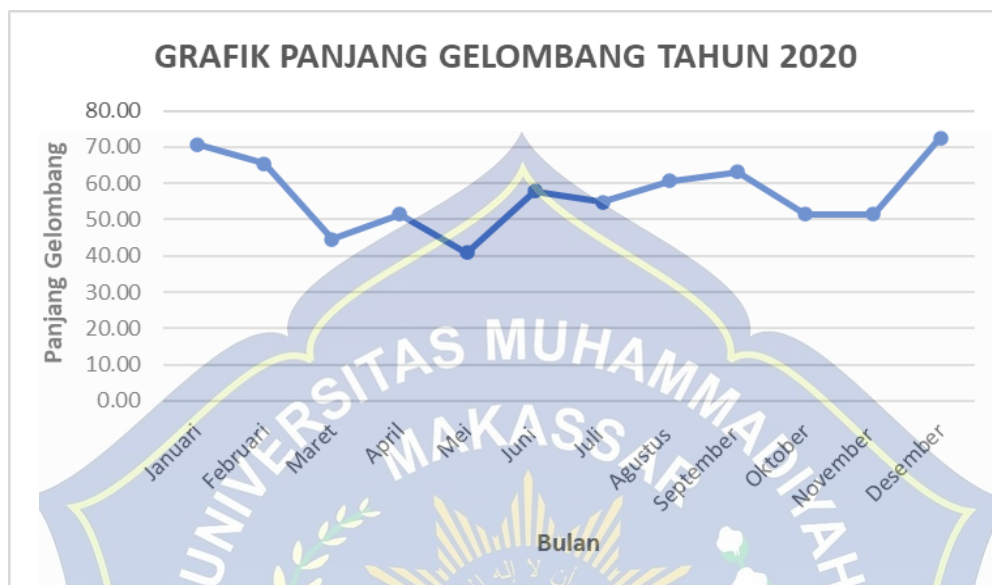
Tabel 20. Hasil perhitungan Periode dan Panjang Gelombang Tahun 2020

Tahun	Bulan	Tinggi Gelombang (m)	Periode Gelombang (m/s)	Panjang Gelombang (m)
2020	Januari	1.50	6.73	70.71
	Februari	1.00	6.48	65.41
	Maret	0.65	5.35	44.59
	April	0.75	5.75	51.55
	Mei	0.60	5.12	40.91
	Juni	0.85	6.09	57.80
	Juli	0.80	5.93	54.78
	Agustus	0.90	6.23	60.60
	September	0.95	6.36	63.14
	Oktober	0.75	5.75	51.55
	November	0.75	5.75	51.55
	Desember	1.30	6.82	72.58



Gambar 16. Grafik Tinggi Gelombang 2020

Tinggi gelombang tahun 2020 tertinggi terjadi pada bulan Januari sekitar 1.50 meter, kemudian menurun hingga Mei. Setelah itu, gelombang relatif stabil di kisaran 0,7 hingga 1 meter, dan kembali meningkat pada bulan Desember hingga sekitar 1,3 meter.



Gambar 17. Grafik Panjang Gelombang 2020

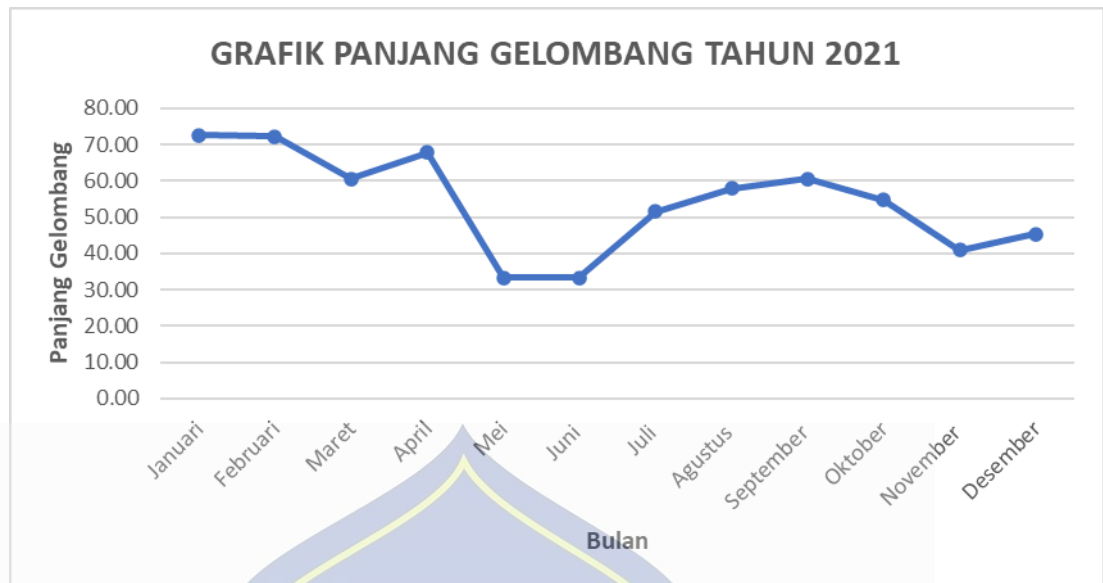
Panjang gelombang tahun 2020 tertinggi terjadi pada bulan Desember sekitar 70.71 meter. Setelah mengalami penurunan dari Januari hingga Mei, panjang gelombang cenderung stabil dan kembali meningkat menjelang akhir tahun.

Tabel 21. Hasil perhitungan Periode dan Panjang Gelombang Tahun 2021

Tahun	Bulan	Tinggi Gelombang (m)	Periode Gelombang (m/s)	Panjang Gelombang (m)
2021	Januari	1.30	6.82	72.58
	Februari	1.25	6.80	72.21
	Maret	0.90	6.23	60.60
	April	1.60	6.59	67.81
	Mei	0.50	4.62	33.34
	Juni	0.50	4.62	33.34
	Juli	0.75	5.75	51.55
	Agustus	0.85	6.09	57.80
	September	0.90	6.23	60.60
	Oktober	0.80	5.93	54.78
	November	0.60	5.12	40.91
	Desember	2.00	5.40	45.41

**Gambar 18.** Grafik Tinggi Gelombang 2021

Tinggi gelombang tahun 2021 tertinggi terjadi pada bulan Desember sekitar 2.00 meter. Setelah fluktuasi awal tahun dan penurunan di Mei–Juni, gelombang stabil di kisaran 0,6–0,9 meter sebelum meningkat tajam di akhir tahun.



Gambar 19. Grafik Panjang Gelombang 2021

Panjang gelombang tahun 2021 tertinggi terjadi pada Januari–Februari (72.58), turun tajam pada Mei–Juni, lalu kembali meningkat hingga September sebelum menurun lagi di akhir tahun

Tabel 22. Hasil perhitungan Periode dan Panjang Gelombang Tahun 2022

Tahun	Bulan	Tinggi Gelombang (m)	Periode Gelombang (det)	Panjang Gelombang (m)
2022	Januari	1.50	6.73	70.71
	Februari	1.40	6.81	72.32
	Maret	0.70	5.56	48.15
	April	0.15	2.38	8.82
	Mei	0.45	4.35	29.52
	Juni	0.50	4.62	33.34
	Juli	0.65	5.35	44.59
	Agustus	0.70	5.56	48.15
	September	0.75	5.75	51.55
	Oktober	0.60	5.12	40.91
	November	0.60	5.12	40.91
	Desember	0.30	3.44	18.42



Gambar 20. Grafik Tinggi Gelombang 2022

Tinggi gelombang tertinggi terjadi pada Januari (1.50 m), lalu menurun drastis hingga April (0,15 m). Setelah itu gelombang perlahan meningkat dan relatif stabil di kisaran 0,6–0,75 meter hingga Oktober, lalu kembali menurun di akhir tahun.



Gambar 21. Grafik Panjang Gelombang 2022

Panjang gelombang tertinggi terjadi pada Februari (72.35 m), lalu menurun tajam hingga April (8.82 m). Setelah itu terjadi peningkatan bertahap hingga September–Oktober, sebelum menurun kembali di akhir tahun

Tabel 23. Hasil perhitungan Periode dan Panjang Gelombang Tahun 2023

Tahun	Bulan	Tinggi Gelombang (m)	Periode Gelombang (det)	Panjang Gelombang (m)
2023	Januari	2.25	4.13	26.59
	Februari	1.60	6.59	67.81
	Maret	1.00	6.48	65.41
	April	1.00	6.48	65.41
	Mei	0.65	5.35	44.59
	Juni	0.25	3.10	14.98
	Juli	0.45	4.35	29.52
	Agustus	0.30	3.44	18.42
	September	0.60	5.12	40.91
	Oktober	0.30	3.44	18.42
	November	0.30	3.44	18.42
	Desember	0.35	3.76	22.01



Gambar 22. Grafik Tinggi Gelombang 2023

Tinggi gelombang menunjukkan penurunan sepanjang tahun 2023. Gelombang tertinggi terjadi pada bulan Januari (2.25 meter), kemudian terus menurun hingga mencapai titik terendah pada bulan Juni (sekitar 0,25 meter). Setelah itu, tinggi gelombang cenderung stabil dengan fluktuasi kecil antara Juli hingga Desember, tanpa peningkatan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa awal tahun memiliki kondisi gelombang laut yang lebih tinggi dibandingkan pertengahan hingga akhir tahun.



Gambar 23. Grafik Panjang Gelombang 2023

Panjang gelombang tertinggi terjadi pada bulan Februari hingga April, dengan nilai mencapai sekitar 65.41-67.81 meter. Setelah itu, terjadi penurunan tajam hingga titik terendah pada bulan Juni (14.98 meter). Sepanjang Juli hingga Desember, panjang gelombang mengalami fluktuasi, namun tetap berada pada kisaran yang lebih rendah dibandingkan awal tahun.

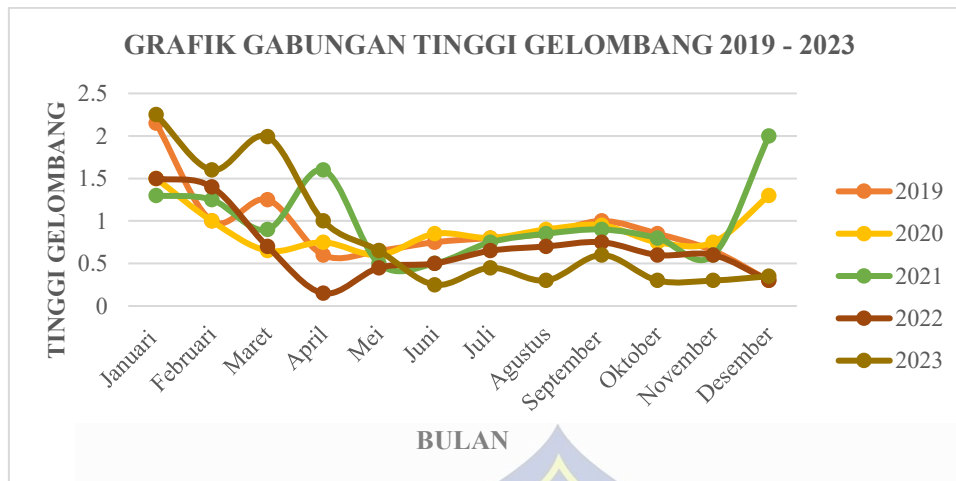
Tabel 24. Rekap Tinggi Gelombang (2019 - 2023)

Bulan	2019	2020	2021	2022	2023
Januari	2.15	1.50	1.30	1.50	2.25
Februari	1.00	1.00	1.25	1.4	1.6
Maret	1.25	0.65	0.9	0.7	1.99
April	0.6	0.75	1.6	0.15	1.00
Mei	0.65	0.6	0.5	0.45	0.65
Juni	0.75	0.85	0.5	0.5	0.25
Juli	0.8	0.8	0.75	0.65	0.45
Agustus	0.85	0.9	0.85	0.7	0.3
September	1.00	0.95	0.9	0.75	0.6
Oktober	0.85	0.75	0.8	0.6	0.3
November	0.65	0.75	0.6	0.6	0.3
Desember	0.3	1.3	2.00	0.3	0.35

 = Tinggi gelombang Terkecil

 = Tinggi gelombang Terbesar

Selama periode 2019 sampai 2023, gelombang tertinggi terjadi pada bulan Januari tahun 2023 dengan ketinggian 2,25 meter, sedangkan gelombang terendah terjadi pada bulan Juni 2023 dengan ketinggian hanya 0,25 meter. Secara umum, bulan Januari cenderung memiliki gelombang paling tinggi, sedangkan bulan Mei hingga Juni cenderung memiliki gelombang paling rendah setiap tahunnya.



Gambar 24. Grafik Gabungan Tinggi Gelombang 2019 - 2023

Dari grafik terlihat bahwa tinggi gelombang cenderung paling tinggi terjadi pada bulan Januari, terutama tahun 2023. Sementara itu, gelombang paling rendah sering terjadi antara bulan Mei hingga Juli hampir di semua tahun. Artinya, awal tahun biasanya ombak lebih besar, sedangkan pertengahan tahun ombak cenderung kecil di sekitar Pulau Gusung.

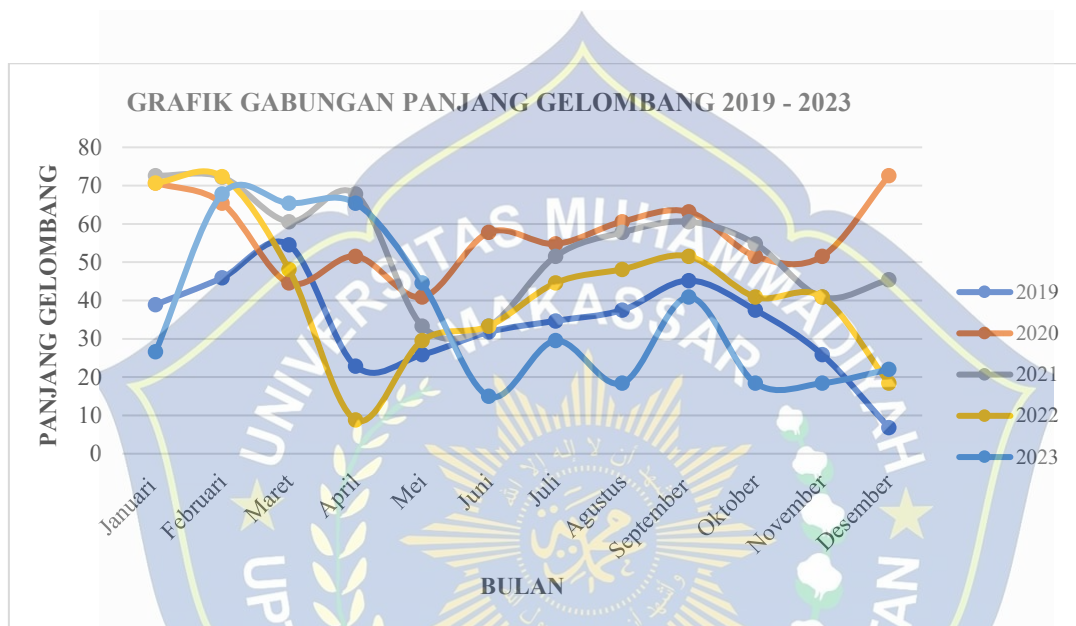
Tabel 25. Rekap Panjang Gelombang (2019 - 2023)

Bulan	2019	2020	2021	2022	2023
Januari	38.93	70.71	72.58	70.71	26.59
Februari	45.93	65.41	72.21	72.32	67.81
Maret	54.54	44.59	60.6	48.15	65.41
April	22.87	51.55	67.81	8.82	65.41
Mei	25.86	40.91	33.34	29.52	44.59
Juni	31.79	57.8	33.34	33.34	14.98
Juli	34.69	54.78	51.55	44.59	29.52
Agustus	37.5	60.6	57.8	48.15	18.42
September	45.22	63.14	60.6	51.55	40.91
Oktober	37.5	51.55	54.78	40.91	18.42
November	25.86	51.55	40.91	40.91	18.42
Desember	6.82	72.58	45.41	18.42	22.01

= Panjang gelombang Terkecil

= Panjang gelombang Terbesar

Selama lima tahun pengamatan, panjang gelombang terpanjang terjadi pada bulan Desember 2020 sebesar 72,58 meter, sedangkan yang terpendek terjadi pada bulan Desember 2019 dengan nilai 6,82 meter. Secara umum, panjang gelombang bervariasi setiap tahun, namun bulan Desember sering menunjukkan nilai yang ekstrem, baik paling panjang maupun paling pendek, tergantung tahunnya.



Gambar 25. Grafik Gabungan Panjang Gelombang 2019 - 2023

Berdasarkan grafik, panjang gelombang di Pulau Gusung berubah-ubah setiap bulannya. Panjang gelombang paling pendek biasanya terjadi di bulan Mei sampai Juli, terutama pada tahun 2019 dan 2023. Sedangkan gelombang terpanjang sering terjadi di bulan November dan Desember. Ini berarti, pertengahan tahun biasanya laut lebih tenang, sedangkan di akhir tahun ombaknya cenderung lebih besar.

D. Perhitungan Koefisien Refraksi



Gambar 26. Lokasi Penelitian

Untuk mencari nilai koefisien refraksi (K_r) pada gelombang perlunya untuk penentuan derajat gelombang dengan menggunakan metode perhitungan analisis sebagai berikut:

- Menentukan sudut datang gelombang (α). Sudut datang gelombang (α) = 45°
- Menentukan kedalaman (d), untuk mengetahui perubahan tinggi gelombang akibat pendangkalan. Kedalaman diambil pada 4 m
- Menentukan tinggi, periode gelombang dan panjang gelombang pada perhitungan sebelumnya.
- Untuk nilai panjang gelombang (L_o) yang digunakan yakni panjang gelombang pada bulan Januari 2023 – Desember 2023

Maka perhitungannya yaitu:

1) Januari 2023

$$\frac{d}{L_o} = \frac{4}{26,59} = 0,1504 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai d/L_o = 0,1504

Tabel 26. Pembacaan nilai d/L dan n

d/L _o	d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K _s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.1500	0.18330	1.1517	0.8183	1.4238	1.7399	0.913	0.5748	2.3035	4.9544	5.054	0.733
0.1510	0.18414	1.1570	0.8201	1.4329	1.7474	0.913	0.5723	2.3139	5.0077	5.107	0.7310
0.1520	0.18497	1.1622	0.8218	1.4421	1.7549	0.913	0.5698	2.3244	5.0615	5.159	0.73
0.1530	0.18581	1.1675	0.8235	1.4513	1.7625	0.913	0.5674	2.3349	5.1158	5.213	0.728
0.1540	0.18664	1.1727	0.8251	1.4606	1.7701	0.913	0.5649	2.3454	5.1707	5.267	0.727

Untuk d/L_o = 0,1504 (Tabel dilihat dari yang diberikan Warna, lalu di interpolasi)

di dapatkan nilai: d/L = 0,18338

$$\begin{aligned} \text{Maka } L &= \frac{d}{(d/l)} \\ &= \frac{4}{0,18338} \\ &= 21,81 \text{ m} \end{aligned}$$

Cepat rambat gelombang :

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{26,59}{4,13}$$

$$C_o = 6,43 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{21,81}{4,13}$$

$$C = 5,28 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{c}{c_o} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{5,28}{6,43} \sin 45^0$$

$$= 0,58$$

$$\alpha = 35,45^0$$

maka nilai Koefisien refraksi (Kr) adalah:

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos^0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45^0}{\cos 35,45}}$$

$$Kr = 0,931$$

2) Februari 2023

$$\frac{d}{Lo} = \frac{4}{67,81} = 0,0589 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai d/Lo = 0,0589

Tabel 27. Pembacaan nilai d/L dan n

d/Lo	d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh$	$\sinh$	$\cosh$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh$	$\cosh$	n
		L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$			L	$\frac{4\pi d}{L}$	$\frac{4\pi d}{L}$	
0.0560	0.10031	0.6303	0.5583	0.6729	1.2053	1.004	0.8297	1.2606	1.6220	1.905	0.889
0.0570	0.10132	0.6366	0.5626	0.6805	1.2096	1.001	0.8267	1.2732	1.6622	1.926	0.887
0.0580	0.10232	0.6429	0.5669	0.6881	1.2139	0.998	0.8238	1.2858	1.6705	1.947	0.885
0.0590	0.10331	0.6491	0.5711	0.6957	1.2182	0.996	0.8209	1.2983	1.6950	1.968	0.8830

Untuk d/Lo = 0,0589 (Tabel dilihat dari yang diberikan Warna, lalu di interpolasi)

di dapatkan nilai: d/L = 0,123299

$$\text{Maka } L = \frac{d}{(d/l)}$$

$$= \frac{4}{0,123299}$$

$$= 32,44 \text{ m}$$

Cepat rambat gelombang :

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{67,81}{6,59}$$

$$C_o = 10,28 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{32,44}{6,59}$$

$$C = 4,92 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_o} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{4,92}{10,28} \sin 45^0$$

$$= 0,33$$

$$\alpha = 19,26^0$$

maka nilai Koefisien refraksi (Kr) adalah:

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha^0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45^0}{\cos 19,26}}$$

$$Kr = 0,865$$

3) Maret 2023

$$\frac{d}{L_o} = \frac{4}{65,41} = 0,0611 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai d/Lo = 0,0611

Tabel 28. Pembacaan nilai d/L dan n

d/Lo	d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh$	$\sinh$	$\cosh$	Ks	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh$	$\cosh$	n
		L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$			L	$\frac{4\pi d}{L}$	$\frac{4\pi d}{L}$	
0.0600	0.10430	0.6554	0.5753	0.7033	1.2225	0.993	0.8180	1.3107	1.7196	1.989	0.881
0.0610	0.10529	0.6615	0.5794	0.7109	1.2269	0.991	0.8151	1.3231	1.7443	2.011	0.879
0.0620	0.10627	0.6677	0.5835	0.7184	1.2313	0.988	0.8121	1.3354	1.7692	2.032	0.877
0.0630	0.10724	0.6738	0.5875	0.7260	1.2357	0.986	0.8092	1.3476	1.7942	2.054	0.876
0.0640	0.10821	0.6799	0.5915	0.7335	1.2402	0.984	0.8063	1.3598	1.8194	2.076	0.874

Untuk $d/L_0 = 0,0611$ (Tabel dilihat dari yang diberikan Warna, lalu di interpolasi)

di dapatkan nilai: $d/L = 0,10538$

$$\begin{aligned}\text{Maka } L &= \frac{d}{(d/l)} \\ &= \frac{4}{0,10538} \\ &= 37,98 \text{ m}\end{aligned}$$

Cepat rambat gelombang :

$$C_0 = \frac{L_0}{T} = \frac{65,41}{6,48}$$

$$C_0 = 10,09 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{37,98}{6,48}$$

$$C = 5,86 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_0} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{5,86}{10,09} \sin 45^0$$

$$= 0,41$$

$$\alpha = 24,20^0$$

maka nilai Koefisien refraksi (Kr) adalah:

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha^0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45^0}{\cos 24,20}}$$

$$Kr = 0,880$$

4) April 2023

$$\frac{d}{L_o} = \frac{4}{65,41} = 0,0611 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai d/Lo = 0,0611

Tabel 29 Pembacaan nilai d/L dan n

d/Lo	d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	Ks	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0600	0.10430	0.6554	0.5753	0.7033	1.2225	0.993	0.8180	1.3107	1.7196	1.989	0.881
0.0610	0.10529	0.6615	0.5794	0.7109	1.2269	0.991	0.8151	1.3231	1.7443	2.011	0.879
0.0620	0.10627	0.6677	0.5835	0.7184	1.2313	0.988	0.8121	1.3354	1.7692	2.032	0.877
0.0630	0.10724	0.6738	0.5875	0.7260	1.2357	0.986	0.8092	1.3476	1.7942	2.054	0.876
0.0640	0.10821	0.6799	0.5915	0.7335	1.2402	0.984	0.8063	1.3598	1.8194	2.076	0.874

Untuk d/Lo = 0,0611 (Tabel dilihat dari yang diberikan Warna, lalu di interpolasi)

di dapatkan nilai: d/L = 0,10538

$$\begin{aligned} \text{Maka } L &= \frac{d}{(d/L)} \\ &= \frac{4}{0,10538} \\ &= 37,98 \text{ m} \end{aligned}$$

Cepat rambat gelombang :

$$Co = \frac{Lo}{T} = \frac{65,41}{6,48}$$

$$Co = 10,09 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{37,98}{6,48}$$

$$C = 5,86 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{c}{Co} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{5,86}{10,09} \sin 45^0$$

$$= 0,41$$

$$\alpha = 24,20^\circ$$

maka nilai Koefisien rekraksi (K_r) adalah:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos^0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45^\circ}{\cos 24,20}}$$

$$K_r = 0,880$$

5) Mei 2023

$$\frac{d}{L_o} = \frac{4}{44,59} = 0,0897 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai $d/L_o = 0,0897$

Tabel 30. Pembacaan nilai d/L dan n

d/L_o	d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh$	$\sinh$	$\cosh$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh$	$\cosh$	n
		L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$			L	$\frac{4\pi d}{L}$	$\frac{4\pi d}{L}$	
0.0880	0.13042	0.8194	0.6748	0.9143	1.3550	0.944	0.738	1.6389	2.4777	2.672	0.831
0.0890	0.13131	0.8250	0.6778	0.9219	1.3601	0.943	0.7352	1.6501	2.5077	2.700	0.8290
0.0900	0.13220	0.8306	0.6808	0.9295	1.3653	0.942	0.7325	1.6613	2.5380	2.728	0.827
0.0910	0.13309	0.8362	0.6838	0.9371	1.3705	0.941	0.7297	1.6724	2.5686	2.756	0.826

Untuk $d/L_o = 0,0897$ (Tabel dilihat dari yang diberikan Warna, lalu di interpolasi)

di dapatkan nilai: $d/L = 0,13139$

$$\text{Maka } L = \frac{d}{(d/l)}$$

$$= \frac{4}{0,13139}$$

$$= 30,44 \text{ m}$$

Cepat rambat gelombang :

$$Co = \frac{Lo}{T} = \frac{44,59}{5,35}$$

$$Co = 8,33 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{30,44}{5,35}$$

$$C = 5,68 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{c}{Co} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{5,68}{8,33} \sin 45^0$$

$$= 0,48$$

$$\alpha = 28,68^0$$

maka nilai Koefisien refraksi (Kr) adalah:

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha^0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45^0}{\cos 28,68}}$$

$$Kr = 0,897$$

6) Juni 2023

$$\frac{d}{Lo} = \frac{4}{14,98} = 0,2670 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai d/Lo = 0,2670

Tabel 31. Pembacaan nilai d/L dan n

d/L ₀	d/L	2πd	tanh	sinh	cosh	K _s	K	4πd	sinh	cosh	n
		L	2πd/L	2πd/L	2πd/L			L	4πd/L	4πd/L	
0.2650	0.28099	1.7655	0.9431	2.8366	3.0078	0.937	0.3325	3.5310	17.064	17.09	0.604
0.2660	0.28186	1.7710	0.9437	2.8533	3.0235	0.938	0.3307	3.5420	17.254	17.28	0.603
0.2670	0.28274	1.7765	0.9443	2.8701	3.0393	0.938	0.3290	3.5531	17.446	17.47	0.602
0.2680	0.28362	1.7821	0.9449	2.8869	3.0552	0.938	0.3273	3.5641	17.640	17.67	0.6010
0.2690	0.28450	1.7876	0.9455	2.9039	3.0712	0.939	0.3256	3.5752	17.837	17.87	0.6

Untuk d/L₀ = 0,2670 (Tabel dilihat dari yang diberikan Warna)

di dapatkan nilai: d/L = 0,28274

$$\text{Maka } L = \frac{d}{(d/l)}$$

$$= \frac{4}{0,28274}$$

$$= 14,14 \text{ m}$$

Cepat rambat gelombang :

$$Co = \frac{Lo}{T} = \frac{14,98}{3,10}$$

$$Co = 4,83 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{14,14}{3,10}$$

$$C = 4,56 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{c}{co} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{4,56}{4,83} \sin 45^0$$

$$= 0,66$$

$$\alpha = 41,29^0$$

maka nilai Koefisien refraksi (Kr) adalah:

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos^0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45^0}{\cos 41,29}}$$

$$Kr = 0,970$$

7) Juli 2023

$$\frac{d}{Lo} = \frac{4}{29,52} = 0,1355 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai d/Lo = 0,1355

Tabel 32. Pembacaan nilai d/L dan n

d/Lo	d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	Ks	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.1350	0.17077	1.0729	0.7906	1.2910	1.6330	0.916	0.6124	2.1459	4.2164	4.333	0.755
0.1360	0.17160	1.0782	0.7925	1.2996	1.6398	0.915	0.6098	2.1564	4.2623	4.378	0.753
0.1370	0.17244	1.0835	0.7945	1.3083	1.6467	0.915	0.6073	2.1670	4.3086	4.423	0.752
0.1380	0.17328	1.0887	0.7964	1.3169	1.6536	0.915	0.6047	2.1775	4.3554	4.469	0.7500
0.1390	0.17412	1.0940	0.7983	1.3257	1.6605	0.915	0.6022	2.1880	4.4026	4.515	0.749

Untuk d/Lo = 0,1355 (Tabel dilihat dari yang diberikan Warna, lalu di interpolasi)

di dapatkan nilai: d/L = 0,17085

$$\begin{aligned} \text{Maka } L &= \frac{d}{(d/l)} \\ &= \frac{4}{0,17085} \\ &= 23,41 \text{ m} \end{aligned}$$

Cepat rambat gelombang :

$$Co = \frac{Lo}{T} = \frac{29,52}{4,35}$$

$$Co = 6,78 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{23,41}{4,35}$$

$$C = 5,38 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{c}{c_0} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{5,38}{6,78} \sin 45^0$$

$$= 0,56$$

$$\alpha = 34,05^0$$

maka nilai Koefisien refraksi (Kr) adalah:

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha^0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45^0}{\cos 34,05}}$$

$$Kr = 0,923$$

8) Agustus 2023

$$\frac{d}{Lo} = \frac{4}{18,42} = 0,2171 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai d/Lo = 0,2171

Tabel 33. Pembacaan nilai d/L dan n

d/Lo	d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	Ks	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.2150	0.23781	1.4942	0.9041	2.1157	2.3401	0.922	0.4273	2.9884	9.9017	9.952	0.651
0.2160	0.23866	1.4995	0.9051	2.1282	2.3514	0.922	0.4253	2.9991	10.009	10.06	0.65
0.2170	0.23951	1.5049	0.9060	2.1408	2.3628	0.922	0.4232	3.0098	10.117	10.17	0.649
0.2180	0.24036	1.5102	0.9070	2.1535	2.3743	0.923	0.4212	3.0205	10.226	10.28	0.648
0.2190	0.24121	1.5156	0.9079	2.1662	2.3859	0.923	0.4191	3.0312	10.337	10.39	0.647

Untuk d/Lo = 0,2171 (Tabel dilihat dari yang diberikan Warna, lalu di interpolasi)

di dapatkan nilai: d/L = 0,23959

$$\begin{aligned}\text{Maka } L &= \frac{d}{(d/l)} \\ &= \frac{4}{0,23959} \\ &= 16,69 \text{ m}\end{aligned}$$

Cepat rambat gelombang :

$$Co = \frac{Lo}{T} = \frac{18,42}{3,44}$$

$$Co = 5,35 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{16,69}{3,44}$$

$$C = 4,85 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{c}{co} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{4,85}{5,35} \sin 45^0$$

$$= 0,64$$

$$\alpha = 39,79^0$$

maka nilai Koefisien refraksi (Kr) adalah:

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos^0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45^0}{\cos 39,79}}$$

$$Kr = 0,959$$

9) September 2023

$$\frac{d}{Lo} = \frac{4}{40,91} = 0,0977 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai d/Lo = 0,0977

Tabel 34. Pembacaan nilai d/L dan n

d/L_0	d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh$	$\sinh$	$\cosh$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh$	$\cosh$	n
		L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$			L	$\frac{4\pi d}{L}$	$\frac{4\pi d}{L}$	
0.0950	0.13661	0.8584	0.6954	0.9677	1.3916	0.937	0.7186	1.7167	2.6934	2.873	0.819
0.0960	0.13749	0.8639	0.6983	0.9754	1.3969	0.936	0.7159	1.7278	2.7252	2.903	0.8170
0.0970	0.13837	0.8694	0.7011	0.9831	1.4023	0.935	0.7131	1.7388	2.7573	2.933	0.815
0.0980	0.13924	0.8749	0.7038	0.9908	1.4077	0.934	0.7104	1.7498	2.7897	2.964	0.814

Untuk $d/L_0 = 0,0977$ (Tabel dilihat dari yang diberikan Warna, lalu di interpolasi)

di dapatkan nilai: $d/L = 0,13845$

$$\text{Maka } L = \frac{d}{(d/l)}$$

$$= \frac{4}{0,13845}$$

$$= 28,89 \text{ m}$$

Cepat rambat gelombang :

$$Co = \frac{Lo}{T} = \frac{40,91}{5,12}$$

$$Co = 7,99 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{28,89}{5,12}$$

$$C = 5,64 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{c}{Co} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{5,64}{7,99} \sin 45^0$$

$$= 0,70$$

$$\alpha = 44,47^0$$

maka nilai Koefisien refraksi (K_r) adalah:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha}{\cos \beta}} = \sqrt{\frac{\cos 45^\circ}{\cos 44,47}}$$

$$K_r = 0,995$$

10) Oktober 2023

$$\frac{d}{L_o} = \frac{4}{18,42} = 0,2171 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai $d/L_o = 0,2171$

Tabel 35. Pembacaan nilai d/L dan n

d/L_o	d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.2150	0.23781	1.4942	0.9041	2.1157	2.3401	0.922	0.4273	2.9884	9.9017	9.952	0.651
0.2160	0.23866	1.4995	0.9051	2.1282	2.3514	0.922	0.4253	2.9991	10.009	10.06	0.65
0.2170	0.23951	1.5049	0.9060	2.1408	2.3628	0.922	0.4232	3.0098	10.117	10.17	0.649
0.2180	0.24036	1.5102	0.9070	2.1535	2.3743	0.923	0.4212	3.0205	10.226	10.28	0.648
0.2190	0.24121	1.5156	0.9079	2.1662	2.3859	0.923	0.4191	3.0312	10.337	10.39	0.647

Untuk $d/L_o = 0,2171$ (tabel dilihat yang diberikan Warna, lalu di interpolasi)

di dapatkan nilai: $d/L = 0,23959$

$$\text{Maka } L = \frac{d}{(d/l)}$$

$$= \frac{4}{0,23959}$$

$$= 16,69 \text{ m}$$

Cepat rambat gelombang :

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{18,42}{3,44}$$

$$Co = 5,35 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{16,69}{3,44}$$

$$C = 4,85 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{c}{co} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{4,85}{5,35} \sin 45^0$$

$$= 0,64$$

$$\alpha = 39,79^0$$

maka nilai Koefisien refraksi (Kr) adalah:

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos \alpha^0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45^0}{\cos 39,79}}$$

$$Kr = 0,959$$

11) November 2023

$$\frac{d}{Lo} = \frac{4}{18,42} = 0,2171 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai d/Lo = 0,2171

Tabel 36. Pembacaan nilai d/L dan n

d/Lo	d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	Ks	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.2150	0.23781	1.4942	0.9041	2.1157	2.3401	0.922	0.4273	2.9884	9.9017	9.952	0.651
0.2160	0.23866	1.4995	0.9051	2.1282	2.3514	0.922	0.4253	2.9991	10.009	10.06	0.65
0.2170	0.23951	1.5049	0.9060	2.1408	2.3628	0.922	0.4232	3.0098	10.117	10.17	0.649
0.2180	0.24036	1.5102	0.9070	2.1535	2.3743	0.923	0.4212	3.0205	10.226	10.28	0.648
0.2190	0.24121	1.5156	0.9079	2.1662	2.3859	0.923	0.4191	3.0312	10.337	10.39	0.647

Untuk d/Lo = 0,2171 (Tabel dilihat dari yang diberikan Warna, lalu di interpolasi)

di dapatkan nilai: d/L = 0,23959

$$\begin{aligned}\text{Maka } L &= \frac{d}{(d/l)} \\ &= \frac{4}{0,23959} \\ &= 16,69 \text{ m}\end{aligned}$$

Cepat rambat gelombang :

$$Co = \frac{Lo}{T} = \frac{18,42}{3,44}$$

$$Co = 5,35 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{16,69}{3,44}$$

$$C = 4,85 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{c}{co} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{4,85}{5,35} \sin 45^0$$

$$= 0,64$$

$$\alpha = 39,79^0$$

maka nilai Koefisien refraksi (Kr) adalah:

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos^0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45^0}{\cos 39,79}}$$

$$Kr = 0,959$$

12) Desember 2023

$$\frac{d}{Lo} = \frac{4}{20,01} = 0,1817 \text{ m/s}$$

Cari nilai d/L untuk nilai d/Lo = 0,1817

Tabel 37. Pembacaan nilai d/L dan n

d/L_0	d/L	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.1800	0.20833	1.3090	0.8640	1.7161	1.9862	0.914	0.5035	2.6180	6.8174	6.890	0.6920
0.1810	0.20917	1.3142	0.8653	1.7266	1.9953	0.915	0.5012	2.6285	6.8902	6.962	0.691
0.1820	0.21000	1.3195	0.8667	1.7371	2.0044	0.915	0.4989	2.6390	6.9638	7.035	0.69
0.1830	0.21084	1.3248	0.8680	1.7477	2.0136	0.915	0.4966	2.6495	7.0381	7.109	0.688
0.1840	0.21168	1.3300	0.8693	1.7583	2.0228	0.915	0.4944	2.6600	7.1133	7.183	0.6870

Untuk $d/L_0 = 0,1817$ (tabel dilihat yang diberikan Warna, lalu di interpolasi)

di dapatkan nilai: $d/L = 0,20925$

$$\text{Maka } L = \frac{d}{(d/l)}$$

$$= \frac{4}{0,20925}$$

$$= 19,11 \text{ m}$$

Cepat rambat gelombang :

$$C_0 = \frac{L_0}{T} = \frac{22,01}{3,76}$$

$$C_0 = 5,85 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{19,11}{3,76}$$

$$C = 5,08 \text{ m/d}$$

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_0} \sin \alpha^0, \text{ untuk } \alpha = 45^0$$

$$= \frac{5,08}{5,85} \sin 45^0$$

$$= 0,86$$

$$\alpha = 59,31^0$$

maka nilai Koefisien refraksi (Kr) adalah:

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos^0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{\cos 45^0}{\cos 59,31}}$$

$$Kr = 1,177$$

Tabel 38. Rekap nilai Kr

Bulan	Hi	Kr
Januari	2.25	0.931
Februari	1.60	0.865
Maret	1.00	0.880
April	1.00	0.880
Mei	0.65	0.897
Juni	0.25	0.970
Juli	0.45	0.923
Agustus	0.30	0.959
September	0.60	0.995
Oktober	0.30	0.959
November	0.30	0.959
Desember	0.35	1.177

Gelombang tinggi 2,25 m di bulan Januari menghasilkan Kr 0,931, sedangkan gelombang kecil 0,35 m di bulan Desember menghasilkan Kr tertinggi 1,177. Ini menunjukkan gelombang kecil lebih mudah mengalami refraksi dibanding gelombang besar.

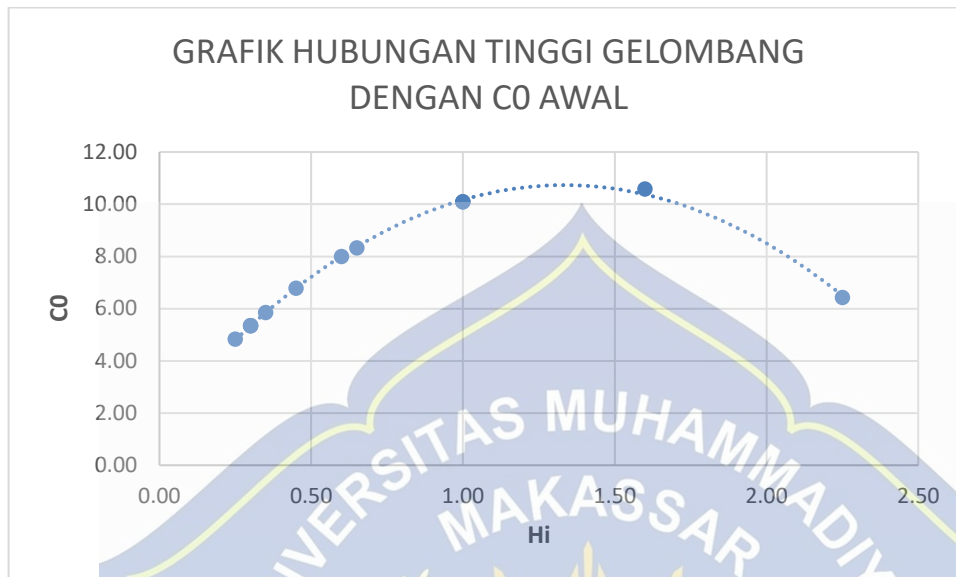
Tabel 39. Hasil Perhitungan Koefisien Refraksi

Bulan	α_0	d	H_i	T_o	L_o	d/L_o	d/L	L	C_o	C	$\sin \alpha$	K_r	α
Januari	45	4	2.25	4.13	26.59	0.1504	0.18338	21.81	6.43	5.28	0.58	0.931	35.45
Februari	45	4	1.60	6.59	67.81	0.0589	0.12329	32.44	10.58	4.92	0.33	0.865	19.26
Maret	45	4	1.00	6.48	65.41	0.0611	0.10538	37.98	10.09	5.86	0.41	0.880	24.20
April	45	4	1.00	6.48	65.41	0.0611	0.10538	37.98	10.09	5.86	0.41	0.880	24.20
Mei	45	4	0.65	5.35	44.59	0.0897	0.13139	30.44	8.33	5.68	0.48	0.897	28.68
Juni	45	4	0.25	3.10	14.98	0.2670	0.28274	14.14	4.83	4.56	0.66	0.970	41.29
Juli	45	4	0.45	4.35	29.52	0.1355	0.17085	23.41	6.78	5.38	0.56	0.923	34.05
Agustus	45	4	0.30	3.44	18.42	0.2171	0.23959	16.69	5.35	4.85	0.64	0.959	39.79
September	45	4	0.60	5.12	40.91	0.0977	0.13845	28.89	7.99	5.64	0.70	0.995	44.47
Oktober	45	4	0.30	3.44	18.42	0.2171	0.23959	16.69	5.35	4.85	0.64	0.959	39.79
November	45	4	0.30	3.44	18.42	0.2171	0.23959	16.69	5.35	4.85	0.64	0.959	39.79
Desember	45	4	0.35	3.76	22.01	0.1817	0.20925	19.11	5.85	5.08	0.86	1.177	59.31

**Gambar 27.** Grafik hubungan tinggi gelombang dengan koefisien refraksi

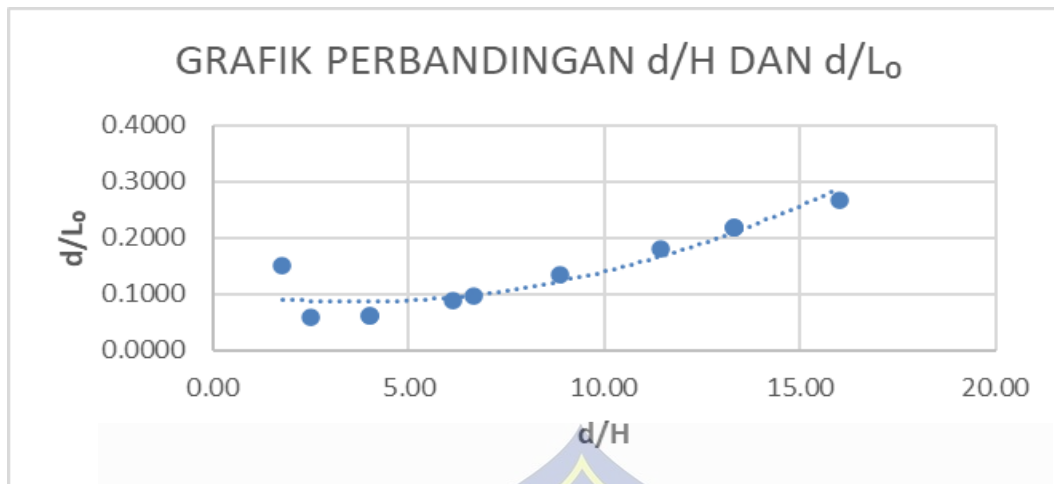
Berdasarkan grafik 27, terlihat bahwa hubungan antara tinggi gelombang (H_i) dan koefisien refraksi (K_r) tidak membentuk garis lurus, melainkan membentuk kurva. Saat tinggi gelombang bertambah, nilai K_r awalnya menurun, tetapi kemudian naik lagi saat gelombangnya semakin tinggi. Ini menunjukkan bahwa perubahan tinggi gelombang tidak selalu sebanding dengan perubahan K_r . Artinya, refraksi gelombang

tidak hanya dipengaruhi oleh tinggi gelombang saja, tapi juga bisa dipengaruhi oleh faktor lain seperti kedalaman laut atau bentuk dasar laut. Jadi, hubungan antara H_i dan K_r termasuk hubungan yang bersifat melengkung atau polinomial.



Gambar 28. Grafik hubungan tinggi gelombang dengan cepat rambat gelombang awal

Berdasarkan grafik hubungan antara tinggi gelombang (H_i) dan C_o awal, terlihat bahwa nilai C_o tidak meningkat secara terus-menerus seiring kenaikan H_i , melainkan membentuk pola melengkung. Nilai C_o awalnya naik dan mencapai puncaknya sebesar 10.58 saat H_i bernilai 1.60, kemudian menurun kembali saat H_i bertambah hingga 2.25. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara H_i dan C_o bukan bersifat linear, melainkan membentuk pola polinomial kuadrat (parabola terbalik), di mana C_o mengalami kenaikan sampai titik tertentu sebelum akhirnya menurun.



Gambar 29. Grafik perbandingan d/L_0 dengan d/H

Berdasarkan grafik perbandingan antara d/H dan d/L_0 , terlihat bahwa saat nilai d/H mencapai 16.00, nilai d/L_0 yang dihasilkan adalah 0.2670. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai d/H , maka d/L_0 juga cenderung ikut meningkat. Pola hubungan antar kedua variabel tidak membentuk garis lurus, melainkan membentuk kurva yang naik secara bertahap. Oleh karena itu, grafik ini termasuk grafik polinomial, bukan linear. Grafik ini dipilih karena mampu menggambarkan perubahan nilai yang tidak tetap antara d/H dan d/L_0 , sehingga mempermudah dalam memahami kecenderungan hubungan keduanya secara visual.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dalam penyelesaian persoalan yang sudah dirumuskan pada penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis data gelombang selama lima tahun (2019–2023), tinggi dan panjang gelombang di sekitar Pulau Gusung menunjukkan variasi yang dipengaruhi oleh musim angin. Gelombang tertinggi terjadi pada bulan Januari dengan ketinggian mencapai 2,25 meter dan panjang gelombang sekitar 26,59 meter. Pola ini mengindikasikan bahwa wilayah Pulau Gusung sangat dipengaruhi oleh gelombang laut dari arah barat dan barat daya, terutama saat musim angin barat berlangsung. Hal ini menunjukkan bahwa tinggi gelombang dan panjang gelombang memiliki peran penting dalam membentuk karakteristik gelombang di sekitar Pulau Gusung.
2. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tinggi gelombang berpengaruh terhadap nilai koefisien refraksi (K_r) di sekitar Pulau Gusung. Semakin tinggi gelombang, maka nilai koefisien refraksi juga cenderung menurun. Nilai K_r yang diperoleh selama periode penelitian berkisar antara 0,865 hingga 1,117 yang menunjukkan adanya perubahan arah penjalaran gelombang akibat variasi tinggi gelombang. Dengan kata lain, tinggi gelombang secara langsung memengaruhi seberapa besar pembelokan arah gelombang terjadi saat memasuki perairan dangkal di sekitar Pulau Gusung.

B. Saran

1. Diperlukan pemantauan secara rutin terhadap data tinggi dan arah gelombang di sekitar Pulau Gusung. Hal ini berguna untuk mengetahui pola perubahan gelombang yang dapat memengaruhi garis pantai, terutama saat musim angin barat yang dikenal memiliki gelombang tinggi.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengelolaan dan perencanaan wilayah pesisir, khususnya dalam pembangunan struktur pelindung pantai seperti breakwater atau revetment. Dengan mempertimbangkan koefisien refraksi, maka lokasi-lokasi yang rawan abrasi bisa lebih dilindungi.



DAFTAR PUSTAKA

- Asranda, A., I. Wahidin, N. T. Karim, H. Al Imran, and ... 2023. "Analisis Gelombang Refraksi Terhadap Pemecah Gelombang (Breakwater) Pantai Tamarunang Kabupaten Jeneponto." *Teknik* ... 16:10.
- Collins, Sean P., Alan Storrow, Dandan Liu, Cathy A. Jenkins, Karen F. Miller, Christy Kampe, and Javed Butler. 2021. "Analisis Peramalan Tinggi Gelombang Laut Menggunakan Metode Shore Protection Manual (Spm) Dan Darbyshire Di Pantai Pangali-Ali, Kabupaten Majene Sulawesi Barat."
- Dauhan, Stefani Kristie, H. Tawas, H. Tangkudung, and J. D. Mamoto. 2013. "Analisis Karakteristik Gelombang Pecah Terhadap." *Jurnal Sipil Statik* 1(12):784–96.
- Divanesia, Andi Muthia Ardelia. 2023. "Simulasi Hidrodinamika Arus Pasang Surut Di Teluk Palu Menggunakan Mike Zero."
- Gushaf, Yussufi Kurnia. 2015. *Prakiraan Laju Transpor Sedimen Pelabuhan Boom Banyuwangi Menggunakan Metode Gelombang Angin*.
- Habra, Ibnu Khaldun, M. Dika Ramadhana, Nenny T. Karim, Hamzah Al Imran, Sukmasari Antaria, Andi Rahmat, Pelabuhan Bonto, Jai Bantaeng Terletak Di Desa, Bonto Jai, Kecamatan Bissappu, Kabupaten Bantaeng, Provinsi Sulawesi, and Selatan Yang. 2024. "Analisis Gelombang Terhadap Struktur Bangunan Breakwater Pada Pelabuhan Bonto Jai Kabupaten Bantaeng." *Journal Teknik Hidro* 17(2):1–11.
- Harianja, Bryan Holy. 2018. "Studi Eksperimen Refleksi Gelombang Pada Artificial Hexareef Akibat Pengaruh Konfigurasi Horizontal." *Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember* 1–45.
- Industri, Kawasan, and Kendal Kik. 2024. "REDESIGN SHORE PROTECTION KAWASAN INDUSTRI KENDAL (KIK)." 1(April):25–33.
- Mo, Tugas Akhir, Analisa Redaman, Gelombang Pada, Struktur Floating, and Tito Biaperi. 2020. "Analisa Redaman Gelombang Pada Struktur Floating Breakwater Tipe Pontoon Menggunakan Software Flow 3d."
- Nu'man, Muhammad. 2023. "PEMODELAN GELOMBANG DI PERAIRAN TELUK LAMPUNG." *Aleph* 87(1,2):149–200.
- Pratama, Fahrizal Adijoga Setya. 2018. "Pemodelan Numerik Arus Dan Gelombang Untuk Menentukan Lokasi Akuakultur Di Teluk Prigi, Trenggalek Dengan Baik." *Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan* ,

Institut Teknologi Sepuluh November 81.

Septian Bagaskara. 2016. “Analisis Peramalan Gelombang Dengan Periode Ulang Di Perairan Selatan Propinsi Jawa Tengah Menggunakan Metode Weibull.”

Siregar. 2022. “Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai Revetment Pada Pantai Wisata Kuako Kecamatan Amahai - Kabupaten Maluku Tengah.” *MANUMATA* 8(8.5.2017):2003–5.

Wahyuni Sri. 2021. “Karakteristik Gelombang Melalui Dinding Pemusat Energi Pada Catchwater Shore Protection-Dual Slope (Csp-Ds) Model Zig Zag.”

Syamsuri, Andi Makbul, Fardiyansyah Yahya, and Muhammad Wijdan Maulana. 2024. “Analisis Abrasi Di Pantai Tanjung Merdeka Akibat Refraksi Gelombang.” 6(2):82–91.

Triatmodjo, Bambang. 1999. “Buku Teknik Pantai.” *Beta Offset* 1–405.



LAMPIRAN





**BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA
STASIUN METEOROLOGI MARITIM PAOTERE MAKASSAR**

Jln. Sabutung 1 No. 30 Makassar 90163

Telp : (0411) 3619242 Fax : (0411) 3628235

Email : stamar.paotere@bmkg.go.id, meteo_marptr@yahoo.co.id

Tahun	Bulan	Kecepatan Angin (knot)	Arah Angin (°)	Tinggi Gelombang (m)
2019	Jan	7.2	320	2.15
2019	Feb	2.7	330	1.00
2019	Mar	5.1	335	1.25
2019	Apr	0.9	110	0.60
2019	Mei	6.9	150	0.65
2019	Jun	9.1	140	0.75
2019	Jul	8.1	130	0.80
2019	Agu	9.4	140	0.85
2019	Sep	9.2	140	1.00
2019	Okt	9.4	150	0.85
2019	Nov	8.0	160	0.65
2019	Des	1.6	300	0.30
2020	Jan	6.4	310	1.50
2020	Feb	6.1	320	1.00
2020	Mar	2.6	330	0.65
2020	Apr	1.8	110	0.75
2020	Mei	4.8	130	0.60
2020	Jun	8.2	135	0.85
2020	Jul	9.3	135	0.80
2020	Agu	7.8	134	0.90
2020	Sep	8.9	140	0.95
2020	Okt	6.8	150	0.75
2020	Nov	2.3	150	0.75
2020	Des	5.8	310	1.30

Tahun	Bulan	Kecepatan Angin (knot)	Arah Angin (°)	Tinggi Gelombang (m)
2021	Jan	7.0	310	1.30
2021	Feb	6.4	310	1.25
2021	Mar	3.7	330	0.90
2021	Apr	2.8	180	1.60
2021	Mei	5.1	140	0.50
2021	Jun	3.8	130	0.50
2021	Jul	6.4	140	0.75
2021	Agu	6.2	140	0.85
2021	Sep	5.6	140	0.90
2021	Okt	7.8	160	0.80
2021	Nov	1.8	340	0.60
2021	Des	6.3	310	2.00
2022	Jan	8.2	309	1.50
2022	Feb	6.8	313	1.40
2022	Mar	3.1	340	0.70
2022	Apr	2.1	141	0.15
2022	Mei	2.4	126	0.45
2022	Jun	4.3	126	0.50
2022	Jul	6.9	131	0.65
2022	Agu	6.1	138	0.70
2022	Sep	8.2	148	0.75
2022	Okt	2.8	144	0.60
2022	Nov	1.6	343	0.60
2022	Des	4.6	350	0.30
2023	Jan	17.3	290	2.25
2023	Feb	15.4	290	1.60
2023	Mar	10.2	20	1.00
2023	Apr	9.7	310	1.00
2023	Mei	11.5	172	0.65
2023	Jun	6.2	102	0.25
2023	Jul	11.5	130	0.45
2023	Agu	9.8	130	0.30
2023	Sep	14.5	140	0.60
2023	Okt	7.6	115	0.30
2023	Nov	5.5	135	0.30
2023	Des	5.8	340	0.35

Tabel WIEGEL (SPM Vol. II, 1984)

LAMPIRAN 1

381

Tabel L-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.1500	0.18330	1.1517	0.8183	1.4238	1.7399	0.913	0.5748	2.3035	4.9544	5.054	0.7325
0.1510	0.18414	1.1570	0.8201	1.4329	1.7474	0.913	0.5723	2.3139	5.0077	5.107	0.7310
0.1520	0.18497	1.1622	0.8218	1.4421	1.7549	0.913	0.5698	2.3244	5.0615	5.159	0.7296
0.1530	0.18581	1.1675	0.8235	1.4513	1.7625	0.913	0.5674	2.3349	5.1158	5.213	0.7282
0.1540	0.18664	1.1727	0.8251	1.4606	1.7701	0.913	0.5649	2.3454	5.1707	5.267	0.7268
0.1550	0.18747	1.1779	0.8268	1.4699	1.7778	0.913	0.5625	2.3559	5.2262	5.321	0.7254
0.1560	0.18831	1.1832	0.8284	1.4792	1.7855	0.913	0.5601	2.3663	5.2822	5.376	0.7240
0.1570	0.18914	1.1884	0.8301	1.4886	1.7933	0.913	0.5576	2.3768	5.3388	5.432	0.7226
0.1580	0.18997	1.1936	0.8317	1.4980	1.8011	0.913	0.5552	2.3873	5.3960	5.488	0.7212
0.1590	0.19081	1.1989	0.8333	1.5074	1.8090	0.913	0.5528	2.3978	5.4538	5.545	0.7198
0.1600	0.19164	1.2041	0.8349	1.5169	1.8169	0.913	0.5504	2.4082	5.5122	5.602	0.7184
0.1610	0.19248	1.2094	0.8365	1.5265	1.8249	0.913	0.5480	2.4187	5.5712	5.660	0.7171
0.1620	0.19331	1.2146	0.8381	1.5360	1.8329	0.913	0.5456	2.4292	5.6308	5.719	0.7157
0.1630	0.19414	1.2198	0.8396	1.5457	1.8410	0.913	0.5432	2.4397	5.6910	5.778	0.7143
0.1640	0.19498	1.2251	0.8411	1.5553	1.8491	0.913	0.5408	2.4501	5.7519	5.838	0.7130
0.1650	0.19581	1.2303	0.8427	1.5650	1.8572	0.913	0.5384	2.4606	5.8133	5.899	0.7116
0.1660	0.19664	1.2355	0.8442	1.5748	1.8655	0.913	0.5361	2.4711	5.8755	5.960	0.7103
0.1670	0.19748	1.2408	0.8457	1.5846	1.8737	0.913	0.5337	2.4816	5.9383	6.022	0.7089
0.1680	0.19831	1.2460	0.8472	1.5944	1.8821	0.913	0.5313	2.4921	6.0017	6.084	0.7076
0.1690	0.19915	1.2513	0.8486	1.6043	1.8905	0.913	0.5290	2.5025	6.0658	6.148	0.7063
0.1700	0.19998	1.2565	0.8501	1.6143	1.8989	0.913	0.5266	2.5130	6.1306	6.212	0.7050
0.1710	0.20081	1.2618	0.8515	1.6242	1.9074	0.913	0.5243	2.5235	6.1961	6.276	0.7036
0.1720	0.20165	1.2670	0.8530	1.6343	1.9159	0.914	0.5219	2.5340	6.2622	6.342	0.7023
0.1730	0.20248	1.2722	0.8544	1.6443	1.9245	0.914	0.5196	2.5445	6.3291	6.408	0.7010
0.1740	0.20332	1.2775	0.8558	1.6544	1.9332	0.914	0.5173	2.5550	6.3967	6.474	0.6997
0.1750	0.20415	1.2827	0.8572	1.6646	1.9419	0.914	0.5150	2.5655	6.4650	6.542	0.6984
0.1760	0.20499	1.2880	0.8586	1.6748	1.9507	0.914	0.5126	2.5760	6.5340	6.610	0.6971
0.1770	0.20582	1.2932	0.8600	1.6851	1.9595	0.914	0.5103	2.5865	6.6038	6.679	0.6958
0.1780	0.20666	1.2985	0.8613	1.6954	1.9683	0.914	0.5080	2.5970	6.6743	6.749	0.6946
0.1790	0.20749	1.3037	0.8627	1.7057	1.9773	0.914	0.5058	2.6075	6.7454	6.819	0.6933

LAMPIRAN 1

377

Tabel L-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0300	0.07135	0.4483	0.4205	0.4635	1.1022	1.125	0.9073	0.8966	1.0217	1.430	0.9388
0.0310	0.07261	0.4562	0.4270	0.4722	1.1059	1.118	0.9043	0.9124	1.0444	1.446	0.9368
0.0320	0.07385	0.4640	0.4334	0.4808	1.1096	1.111	0.9012	0.9280	1.0671	1.462	0.9348
0.0330	0.07508	0.4717	0.4396	0.4894	1.1133	1.104	0.8982	0.9435	1.0898	1.479	0.9329
0.0340	0.07629	0.4793	0.4457	0.4979	1.1171	1.098	0.8952	0.9587	1.1124	1.496	0.9309
0.0350	0.07749	0.4869	0.4517	0.5063	1.1209	1.092	0.8922	0.9737	1.1351	1.513	0.9289
0.0360	0.07867	0.4943	0.4576	0.5147	1.1247	1.086	0.8891	0.9886	1.1577	1.530	0.9270
0.0370	0.07984	0.5017	0.4634	0.5230	1.1285	1.080	0.8861	1.0033	1.1803	1.547	0.9250
0.0380	0.08100	0.5090	0.4691	0.5312	1.1323	1.075	0.8831	1.0179	1.2030	1.564	0.9231
0.0390	0.08215	0.5162	0.4747	0.5394	1.1362	1.069	0.8801	1.0323	1.2257	1.582	0.9211
0.0400	0.08329	0.5233	0.4803	0.5475	1.1401	1.064	0.8771	1.0466	1.2485	1.600	0.9192
0.0410	0.08442	0.5304	0.4857	0.5556	1.1440	1.059	0.8741	1.0608	1.2713	1.617	0.9172
0.0420	0.08553	0.5374	0.4910	0.5637	1.1479	1.055	0.8711	1.0749	1.2941	1.635	0.9153
0.0430	0.08664	0.5444	0.4963	0.5717	1.1519	1.050	0.8682	1.0888	1.3170	1.654	0.9134
0.0440	0.08774	0.5513	0.5015	0.5796	1.1558	1.046	0.8652	1.1026	1.3400	1.672	0.9114
0.0450	0.08883	0.5581	0.5066	0.5876	1.1598	1.042	0.8622	1.1163	1.3630	1.690	0.9095
0.0460	0.08991	0.5649	0.5116	0.5955	1.1639	1.038	0.8592	1.1299	1.3861	1.709	0.9076
0.0470	0.09098	0.5717	0.5166	0.6033	1.1679	1.034	0.8562	1.1433	1.4092	1.728	0.9057
0.0480	0.09205	0.5784	0.5215	0.6111	1.1720	1.030	0.8533	1.1567	1.4325	1.747	0.9037
0.0490	0.09311	0.5850	0.5263	0.6189	1.1760	1.026	0.8503	1.1700	1.4558	1.766	0.9018
0.0500	0.09416	0.5916	0.5310	0.6267	1.1802	1.023	0.8473	1.1832	1.4792	1.786	0.8999
0.0510	0.09520	0.5981	0.5357	0.6345	1.1843	1.019	0.8444	1.1963	1.5028	1.805	0.8980
0.0520	0.09623	0.6047	0.5404	0.6422	1.1884	1.016	0.8414	1.2093	1.5264	1.825	0.8961
0.0530	0.09726	0.6111	0.5449	0.6499	1.1926	1.013	0.8385	1.2223	1.5501	1.845	0.8942
0.0540	0.09829	0.6176	0.5494	0.6576	1.1968	1.010	0.8355	1.2351	1.5740	1.865	0.8924
0.0550	0.09930	0.6239	0.5539	0.6652	1.2010	1.007	0.8326	1.2479	1.5979	1.885	0.8905
0.0560	0.10031	0.6303	0.5583	0.6729	1.2053	1.004	0.8297	1.2606	1.6220	1.905	0.8886
0.0570	0.10132	0.6366	0.5626	0.6805	1.2096	1.001	0.8267	1.2732	1.6462	1.926	0.8867
0.0580	0.10232	0.6429	0.5669	0.6881	1.2139	0.998	0.8238	1.2858	1.6705	1.947	0.8848
0.0590	0.10331	0.6491	0.5711	0.6957	1.2182	0.996	0.8209	1.2983	1.6950	1.968	0.8830

Tabel L-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_1	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0600	0.10430	0.6554	0.5753	0.7033	1.2225	0.993	0.8180	1.3107	1.7196	1.989	0.8811
0.0610	0.10529	0.6615	0.5794	0.7109	1.2269	0.991	0.8151	1.3231	1.7443	2.011	0.8793
0.0620	0.10627	0.6677	0.5835	0.7184	1.2313	0.988	0.8121	1.3354	1.7692	2.032	0.8774
0.0630	0.10724	0.6738	0.5875	0.7260	1.2357	0.986	0.8092	1.3476	1.7942	2.054	0.8755
0.0640	0.10821	0.6799	0.5915	0.7335	1.2402	0.984	0.8063	1.3598	1.8194	2.076	0.8737
0.0650	0.10918	0.6860	0.5954	0.7410	1.2446	0.981	0.8034	1.3719	1.8447	2.098	0.8719
0.0660	0.11014	0.6920	0.5993	0.7486	1.2491	0.979	0.8005	1.3840	1.8702	2.121	0.8700
0.0670	0.11109	0.6980	0.6031	0.7561	1.2537	0.977	0.7977	1.3960	1.8958	2.143	0.8682
0.0680	0.11205	0.7040	0.6069	0.7636	1.2582	0.975	0.7948	1.4080	1.9216	2.166	0.8664
0.0690	0.11300	0.7100	0.6107	0.7711	1.2628	0.973	0.7919	1.4199	1.9476	2.189	0.8645
0.0700	0.11394	0.7159	0.6144	0.7787	1.2674	0.971	0.7890	1.4318	1.9737	2.213	0.8627
0.0710	0.11488	0.7218	0.6180	0.7862	1.2720	0.969	0.7861	1.4437	2.0000	2.236	0.8609
0.0720	0.11582	0.7277	0.6217	0.7937	1.2767	0.968	0.7833	1.4554	2.0265	2.260	0.8591
0.0730	0.11675	0.7336	0.6253	0.8012	1.2814	0.966	0.7804	1.4672	2.0532	2.284	0.8573
0.0740	0.11769	0.7394	0.6288	0.8087	1.2861	0.964	0.7776	1.4789	2.0801	2.308	0.8555
0.0750	0.11861	0.7453	0.6323	0.8162	1.2908	0.962	0.7747	1.4905	2.1071	2.332	0.8537
0.0760	0.11954	0.7511	0.6358	0.8237	1.2956	0.961	0.7719	1.5022	2.1344	2.357	0.8519
0.0770	0.12046	0.7569	0.6392	0.8312	1.3004	0.959	0.7690	1.5138	2.1618	2.382	0.8501
0.0780	0.12138	0.7626	0.6426	0.8388	1.3052	0.958	0.7662	1.5253	2.1895	2.407	0.8483
0.0790	0.12229	0.7684	0.6460	0.8463	1.3100	0.956	0.7633	1.5368	2.2173	2.432	0.8465
0.0800	0.12321	0.7741	0.6493	0.8538	1.3149	0.955	0.7605	1.5483	2.2454	2.458	0.8448
0.0810	0.12412	0.7799	0.6526	0.8613	1.3198	0.953	0.7577	1.5597	2.2736	2.484	0.8430
0.0820	0.12503	0.7856	0.6559	0.8689	1.3247	0.952	0.7549	1.5711	2.3021	2.510	0.8412
0.0830	0.12593	0.7912	0.6591	0.8764	1.3297	0.951	0.7520	1.5825	2.3308	2.536	0.8395
0.0840	0.12683	0.7969	0.6623	0.8840	1.3347	0.949	0.7492	1.5938	2.3597	2.563	0.8377
0.0850	0.12773	0.8026	0.6655	0.8915	1.3397	0.948	0.7464	1.6051	2.3889	2.590	0.8360
0.0860	0.12863	0.8082	0.6686	0.8991	1.3448	0.947	0.7436	1.6164	2.4182	2.617	0.8342
0.0870	0.12953	0.8138	0.6717	0.9067	1.3499	0.946	0.7408	1.6277	2.4478	2.644	0.8325
0.0880	0.13042	0.8194	0.6748	0.9143	1.3550	0.944	0.7380	1.6389	2.4777	2.672	0.8307
0.0890	0.13131	0.8250	0.6778	0.9219	1.3601	0.943	0.7352	1.6501	2.5077	2.700	0.8290

LAMPIRAN 1

379

Tabel L-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_0	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0900	0.13220	0.8306	0.6808	0.9295	1.3653	0.942	0.7325	1.6613	2.5380	2.728	0.8273
0.0910	0.13309	0.8362	0.6838	0.9371	1.3705	0.941	0.7297	1.6724	2.5686	2.756	0.8255
0.0920	0.13397	0.8418	0.6867	0.9448	1.3757	0.940	0.7269	1.6835	2.5994	2.785	0.8238
0.0930	0.13485	0.8473	0.6897	0.9524	1.3810	0.939	0.7241	1.6946	2.6305	2.814	0.8221
0.0940	0.13573	0.8528	0.6926	0.9601	1.3863	0.938	0.7214	1.7057	2.6618	2.843	0.8204
0.0950	0.13661	0.8584	0.6954	0.9677	1.3916	0.937	0.7186	1.7167	2.6934	2.873	0.8187
0.0960	0.13749	0.8639	0.6983	0.9754	1.3969	0.936	0.7159	1.7278	2.7252	2.903	0.8170
0.0970	0.13837	0.8694	0.7011	0.9831	1.4023	0.935	0.7131	1.7388	2.7573	2.933	0.8153
0.0980	0.13924	0.8749	0.7038	0.9908	1.4077	0.934	0.7104	1.7498	2.7897	2.964	0.8136
0.0990	0.14011	0.8804	0.7066	0.9986	1.4132	0.934	0.7076	1.7607	2.8223	2.994	0.8119
0.1000	0.14098	0.8858	0.7093	1.0063	1.4187	0.933	0.7049	1.7717	2.8553	3.025	0.8102
0.1010	0.14185	0.8913	0.7120	1.0141	1.4242	0.932	0.7021	1.7826	2.8885	3.057	0.8086
0.1020	0.14272	0.8967	0.7147	1.0219	1.4298	0.931	0.6994	1.7935	2.9220	3.088	0.8069
0.1030	0.14358	0.9022	0.7174	1.0296	1.4353	0.930	0.6967	1.8043	2.9557	3.120	0.8052
0.1040	0.14445	0.9076	0.7200	1.0374	1.4409	0.930	0.6940	1.8152	2.9898	3.153	0.8036
0.1050	0.14531	0.9130	0.7226	1.0453	1.4466	0.929	0.6913	1.8261	3.0242	3.185	0.8019
0.1060	0.14618	0.9184	0.7252	1.0531	1.4523	0.928	0.6886	1.8369	3.0589	3.218	0.8003
0.1070	0.14704	0.9239	0.7277	1.0610	1.4580	0.928	0.6859	1.8477	3.0939	3.251	0.7986
0.1080	0.14790	0.9293	0.7302	1.0689	1.4637	0.927	0.6832	1.8585	3.1292	3.285	0.7970
0.1090	0.14875	0.9347	0.7328	1.0768	1.4695	0.926	0.6805	1.8693	3.1648	3.319	0.7953
0.1100	0.14961	0.9400	0.7352	1.0847	1.4753	0.926	0.6778	1.8801	3.2007	3.353	0.7937
0.1110	0.15047	0.9454	0.7377	1.0927	1.4812	0.925	0.6751	1.8908	3.2370	3.388	0.7921
0.1120	0.15132	0.9508	0.7401	1.1007	1.4871	0.924	0.6724	1.9016	3.2736	3.423	0.7904
0.1130	0.15218	0.9562	0.7426	1.1087	1.4930	0.924	0.6698	1.9123	3.3105	3.458	0.7888
0.1140	0.15303	0.9615	0.7450	1.1167	1.4990	0.923	0.6671	1.9230	3.3478	3.494	0.7872
0.1150	0.15388	0.9669	0.7473	1.1247	1.5050	0.923	0.6645	1.9338	3.3854	3.530	0.7856
0.1160	0.15473	0.9722	0.7497	1.1328	1.5110	0.922	0.6618	1.9444	3.4234	3.566	0.7840
0.1170	0.15558	0.9776	0.7520	1.1409	1.5171	0.922	0.6592	1.9551	3.4617	3.603	0.7824
0.1180	0.15643	0.9829	0.7543	1.1490	1.5232	0.921	0.6565	1.9658	3.5003	3.640	0.7808
0.1190	0.15728	0.9882	0.7566	1.1571	1.5294	0.921	0.6539	1.9765	3.5393	3.678	0.7792

Tabel L-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.2400	0.25922	1.6287	0.9259	2.4505	2.6467	0.929	0.3778	3.2574	12.972	13.01	0.6256
0.2410	0.26008	1.6341	0.9266	2.4649	2.6601	0.929	0.3759	3.2683	13.114	13.15	0.6246
0.2420	0.26094	1.6396	0.9274	2.4794	2.6735	0.930	0.3740	3.2791	13.257	13.30	0.6237
0.2430	0.26181	1.6450	0.9282	2.4940	2.6870	0.930	0.3722	3.2900	13.403	13.44	0.6227
0.2440	0.26267	1.6504	0.9289	2.5086	2.7006	0.930	0.3703	3.3009	13.550	13.59	0.6218
0.2450	0.26354	1.6559	0.9297	2.5234	2.7143	0.931	0.3684	3.3117	13.698	13.74	0.6209
0.2460	0.26441	1.6613	0.9304	2.5382	2.7281	0.931	0.3666	3.3226	13.849	13.89	0.6200
0.2470	0.26527	1.6668	0.9311	2.5531	2.7419	0.931	0.3647	3.3335	14.001	14.04	0.6190
0.2480	0.26614	1.6722	0.9318	2.5681	2.7559	0.932	0.3629	3.3444	14.155	14.19	0.6181
0.2490	0.26701	1.6777	0.9326	2.5831	2.7699	0.932	0.3610	3.3553	14.310	14.35	0.6172
0.2500	0.26788	1.6831	0.9333	2.5983	2.7841	0.932	0.3592	3.3663	14.468	14.50	0.6163
0.2510	0.26875	1.6886	0.9340	2.6135	2.7983	0.933	0.3574	3.3772	14.627	14.66	0.6154
0.2520	0.26962	1.6941	0.9347	2.6289	2.8127	0.933	0.3555	3.3881	14.788	14.82	0.6146
0.2530	0.27049	1.6995	0.9354	2.6443	2.8271	0.933	0.3537	3.3991	14.951	14.99	0.6137
0.2540	0.27136	1.7050	0.9360	2.6598	2.8416	0.934	0.3519	3.4100	15.116	15.15	0.6128
0.2550	0.27223	1.7105	0.9367	2.6754	2.8562	0.934	0.3501	3.4210	15.283	15.32	0.6119
0.2560	0.27311	1.7160	0.9374	2.6911	2.8709	0.934	0.3483	3.4319	15.452	15.48	0.6111
0.2570	0.27398	1.7215	0.9380	2.7069	2.8857	0.935	0.3465	3.4429	15.623	15.66	0.6102
0.2580	0.27485	1.7269	0.9387	2.7228	2.9006	0.935	0.3448	3.4539	15.796	15.83	0.6093
0.2590	0.27573	1.7324	0.9393	2.7388	2.9156	0.935	0.3430	3.4649	15.971	16.00	0.6085
0.2600	0.27660	1.7379	0.9400	2.7549	2.9308	0.936	0.3412	3.4759	16.148	16.18	0.6076
0.2610	0.27748	1.7434	0.9406	2.7710	2.9460	0.936	0.3394	3.4869	16.327	16.36	0.6068
0.2620	0.27835	1.7489	0.9413	2.7873	2.9612	0.936	0.3377	3.4979	16.508	16.54	0.6059
0.2630	0.27923	1.7545	0.9419	2.8036	2.9766	0.937	0.3359	3.5089	16.691	16.72	0.6051
0.2640	0.28011	1.7600	0.9425	2.8201	2.9921	0.937	0.3342	3.5199	16.876	16.91	0.6043
0.2650	0.28099	1.7655	0.9431	2.8366	3.0078	0.937	0.3325	3.5310	17.064	17.09	0.6035
0.2660	0.28186	1.7710	0.9437	2.8533	3.0235	0.938	0.3307	3.5420	17.254	17.28	0.6026
0.2670	0.28274	1.7765	0.9443	2.8701	3.0393	0.938	0.3290	3.5531	17.446	17.47	0.6018
0.2680	0.28362	1.7821	0.9449	2.8869	3.0552	0.938	0.3273	3.5641	17.640	17.67	0.6010
0.2690	0.28450	1.7876	0.9455	2.9039	3.0712	0.939	0.3256	3.5752	17.837	17.87	0.6002

Tabel L-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.1200	0.15813	0.9936	0.7589	1.1653	1.5355	0.920	0.6512	1.9871	3.5787	3.716	0.7776
0.1210	0.15898	0.9989	0.7611	1.1735	1.5418	0.920	0.6486	1.9978	3.6185	3.754	0.7761
0.1220	0.15982	1.0042	0.7634	1.1817	1.5480	0.920	0.6460	2.0084	3.6586	3.793	0.7745
0.1230	0.16067	1.0095	0.7656	1.1899	1.5543	0.919	0.6434	2.0190	3.6991	3.832	0.7729
0.1240	0.16151	1.0148	0.7677	1.1982	1.5607	0.919	0.6408	2.0296	3.7400	3.871	0.7713
0.1250	0.16236	1.0201	0.7699	1.2065	1.5670	0.918	0.6381	2.0402	3.7812	3.911	0.7698
0.1260	0.16320	1.0254	0.7721	1.2148	1.5735	0.918	0.6355	2.0508	3.8229	3.952	0.7682
0.1270	0.16404	1.0307	0.7742	1.2232	1.5799	0.918	0.6329	2.0614	3.8650	3.992	0.7667
0.1280	0.16489	1.0360	0.7763	1.2315	1.5864	0.917	0.6304	2.0720	3.9074	4.033	0.7651
0.1290	0.16573	1.0413	0.7784	1.2399	1.5929	0.917	0.6278	2.0826	3.9503	4.075	0.7636
0.1300	0.16657	1.0466	0.7805	1.2484	1.5995	0.917	0.6252	2.0932	3.9936	4.117	0.7621
0.1310	0.16741	1.0519	0.7825	1.2568	1.6061	0.917	0.6226	2.1037	4.0373	4.159	0.7605
0.1320	0.16825	1.0571	0.7846	1.2653	1.6128	0.916	0.6200	2.1143	4.0814	4.202	0.7590
0.1330	0.16909	1.0624	0.7866	1.2739	1.6195	0.916	0.6175	2.1248	4.1260	4.245	0.7575
0.1340	0.16993	1.0677	0.7886	1.2824	1.6262	0.916	0.6149	2.1354	4.1710	4.289	0.7560
0.1350	0.17077	1.0729	0.7906	1.2910	1.6330	0.916	0.6124	2.1459	4.2164	4.333	0.7545
0.1360	0.17160	1.0782	0.7925	1.2996	1.6398	0.915	0.6098	2.1564	4.2623	4.378	0.7530
0.1370	0.17244	1.0835	0.7945	1.3083	1.6467	0.915	0.6073	2.1670	4.3086	4.423	0.7515
0.1380	0.17328	1.0887	0.7964	1.3169	1.6536	0.915	0.6047	2.1775	4.3554	4.469	0.7500
0.1390	0.17412	1.0940	0.7983	1.3257	1.6605	0.915	0.6022	2.1880	4.4026	4.515	0.7485
0.1400	0.17495	1.0993	0.8002	1.3344	1.6675	0.915	0.5997	2.1985	4.4503	4.561	0.7470
0.1410	0.17579	1.1045	0.8021	1.3432	1.6746	0.914	0.5972	2.2090	4.4985	4.608	0.7455
0.1420	0.17662	1.1098	0.8040	1.3520	1.6816	0.914	0.5947	2.2195	4.5472	4.656	0.7441
0.1430	0.17746	1.1150	0.8058	1.3609	1.6888	0.914	0.5922	2.2300	4.5963	4.704	0.7426
0.1440	0.17830	1.1203	0.8077	1.3697	1.6959	0.914	0.5896	2.2405	4.6459	4.752	0.7411
0.1450	0.17913	1.1255	0.8095	1.3787	1.7031	0.914	0.5872	2.2510	4.6961	4.801	0.7397
0.1460	0.17997	1.1308	0.8113	1.3876	1.7104	0.914	0.5847	2.2615	4.7467	4.851	0.7382
0.1470	0.18080	1.1360	0.8131	1.3966	1.7177	0.914	0.5822	2.2720	4.7979	4.901	0.7368
0.1480	0.18164	1.1412	0.8148	1.4056	1.7250	0.914	0.5797	2.2825	4.8495	4.952	0.7353
0.1490	0.18247	1.1465	0.8166	1.4147	1.7324	0.913	0.5772	2.2930	4.9017	5.003	0.7339

LAMPIRAN 1

383

Tabel L-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.2100	0.23357	1.4675	0.8991	2.0540	2.2845	0.920	0.4377	2.9351	9.3850	9.438	0.6564
0.2110	0.23441	1.4729	0.9001	2.0662	2.2955	0.921	0.4356	2.9457	9.4861	9.539	0.6553
0.2120	0.23526	1.4782	0.9011	2.0785	2.3065	0.921	0.4336	2.9564	9.5882	9.640	0.6542
0.2130	0.23611	1.4835	0.9021	2.0908	2.3177	0.921	0.4315	2.9671	9.6916	9.743	0.6531
0.2140	0.23696	1.4889	0.9031	2.1032	2.3288	0.921	0.4294	2.9777	9.7961	9.847	0.6520
0.2150	0.23781	1.4942	0.9041	2.1157	2.3401	0.922	0.4273	2.9884	9.9017	9.952	0.6509
0.2160	0.23866	1.4995	0.9051	2.1282	2.3514	0.922	0.4253	2.9991	10.009	10.06	0.6498
0.2170	0.23951	1.5049	0.9060	2.1408	2.3628	0.922	0.4232	3.0098	10.117	10.17	0.6488
0.2180	0.24036	1.5102	0.9070	2.1535	2.3743	0.923	0.4212	3.0205	10.226	10.28	0.6477
0.2190	0.24121	1.5156	0.9079	2.1662	2.3859	0.923	0.4191	3.0312	10.337	10.39	0.6466
0.2200	0.24206	1.5209	0.9089	2.1790	2.3975	0.923	0.4171	3.0419	10.448	10.50	0.6456
0.2210	0.24292	1.5263	0.9098	2.1919	2.4092	0.923	0.4151	3.0526	10.561	10.61	0.6445
0.2220	0.24377	1.5316	0.9107	2.2048	2.4210	0.924	0.4131	3.0633	10.676	10.72	0.6435
0.2230	0.24462	1.5370	0.9116	2.2178	2.4328	0.924	0.4110	3.0740	10.791	10.84	0.6424
0.2240	0.24548	1.5424	0.9125	2.2309	2.4448	0.924	0.4090	3.0847	10.908	10.95	0.6414
0.2250	0.24633	1.5477	0.9134	2.2441	2.4568	0.925	0.4070	3.0955	11.026	11.07	0.6404
0.2260	0.24719	1.5531	0.9143	2.2573	2.4689	0.925	0.4050	3.1062	11.146	11.19	0.6393
0.2270	0.24804	1.5585	0.9152	2.2706	2.4811	0.925	0.4031	3.1170	11.267	11.31	0.6383
0.2280	0.24890	1.5639	0.9160	2.2840	2.4933	0.925	0.4011	3.1277	11.389	11.43	0.6373
0.2290	0.24975	1.5693	0.9169	2.2974	2.5056	0.926	0.3991	3.1385	11.513	11.56	0.6363
0.2300	0.25061	1.5746	0.9178	2.3110	2.5180	0.926	0.3971	3.1493	11.638	11.68	0.6353
0.2310	0.25147	1.5800	0.9186	2.3246	2.5305	0.926	0.3952	3.1601	11.765	11.81	0.6343
0.2320	0.25233	1.5854	0.9194	2.3383	2.5431	0.927	0.3932	3.1709	11.893	11.94	0.6333
0.2330	0.25319	1.5908	0.9203	2.3520	2.5558	0.927	0.3913	3.1816	12.022	12.06	0.6323
0.2340	0.25405	1.5962	0.9211	2.3659	2.5685	0.927	0.3893	3.1924	12.153	12.20	0.6313
0.2350	0.25491	1.6016	0.9219	2.3798	2.5813	0.928	0.3874	3.2033	12.286	12.33	0.6304
0.2360	0.25577	1.6070	0.9227	2.3938	2.5942	0.928	0.3855	3.2141	12.420	12.46	0.6294
0.2370	0.25663	1.6124	0.9235	2.4078	2.6072	0.928	0.3835	3.2249	12.556	12.60	0.6284
0.2380	0.25749	1.6179	0.9243	2.4220	2.6203	0.928	0.3816	3.2357	12.693	12.73	0.6275
0.2390	0.25835	1.6233	0.9251	2.4362	2.6335	0.929	0.3797	3.2466	12.831	12.87	0.6265

LAMPIRAN 1

379

Tabel L-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_0	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0900	0.13220	0.8306	0.6808	0.9295	1.3653	0.942	0.7325	1.6613	2.5380	2.728	0.8273
0.0910	0.13309	0.8362	0.6838	0.9371	1.3705	0.941	0.7297	1.6724	2.5686	2.756	0.8255
0.0920	0.13397	0.8418	0.6867	0.9448	1.3757	0.940	0.7269	1.6835	2.5994	2.785	0.8238
0.0930	0.13485	0.8473	0.6897	0.9524	1.3810	0.939	0.7241	1.6946	2.6305	2.814	0.8221
0.0940	0.13573	0.8528	0.6926	0.9601	1.3863	0.938	0.7214	1.7057	2.6618	2.843	0.8204
0.0950	0.13661	0.8584	0.6954	0.9677	1.3916	0.937	0.7186	1.7167	2.6934	2.873	0.8187
0.0960	0.13749	0.8639	0.6983	0.9754	1.3969	0.936	0.7159	1.7278	2.7252	2.903	0.8170
0.0970	0.13837	0.8694	0.7011	0.9831	1.4023	0.935	0.7131	1.7388	2.7573	2.933	0.8153
0.0980	0.13924	0.8749	0.7038	0.9908	1.4077	0.934	0.7104	1.7498	2.7897	2.964	0.8136
0.0990	0.14011	0.8804	0.7066	0.9986	1.4132	0.934	0.7076	1.7607	2.8223	2.994	0.8119
0.1000	0.14098	0.8858	0.7093	1.0063	1.4187	0.933	0.7049	1.7717	2.8553	3.025	0.8102
0.1010	0.14185	0.8913	0.7120	1.0141	1.4242	0.932	0.7021	1.7826	2.8885	3.057	0.8086
0.1020	0.14272	0.8967	0.7147	1.0219	1.4298	0.931	0.6994	1.7935	2.9220	3.088	0.8069
0.1030	0.14358	0.9022	0.7174	1.0296	1.4353	0.930	0.6967	1.8043	2.9557	3.120	0.8052
0.1040	0.14445	0.9076	0.7200	1.0374	1.4409	0.930	0.6940	1.8152	2.9898	3.153	0.8036
0.1050	0.14531	0.9130	0.7226	1.0453	1.4466	0.929	0.6913	1.8261	3.0242	3.185	0.8019
0.1060	0.14618	0.9184	0.7252	1.0531	1.4523	0.928	0.6886	1.8369	3.0589	3.218	0.8003
0.1070	0.14704	0.9239	0.7277	1.0610	1.4580	0.928	0.6859	1.8477	3.0939	3.251	0.7986
0.1080	0.14790	0.9293	0.7302	1.0689	1.4637	0.927	0.6832	1.8585	3.1292	3.285	0.7970
0.1090	0.14875	0.9347	0.7328	1.0768	1.4695	0.926	0.6805	1.8693	3.1648	3.319	0.7953
0.1100	0.14961	0.9400	0.7352	1.0847	1.4753	0.926	0.6778	1.8801	3.2007	3.353	0.7937
0.1110	0.15047	0.9454	0.7377	1.0927	1.4812	0.925	0.6751	1.8908	3.2370	3.388	0.7921
0.1120	0.15132	0.9508	0.7401	1.1007	1.4871	0.924	0.6724	1.9016	3.2736	3.423	0.7904
0.1130	0.15218	0.9562	0.7426	1.1087	1.4930	0.924	0.6698	1.9123	3.3105	3.458	0.7888
0.1140	0.15303	0.9615	0.7450	1.1167	1.4990	0.923	0.6671	1.9230	3.3478	3.494	0.7872
0.1150	0.15388	0.9669	0.7473	1.1247	1.5050	0.923	0.6645	1.9338	3.3854	3.530	0.7856
0.1160	0.15473	0.9722	0.7497	1.1328	1.5110	0.922	0.6618	1.9444	3.4234	3.566	0.7840
0.1170	0.15558	0.9776	0.7520	1.1409	1.5171	0.922	0.6592	1.9551	3.4617	3.603	0.7824
0.1180	0.15643	0.9829	0.7543	1.1490	1.5232	0.921	0.6565	1.9658	3.5003	3.640	0.7808
0.1190	0.15728	0.9882	0.7566	1.1571	1.5294	0.921	0.6539	1.9765	3.5393	3.678	0.7792

Tabel L-1. Lanjutan

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2\pi d}{L}$	$\tanh \frac{2\pi d}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d}{L}$	K_s	K	$\frac{4\pi d}{L}$	$\sinh \frac{4\pi d}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d}{L}$	n
0.0600	0.10430	0.6554	0.5753	0.7033	1.2225	0.993	0.8180	1.3107	1.7196	1.989	0.8811
0.0610	0.10529	0.6615	0.5794	0.7109	1.2269	0.991	0.8151	1.3231	1.7443	2.011	0.8793
0.0620	0.10627	0.6677	0.5835	0.7184	1.2313	0.988	0.8121	1.3354	1.7692	2.032	0.8774
0.0630	0.10724	0.6738	0.5875	0.7260	1.2357	0.986	0.8092	1.3476	1.7942	2.054	0.8755
0.0640	0.10821	0.6799	0.5915	0.7335	1.2402	0.984	0.8063	1.3598	1.8194	2.076	0.8737
0.0650	0.10918	0.6860	0.5954	0.7410	1.2446	0.981	0.8034	1.3719	1.8447	2.098	0.8719
0.0660	0.11014	0.6920	0.5993	0.7486	1.2491	0.979	0.8005	1.3840	1.8702	2.121	0.8700
0.0670	0.11109	0.6980	0.6031	0.7561	1.2537	0.977	0.7977	1.3960	1.8958	2.143	0.8682
0.0680	0.11205	0.7040	0.6069	0.7636	1.2582	0.975	0.7948	1.4080	1.9216	2.166	0.8664
0.0690	0.11300	0.7100	0.6107	0.7711	1.2628	0.973	0.7919	1.4199	1.9476	2.189	0.8645
0.0700	0.11394	0.7159	0.6144	0.7787	1.2674	0.971	0.7890	1.4318	1.9737	2.213	0.8627
0.0710	0.11488	0.7218	0.6180	0.7862	1.2720	0.969	0.7861	1.4437	2.0000	2.236	0.8609
0.0720	0.11582	0.7277	0.6217	0.7937	1.2767	0.968	0.7833	1.4554	2.0265	2.260	0.8591
0.0730	0.11675	0.7336	0.6253	0.8012	1.2814	0.966	0.7804	1.4672	2.0532	2.284	0.8573
0.0740	0.11769	0.7394	0.6288	0.8087	1.2861	0.964	0.7776	1.4789	2.0801	2.308	0.8555
0.0750	0.11861	0.7453	0.6323	0.8162	1.2908	0.962	0.7747	1.4905	2.1071	2.332	0.8537
0.0760	0.11954	0.7511	0.6358	0.8237	1.2956	0.961	0.7719	1.5022	2.1344	2.357	0.8519
0.0770	0.12046	0.7569	0.6392	0.8312	1.3004	0.959	0.7690	1.5138	2.1618	2.382	0.8501
0.0780	0.12138	0.7626	0.6426	0.8388	1.3052	0.958	0.7662	1.5253	2.1895	2.407	0.8483
0.0790	0.12229	0.7684	0.6460	0.8463	1.3100	0.956	0.7633	1.5368	2.2173	2.432	0.8465
0.0800	0.12321	0.7741	0.6493	0.8538	1.3149	0.955	0.7605	1.5483	2.2454	2.458	0.8448
0.0810	0.12412	0.7799	0.6526	0.8613	1.3198	0.953	0.7577	1.5597	2.2736	2.484	0.8430
0.0820	0.12503	0.7856	0.6559	0.8689	1.3247	0.952	0.7549	1.5711	2.3021	2.510	0.8412
0.0830	0.12593	0.7912	0.6591	0.8764	1.3297	0.951	0.7520	1.5825	2.3308	2.536	0.8395
0.0840	0.12683	0.7969	0.6623	0.8840	1.3347	0.949	0.7492	1.5938	2.3597	2.563	0.8377
0.0850	0.12773	0.8026	0.6655	0.8915	1.3397	0.948	0.7464	1.6051	2.3889	2.590	0.8360
0.0860	0.12863	0.8082	0.6686	0.8991	1.3448	0.947	0.7436	1.6164	2.4182	2.617	0.8342
0.0870	0.12953	0.8138	0.6717	0.9067	1.3499	0.946	0.7408	1.6277	2.4478	2.644	0.8325
0.0880	0.13042	0.8194	0.6748	0.9143	1.3550	0.944	0.7380	1.6389	2.4777	2.672	0.8307
0.0890	0.13131	0.8250	0.6778	0.9219	1.3601	0.943	0.7352	1.6501	2.5077	2.700	0.8290

The logo of Universitas Muhammadiyah Makassar is a blue shield-shaped emblem. It features a central yellow sunburst with Arabic calligraphy. The text "UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH" is arched across the top, and "MAKASSAR" is in the center. At the bottom, it says "UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN".

DOKUMENTASI KONDISI LOKASI PENELITIAN



Lokasi titik pengamatan atau arah Refraksi



Arah datang gelombang dari barat laut



Kondisi breakwater rusak di sisi timur Pulau Gusung



**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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

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

Nama : Sariana

Nim : 105811100221

Program Studi : Teknik Sipil

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	10 %	10 %
2	Bab 2	14 %	25 %
3	Bab 3	8 %	15 %
4	Bab 4	10 %	10 %
5	Bab 5	3 %	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, 15 Agustus 2025

Mengetahui

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,


Nurisrah S. Lulu, M.I.P
NBM. 964 591