

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR *BREAKWATER*
TERHADAP TRANSFORMASI GELOMBANG
(Studi Kasus: Jalan Kawasan Lingkar
Ulee Lheue Gampong Jawa,
Kota Banda Aceh)**

TUGAS AKHIR

Untuk Memenuhi Sebagian dari Syarat-syarat
yang Diperlukan untuk Memperoleh
Ijazah Sarjana Teknik

Oleh:

M. ILHAM
NIM: 2003120106



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH ACEH
BATOH - BANDA ACEH
2025**

LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS

Tugas Akhir dengan judul “Evaluasi Kinerja Struktur *Breakwater* Terhadap Transformasi Gelombang (Studi Kasus: Jalan Kawasan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda Aceh)”, disusun oleh:

Nama Mahasiswa : M. Ilham
NIM : 2003120106
Program Studi : Teknik Sipil

Diajukan untuk memenuhi sebagian dari syarat-syarat yang diperlukan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh, telah lulus pada tanggal 15 Agustus 2025.

Banda Aceh, 15 Agustus 2025

Disetujui Oleh,

Pembimbing,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Akmal, ST, M.Eng, IPM

Ir. Mahmudah, ST, M.Eng, IPM,
ASEAN Eng

NIDN. 1308068301

NIK. 19790420 200405 2 001

Menyetujui/Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh

Prof. Dr. Ir. Hafnidar A. Rani, SP, MM, IPU, ASEAN Eng, ACPE, APEC Eng

NIK. 19700314 200004 2 001

LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI

“Evaluasi Kinerja Struktur *Breakwater* Terhadap Transformasi Gelombang (Studi Kasus: Jalan Kawasan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda Aceh)”

Disusun oleh

Nama Mahasiswa : M. Ilham
NIM : 2003120106
Program Studi : Teknik Sipil

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata-1 (S-1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh.

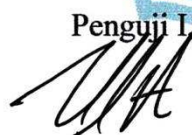
Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui oleh Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji untuk disahkan.

Banda Aceh, 15 Agustus 2025

Pembimbing,


Akmal, ST, M.Eng, IPM
NIDN. 1308068301

Penguji I,


Yulia, ST, MT, IPM
NIDN. 1319078601

Penguji II,


Riki Hidayat, ST, MT, IPM
NIDN. 1301118604

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil


Ir. Maimunah, ST, M.Eng, IPM, ASEAN Eng
NIDN. 19790420 200405 2 001

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini ;

Nama : M.Ilham

NIM : 2003120106

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Di dalam tugas akhir saya tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari tugas akhir/skripsi, tesis, disertasi, buku, atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan.
2. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya atau pendapat yang pernah saya tulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri.
3. Apabila ternyata terdapat tugas akhir saya bagian – bagian yang memenuhi unsur penjiplakan, maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan atau seluruhnya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Batoh, 15 Agustus 2025

Saya yang membuat pernyataan,

M. Ilham

NPM. 2003120106

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran ALLAH SWT, yang melimpahkan karunia-Nya sehingga penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan pada waktunya.

Tugas akhir ini berjudul “Evaluasi Kinerja Struktur Breakwater Terhadap Transformasi Gelombang (Studi Kasus: Jalan Kawasan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda Aceh)”, ditulis dalam rangka melengkapi dan memenuhi salah satu syarat yang diperlukan untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Sarjana Teknik Sipil pada Universitas Muhammadiyah Aceh.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tugas akhir ini, penulis telah memperoleh bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak terutama pembimbing. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada pembimbing saya Bapak Akmal, ST, M. Eng, IPM.

Selanjutnya, pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Hafnidar A. Rani, ST, MM, IPU, ASEAN Eng, ACPE, APEC Eng Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh.
2. Ir. Maimunah, ST, M.Eng, IPM, ASEAN Eng. Selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Aceh.
3. Ibu Yulia, ST, MT, IPM selaku penguji I dan Bapak Rifki Hidayat, ST, MT, IPM selaku penguji II, yang telah memberikan banyak masukan dan saran dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng, Sc, IPM, ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing akademik.
5. Tenaga pengajar pada Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Aceh.
6. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua saya, Bapak M. Sayuthi dan Ibu Nurdini, serta kepada adik saya, Hafizhatun Nufus. Tanpa kasih sayang dan dorongan yang tiada henti dari mereka, saya tidak

akan mampu mencapai titik ini. Terima kasih telah menjadi inspirasi terbesar dalam hidup saya, memberikan semangat di saat-saat sulit, dan selalu percaya pada kemampuan saya.

7. Ucapan terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada Ananta Fairush Savina atas kebersamaan, dukungan, dan motivasi yang diberikan selama proses penulisan tugas akhir ini.
8. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada seluruh rekan-rekan Grup NTR (Atha Qadr Marendra, Alfis Nur Ramadhan, Alfi Syahrin, Haykal Vitra Arrazi, Ilham Aksal, Muhammad Fajar, Muhammad Rizky Rahmadi, Muhammad Althaf Ashari, Muhammad Fauzun, Muhammad Fauzan, Muhammad Farhan, Nauval Annas, Rizki Kurniawan, Rahmat Hidayatullah) yang telah membantu dan memberikan semangat untuk menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan mahasiswa/i pada Prodi Teknik Sipil yang telah banyak membantu penulis hingga selesainya penulisan.

Akhirnya kepada ALLAH SWT jugalah penulis berserah diri dan berharap semoga tulisan ini dapat berguna bagi pembaca, Aamiin.

Batoh, 15 Agustus 2025
Penulis

M. Ilham
NPM. 2003120106

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR BREAKWATER
TERHADAP TRANSFORMASI GELOMBANG
(Studi Kasus: Jalan Kawasan Lingkar
Ulee Lheue Gampong Jawa,
Kota Banda Aceh)**

Oleh:

M. Ilham
2003120106

Pembimbing:

Akmal, ST., M.Eng, IPM

ABSTRAK

Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda Aceh merupakan salah satu jalur transportasi utama yang digunakan oleh masyarakat secara rutin setiap harinya. Jalan ini mengalami kerusakan akibat transformasi gelombang laut yang melewati struktur breakwater. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menganalisis efektivitas kinerja breakwater dalam meredam transformasi gelombang dan penentuan mengenai penambahan ketinggian terhadap breakwater yang diperlukan guna meningkatkan keamanan jalan. Penelitian ini dimulai dengan survei lapangan, pengumpulan, pengolahan, serta analisis data distribusi kecepatan arah angin dan konversi kecepatan angin kedalam Wind Rose menggunakan bantuan software Wind Rose Plot View, menghitung fetch efektif, analisis transformasi gelombang untuk menentukan tinggi gelombang, periode gelombang, tinggi dan kedalaman gelombang pecah, analisis perencanaan dimensi breakwater. Berdasarkan hasil perhitungan metode hudson, distribusi arah angin dominan tenggara sebesar 1,0 %, panjang fetch 80,27 km, faktor tegangan angin didapat 11,14 m/det. Hasil perhitungan transformasi gelombang didapatkan panjang gelombang laut dalam 59,96 m, kecepatan rambat gelombang 9,6 m/det, tinggi gelombang rencana 1,55 dan kedalaman gelombang pecah 1,96 m. Hasil perhitungan perencanaan dimensi breakwater didapat tinggi elevasi tinggi breakwater 4,31 m, lebar puncak breakwater 2,46 m, berat lapis pelindung satu 946,207 kg, berat lapis pelindung dua 94,62 kg, berat lapis pelindung tiga 4,73 kg, dan jumlah butir setiap 10 m² untuk lapis pelindung satu 29 buah, lapis pelindung dua 132 buah, dan lapis pelindung tiga 973 buah. Dari hasil penelitian, faktor erosi disebabkan oleh pasang surut, gelombang tinggi dan angin kencang yang meningkatkan energi gelombang sehingga diperlukan penambahan ketinggian menjadi 4,31 m, dan lebar puncak 2,46 m.

Kata Kunci: Breakwater, Kecepatan Angin, Pasang surut, Transformasi Gelombang.

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGESAHAN FAKULTAS	ii
PENGESAHAN PROGRAM STUDI.....	iii
PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN A	xiv
DAFTAR LAMPIRAN B	xv
DAFTAR LAMPIRAN C	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN.....	4
2.1 Pantai	4
2.2 Erosi Pantai.....	4
2.3 Angin	5
2.4 Fetch	7
2.5 Peta Batimetri	8
2.6 Gelombang	9
2.7 Tranformasi Gelombang	9
2.7.1 Proses Refraksi	10
2.7.2 Gelombang Pecah	13
2.8 Pasang Surut Gelombang.....	14
2.9 Wave Run-Up dan Over Topping.....	15
2.10 Bangunan Pengaman Pantai.....	16

2.11 Breakwater (Pemecah Gelombang).....	17
2.11.1 Tipe Struktur Breakwater	18
2.11.2 Jenis-Jenis Breakwater	19
2.11.3 Berat Butir Batu Pelindung.....	20
2.11.4 Penentuan Elevasi Puncak	22
2.11.5 Lebar Puncak	22
2.11.6 Tebal Lapisan Bata Pelindung Dan Jumlah Batu Pelindung	23
2.12 Penelitian Terdahulu.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Lokasi Penelitian.....	27
3.2 Persiapan Pendahuluan	27
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	27
3.3.1 Data Primer	28
3.3.2 Data Sekunder	28
3.4 Metode Pengolahan Data.....	29
3.4.1 Pengolahan Data Angin.....	29
3.4.2 Pengolahan Data Gelombang.....	29
3.4.3 Pengolahan Data Pasang Surut	29
3.4.4 Pengolahan Data Dimensi Bangunan Breakwater Eksisting	30
3.5 Metode Analisis Data.....	30
3.5.1 Analisis Data Angin.....	30
3.5.2 Analisis Data Gelombang.....	30
3.5.3 Analisis Data Pasang Surut	31
3.5.4 Analisis Data Perencanaan Dimensi Bangunan.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Hasil	32
4.1.1 Hasil Analisis Kecepatan Dan Arah Angin	32

4.1.2	Fetch.....	33
4.1.3	Tinggi dan Periode Gelombang	35
4.1.4	Cepat Rambat Gelombang Di Laut Dalam, Panjang Gelombang	35
4.1.5	Pasang Surut dan Run Up Gelombang.....	36
4.1.6	Dimensi Bangunan.....	36
4.2	Pembahasan	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		40
5.1	Kesimpulan.....	40
5.2	Saran.....	41
DAFTAR KEPUSTAKAAN		42



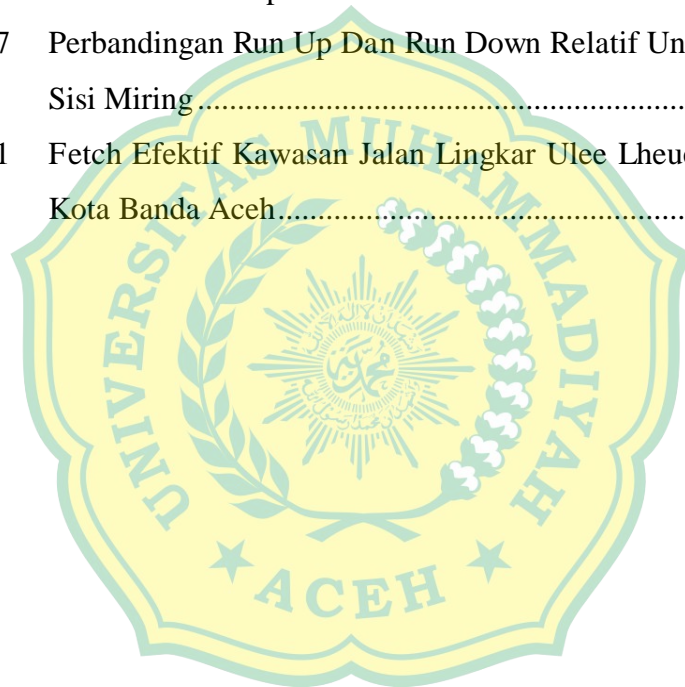
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	24
Tabel 4.1 Tabel Perhitungan Fetch Rerata Efektif	34



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Contoh Fetch	8
Gambar 2.2 Proses Refraksi Gelombang	10
Gambar 2.3 Grafik Run Up Gelombang.....	15
Gambar 2.4 Breakwater Sisi Miring	18
Gambar 2.5 Breakwater Sisi Tegak	19
Gambar 2.6 Breakwater Campuran.....	19
Gambar 2.7 Perbandingan Run Up Dan Run Down Relatif Untuk Berbagai Tipe Sisi Miring.....	21
Gambar 4.1 Fetch Efektif Kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda Aceh.....	33



DAFTAR LAMPIRAN GAMBAR

LAMPIRAN A	Halaman
Gambar A.1.1 Bagan Alir.....	45
Gambar A.1.2 Peta Provinsi Aceh.....	46
Gambar A.1.3 Peta Kota Banda Aceh.....	47
Gambar A.1.4 Peta Kecamatan Kutaraja.....	48
Gambar A.1.5 Lokasi Penelitian.....	49
Gambar A.1.6 Peta Batimetri.....	50
Gambar A.1.7 Peta Batimetri Daerah Ulee Lheue.....	51
Gambar A.1.8 Peta Batimetri Lokasi Penelitian Jalan Kawasan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa.....	52
Gambar A.1.9 Pengukuran Lebar Puncak Breakwater Ulee Lheue.....	53
Gambar A.1.10 Pengukuran Lapis Pelindung Breakwater Ulee Lheue.....	52
Gambar A.1.11 Pengukuran Batu Breakwater Ulee Lheue.....	52

DAFTAR LAMPIRAN TABEL

LAMPIRAN B	Halaman
Tabel B.2.1 Nilai Koefisien Stabilitas (KD) Untuk Berbagai Jenis Butir	55
Tabel B.2.2 Koefisien Lapis Dan Porositas	56
Tabel B.2.3 Berat Jenis Material	57
Tabel B.2.4 Distribusi Kecepatan Angin Di Ulee Lheue	58
Tabel B.2.5 Presentase Kejadian Arah Angin Di Ulee Lheue	58
Tabel B.2.6 Distribusi Probalitas Gelombang Di Ulee Lheue	59
Tabel B.2.7 Persentase Kejadian Gelombang.....	59
Tabel B.2.8 Tabel Elevasi Muka Air Rencana.....	60
Tabel B.2.9 Hasil Analisis Survei Pasang Surut	60
Tabel B.2.10 Komponen Harnomik Pasang Surut	61
Tabel B.2.11 Koreksi Kecepatan Angin Ketinggian 10 meter Tahun 2019 Dan 2020	62
Tabel B.2.12 Koreksi Kecepatan Angin Ketinggian 10 meter Tahun 2021 Dan 2022	62
Tabel B.2.13 Koreksi Kecepatan Angin Ketinggian 10 meter Tahun 2023 Dan 2024	63
Tabel B.2.14 Koreksi Kecepatan Angin Laut Dalam Tahun 2019 Dan 2020 Berdasarkan Grafik.....	64
Tabel B.2.15 Koreksi Kecepatan Angin Laut Dalam Tahun 2021 Dan 2022 Berdasarkan Grafik.....	64
Tabel B.2.16 Koreksi Kecepatan Angin Laut Dalam Tahun 2023 Dan 2024 Berdasarkan Grafik.....	65
Tabel B.2.17 Konversi Faktor Tegangan Angin 2019 dan 2020	66
Tabel B.2.18 Konversi Faktor Tegangan Angin 2021 dan 2022	66
Tabel B.2.19 Konversi Faktor Tegangan Angin 2023 dan 2024	67

DAFTAR LAMPIRAN PERHITUNGAN

LAMPIRAN C	Halaman
Gambar C.3.1 Grafik Kecepatan Angin Di Laut Dan Di Darat.....	68
Gambar C.3.2 Wind Rose 6 Tahun	70
Gambar C.3.3 Histogram.....	71
Gambar C.3.4 Fetch Efektif Pantai Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda Aceh	72
Gambar C.3.5 Grafik Peramalan Gelombang.....	74
Gambar C.3.6 Diagram Refraksi Pada Kontur Lurus Dan Sejajar.....	78
Gambar C.3.7 Diagram Refraksi Metode Garis Puncak Gelombang.....	79
Gambar C.3.8 Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah.....	80
Gambar C.3.9 Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah.....	81
Gambar C.3.10 Elevasi Pasang Surut	82
Gambar C.3.11 Grafik Run Up Gelombang	84
Gambar C.3.12 Tampak melintang pemecah gelombang batu alam dengan kemiringan $\cot \theta = 2$	88

DAFTAR LAMPIRAN TABEL

LAMPIRAN C	Halaman
Tabel C.3.1 Tabel Perhitungan Fetch Efektif Rerata	73
Tabel C.3.2 Tabel Fungsi d/L Untuk Nilai d/L0	76
Tabel C.3.3 Detail Perhitungan Lapis Pelindung Dan Pendimensian Breakwater	88
Tabel C.3.4 Tabel Rekapitulasi Perhitungan Data	89



BAB I

PENDAHULUAN

Kota Banda Aceh, sebagai ibu kota Provinsi Aceh, memiliki potensi besar dalam pengembangan kawasan pesisir dan pariwisata berbasis alam laut. Salah satu faktor penting dalam mendukung pengembangan tersebut adalah infrastruktur jalan dan struktur pelindung pantai, seperti breakwater. Infrastruktur jalan yang aman sangat diperlukan untuk menunjang kelancaran transportasi, terutama di kawasan pesisir yang rawan erosi akibat terjangan ombak. Struktur breakwater berfungsi untuk meredam kekuatan gelombang laut, melindungi pantai, serta menjaga agar jalan dan kawasan pesisir tetap aman dari kerusakan yang dapat mengganggu aktivitas ekonomi dan pariwisata.

Efektivitas breakwater sangat bergantung pada kemampuannya dalam mengelola transformasi gelombang yang terjadi ketika gelombang bergerak dari laut dalam menuju pantai. Gelombang yang datang dari laut terbuka akan mengalami perubahan baik dalam bentuk maupun energi saat mendekati pantai, dipengaruhi oleh kedalaman laut, struktur dasar pantai, dan adanya penghalang seperti breakwater. Transformasi gelombang ini, yang melibatkan pemendekan panjang gelombang, peningkatan tinggi gelombang, serta perubahan kecepatan, dapat meningkatkan potensi kerusakan pada kawasan pesisir, terutama jika tidak ada struktur pengaman yang memadai. Ketika gelombang besar terjadi karena adanya transformasi gelombang yang menerjang dan melewati breakwater, potensi kerusakan menjadi tidak terelakkan menyebabkan erosi. Oleh karena itu, informasi ini selanjutnya dapat digunakan untuk memperkirakan besar dan arah erosi yang terjadi pada pantai Jalan Kawasan lingkaran Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda Aceh.

Jalan Kawasan lingkaran Ulee Lheue Gampong Jawa berada pada posisi $5^{\circ}34'33''\text{N}$ $95^{\circ}18'23''\text{E}$ terbentang dipinggir laut dan menjadi jalur penghubung antara Pelabuhan Ulee Lheue dengan Gampong Jawa dengan panjang jalan 1,6 km dan lebar jalan 5 m. Jalan ini mengalami kerusakan parah di beberapa titik sehingga sangat membahayakan masyarakat yang lalu lalang di lintasan bibir

pantai tersebut. Kerusakan badan jalan itu diakibatkan oleh terjangan gelombang yang melewati breakwater sehingga menghantam badan jalan yang menyebabkan gerusan dan kerusakan (Serambi News, 2020). Hingga saat pantauan Komisi III, jalan tersebut sudah mengalami kerusakan parah di beberapa titik dengan terkelupasnya aspal sehingga membuat kendaraan yang melintas kesulitan melewati jalan yang menghubungkan Pelabuhan Ulee Lheue dengan Gampong Jawa (RRI, 2024).

Dalam penataan serta pengembangan jalur penghubung Pelabuhan Ulee Lheue dengan Gampong Jawa yang lebih baik, perlu adanya tinjauan ulang terhadap breakwater. Breakwater yang efektif menjadi salah satu kunci dalam menjaga keberlanjutan perkembangan kawasan pesisir, pembangunan struktur breakwater yang baik dapat menjadi pelindung jalan dari erosi sehingga perjalanan dikawasan ini menjadi lebih aman dari terjangan gelombang.

Pada tugas akhir ini peneliti mengevaluasi breakwater eksisting dengan tipe sisi miring pada Jalan Kawasan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, terhadap transformasi gelombang. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, dapat diambil beberapa permasalahan pada penelitian ini yaitu, bagaimana kinerja struktur breakwater eksisting dalam meredam transformasi gelombang, serta apakah diperlukan penambahan ketinggian terhadap breakwater eksisting dalam meredam transformasi gelombang untuk meningkatkan keamanan pada Jalan Kawasan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa.

Tujuan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas kinerja breakwater dalam meredam transformasi gelombang laut dan juga menganalisis pengaruh transformasi gelombang terhadap kerusakan jalan serta penentuan mengenai penambahan ketinggian terhadap breakwater eksisting yang diperlukan guna meningkatkan keamanan Jalan Kawasan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa. Manfaat dari penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi mengenai pengaruh transformasi gelombang terhadap kerusakan jalan yang berguna untuk meningkatkan efektivitas breakwater dalam melindungi kawasan pesisir dan juga menambah pengetahuan bagi penulis untuk memperdalam ilmu dalam bidang teknik pantai khususnya breakwater.

Proses transformasi mempunyai pengaruh terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang disepanjang pantai sehingga berpotensi merusak breakwater. Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada evaluasi breakwater dengan fokus pada perubahan transformasi gelombang yang dipengaruhi oleh kecepatan angin dan pasang surut pada Jalan Kawasan lingkaran Ulee Lheue Gampong Jawa, dengan menggunakan data primer dan data sekunder.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Hudson dari metode ini penulis mencari persentase arah angin dan fetch efektif. Dalam penulisan ini ditinjau terhadap dimensi breakwater dengan hasil analisa dan juga perhitungan. Berdasarkan data angin, untuk arah angin yang berpengaruh terhadap bangunan breakwater adalah arah angin dari tenggara dan barat laut dengan arah yang paling dominan dari tenggara sebesar 1,0 %, panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch didapatkan fetch rata-ratanya 80,27 km, faktor tegangan angin (U_A) adalah 11,14 m/det, dengan panjang gelombang yang berada dilaut dalam (L_0) adalah 59,96 m dan kecepatan rambat gelombang (C_0) adalah 9,6 m/det serta tinggi gelombang rencana (H) adalah 1,44 m dengan ketinggian gelombang pecah (H_b) 2,56 m dan kedalaman gelombang pecah (d_b) adalah 2,25 m sehingga elevasi tinggi breakwater adalah 4,31 m dengan lebar puncak 2,46 m dengan berat lapis pelindung batu alam W_1 adalah 946,207 kg dengan tebal lapis pelindung t_1 adalah 1,64 m, berat lapisan W_2 adalah 94,62 kg dengan tebal lapis pelindung t_2 adalah 0,76 m dan berat lapisan W_3 adalah 4,73 kg, jumlah butir batu lapis pelindung batu alam perluasannya (10 m^2) untuk lapis pelindung N_1 adalah 29 buah, lapis pelindung N_2 adalah 132 buah dan pada lapis pelindung N_3 adalah 973 buah.

Dari hasil penelitian dan analisis data di lapangan dengan tinggi breakwater yang ada sebelumnya pada Jalan Kawasan lingkaran Ulee Lheue Gampong Jawa dalam meningkatkan keamanan pantai dan dapat meredam transformasi gelombang, maka diperlukan penambahan tinggi bangunan menjadi 4,31 m, lebar puncak menjadi 2,46 m.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam tinjauan pustaka ini akan dikemukakan beberapa teori dan rumusan yang akan digunakan untuk menjawab permasalahan yang terkait dengan penulisan penelitian ini. Berdasarkan teori dan rumusan tersebut, beberapa aspek akan dikaji untuk mendukung kelancaran penelitian ini.

2.1 Pantai

Pantai merupakan wilayah pertemuan antara darat, laut dan udara dimana terjadi interaksi dinamis antara air, angin, dan material penyusun didalamnya (Tawoeda et al., 2016). Pesisir adalah wilayah antara batas pasang tertinggi hingga batas air laut terendah pada saat surut yang dipengaruhi oleh gelombang air laut dan dapat menjadi tempat pengendapan hasil pengikisan air laut (Nadia et al., 2013). Sedangkan shore (pantai) adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh pasang tertinggi dan surut terendah (Rizal et al., 2021). Menurut Agung et al. (2017) dipantai dapat terjadi pasang surut yang disebabkan oleh gaya saling tarik benda dilangit yaitu bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi, terutama bulan yang punya gaya tarik besar ke bumi karena dekatnya jarak antara keduanya.

2.2 Erosi Pantai

Pantai dapat dikategorikan rusak apabila mundurnya garis pantai (erosi) yang mengakibatkan kerusakan prasarana dan sarana yang ada dipantai, salah satunya putusnya jalan yang dilalui kendaraan (Sardiyatmo et al., 2013). Erosi merupakan proses pengikisan pantai yang disebabkan oleh tenaga gelombang dan arus laut yang bersifat merusak (Choirunisa dan Giyarsih, 2019). Erosi pantai dapat terjadi secara alami oleh serangan gelombang atau karena adanya kegiatan manusia yang dapat merusak kawasan permukiman dan prasarana kota yang

berupa mundurnya garis pantai (Lilimwela et al., 2019). Wilayah pesisir rentan terhadap bencana alam kepebisiran salah satunya adalah erosi pantai (Rif'an dan Tyawati, 2020). Gelombang laut dan pergerakan sedimentasi yang tidak terkontrol dilaut dapat menyebabkan pantai cepat mengalami erosi pantai dan abrasi sehingga menyebabkan garis pantai cepat berubah (Rachmat dan Purwanto, 2016).

Untuk mencegah kerusakan yang diakibatkan gelombang laut, ada beberapa solusi perlindungan yang dapat dipilih sesuai tujuan pemanfaatan lahan area pantai seperti pencegahan, pengaturan tata guna lahan dan bangunan area pantai, perlindungan pantai berupa bangunan non-struktural greenbelt (Hartati et al., 2016) dan bangunan struktural untuk perkuatan area pantai seperti pembuatan bangunan pelindung pantai salah satunya seperti pemecah gelombang (breakwater) (Jaya, 2023).

2.3 Angin

Kecepatan angin memungkinkan penyebab terjadinya fenomena alam yaitu erosi, abrasi dan sedimentasi di sepanjang pantai (Nadia et al., 2013). Angin adalah aliran udara yang besar yang terjadi karena rotasi bumi dan pengaruhnya terhadap lingkungan sekitar. Angin bergerak dari area dengan tekanan udara tinggi menuju area dengan tekanan rendah. Sirkulasi udara ini terjadi hampir sejajar dengan permukaan bumi dan dipengaruhi oleh temperatur atmosfer. Perubahan suhu atmosfer disebabkan oleh perbedaan kemampuan tanah dan air dalam menyerap panas, perbedaan suhu antara gunung dan lembah, serta perbedaan suhu antara belahan bumi utara dan selatan yang disebabkan oleh pergantian musim dingin dan panas. Sebagai contoh, pada siang hari daratan lebih panas dari pada laut, sehingga udara di atas daratan naik dan digantikan oleh udara dari laut, menciptakan angin laut. Sebaliknya, pada malam hari, daratan lebih dingin dibandingkan laut, sehingga udara di atas laut naik dan digantikan oleh udara dari daratan, menghasilkan angin darat. Di Indonesia, terdapat fenomena angin musiman, di mana angin bertiup dalam satu arah pada periode

tertentu dalam setahun. Pada periode berikutnya, arah angin akan berlawanan dengan angin pada periode sebelumnya (Triatmodjo, 2009).

Menurut Hariyoni et al. (2010) bahwa Angin yang berhembus diatas permukaan air akan memindahkan energi air. kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang tadinya tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil diatas permukaan air. Kecepatan angin biasanya dinyatakan dalam satuan Knot. 1 knot = 1,852 km/jam 0,514 m/d untuk keperluan peramalan gelombang biasanya di pergunakan kecepatan angin pada ketinggian 10 m. Apabila kecepatan tidak diukur pada ketinggian tersebut maka kecepatan angin perlu dikoreksi dengan rumus:

$$U_{(10)} = U_{(y)} \left(\frac{10}{y}\right)^{\frac{1}{7}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

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

$U_{(y)}$ = Kecepatan angin pada ketinggian elevasi yang diukur (m/s)

y = Elevasi terhadap permukaan air (m)

Untuk pengukuran angin yang dilakukan di daratan ditransformasikan menjadi data angin yang ada diatas permukaan laut, hal itu dikarenakan rumus – rumus pembangkitan gelombang, data angin yang digunakan adalah data angin yang ada diatas permukaan laut. Hubungan antara angin di daratan dan diatas permukaan laut diberikan persamaan:

$$R_L = \frac{U_w}{U_L} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

R_L = Rasio koreksi antara kecepatan angin di darat dan di laut

U_w = Kecepatan angin di laut (m/s)

U_L = Kecepatan angin di darat (m/s)

Jika data angin yang dimiliki adalah data angin pengukuran darat, perlu dilakukan koreksi untuk mendapatkan nilai kecepatan dilaut. Koreksi stabilitas digunakan jika terjadi perbedaan temperatur air laut dan udara, besarnya nilai koreksi dinotasikan dengan RT. Apabila nilai perbedaan temperatur tersebut tidak

diketahui maka nilai $RT = 1,1$. Apabila data kecepatan angin disuatu perairan memerlukan koreksi terhadap elevasi, koreksi stabilitas dan efek lokasi maka dapat digunakan persamaan:

$$U = RT \times RL \times U_{(10)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

RT = Koefisien stabilitas perbedaan temperatur antara udara dan air laut

U = Koreksi terhadap elevasi kecepatan angin

RL = Koefisien koreksi antara kecepatan angin dilaut dan darat

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

Dalam pembangkitan gelombang selalu mengandung variabel Wind-stress factor (Faktor Tegangan Angin) dinotasikan dengan U_A . Variabel U_A dapat dihitung dari kecepatan angin setelah dilakukan berbagai konversi kecepatan angin, konversi kecepatan angin pada faktor tegangan angin menggunakan rumus sebagai berikut:

$$U_A = 0,71 \times U_W^{1,23} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

U = Kecepatan angin (m/s)

U_A = Kecepatan angin terkoreksi (m/s)

2.4 Fetch

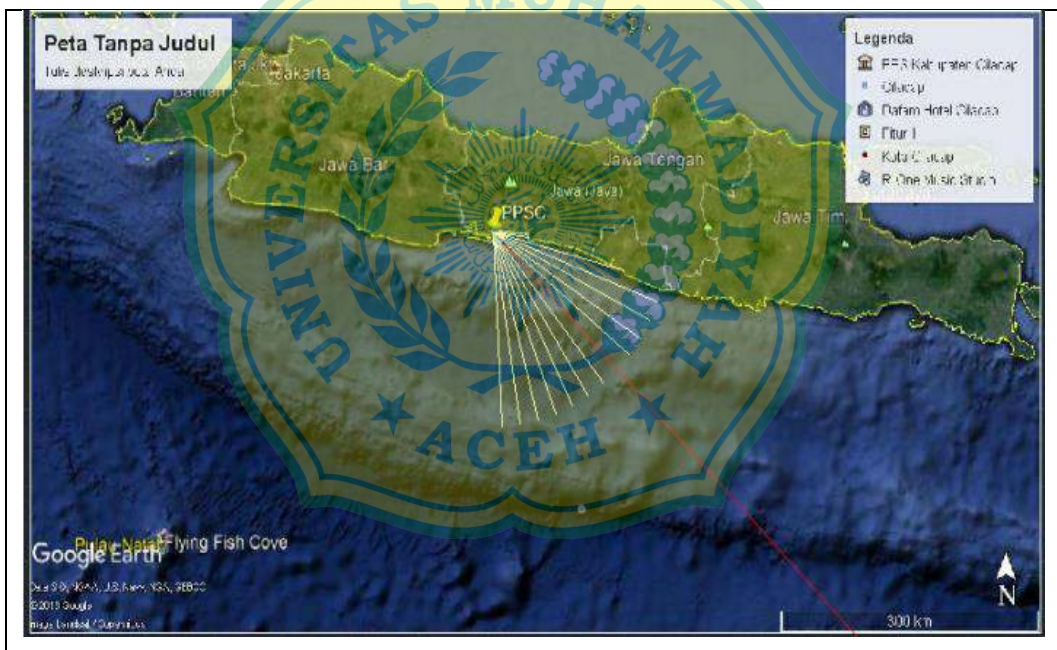
Fetch adalah daerah pembangkit gelombang laut yang dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut tersebut. Daerah fetch adalah daerah dengan kecepatan angin konstan. Sedangkan jarak fetch merupakan jarak tanpa rintangan dimana angin sedang bertiup. Arah fetch bisa datang dari segala arah (Tawoeda et al., 2016). Menurut Saputro dan Nawawi, (2010), mengatakan bahwa fetch adalah panjang keseluruhan suatu daerah pembangkit gelombang dimana angin berhembus dengan arah dan kecepatan yang konstan. Panjang fetch dapat ditentukan dari peta batimetri didalam peninjauan pembangkit gelombang di laut, fetch dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut.

Soehedi (2011) berpendapat, didalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, fetch di batasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut, nilai fetch efektif (F_{eff}) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum xi \cdot \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

- F_{eff} = Panjang fetch efektif/jarak sesungguhnya (m)
- xi = Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch (m)
- α = Deviasi pada kedua sisi dari arah angin dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut 42° pada kedua sisi dari arah angin



Gambar 2.1 : Contoh Fetch

Sumber : Suhendri dkk, 2019

2.5 Peta Batimetri

Istilah batimetri berasal dari gabungan dua kata bahasa Yunani yaitu Bathy- yang berarti kedalaman dan -metry yang berarti ilmu ukur, sehingga memiliki definisi sebagai pengukuran dan pemetaan dari topografi dasar laut.

Batimetri dilakukan dengan mengukur tinggi rendahnya dasar laut sehingga memberikan informasi mengenai dasar laut (Wigati et al., 2018).

2.6 Gelombang

Gelombang permukaan adalah bentuk penjalaran energi yang disebabkan oleh hembusan angin diatas permukaan laut (Triatmodjo, 2010). Beberapa hal yang dapat memengaruhi karakteristik gelombang yang mendekati pantai seperti kedalaman air, bentuk struktur pantai, dan tentu saja sifat gelombang dan parameter untuk menggambarkan gelombang yaitu ketinggian gelombang, kedalaman, dan panjang gelombang (Kuswandi et al., 2022).

Gelombang laut bisa dibangkitkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik menarik matahari, dan bulan (pasang surut), letusan gunung berapi, atau gempa di laut (tsunami), kapal yang bergerak dan sebagainya (Nadia et al., 2013). Jika suatu gelombang mengenai struktur yang menghalangi laju gelombang, maka gelombang tersebut mengalami refleksi dan transmisi. Demikian ketika gelombang mengenai suatu struktur breakwater. Refleksi gelombang bisa diartikan seberapa besar gelombang terpantulkan oleh struktur penghalang bila dibandingkan dengan nilai gelombang datang (Triatmodjo, 2010).

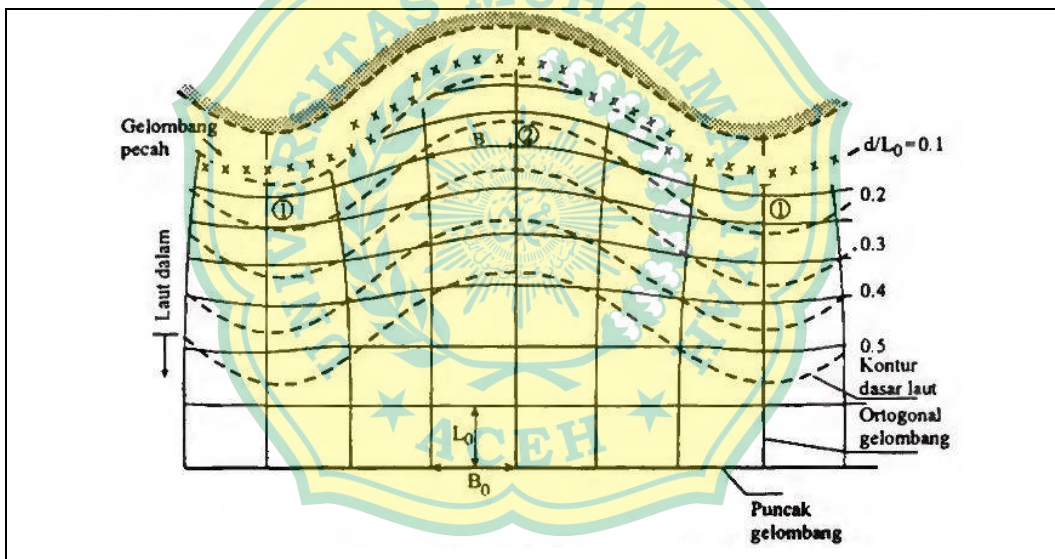
2.7 Transformasi Gelombang

Menurut Cezalipi et al. (2017) perubahan penjalaran gelombang tersebut dipengaruhi oleh adanya suatu bangunan di laut yang dapat menyebabkan perubahan bentuk gelombang disebut sebagai fenomena transformasi gelombang.

Proses transformasi gelombang berupa proses refraksi, refleksi, difraksi, shoaling, dan gelombang pecah yang mempunyai pengaruh terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai. Proses – proses tersebut mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai (Triatmodjo, 1999).

2.7.1 Proses Refraksi

Refraksi gelombang adalah perubahan bentuk pada gelombang akibat adanya perubahan kedalaman laut. Di laut dalam, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut, akan tetapi di laut transisi dan laut dangkal, dasar laut mempengaruhi bentuk gelombang (Triatmodjo, 1999). Proses refraksi gelombang lebih kompleks karena mengalami perubahan tinggi dan arah gelombang bersamaan yang disebabkan perubahan dan perbedaan kedalaman dasar laut. Perubahan dasar laut menyebabkan perubahan kecepatan rambat gelombang sehingga mengakibatkan berubahnya tinggi gelombang dan arah perambatan gelombang (Nadia et al., 2013).



Gambar 2.2 : Proses refraksi gelombang

Sumber : Triatmodjo (1999)

Pada Gambar 1. terdapat angka 1 dan 2 menunjukkan bahwa lokasi 1, garis ortogonal gelombang menguncup maka energinya besar, sedangkan di lokasi 2 garis ortogonal gelombang menyebar maka energinya kecil. Apabila akan direncanakan suatu pelabuhan di daerah pantai, maka lokasi 2 lebih cocok daripada lokasi 1, karena bangunan yang direncanakan akan menahan energi gelombang yang lebih kecil.

Cepat rambat gelombang dapat diperoleh dengan membagi panjang gelombang yang diperoleh dengan periode gelombang, dengan menggunakan persamaan:

$$C = \frac{L}{T} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

C = Cepat rambat gelombang

L = Panjang gelombang

T = Periode gelombang

Berdasarkan kedalaman relatif yaitu perbandingan antara kedalaman air d panjang gelombang L (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam:

1. Gelombang di laut dangkal jika $d/L \leq 1/20$
2. Gelombang di laut transisi jika $1/20 < d/L \leq 1/2$
3. Gelombang di laut dalam jika $d/L \geq 1/2$

Apabila kedalaman relatif d/L adalah lebih besar dari 0,5: nilai tanh $(2\pi d/L) = 0,1$ sehingga menjadi persamaan

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \dots\dots\dots (2.8)$$

Indeks “0” menunjukkan nilai tersebut untuk kondisi laut dalam. Apabila percobaan gravitasi adalah $9,81 \text{ m/d}^2$, maka persamaan :

$$L_0 = 1,56 T^2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Apabila kedalaman relatif adalah kurang dari 1/20, nilai tanh $(2\pi d/L) = 2\pi d/L$ sehingga menjadi persamaan :

$$C = \sqrt{gd} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$L = \sqrt{gd} T = C T \dots\dots\dots (2.11)$$

Persamaan 2.10 dan 2.11 menunjukkan bahwa dilaut dangkal, cepat rambat dan panjang gelombang hanya tergantung pada kedalaman.

Refraksi gelombang terdapat koefisien pendangkalan dan koefisien refraksi dengan persamaan:

$$H = K_s \times K_r \times H_0 \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

- K_s = Koefisien pendangkalan
- K_r = Koefisien Refraksi
- H_0 = Tinggi gelombang dikedalaman tertentu (m)
- H = Tinggi gelombang laut dalam (m)

Suatu deretan gelombang yang menjalar dari laut dengan kedalaman d_0 menuju kedalaman d_1 , dengan perubahan kedalaman mendadak dan dianggap tidak ada refleksi gelombang pada perubahan tersebut (Triatmodjo, 1999). Adanya perubahan kedalaman maka cepat rambat dan panjang gelombang berkurang dari C_0 dan L_0 menjadi C dan L . Sesuai dengan hukum Snell, berlaku:

$$\sin \alpha = \left(\frac{C}{C_0}\right) \sin \alpha_0 \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

- α_0 = Sudut antara garis puncak gelombang dengan kontur dasar dimana gelombang melintas ($^\circ$)
- α = Sudut yang sama yang diukur saat garis puncak gelombang melintasi kontur dasar berikutnya ($^\circ$)
- C_0 = Kecepatan gelombang pada kedalaman di kontur pertama (m/s)
- C = Kecepatan gelombang pada kedalaman kontur berikutnya (m/s)

Koefisien refraksi menggunakan rumus:

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Untuk menghitung koefisien pendangkalan, dicari nilai n dengan menggunakan lampiran berdasar nilai d/L_0 .

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{nL}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

- n_0 = 0,5 di laut dalam
- n = Densitas material pada kondisi berikutnya atau saat perubahan

L_0 = Panjang dari area yang terkena dampak pada kondisi awal

L = Panjang dari area yang terkena dampak setelah perubahan atau pendangkalan terjadi

2.7.2 Gelombang Pecah

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut yang mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang (Yannovita et al., 2019). Gelombang pecah adalah suatu sistem yang sangat kompleks. Bahkan dalam beberapa jarak sebelum gelombang pecah, bentuknya tidak sinusoidal lagi. Jika terjadi gelombang pecah, energi yang diterima dari angin, berkurang. Pecahnya gelombang biasanya terjadi pada saat gelombang mendekati pantai (Tawoeda et al., 2016).

Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi 3 tipe yaitu :

1. Spilling

Spilling biasanya terjadi apabila gelombang dengan kemiringan kecil menuju ke pantai yang datar (kemiringan kecil). Gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya terjadi berangsur-angsur. Buih terjadi pada puncak gelombang selama mengalami pecah dan meninggalkan suatu lapis tipis buih pada jarak yang cukup panjang.

2. Plunging

Apabila kemiringan gelombang dan dasar bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan. Energi gelombang pecah dihancurkan dalam turbulensi, sebagian kecil dipantulkan pantai ke laut, dan tidak banyak gelombang baru terjadi pada air yang lebih dangkal.

3. Surging

Surging terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang. Dacrah gelombang pecah sangat sempit, dan sebagian besar energi dipantulkan kembali ke laut dalam. Gelombang pecah tipe

surgung ini mirip dengan plunging, tetapi sebelum puncaknya terjun, dasar gelombang sudah pecah

Gelombang menjalar dari tempat yang dalam menuju ke tempat yang makin lama makin dangkal, pada suatu lokasi tertentu gelombang tersebut akan pecah. Gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar pantai dan kecuraman gelombang (Triatmodjo, 1999). Tinggi dan kedalaman gelombang pecah dapat dihitung dengan rumus:

$$H'_0 = \frac{H_0}{K_S} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\frac{H'_0}{gT^2} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\frac{H_b}{H'_0} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\frac{H_b}{gT^2} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\frac{db}{H'_0} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

H_b = Tinggi gelombang pecah (m)

H'_0 = tinggi gelombang laut dalam ekivalen (m)

L_0 = panjang gelombang di laut dalam

db = kedalaman air pada saat gelombang pecah (m)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

T = periode gelombang (s)

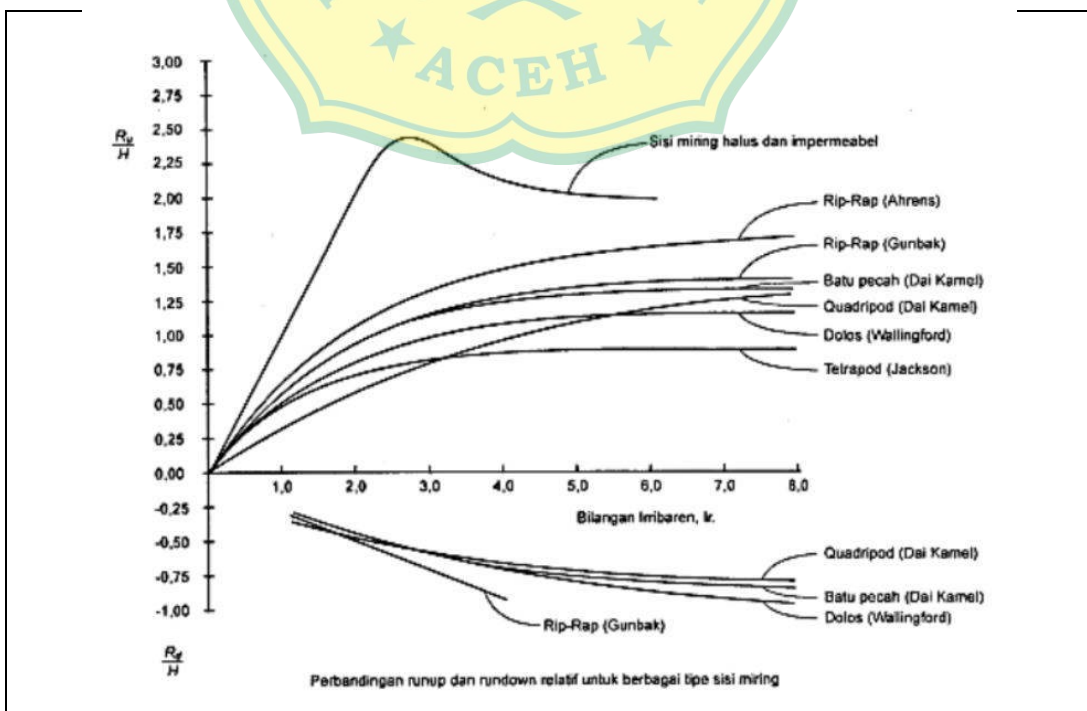
2.8 Pasang Surut Gelombang

Pasang surut merupakan fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi (Rizal et al., 2021). Perairan laut memberikan respon yang berbeda terhadap gaya pembangkit pasang surut, sehingga terjadi tipe pasut yang berlainan di

sepanjang pesisir. Menurut Dronkers (1964), ada tiga tipe pasang surut yang dapat diketahui, yaitu pasang surut diurnal, pasang surut semi diurnal, pasang surut campuran. Menurut Wyrcki (1961), pasang surut di Indonesia dibagi menjadi 4 yaitu pasang surut harian tunggal (diurnal tide), pasang surut harian ganda (semi diurnal tide), pasang surut campuran condong harian tunggal (mixed tide, prevailing diurnal), pasang surut campuran condong harian ganda (mixed tide, prevailing semi diurnal).

2.9 Wave Run-Up dan Over Topping

Wave run-up didefinisikan sebagai level pencapaian tertinggi gelombang laut pada sebuah struktur yang mempunyai permukaan miring, diukur secara vertikal dari muka air diam (Still Water Level / SWL) (Yannovita et al., 2019). Pada waktu gelombang menghantam suatu bangunan, gelombang tersebut akan naik (run-up) pada permukaan bangunan. Elevasi (tinggi) bangunan yang direncanakan tergantung pada run-up dan limpasan yang diijinkan. Run-up tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan, dan karakteristik gelombang (Triatmodjo, 2003).



Gambar 2.3 : Grafik Run Up Gelombang

Sumber : Triatmodjo (2010)

Menurut Rizal et al. (2021) Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air didaerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap muka air diam di sekitar lokasi gelombang pecah. Kemudian titik dimana gelombang pecah permukaan air miring ke atas ke arah pantai. Turunnya muka air tersebut dikenal dengan wave set-down, sedangkan naiknya muka air disebut wave set-up. Wave set-up di pantai dihitung dengan menggunakan teori Longuet-Higgins dan Stewart (1963, dalam CERC 1984) diberikan dalam persamaan:

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

S_w = Set-up di daerah gelombang pecah

H_b = Tinggi gelombang pecah (m)

T = Periode gelombang (detik)

g = aya gravitasi (m/s^2)

Berdasarkan SPM 1984 vol 2. Nilai over topping merupakan kelanjutan dari hasil perhitungan run-up yang dihitung sebelumnya, dimana over topping dapat terjadi bila besar run-up gelombang lebih tinggi dari tinggi bangunan (Samudra et al., 2018).

2.10 Bangunan Pengaman Pantai

Kerusakan pada pantai sering kali terjadi dan di akibatkan oleh beberapa faktor seperti aktivitas manusia atau faktor alam seperti gelombang dan arus sehigga untuk menjaga stabilitas garis pantai maka perlu di bangun bangunan pelindung pantai. Bangunan pelindung pantai pada umumnya berfungsi untuk melindungi daerah pantai. Bangunan ini di bangun sejajar dengan garis pantai sehingga dapat mengurangi dampak kerusakan oleh gelombang (Retraubun et al.,

2022). Wijaya (2015) berpendapat, sesuai dengan fungsinya, bangunan pantai dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. Kontruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai termasuk kedalam kelompok dinding pantai (revetment).
2. Kontruksi yang dibangun kira kira tegak lurus pantai dan menyambung pantai termasuk kedalam kelompok groin (groyne) dan jetty.
3. kontruksi yang dibangun lepas pantai dan kira kira sejajar dengan garis pantai termasuk kedalam kelompok breakwater (pemecah gelombang).

2.11 Breakwater (Pemecah Gelombang)

Breakwater adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah pantai terhadap gelombang (Rizal et al., 2021). Breakwater adalah bangunan pantai dengan kegunaan sebagai peredam gelombang yang akan merusak wilayah pantai atau pelabuhan di belakangnya dan posisinya sejajar dengan garis pantai (Putra, 2013).

Breakwater ada dua macamnya yaitu breakwater sambung pantai dan lepas pantai, untuk lepas pantai banyak digunakan untuk perlindungan terhadap erosi dan untuk yang sambung pantai banyak digunakan pada perlindungan pelabuhan (Zendrato, 2016).

Untuk memperkecil gelombang di perairan sangat berpengaruh dari tinggi gelombang, lebar perairan pelabuhan, lebar muara dan panjang perairan pelabuhan (Agung, 2018). Terdapat beberapa fungsi bangunan breakwater antara lain:

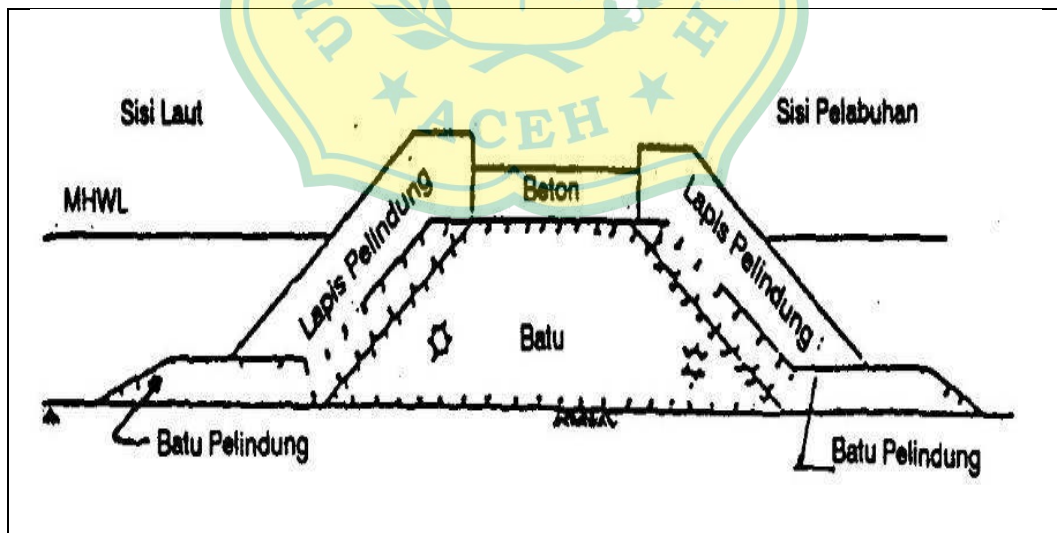
1. Breakwater berfungsi sebagai pelindung kolam perairan dari serangan gelombang yang dapat mengakibatkan terganggunya aktivitas di perairan baik pada saat pasang, badai maupun peristiwa alam lainnya.
2. Breakwater berfungsi untuk mengurangi energi gelombang dan mengurangi endapan sedimen yang masuk ke dalam daerah terlindung. Pengiriman sedimen sepanjang pantai yang berasal dari daerah disekitarnya akan diendapkan dibelakang bangunan. Pantai di belakang struktur akan stabil dengan terbentuknya endapan sedimen tersebut.

3. Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam gelombang sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi), sebagian diteruskan (transmisi) dan sebagian dihancurkan (dissipasi) melalui pecahnya gelombang, kekentalan fluida, gesekan dasar dan lain-lainnya.

2.11.1 Tipe Struktur Breakwater q

Hal-hal yang perlu diketahui dalam perencanaan breakwater antara lain tata letak, penentuan kondisi perencanaan, dan seleksi tipe struktur breakwater yang akan digunakan dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu breakwater sisi miring, breakwater sisi tegak, breakwater campuran (Rizal et al., 2021).

Breakwater sisi miring biasanya terbuat dari tumpukan batu alam yang dilindungi dengan lapisan pelindung berupa batu besar atau beton dengan bentuk tertentu (Aqil et al., 2018). Stabilitas pemecah gelombang sisi miring erat kaitannya dengan stabilitas batu pelindungnya. Energi gelombang dapat dihancurkan melalui run-up pada permukaan sisi miring, gesekan dan turbulensi yang disebabkan ketidakteraturan permukaan (Hariati et al., 2021).

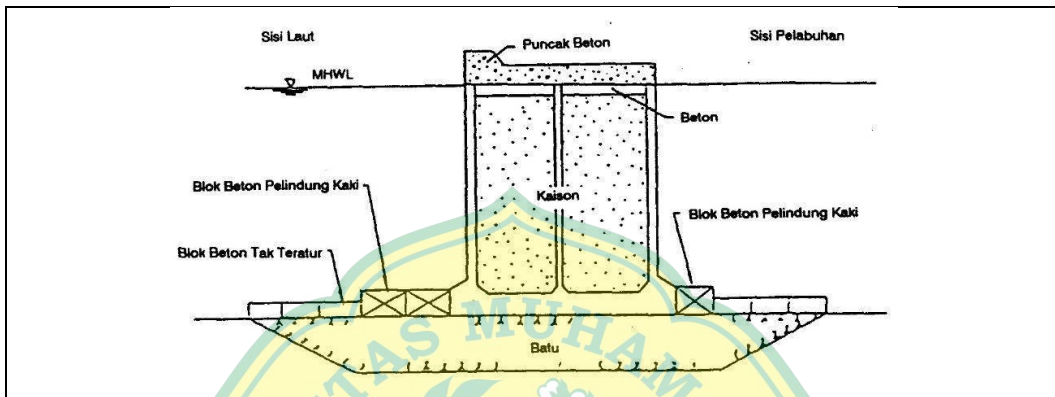


Gambar 2.4 : Breakwater sisi miring

Sumber : Triatmodjo (2003)

Pada breakwater sisi tegak energi gelombang datang akan dipantulkan kembali. Gelombang yang dipantulkan kemudian bertemu dengan gelombang

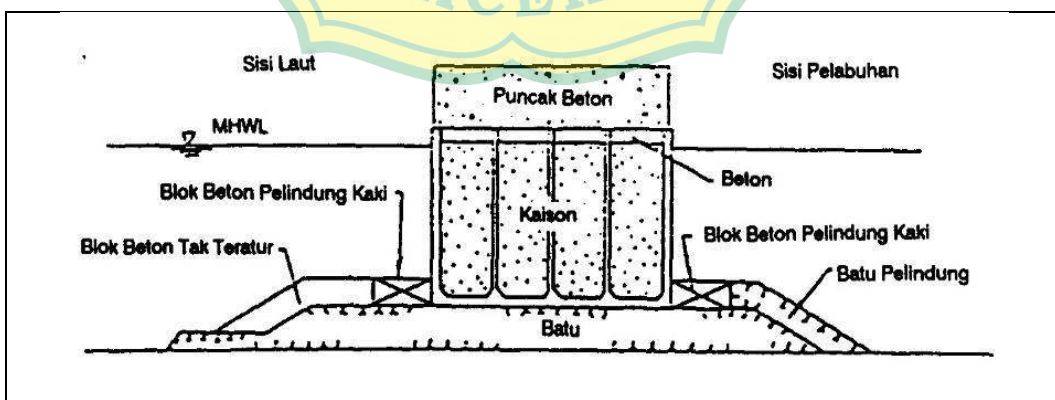
dating berikutnya, sehingga akan terjadi gelombang stasioner yang disebut klapotis. Tinggi gelombang ini bisa mencapai dua kali tinggi gelombang datang. Oleh karena itu tinggi pemecah gelombang di atas muka air pasang tertinggi tidak boleh kurang dari 1,3 sampai 1,5 kali tinggi gelombang maksimum (Hariati et al., 2021).



Gambar 2.5 : Breakwater sisi tegak

Sumber : Triatmodjo (2003)

Selain jenis pemecah gelombang miring dan tegak, terdapat jenis pemecah gelombang tipe campuran. Tipe campuran digunakan apabila kedalaman air sangat tinggi, sedangkan kondisi tanah dasar tidak cukup baik (Hariati et al., 2021). Seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.6 : Breakwater campuran

Sumber : Triatmodjo (2003)

2.11.2 Jenis-Jenis Breakwater

Jaya (2023) berpendapat bahwa, Adapun jenis jenis bangunan pemecah gelombang antara lain :

1. Tetrapod: breakwater jenis ini menggunakan blok beton berbentuk segitiga dengan empat kaki. Blok-blok ini ditempatkan secara berurutan di sepanjang pantai untuk membentuk dinding yang kuat dan tahan lama. Keuntungan dari penggunaan tetrapod adalah mudah dipasang dan dapat menahan gelombang laut yang besar.
2. Sandbag: breakwater jenis ini menggunakan kantong pasir yang diisi dengan pasir atau bahan lainnya. Kantong-kantong ini ditempatkan disepanjang pantai untuk membentuk dinding yang kuat dan tahan lama. Keuntungan dari penggunaan sandbag adalah biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis breakwater lainnya.
3. Kubus Beton: breakwater jenis ini menggunakan blok beton yang lebih kecil dan lebih murah daripada tetrapod. Blok-blok ini ditempatkan di sepanjang pantai untuk membentuk dinding yang kuat dan tahan lama. Keuntungan dari penggunaan beton adalah daya tahan yang lebih tinggi dan dapat menjadi estetika di pengaman pantai.
4. X blok : Breakwater jenis ini menggunakan blok beton yang lebih kecil dan lebih murah daripada tetrapod. Blok-blok ini ditempatkan disepanjang pantai untuk membentuk dinding yang kuat dan tahan lama, tipe breakwater x blok ini juga untuk menahan sedimen dari laut dan mengunci agar tidak terjadi pergeseran.

2.11.3 Berat Butir Batu Pelindung

Yuliamangesti (2016) berpendapat bahwa, untuk sisi miring dalam penentuan berat butir batu pelindung dengan menggunakan Rumus Hudson sebagai berikut:

$$Sr = \frac{\gamma r}{\gamma a} \dots\dots\dots (2.22)$$

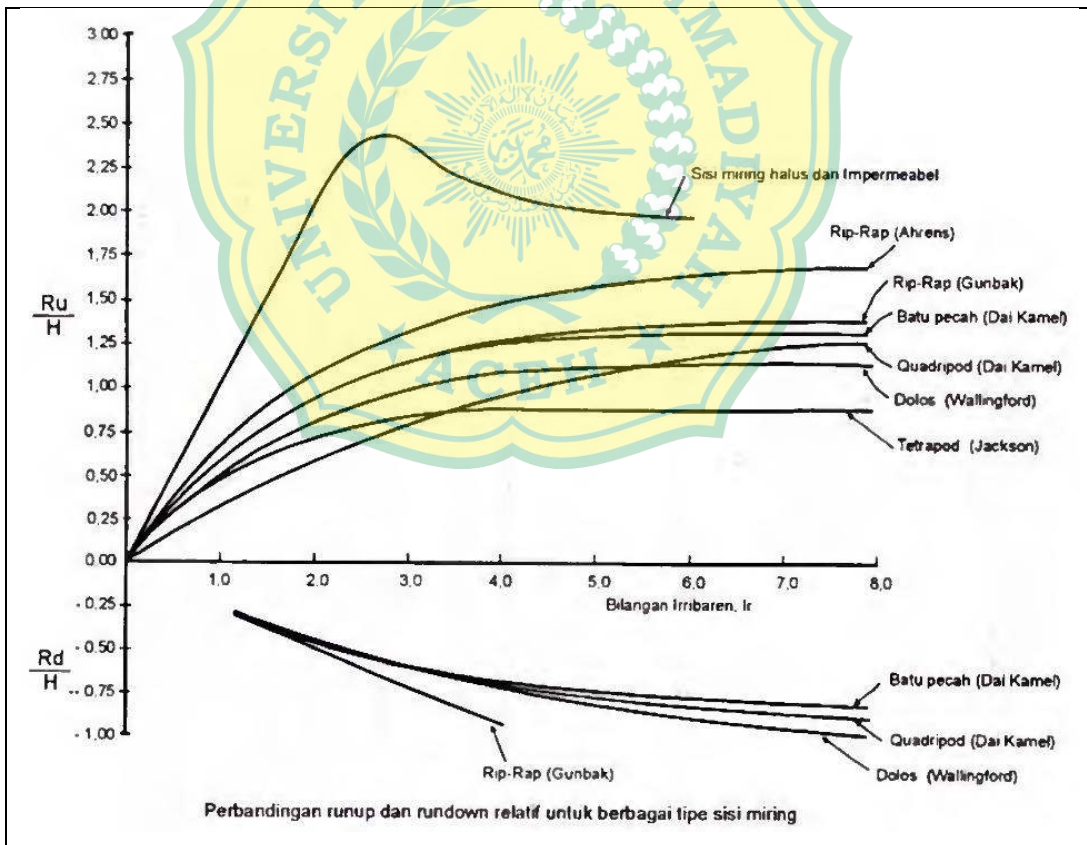
$$W = \frac{\gamma r H^3}{KD (Sr-1)^3 \cot \theta} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana:

- W = Berat butir batu pelindung
- γ_r = Berat jenis batu
- γ_a = Berat jenis air laut (1,025-1,03 ton/m³)
- H = Tinggi gelombang rencana
- θ = Sudut kemiringan sisi breakwater
- KD = Koefisien stabilitas batu pelindung
- Sr = Tebal lapis batu pelindung

Hudson dan Jackson (1962) berpendapat bahwa, untuk batu dengan ukuran yang tidak seragam (graded riprap) telah memodifikasikan rumus sebagai berikut:

$$W_{50} = \frac{\gamma_r H^3}{K_{RR} (S_r - 1)^3 \cot \theta} \dots\dots\dots (2.24)$$



Gambar 2.7 : Perbandingan run up dan run down relatif untuk berbagai tipe sisi miring

Sumber : Triatmodjo (1999)

Menurut Triadmojo (1999) berbagai penelitian tentang run up gelombang telah dilakukan di laboratorium. Hasil penelitian tersebut berupa grafik-grafik yang dapat digunakan untuk menentukan tinggi run up. Gambar 2.6 adalah grafik yang dilakukan oleh Irrabaren untuk menentukan besar run up gelombang pada bangunan dengan permukaan miring untuk berbagai tipe material. Grafik tersebut juga dapat digunakan untuk menghitung run down (R_d) yaitu turunnya permukaan air karena gelombang pada sisi pemecah gelombang. Kurva pada gambar 2.6 tersebut mempunyai bentuk tidak berdimensi untuk run up relatif R_u/H atau R_d/H sebagai fungsi dari bilangan Irrabaren, dimana R_u dan R_d adalah run up dan run down yang dihitung dari muka air laut rerata.

2.11.4 Penentuan Elevasi Puncak

Triadmodjo (2010) berpendapat bahwa parameter hitungan yang akan dihitung. Untuk menghitung elevasi puncak breakwater dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{ElpemGel} = \text{HHWL} + \text{Run up} + \text{freeboard} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana:

HHWL = Highets High Water Level

Freeboard = Tinggi jagaan

Untuk nilai Run up gelombang diperoleh menggunakan fungsi bilangan Irrabaren sebagai berikut:

$$I_r = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0,5}} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana:

I_r = Bilangan Irrabaren

θ = Sudut kemiringan sisi breakwater (struktur)

H = Tinggi gelombang di lokasi bangunan

L_0 = Panjang gelombang di laut dalam

2.11.5 Lebar Puncak

Triadmodjo (2010) berpendapat, lebar puncak breakwater juga tergantung pada limpasan yang diizinkan dan lebar puncak minimum adalah sama lebar dari tiga butir batu pelindung yang disusun berdampingan untuk bangunan tanpa terjadi limpasan, lebar puncak breakwater bisa lebih kecil.

Untuk lebar puncak breakwater bisa dihitung dengan rumus berikut:

$$B = nK_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:

- B = Lebar Puncak
- n = Jumlah butir batu (lapisan)
- K_{Δ} = Koefisien lapis
- W = Berat butir batu pelindung
- γ_r = Berat jenis batu pelindung

2.11.6 Tebal Lapisan Batu Pelindung dan Jumlah Batu Pelindung

Triadmodjo (2010) menyatakan bahwa tebal lapisan batu pelindung dan jumlah batu pelindung dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t = nK_{\Delta} \left(\frac{w}{\gamma_r}\right)^{1/3} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$N = An K_{\Delta} \left(1 - \frac{p}{100}\right) \left(\frac{\gamma_r}{w}\right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana:

- t = Tebal lapis pelindung (ton)
- n = Jumlah lapis batu dalam lapis pelindung (minimal 2)
- K_{Δ} = Koefisien lapis
- γ_r = Berat jenis batu pelindung
- p = Porositas
- A = Luas permukaan
- w = Berat butir batu pelindung (ton)
- N = Jumlah butir batu untuk satuan luas permukaan A

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan salah satu referensi dasar ketika melaksanakan sebuah penelitian. Karena penelitian terdahulu memiliki fungsi untuk memperluas dan memperdalam teori yang akan dipakai dalam kajian penelitian yang berhubungan dengan evaluasi kinerja struktur breakwater terhadap transformasi gelombang. Penelitian terdahulu disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama/Judul/Tahun Penelitian	Metode	Kesimpulan
1.	Indarto, Rifki Aji Ramadhan, Novi Andhi Setyo Purwono, dan Iwan Rustendi (Analisa Transformasi Gelombang Pada Breakwater Di PLTU Karangandri Cilacap) (Indarto,dkk. 2020).	Metode yang digunakan dalam analisis data angin selama 10 tahun untuk menghitung gelombang kala ulang adalah metode SMB yang terdiri dari Weibull dan Gumbel (Fisher-Tippet Type I), serta simulasi gelombangnya menggunakan Sof ware SMS 8.0 model CG Wave.	Dari hasil analisis data angin selama 10 tahun bahwa arah angin dominan berasal dari arah Tenggara dengan kecepatan rata-rata distribusi frekuensi sebesar 3,73 m/s dengan fetch efektif terpanjang sebesar 160,41 km. Hasil analisis mawar gelombang (Waverose) didapatkan bahwa bulan Agustus merupakan bulan dimana tinggi gelombang mencapai titik tertingginya dengan tinggi gelombang signifikan selama 10 tahun sebesar 3,757 m. Berdasarkan titik tinjauan utama pada simulasi CG Wave didapatkan hasil persentase besar terjadinya tinggi gelombang dari arah selatan, tenggara dan timur setelah adanya breakwater adalah sebesar antara 1,37% - 8,71% dan persentase tinggi gelombang tanpa breakwater sebesar antara 98,63% - 117,28%. Semakin

No	Nama/Judul/Tahun Penelitian	Metode	Kesimpulan
			<p>besar persentase tinggi gelombangnya maka semakin besar tinggi gelombang yang terjadi sehingga dapat mempengaruhi keefektifan mulut breakwater tersebut, sehingga model breakwater tersebut masih efektif dan aman untuk menghalau laju gelombang.</p>
2.	<p>Maryadi, Iya Setyasih, Yaskinul Anwar (Efektivitas Bangunan Breakwater Dalam Pengendalian Abrasi Pantai di Kecamatan Biduk-Biduk) (Maryadi, dkk. 2020).</p>	<p>Data potensi abrasi diperoleh dari analisis overlay guna melihat perubahan garis pantai, dan untuk upaya penanggulangan abrasi diperoleh dari observasi dan wawancara guna mendapatkan data pembangunan bangunan pengendali abrasi, sedangkan untuk melihat efektivitas bangunan pengendali abrasi dilihat dari masih ada atau tidaknya abrasi di lihat dari masih ada atau tidaknya abrasi sepanjang pantai Kec. Biduk-Biduk</p>	<p>Berdasarkan hasil overlay garis Pantai kawasan pantai di Kec. Biduk-Biduk pada beberapa pantai berpotensi abrasi, dan untuk mengurangi persoalan tersebut masyarakat, pemerintah dan CSR (Corporate Social Responsibility) membangun bangunan pengendali abrasi pantai mulai dari breakwater dinding pantai, bangunan lepas pantai, bangunan groin, bangunan dinding Pantai beronjong hingga bangunan dinding pantai tanggul sebagai upaya penanggulangan abrasi. Tingkat efektivitas bangunan pengendali abrasi ini beragam mulai dari kurang efektif sampai efektif, dimana mayoritas bangunan sudah efektif dalam mengendalikan abrasi. sehingga pada beberapa bangunan pengendali abrasi perlu dilakukan pengkajian ulang supaya dapat mengendalikan abrasi pada</p>

No	Nama/Judul/Tahun Penelitian	Metode	Kesimpulan
			kawasan pantai secara maksimal.
3.	Akmal, Sahri Putra (Evaluasi Bangunan Pelindung Pantai Sisi Miring Dalam Upaya Penanggulangan Abrasi Pesisir Pantai)(Akmal & Sahri Putra 2021).	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Hudson.	Berdasarkan perhitungan, hasil yang didapat pada bangunan sebelumnya adalah 1,5 m, sehingga untuk mencegah abrasi pertambahan tinggi bangunan 4,074 m adalah 5,574 m dengan lebar puncak yang ada 1 m sehingga pertambahan 0,20 m adalah 1,2 m, tebal lapis lindung pertama 1,2 m dan tebal lapis lindung kedua 0,60 m. Lebar pelindung kaki 1,8 m dengan ketebalan 0,5 m
4.	Annisa Rimadantia Samudra, M. Ihsan Jasin, Fuad Halim (Evaluasi Kinerja Breakwater Terhadap Gelombang Di Kawasan Pelabuhan Manado) Annisa Rimadantia Samudra, dkk (2018).	Evaluasi dilakukan dengan menganalisis data sekunder untuk kinerja bangunan pantai breakwater (breakwater) yang ada. Peramalan gelombang dianalisis dengan metode hindcasting gelombang menggunakan data angin selama 10 tahun dari BMKG Maritim Bitung untuk mendapatkan	Hasil analisis gelombang di perairan pelabuhan Manado didominasi oleh gelombang arah Barat dengan gelombang maksimum terjadi pada bulan Januari 2014 dengan $H = 1,483$ m dan $T = 5,118$ det, pada perhitungan run-up diperoleh tinggi run-up 1,398 m sampai 1,933 m. Untuk kala ulang(10,20,30,50, dan 100 tahun) tinggi run-up diperoleh 1,995 m sampai 2,456 m . Berdasarkan hasil analisis tidak terjadi overtopping dan hasil penelitian terhadap breakwater eksisting pada area pengembangan yang berada di arah utara, menunjukkan bahwa breakwater dikatakan Aman terhadap gelombang yang ada

No	Nama/Judul/Tahun Penelitian	Metode	Kesimpulan
----	-----------------------------	--------	------------

		tinggi dan periode gelombang signifikan serta elevasi muka air laut yang terjadi di pelabuhan manado, transformasi gelombang, run-up, dan overtopping gelombang	sekarang, maka efektifitas kinerja breakwater dikatakan masih efektif dalam melindungi ketenangan dalam kolam pelabuhan.
--	--	---	--

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan mengenai lokasi penelitian, metode pengumpulan data dan langkah-langkah yang ditempuh dalam analisis ini adalah studi pustaka/literatur, survei lapangan, pengumpulan data primer, pengumpulan data sekunder, analisis data dan analisa rencana dan pembahasan untuk menghasilkan kesimpulan dan saran. Pengumpulan data yang diperoleh langsung dari BMKG Sultan Iskandar Muda Banda Aceh dan BMKG Maritim Pelabuhan Ulee Lheue Banda Aceh. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada bagan alir proses penelitian pada lampiran A halaman 45.

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kecamatan Kuta Raja, Kota Banda Aceh yang berjarak 7 Km dari pusat Kota Banda Aceh atau pada koordinat 5°34'33"N dan 95°18'23"E.

3.2 Persiapan Pendahuluan

Tahap persiapan berupa rangkaian kegiatan sebelum memulai pengumpulan dan pengolahan data. Tahap ini dilakukan pengamatan pendahuluan agar mendapat gambaran umum dalam mengidentifikasi kondisi pada lokasi penelitian dan merumuskan masalah yang terdapat pada lokasi penelitian.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan hal yang paling penting yang harus dilakukan dalam sebuah penelitian, sehingga data-data yang bersangkutan dengan penelitian sangat mendukung penyelesaian penelitian ini. Adapun pengumpulan data pada penelitian ini meliputi:

3.3.1 Data primer

Data Primer adalah data yang diperoleh secara langsung dilapangan. Adapun data primer yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu:

1. Pengamatan lapangan

Pada penelitian ini diperlukan pengamatan kondisi pantai Kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kecamatan Kuta Raja, Kota Banda Aceh untuk melihat tingkat kerusakan pada bangunan breakwater serta mengamati tipe breakwater pada jalan tersebut. Pada proses ini sangat diperlukan untuk merencanakan metode penelitian yang tepat untuk digunakan setelah mengetahui informasi mengenai kondisi lokasi penelitian secara umum.

2. Dokumentasi lapangan

Pengumpulan data dokumentasi dengan cara mengambil foto lokasi penelitian. Dokumentasi ini akan memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai erosi pantai pada daerah penelitian pantai Kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kecamatan Kuta Raja, Kota Banda Aceh serta melihat beberapa sampel yang ada di lapangan.

3.3.2 Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari pihak lain/pihak kedua, tidak langsung diperoleh oleh peneliti dari subyek penelitiannya. Adapun data-data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data angin didapat dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Sultan Iskandar Muda Banda Aceh digunakan untuk memperkirakan besar tinggi gelombang, data angin yang digunakan dalam perencanaan ini yaitu data angin dari tahun 2019 hingga 2024.
2. Data gelombang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Maritim Pelabuhan Ulee Lheue Banda Aceh digunakan

untuk memperkirakan pembentukan gelombang dari tahun 2019 hingga 2024.

3. Data pasang surut didapat Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Maritim Pelabuhan Ulee Lheue Banda Aceh digunakan untuk menentukan HHWL, MHWL, LWL, dan, MSL dalam merencanakan dimensi bangunan breakwater.
4. Data peta Provinsi Aceh didapat UPTB-GIS digunakan untuk mengetahui lokasi.
5. Data peta Kota Banda Aceh didapat dari UPTB-GIS digunakan untuk mengetahui dengan jelas lokasi penelitian.
6. Data peta Kecamatan Kutaraja didapat dari UPTB-GIS digunakan untuk mengetahui dengan jelas lokasi penelitian.

3.4 Metode Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data merupakan sarana penting untuk dapat mengetahui proses perhitungan dalam mengevaluasi bangunan breakwater, meliputi:

3.4.1 Pengolahan Data Angin

Adapun pengolahan data berupa data angin, pada pengolahan data angin ini perlu dicari terlebih dahulu distribusi kecepatan angin, dan kemudian setelah mendapatkan kecepatan angin maka dilanjutkan pada koreksi data angin.

3.4.2 Pengolahan Data Gelombang

Pengolahan data gelombang pada breakwater sisi miring mempunyai sifat fleksibel, kerusakan yang terjadi akibat gelombang tidak secara tiba-tiba (tidak fatal), untuk mencari perhitungan tinggi gelombang rencana dan refraksi gelombang dengan menggunakan Metode Hudson.

3.4.3 Pengolahan Data Pasang Surut

Data pasang surut yang akan digunakan pada penelitian ini adalah data pasang surut yang mewakili daerah pantai Kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue

Gampong Jawa, data pasang surut ini bertujuan untuk menentukan tipe/sifat pasang surut yang akan digunakan dalam menghitung elevasi muka air laut rencana.

3.4.4 Pengolahan Data Dimensi Bangunan Breakwater Eksisting

Untuk membuat bangunan pengaman pantai yaitu breakwater tipe miring dengan menggunakan Metode Hudson yang terdiri dari beberapa tahapan perhitungan yaitu menghitung berat butir lapis pelindung, menghitung elevasi puncak breakwater, menghitung lebar puncak breakwater, serta menghitung tebal lapis pelindung dan jumlah butir batu.

3.5 Metode Analisis Data

Tahapan analisis data merupakan sarana penting untuk dapat mengetahui dan melihat hasil dari pengolahan data dalam mengevaluasi kinerja bangunan breakwater eksisting, pada tahapan ini dilakukan proses analisis data yang meliputi:

3.5.1 Analisis Data Angin

1. Menghitung distribusi kecepatan arah angin dan konversi kecepatan angin dengan menggunakan persamaan 2.1, 2.2 halaman 6 kemudian data angin akan dihitung untuk mendapatkan kecepatan angin berdasarkan data angin pada 6 tahun terakhir.
2. Menghitung panjang fetch, dilakukan perhitungan fetch efektif menggunakan peta pada daerah Kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa kemudian panjang garis fetch dihitung dari lokasi menuju daratan di ujung pulau dengan interval sudut 6° sampai membentuk sudut 42° dengan menggunakan persamaan 2.3 halaman 7.

3.5.2 Analisis Data Gelombang

1. Perhitungan tinggi gelombang signifikan dengan melihat grafik peramalan gelombang yang nantinya digunakan untuk menghitung tinggi gelombang rencana dapat dilihat persamaan 2.4 halaman 7, persamaan 2.5 halaman 8, 2.6 dan 2.7 halaman 11 serta grafik peramalan gelombang.

2. Menentukan refraksi gelombang rencana dengan menggunakan persamaan 2.12 halaman 11.
3. Menentukan tingkat pendangkalan dengan menggunakan persamaan 2.15 pada halaman 12
4. Menentukan tinggi gelombang pecah dengan menggunakan persamaan 2.16, 2.17, 2.18, 2.19 dan 2.20 pada halaman 14

3.5.3 Analisis Data Pasang Surut

1. Untuk menghitung kenaikan muka air laut harus ditentukan terlebih dahulu tipe/sifat pasang surut yang terjadi akibat gelombang dengan menggunakan persamaan 2.21 pada halaman 16.
2. Setelah mendapatkan sifat pasang surut yang akan digunakan dapat dilanjutkan dengan menghitung tinggi muka air dengan elevasi muka air rencana, elevasi muka air rata-rata, dan elevasi muka air terendah kemudian didapatkan elevasi muka air laut rencana.

3.5.4 Analisis Data Perencanaan Dimensi Bangunan

1. Menghitung berat butir lapis pelindung pada perairan yang berfungsi untuk menahan hempasan air laut dengan menggunakan persamaan 2.22 dan persamaan 2.23 halaman 20.
2. Menghitung elevasi puncak breakwater dan run up gelombang dengan menggunakan bilangan irribaren pada persamaan 2.25 dan persamaan 2.26 halaman 22.
3. Menghitung lebar puncak breakwater yang tergantung pada limpasan, jika bangunan tanpa limpasan maka puncak bisa lebih kecil dengan menggunakan persamaan 2.27 halaman 23.
4. Menghitung tebal lapis pelindung dan jumlah butir batu tiap satu luasan dengan menggunakan persamaan 2.28 dan persamaan 2.29 halaman 23.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dikemukakan seluruh hasil pengolahan data dan pembahasan dari pokok permasalahan penelitian. pengolahan data dan pembahasan dari penelitian ini akan dipaparkan berdasarkan pada teori-teori dan persamaan yang telah di kemukakan pada bab II.

4.1. Hasil

Hasil pengolahan data ditampilkan dalam bentuk tabel dan gambar yang menggambarkan kecepatan angin, gelombang, dan pasang surut pada Kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kecamatan Kuta Raja, Kota Banda Aceh. Berdasarkan hasil pengolahan data maka diperoleh dimensi bangunan.

4.1.1 Hasil Analisis Kecepatan dan Arah Angin

Data angin yang digunakan untuk mengetahui distribusi arah angin pada Kota Banda Aceh ini yaitu data angin mulai dari tahun 2019 hingga tahun 2024 distribusi kecepatan dan arah angin dalam berbagai interval didapatkan data terbanyak pada kecepatan angin konstan berada pada arah angin tenggara yaitu dengan total 65,3 km/jam dan pada arah angin barat laut dengan total nilai 16,8 km/jam untuk menghitung panjang fetch arah angin dominan yang digunakan terdapat pada arah tenggara, karena pada arah tenggara panjang fetch nya bukan terkena daratan melainkan tertuju pada pulau terdekat dengan presentase arah dominan angin tenggara sebesar 1,0 %, dapat dilihat pada lampiran B.2.5 halaman 57.

Setelah kita mengetahui kecepatan angin dominan dan arah angin dominan di lokasi maka selanjutnya masuk keperhitungan angin terkoreksi, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran C.1 halaman 67.

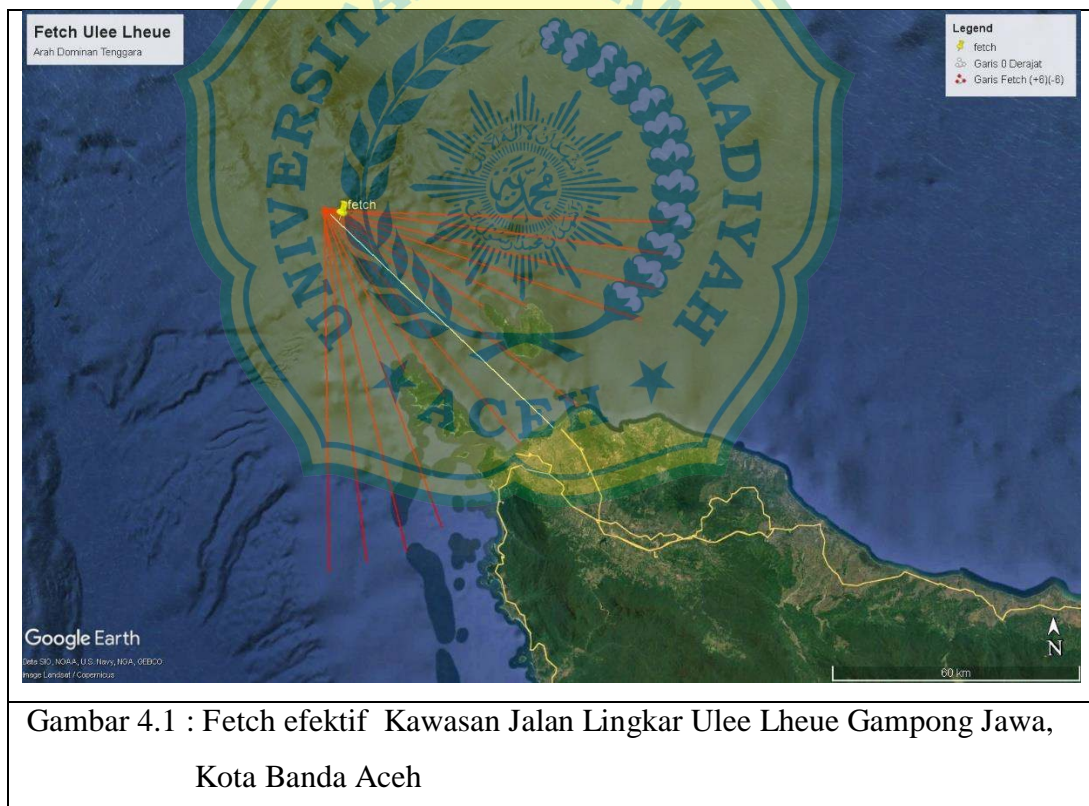
1. Koreksi terhadap elevasi pengukuran $U_{10} = 7,16$ m/dt, untuk keperluan peramalan gelombang biasanya digunakan kecepatan angin pada

ketinggian 10 m. Apabila kecepatan tidak diukur pada ketinggian tersebut maka kecepatan angin perlu dikoreksi kembali.

2. Hasil koreksi didapatkan nilai $U_w = 9,38$ m/det, setelah selesai dikoreksi terhadap faktor tersebut, maka selanjutnya dapat dihitung koreksi tegangan angin, $U_A = 11,14$ m/det. Dan hasil koreksi tegangan angin ini akan dipergunakan dalam peramalan gelombang.

4.1.2 Fetch

Sesuai dengan arah dominan angin dan gelombang yang berada pada Kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda Aceh. Maka untuk perhitungan fetch menggunakan arah timur. Berikut merupakan penggambaran panjang fetch :



Fetch merupakan panjang keseluruhan suatu daerah pembangkit gelombang dimana angin dapat berhembus dengan arah dan kecepatan yang konstan, panjang fetch dapat ditentukan dari peta serta panjang garis fetch

dihitung dari lokasi peramalan sampai kedaratan di ujung – ujung pulau yang membatasi. Tabel perhitungan fetch rerata efektif disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tabel perhitungan fetch rerata efektif

No	Arah	$\alpha(\dots^\circ)$	$\text{Cos } \alpha$	Jarak sebenarnya xi (Km)	$\text{Xi} \cdot \text{Cos } \alpha$
1	Tenggara (SE)	42	0,743	91.47	67.975
2		36	0,809	91.82	74.284
3		30	0,866	90.05	77.986
4		24	0,914	88.99	81.296
5		18	0,951	59.35	56.445
6		12	0,978	69.87	68.343
7		6	0,995	81.21	80.765
8		0	1,000	81.58	81.580
9		-6	0,995	83.67	83.212
10		-12	0,978	49.52	48.438
11		-18	0,951	68.76	65.395
12		-24	0,914	88.37	80.730
13		-30	0,866	89.42	77.440
14		-36	0,809	90.25	73.014
15		-42	0,743	90.98	67.611
Jumlah			13,511		1084.514

Panjang garis fetch rerata efektif didapat $F_{\text{eff}} = 80,27$ Km, untuk cara perhitungannya dapat dilihat pada lampiran C.3 halaman 72.

4.1.3 Tinggi dan Periode Gelombang

Tinggi dan periode gelombang didapat dengan menggunakan angin terkoreksi (U_A) dan fetch rerata efektif, perhitungan tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang signifikan (T_s) maka tinggi dan periode gelombang diperoleh dari grafik lampiran C.3 Gambar C.3.5 pada halaman 73 :

- Tinggi gelombang signifikan (H_0) adalah 1,7 m
- Periode gelombang signifikan (T) adalah 6,2 detik

4.1.4 Cepat Rambat Gelombang di Laut Dalam, Ketinggian dan Kedalaman Gelombang Pecah

Untuk menghitung gelombang rencana terlebih dahulu menghitung gelombang dilaut dalam dan kecepatan rambat laut dalam. sehingga diperoleh panjang gelombang dilaut dalam $L_0 = 59,96$ m dan cepat rambat gelombang di laut dalam $C_0 = 9,6$ m/det. Nilai panjang gelombang dilaut dalam (L_0) dan cepat rambat gelombang dilaut dalam (C_0) digunakan untuk perhitungan tinggi gelombang rencana. Pada Jalan Kawasan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa Kota Banda Aceh dipilih kedalaman (d) 5 m. Untuk perhitungan kedalaman dilaut didapat $d/L_0 = 0,083$. Untuk nilai $d/L_0 = 0,083$ maka didapat nilai $d/L = 0,12593$ masuk kedalam kategori $1/20 \leq d/L \leq 1/2$ sehingga termasuk kedalam gelombang di laut transisi. Panjang gelombang dilaut dangkal (L) maka berdasarkan lampiran C.4 halaman 75 didapat nilai panjang gelombang (L) = 39,70 m, cepat rambat gelombang (C) = 6,4 m/det.

Arah datangnya gelombang pada kedalaman 5 m didapat $\alpha_1 = 28,09^\circ$, K_r (koefisien refraksi) = 0,89 dan K_s (koefisien pendangkalan) = 0,95 berdasarkan perhitungan pada lampiran C.4 halaman 76. Jadi tinggi gelombang rencana hasil perhitungan pada lampiran C.4 halaman 77 didapat $H = 1,44$ m. Dalam analisis gelombang pecah, nilai H'_0 diperoleh = 1,79 m.

Analisa gelombang pecah berdasarkan perhitungan pada lampiran C.4 halaman 78 tinggi gelombang ekuivalen pada kedalaman 5 m didapat $\frac{H'_0}{gT^2} = 0,0047$ dari nilai grafik penentuan tinggi gelombang pecah gambar C.3.8 pada lampiran C halaman 79, penentuan kedalaman gelombang pecah hubungan

antara $\frac{H_b}{H'0} = 1,43$ m dan nilai $\frac{H_b}{gT^2} = 0,0068$. Dengan menggunakan grafik kedalaman gelombang pecah gambar C.3.9 pada lampiran C.4 halaman 80, dengan nilai $m = 0,126$ diperoleh tinggi gelombang pecah $H_b = 2,56$ m dan kedalaman gelombang pecah $db = 2,25$ m.

4.1.5 Pasang Surut dan Run up Gelombang

Pengetahuan tentang pasang surut sangat penting didalam perencanaan bangunan pantai yang dimana terdapat elevasi muka air rencana, elevasi rencana tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter baik berupa konstanta pasang surut maupun elevasi muka air rencana yaitu :

1. Elevasi muka air rencana

Berdasarkan data sekunder pasang surut, diperoleh tinggi muka air sebagai berikut:

- a. Elevasi muka air tertinggi (HWL) = 81 cm
- b. Elevasi muka air rata – rata (MSL) = 52 cm
- c. Elevasi muka air terendah (LWL) = + 0,00 m

2. Kenaikan muka air akibat gelombang (wave set up) (S_w) dapat dilihat pada lampiran C.5 halaman 82 didapat $S_w = 0,402$ m.

Breakwater ini memiliki kemiringan bangunan yang dibuat sebesar 1 : 2 sehingga didapat tinggi run up $Ir = 2,97$ berdasarkan nilai grafik gambar C.3.11 pada lampiran C.5 halaman 83, sehingga dapat dihitung nilai run up untuk bangunan breakwater dari bahan breakwater yaitu $R_u = 2$ m

4.1.6 Dimensi Bangunan

Disini perlu diperhitungkan dimensi bangunan breakwater yang sesuai dan aman yang dimana perhitungan dimensi meliputi :

1. Elevasi muka air rencana

Elevasi puncak breakwater dipengaruhi oleh tinggi kebebasan, untuk perhitungan ini dengan ketentuan 0,5 m – 1,5 m ditetapkan tinggi kebebasannya yaitu 1,5 m sehingga elevasi puncak didapat $El_{pengel} = 4,31$ m berdasarkan perhitungan pada lampiran C.5 halaman 84.

2. Berat butir batu pelindung

Didalam penelitian ini batu yang digunakan yaitu jenis batu alam dilindungi oleh lapis pelindung berupa batu besar dengan ukuran tertentu sehingga menggunakan tabel B.2.1 koefisien stabilitas K_D pada lampiran B halaman 54 didapat koefisien stabilitas $K_D = 2$ dengan jumlah susunan butir batu dalam lapis pelindung ($n=2$) untuk langkah pertama kita menghitung nilai S_r nya terlebih dahulu yang dimana nilai $S_r = 2,5$, kemudian didapat berat untuk lapis pelindung $W_1 = 946,207$ kg, lapis pelindung $W_2 = \frac{W_1}{10} = 94,62$ kg, lapis pelindung $W_2 = \frac{W_1}{15} = 63,08$ kg, lapis pelindung $W_3 = \frac{W_1}{200} = 4,73$ kg dan lapis pelindung $W_3 = \frac{W_1}{6000} = 0,15$ kg, untuk lebih jelas perhitungan berat butir batu pelindung ini dapat dilihat pada lampiran C.6 halaman 84 dan 85.

3. Perhitungan tebal lapisan batu breakwater

Tebal lapis pelindung sangat diperlukan dalam sebuah breakwater yang berfungsi sebagai pertahanan dalam breakwater dan juga berpengaruh pada stabilitas batu lapis pelindung dengan menggunakan tabel koefisien lapis K_Δ pada tabel B.2.2 pada lampiran B halaman 55 maka di dapat kan jumlah butir batu minimum, (n) = 2, nilai koefisien lapis $K_\Delta = 1,15$ sehingga didapat tebal lapisan breakwater $t_1 = 1,64$ m dan tebal lapisan breakwater $t_2 = 0,76$ m untuk lebih jelasnya perhitungan tebal lapisan breakwater dapat dilihat pada lampiran C.6 halaman 85 dan 86.

4. Perhitungan lebar puncak breakwater

Dengan menggunakan tabel koefisien lapis K_Δ pada tabel B.2.2 pada lampiran B halaman 55 maka didapat jumlah butir batu minimum, (n) = 3, nilai koefisien lapis $K_\Delta = 1,15$ sehingga didapat lebar puncak bangunan $B = 2,46$ m untuk lebih jelasnya perhitungan lebar puncak breakwater dapat dilihat pada lampiran C.6 halaman 86.

5. Perhitugan jumlah butir batu lapisan pelindung

Dengan menggunakan tabel koefisien lapis K_{Δ} pada tabel B.2.2 pada lampiran B halaman 52 maka didapatkan jumlah butir batu minimum, $(n) = 2$, nilai koefisien lapis $K_{\Delta} = 1,15$ dan porositas ($p = 37$) sehingga jumlah butir lapis pelindung satuan luas (10 m^2) pada lapis pelindung $N_1 = 29$ buah, pada lapis pelindung $N_2 = 132$ buah dan pada lapis pelindung $N_3 = 973$ buah, untuk lebih jelas perhitungannya dapat dilihat pada lampiran C.6 halaman 86 dan 87.

4.2. Pembahasan

Pembangunan breakwater di kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue, Gampong Jawa, Banda Aceh berangkat dari kondisi angin yang dominan berhembus dari arah tenggara selama periode 2019–2024. Arah ini mencatat kecepatan paling besar, yaitu sekitar $65,3 \text{ km/jam}$, jauh lebih tinggi dibandingkan arah barat laut yang hanya $16,8 \text{ km/jam}$. Karena itulah, tenggara dipilih sebagai acuan utama dalam perhitungan fetch, sebab hembusan angin dari arah tersebut langsung menuju perairan tanpa terhalang daratan.

Setelah kecepatan angin dikoreksi ke ketinggian standar 10 meter, didapat nilai $U_{10} = 7,16 \text{ m/det}$, lalu meningkat menjadi $U_w = 9,38 \text{ m/det}$, dan akhirnya menghasilkan kecepatan tegangan angin $U_A = 11,14 \text{ m/det}$. Angka inilah yang menjadi dasar dalam memperkirakan kondisi gelombang di kawasan tersebut. Dengan panjang fetch efektif mencapai $80,27 \text{ km}$, perhitungan menunjukkan gelombang signifikan yang terbentuk memiliki tinggi sekitar 1,7 meter dan periode sekitar 6,2 detik.

Saat dianalisis lebih jauh, panjang gelombang di laut dalam terhitung sekitar 59,96 meter dengan kecepatan rambat mencapai $9,6 \text{ m/det}$. Namun, ketika gelombang itu memasuki perairan transisi di kedalaman yang lebih dangkal, panjangnya berkurang menjadi sekitar 39,07 meter dengan kecepatan rambat menjadi $6,4 \text{ m/det}$. Akibat transformasi ini, tinggi gelombang rencana untuk perencanaan breakwater ditetapkan sebesar 1,44 meter, sementara run up gelombang yang harus ditahan bangunan mencapai 2 meter.

Dari kondisi tersebut, breakwater kemudian dirancang menggunakan tiga lapis pelindung batu alam. Lapisan terluar berupa batu besar dengan berat hampir

946,207 kg per butir, sebanyak 29 buah per 10 m² yang disusun setebal 1,64 meter. Di baliknya, terdapat lapisan kedua dengan batu berukuran sedang, sekitar 63,08–94,62 kg yang disusun setebal 0,76 meter dengan banyak batu berjumlah 132 buah per 10 m². Sementara itu, lapisan paling dalam menggunakan batu-batu kecil berbobot 0,15 – 4,73 kg, namun jumlahnya sangat banyak untuk mengisi celah dan memperkokoh struktur sebanyak 973 buah per 10 m².

Bangunan ini akhirnya memiliki elevasi puncak 4,31 meter di atas muka air, dengan lebar puncak sekitar 2,46 meter. Dengan dimensi tersebut, breakwater dirancang agar mampu menahan hempasan gelombang, meredam energi yang datang dari laut, dan melindungi garis pantai Ulee Lheue dari ancaman erosi maupun kerusakan akibat badai.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan mengenai Evaluasi Kinerja Struktur Breakwater Terhadap Tranformasi Gelombang (Studi Kasus: Kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda Aceh) dapat dibuat beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut :

5.1. Kesimpulan

Pada sub bab kesimpulan ini membahas mengenai hasil dari analisis yang telah dilakukan berdasarkan hasil analisis data dan observasi lapangan. Berikut merupakan kesimpulan dari penelitian yang berjudul Evaluasi Kinerja Struktur Breakwater Terhadap Tranformasi Gelombang (Studi Kasus: Kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda Aceh) yaitu:

1. Keberadaan breakwater saat ini tidak dapat meredamkan erosi yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti pasang surut air laut, gelombang laut yang tinggi dan arus laut yang dipengaruhi oleh angin yang kencang sehingga menghasilkan energi gelombang laut yang kuat dan merusak jalan.
2. Untuk meminimalisir terjadinya erosi pantai dan melindungi pesisir pantai dari hantaman gelombang yang kuat dengan ukuran bangunan breakwater sebelumnya, maka perlu adanya penambahan tinggi dan lebar puncak breakwater serta berat butir breakwater, yang dimana untuk tinggi bangunan breakwater sebagai pelindung pesisir pantai dapat dilakukan penambahan tinggi bangunan menjadi 4,31 meter dan lebar puncak breakwater menjadi 2,46 meter, dan direncanakan 3 lapisan yang berbeda untuk setiap lapis pelindung breakwater dimana untuk W_1 adalah 946,207 kg dengan tebal lapis pelindung $t_1 = 1,46$ m, berat lapisan W_2 adalah 94,62 kg dengan tebal lapis pelindung $t_2 = 0,76$ m dan berat lapisan W_3 adalah 4,73 kg, jumlah butir batu lapisan batu alam perluasan (10 m^2)

untuk lapis pelindung N_1 adalah 29 buah, N_2 adalah 132 buah dan pada N_3 adalah 973 buah.

5.2. Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan dengan penelitian Evaluasi Kinerja Struktur Breakwater Terhadap Tranformasi Gelombang (Studi Kasus: Kawasan Jalan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda Aceh) antara lain:

1. Untuk perencanaan bangunan breakwater selanjutnya, sebaiknya analisis data tanah dari lokasi tersebut ikut diperhitungkan untuk merencanakan seberapa stabil bangunan yang akan direncanakan.
2. Diharapkan pemerintah Kota Banda Aceh lebih memperhatikan lagi pekerjaan konstruksi bangunan breakwater ini agar kedepan kerusakan pada breakwater yang menyebabkan erosi pantai membahayakan lalu lintas perjalanan masyarakat tidak terjadi lagi.

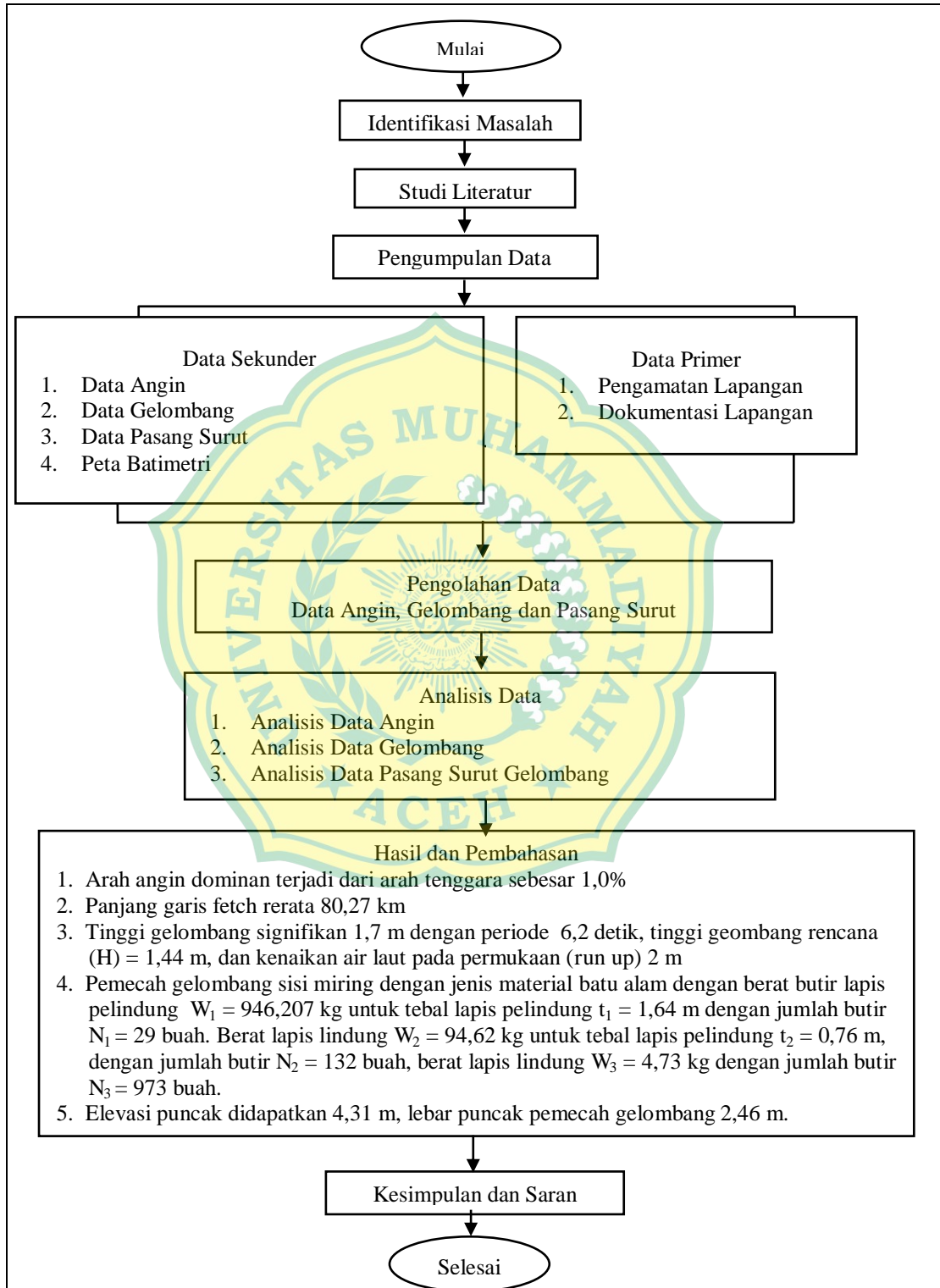
DAFTAR PUSTAKA

- Agung, L.W., Salim, N. dan Alihudien, A. (2017). Evaluasi pemecah gelombang (breakwater) pada pelabuhan perikanan. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 2 (1): 25-34.
- Agung, L. W. (2018). Evaluasi breakwater (breakwater) pada pelabuhan perikanan di ipp (instalasi pelabuhan perikanan) pancer kabupaten banyuwangi (Doctoral Dissertation, Universitas Muhammadiyah Jember).
- Aqil, L., Agung, I. B. dan Sulistyorini, D. (2018). Perencanaan stabilitas lapis pelindung tertapond pada pemecah gelombang di pantai glagah kulon progo. *RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil*, 3(1): 40-49.
- Choirunisa, A. K. dan Giyarsih, S. R. (2016). Kajian kerentanan fisik, sosial, dan ekonomi pesisir samas kabupaten bantul terhadap erosi pantai. *Jurnal Bumi Indonesia*, 5(4): 1-10.
- Dronkers, J. J. (1964). *Tidal Computations In Rivers And Coastal Waters*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Hariyoni, H., Sisingih, D., Marsudi, S. (2010). Studi perencanaan bangunan pengendalian akresi dan abrasi di pantai tanjungwangi, Kabupaten Banyuwangi. Universitas Brawijaya, Malang.
- Hartati, F., Taqwa, F. M. L. dan Alimuddin. (2021). Kajian konseptual pemecah gelombang. *Jurnal Komposit*, 5(1): 31-37.
- Hartati, R., Pribadi, R., Astuti, R. W., & Yesiana, R. (2016). Kajian pengamanan dan perlindungan pantai di wilayah pesisir kecamatan tugu dan genuk, Kota Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 19(2): 95-100.
- Jaya, D. J. (2023). Kajian bangunan pelidung pantai dari bahaya abrasi/erosi dengan menggunakan breakwater di Indonesia. *Jurnal Informasi, Perkebunan Dan Sipil*, 3(1): 32-46.
- Kuswadi, D., Tugiono, S., Wahoo, E. P. dan Zakaria, A. (2022). Studi refleksi gelombang menggunakan model breakwater tipe dinding berpori dengan pemodelan fisik 2-d. *JRSDD*, 10(2): 257-266.

- Lilimwelat, O. K., Retraubun, N. dan Telussa, M. F. (2019). Analisa erosi pantai desa seri Kecamatan Nusaniwe Kota Ambon. *Jurnal manumata*, 5(2): 85-94.
- Nadia, P., Ali, M. dan Besperi. (2013). Pengaruh angin terhadap tinggi gelombang pada struktur bangunan breakwater di tapak paderi Kota Bengkulu. *Jurnal Inersia*, 5 (1): 41-56.
- Putra, A. O. P. dan Armono, H. D. (2013). Pengaruh elevasi muka air laut pada koefisien transmisi dan refleksi composite breakwater. *Jurnal Teknik ITS*, 2(1): G47-G51.
- Rachmat, B., & Purwanto, C. (2016). Morfologi dasar laut kaitannya dengan proses abrasi pantai di perairan pulau marore, Sulawesi Utara. *Jurnal Geologi Kelautan*, 9(1): 29- 43.
- Retraubun, N., Telussa, M. F. dan Halawane, W. (2022). Penentuan bangunan pelindung pantai yang tepat di Desa Hatu, Kecamatan Leihitu Barat Maluku Tengah. *Jurnal Manumata*, 8(1): 11-19.
- Rif'an, A. A. dan Tyawati, A. W. (2020). Penilaian risiko bencana kawasan pariwisata pantai sayung, Kabupaten Demak. *Pringgitan*, 11(2): 135-150.
- Rizal, N. F. T., Jansen, T. dan Thambas, A. H. (2021). Perencanaan pemecah gelombang (breakwater) didaerah pantai Desa Saonek Kabupaten Raja Ampat Provinsi Papua Barat. *Jurnal Sipil Statik*, 9(4): 717-724.
- Samudra, A. R., Jasin, M. I. dan Halim, F. (2018). Evaluasi kinerja breakwater terhadap geombang di kawasan pelabuhan manado. *Jurnal Sipil Statik*, 6(4): 211-224.
- Sardiyatmo, Supriharyono, dan Hartoko, A. (2013). Dampak dinamika garis pantai menggunakan citra satelit multi temporal pantai semarang Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Saintek Perikanan*, 8(2): 33-37.
- Saputro, M. S. dan Nawawi M. (2010). Analisis abrasi pantai semarang bagian barat. Universitas Diponegoro, Semarang. Skripsi.
- Tawoeda, S. P., Tawas, H. J. dan Halim, F. (2016). Studi transformasi gelombang terhadap perubahan garis pantai beo barat Kabupaten Kepulauan Talaud. *Jurnal Sipil Statik*, 4 (3): 155-164.

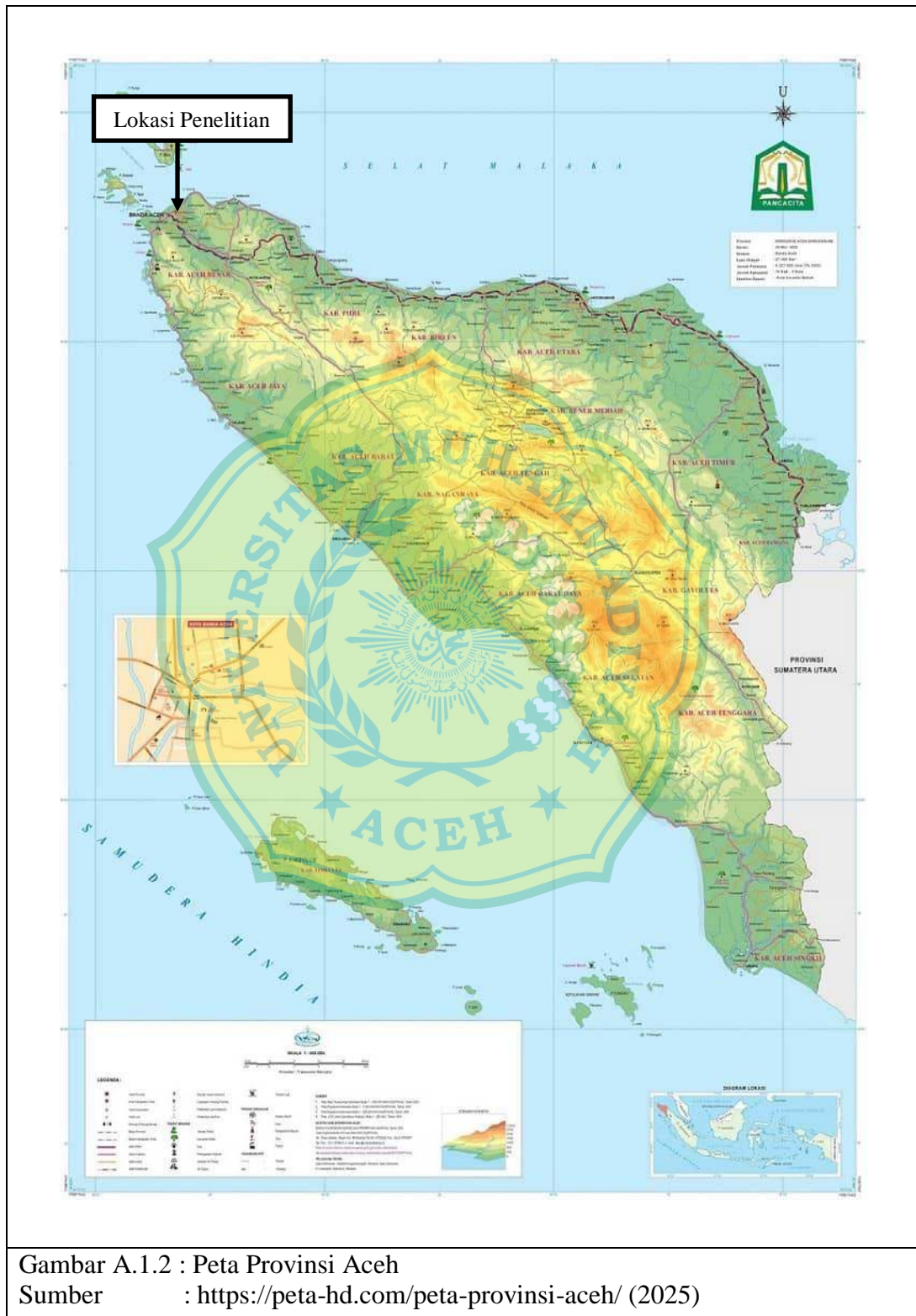
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai, Beta offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2003. Perencanaan Bangunan Pantai. Beta offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B., 2010. Perencanaan Pelabuhan. Yogyakarta.
- Wigati, R., Priyambodho, B. A. dan Sasmita, S. I. (2018). Perencanaan pemecah gelombang (breakwater) sisi miring di pelabuhan merak dengan menggunakan batu pecah dan tetrapod. *Jurnal Fondasi*, 7(2): 84-93.
- Wijaya, H. T. 2015. Analisis Bangunan revetment yang Ekonomis untuk samudra Lepas (Studi kasus pantai Pondok Kelapa Bengkulu Tengah).
- Wyrtki, K. (1961). *Physical Oceanography of the South East Asian Waters*. Naga Report Vol. 2 Scripps. Institute Oceanography. California.
- Yannovita, W., Besperi. dan Gunawan, G. (2017). Desain breakwater sisi miring sebagai upaya mengantisipasi limpasan air laut pada bangunan revetment dipantai malabero Kota Bengkulu. *Jurnal Inersia*, 9(2) 1-10.
- Yuliamangesti, A. 2016. Evaluasi kinerja bangunan breakwater (breakwater) di pantai puger jember. Universitas Jember.
- Zendrato, N. L. H. (2016). Analisis efektivitas penggunaan breakwater dengan lapis pelindung bambu dan tetrapod untuk mereduksi energi gelombang laut di pelabuhan kuala tanjung. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 5(1).

LAMPIRAN A



Gambar A.1.1 : Bagan Alir

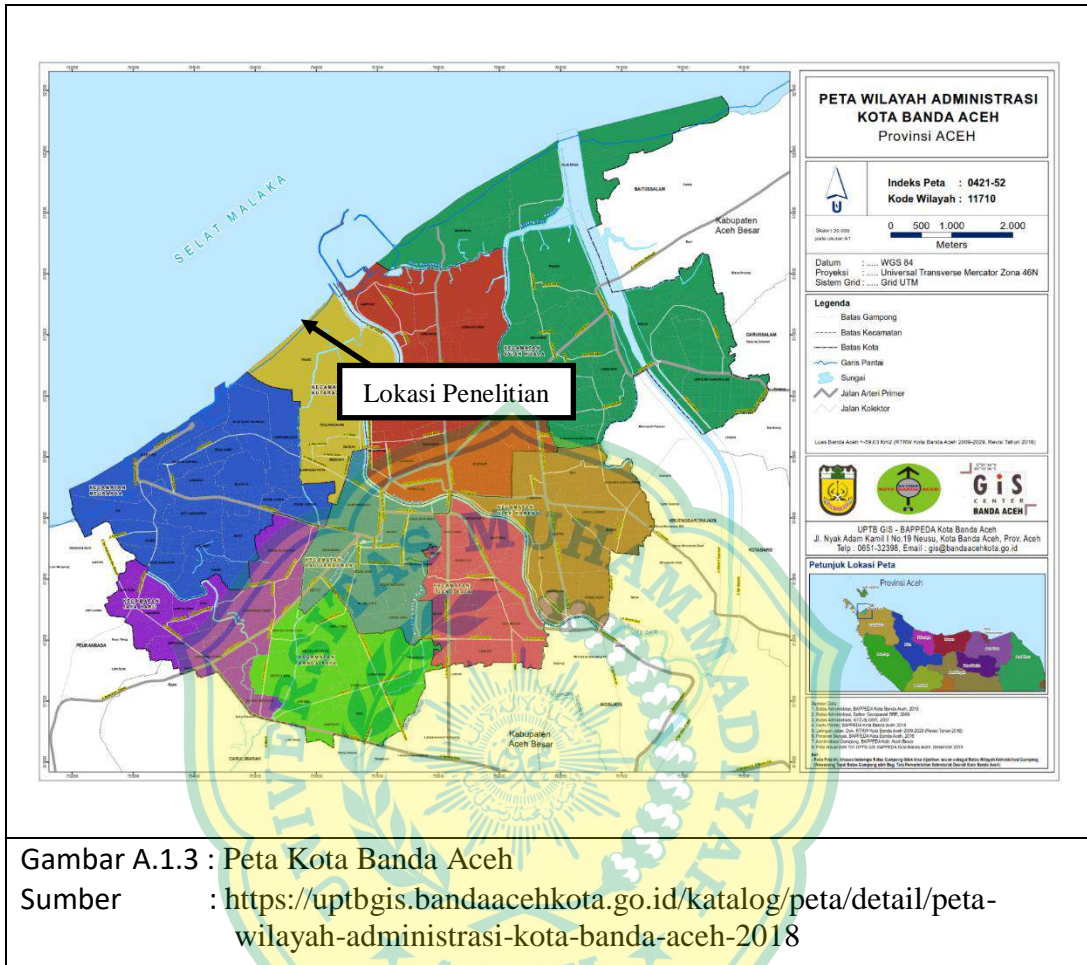
LAMPIRAN A



Gambar A.1.2 : Peta Provinsi Aceh

Sumber : <https://peta-hd.com/peta-provinsi-aceh/> (2025)

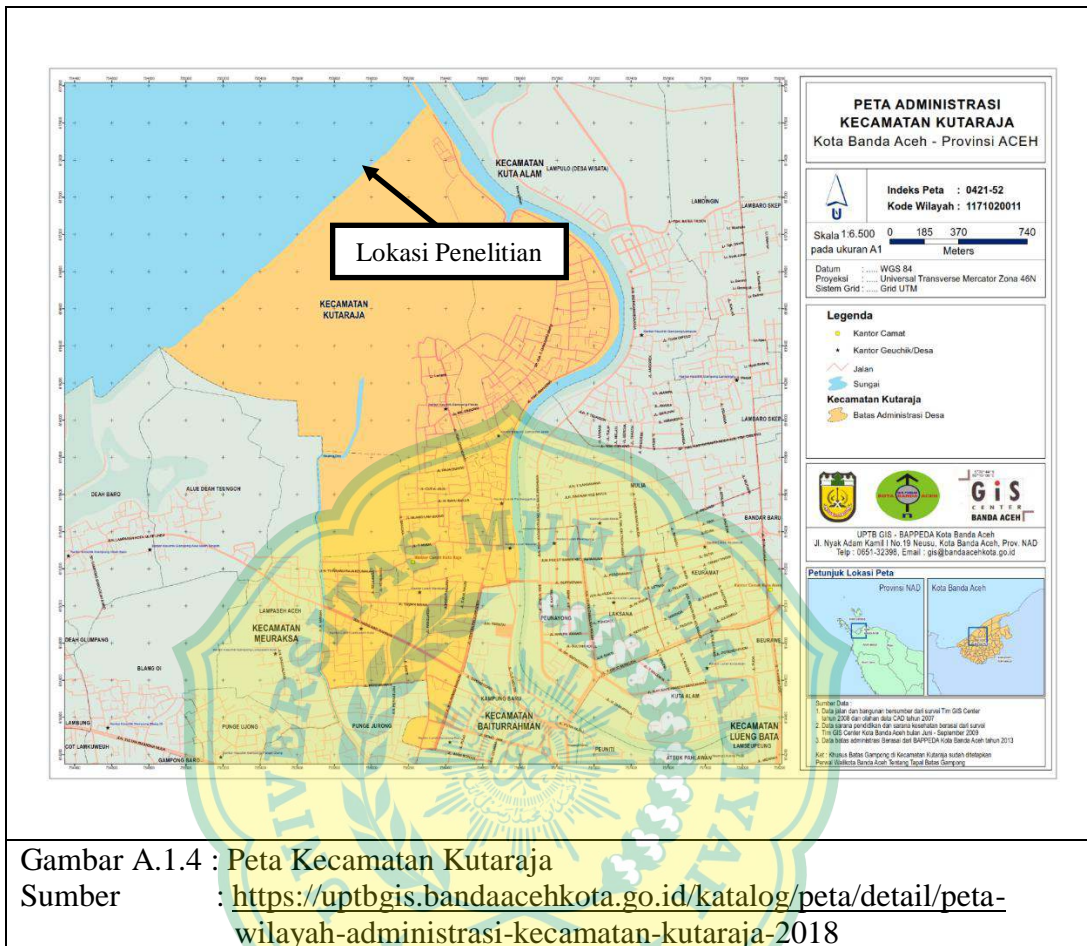
LAMPIRAN A



Gambar A.1.3 : Peta Kota Banda Aceh

Sumber : <https://uptbgis.bandacehkota.go.id/katalog/peta/detail/peta-wilayah-administrasi-kota-banda-aceh-2018>

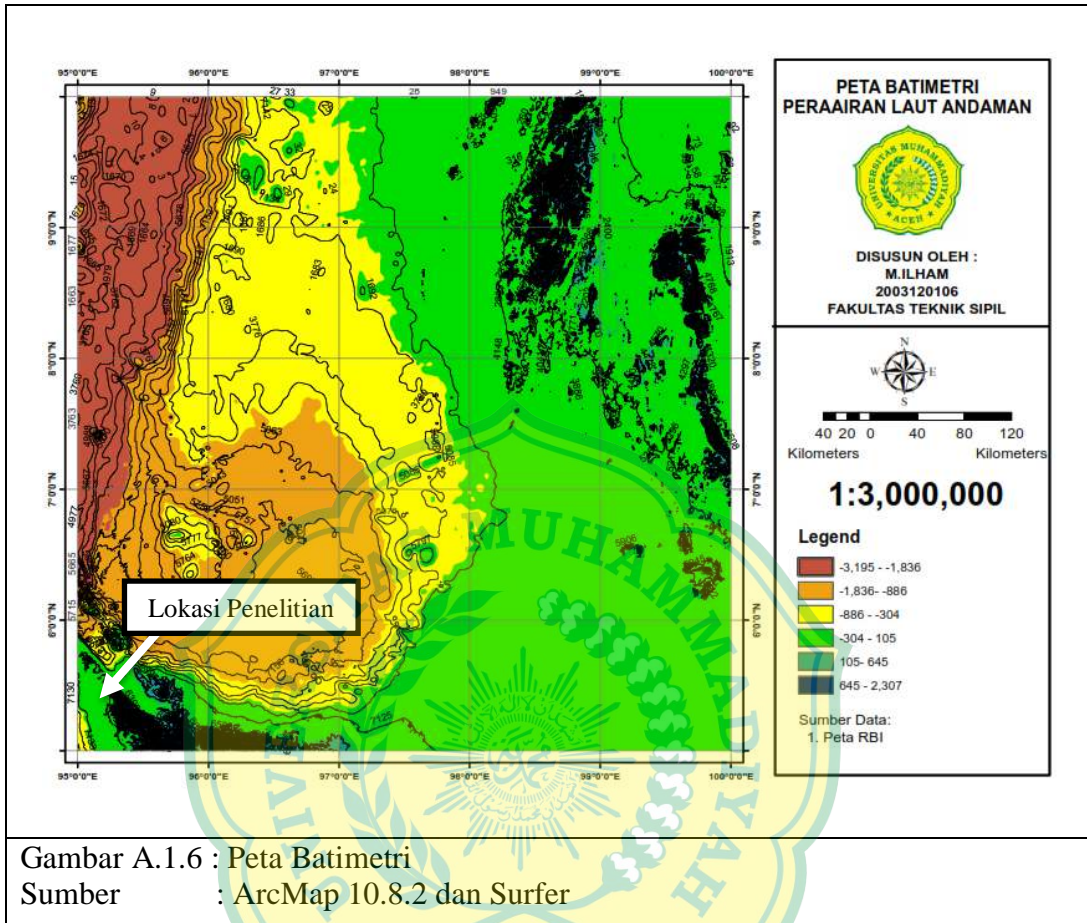
LAMPIRAN A



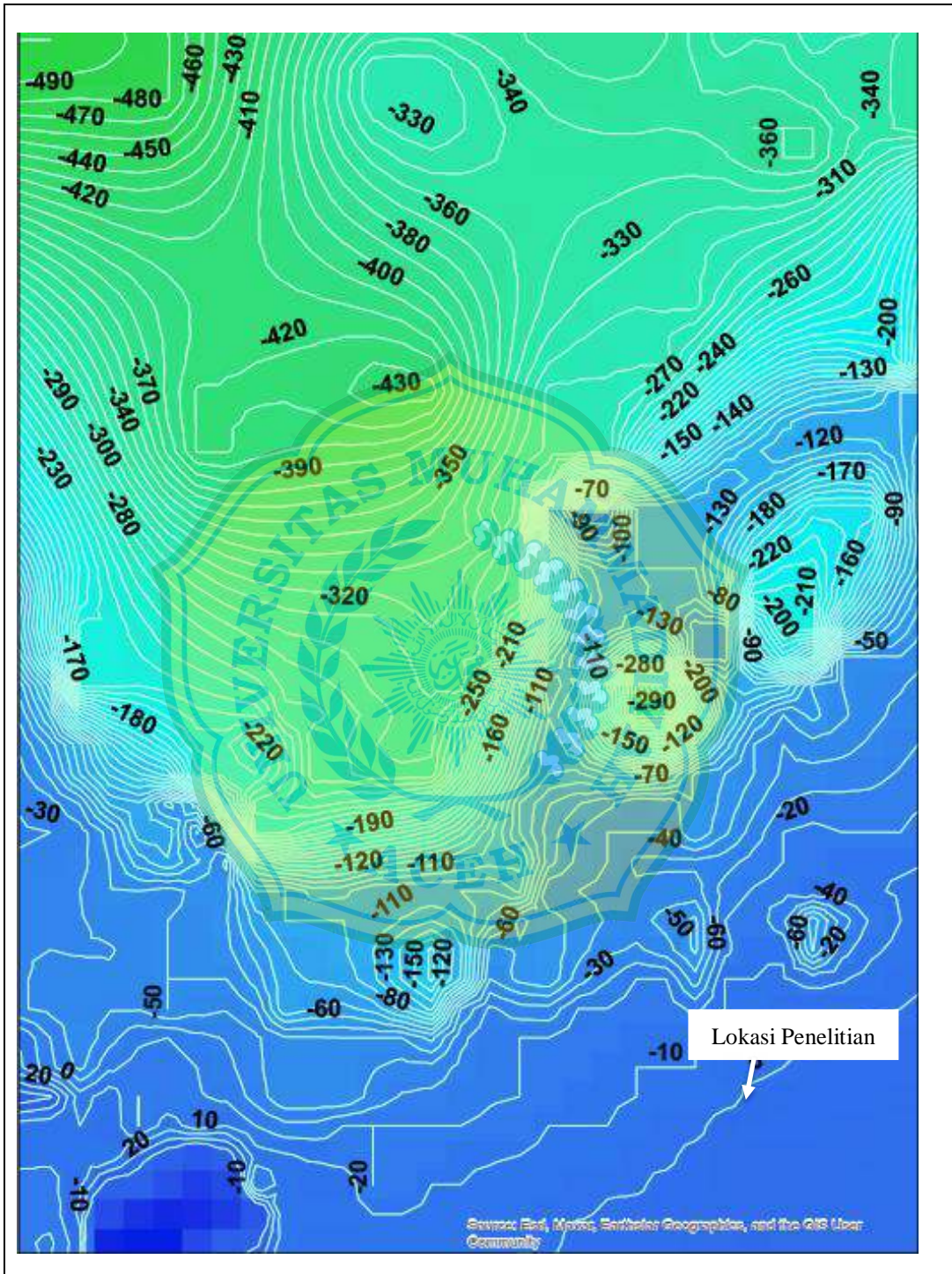
LAMPIRAN A



LAMPIRAN A



LAMPIRAN A



Gambar A.1.7 : Peta Batimetri Daerah Ulee Lheue
Sumber : ArcMap 10.8.2

LAMPIRAN A



Gambar A.1.8 : Peta Batimetri Lokasi Penelitian Jalan Kawasan Lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa

Sumber : ArcMap 10.8.2

LAMPIRAN A

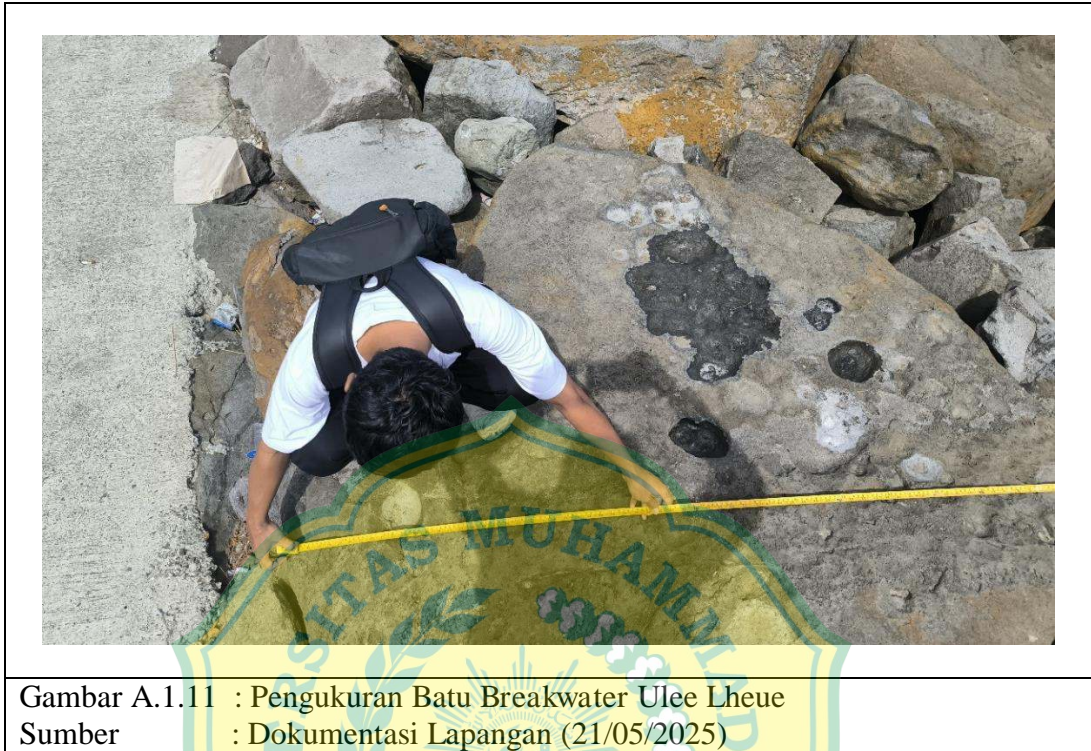


Gambar A.1.9 : Pengukuran Lebar Puncak Breakwater Ulee Lheue
Sumber : Dokumentasi Lapangan (21/05/2025)



Gambar A.1.10 : Pengukuran Lapis Pelindung Breakwater Ulee Lheue
Sumber : Dokumentasi Lapangan (21/05/2025)

LAMPIRAN A



LAMPIRAN B

Tabel B.2.1 Nilai Koefisien Stabilitas (K_D) Untuk Berbagai Jenis Butir

Jenis Material Lapis Lindung	n	Penempatan Armor	Lengan Bangunan		Ujung Bangunan		Kemiringan Cot θ
			K_D		K_D		
			Gelombang g Pecah	Gelombang Tidak Pecah	Gelombang g Pecah	Gelombang Tidak Pecah	
Batu Pecah							
- Bulat halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5 - 3,0
- Bulat halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	*2
- Bersudut kasar	1	Acak	*1	2,9	*1	2,3	*2
- Bersudut kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,9	3,2	1,5
					1,6	2,8	2,0
					1,3	2,3	3,0
- Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	*2
- Bersudut kasar	2	Khusus	5,8	7,0	5,3	6,4	*2
- Paralelepipedur	2	Khusus	7,0-20,0	8,5 - 24,0	-	-	
Tetrapod dan Quatripod	2	Acak	7,0	8,0	5,0	6,0	1,5
					4,5	5,5	2,0
					3,5	4,0	3,0
Tribar	2	Acak	9,0	10,0	8,3	9,0	1,5
					7,8	8,5	2,0
					6,0	6,5	3,0
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,0	16,0	2,0
					7,0	14,0	3,0
Kubus modifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	5,0	*2
Hexapod	2	Acak	8,0	9,5	5,0	7,0	*2
Tribar	1	Seragam	12,0	15,0	7,5	9,5	*2
Batu Pecah (K_{RR})(graded)		Acak	2,2	2,5	-	-	-

Catatan :

N = Jumlah susunan buti batu dalam lapis lindung

*1 = penggunaan n=1 tidak disarankan untuk kondisi gelombang pecah

*2 = Sampai ada ketentuan lebih lanjut tentang nilai KD, penggunaan KD dibatasi pada kemiringan 1:1,5 sampai 1:3,

*3 = batu ditempatkan dengan sumbu panjangnya tegak lurus permukaan bangunan

Sumber : Seruniadidar, 2017

LAMPIRAN B

Tabel B.2.2 Koefisien Lapis Dan Porositas

Berat Pelindung	n	Penempatan	Koefisien Lapis k_{Δ}	P (%)
Batu Alam (halus)	2	Random (acak)	1,02	38
Batu Alam (kasar)	2	Random (acak)	1,15	37
Batu Alam (kasar)	>3	Random (acak)	1,10	40
Kubus	2	Random (acak)	1,10	47
Tetrapod	2	Random (acak)	1,04	50
Quadripod	2	Random (acak)	0,95	49
Hexapod	2	Random (acak)	1,15	47
Tribard	2	Random (acak)	1,02	54
Dolos	2	Random (acak)	1,00	63
Tribar	1	Seragam	1,13	47
Batu Alam		Random (acak)		37

Sumber : Bambang Triatmodjo, 2016

LAMPIRAN B

Tabel B.2.3 Berat Jenis Material

No	Nama Material	Berat Jenis (Yr) Kg/M ³
1	Pasir	1400 Kg/M ³
2	Kerikil, Koral, Split (Kering/Lembab)	1800 Kg/M ³
3	Tanah Lempung (Kering.Lembab)	1700 Kg/M ³
4	Tanah Lempung (Basah)	2000 Kg/M ³
5	Batu Alam	2600 Kg/M ³
6	Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung	1500 Kg/M ³
7	Batu Karang	700 Kg/M ³
8	Batu Pecah	1450 Kg/M ³
9	Pasangan Bata Mera	1700 Kg/M ³
10	Pasangan Batu Belah, Bulat, Gunung	2200 Kg/M ³
11	Pasangan Batu Cetak	2200 Kg/M ³
12	Pasangan Btau Karang	1450 Kg/M ³
13	Kayu (Kelas I)	1000 Kg/M ³
14	Beton	2200 Kg/M ³
15	Beton Bertulang	2400 Kg/M ³
16	Besi Tulang	7250 Kg/M ³
17	Baja	7850 Kg/M ³
18	Timah Hitam/Timbel	11400 Kg/M ³

Sumber : Khaidir, 2022

LAMPIRAN B

Tabel B.2.4 Distribusi Kecepatan Angin Di Ulee Lheue (Kecepatan Angin Dalam Knot Tahun 2019-2024)

Arah Angin	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agus	Sep	Okt	Nov	Des	Total
Utara	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 m/s
Timur Laut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 m/s
Timur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 m/s
Tenggara	6.5	6.8	5.7	5.1	5.1	4.9	5.2	5.3	4.6	5.9	4.8	5.4	65.3 m/s
Selatan	0	0	0	0	0	5.0	0	0	0	0	0	0	5.0 m/s
Barat Daya	0	0	0	0	0	0	4.0	0	4.7	0	0	0	8.7 m/s
Barat	0	0	0	0	0	0	0	0	5.0	0	0	0	5.0 m/s
Barat Laut	0	0	0	0	0	3.4	0	3.9	4.8	4.7	0	0	16.8 m/s

Sumber : BMKG Stasiun Meterologi Sultan Iskandar Muda Banda Aceh, 2025

Tabel B.2.5 Presentase Kejadian Arah Angin Di Ulee Lheue (Kecepatan Angin Dalam Knot Tahun 2019-2024)

Arah Angin	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agus	Sep	Okt	Nov	Des	Total
Utara	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Timur Laut	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Timur	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Tenggara	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.09	0.07	0.08	1.0 %
Selatan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0 %
Barat Daya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.46	0.0	0.54	0.0	0.0	0.0	1.0 %
Barat	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	1.0 %
Barat Laut	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.20	0.0	0.23	0.29	0.28	0.0	0.0	1.0 %
Berangin													5.0 %
Tidak Berangin													95.0 %
Total													100.0 %

Sumber : BMKG Stasiun Meterologi Sultan Iskandar Muda Banda Aceh, 2025

LAMPIRAN B

Tabel B.2.6 Data Ketinggian Gelombang Di Ulee Lheue

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agus	Sep	Okt	Nov	Des	Total
2019	3	3.5	3	3.5	3.5	3.5	3	3.5	3.5	3	3	3.5	39.5 m
2020	2	2.5	3	3	3.5	3.5	3	3.5	3.5	3.5	2.5	3	36.5 m
2021	3.5	3.5	3.5	3.5	4	3	3.5	3	3	3.5	3	3.5	40.5 m
2022	3	3	2.5	3.5	3.5	3	3.5	3	3	3.5	3.5	3	38 m
2023	2.5	3	3.5	3.5	3	3.5	3	3	2.5	3.5	3.5	3	37.5 m
2024	3.5	3.5	2.5	3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.0	3.5	40 m

BMKG Maritim Pelabuhan Ulee lheue, 2025

Tabel B.2.7 Persentase Kejadian Gelombang

Arah Angin	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agus	Sep	Okt	Nov	Des	Total
2019	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08	0.09	1.0 %
2020	0.05	0.07	0.08	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.07	0.08	1.0 %
2021	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.07	0.09	0.07	0.07	0.09	0.07	0.09	1.0 %
2022	0.08	0.08	0.07	0.09	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08	1.0 %
2023	0.07	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.07	0.09	0.09	0.08	1.0 %
2024	0.09	0.09	0.06	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	1.0 %

Sumber : BMKG Maritim Pelabuhan Ulee lheue, 2025

LAMPIRAN B

Tabel B.2.8 Tabel Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi Muka Air	Keterangan
HHWL (Highest High Water Level)	Air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati
MHWL (Mean High Water Level)	Rata-rata dari muka air tinggi selama periode 6 tahun
MSL (Mean Sea Level)	Muka air rata-rata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata
MLWL (Mean Low Water Level)	Rata-rata dari muka air rendah selama periode 6 tahun
LLWL (Lowest Low Water Level)	Air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati
Sumber : BMKG Maritim Pelabuhan Ulee lheue, 2025	

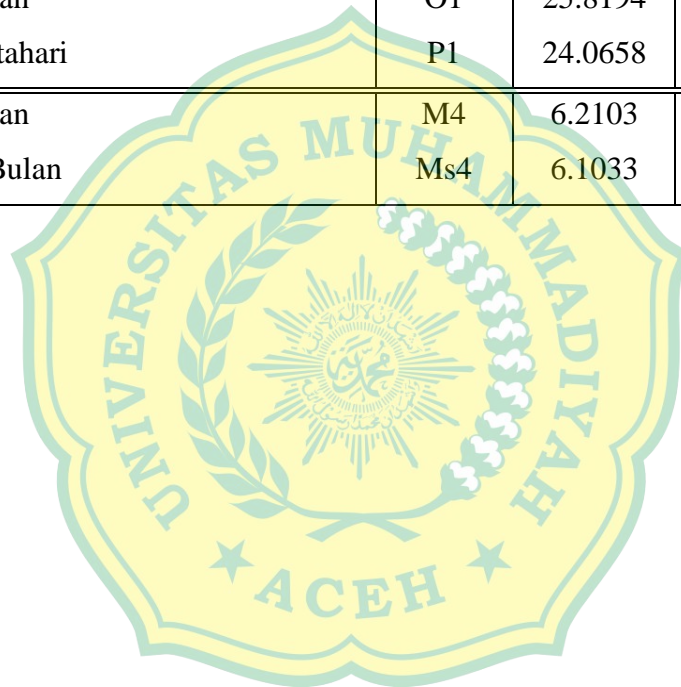
Tabel B.2.9 Hasil Analisis Survei Pasang Surut

No	Posisi	Elevasi (cm)
1	Highest High Water Level (HHWL)	81
2	Mean High Water Level (MHWL)	61
3	Mean Sea Level (MSL)	52
4	Mean Low Water Level (MLWL)	43
5	Lowest Low Water Level (LLWL)	0
Sumber : BMKG Maritim Pelabuhan Ulee lheue, 2025		

LAMPIRAN B

Tabel B.2.10 Komponen Harmonik Pasang Surut

Komponen	Simbol	Periode (Jam)	Keterangan
Utama Bulan	M2	12.4106	Semi Diurnal
Utama Matahari	S2	12.0000	
Bulat, akibat variasi jarak bumi-bulan	N2	12.6592	
Matahari-Bulan, akibat perubahan sudut deklinasi matahari-bulan	K2	11.9673	
Matahari-Bulan	K1	23.9346	Diurnal
Utama Bulan	O1	25.8194	
Utama Matahari	P1	24.0658	
Utama Bulan	M4	6.2103	Dangkal
Matahari-Bulan	Ms4	6.1033	



LAMPIRAN B

Tabel B.2.11 Koreksi Kecepatan Angin Ketinggian 10 meter tahun 2019 dan 2020

Bulan	Kecepatan Angin(U_{10})	Arah	Bulan	Kecepatan Angin(U_{10})	Arah
Januari	5.58	Tenggara	Januari	6.84	Tenggara
Februari	5.58	Tenggara	Februari	7.16	Tenggara
Maret	4.63	Tenggara	Maret	6.00	Tenggara
April	4.63	Tenggara	April	4.95	Tenggara
Mei	5.26	Tenggara	Mei	5.05	Tenggara
Juni	5.05	Tenggara	Juni	5.16	Tenggara
juli	5.16	Tenggara	juli	4.84	Tenggara
Agustus	5.37	Tenggara	Agustus	5.58	Tenggara
September	4.84	Tenggara	September	4.95	Barat
Oktober	4.00	Tenggara	Oktober	6.21	Tenggara
November	4.84	Tenggara	November	5.05	Tenggara
Desember	5.68	Tenggara	Desember	4.84	Tenggara

Sumber : Perhitungan Excel

Tabel B.2.12 Koreksi Kecepatan Angin Ketinggian 10 meter tahun 2021 dan 2022

Bulan	Kecepatan Angin(U_{10})	Arah	Bulan	Kecepatan Angin(U_{10})	Arah
Januari	5.47	Tenggara	Januari	5.47	Tenggara
Februari	5.58	Tenggara	Februari	5.47	Tenggara
Maret	5.58	Tenggara	Maret	4.63	Tenggara
April	5.37	Tenggara	April	5.05	Tenggara
Mei	4.95	Tenggara	Mei	5.37	Tenggara
Juni	4.52	Tenggara	Juni	5.26	Selatan
juli	5.47	Tenggara	juli	5.37	Tenggara
Agustus	5.26	Tenggara	Agustus	5.05	Tenggara
September	5.05	Barat Laut	September	5.26	Barat
Oktober	5.58	Tenggara	Oktober	4.95	Barat Laut
November	4.63	Tenggara	November	4.10	Tenggara
Desember	5.58	Tenggara	Desember	3.68	Tenggara

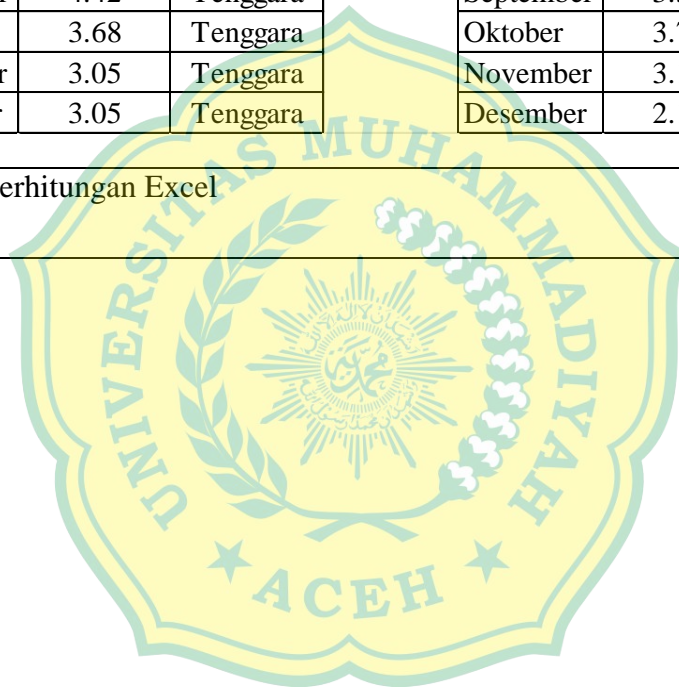
Sumber : Perhitungan Excel

LAMPIRAN B

Tabel B.2.13 Koreksi Kecepatan Angin Ketinggian 10 meter tahun 2023 dan 2024

Bulan	Kecepatan Angin(U_{10})	Arah	Bulan	Kecepatan Angin(U_{10})	Arah
Januari	4.10	Tenggara	Januari	5.16	Tenggara
Februari	3.68	Tenggara	Februari	4.63	Tenggara
Maret	3.37	Tenggara	Maret	4.21	Tenggara
April	3.16	Tenggara	April	3.37	Tenggara
Mei	3.68	Tenggara	Mei	3.68	Tenggara
Juni	3.58	Barat Laut	Juni	3.89	Selatan
juli	4.21	Barat Daya	juli	3.47	Tenggara
Agustus	4.10	Barat Laut	Agustus	3.47	Tenggara
September	4.42	Tenggara	September	3.37	Tenggara
Oktober	3.68	Tenggara	Oktober	3.79	Barat Laut
November	3.05	Tenggara	November	3.16	Tenggara
Desember	3.05	Tenggara	Desember	2.10	Tenggara

Sumber : Perhitungan Excel



LAMPIRAN B

Tabel B.2.14 Koreksi Kecepatan Angin Laut Dan Darat tahun 2019 Dan 2020 Berdasarkan Grafik

2019	U _L	R _L	U _w	Arah	2020	U _L	R _L	U _w	Arah
Januari	5.58	1.38	7.70	Tenggara	Januari	6.84	1.33	9.10	Tenggara
Februari	5.58	1.38	7.70	Tenggara	Februari	7.16	1.31	9.38	Tenggara
Maret	4.63	1.58	7.32	Tenggara	Maret	6.00	1.36	8.16	Tenggara
April	4.63	1.58	7.32	Tenggara	April	4.95	1.44	7.13	Tenggara
Mei	5.26	1.41	7.42	Tenggara	Mei	5.05	1.42	7.17	Tenggara
Juni	5.05	1.43	7.22	Tenggara	Juni	5.16	1.43	7.38	Tenggara
Juli	5.16	1.42	7.33	Tenggara	Juli	4.84	1.45	7.02	Tenggara
Agustus	5.37	1.40	7.52	Tenggara	Agustus	5.58	1.38	7.70	Tenggara
September	4.84	1.45	7.02	Tenggara	September	4.95	1.44	7.13	Barat
Oktober	4.00	1.50	6.00	Tenggara	Oktober	6.21	1.34	8.32	Tenggara
November	4.84	1.45	7.02	Tenggara	November	5.05	1.42	7.17	Tenggara
Desember	5.68	1.39	7.90	Tenggara	Desember	4.84	1.45	7.02	Tenggara

Sumber : Perhitungan Excel

Tabel B.2.15 Koreksi Kecepatan Angin Laut Dan Darat tahun 2021 Dan 2022 Berdasarkan Grafik

2021	U _L	R _L	U _w	Arah	2022	U _L	R _L	U _w	Arah
Januari	5.47	1.39	7.60	Tenggara	Januari	5.47	1.39	7.60	Tenggara
Februari	5.58	1.38	7.70	Tenggara	Februari	5.47	1.39	7.60	Tenggara
Maret	5.58	1.38	7.70	Tenggara	Maret	4.63	1.58	7.32	Tenggara
April	5.37	1.40	7.52	Tenggara	April	5.05	1.43	7.22	Tenggara
Mei	4.95	1.47	7.28	Tenggara	Mei	5.37	1.40	7.52	Tenggara
Juni	4.52	1.48	6.69	Tenggara	Juni	5.26	1.41	7.42	Selatan
Juli	5.47	1.39	7.60	Tenggara	Juli	5.37	1.40	7.52	Tenggara
Agustus	5.26	1.41	7.42	Tenggara	Agustus	5.05	1.43	7.22	Tenggara
September	5.05	1.43	7.22	Barat Laut	September	5.26	1.41	7.42	Barat
Oktober	5.58	1.38	7.70	Tenggara	Oktober	4.95	1.47	7.28	Barat Laut
November	4.63	1.58	7.32	Tenggara	November	4.10	1.49	6.11	Tenggara
Desember	5.58	1.38	7.70	Tenggara	Desember	3.68	1.53	5.63	Tenggara

Sumber : Perhitungan Excel

LAMPIRAN B

Tabel B.2.16 Koreksi Kecepatan Angin Laut Dan Darat tahun 2023 Dan 2024 Berdasarkan Grafik

2023	U _L	R _L	U _w	Arah	2024	U _L	R _L	U _w	Arah
Januari	4.10	1.49	6.11	Tenggara	Januari	5.16	1.42	7.33	Tenggara
Februari	3.68	1.53	5.63	Tenggara	Februari	4.63	1.58	7.32	Tenggara
Maret	3.37	1.56	5.26	Tenggara	Maret	4.21	1.50	6.32	Tenggara
April	3.16	1.58	4.99	Tenggara	April	3.37	1.56	5.26	Tenggara
Mei	3.68	1.53	5.63	Tenggara	Mei	3.68	1.53	5.63	Tenggara
Juni	3.58	1.53	5.48	Barat Laut	Juni	3.89	1.52	5.91	Selatan
Juli	4.21	1.50	6.32	Barat Daya	Juli	3.47	1.54	5.34	Tenggara
Agustus	4.10	1.49	6.11	Barat Laut	Agustus	3.47	1.54	5.34	Tenggara
September	4.42	1.49	6.59	Tenggara	September	3.37	1.56	5.26	Tenggara
Oktober	3.68	1.53	5.63	Tenggara	Oktober	3.79	1.51	5.72	Barat Laut
November	3.05	1.57	4.79	Tenggara	November	3.16	1.58	4.99	Tenggara
Desember	3.05	1.57	4.79	Tenggara	Desember	2.10	1.66	3.49	Tenggara

Sumber : Perhitungan Excel

LAMPIRAN B

Tabel B.2.17 Konversi Faktor Tegangan Angin 2019 Dan 2020

2019	U	U _A	Arah	2020	U	U _A	Arah
Januari	7.70	8.74	Tenggara	Januari	9.10	10.74	Tenggara
Februari	7.70	8.74	Tenggara	Februari	9.38	11.14	Tenggara
Maret	7.32	8.21	Tenggara	Maret	8.16	9.39	Tenggara
April	7.32	8.21	Tenggara	April	7.13	7.95	Tenggara
Mei	7.42	8.35	Tenggara	Mei	7.17	8.01	Tenggara
Juni	7.22	8.08	Tenggara	Juni	7.38	8.30	Tenggara
Juli	7.33	8.23	Tenggara	Juli	7.02	7.80	Tenggara
Agustus	7.52	8.49	Tenggara	Agustus	7.70	8.74	Tenggara
September	7.02	7.80	Tenggara	September	7.13	7.95	Barat
Oktober	6.00	6.43	Tenggara	Oktober	8.32	9.62	Tenggara
November	7.02	7.80	Tenggara	November	7.17	8.01	Tenggara
Desember	7.90	9.02	Tenggara	Desember	7.02	7.80	Tenggara

Sumber : Perhitungan Excel

Tabel B.2.18 Konversi Faktor Tegangan Angin 2021 Dan 2022

2021	U	U _A	Arah	2022	U	U _A	Arah
Januari	7.60	8.60	Tenggara	Januari	7.60	8.60	Tenggara
Februari	7.70	8.74	Tenggara	Februari	7.60	8.60	Tenggara
Maret	7.70	8.74	Tenggara	Maret	7.32	8.21	Tenggara
April	7.52	8.49	Tenggara	April	7.22	8.08	Tenggara
Mei	7.28	8.16	Tenggara	Mei	7.52	8.49	Tenggara
Juni	6.69	7.35	Tenggara	Juni	7.42	8.35	Selatan
Juli	7.60	8.60	Tenggara	Juli	7.52	8.49	Tenggara
Agustus	7.42	8.35	Tenggara	Agustus	7.22	8.08	Tenggara
September	7.22	8.08	Barat Laut	September	7.42	8.35	Barat
Oktober	7.70	8.74	Tenggara	Oktober	7.28	8.16	Barat Laut
November	7.32	8.21	Tenggara	November	6.11	6.58	Tenggara
Desember	7.70	8.74	Tenggara	Desember	5.63	5.95	Tenggara

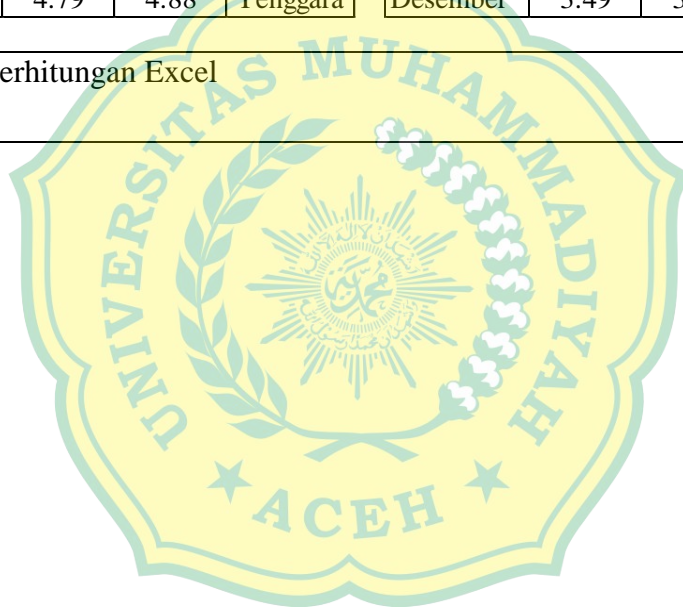
Sumber : Perhitungan Excel

LAMPIRAN B

Tabel B.2.19 Konversi Faktor Tegangan Angin 2023 Dan 2024

2023	U	U _A	Arah	2024	U	U _A	Arah
Januari	6.11	6.58	Tenggara	Januari	7.33	8.23	Tenggara
Februari	5.63	5.95	Tenggara	Februari	7.32	8.21	Tenggara
Maret	5.26	5.47	Tenggara	Maret	6.32	6.86	Tenggara
April	4.99	5.13	Tenggara	April	5.26	5.47	Tenggara
Mei	5.63	5.95	Tenggara	Mei	5.63	5.95	Tenggara
Juni	5.48	5.75	Barat Laut	Juni	5.91	6.31	Selatan
Juli	6.32	6.86	Barat Daya	Juli	5.34	5.57	Tenggara
Agustus	6.11	6.58	Barat Laut	Agustus	5.34	5.57	Tenggara
September	6.59	7.22	Tenggara	September	5.26	5.47	Tenggara
Oktober	5.63	5.95	Tenggara	Oktober	5.72	6.07	Barat Laut
November	4.79	4.88	Tenggara	November	4.99	5.13	Tenggara
Desember	4.79	4.88	Tenggara	Desember	3.49	3.30	Tenggara

Sumber : Perhitungan Excel



LAMPIRAN C

C.1 Hasil Perhitungan Kecepatan, Arah Angin dan Tinggi Gelombang

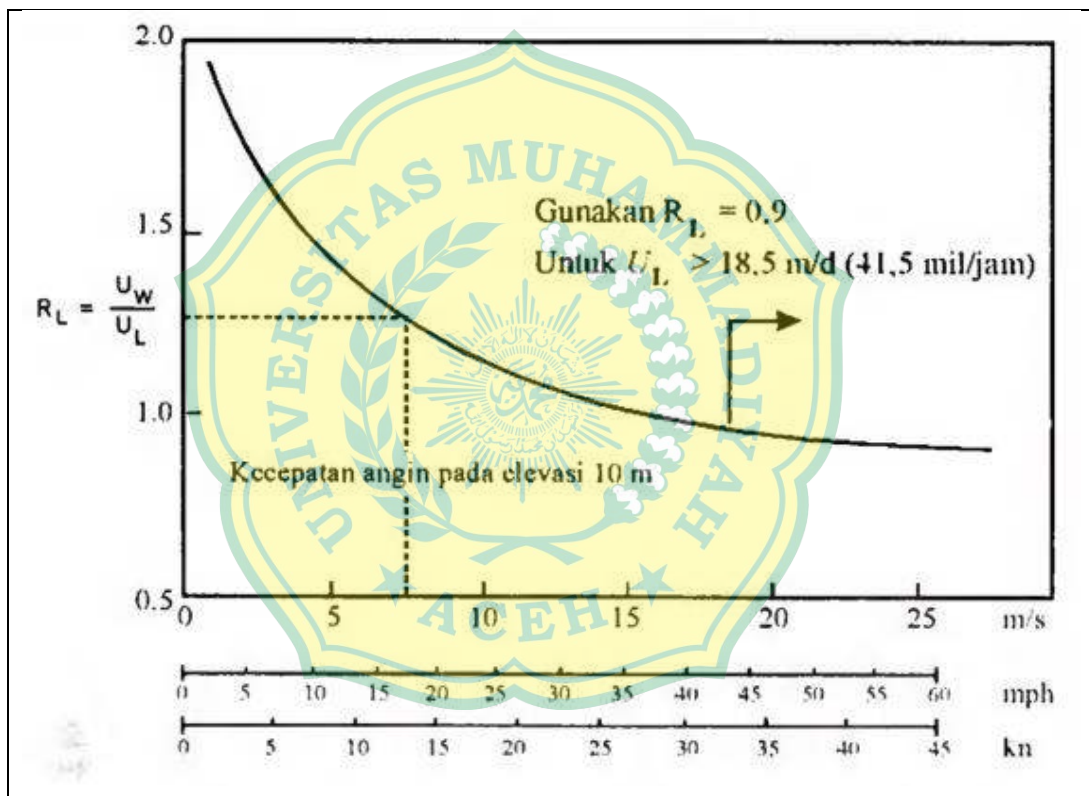
1. Perhitungan koreksi ketinggian angin dengan persamaan 2.1

$$U_{(10)} = U_{(y)} \left(\frac{10}{y} \right)^{\frac{1}{7}}$$

Maka =

$$U_{(10)} = 6,8 \text{ m/det} \left(\frac{10}{5} \right)^{\frac{1}{7}}$$

$$U_{(10)} = 7,16 \text{ m/det}$$



Gambar C.3.1 : Grafik Kecepatan Angin di Darat dan di Laut

Sumber : Purba, 2015

2. Perhitungan koreksi kecepatan angin di laut dengan persamaan 2.2

$$U_L = 7,16$$

$$R_L = \frac{U_W}{U_L} = 1,31$$

Maka

$$U_W = U_L \times R_L \\ = 7,16 \times 1,31 = 9,38 \text{ m/det}$$

3. Perhitungan konversi faktor tegangan angin dengan persamaan **2.3**

Setelah dilakukan berbagai konversi kecepatan angin yang sudah dijelaskan diatas, maka kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin

$$U_W = 9,38 \text{ m/det}$$

Maka :

$$U_A = 0,71 \times (9,38)^{1,23}$$

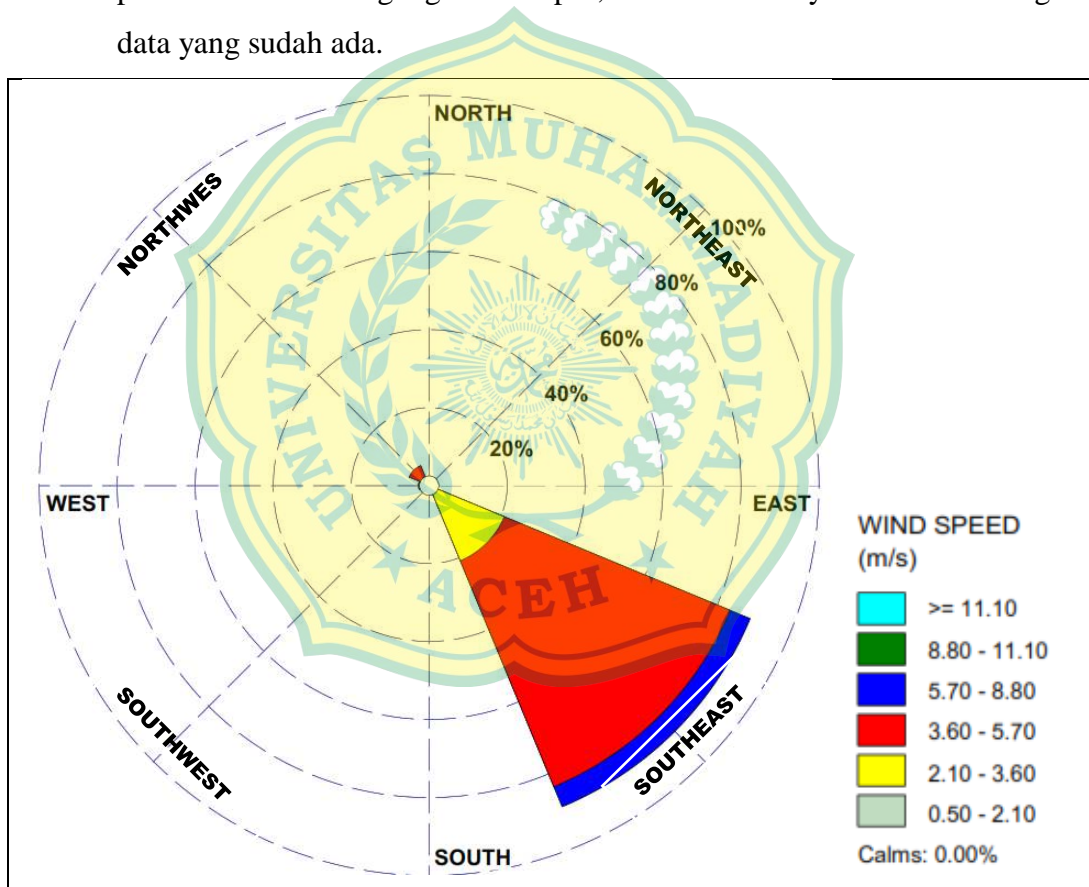
$$U_A = 11,14 \text{ m/det}$$

C.2 Perhitungan Distribusi Arah dan Kecepatan Angin.

Setelah melakukan perhitungan distribusi kecepatan dan arah angin dominan tertinggi secara manual pada lampiran B.2.4, kemudian menghitung keseluruhan data kecepatan dan arah angin dominan menggunakan aplikasi WRPLOT View kedalam diagram wind rose. Adapun langkah langkah dalam input data diagram windrose adalah sebagai berikut:

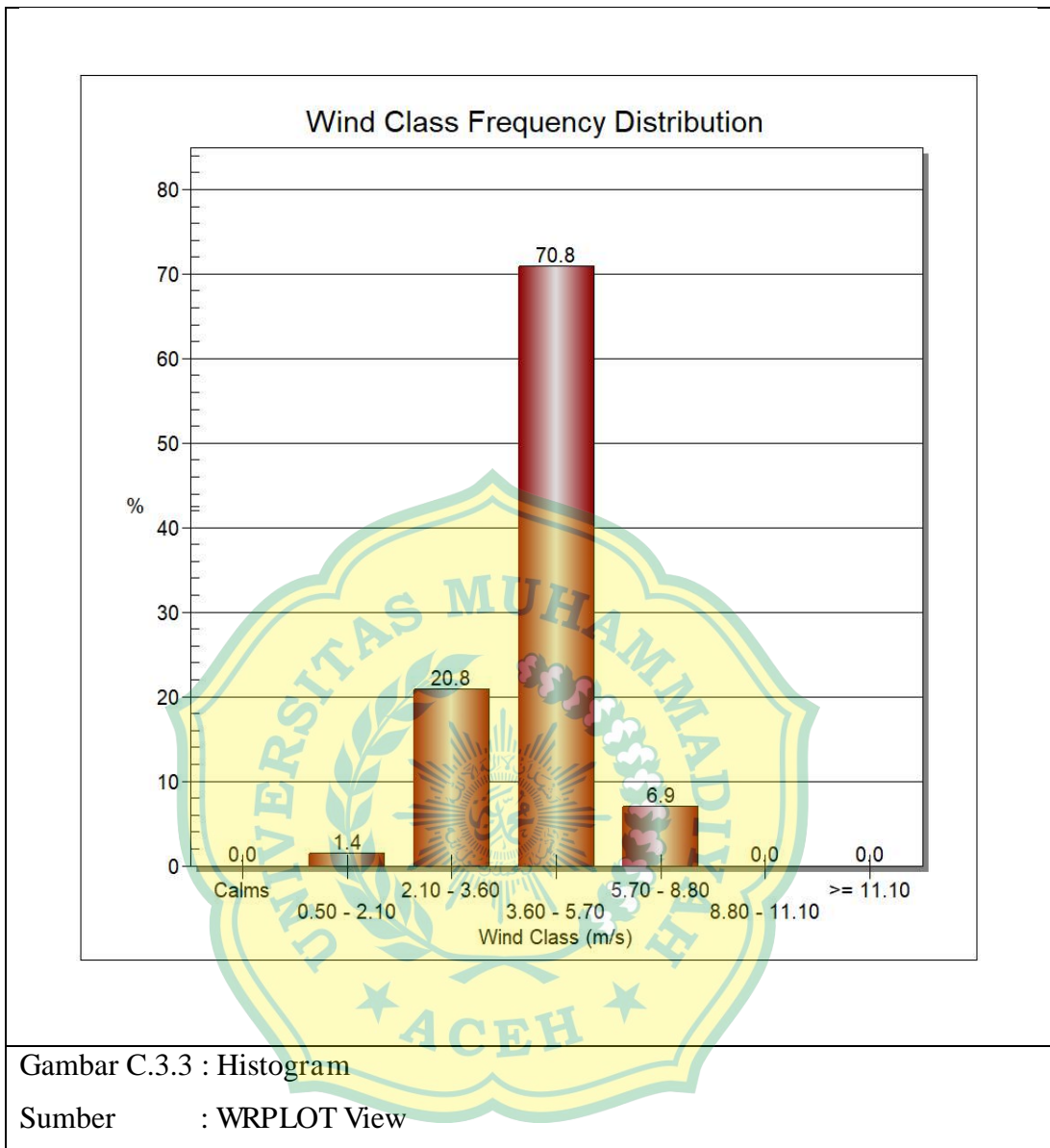
1. Sebelum menginput data melalui aplikasi WRPLOT, input data angin yang didapatkan dari BMKG kedalam worksheet atau excel, data yang di input sesuai dengan periode yang direncanakan yaitu dari tahun 2019-2024, dan data yang di input berisi tahun, bulan, tanggal, jam, arah dan kecepatan angin.
2. Kemudian jalankan aplikasi WRPLOT, lalu klik tools pada menu bar untuk melakukan import data yang telah di input pada excel.
3. Isi data Fields pada data kolom Year untuk tahun, Month untuk bulan dan seterusnya, setelah mengisi semua kolom berdasarkan kegunaannya, selanjutnya pastikan agar kolom data di tentukan First Row To Import sesuai dengan data yang di input dari excel.

4. Selanjutnya pindah ke Station Information yang ada disebelah data Fields dan isi data station sesuai dengan lokasi data yang ada dan kemudian klik import dan tekan yes untuk menyimpan kedalam File sam.
5. Kemudian buka kembali data sam yang sudah disimpan melalui menu bar add file dan jalankan, kemudian pilih wind rose dan graph untuk melihat hasil diagram wind rose dan grafik distribusi arah angin yang telah di input.
6. Dan selanjutnya lakukan perintah export pada menu bar dan lakukan perintah launch ke google earth pro, untuk lokasi nya sesuaikan dengan data yang sudah ada.



Gambar C.3.2 : Wind Rose 6 Tahun (2019-2024)

Sumber : WRPLOT View



Gambar C.3.3 : Histogram

Sumber : WRPLOT View

C.3 Perhitungan Fetch Efektif

Untuk perhitungan panjang garis fetch rerata efektif dengan persamaan 2.5

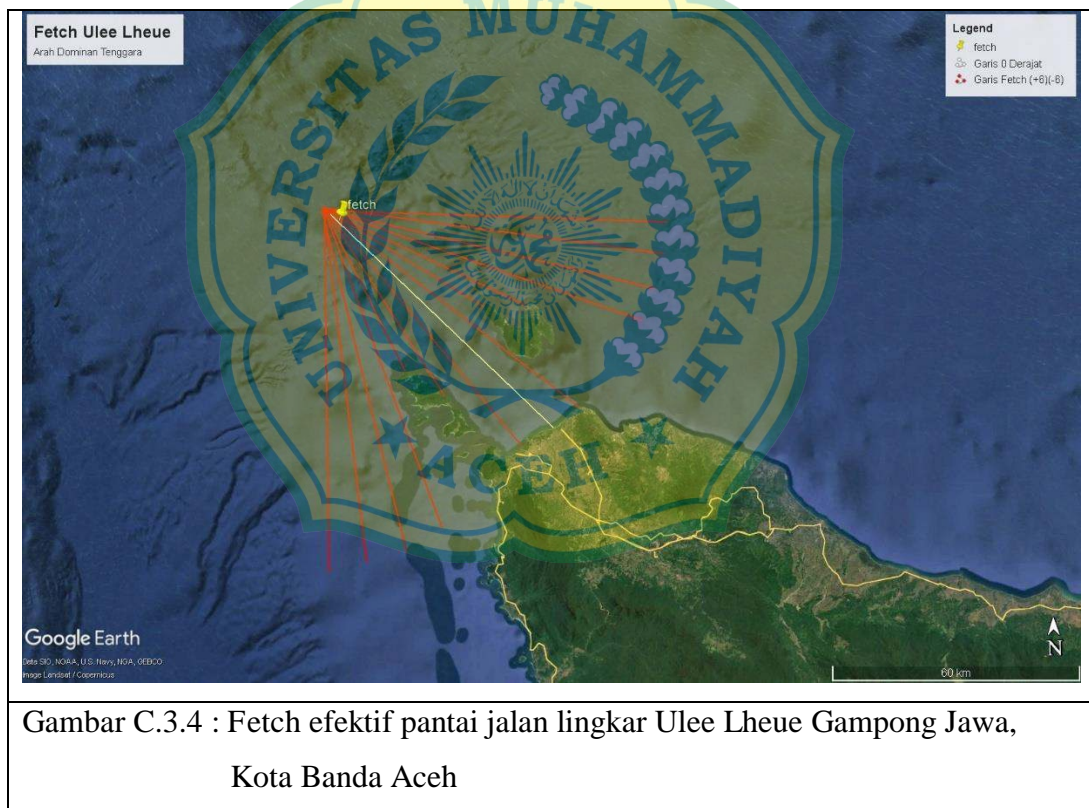
$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum x_i \cdot \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i}$$

Perhitungan gelombang berdasarkan panjang fetch dimana daerah angin berhembus dengan kecepatan dan arah yang konstan. Adapun langkah-langkah dalam pengukuran fetch adalah sebagai berikut :

1. Menentukan titik lokasi fetch menggunakan Google Earth Pro, lakukan pencarian lokasi jalan lingkar Ulee Lheue Gampong Jawa, Kota Banda

Aceh setelah itu mulai menandai titik koordinat untuk lokasi fetch yang sesuai garis lintang dan bujur data yang dimiliki, menggunakan ikon add placemark pada menu bar.

2. Tarik garis lurus dari titik fetch menggunakan ikon perintah ruler pada menu bar, mengarah ke pulau terdekat untuk garis 0° nya, dan pastikan garis yang ditarik sesuai dengan arah angin dominan yaitu tenggara, kemudian tarik garis fetch setiap interval sudut 6° sampai 42° dari arah angin dominan. Panjang garis fetch dihitung dari lokasi peramalan sampai ke ujung pulau yang membatasi, untuk perhitungan panjang garis fetch merata efektif dapat dilihat pada tabel C.3.1.



Tabel C.3.1 Tabel Perhitungan Fetch Rerata Efektif

No	Arah	$\alpha(\dots^\circ)$	$\text{Cos } \alpha$	Jarak sebenarnya xi (Km)	$\text{Xi} \cdot \text{Cos } \alpha$
1	Tenggara	42	0.743	91.47	67.975

No	Arah	$\alpha(\dots^\circ)$	$\text{Cos } \alpha$	Jarak sebenarnya xi (Km)	$\text{Xi} \cdot \text{Cos } \alpha$
2	Tenggara (SE)	36	0.809	91.82	74.284
3		30	0.866	90.05	77.986
4		24	0.914	88.99	81.296
5		18	0.951	59.35	56.445
6		12	0.978	69.87	68.343
7		6	0.995	81.21	80.765
8		0	1.000	81.58	81.580
9		-6	0.995	83.67	83.212
10		-12	0.978	49.52	48.438
11		-18	0.951	68.76	65.395
12		-24	0.914	88.37	80.730
13		-30	0.866	89.42	77.440
14		-36	0.809	90.25	73.014
15		-42	0.743	90.98	67.611
Jumlah			13,511		1084.514

Dari tabel diatas diperoleh nilai fetch efektif sebagai berikut :

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum \text{xi} \cdot \text{cos } \alpha_i}{\sum \text{cos } \alpha_i}$$

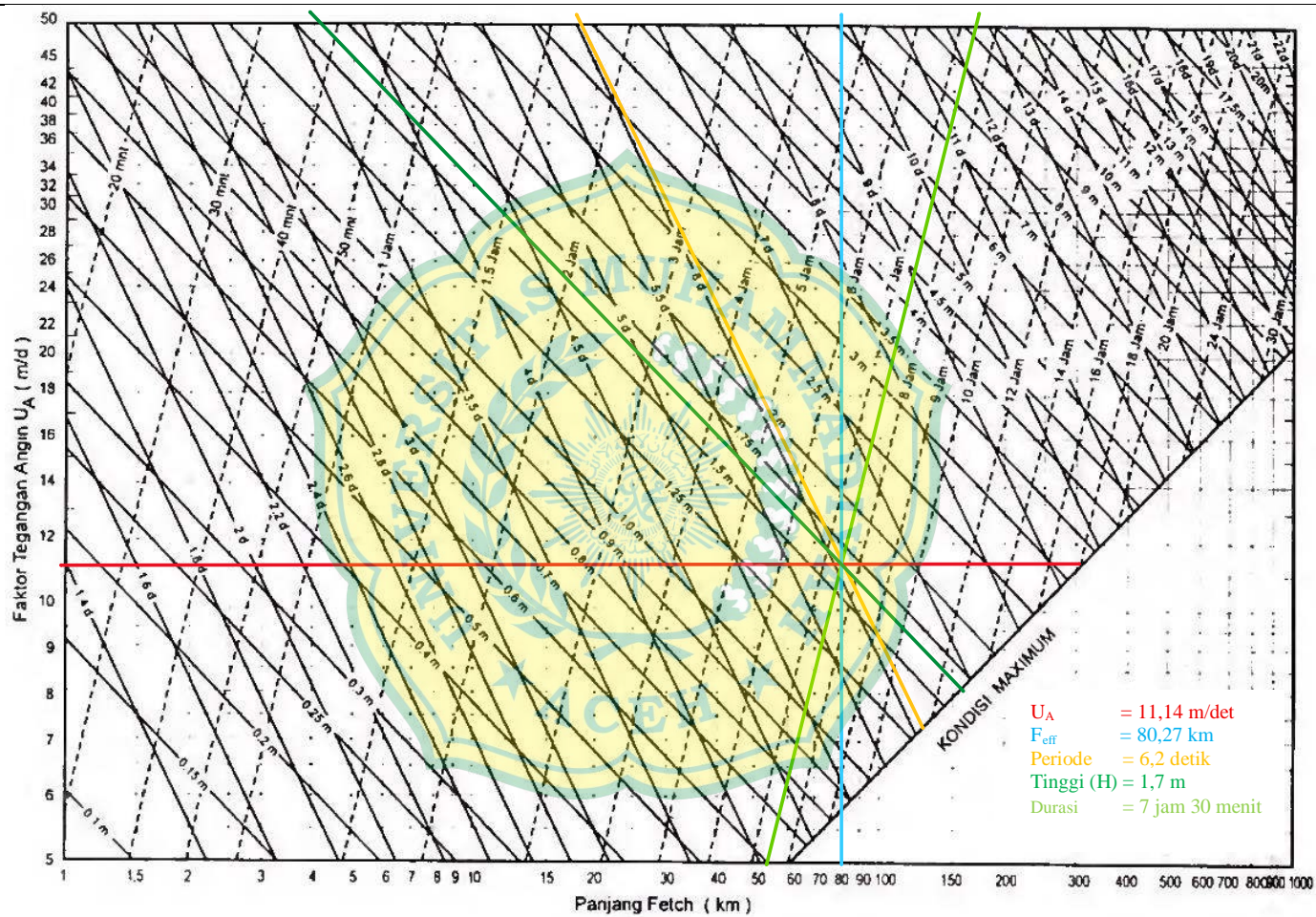
$$F_{\text{eff}} = \frac{1084,514}{13,511}$$

$$F_{\text{eff}} = 80,27 \text{ km}$$

Berdasarkan nilai UA dan besarnya fetch, tinggi dan periode gelombang dapat dicari menggunakan grafik peramalan gelombang sebagai berikut :

$$\text{Fetch efektif} = 80,27 \text{ km}$$

$$\text{UA} = 11,14 \text{ m/det}$$



Gambar C.3.5 : Grafik Peramalan Gelombang (Sumber: Triadmodjo, 1999)

Dari grafik peramalan gelombang berdasarkan nilai UA terbesar didapatkan hasil durasi (jam), tinggi (m), dan periode (det) yang diharapkan memenuhi karena keterbatasan grafik peramalan gelombang, oleh karena itu berdasarkan nilai UA yaitu 11,14 m/det, didapatkan :

Tinggi (H_0) : 1,7 m

Periode (T) : 6,2 det

Durasi : 7 jam 30 menit

C.4 Analisa Transformasi Gelombang

Mencari tinggi gelombang pada kedalaman tertentu (refraksi gelombang) direncanakan terjadinya gelombang pecah pada elevasi dasar/kedalaman adalah -5 meter dibawah muka air terendah (LWL), arah gelombang yang diperhitungan dari arah tenggara ($\alpha=45^\circ$), $H_0 = 1,7$ m dan $T = 6,2$ detik.

1. Perhitungan panjang gelombang di laut dalam dengan persamaan **2.9**

$$\begin{aligned}L_0 &= 1,56 T^2 \\ &= 1,56 \times 6,2^2 = 59,96 \text{ m}\end{aligned}$$

2. Perhitungan nilai α

$$\frac{d}{L_0} = \frac{5}{59,96} = 0,083$$

Untuk nilai d/L_0 diatas, dengan tabel C.3.2 fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L_0 didapat

Tabel C.3.2 : Tabel Fungsi D/L Untuk Penambahan Nilai D/L0

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

Sumber : (Triatmodjo, 1999)

Diperoleh nilai d/L_0 dan d/L

Untuk $d/L_0 = 0,0830$

Untuk $d/L = 0,12593$

Maka Nilai L =

$$L = \frac{d}{\frac{d}{L}}$$

$$L = \frac{5}{0,12593} = 39,70 \text{ m}$$

3. Perhitungan cepat rambat gelombang dengan persamaan **2.6**

$$\begin{aligned} C_0 &= \frac{L_0}{T} \\ &= \frac{59,96}{6,2} = 9,6 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{L}{T} \\ &= \frac{39,70}{6,2} = 6,4 \text{ m/det} \end{aligned}$$

4. Perhitungan arah datang gelombang dengan persamaan **2.13**

Adanya perubahan kedalaman maka cepat rambat dan panjang gelombang berkurang dari C_0 dan L_0 menjadi C dan L . Sesuai dengan hukum Snell, berlaku:

$$\sin \alpha = \left(\frac{C}{C_0} \right) \sin \alpha_0$$

$$\sin \alpha = \left(\frac{6,4 \text{ det}}{9,6 \text{ det}} \right) \sin 45^\circ$$

$$\sin \alpha = 0,471$$

$$\alpha = \sin^{-1}(0,471) = 28,09^\circ$$

5. Perhitungan koefisien refraksi dengan persamaan **2.14**

$$Kr = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

$$Kr = \sqrt{\frac{\cos 45^\circ}{\cos 28,09^\circ}}$$

$$Kr = 0,89$$

6. Perhitungan koefisien pendangkalan dengan persamaan 2.15

Untuk menghitung koefisien pendangkalan dicari nilai n dengan menggunakan tabel L-1 berdasarkan nilai d/L_0 diatas, didapat $n = 0,8395$, dan dilaut dalam $n_0 = 0,5$, sehingga didapatkan nilai K_s menggunakan rumus :

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{nL}}$$

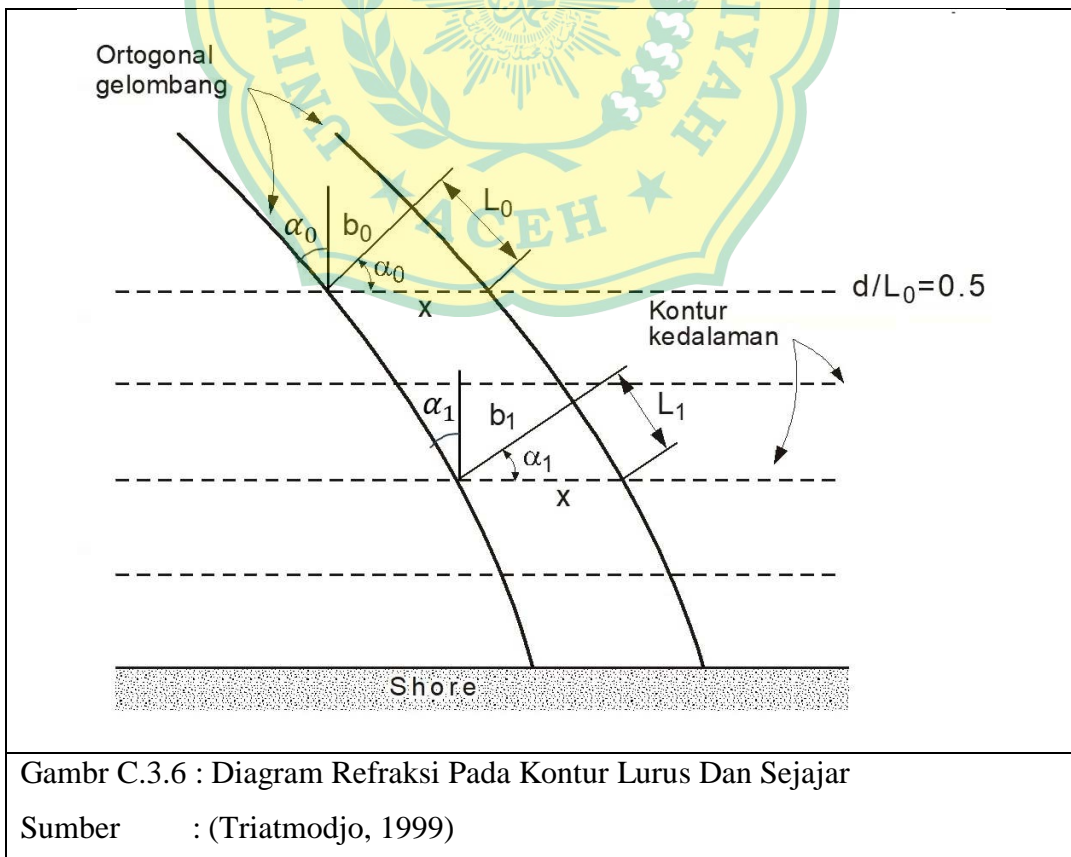
$$K_s = \sqrt{\frac{0,5 \times 59,96}{0,8395 \times 39,70}} = 0,95$$

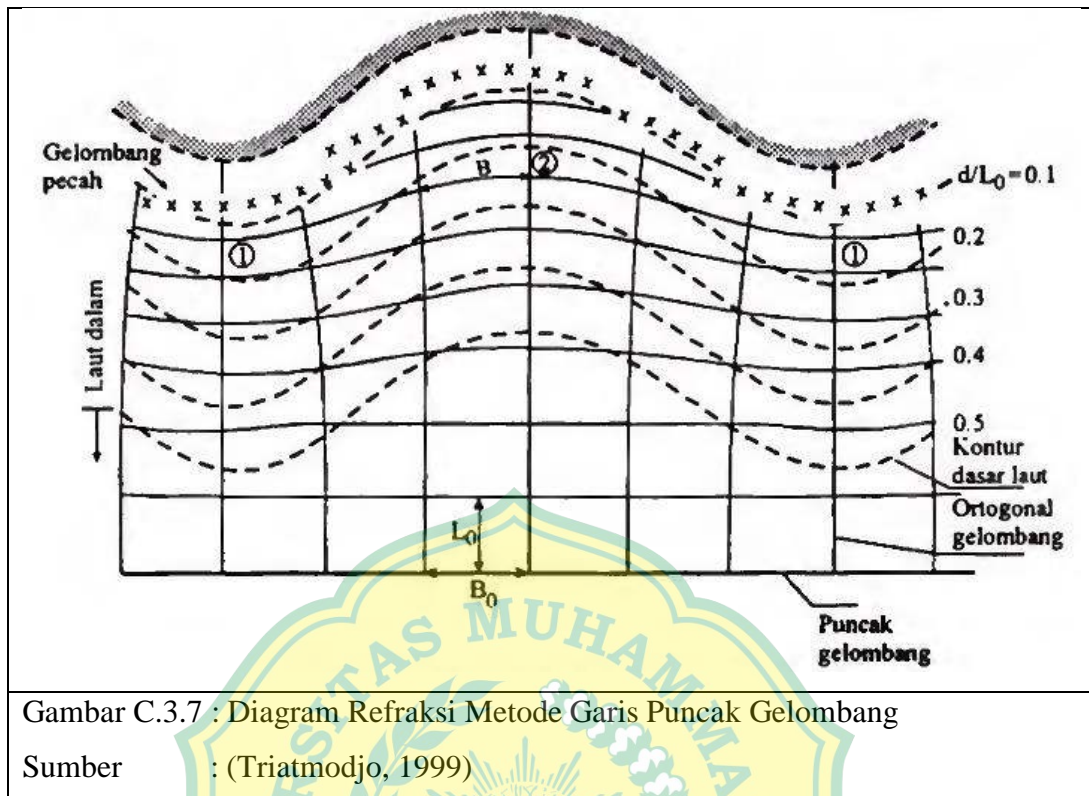
Setelah perhitungan koefisien refraksi dan koefisien pendangkalan diperoleh melalui tabel L-1, maka tinggi gelombang rencana di hitung dengan persamaan 2.12, adalah:

$$H = K_s \times K_r \times H_0$$

$$= 0,95 \times 0,89 \times 1,7$$

$$= 1,44 \text{ m}$$





7. Perhitungan tinggi gelombang pecah persamaan 2.16, 2.17, dan 2.18
 Gelombang pada laut dalam ditentukan $H_0 = 1,7$ m, $T = 6,2$ detik, $K_S = 0,95$ dan $d/L = 0,12593$

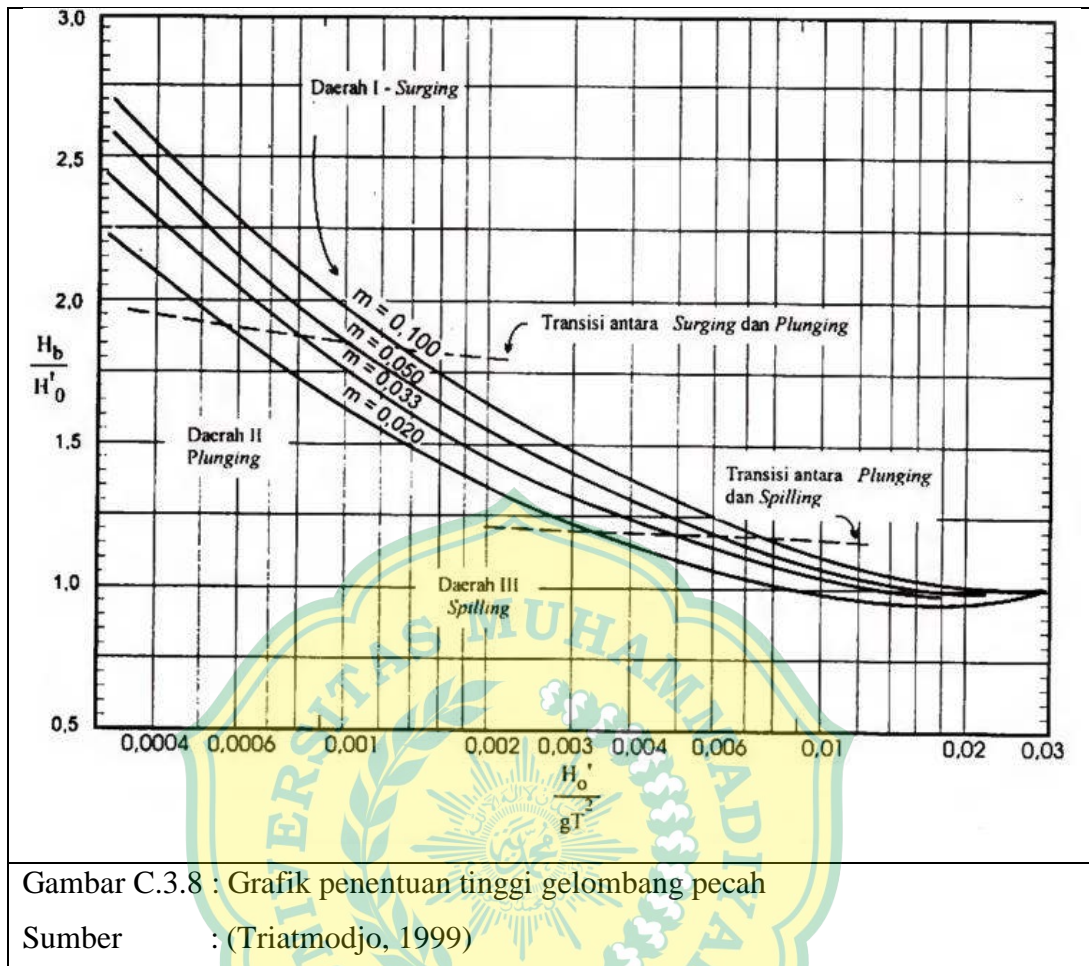
Maka nilai :

$$H'_0 = \frac{H_0}{K_S} = \frac{1,7}{0,95} = 1,79 \text{ m}$$

Sehingga didapat nilai :

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{1,79}{9,81 \times 6,2^2} = 0,0047$$

Nilai H_b didapat dari hasil plot antara nilai $\frac{H'_0}{gT^2} = 0,0047$ dan kemiringan dasar laut ($m = 0,126$) pada grafik :



Didapat tinggi gelombang pecah :

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,43$$

$$H_b = \frac{H_b}{H'_0} \times H'_0$$

$$H_b = 1,43 \times 1,79$$

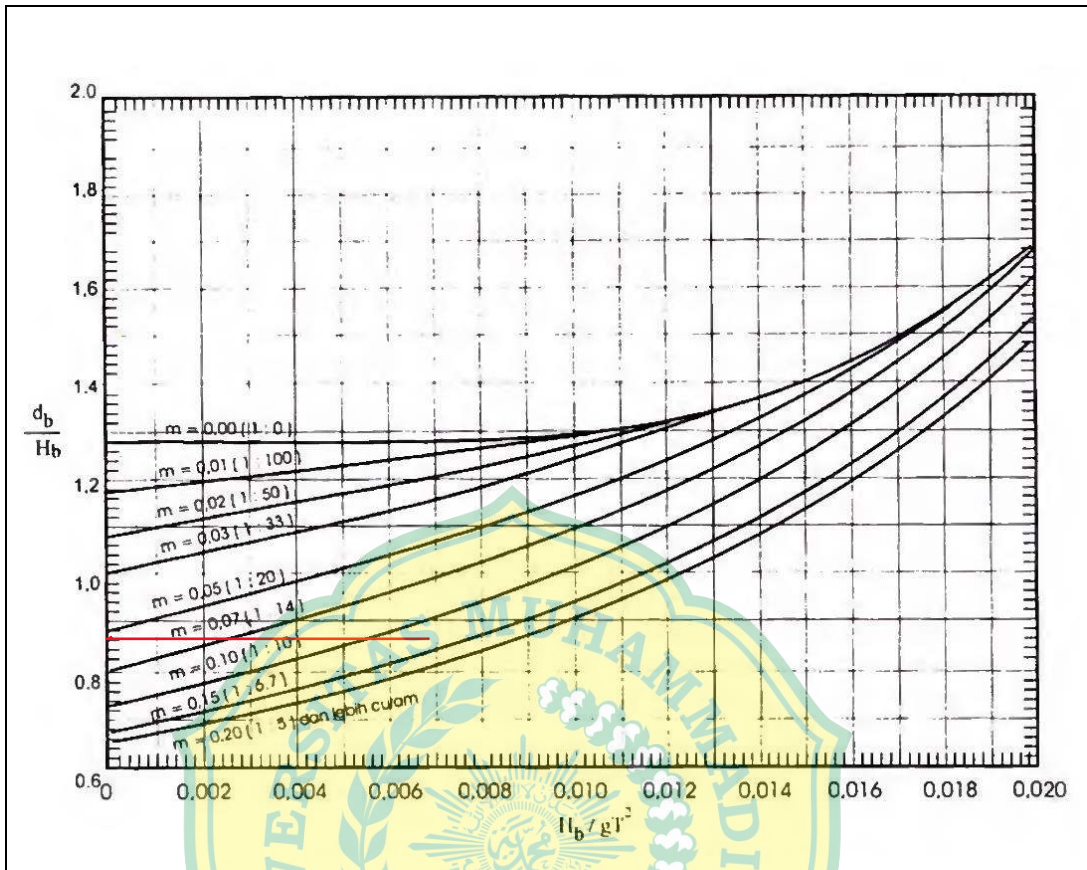
$$= 2,56 \text{ m}$$

8. Menghitung kedalaman gelombang pecah persamaan 2.19 dan 2.20

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{2,56}{9,81 \times 6,2^2}$$

$$= 0,0068$$

Dengan menggunakan grafik kedalaman gelombang pecah di bawah, didapat nilai kemiringan $m = 0,126$



Gambar C.3.9 : Grafik penentuan kedalaman gelombang pecah

Sumber : (Triatmodjo, 1999)

Didapat kedalaman gelombang pecah :

$$\frac{db}{H'_0} = 0,88$$

$$d_b = \frac{db}{H'_0} \times H_b$$

$$d_b = 0,88 \times 2,56$$

$$= 2,25 \text{ m}$$

Dari perhitungan diatas di dapat:

Tinggi gelombang pecah $H_b = 2,56 \text{ m}$

Kedalaman gelombang pecah $d_b = 2,25 \text{ m}$

C.5 Perhitungan Pasang Surut

Data pasang surut untuk perencanaan sebuah breakwater ini didapat dari BMKG Maritim Pelabuhan Ulee Lheue pada tahun 2025. Berdasarkan data pasang surut pada lampiran B.2.9 halaman 60, diperoleh tinggi muka air sebagai berikut :

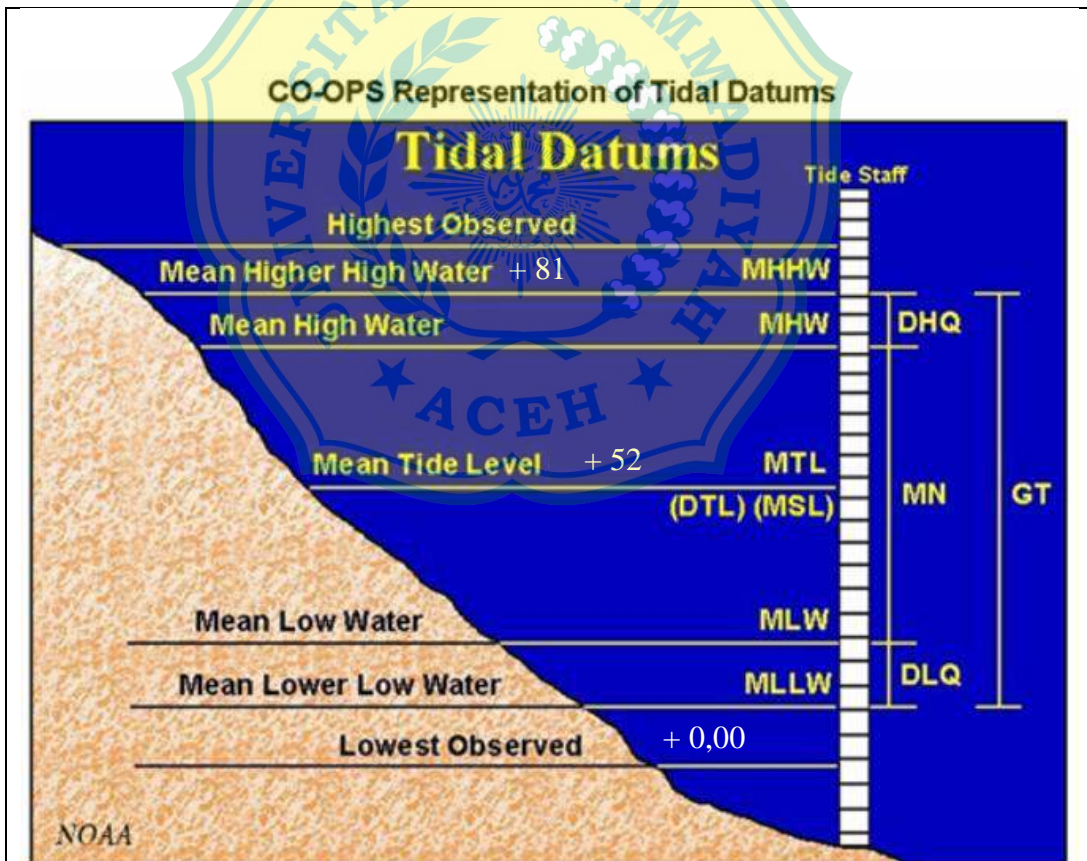
- a. Elevasi muka air tertinggi (HWL) = 81 cm
- b. Elevasi muka air rata-rata (MSL) = 52 cm
- c. Elevasi muka air terendah (LWL) = +0,00 m

Elevasi pasang surut tunggang pasang 81 cm dari LLWL sehingga didapatkan Nilai Elevasi sebagai berikut :

$$\text{HWL} : 81 - 0,00 = 81 \text{ cm}$$

$$\text{MSL} : 52 - 0,00 = 52 \text{ cm}$$

$$\text{LWL} : + 0,00 \text{ m}$$



Gambar C.3.10 : Elevasi pasang surut

Sumber : NOAA Tides & Currents

1. Elevasi muka air rencana

Elevasi muka air rencana merupakan parameter yg sangat penting untuk merencanakan elevasi bangunan, elevasi tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter, yaitu pasang surut, wave set up, wind set up dan kenaikan air laut pada permukaan (wave run up) menunjukkan penentuan elevasi muka air rencana.

2. Perhitungan (wave set up)

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Turunnya muka air tersebut dikenal dengan wave set down sedangkan naiknya muka air disebut wave set up.

Data perhitungan

- Kedalaman air (d) : 5 m (didapat dari data rencana)
- Tinggi gelombang (H_0) : 1,7 m (Gambar C.3.5)
- Periode gelombang (T) : 6,2 detik (Gambar C.3.5)
- Kemiringan dasar laut (m) : 0,126 m (Gambar C.3.8)
- Tinggi gelombang pecah H_b : 2,56 m (Gambar C.3.8)
- Kedalaman gelombang pecah d_b : 2,25 m (Gambar C.3.9)

Untuk mencari rapat relatif (S_w) menggunakan persamaan 2.21

$$S_w = 0,19 \left(1 - 2,82 \frac{\sqrt{H_b}}{gT^2} \right) H_b$$

$$S_w = 0,19 \left(1 - 2,82 \frac{\sqrt{2,56}}{9,81 \times 6,2^2} \right) 2,56$$

$$S_w = 0,480 \text{ m}$$

3. Perhitungan run up gelombang

Elevasi puncak pemecah gelombang dihitung berdasarkan run up. Perhitungan perencanaan pemecah gelombang ini akan menggunakan tiga alternatif yang dibedakan menjadi kemiringan 1:1,5; 1:2; 1:3. Kemiringan yang dilampirkan hanya 1:2

Tinggi gelombang dilaut dalam :

Diketahui, $L_0 = 59,96 \text{ m}$

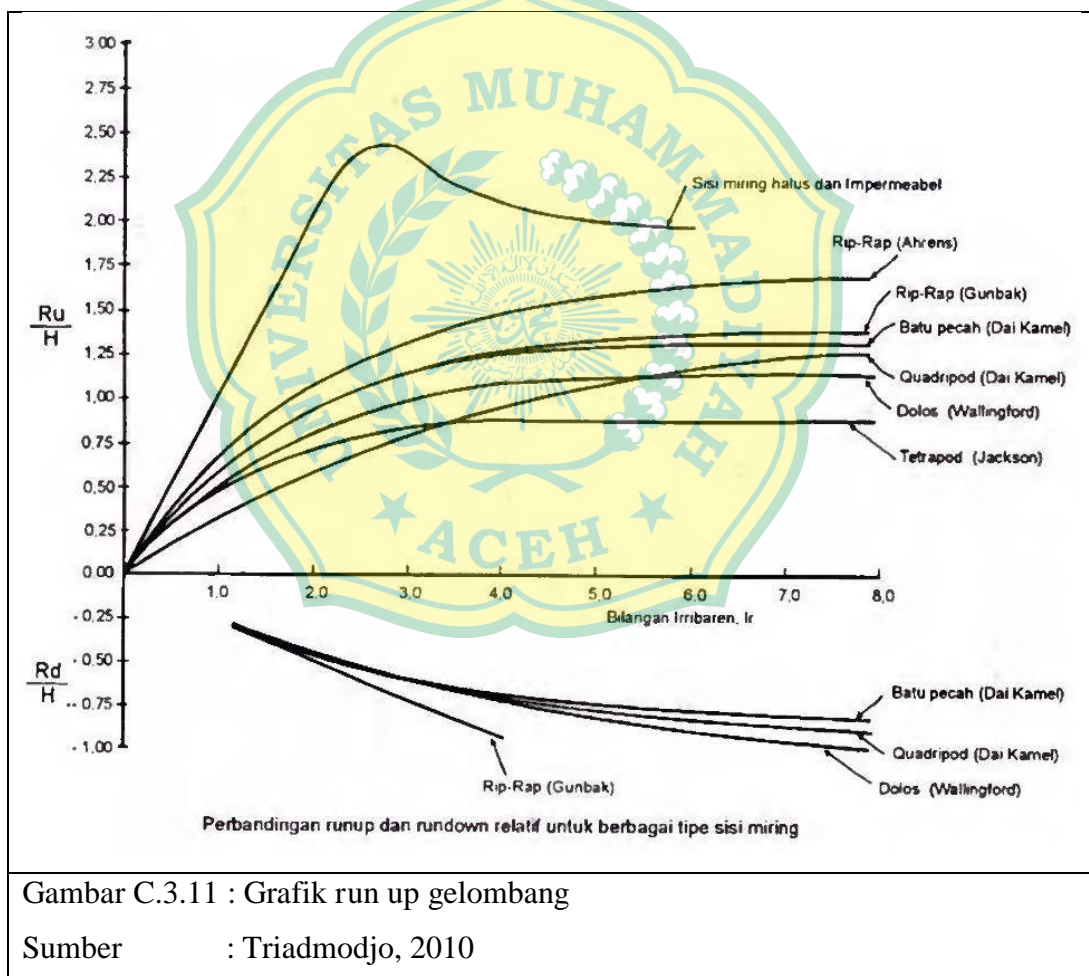
Bilangan irribaren dihitung dengan persamaan 2.26

$$Ir = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0.5}}$$

$$Ir = \frac{\frac{1}{2}}{\left(\frac{1,7}{59,96}\right)^{0.5}}$$

$$Ir = 2,97 \text{ m}$$

Dari grafik run up gelombang dibawah ini untuk lapis lindung dari batu pecah pada $Ir = 2,97$ didapat nilai run up



Maka:

$$\frac{Ru}{H_0} = 1,18$$

$$Ru = 1,18 \times 1,7 = 2 \text{ m}$$

Dengan menggunakan nilai freeboard (fb) = 1,5 m maka nilai elevasi puncak dapat dicari dengan persamaan 2.25 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Elevasi puncak} &= \text{HHWL} + \text{Run up} + \text{fb} \\ &= 0,81 + 2 + 1,5 \\ &= 4,31 \text{ m} \end{aligned}$$

C.6 Perencanaan Dimensi Breakwater

1. Berat Lapisan Batu Alam (W)

Berat minimum batu tetrapod dihitung berdasarkan rumus hudson sebagai berikut:

Pertama mencari tebal lapis pelindung (Sr) dengan persamaan 2.22

$$Sr = \frac{\gamma_r}{\gamma_a}$$

$$Sr = \frac{2600}{1025}$$

$$Sr = 2,5$$

Kemudian masukkan nilai Sr kedalam rumus hudson sebagai berikut :

Untuk lapis pelindung 1 batu alam (W_1) dihitung dengan persamaan 2.23

$$W_1 = \frac{\gamma_r H_0^3}{K_D (Sr-1)^3 \cot \theta}$$

$$W_1 = \frac{2600 \times (1,7)^3}{2 (2,5-1)^3 \times 2}$$

$$W_1 = 946,207 \text{ kg}$$

Sehingga berat minimum lapis pelindung $W_1 = 946,207 \text{ kg}$

Untuk lapis pelindung 2 batu alam (W_2)

$$W_2 = \frac{W_1}{10}$$

$$W_2 = \frac{946,207}{10}$$

$$W_2 = 94,62 \text{ kg}$$

Sehingga berat minimum lapis pelindung $W_2 = 94,62 \text{ kg}$

Untuk lapis pelindung 2 batu alam (W_2)

$$W_2 = \frac{W_1}{15}$$

$$W_2 = \frac{946,207}{15}$$

$$W_2 = 63,08 \text{ kg}$$

Sehingga berat minimum lapis pelindung $W_2 = 63,08 \text{ kg}$

Untuk lapis pelindung 3 batu alam (W_3)

$$W_3 = \frac{W_1}{200}$$

$$W_3 = \frac{946,207}{200}$$

$$W_3 = 4,73 \text{ kg}$$

Sehingga berat minimum lapis pelindung $W_3 = 4,73 \text{ kg}$

Untuk lapis pelindung 3 batu alam (W_3)

$$W_3 = \frac{W_1}{6000}$$

$$W_3 = \frac{946,207}{6000}$$

$$W_3 = 0,15 \text{ kg}$$

Sehingga berat minimum lapis pelindung $W_3 = 0,15 \text{ kg}$

2. Perhitungan Tebal Lapisan Batu Alam (t) dengan persamaan **2.28**

Tebal lapisan batu dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

Untuk tebal lapis pelindung 1 batu alam (t_1)

$$t_1 = nK\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$t_1 = 2 \times 1,15 \left(\frac{946,207}{2600} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$t_1 = 1,64 \text{ m}$$

Sehingga tebal lapis pelindung $t_1 = 1,64 \text{ m}$

Untuk tebal lapis pelindung 2 batu alam (t_2)

$$t_2 = nK\Delta \left(\frac{w}{\gamma r}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$t_2 = 2 \times 1,15 \left(\frac{94,62}{2600}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$t_2 = 0,76 \text{ m}$$

Sehingga tebal lapis pelindung $t_2 = 0,76 \text{ m}$

3. Perhitungan Lebar Puncak breakwater (B) dengan persamaan 2.27

Lebar puncak dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$B = nK_{\Delta} \left(\frac{w}{\gamma r}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 3 \times 1,15 \left(\frac{946,207}{2600}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 2,46 \text{ m}$$

Sehingga lebar puncak struktur revetmen adalah 2,46 m

4. Jumlah Butir Batu Lapisan Pelindung (N) dengan persamaan 2.29

Perlu dicari terlebih dahulu jumlah batu tiap 10 m^2 dengan cara sebagai berikut :

Untuk jumlah butir (N tiap 10 m_2) lapis pelindung (N_1)

$$N_1 \text{ tiap } 10 \text{ m}^2 = An K_{\Delta} \left(1 - \frac{p}{100}\right) \left(\frac{\gamma r}{w}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$N_1 \text{ tiap } 10 \text{ m}^2 = 10 \times 2 \times 1,15 \left(1 - \frac{37}{100}\right) \left(\frac{2600}{946,207}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$N_1 \text{ tiap } 10 \text{ m}^2 = 28,42 \approx 29 \text{ buah}$$

Sehingga jumlah butir (N tiap 10 m_2) lapis pelindung (N_1) = 29 buah

Untuk jumlah butir (N tiap 10 m_2) lapis pelindung (N_2)

$$N_2 \text{ tiap } 10 \text{ m}^2 = An K_{\Delta} \left(1 - \frac{p}{100}\right) \left(\frac{\gamma r}{w}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$N_2 \text{ tiap } 10 \text{ m}^2 = 10 \times 2 \times 1,15 \left(1 - \frac{37}{100}\right) \left(\frac{2600}{94,62}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$N_2 \text{ tiap } 10 \text{ m}^2 = 131,94 \approx 132 \text{ buah}$$

Sehingga jumlah butir (N tiap 10 m_2) lapis pelindung (N_2) = 132 buah

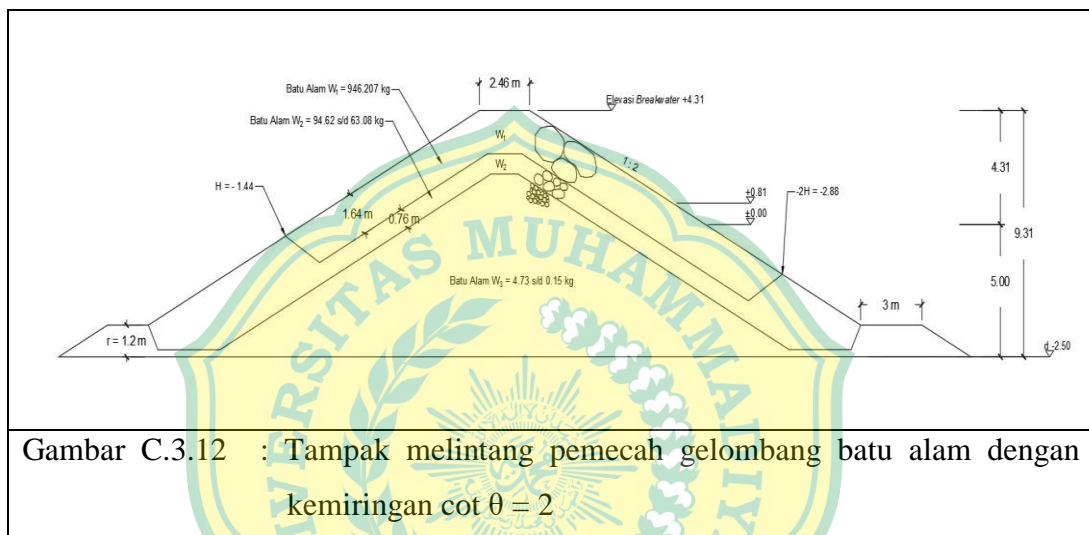
Untuk jumlah butir (N tiap 10 m^2) lapis pelindung (N_3)

$$N_3 \text{ tiap } 10 \text{ m}^2 = A_n K_d \left(1 - \frac{p}{100}\right) \left(\frac{\gamma r}{w}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$N_3 \text{ tiap } 10 \text{ m}^2 = 10 \times 2 \times 1,15 \left(1 - \frac{37}{100}\right) \left(\frac{2600}{4,73}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$N_3 \text{ tiap } 10 \text{ m}^2 = 972,32 \approx 973 \text{ buah}$$

Sehingga jumlah butir (N tiap 10 m^2) lapis pelindung (N_3) = 973 buah



Gambar C.3.12 : Tampak melintang pemecah gelombang batu alam dengan kemiringan $\cot \theta = 2$

Tabel C.3.3 Detail Perhitungan Lapis Pelindung Dan Pendimensian Breakwater

Perhitungan Dimensi	Breakwater Batu Alam		
	Kemiringan $\cot \theta = 1,5$	Kemiringan $\cot \theta = 2$	Kemiringan $\cot \theta = 3$
Bilangan irribaren	3,96	2,97	1,98
run up	1,25	1,18	0,95
Elevasi Breakwater (m)	4,43	4.31	3,92
Berat Batu Alam (kg)			
Lapisan 1	1,261,609	946,207	630,804
Lapisan 2	126,16 s/d 84,11	94,62 s/d 63,08	63,08 s/d 42,05
Lapisan 3	6,30 s/d 0,21	4,73 s/d 0,15	3,15 s/d 0,10
Lebar Puncak Breakwater (m)	2,71	2,46	2,15
Tebal Lapis Pelindung Breakwater (m)			
Lapisan 1	1,80	1,64	1,27
Lapisan 2	0,84	0,76	0,59
Jumlah Butir Pelindung 10 m^2 (buah)			

Perhitungan Dimensi	Breakwater Batu Alam		
	Kemiringan cot $\theta = 1,5$	Kemiringan cot $\theta = 2$	Kemiringan cot $\theta = 3$
Lapisan 1	24	29	39
Lapisan 2	109	132	173
Lapisan 3	804	973	1275

Tabel C.3.4 Rekapitulasi Perhitungan Data

No	Rekapitulasi Data	Batu alam
1	Fetch efektif	80,27 km
2	Panjang gelombang laut dalam (L0)	59,96 m
3	Cepat rambat gelombang laut dalam (C)	9,6 m/det
4	Kedalaman di laut dalam d/L	0,08442
5	Nilai panjang gelombang laut dangkal (L)	29,61 m
6	Cepat panjang gelombang laut dangkal (C)	4,8 m
7	Arah datang gelombang (α)	20,67°
8	Koefisien refraksi (Kr)	0,87
9	Koefisien pendangkalan (Ks)	1,05
10	Tinggi gelombang rencana (H)	1,55 m
11	Tinggi gelombang pecah H_b	2,14 m
12	H'_0	1,6 m
13	H_0/gT^2	0,0042
14	Kedalaman gelombang pecah d_b	1,96 m
15	H_b/H_0	1,34
16	H_b/gT	0,0056
17	Kemiringan (m)	0,085