

SKRIPSI

**UNJUK KERJA PEMECAH GELOMBANG GELEMBUNG
UDARA**

Disusun dan diajukan oleh:

**LOGRIVALDO
D011 19 1123**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**UNJUK KERJA PEMECAH GELOMBANG GELEMBUNG
UDARA**

Disusun dan diajukan oleh

LOGRIVALDO
D011 19 1123

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 14 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Riswal K, ST, MT, IPM, ASEAN .Eng

NIP. 1971050520061002

Pembimbing Pendamping,



Ir. Silman Pongmanda, ST, MT

NIP. 197210102000031001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng

NIP. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Logrivaldo
NIM : D011 19 1123
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Unjuk Kerja Pemecah Gelombang Gelembung Udara

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

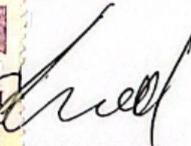
Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 16 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Logrivaldo

ABSTRAK

LOGRIVALDO. *Unjuk Kerja Pemecah Gelombang Gelembung Udara* (Dr. Ir. Riswal Karamma, ST, MT dan Ir. Silman Pongmanda, ST, MT)

Pemecah gelombang yang biasa juga disebut pemecah ombak (*breakwater*) adalah fasilitas yang dibuat untuk memecah gelombang atau ombak dengan menyerap sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang gelembung udara digunakan untuk mengendalikan abrasi yang mengerus atau mengikis garis pantai dan untuk menenangkan gelombang di pelabuhan sehingga kapal dapat merapat atau sandar di pelabuhan dengan mudah dan cepat dan diharapkan bisa membuat transmisi gelombang yang rendah dan refleksi gelombang yang tinggi. Agar pesisir pantai tidak mengalami gelombang yang besar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan udara yang keluar dari dalam air sehingga dapat mereduksi gelombang yang lewat oleh karena itu mengurangi gelombang besar.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Adapun metode yang digunakan berbasis eksperimental. Karakteristik gelombang yang dihasilkan terdiri dari tiga variasi kedalaman, tiga variasi stroke dan tiga variasi periode. Untuk model penelitian memakai selang compressor yang disambungkan ke selang aerator dengan tiga selang dan dilakukan variasi dari 1 selang, 2 selang dan 3 selang.

Kata Kunci: *Pemecah Gelombang, Gelembung udara, Gelombang*

ABSTRACT

LOGRIVALDO. *Air Bubble Breakwater Performance* (supervised by Dr. Ir. Riswal Karamma, ST, MT dan Ir. Silman Pongmanda, ST, MT)

A breakwater is a facility created to break waves by absorbing some of the wave energy. Air bubble breakwaters are used to control abrasion that erodes or erodes the coastline and to calm waves in the harbor so that ships can dock or berth in the harbor easily and quickly and are expected to make low wave transmission and high wave reflection. So that the coast does not experience large waves.

This research aims to determine the effect of air pressure coming out of the water so that it can reduce the passing waves therefore reducing large waves.

This research was conducted at the Hydraulics Laboratory of the Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. The method used was experimental based. The resulting wave characteristics consist of three depth variations, three stroke variations and three period variations. The research model uses a compressor hose connected to an aerator hose with three hoses and variations are made from 1 hose, 2 hoses and 3 hoses.

Key Words: *Breakwater, Air bubbles, Waves*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengertian Pemecah Gelombang	4
2.2 Gelembung Udara	10
2.3 Teori Dasar Gelombang	11
2.3.1 Klasifikasi teori gelombang.....	14
2.3.2 Parameter Gelombang.....	15
2.4 Memperoleh koefisien transmisi	16
2.5 Memperoleh koefisien Refleksi	16
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Lokasi Penelitian.....	18
3.2 Benda Uji dan Alat.....	18
3.3 Pra Penelitian	19
3.3.1 Kalibrasi Alat.....	19

3.3.2 Saluran Gelombang (Wave Flume).....	20
3.4 Karakteristik Gelombang	22
3.5 Sumber Data.....	22
3.6 Parameter Yang Diteliti	22
3.7 Prosedur Dan Rancangan Penelitian	22
3.7.1 Prosedur Penelitian	22
3.8 Rancangan Penelitian.....	24
3.8.1 Parameter Dalam Penelitian.....	24
3.8.2 Variasi Parameter Selang dan Parameter Hidrolik.....	24
3.8.3 Penentuan Dimensi Model, dan Rancangan Simulasi.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Hasil Penelitian	30
4.1.1 Panjang Gelombang.....	30
4.1.2 Data Tinggi Gelombang.....	31
4.2 Pembahasan.....	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Porus ceramic tube</i>	11
Gambar 2. Gerak partikel air dalam gelombang (Triatmodjo, 1999)	15
Gambar 3. Lokasi penelitian pada ruas Jalan. Poros Malino Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa	18
Gambar 4. Proses Kalibrasi Probe	20
Gambar 5. <i>Wave Flume</i>	20
Gambar 6. Pembangkit Gelombang Tipe Flap.....	21
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 8. Model Selang Tertutup.....	26
Gambar 9. Model Selang Terbuka	27
Gambar 10. Grafik 1 Selang Kedalaman 21 Periode 1.5, 1.7, dan 1,9 detik	37
Gambar 11. Grafik 1 Selang Kedalaman 19 Periode 1.5, 1.7, dan 1,9 detik	37
Gambar 12. Grafik 1 Selang Kedalaman 15 Periode 1.5, 1.7, dan 1,9 detik	38
Gambar 13. Grafik 2 Selang Kedalaman 21 Periode 1.5, 1.7, dan 1,9 detik	38
Gambar 14. Grafik 2 Selang Kedalaman 19 Periode 1.5, 1.7, dan 1,9 detik	39
Gambar 15. Grafik 2 Selang Kedalaman 15 Periode 1.5, 1.7, dan 1,9 detik	39
Gambar 16. Grafik 3 Selang Kedalaman 21 Periode 1.5, 1.7, dan 1,9 detik	40
Gambar 17. Grafik 3 Selang Kedalaman 19 Periode 1.5, 1.7, dan 1,9 detik	40
Gambar 18. Grafik 3 Selang Kedalaman 15 Periode 1.5, 1.7, dan 1,9 detik	41

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam.....	14
Tabel 2. Deskripsi parameter yang berpengaruh.....	24
Tabel 3. Variasi Selang	24
Tabel 4. Jenis Variasi Tinggi gelombang dan Periode.....	25
Tabel 5. Dimensi Model.....	25
Tabel 6. Rancangan simulasi.....	28
Tabel 7. Contoh Perhitungan L metode iterasi untuk periode (T) 1.5 dan kedalaman (d) 21 cm.....	30
Tabel 8. Panjang Gelombang Berdasarkan Periode (T).....	31
Tabel 9. 1 Selang Kedalaman 21.....	32
Tabel 10. 1 Selang Kedalaman 19.....	32
Tabel 11. 1 Selang Kedalaman 15.....	33
Tabel 12. 2 Selang Kedalaman 21.....	33
Tabel 13. 2 Selang Kedalaman 19.....	34
Tabel 14. 2 Selang Kedalaman 15.....	34
Tabel 15. 3 Selang Kedalaman 21.....	35
Tabel 16. 3 Selang Kedalaman 19.....	35
Tabel 17. 3 Selang Kedalaman 15.....	36

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
L	Panjang gelombang
Lo	Panjang gelombang awal
H	Tinggi gelombang
T	Periode gelombang
Pa	Tekanan udara
Hmax	Tinggi gelombang maksimum
Hmin	Tinggi gelombang minimum
Hi	Tinggi gelombang datang
Hr	Tinggi gelombang refleksi
Ht	Tinggi gelombang transmisi
Kt	Koefisien transmisi
Kr	Koefisien refleksi
Kd	Koefisien disipasi
d	Kedalaman
g	Gaya gravitasi

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Kalibrasi Wave Probe	44
Lampiran 2 Dokumentasi	47

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata Satu (S1) Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Selanjutnya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak sekali mendapatkan bantuan dan bimbingan dari banyak pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini izinkan kami menghaturkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T, M.T**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T, M.Eng**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Dr. Ir. Riswal Kamma, S.T., M.T.**, sebagai Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak **Ir. Silman Pongmanda, S.T., M.T.**, sebagai Dosen Pembimbing II sekaligus penanggung jawab judul dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Ibu **Dr.Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, M.T.**, selaku Kepala Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak-Ibu dosen dan staff administrasi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Pak Ahmad Yani, S.T dan Januartho Tandi, S.T selaku Laboran dan Partner di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dan sering menjadi teman diskusi dan membantu selama melakukan pengujian.
8. Teman-teman ex Pertek B42 yang telah menjadi tempat persinggahan mengeluarkan keluh kesah selama kuliah di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Saudara PORTLAND 2020 (Teknik Sipil Angkatan 2019) atas dukungan dan bantuannya selama ini terkhusus untuk ketua Angkatan PORTLAND 2020 yang mengajarkan kami akan arti persaudaraan.

10. Teman-teman di ATAP KIOZ yang menjadi tempat bertukar cerita, pengalaman dan ekspedisi bersama serta memberi dukungan pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Keluarga kecil kami CYNOSURE 19 (Kmko Teknik 2019) dan GEOMETRIC (Kmko Sipil 2019) sebagai rumah kami di Fakultas Teknik yang tempat dimana kami berlabuh sebagai anak Tuhan dan mengajarkan kasih persaudaraan serta memberi warna selama perkuliahan, dukungan penuh semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Orang lain tidak akan bisa paham *struggle* dan masa sulitnya kita, yang mereka ingin tahu hanya bagian *success stories*. Berjuanglah untuk diri sendiri walaupun tidak ada yang tepuk tangan. Kelak diri kita di masa depan akan sangat bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini.

Dan terkhusus penulis persembahkan Terima Kasih kepada orang tua terkasih kami **Corvis L R** dan **Jeni Paranta** atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spiritual maupun materil, semoga dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini bisa membuat mereka bangga aminn

Akhir kata penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Gowa, 26 Agustus 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemecah gelombang yang biasa juga disebut pemecah ombak (*breakwater*) adalah fasilitas yang dibuat untuk memecah gelombang atau ombak dengan menyerap sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang digunakan untuk mengendalikan abrasi yang mengerus atau mengikis garis pantai dan untuk menenangkan gelombang di pelabuhan sehingga kapal dapat merapat atau sandar di pelabuhan dengan mudah dan cepat.

Pemecah gelombang gelembung udara sangat penting untuk dipertimbangkan sedemikian rupa sehingga terjadi limpasan gelombang agar tidak terbentuk tombolo yang bisa menghambat aliran sedimen ke garis pantai. Jika aliran sedimen terus mengalir ke garis pantai maka dapat menghindari dan mencegah terjadi erosi atau abrasi pantai serta melindungi bangunan di sekitar garis pantai.

Gelombang laut dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transport sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai (Umar, 2011). Saat melalui bangunan pantai, gelombang tersebut akan dipantulkan (refleksi) dan diteruskan (transmisi). Pembagian besarnya energi gelombang yang dipantulkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode dan tinggi gelombang), tipe bangunan peredam gelombang (permukaan halus dan kasar, lulus air dan tidak lulus air) dan geometrik bangunan peredam (kemiringan, elevasi, dan puncak bangunan). Perlindungan terhadap pantai berlumpur dibutuhkan untuk mencegah dan mengurangi kerusakan akibat gelombang laut. Salah satu perlindungan pantai yang digunakan untuk pantai berlumpur adalah menggunakan pemecah gelombang tipe *permeable* atau berpori yang lolos air. Pemecah gelombang tipe permeable ini memiliki struktur bercelah yang terdapat jarak antara satu dan lainnya, sehingga dapat meloloskan sebagian air yang datang akibat gelombang dari lepas pantai. Struktur pemecah gelombang ini diharapkan bisa membuat transmisi gelombangnya rendah dan refleksi gelombangnya tinggi (Sulaiman, 2017).

Energi gelombang laut biasanya dibangkitkan oleh banyak hal, misalnya oleh angin, pasang-surut, dan arus. Ketika gelombang datang menghantam pantai, gelombang-gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang menyebabkan tinggi gelombang tidak menentu yang akhirnya gelombang tersebut pecah dan melepaskan energinya yang mengakibatkan daerah pesisir rentan terhadap perubahan bentuk. Maka dari itu diperlukan suatu bangunan pantai yang dapat mematahkan atau menahan energi gelombang yang datang menuju pantai sehingga karakteristik gelombang yang datang sesuai dengan yang direncanakan atau disyaratkan. Pemecah gelombang merupakan salah satu struktur yang berfungsi untuk meredam energi gelombang.

Penelitian ini bertujuan mendapatkan hubungan kuantitatif kecepatan naik gelembung udara. Hal-hal rinci yang diteliti yaitu:

1. Konsentrasi lokal gelembung udara, untuk mengetahui bentuk, ukuran dan distribusi gelembung yang terjadi salah satunya adalah gerak vertikal gelembung udara relatif terhadap air.
2. Distribusi gelembung yang terjadi, mendapatkan tekanan udara yang keluar dari selang yang menghambat pergerakan gelombang datang.

Karena rapat massa udara sangat kecil dibandingkan dengan rapat massa air maka ditinjau saat gelembung dalam keadaan seimbang, yakni pada saat seret (*drag*) sama dengan gaya apung (*buoyancy*). Oleh karena itu diperlukan penelitian tentang **“UNJUK KERJA PEMECAH GELOMBANG GELEMBUNG UDARA”**.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana kinerja pemecah gelombang gelembung udara ?
2. Apakah ada pengaruh kinerja pemecah gelombang gelembung udara terhadap gelombang ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan penelitian ini, yaitu :

1. Untuk mengetahui kinerja pemecah gelombang gelembung udara.
2. Untuk mengetahui pengaruh lebar semprotan gelembung udara terhadap gelombang.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari penulisan Tugas akhir ini yaitu :

1. Dapat menenangkan gelombang di pelabuhan sehingga kapal dapat merapat atau sandar di pelabuhan dengan mudah dan cepat.
2. Diharapkan bisa membuat transmisi gelombang yang rendah dan refleksi gelombang yang tinggi. Agar pesisir pantai tidak mengalami gelombang yang besar.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam melaksanakan penelitian ini adalah :

1. Arah datang gelombang tegak lurus terhadap struktur.
2. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang dengan kondisi belum pecah.
3. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang teratur (*regular wave*).
4. Fluida yang digunakan dalam flume merupakan air tawar, salinitas dan pengaruh mineral air tidak diperhitungkan.
5. Model yang digunakan adalah selang compressor yang di sambungkan ke selang aerator (gelembung udara).
6. Model yang digunakan adalah pemecah gelombang tipe permeable atau berpori yang lolos air. Dengan tiga variasi yaitu model 1 selang, 2 selang, dan 3 selang yang mengeluarkan gelembung udara.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pemecah Gelombang

Tingginya tingkat erosi dan abrasi pantai akibat adanya pasang surut dan gelombang laut merupakan salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh kawasan pesisir di Indonesia. Penyebab utama tingginya tingkat erosi pantai adalah semakin menipisnya sabuk hijau (yaitu hutan mangrove) yang juga berfungsi sebagai pelindung dan maraknya konversi lahan di kawasan sempadan pantai. Penanganan erosi dan abrasi pantai telah banyak dilakukan oleh pemerintah dengan menggunakan struktur keras (*hard structure*), seperti: revetmen, pemecah gelombang, tembok laut, groin atau kombinasi dari jenis pelindung pantai tersebut. Walaupun struktur keras terbukti berhasil mengatasi erosi pantai berpasir atau berkarang, namun kenyataannya kurang efektif dalam mengatasi erosi khususnya pada pantai berlumpur. Selain itu, struktur ini juga ber biaya relatif mahal (Hartono, 2019).

Pemecah gelombang yang biasa juga disebut pemecah Ombak (*breakwater*) adalah fasilitas yang dibuat untuk memecah gelombang atau ombak dengan menyerap sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang digunakan untuk mengendalikan abrasi yang mengerus atau mengikis garis pantai dan untuk menenangkan gelombang di Pelabuhan sehingga Kapal dapat merapat atau sandar di Pelabuhan dengan mudah dan cepat .

2.2 Jenis-Jenis Pemecah Gelombang

Dalam pemilihan pemecah gelombang ditentukan dengan melihat hal-hal sebagai berikut :

- a. Bahan yang tersedia di sekitar lokasi
- b. Besar gelombang
- c. Pasang surut air laut
- d. Kondisi tanah dasar laut
- e. Peralatan yang digunakan untuk pembuatannya

Untuk perencanaan bentuk dan kestabilan pemecah gelombang perlu diketahui :

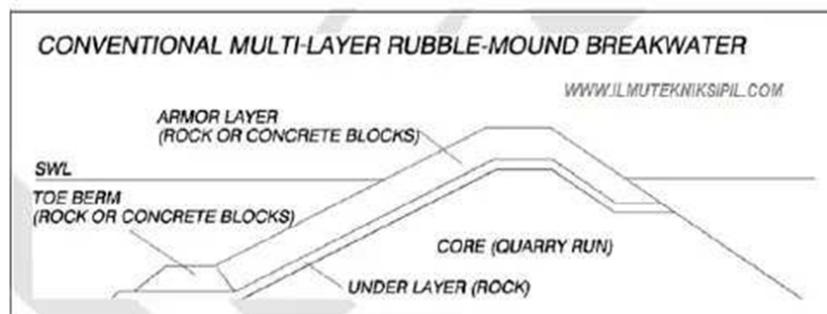
- a. Tinggi muka air laut akibat adanya pasang surut
- b. Tinggi puncak gelombang dari permukaan air tenang
- c. Perkiraan tinggi dan panjang gelombang
- d. *Run up* gelombang

2.3 Berdasarkan Bentuk Model Penampang Melintangnya (Triatmodjo, 1999):

2.3.1 Pemecah Gelombang Dengan Sisi Miring

Pemecah gelombang dengan sisi miring dibuat dari beberapa lapisan material yang ditumpuk dan dibentuk sedemikian rupa sehingga terlihat seperti sebuah gundukan besar batu alam dengan lapisan terluar dari material dengan butiran sangat besar yang dilindungi oleh lapis pelindung berupa batu besar atau beton dengan ukuran tertentu. Pemecah gelombang tipe ini bersifat fleksibel.

Kerusakan yang terjadi karena serangan gelombang tidak secara tiba-tiba. Jenis lapis pelindung pemecah gelombang tipe ini adalah *Quadripod*, *Tetrapod*, *Dolos*. Pemecah gelombang dengan sisi miring dibuat untuk kedalaman kolam labuh yang relatif dangkal.





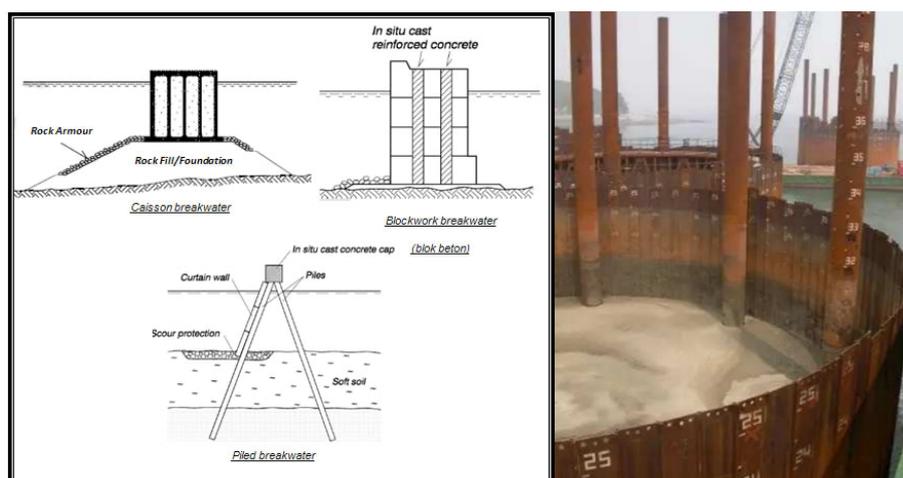
Gambar 1. Breakwater sisi miring

2.3.2 Pemecah gelombang dengan sisi tegak

Untuk tipe sisi tegak pemecah gelombang dibuat dari material-material seperti pasangan batu, sel turap baja yang didalamnya diisi tanah atau batu, tumpukan buis beton, dinding turap baja atau beton, kaison beton dan lain sebagainya.

Syarat yang harus diperhatikan pada tipe pemecah gelombang sisi miring adalah:

1. Tinggi gelombang maksimum rencana harus ditentukan dengan baik
2. Tinggi dinding harus cukup untuk memungkinkan
3. Pondasi dibuat sedemikian rupa sehingga tidak terjadi erosi pada kaki bangunan yang dapat membahayakan stabilitas bangunan



Gambar 2. Pemecah gelombang dengan sisi tegak

2.3.3 Pemecah gelombang bertipe campuran

Ketiga model breakwater seperti ini, dicontohkan dengan tipe *cellular cofferdam* yaitu suatu konstruksi yang menggunakan *sheet pile* secara langsung, dimana pile tersebut saling menutup atau mengunci (*interlocking*) satu dengan yang lain sehingga membentuk suatu rangkaian elemen (*cell*) dimana *cell* tersebut berisikan material yang tak kohesif seperti pasir untuk pemberat struktur di bagian bawahnya sedangkan bagian atasnya terdiri dari batu lindung yang dapat berfungsi menjaga stabilitas struktur akibat pengaruh gelombang.

Konstruksi breakwater tipe *cellular cofferdam* seperti halnya beberapa jenis *Offshore Breakwater* yang lain dibangun dengan puncak elevasi struktur yang mendekati *Mean Sea Level* (MSL), sehingga hal tersebut memungkinkan energi yang menyertai terjadinya gelombang dapat diteruskan melalui *breakwater*. Kondisi tersebut dinamakan dengan istilah keadaan *overtopping* atau kondisi gelombang dapat melimpas. Alasan struktur dibangun dengan kondisi *overtopping* adalah untuk pertimbangan desain secara ekonomis, dan juga karena pertimbangan kondisi gelombang rata-rata yang terjadi cukup kecil.

Pemecah gelombang tipe ini dibuat apabila kedalaman air sangat besar dan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang sisi tegak. Ada tiga macam pertimbangan tinggi sisi tegak dengan tumpukan batunya :

1. Tumpukan batu dibuat sampai setinggi air yang tertinggi, sedangkan bangunan sisi tegak hanya sebagai penutup bagian atas.
2. Tumpukan batu setinggi air terendah sedang bangunan sisi tegak harus menahan air tertinggi.
3. Tumpukan batu hanya merupakan tambahan pondasi dari bangunan sisi tegak.

2.3.4 Pemecah Gelombang Ambang Rendah

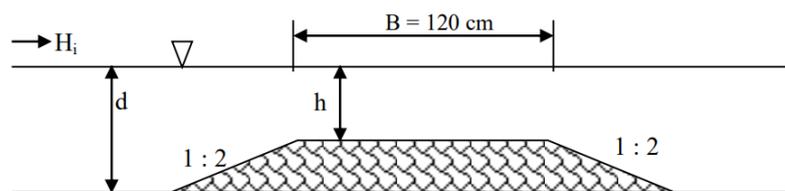
Usaha perlindungan pantai yang pengembangannya dititik beratkan untuk wisata, perencanaan perlindungannya tidak cukup hanya sekedar bertujuan untuk menjaga kerusakan pantai akan tetapi perlu dipikirkan tentang ke aslian dan keindahan daerah pantai. Bangunan pelindung pantai yang dapat memenuhi tujuan tersebut diantaranya adalah pemecah gelombang ambang rendah (*sumerged*

breakwater). Setiap bangunan disamping ada kelebihan tentu ada kekurangannya, termasuk pemecah gelombang ambang rendah. Beberapa kelebihan/keuntungan penggunaan bangunan pelindung pantai dengan pemecah gelombang ambang rendah (*submerged breakwater*) adalah sebagai berikut:

1. Tidak mengganggu keindahan pantai, karena konstruksinya tidak terlihat (di bawah permukaan air).
2. Karena konstruksi di bawah muka air, maka apabila ada gelombang datang sebagian energi gelombang terserap/terpatahkan, sebagian akan dipantulkan/direfleksikan, dan sebagian yang lain akan ditransmisikan, sehingga di pantai masih terjadi gelombang meskipun tidak begitu besar, dengan demikian wisatawan yang datang ke pantai masih dapat menikmati gelombang pantai.
3. Pemecah gelombang ambang rendah, khususnya yang dibangun dengan tumpukan batu dapat menjadi tempat berkembang biaknya ikan, karena konstruksinya berongga dan gelombang yang terjadi tidak begitu besar.

Adapun kelemahan / kekurangannya adalah seperti berikut ini:

1. Pemecah gelombang ambang rendah tumpukan batu (batu alam maupun batu buatan) pada umumnya membutuhkan batu pelindung ukuran besar, dengan jumlah yang banyak, sehingga dalam pembangunannya memerlukan biaya yang cukup besar.
2. Dalam pembangunannya pada umumnya memerlukan sarana penunjang yang relatif besar seperti alat angkut (truk besar), kran dengan kemampuan angkat yang besar, jembatan yang cukup panjang sebagai sarana jalan truk dalam mengangkut batu lindung ke posisi yang telah ditentukan. Bahkan kadangkadangkang, karena posisi peletakan batu sulit dijangkau dengan kran, maka diperlukan alat peletak batu yang lain yaitu helikopter.



Gambar 3. Pemecah gelombang ambang rendah tumpukan batu (PGARTTB)

2.4 Tipe Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai. Tipe pertama banyak digunakan pada perlindungan perairan pelabuhan, sedangkan tipe kedua untuk perlindungan pantai terhadap erosi. Secara umum kondisi perencanaan kedua tipe adalah sama, hanya pada tipe pertama perlu ditinjau karakteristik gelombang di beberapa lokasi di sepanjang pemecah gelombang, seperti halnya pada perencanaan groin dan jetty. Selanjutnya dalam bagian ini tinjauan lebih difokuskan pada pemecah gelombang lepas pantai.

2.4.1 Pemecah gelombang sambung pantai (*Shore-connected Breakwater*)

Tipe ini banyak digunakan pada perlindungan perairan pelabuhan. perlu ditinjau karakteristik gelombang di beberapa lokasi di sepanjang pemecah gelombang, seperti halnya pada perencanaan groin dan jetty.



Gambar 4. Pemecah gelombang sambung pantai

Untuk mencegah hilangnya pasir yang ditimbun di ruas pantai karena terangkut oleh arus sepanjang pantai, sering dibuat sistem groin. Dengan adanya groin tersebut, pasir yang ditimbun akan tertahan dalam ruas-ruas pantai di dalam sistem groin. Tetapi perlu dipikirkan pula bahwa pembuatan groin tersebut dapat menghalangi suplay sedimen ke daerah hilir, yang dapat menimbulkan permasalahan baru di daerah tersebut.

1. Memasang karang Buatan

Karang buatan yang dikembangkan pertama kali di Selandia Baru mulai tahun 1996, energi gelombang akan berkurang sampai 70 persen ketika sampai di pantai.

Pembangunan konstruksi di bawah laut itu juga memungkinkan tumbuhnya terumbu karang baru.

2. Kubus Beton Tumpuk

Terlepas garis pantai terlindungi atau tidak, upaya menghentikan terjadinya abrasi secara terus menerus perlu dilakukan langkah-langkah penanggulangannya. Terdapat banyak metode dalam penanggulangan abrasi namun prinsip pokok penanggulangannya adalah memecah gelombang atau meredam energi gelombang yang terjadi.



Gambar 5. Pemecah gelombang kubus beton tumpuk untuk melindungi kapal dari gelombang

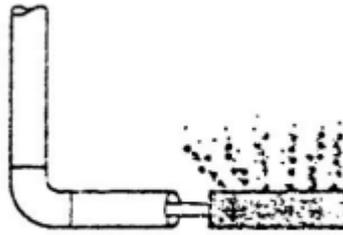
Untuk mendapatkan type pemecah/peredam energi gelombang yang efektif perlu dilakukan pengkajian yang mendalam terhadap :

1. Sifat dari pada karakteristik dan tinggi gelombang
2. Kondisi tanah
3. Pasang surut Bathymetry dan gradient pantai

2.5 Gelembung Udara

Proses terjadinya gelembung udara adalah karena adanya gerak vertikal gelembung udara rela terhadap air. Karena rapat massa udara sangat kecil dibandingkan dengan rapat massa air maka ditinjau saat gelembung dalam keadaan seimbang, yakni pada saat seret (*drag*) sama dengan gaya apung (*bouyancy*). (Thoenes, 1997) kolom *aerator* (*bubble column*) adalah perangkat yang sederhana

dan efektif untuk terjadinya kontak antara udara dan air. Kolom ini biasanya terdiri dari tabung silinder vertikal dengan distributor udara (*diffuser*) pada bagian dasar seperti pada gambar 1, baik jenis pelat berpori atau *sparger* (satu atau beberapa cincin yang berlubang-lubang kecil).



Gambar 6. *Porus ceramic tube*

Terdapat 3 tipe aliran gelembung udara, yakni sebagai berikut:

- a. Aliran Gelembung homogen
Gelembung kecil dengan diameter seragam tersebar merata pada cairan. Tidak terjadi aliran air yang kuat
- b. Aliran gelembung heterogen (*churn-turbulent*)
Gelembung besar dengan bentuk tidak teratur bergerak cepat ke atas. Terjadi pemecahan dan penggabungan yang banyak. Gelembung kecil masih ditemui. Terdapat aliran cairan yang kuat.
- c. Aliran slug
Gelembung terbentuk dengan ukuran sebesar diameter kolom. Gelembung-gelembung kecil mengikuti di belakangnya.

Terdapat satu perbedaan penting pada aliran gelembung homogen dan gelembung heterogen. Pada aliran gelembung homogen, telah terjadi penggabungan gelembung, yang apabila terjadi maka ukuran gelembung akan bertambah seiring berjalan naik gelembung. Pada aliran turbulen, terjadi pecah dan penggabungan dengan cepat sehingga diameter equilibrium yang tercapai tidak dipengaruhi oleh diameter distributor udara.

2.6 Teori Dasar Gelombang

Gelombang merupakan salah satu fenomena proses fisik yang terjadi di pantai. Gelombang pada perairan dapat didefinisikan sebagai perubahan elevasi

perairan secara harmonik yang ditimbulkan oleh beberapa gaya angin, gaya gempa di laut, kapal yang bergerak, dan lain-lain (Triatmodjo, 1999). Bentuk gelombang di alam sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidaklinieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random. Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan gelombang alam. Untuk menjelaskan fenomena gelombang laut para ilmuwan telah mengembangkan beberapa teori gelombang, antara lain sebagai berikut :

1. Teori gelombang linier (*Airy Wave Theory, Small-Amplitude Wave Theory*)
2. Teori gelombang non linier (*Finite-Amplitude Wave Theories*), diantaranya
 - Gelombang *Stokes* orde 2, orde 3, orde 4 dan seterusnya.
 - Gelombang *Cnoidal*
 - Gelombang *Dean Stream Function*
 - Gelombang *Solitary*

Masing-masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda. Teori gelombang Airy merupakan gelombang amplitudo kecil, sedang teori yang lain adalah gelombang amplitudo terbatas (*finite amplitudo waves*).

2.7 Teori Partikel Gelombang

Partikel dalam gelombang air bergerak dalam lintasan elips atau orbital. Gerakan ini lebih besar di permukaan dan menurun secara eksponensial dengan kedalaman. Kecepatan partikel juga bervariasi, dengan kecepatan maksimum terjadi di puncak gelombang dan berkurang saat mendekati dasar. Mereka menggunakan persamaan gelombang sinusoidal untuk menggambarkan perilaku ini secara matematis (Dean dan Dalrymple, 1991).

(Phillips, 1977) juga menekankan bahwa gerakan orbital partikel air dalam gelombang permukaan di laut bebas sangat dipengaruhi oleh interaksi antara angin dan permukaan air. Kecepatan orbital di permukaan dapat didekati dengan menggunakan teori gelombang linear, di mana amplitudo gerakan partikel berkurang secara eksponensial dengan kedalaman.

2.8 Teori Persamaan Konservasi Energi

Teori persamaan konservasi energi dan koefisien transmisi dalam konteks gelombang air telah dikembangkan oleh sejumlah ahli dalam bidang mekanika fluida dan oseanografi. Teori ini membantu menjelaskan bagaimana energi gelombang dipertahankan dan ditransmisikan ketika gelombang melewati media yang berbeda atau penghalang.

(Sorensen, 2006) dalam bukunya "*Basic Coastal Engineering*" memberikan pendekatan praktis untuk menghitung koefisien transmisi berdasarkan prinsip konservasi energi. Sorensen menjelaskan bahwa koefisien transmisi adalah bagian dari energi gelombang yang diteruskan melewati struktur pesisir, seperti pemecah gelombang atau penghalang lainnya. Dia juga menekankan pentingnya uji laboratorium dan model numerik dalam menentukan nilai koefisien transmisi untuk berbagai kondisi gelombang dan struktur.

(Dean dan Dalrymple, 1991) menjelaskan bahwa persamaan konservasi energi untuk gelombang air melibatkan analisis energi kinetik dan potensial dari partikel air. Dalam karya mereka, mereka menguraikan bahwa total energi dalam sistem gelombang harus tetap konstan, meskipun ada perubahan dalam bentuk energi akibat interaksi dengan struktur atau penghalang. Mereka menggunakan koefisien transmisi untuk menggambarkan bagian dari energi gelombang yang melewati penghalang dibandingkan dengan energi gelombang yang dipantulkan atau diserap. Koefisien transmisi ini dihitung dengan mengkuadratkan rasio amplitudo gelombang yang ditransmisikan dengan amplitudo gelombang datang .

2.9 Teori Deformasi Gelombang

Deformasi gelombang adalah perubahan karakteristik gelombang seperti tinggi, panjang, periode, arah dan sebagainya akibat pengaruh perubahan kedalaman dasar laut, adanya hambatan pulau-pulau atau tanah meninggi di dasar laut, kemiringan dasar laut yang tidak sejajar dengan arah datangnya gelombang, dan lain-lain. Deformasi gelombang yang sering dihadapi adalah Gelombang Difraksi, Refraksi dan Refleksi Gelombang.

Pembahasan deformasi gelombang pada penelitian ini hanya pada bagian refleksi gelombang serta gelombang yang terjadi setelah melewati penghalang

dalam hal ini pemecah gelombang (*breakwater*) yang disebut sebagai gelombang transmisi.

(Leo H. Holthuijsen, 2007) dalam bukunya *Waves in Oceanic and Coastal Waters* menekankan pentingnya disipasi energi dalam transformasi gelombang saat mereka merambat melalui media yang berbeda. Dia menunjukkan bahwa disipasi terjadi akibat viskositas air, turbulensi, dan interaksi dengan struktur bawah air. Refleksi dan transmisi gelombang juga dijelaskan dengan menggunakan prinsip konservasi energi dan momentum, yang memberikan wawasan tentang bagaimana gelombang berubah bentuk saat bertemu dengan penghalang. Holthuijsen juga memberikan model numerik dan eksperimen lapangan untuk memvalidasi teori-teori ini .

2.10 Klasifikasi teori gelombang

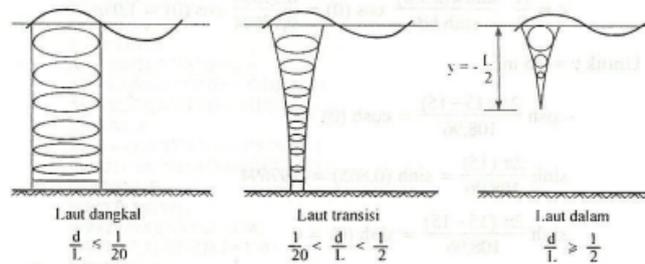
Jika ditinjau dari kedalaman relatif dimana gelombang menjalar, maka gelombang dikelompokkan dalam 3 kategori yaitu gelombang laut dangkal, gelombang laut transisi dan gelombang laut dalam. Batasan dari ketiga kategori tersebut didasarkan pada rasio antara kedalaman dan panjang gelombang (d/L). Batasan penggunaannya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam

Kategori gelombang	d/L
Laut dalam	$>1/2$
Laut transisi	$1/20 - 1/2$
Laut dangkal	$<1/20$

Sumber : (Triatmodjo, 1999)

Dalam gelombang terdapat partikel-partikel air yang berubah selama penjalaran gelombang dari laut dalam sampai laut dangkal. Bentuk partikel yang terdapat dalam gelombang yang bergerak menuju laut dangkal digambarkan pada gambar 2 berikut:



Gambar 7. Gerak partikel air dalam gelombang (Triatmodjo, 1999)

2.11 Parameter Gelombang

Berdasarkan teori Airy maka gerak gelombang dianggap sebagai kurva sinus harmonis (*sinusoidal progressive wave*), gelombang dapat dijelaskan secara geometris (Triatmodjo, 1999) berdasarkan :

- a. Tinggi gelombang (H), yaitu jarak antara puncak dan lembah gelombang dalam satu periode gelombang.
- b. Panjang gelombang (L), jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{Lo}\right) \dots\dots\dots(1)$$

L = Panjang Gelombang (cm)

g = Gaya gravitasi (9,81 m/s²)

d = Kedalaman (cm)

Lo = Panjang gelombang di laut dalam/panjang gelombang awal (cm)

Dengan menggunakan cara iterasi maka persamaan (1) dapat diselesaikan untuk menentukan panjang gelombang (L). Pada persamaan (1) diperlukan panjang gelombang awal (Lo) dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (d) atau kedalaman laut. Ketiga parameter tersebut diatas digunakan untuk menentukan parameter gelombang lainnya, seperti :

- a. Kemiringan gelombang (*wave steepness*) = H/L
- b. Ketinggian relatif (*relative height*) = H/d
- c. Kedalaman relatif (*relative depth*) = d/L

Parameter penting lainnya seperti :

Periode gelombang (T), yaitu interval waktu yang dibutuhkan antara 2 puncak gelombang (*wave crest*).

2.12 Memperoleh Koefisien Transmisi

Menurut (Achiari et al., 2020) Tinggi gelombang transmisi merupakan tinggi gelombang yang diteruskan. Koefisien transmisi (K_t) adalah rasio antara tinggi gelombang transmisi (H_t) dan tinggi gelombang datang (H_i) . Koefisien transmisi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \dots\dots\dots(3)$$

- K_t = Koefisien Transmisi
- H_t = Gelombang Transmisi (m)
- H_i = Gelombang datang (m)

2.13 Memperoleh Koefisien Refleksi

Menurut (Achiari et al., 2020) Koefisien refleksi (K_r) adalah rasio antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i) . Koefisien refleksi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} \dots\dots\dots(4)$$

$$H_r = \frac{H_{maks} - H_{min}}{2} \text{ (m)} \dots\dots\dots(5)$$

$$H_i = \frac{H_{maks} + H_{min}}{2} \text{ (m)} \dots\dots\dots(6)$$

$$K_r = \frac{H_{maks} - H_{min}}{H_{maks} + H_{min}} \dots\dots\dots(7)$$

H_{maks} = tinggi gelombang maksimum (m)

H_{min} = tinggi gelombang minimum (m)

K_r = koefisien refleksi

H_r = tinggi gelombang refleksi (m)

2.14 Memperoleh Koefisien Disipasi

Menurut Horikawa (1978) bahwa besarnya energi gelombang yang didisipasikan (dihancurkan/diredam) adalah besarnya energi gelombang datang dikurangi energi gelombang yang ditransmisikan dan direflesikan.

$$K_d = 1 - K_t - K_r \dots \dots \dots (8)$$

K_d = koefisien disipasi

K_t = koefisien transmisi

K_r = koefisien refleksi