

**SKRIPSI**

**“ANALISIS TINGGI GELOMBANG DISIPASI DENGAN MODEL  
TUMPUKAN BOLA SEBAGAI BREAKWATER TENGGELAM”**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL PENGAIRAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2019**



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

## FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : [www.unismuh.ac.id](http://www.unismuh.ac.id), e-mail : [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

### HALAMAN PENGESAHAN

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

Judul Skripsi : **ANALISIS TINGGI GELOMBANG DISIPASI DENGAN MODEL TUMPUKAN BOLA SEBAGAI BREAKWATER TENGGELAM**

Nama : Asriadi

Rahmat

Stambuk : 105 81 1771 12

105 81 1661 12


Makassar, 17 Juni 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing :

Pembimbing I

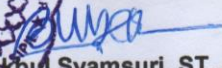
Pembimbing II

  
Dr. Ir. Fenti Daud S., MT.

  
Dr. Ir. Nenny, ST., MT.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Pengairan  
Jurusan Teknik Sipil

  
Andi Makbul Syamsuri, ST., MT., IPM.

NBM : 1183 084





# UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

## FAKULTAS TEKNIK

### GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : [www.unismuh.ac.id](http://www.unismuh.ac.id), e-mail : [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

### PENGESAHAN

Skripsi atas nama Asriadi dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 1771 12 dan Rahmat dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 1661 12, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0002/SK-Y/22201/091004/2019, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari senin tanggal 17 Juni 2019.

Panitia Ujian : Makassar, 13 Syawal 1440 H  
17 Juni 2019 M

#### 1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T.

#### 2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Sukmasari Antaria, M.Si

b. Sekretaris : Andi Makbul Syamsuri, ST., MT., IPM.

#### 3. Anggota

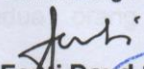
1. Dr. Muh. Yunus Ali, ST., MT.

2. Muh. Amir Zainuddin, ST., MT.


3. Muh. Syafaat S. Kuba, ST., MT.

Mengetahui :

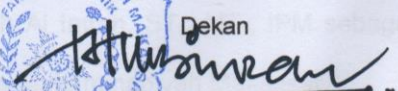
Pembimbing I

  
Dr. Ir. Fenti Daud S., MT.

Pembimbing II

  
Dr. Ir. Nenny, ST., MT.

Dekan

  
Dr. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM.

NBM : 855 500

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah Subahanahu Wa Ta'ala, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyusun skripsi dengan judul **“Analisis Tinggi Gelombang Disipasi Dengan Model Tumpukan Bola Sebagai BreakWater Tenggelam”**.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kekhilafan baik itu dari segi teknis penulisan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat lebih bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

Terkhusus saya persembahkan sujud dan rasa terima kasih kami kepada kedua orang tua yang telah begitu besar memberikan pengorbanannya baik materi maupun doa demi keberhasilan penulis.

1. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

2. Bapak Ir. Andi Makbul Syamsuri, ST., MT. sebagai Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Ibu Dr. Ir. Hj. Fenty Daud S,MT selaku Pembimbing I dan Ibu Dr. Ir. Nenny T Karim, ST.,MT. Selaku pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga terwujudnya skripsi ini.
4. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Teman-teman mahasiswa Fakultas Teknik, terkhusus Saudaraku Angkatan 2012 yang dengan keakraban dan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan proposal penelitian yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan negara. Amin.

Makassar, 17 Juni 2019

**Penulis**

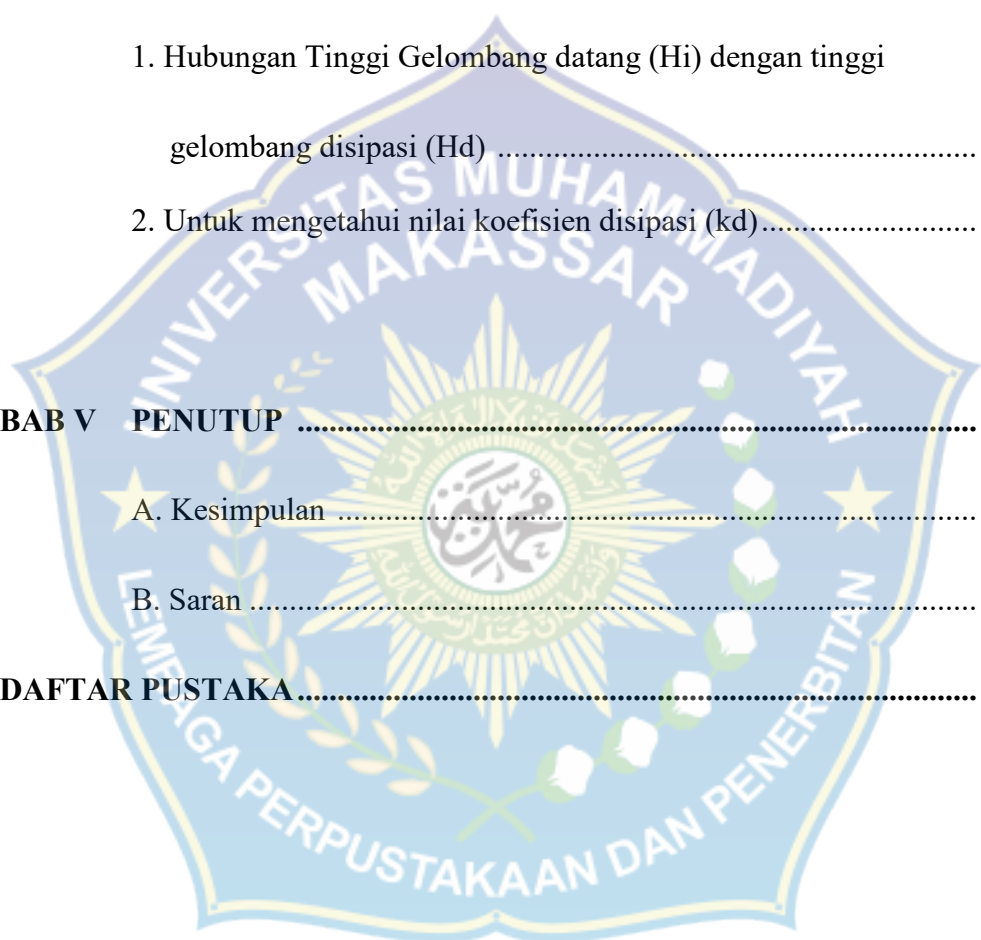


## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Batasan Masalah.....	4
F. Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
A. Karakteristik Gelombang.....	7
B. Klasifikasi Teori gelombang.....	11
1. Gelombang berdiri progresif .....	12
2. Gelombang berdiri persial .....	15

C. Energi Disipasi Oleh Pantai.....	18
D. Peredaman Energi Gelombang.....	18
1. Pemecah Gelombang.....	18
2. Bangunan Pemecah Gelombang.....	23
3. Parameter Bangunan Peredam Energi.....	25
E. Hukum Dasar Model.....	27
1. Sebangun Geometrik.....	28
2. Sebangun Kinematik.....	29
3. Sebangun Dinamik.....	29
F. Kerangka Pikir Penelitian.....	32
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>33</b>
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	33
B. Jenis Penelitian dan Sumber Data.....	33
C. Alat dan Bahan yang Digunakan.....	34
D. Model Tumpukan Bola Sisi Tegak.....	35
E. Variabel yang Diteliti.....	37
F. Pelaksanaan Studi Model.....	37
G. Diagram Proses Penelitian Laboratorium.....	38

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>39</b>
A. Hasil Penelitian .....	39
1. Panjang Gelombang.....	39
2. Data Tinggi Gelombang (Hmax dan Hmin) .....	40
3. Gelombang Disipasi .....	42
4. Koefisien Disipasi.....	42
B. Pembahasan.....	43
1. Hubungan Tinggi Gelombang datang (Hi) dengan tinggi gelombang disipasi (Hd) .....	43
2. Untuk mengetahui nilai koefisien disipasi (kd).....	44
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>46</b>
A. Kesimpulan .....	46
B. Saran .....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>47</b>





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Karakteristik Gelombang.....	8
Gambar 2. Proses Erosi Pantai.....	11
Gambar 3. Pemecah gelombang sisi tegak .....	23
Gambar 4. Pemecah gelombang sisi miring .....	23
Gambar 5. Pemecah gelombang tipe campuran.....	24
Gambar 6. Jenis batu buatan.....	24
Gambar 7. Run up dan run down batu alam .....	25
Gambar 8. Susunan sederhana lapis pemecah gelombang batu alam	25
Gambar 9. Kerangka Pikir Penelitian.....	32
Gambar 10. Tangki pembangkit gelombang .....	34
Gambar 11. Unit pembangkit gelombang type flap.....	35
Gambar 12. Model Tumpukan BolaTegak .....	36
Gambar 13. Bagan Alir ( <i>Flow Chart</i> ).....	38
Gambar 14. Hubungan tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) dengan tinggi gelombang disipasi dengan diameter (0.75 cm, 1,50 cm,2.50) .....	43
Gambar 15. Hubungan tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) dengan koefisien disipasi ( $K_d$ ) .....	45



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam ...	12
Tabel 2. Koefisien Refleksi .....	26
Tabel 3. Pengamatan tinggi gelombang $H_{max}$ dan $H_{min}$ dengan kedalaman 20 pada pada diameter 0.75, 1.50, dan 2.50 cm	40
Tabel 4. Hasil Rekapitulasi Tinggi Gelombang Disipasi ( $H_d$ ) Dan Koefisien disipasi( $K_d$ ).....	42
Tabel 5. Perbandingan nilai rata-rata tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) dengan tinggi gelombang disipasi ( $H_d$ ) .....	44
Tabel 6. Perbandingan nilai rata-rata tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) dengan koefisien disipasi ( $K_d$ ).....	45

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Pantai merupakan perbatasan antara daratan dan lautan, yaitu sebuah perairan yang sangat dinamis. Pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sedemikian sehingga mampu meredam energy gelombang datang. Penyesuaian bentuk tersebut merupakan tanggapan dinamis alami pantai terhadap laut. Sering kali pertahanan alami pantai ini tidak mampu menahan serangan aktifitas laut (gelombang, arus, angin, dan pasang surut)

Dalam beberapa tahun terakhir, garis pantai di beberapa daerah di Indonesia mengalami erosi yang cukup memprihatinkan. Data menunjukkan lebih dari 400 km atau sekitar 40% dari total panjang pantai di Indonesia mengalami kerusakan (erosi/abrasi). Dari fakta yang ada maka diperlukan penanganan yang serius terhadap permasalahan erosi pantai adalah membuat system perlindungan pantai.

Upaya untuk mengatasi erosi di daerah pantai yang telah dilakukan dapat dibagi menjadi dua pendekatan utama, yaitu dengan *hard approach* dan *soft approach*. Penangan dengan *hard approach* dapat berupa pembangunan struktur pantai seperti *breakwater*, *groyne*, *jetty*, *revetment* dan *seawall* (tembok laut).

*Revetment* merupakan struktur yang dibangun sejajar garis pantai,



memisahkan antara daratan dan perairan pantai. Fungsi utama dari *revetment* adalah mencegah terjadinya erosi pantai dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke 2 daratan. *Revetment* biasanya dibangun dengan sisi miring, ditempatkan sejajar atau hampir sejajar garis pantai, dapat terbuat dari pasangan batu, beton, tumpukan (buis) beton, turap, kayu atau tumpukan batu.

Permasalahan yang sering ditemukan pada bangunan pelindung pantai termasuk *revetment* adalah terjadinya kerusakan pada bangunan akibat gerusan pada kaki bangunan atau erosi dasar bangunan. Air yang melimpas (*overtopping*) di belakang struktur/bangunan akan terinfiltrasi melalui permukaan tanah dan mengalir kembali ke laut, perbedaan elevasi muka air di belakang dan di depan bangunan yang cukup besar dapat menimbulkan kecepatan aliran cukup besar yang dapat menarik butiran tanah di belakang dan pada fondasi bangunan (*piping*). Keadaan ini dapat mengakibatkan rusak/runtuhnya bangunan (CERC, 1984).

Gelombang yang menjalar mengenai suatu bangunan peredam gelombang sebagian energinya akan dipantulkan (refleksi) dan sebagian dihancurkan (disipasi) melalui pecahnya gelombang. Pembagian besarnya gelombang yang dipantulkan dan dihancurkan, tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi gelombang, kedalaman air), dan geometric profil pantai (kemiringan profil pantai) Tinjauan disipasi gelombang dalam struktur pantai adalah penting. Disipasi gelombang merupakan parameter untuk mengukur seberapa besar kemampuan

pantai meredam gelombang. Diperlukan suatu perencanaan bangunan yang tepat guna mendapatkan koefisien disipasi gelombang yang diinginkan.

Maka dari permasalahan-permasalahan tersebut maka kami menuangkan dalam bentuk penulisan tugas akhir atau skripsi dengan judul : **“ANALISIS TINGGI GELOMBANG DISIPASI DENGAN MODEL TUMPUKAN BOLA SEBAGAI BREAKWATER TENGGELAM”**

### **B. Rumusan Masalah**

Masalah yang dibahas dalam penelitian ini dapat dijabarkan dalam rumusan masalah sebagai berikut :

Bagaimana pengaruh kerapatan tumpukan bola tinggi gelombang disipasi sebagai breakwater tenggelam.

1. Bagaimana cara mengetahui nilai koefisien disipasi pada breakwater tenggelam.

### **C. Tujuan Penelitian**

Terkait dengan masalah yang telah sebelumnya, maka tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengkaji pengaruh kerapatan tumpukan bola terhadap tinggi gelombang disipasi.
2. Untuk mengetahui nilai koefisien disipasi pada breakwater tenggelam.

#### **D. Manfaat Penelitian**

1. Dapat dijadikan sebagai bahan acuan dan informasi para peneliti dalam mengembangkan penelitian berhubungan dengan kerapatan struktur tumpukan bola peredam gelombang.
2. Sebagai referensi untuk memanfaatkan bahan lokal sebagai salah satu alat untuk mengurangi energi gelombang.
3. Salah satu kegiatan yang membutuhkan hasil dalam kajian ini adalah penggunaan bahan lokal dalam perlindungan pantai.

#### **E. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Gelombang yang dibangkitkan gelombang teratur (reguler wave) yang belum pecah.
2. Fluida yang digunakan adalah air (salinitas dan pengaruh mineral air tidak diperhitungkan).
3. Perbedaan karakteristik tidak dikaji lebih dalam.
4. Gaya gelombang terhadap stabilitas model uji tidak dikaji.
5. Dasar perairan model berupa rata.
6. Kedalaman air tetap atau konstan.

#### **F. Sistematika Penulisan**

Penulisan ini merupakan serasi dan teratur, oleh karena itu dibuat dengan komposisi bab mengenai pokok uraian mencakup pengertian

tentang apa, dan bagaimana Sistematika penulisan skripsi ini dapat diuraikan sebagai berikut :

## BAB I PENDAHULUAN

Dalam Bab ini diuraikan mengenai hal-hal yang melatarbelakangi ini, masalah, tujuan penelitian, batasan masalah manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang pengertian dasar serta teori yang digunakan dalam perhitungan yang meliputi karakteristik gelombang, klasifikasi teori gelombang.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menguraikan tentang lokasi dan waktu penelitian, jenis penelitian dan sumber data, alat dan bahan, alat pemecah gelombang, yang diteliti, prosedur laboratorium serta diagram proses penelitian laboratorium.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menguraikan tentang analisa hasil penelitian yang meliputi data tinggi gelombang, koefisien gelombang refleksi dan transmisi, pengaruh tumpukan bola terhadap tinggi gelombang refleksi dan transmisi, pengaruh perubahan periode gelombang terhadap tinggi gelombang refleksi dan transmisi, dan pengaruh kecuraman gelombang



terhadap nilai koefisien refleksi dan transmisi sebagai break water tenggelam.

## BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan penutup yang berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian ini, serta saran-saran dari penulis yang berkaitan dengan faktor pendukung dan faktor penghambat yang dialami selama penelitian berlangsung, yang tentunya diharapkan agar penelitian ini berguna untuk ilmu aplikasi kerekayasaan khususnya bangunan air dan penelitian selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Karakteristik Gelombang

Gelombang permukaan merupakan salah satu bentuk penjalaran energi yang biasanya ditimbulkan oleh angin yang berhembus di atas lautan (*Black, 1986*). Sifat gelombang yang datang menuju pantai sangat dipengaruhi oleh kedalaman air dan bentuk profil pantainya (*beach profile*), selain tentunya parameter dan karakter gelombang itu sendiri.

Parameter penting untuk menjelaskan gelombang air adalah panjang gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman air dimana gelombang tersebut menjalar. Parameter-parameter yang lain seperti pengaruh kecepatan dapat ditentukan dari ketiga parameter pokok diatas. Adapun pengertian dari beberapa parameter diatas :

- a. Panjang gelombang ( $L$ ) adalah jarak horizontal antara dua puncak atau titik tertinggi gelombang yang berurutan, bisa juga dikatakan sebagai jarak antara dua lembah gelombang.
- b. Periode gelombang ( $T$ ) adalah waktu yang dibutuhkan oleh dua puncak/lembah gelombang yang berurutan melewati suatu titik tertentu.
- c. Kecepatan rambat gelombang (*celerity*) ( $C$ ) adalah perbandingan antara panjang gelombang dan periode gelombang ( $L/T$ ). ketika

gelombang air menjalar dengan kecepatan  $C$ . partikel air tidak turut bergerak ke arah perambatan gelombang. Sedangkan sumbu koordinat untuk menjelaskan gerak gelombang berada pada kedalaman muka air tenang. Yaitu  $z = -h$

- d. Amplitudo ( $a$ ) adalah jarak vertikal antara puncak/titik tertinggi gelombang atau lembah/titik terendah gelombang, dengan muka air tenang ( $H/2$ ).

Secara skematik dimensi mengenai karakteristik gelombang dapat dilihat pada gambar 1 berikut :



Gambar 1 Karakteristik Gelombang (*Teknik Pantai, Triadmodjo, 1999*)

Gelombang terjadi karena hembusan angin di permukaan air. Daerah dimana gelombang dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang (*wave generating area*). Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut 'sea' sedangkan gelombang yang terbentuk diluar daerah pembangkitan disebut 'swell'. Ketika gelombang menjalar, partikel air bergerak dalam suatu lingkaran vertikal kecil dan tetap pada posisinya

selagi bentuk dan energi gelombang berjalan maju. Partikel air di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran besar dan membentuk puncak gelombang di puncak lingkaran dan lembah gelombang pada lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang makin kecil sampai pada kedalaman lebih besar dari setengah panjang gelombang.

Pada saat gelombang bergerak menuju ke garis pantai (*shoreline*), gelombang mulai bergesekan dengan dasar laut dan menyebabkan pecahnya gelombang ditepi pantai. Hal ini juga dapat terjadi pengaruh pada garis pantai dan bangunan yang ada disekitarnya. Keenam peristiwa tersebut adalah :

- a. Refraksi gelombang yakni peristiwa berbeloknya arah gerak puncak gelombang.
- b. Difraksi gelombang yakni peristiwa berpindahnya energi di sepanjang puncak gelombang ke arah daerah yang terlindung.
- c. Refleksi gelombang yakni peristiwa pemantulan energi gelombang yang biasanya disebabkan oleh suatu bidang bangunan di lokasi pantai.
- d. *Wave shoaling* yakni peristiwa membesarnya tinggi gelombang saat bergerak ke tempat yang lebih dangkal.
- e. *Wave damping* yakni peristiwa tereduksinya energi gelombang yang biasanya disebabkan adanya gaya gesekan dengan dasar pantai.



- f. *Wave breaking* yakni peristiwa pecahnya gelombang yang biasanya terjadi pada saat gelombang mendekati garis pantai (*surf zone*).

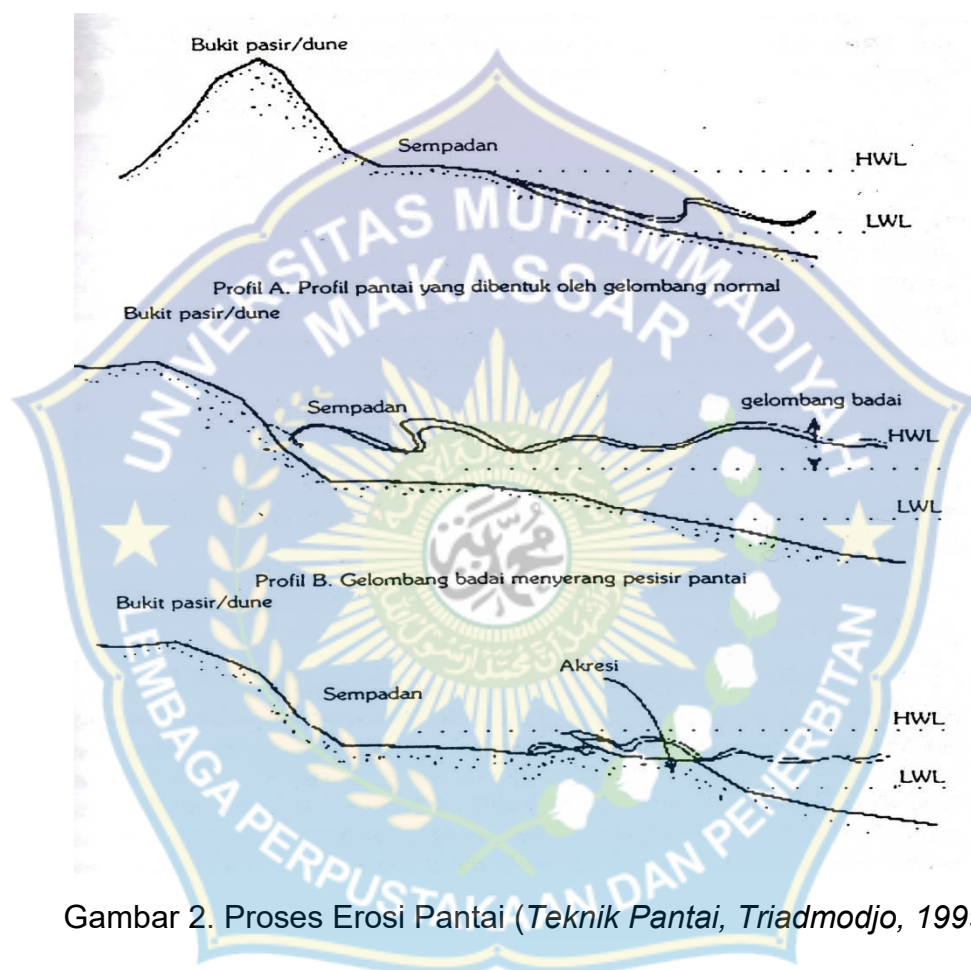
Gelombang yang memecah di pantai merupakan penyebab utama proses erosi dan akresi (pengendapan) garis pantai. Karakteristik gelombang ini tergantung pada kecepatan angin, durasi dan jarak seret gelombang (*fetch*).

Sebagian besar gelombang datang dengan membentuk sudut tertentu terhadap garis pantai dan menimbulkan arus sejajar pantai (*longshore current*), yang menggerakkan '*littoral drift*' atau sedimen sekitar garis pantai dalam bentuk *zigzag* sebagai akibat datang dan surutnya gelombang ke laut.

Kemampuan air memindahkan material pantai tergantung pada kecepatannya. Gelombang besar atau gelombang dengan arus kuat atau cepat mampu mengangkut sedimen yang cukup besar dan dalam jumlah yang cukup banyak. Material sedimen ini diendapkan ketika kecepatan air mulai menurun dan kemudian akan diambil kembali ketika kecepatan air meningkat.

Elevasi muka air juga mempengaruhi proses terjadinya erosi pantai. Perubahan tinggi gelombang ini disebabkan misalnya karena pasang surut, musim, atau badai. Pantai dengan kemiringan relatif datar memiliki sistem perlindungan alami terhadap erosi. Keberadaan terumbu karang dan kemiringan pantai yang relatif datar akan memudahkan tereduksinya

energi gelombang yang mendekati pesisir pantai. Sempadan pantai mencegah muka air laut yang tinggi mencapai daratan. Bukit pasir dan hutan bakau melindungi pantai dari serangan gelombang badai dan berfungsi sebagai tampungan sedimen.



Gambar 2. Proses Erosi Pantai (*Teknik Pantai, Triadmodjo, 1999*)

## B. Klasifikasi Teori Gelombang

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

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

Kategori gelombang	$d/L$	$2\pi d/L$	$\text{Tanh}(2\pi d/L)$
Air dalam	$> 0,5$	$> \pi$	$\approx 1$
Air transisi	$0,05 - 0,5$	$0,25 - \pi$	$\text{Tanh}(2\pi d/L)$
Air dangkal	$< 0,05$	$< 0,25$	$2\pi d/L$

(sumber: Teknik Pantai, Triadmodjo, 1999)

Gelombang juga dapat dikelompokkan berdasarkan rasio antara tinggi gelombang dan panjang gelombang. Pada pengelompokan ini dikenal gelombang amplitudo kecil dan gelombang amplitudo berhingga (*Stock, Cnoidal, Solitair*). Gelombang amplitudo kecil dikembangkan oleh Airy sehingga dikenal dengan teori gelombang Airy. Teori gelombang Airy diturunkan berdasarkan anggapan bahwa perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjangnya atau kedalamanya sangat kecil, sedangkan teori gelombang amplitudo berhingga memperhitungkan besarnya rasio antara tinggi gelombang terhadap panjang dan kedalaman airnya.

#### 1. Gelombang berdiri progresif

Apabila gelombang merambat dan dipengaruhi oleh gaya luar, maka amplitudo gelombang dapat berubah. Apabila amplitudo gelombang berubah terhadap ruang dan waktu disebut gelombang progressif atau gelombang berjalan. Sedangkan jika berubah terhadap waktu disebut gelombang berdiri atau *standing wave/clapotis* (Dean dan Dalrymple, 1992). Pertama-tama kita tinjau suatu gelombang progresif

yang elevasi permukaan airnya  $\eta$  dinyatakan dengan (Dean dan Dalrymple, 1994) :

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma) \dots\dots\dots (1)$$

Potensial kecepatannya  $\phi$  dinyatakan dengan :

$$\phi = -\frac{H}{2} \frac{g}{\sigma} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \sin(kx + \sigma) \dots\dots\dots (2)$$

Dengan  $k$  adalah bilangan gelombang,  $H$  tinggi gelombang,  $\sigma$  frekwensi sudut gelombang,  $x$  adalah jarak penjaralan dan  $t$  waktu penjaralan.

Kecepatan partikel air arah horisontal  $U$  dan vertikal  $V$  untuk gelombang progresif masing-masing dapat dihitung dengan rumus :

$$U = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{H\sigma}{2} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma) \dots\dots\dots (3)$$

$$V = \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{H\sigma}{2} \frac{\sinh k(d+z)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma) \dots\dots\dots (4)$$

Sedangkan percepatan partikel arah horisontal  $u$  dan vertikal  $v$ , masing-masing dapat ditulis :

$$u = \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{H\sigma^2}{2} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma) \dots\dots\dots (5)$$

$$v = \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{H\sigma^2}{2} \frac{\sinh k(d+z)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma) \dots\dots\dots (6)$$

Untuk kasus gelombang berdiri potensial kecepatan ditulis (Dean dan Dalrymple, 1994) :

$$\phi = \frac{H_s}{2} \frac{g}{\sigma} \frac{\cosh k(d+z)}{\cosh kd} \cos kx \cdot \sin \sigma \dots\dots\dots (7)$$

dengan :

$$\eta = \frac{H_s}{2} \cos kx \cdot \sin \sigma \dots\dots\dots (8)$$

$H_s$  = tinggi gelombang berdiri yang besarnya dua kali tinggi gelombang progresif yang membentuknya.

Potensial kecepatan gelombang berdiri dapat diturunkan dengan menjumlahkan potensial kecepatan dua gelombang progresif yang beramplitudo sama dengan tinggi  $H_p$ , yang bergerak dalam arah berlawanan seperti berikut :

$$\varphi = \frac{H_p}{2} \frac{g \cosh k(d+z)}{\sigma \cosh kd} \sin(kx - \sigma t) + \frac{H_p}{2} \frac{g \cosh k(d+z)}{\sigma \cosh kd} \cos(kx - \sigma t) \dots\dots\dots (9)$$

Karena  $\cos(kx \pm \sigma t) = \sin kx \cdot \cos \sigma t \pm \cos kx \cdot \sin \sigma t$ , maka potensial kecepatan untuk gelombang berdiri dapat ditulis :

$$\varphi = H_p \frac{g \cosh k(d+z)}{\sigma \cosh kd} \cos kx \cdot \sin \sigma t \dots\dots\dots (10)$$

Mengingat  $H_p = \frac{H_s}{2}$ , maka potensial kecepatan untuk gelombang berdiri dapat dihitung dengan Persamaan (11).

Kecepatan partikel air arah horisontal  $U$  dan vertikal  $V$  untuk gelombang berdiri masing-masing dapat dihitung dengan rumus :

$$U = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{H \sigma \cosh k(d+z)}{2 \sinh kd} \sin kx \cdot \cos \sigma t \dots\dots\dots (11)$$

$$V = -\frac{\partial \varphi}{\partial z} = -\frac{H \cdot g \cdot k \sinh k(d+z)}{2 \sigma \sinh kd} \cos kx \cdot \sin \sigma t \dots\dots\dots (12)$$



Dengan mengaplikasikan syarat batas yang ada (kinematik dan dinamik), yaitu :

$$-\frac{\partial \varphi}{\partial z} \Big|_{z=0} = \frac{\partial \eta}{\partial t} \dots\dots\dots (13)$$

Kemudian Persamaan (7) dan (8) disubstitusi ke Persamaan (14), maka diperoleh :

$$-\frac{H}{2} \frac{g \sinh k(d+z)}{\sigma \cosh hkd} \cos kx \cdot \sin \sigma t = -\frac{H}{2} \sigma \cos kx \cdot \sin \sigma t \dots\dots\dots (14)$$

Atau,

$$\frac{\sigma^2 d}{gk} = \tanh kd \dots\dots\dots (15)$$

$$\sigma^2 = gk \tanh kd \dots\dots\dots (16)$$

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = g \frac{2\pi}{L} \tanh \left( \frac{2\pi}{L} d \right) \dots\dots\dots (17)$$

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \tanh \left( \frac{2\pi}{L} d \right) \dots\dots\dots (18)$$

Dengan menggunakan metode iterasi maka Persamaan (18) dapat diselesaikan guna menentukan panjang gelombang. Pada persamaan (19) diperlukan panjang gelombang awal ( $L_0$ ) dengan menggunakan persamaan berikut :

$$L_0 = 1,56 T^2 \dots\dots\dots (19)$$

## 2. Gelombang berdiri parsial

Apabila gelombang yang merambat melewati suatu penghalang, maka gelombang tersebut akan dipantulkan kembali oleh penghalang

tersebut. Apabila pemantulanya sempurna atau gelombang datang dipantulkan seluruhnya, maka tinggi gelombang di depan penghalang menjadi dua kali tinggi gelombang datang dan disebut gelombang berdiri (*standing wave*). Akan tetapi jika penghalang memiliki porositas atau tidak dapat memantulkan secara sempurna, maka tinggi gelombang di depan penghalang akan kurang dari dua kali tinggi gelombang datang dan pada kondisi ini disebut gelombang berdiri parsial (sebagian). Contoh kejadian gelombang parsial adalah gelombang yang membentur pantai atau pemecah gelombang (*breakwater*) mengalami pemantulan energi yang tidak sempurna.

Jika suatu gelombang yang mengalami pemantulan yang tidak sempurna membentur suatu penghalang, maka tinggi gelombang datang  $H_i$  akan lebih besar dari tinggi gelombang yang direfleksikan  $H_r$ . Periode gelombang datang dan yang dipantulkan adalah sama, sehingga panjang gelombangnya juga sama. Profil gelombang total di depan penghalang adalah (Dean dan Dalrymple, 1994) :

$$\eta = \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma t) + \frac{H_r}{2} \cos(kx + \sigma t + \varepsilon) \dots \dots \dots (20)$$

Karena pemantulan yang tidak sempurna, menyebabkan tidak ada node yang sebenarnya dari profil gelombang tersebut.

Untuk memisahkan tinggi gelombang datang dan tinggi gelombang yang direfleksikan, maka Persamaan (20) ditulis dalam bentuk lain seperti berikut :

$$\eta_t = \frac{H_i}{2} (\cos kx \cos \sigma + \sin kx \sin \sigma) + \frac{H_r}{2} (\cos(kx + \varepsilon) \cos \sigma - \sin(kx + \varepsilon) \sin \sigma) \dots \dots \dots (21)$$

$$\eta_t = \left( \frac{H_i}{2} \cos kx + \frac{H_r}{2} \cos(kx + \varepsilon) \right) \cos \sigma + \left( \frac{H_i}{2} \sin kx - \frac{H_r}{2} \sin(kx + \varepsilon) \right) \sin \sigma \dots \dots (22)$$

Dengan menguraikan persamaan (21) dan (22) diperoleh elevasi muka air maksimum dan minimum untuk gelombang berdiri sebagian seperti berikut (Pao'tonan.C, 2006) :

$$\eta_{t \max} = \frac{H_i + H_r}{2} \dots \dots \dots (23)$$

$$\eta_{t \min} = \frac{H_i - H_r}{2} \dots \dots \dots (24)$$

Dengan mengeliminasi Persamaan (23) dan (24) diperoleh :

$$H_i = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} \dots \dots \dots (25)$$

$$H_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2} \dots \dots \dots (26)$$

Jika gelombang datang menghantam penghalang sebagian ditransmisikan, maka gelombang yang lewatpun akan mengalami hal yang sama seperti ketika membentur penghalang. Apabila gelombang yang ditransmisikan terhalang oleh suatu penghalang, maka tinggi gelombang transmisi  $H_t$  dapat dihitung dengan rumus :

$$H_t = \frac{(H_{\max})_t + (H_{\min})_t}{2} \dots \dots \dots (27)$$

Selanjutnya dengan menggunakan Persamaan (25) sampai (27) tinggi gelombang datang, reflkesi dan transmisi dapat dihitung.

### C. Energi Disipasi Oleh Pantai

Prinsip disipasi pantai adalah untuk mengusir energi gelombang sebelum gelombang mencapai batas terbuka. Untuk kasus di mana istilah redaman ditambahkan ke persamaan bidang, jelas bahwa energi gelombang kehilangan terjadi di zona redaman melalui gesekan buatan internal dalam domain fluida. Misalnya memecahkan persamaan momentum dengan istilah buatan redaman linear.

Untuk gelombang permukaan bebas menggunakan model aliran potensial dan "redaman" istilah ditambahkan dengan kondisi batas permukaan bebas, mekanisme energi gelombang kehilangan berbeda. Karena tidak ada gesekan internal dapat terjadi dalam fluida ideal, energi hanya dapat ditularkan atau diserap melalui permukaan bebas (dengan asumsi dinding tepat untuk batas pemotongan).

Diketahui:  $H_d = H_i - H_r$

### D. Peredam Energi Gelombang

#### 1. Pemecah Gelombang

Sebenarnya breakwater atau pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang sambung pantai dan lepas pantai. Tipe pemecah gelombang sambung pantai banyak digunakan pada perlindungan perairan pelabuhan, sedangkan tipe lepas pantai untuk perlindungan pantai terhadap erosi. Secara umum kondisi perencanaan kedua tipe adalah sama, hanya pada tipe pemecah

gelombang sambung pantai perlu ditinjau karakteristik gelombang di beberapa lokasi disepanjang pemecah gelombang, seperti halnya pada perencanaan groin dan jetty. Penjelasan lebih rinci mengenai pemecah gelombang sambung pantai lebih cenderung berkaitan dengan palabuhan dan bukan dengan perlindungan pantai terhadap erosi.

Selanjutnya dalam tinjauan lebih difokuskan pada pemecah gelombang lepas pantai. Breakwater atau dalam hal ini pemecah gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Pemecah gelombang dibangun sebagai salah satu bentuk perlindungan pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang sebelum sampai ke pantai, sehingga terjadi endapan dibelakang bangunan. Endapan ini dapat menghalangi transport sedimen sepanjang pantai.

Seperti disebutkan diatas bahwa pemecah gelombang lepas pantai dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai, maka tergantung pada panjang pantai yang dilindungi, pemecah gelombang lepas pantai dapat dibuat dari satu pemecah gelombang atau suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah. Bangunan ini berfungsi untuk melindungi pantai yang terletak dibelakangnya dari serangan gelombang yang dapat mengakibatkan erosi pada pantai. Perlindungan oleh pemecahan gelombang lepas pantai terjadi karena berkurangnya energi gelombang yang sampai di perairan di belakang bangunan. Karena pemecah



gelombang inidibuat terpisah ke arah lepas pantai, tetapi masih di dalam zona gelombang pecah (breaking zone).Maka bagiansisi luar pemecah gelombang memberikan perlindungan dengan meredam energi gelombang sehingga gelombangdan arus di belakangnya dapat dikurangi.

Gelombang yang menjaral 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. Pembagian besarnya energi gelombang yang dipantulkan,dihancurkan dan diteruskan tergantung karakteristik gelombang datang (periode, tinggi, kedalaman air), tipebangunan peredam gelombang (permukaan halus dan kasar, lulus air dan tidak lulus air) dan geometrik bangunanperedam (kemiringan, elevasi, dan puncak bangunan).Berkurangnya energi gelombang di daerah terlindung akan mengurangi pengiriman sedimen di daerah tersebut,maka pengiriman sedimen sepanjang pantai yang berasal dari daerah di sekitarnya akan diendapkan dibelakangbangunan, pantai di belakang struktur akan stabil dengan terbentuknya endapan sediment tersebut.

Material yang digunakan tergantung dari tipe bangunan itu sendiri. Seperti halnya bangunan pantai kebanyakan, pemecah gelombang lepas pantai dilihat dari bentuk strukturnya bisa dibedakan menjadi dua tipe yaitu: sisi tegak dan sisi miring. Untuk tipe sisi tegak pemecah gelombang bisa dibuat dari material-material seperti pasangan batu, sel turap baja

yang didalamnya di isi tanah atau batu, tumpukan buis beton, dinding turap baja atau beton, kaison beton dan lain sebagainya. Dari beberapa jenis tersebut, kaison beton merupakan material yang paling umum di jumpai pada konstruksi bangunan pantai sisi tegak. Kaison beton pada pemecah gelombang lepas pantai adalah konstruksi berbentuk kotak dari beton bertulang yang didalamnya diisi pasir atau batu. Pada pemecah gelombang sisi tegak kaison beton diletakkan diatas tumpukan batu yang berfungsi sebagai fondasi. Untuk menanggulangi gerusan pada pondasi maka dibuat perlindungan kaki yang terbuat dari batu atau blok beton.

Sementara untuk tipe bangunan sisi miring, pemecah gelombang lepas pantai bisa dibuat dari beberapa lapisan material yang di tumpuk dan di bentuk sedemikian rupa ( pada umumnya apabila dilihat potongan melintangnya membentuk trapesium) sehingga terlihat seperti sebuah gundukan besar batu, dengan lapisan terluar dari material dengan ukuran butiran sangat besar :

1. Inti (core) pada umumnya terdiri dari agregat galian kasar, tanpa partikel-partikel halus dari debu dan pasir.
2. Lapisan bawah pertama (underlayer) disebut juga lapisan penyaring (filter layer) yang melindungi bagian inti (core) terhadap penghanyutan material, biasanya terdiri dari potongan-potongan tunggal batu dengan berat bervariasi dari 500 kg sampai dengan 1 ton.

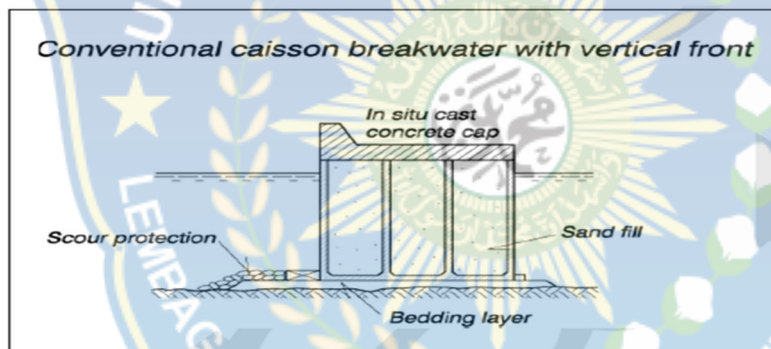
3. Lapisan pelindung utama (main armor layer) seperti namanya, merupakan pertahanan utama dari pemecah gelombang terhadap serangan gelombang. Pada lapisan inilah biasanya batu-batuan ukuran besar dengan berat antara 1-3 ton atau bisa juga menggunakan batu buatan dari beton dengan bentuk khusus dan ukuran yang sangat besar seperti tetrapod, quadripod, dolos, tribar, xblock, accropode dan lain-lain.

Secara umum, batu buatan dibuat dari beton tidak bertulang konvensional kecuali beberapa unit dengan banyak lubang yang menggunakan perkuatan serat baja. Untuk unit-unit yang lebih kecil, seperti Dolos dengan rasi keliling kecil, berbagai tipe dari beton berkekuatan tinggi dan beton bertulang (tulangan konvensional, prategang, fiber, besi, profil-profil baja) telah dipertimbangkan sebagai solusi untuk meningkatkan kekuatan struktur unit-unit batu buatan ini, tetapi solusi-solusi ini secara umum kurang hemat biaya, dan jarang digunakan.

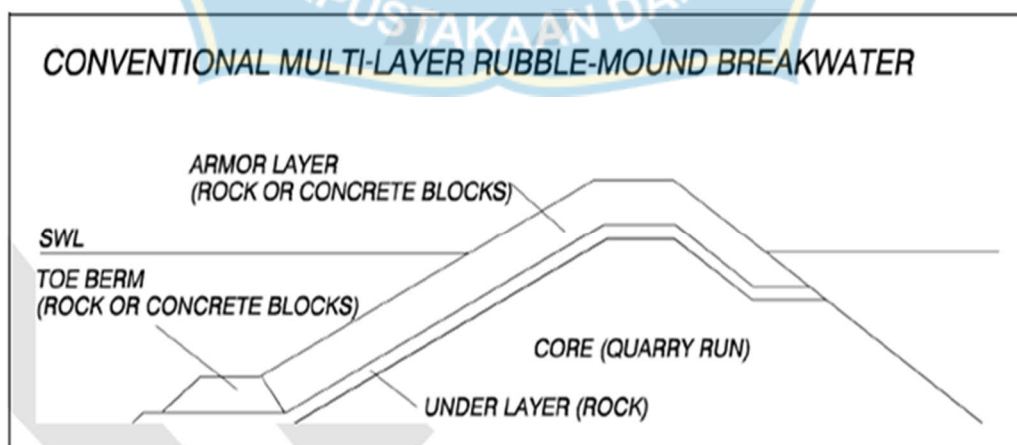
Seiring perkembangan jaman dalam konstruksi pemecah gelombang lepas pantai juga mengalami perkembangan. Belakangan juga dikenal konstruksi pemecah gelombang komposit. Yaitu dengan menggabungkan bangunan sisi tegak dan bangunan sisi miring. Dalam penggunaan material pun dikombinasikan misalnya antara kaisan beton dengan batu-batuan sebagai pondasinya.

## 2. Bangunan Pemecah Gelombang

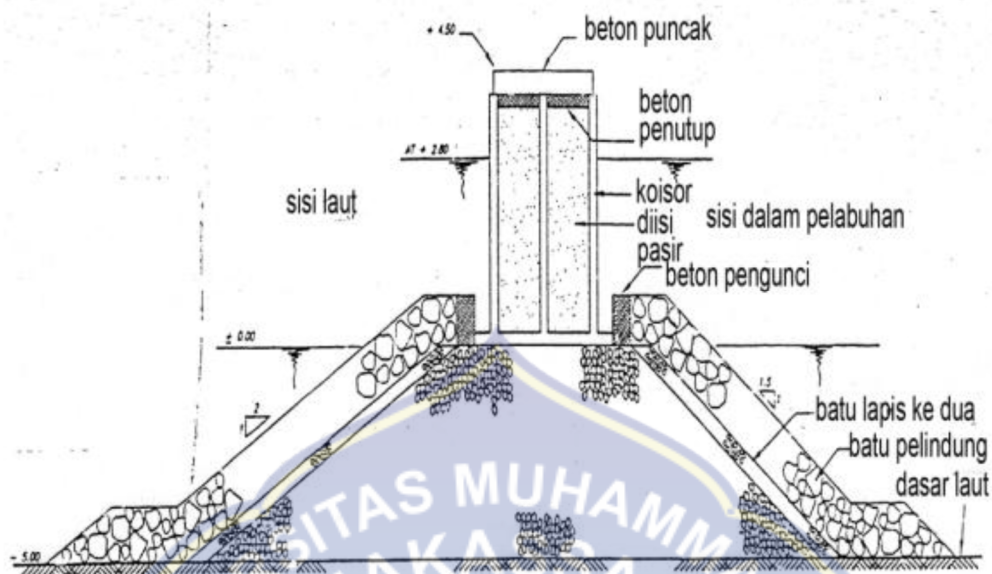
Pemecah Gelombang adalah suatu bangunan berada di daerah pinggir laut berguna untuk menahan gelombang air laut yang datang ke daratan. Bangunan Pemecah Gelombang ini biasanya terbuat dari pasangan batu kali. Pemecah gelombang adalah salah satu bangunan pantai yang berfungsi memecah energi gelombang dengan maksud untuk melindungi pantai atau memperoleh kondisi perairan yang tenang. Berdasarkan bentuknya, pemecah gelombang dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu : Pemecah gelombang sisi tegak, pemecah gelombang sisi miring dan pemecah gelombang tipe campuran.



Gambar 3. Pemecah gelombang sisi tegak (Sucipto, Tito, Dkk. 2013. "pemecah gelombang Breakwater").



Gambar 4. Pemecah gelombang sisi miring (Sucipto, Tito, Dkk. 2013. "pemecah gelombang Breakwater").

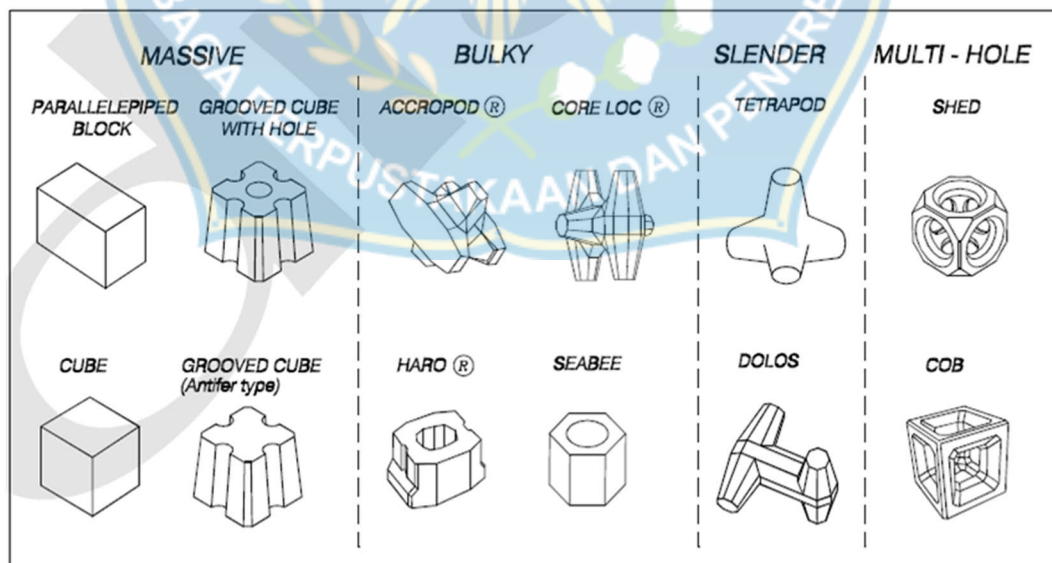


Gambar 3. Pemecah gelombang sisi campuran (Sucipto, Tito, Dkk. 2013. “pemecah gelombang Breakwater”).

Material Pemecah Gelombang terdiri dari dua jenis material yaitu :

- Batu alam
- Batu buatan

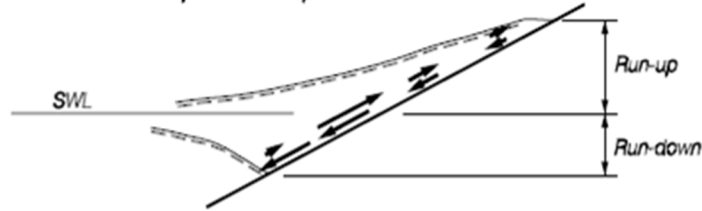
Beberapa Jenis Batu Buatan untuk Pemecah Gelombang



Gambar 6. Jenis batu buatan (Sucipto, Tito, Dkk. 2013. “pemecah gelombang Breakwater”).



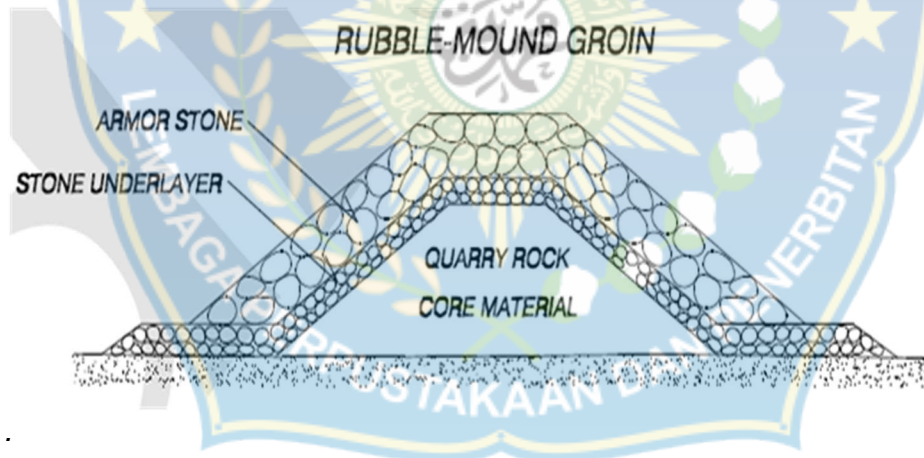
a) Up- and down- rush on impermeable slope



b) Up- and down- rush on permeable slope



Gambar 6. Run up down batu alam (Sucipto, Tito, Dkk. 2013. “pemecah gelombang Breakwater”).



Gambar 6. Susunan sederhana lapis pemecah gelombang batu alam (Sucipto, Tito, Dkk. 2013. “pemecah gelombang Breakwater”).

### 3. Parameter Bangunan Peredam Energi

Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi ( $H_r$ ) dan tinggi gelombang datang ( $H_i$ ). Parameter

refleksi gelombang biasanya dinyatakan dalam bentuk koefisien refleksi ( $K_r$ ) yang didefinisikan sebagai berikut :

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} \dots\dots\dots(28)$$

Dimana energi refleksi  $E_r = \frac{1}{8} \rho g H_r^2$  dan energi gelombang datang adalah  $E_i = \frac{1}{8} \rho g H_i^2$  dengan  $\rho$  adalah rapat massa zat cair dan  $g$  adalah percepatan gravitasi. Nilai  $K_r$  berkisar dari 1,0 untuk refleksi total hingga 0 untuk tidak ada refleksi. Koefisien refleksi bangunan diperkirakan berdasarkan tes model, koefisien refleksi berbagai tipe bangunan diberikan dalam tabel 2.

Tabel 2. Koefisien Refleksi

Tipe Bangunan Peredam Energi	$K_r$
Dinding vertikal dengan puncak diatas air	0,7 – 1,0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0,5 – 0,7
Tumpukan batu sisi miring	0,3 – 0,5
Tumpukan blok beton	0,3 – 0,5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi Lubang)	0,05 – 0,2

(sumber: *Teknik Pantai, Triadmodjo, 1999*)

Transmisi gelombang ( $H_t$ ) adalah tinggi gelombang yang diteruskan melalui rintangan dan diukur dengan koefisien transmisi ( $K_t$ ) dihitung dengan persamaan berikut :

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \sqrt{\frac{E_t}{E_i}} \dots\dots\dots(29)$$

Dimana energi gelombang transmisi adalah  $E_t = \frac{1}{8} \rho g H_t^2$

Tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) dan tinggi gelombang transmisi ( $H_t$ ) adalah tinggi gelombang rerata dari nilai maksimum dan minimum tinggi gelombang terukur masing-masing sebelum dan sesudah melewati rintangan. Sedangkan tinggi gelombang refleksi ( $H_r$ ) adalah setengah dari selisih tinggi gelombang maksimum dan minimum terukur sebelum melalui rintangan.

Menurut *Horikawa K (1978)* bahwa besarnya energi gelombang yang didipaskan/diredam ( $K_d$ ) adalah besarnya energi gelombang datang dikurangi energi gelombang yang ditransmisikan dan direflesikan :

$$K_d = 1 - K_r \dots\dots\dots (30)$$

#### **E. Hukum Dasar Model**

Konsep dasar pemodelan dengan bantuan skala model adalah membentuk kembali masalah atau fenomena yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model akan sebangun (mirip) dengan yang ada di prototipe. Kesebangunan yang dimaksud adalah berupa sebangun geometrik, sebangun kinematik dan sebangun dinamik (*Nur Yuwono, 1996*).

Hubungan antara model dan prototipe diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidak sama. Skala dapat didefinisikan sebagai rasio antara nilai yang ada di prototipe dengan nilai parameter tersebut pada model.

## 1. Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik adalah suatu kesebangunan dimana bentuk yang ada di model sama dengan bentuk prototipe tetapi ukuran bisa berbeda. Perbandingan antara semua ukuran panjang antara model dan prototipe adalah sama. Ada dua macam kesebangunan geometrik, yaitu sebangun geometrik sempurna (tanpa *distorsi*) dan sebangun geometrik dengan distorsi (*distorted*). Pada sebangun geometrik sempurna skala panjang arah horisontal (skala panjang) dan skala panjang arah vertikal (skala tinggi) adalah sama, sedangkan pada *distorted* model skala panjang dan skala tinggi tidak sama. Jika memungkinkan sebaiknya skala dibuat tanpa distorsi, namun jika terpaksa, maka skala dapat dibuat distorsi. Sebangun geometrik dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} \dots\dots\dots (30)$$

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} \dots\dots\dots (31)$$

Dengan :

$n_L$  = skala panjang

$n_h$  = skala tinggi

$L_p$  = ukuran panjang prototipe

$L_m$  = ukuran panjang model

$h_p$  = ukuran tinggi pada prototipe

$h_m$  = ukuran tinggi pada model

## 2. Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan aliran di dua titik pada model dan prototipe pada arah yang sama adalah sama besar. Pada model tanpa distorsi, perbandingan kecepatan dan percepatan pada semua arah adalah sama, sedangkan pada model dengan distorsi perbandingan yang sama hanya pada arah tertentu saja, yaitu pada arah vertikal atau horisontal. Oleh sebab itu pada permasalahan yang menyangkut tiga dimensi sebaiknya tidak menggunakan *distorted* model. Skala kecepatan diberi notasi  $n_u$ , skala percepatan  $n_a$ , dan skala waktu  $n_T$  didefinisikan sebagai berikut :

$$n_u = \frac{u_p}{u_m} = \frac{n_L}{n_T} \dots\dots\dots (32)$$

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_T^2} \dots\dots\dots (33)$$

$$n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_L^3}{n_T} \dots\dots\dots (34)$$

$$n_T = \frac{T_p}{T_m} \dots\dots\dots (35)$$

## 3. Sebangun Dinamik

Sebangun dinamik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan kinematik, serta perbandingan gaya-gaya yang bekerja pada model dan prototipe untuk seluruh pengaliran pada arah



yang sama adalah sama besar. Gaya-gaya yang dimaksud adalah gaya inersia, gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek, gaya kenyal dan tegangan permukaan.

Beberapa sebangun dinamik yaitu sebangun dinamik Reynold (Reynold number) yang diekspresikan sebagai perbandingan gaya inersia terhadap gaya gesek, sebangun dinamik froude (froude number) yaitu perbandingan gaya inersia dan gaya gravitasi, bilangan Cauchy (Cauchy Number) yaitu perbandingan gaya inersia dan gaya elastik serta bilangan Weiber (Weiber Number) yaitu perbandingan antara gaya inersia dan gaya tegangan permukaan.

Untuk penelitian refleksi dan transmisi gelombang terhadap gelombang yang merambat melalui pemecah gelombang terapung banyak dipengaruhi gaya gravitasi sehingga digunakan kesebangunan Froud. Dengan pertimbangan fasilitas yang ada di laboratorium, maka pada penelitian ini, akan menggunakan skala panjang yang sama dengan skala tinggi (*undistorted models*) dan menggunakan kesebangunan Froude.

$$F_r = \frac{(\rho L^3)(U^2 / L)}{\rho g L^3} = \frac{U^2}{gL} \dots\dots\dots (36)$$

Dengan demikian bila gaya gravitasi memegang peranan penting dalam permasalahan, maka perbandingan gaya inersia dan gaya gravitasi pada model dan prototipe harus sama.

$$n_{F_r} = \frac{n_U}{n_{L^{0.5}}} \dots\dots\dots (37)$$

$$n_{F_r} = \frac{F_{r_p}}{F_{r_m}} = 1 \dots\dots\dots (38)$$

Oleh karena digunakan model tanpa distorsi, maka skala panjang gelombang  $n_L$ , skala panjang struktur  $n_B$ , skala kedalaman  $n_d$  dan skala sarat  $n_s$  adalah sama seperti berikut :

$$n_L = n_B = n_H = n_d = n_s \dots\dots\dots (39)$$

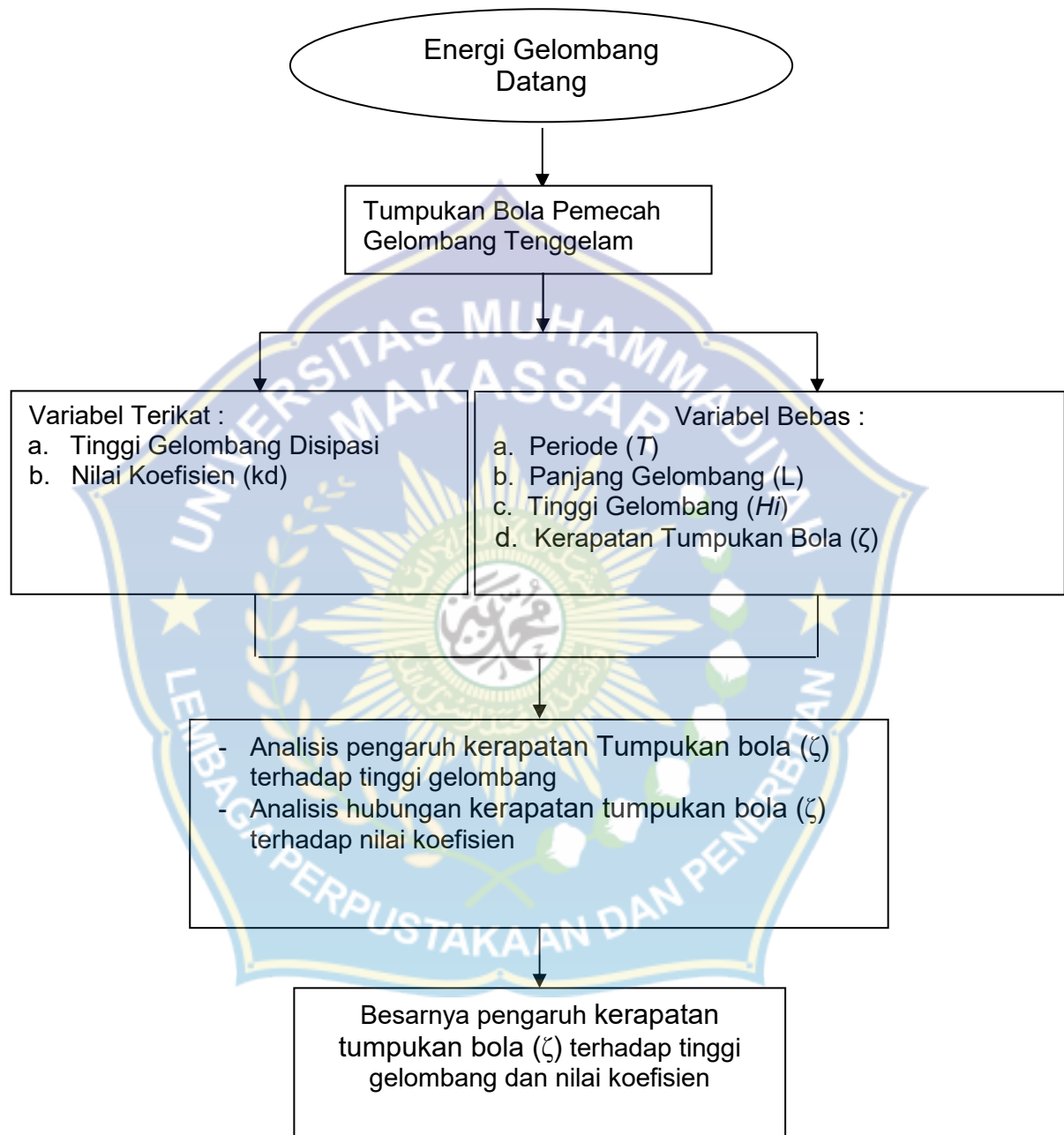
Sedangkan skala waktu  $n_T$  dan skala gravitasi ditulis seperti berikut:

$$n_T = n_L^{1/2} \dots\dots\dots (40)$$

$$n_g = 1 \dots\dots\dots (41)$$



## F. Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 10. Kerangka Pikir Penelitian

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa, dengan waktu penelitian selama 3 bulan.

#### **B. Jenis Penelitian dan Sumber Data**

Jenis penelitian yang digunakan adalah Eksperimental, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian tersebut, serta adanya kontrol dengan tujuan untuk menyelidiki ada-tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimental dan menyediakan kontrol untuk perbandingan.

Pada penelitian ini akan menggunakan dua sumber data yakni :

1. Data primer yakni data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di laboratorium.
2. Data Sekunder yakni data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada baik yang telah dilakukan di Laboratorium maupun dilakukan di tempat lain yang berkaitan dengan penelitian pemecah gelombang sisi tegak.

### C. Bahan dan Alat

Model tumpukan bola sisi tegak dengan 3 variasi yaitu (  $\varnothing$  0,75 cm,  $\varnothing$  1,5 cm dan  $\varnothing$  2,5 cm ) yang disusun bertumpuk dalam wadah persegi panjang berdiri tegak.

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah :

Bahan material bola diameter 0,75 cm, 1,50 cm, 2,50 cm dengan susunan bertumpuk variasi diameter yang sama dan diameter secara acak.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah :

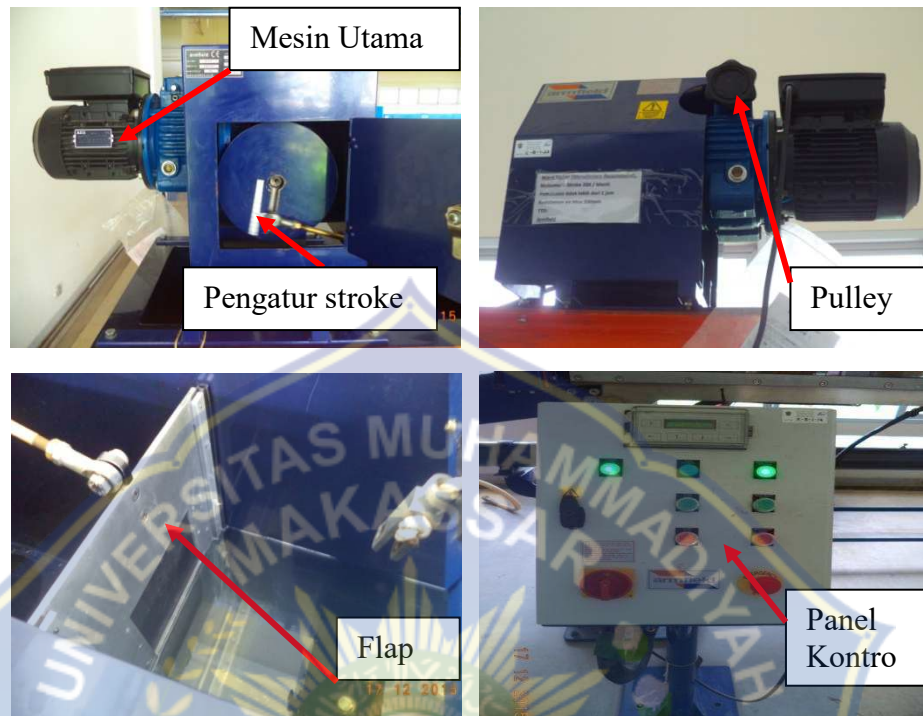
1. Dilakukan pada saluran gelombang multiguna berukuran panjang 15 m, lebar 0,30 m. Kedalaman efektif saluran 46 cm,



Gambar 11. Tangki pembangkit gelombang

2. Unit pembangkit gelombang, Mesin pembangkit terdiri dari *mesin utama*, *pulley* yang berfungsi mengatur waktu putaran piringan yang dihubungkan pada *stroke* sehingga menggerakkan flap pembangkit gelombang.





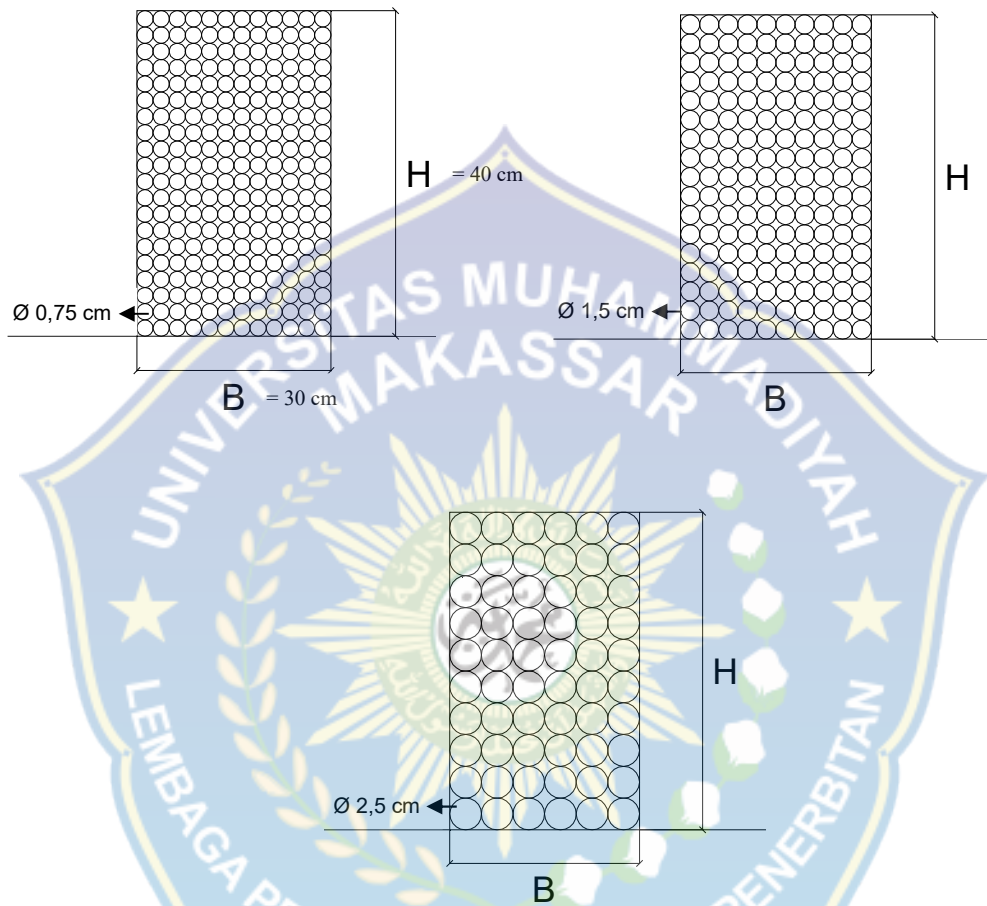
Gambar 12. Unit pembangkit gelombang type flap

3. Mistar ukur digunakan untuk mengukur kedalaman,
4. Meteran untuk mengukur tinggi gelombang,
5. *Stopwacth* untuk mengukur periode gelombang,
6. Kamera untuk dokumentasi,
7. Tabel dan Alat Tulis.

#### D. Model Tumpukan Bola Sisi Tegak

Model peredam gelombang daritumpukan bola sisi tegak dengan diameter bervariasi yaitu ( $\emptyset$  0,75 cm,  $\emptyset$  1,5 cm dan  $\emptyset$  2,5 cm), lebar model (B) 30 cm, tinggi model (t) 40 cm (mercu diatas muka air rerata), panjang model disesuaikan dengan penampang flume di

laboratorium, dengan kedalaman air ( $d$ ), maka gelombang datang dengan  $H_i$ , sebagian lagi energinya akan di pantulkan (refleksi)  $H_r$ , sebagian diteruskan (transmisi)  $H_t$ .



Gambar 9. Model Tumpukan Bola Tegak

### **E. Variabel Yang Diteliti**

Sesuai dengan tujuan penelitian yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya, maka variabel terikat yang diteliti adalah tinggi gelombang disipasi ( $Hd$ ), Dan koefisien disipasi ( $Kd$ ), sedangkan variabel bebas dalam penelitian ini adalah periode gelombang ( $T$ ), panjang gelombang ( $L$ ), tinggi gelombang ( $H$ ).

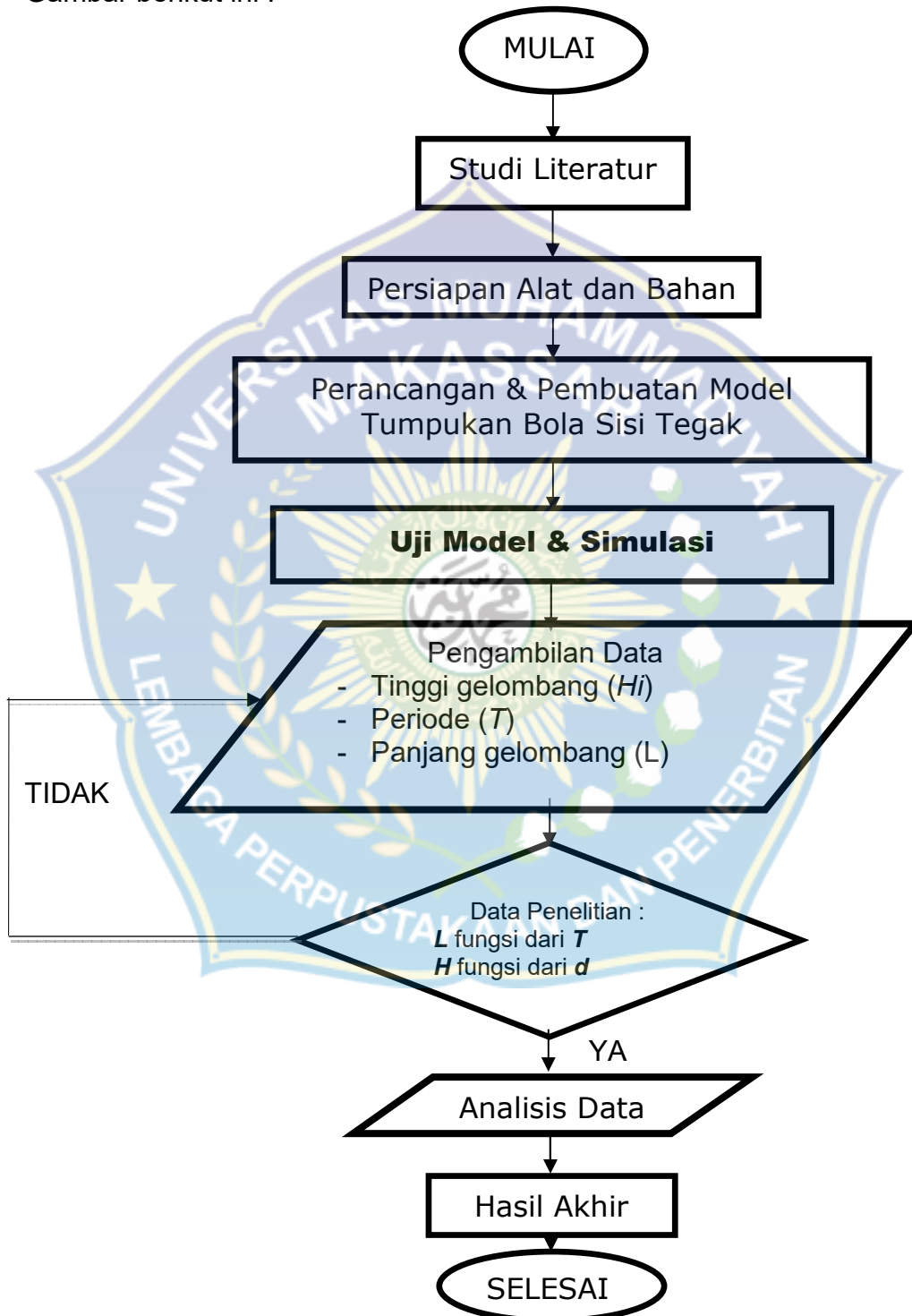
### **F. Pelaksanaan Studi Model**

Berdasarkan variabel yang akan diteliti, perancangan model pemecah gelombang sisi tegak didasarkan pada beberapa spesifikasi sebagai berikut :

- a. Berdasarkan pertimbangan fasilitas di laboratorium, bahan yang tersedia dan ketelitian pengukuran, maka digunakan skala model 1: 10.
- b. Model terbuat dari campuran kaca (kelereng) dengan ukuran diameter bola yang bervariasi.
- c. Nama dan karakteristik model akan diberikan sebagai pembeda disetiap model variasinya.
- d. Panjang Model disesuaikan dengan lebar *flume* yang digunakan.

### G. Diagram Proses Penelitian Laboratorium

Tahapan penelitian yang dilakukan sesuai dengan bagan alir pada Gambar berikut ini :



Gambar 13. Bagan Alir (Flow Chart)

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian

Adapun uraian dari keseluruhan hasil penelitian yang dilakukan akan dipaparkan sebagai berikut.

##### 1. Panjang Gelombang (L)

Penentuan panjang gelombang dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan pengukuran langsung dan metode iterasi dari persamaan panjang gelombang yang ada. Untuk pengukuran langsung di laboratorium dapat diketahui dengan kasat mata dengan mengukur panjang gelombang langsung yang terdiri dari 2 bukit dan 1 lembah. Sedangkan untuk metode iterasi kita cukup membutuhkan data periode yang diperoleh pada saat pra-penelitian.

##### 2. Data Tinggi Gelombang (Hmax dan Hmin)

Gelombang datang yang membentur suatu bangunan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya, fenomena gelombang ini disebut gelombang refleksi. Tinggi gelombang refleksi ( $H_r$ ) dapat diselesaikan dengan persamaan (26). Salah satu contoh perhitungan tinggi gelombang refleksi ( $H_r$ ) pada periode 1,6 detik model tumpukan bola terhadap breakwater tenggelam adalah sebagai berikut :

Diketahui :  $H_{max} = 3,6$

$H_{min} = 2,9$

$$H_r = \frac{H_{max} - H_{min}}{2}$$



$$= \frac{3,6-2,9}{2}$$

$$= 0,35 \text{ cm}$$

Data utama yang diamati dan dicatat adalah tinggi gelombang di depan dan belakang model. Dari hasil eksperimen dan pencatatan tinggi gelombang di tiap titik pengamatan diambil nilai maksimum ( $H_{max}$ ) dan minimum ( $H_{min}$ ). Berikut tabel tinggi gelombang model tumpukan bola :

Tabel 3. Pengamatan tinggi gelombang Hmax dan Hmin dengan kedalaman 20 pada diameter 0.75, 1.50, dan 2,50 cm.

Kedalaman (d)	Diameter bola (Ø)	Periode (T)	store	H <sub>max</sub>	H <sub>min</sub>
cm	cm	detik		cm	cm
20	0.75	1.1	4	4.3	0.9
			5	9.6	1.6
			6	11.3	1.4
		1.2	4	7.6	2.3
			5	11	4
			6	11.3	3.6
		1.3	4	5.9	1.5
			5	8.1	2.2
			6	12.4	5.2
	1.50	1.1	4	12.7	4.9
			5	9.8	3.9
			6	12.7	3.4
		1.2	4	5.7	1.1
			5	7.4	2.7
			6	8.9	3.3
		1.3	4	3.2	0.5
			5	4.1	0.6
			6	8	3.4
	2.50	1.1	4	4.3	0.9
			5	8.8	1.7
			6	10.9	4
		1.2	4	8.5	4.5
			5	8.2	3.3
			6	9	4.1
1.3		4	4.3	0.9	
		5	10	4.4	
		6	11.4	5	

### 3. Gelombang Disipasi

Besarnya tinggi gelombang yang diredam/diabsorpsi (disipasi)  $H_d$  adalah tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) dikurangi tinggi gelombang di refleksi ( $H_r$ ).

Salah satu contoh perhitungan gelombang disipasi model tumpukan bola terhadap breakwater tenggelam pada diameter 0.75cm periode 1,2 adalah sebagai berikut:

Diketahui :

$$H_i = 5,05$$

$$H_r = 0,35$$

$$H_d = H_i - H_r$$

$$H_d = 5,05 - 0,35$$

$$H_d = 4,7$$

### 4. Koefisien disipasi

Besarnya nilai koefisien disipasi ( $K_d$ ) adalah satu di kurang koefisien refleksi ( $K_r$ ).

salah satu contoh perhitungan koefisien disipasi gelombang pada diameter 0,75 cm periode 1,2 adalah sebagai berikut:

$$K_r = 0.06931$$

$$K_d = 1 - K_r$$

$$K_d = 1 - 0.06931$$

$$K_d = 0.93069$$

Berikut adalah hasil pengamatan tinggi gelombang refleksi, untuk mendapatkan nilai gelombang disipasi, koefisien refleksi gelombang dan koefisien disipasi gelombang pada kedalaman 20 cm sebagai berikut

Tabel 4. Hasil Rekapitulasi Tinggi Gelombang Disipasi (Hd) Dan Koefisien Disipasi (Kd)

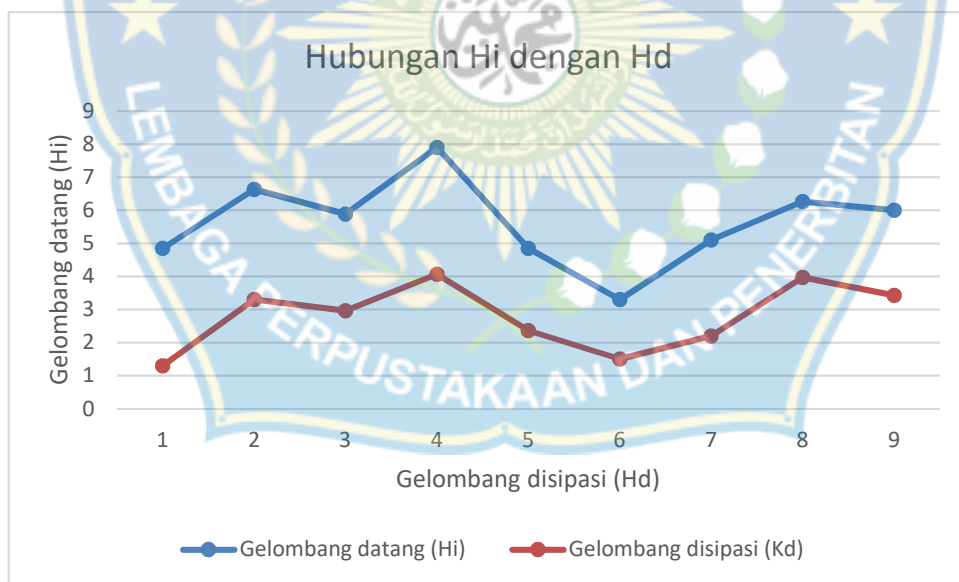
Kedalaman (d)	Diameter bola (Q)	Periode (T)	store	H <sub>max</sub>	H <sub>min</sub>	Hi	Hr	Hd	L	Hi/L	Kr	Kt	Kd	
				cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm			
20	0.75	1.1	4	4.3	0.9	2.6	1.7	0.9	137.6	0.01890	0.65385	1.00000	0.34615	
			5	9.6	1.6	5.6	4	1.6	137.6	0.04070	0.71429	0.85714	0.28571	
			6	11.3	1.4	6.35	4.95	1.4	137.6	0.04615	0.77953	0.88976	0.22047	
		1.2	4	7.6	2.3	4.95	2.65	2.3	152.3	0.03250	0.53535	0.76768	0.46465	
			5	11	4	7.5	3.5	4	152.3	0.04924	0.46667	0.73333	0.53333	
			6	11.3	3.6	7.45	3.85	3.6	152.3	0.04892	0.51678	0.75839	0.48322	
		1.3	4	5.9	1.5	3.7	2.2	1.5	168.6	0.02195	0.59459	0.79730	0.40541	
			5	8.1	2.2	5.15	2.95	2.2	168.6	0.03055	0.57282	0.78641	0.42718	
			6	12.4	5.2	8.8	3.6	5.2	168.6	0.05219	0.40909	0.70455	0.59091	
		1.50	1.1	4	12.7	4.9	8.8	3.9	4.9	137.6	0.06395	0.44318	0.72159	0.55682
				5	9.8	3.9	6.85	2.95	3.9	137.6	0.04978	0.43066	0.71533	0.56934
				6	12.7	3.4	8.05	4.65	3.4	137.6	0.05850	0.57764	0.78882	0.42236
	1.2		4	5.7	1.1	3.4	2.3	1.1	152.3	0.02232	0.67647	0.83824	0.32353	
			5	7.4	2.7	5.05	2.35	2.7	152.3	0.03316	0.46535	0.73267	0.53465	
			6	8.9	3.3	6.1	2.8	3.3	152.3	0.04005	0.45902	0.72951	0.54098	
	1.3		4	3.2	0.5	1.85	1.35	0.5	168.6	0.01097	0.72973	0.86486	0.27027	
			5	4.1	0.6	2.35	1.75	0.6	168.6	0.01394	0.74468	0.87234	0.25532	
			6	8	3.4	5.7	2.3	3.4	168.6	0.03381	0.40351	0.70175	0.59649	
	2.50		1.1	4	4.3	0.9	2.6	1.7	0.9	137.6	0.01890	0.65385	0.82692	0.34615
				5	8.8	1.7	5.25	3.55	1.7	137.6	0.03815	0.67619	0.83810	0.32381
				6	10.9	4	7.45	3.45	4	137.6	0.05414	0.46309	0.73154	0.53691
		1.2	4	8.5	4.5	6.5	2	4.5	152.3	0.04268	0.30769	0.65385	0.69231	
			5	8.2	3.3	5.75	2.45	3.3	152.3	0.03775	0.42609	0.71304	0.57391	
			6	9	4.1	6.55	2.45	4.1	152.3	0.04301	0.37405	0.68702	0.62595	
1.3		4	4.3	0.9	2.6	1.7	0.9	168.6	0.01542	0.65385	0.82692	0.34615		
		5	10	4.4	7.2	2.8	4.4	168.6	0.04270	0.38889	0.69444	0.61111		
		6	11.4	5	8.2	3.2	5	168.6	0.04864	0.39024	0.69512	0.60976		

## B. Pembahasan

Pada penelitian ini, terdapat 1 variasi kedalaman yaitu 20 cm dan 3 Variasi diameter ( $\emptyset$ ) butiran bola yakni diameter 0.75 cm, diameter 1.50 cm dan diameter model 2.50 cm. Pembahasan untuk hasil penelitian ini berupa grafik yang akan dijelaskan sebagai berikut.

### 1. Hubungan Tinggi Gelombang datang (Hi) dengan Tinggi Gelombang disipasi (Hd) dengan variasi diameter butiran bola ( $\emptyset$ ) (0.75 cm,1.50 cm,2.50 cm).

Berikut di sajikan hubungan tinggi gelombang datang (Hi), dengan Tinggi Gelombang disipasi (Hd) untuk tiga variasi butiran bola dalam bentuk grafik:



Gambar 14. Hubungan tinggi gelombang datang dengan tinggi gelombang disipasi dengan diameter (0.75 cm,1.50 cm,2.50 cm).

Dari hasil pengamatan di atas dapat dilihat dari grafik bahwa semakin tinggi gelombang datang maka semakin tinggi gelombang disipasi begitupun sebaliknya semakin rendah tinggi gelombang datang maka semakin rendah pula tinggi gelombang disipasi. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada tabel berikut:

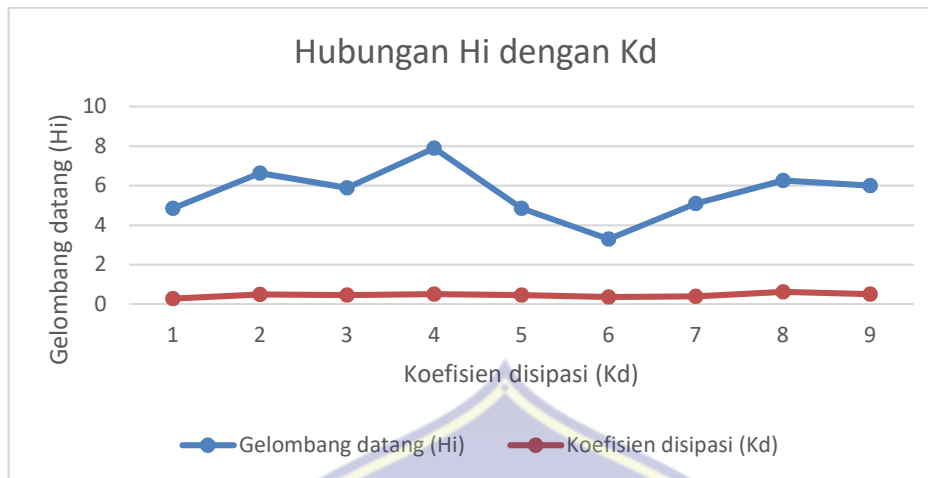
Tabel 5. Perbandingan nilai rata-rata tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) dengan tinggi gelombang disipasi ( $H_d$ ).

kedalaman (d)	Diameter bola ( $\phi$ )	Periode (T)	$H_i$	$H_d$
cm	cm	detik	cm	cm
20	0.75	1.1	4.85	1.30
		1.2	6.63	3.30
		1.3	5.88	2.97
	1.50	1.1	7.90	4.07
		1.2	4.85	2.37
		1.3	3.30	1.50
	2.50	1.1	5.10	2.20
		1.2	6.27	3.97
		1.3	6.00	3.43

## 2. Untuk mengetahui nilai koefisien disipasi ( $k_d$ )

Untuk menyajikan nilai koefisien disipasi ( $k_d$ ), maka diambil Tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) sebagai sumbu X dan koefisien disipasi ( $K_d$ ) sebagai sumbu Y maka akan didapat grafik seperti gambar berikut.





Gambar 16. Hubungan tinggi gelombang datang (Hi) dengan koefisien disipasi (Kd)

Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi gelombang datang maka nilai koefisien disipasi akan tinggi begitupun sebaliknya dan untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 6. Perbandingan nilai rata-rata tinggi gelombang datang (Hi) dengan koefisien disipasi (Kd).

kedalaman (d)	Diameter bola ( $\varnothing$ )	Periode (T)	Hi	Kd
cm	cm	detik	cm	cm
20	0.75	1.1	4.85	0.28
		1.2	6.63	0.49
		1.3	5.88	0.47
	1.5	1.1	7.90	0.52
		1.2	4.85	0.47
		1.3	3.30	0.37
	2.5	1.1	5.10	0.40
		1.2	6.27	0.63
		1.3	6.00	0.52

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin besar Tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) maka semakin tinggi gelombang disipasi ( $H_d$ ).
2. Semakin besar tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) maka semakin tinggi nilai koefisien disipasi ( $K_d$ ).

#### B. Saran

1. Untuk mendapatkan pencatatan yang lebih akurat dalam eksperimen laboratorium maka perlu dilengkapi alat pencatat otomatis. mampu mendapatkan data yang lebih akurat untuk penelitian selanjutnya.
2. Porositas model dalam penelitian ini tidak dikaji, sehingga diharapkan agar peneliti lainnya dapat melakukan pengkajian lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- CERC, 1984, *Shore Protection Manual*, Departement of the Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fourth Edition, U.S. Government Printing Office, Washington. Hampshire, London.
- Dean, R. G. dan Dalrymple, R. A. 1994, *Water wave mechanics for engineers and scientists*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., S
- Dean, R. G. a. Dalrymple, 1984. *Water Waves Mechanics for Engineer and Scientist*, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey
- Den Hartog, C. 1970. "Seagrasses of the world" North Holland Publishing c o. , Amsterdam, London pp. 272 .
- Cointe, R., Geyer, P., King, B., Molin, B. and Tramoni, M-P, in *Proc., 18th Symp. on Naval Hydrodynamics*, Ann Arbor, Michigan, 1990.
- Horikawa K., 1978, *Coastal engineering*, University of Tokyo Press, Tokyo.
- Sucipto, Tito, Dkk. 2013. "pemecah gelombang Breakwater". [https://www.academia.edu/29588667/Pemecah\\_Gelombang\\_Breakwater\\_](https://www.academia.edu/29588667/Pemecah_Gelombang_Breakwater_)
- Triatmodjo, B. 1999, *Teknik Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo R, Yuwoyono N, Nirzam, 2001, *Seminar Nasional Teknik Pantai*, Pusat Studi Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wurjanto Andoyo, dkk. 2010. *Pemodelan Fisik 2-D Untuk Mengukur Tingkat Efektifitas Perforated Skirt Breakwater pada Kategori Gelombang Panjang*. Jurnal Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Bandung. (<http://Googel.com>, diakses 24 Desember 2015)
- Yuwono N., 1998, Kriteria Kerusakan Pantai dalam Rangka Penentuan Prioritas Pengamanan dan Perlindungan Daerah Pantai, Jurnal Media Teknik No. 2 Edisi Mei, p. 69-74, Yogyakarta.
- Yuwono N., 2005, *Draft Pedoman Pengamanan dan Penanganan Pantai*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Yuwono N., 2005, *Pedoman Teknis Perencanaan Tanggul dan Tembok Laut (Sea Dikes and Sea Wall)*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Yuwono, Nur, 1982, *Teknik Pantai Volume I*, Yogyakarta.
- Yuwono, Nur. 1982. *Teknik Pantai*. Biro Penerbit, Yogyakarta.