

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL RUNUP DAN RUNDOWN
GELOMBANG PADA PEREDAM GELOMBANG BERONGGA
TIPE OWC**

Disusun dan diajukan oleh:

**JANUARTHO TANDI RA'PAK
D011 19 1091**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI EKSPERIMENTAL RUNUP DAN RUNDOWN GELOMBANG PADA PEREDAM GELOMBANG BERONGGA TIPE OWC

Disusun dan diajukan oleh

JANUARTHO TANDI RA'PAK
D011 19 1091

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 18 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST, MT
NIP. 197305121999031002

Pembimbing Pendamping,



Dr. A. Ildha Dwipuspita, ST, MT
NIP. 198907142020054001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Januartho Tandi Ra'pak
NIM : D011 19 1091
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Eksperimental Runup dan Rundown Gelombang Pada Peredam
Gelombang Berongga Tipe OWC}

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, 18 Oktober 2023



Yang Menyatakan

Januartho Tandi Ra'pak

ABSTRAK

JANUARTHO TANDI RA'PAK. *Studi Eksperimental Run-Up dan Run-Down Gelombang Pada Peredam Gelombang Berongga Tipe OWC* (Dr. Eng. Mukhsan Putra Hataa, S.T, M.T dan Dr. A. Ildha Dwipuspita, S.T, M.T)

Breakwater merupakan bangunan penahan gelombang yang sangat efektif untuk digunakan sebagai pelindung pantai terhadap abrasi pantai dengan menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai. Belakangan ini telah banyak penelitian untuk mengembangkan struktur penahan gelombang yang efektif yang dapat mereduksi energi gelombang serta memberikan keuntungan-keuntungan positif. Salah satu cara untuk mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik yaitu oscillating water column (OWC). Mekanisme kerja dari tipe OWC adalah dengan naik turunnya gelombang laut yang akan mendorong udara pada kolom OWC, kemudian akan memutar turbin yang terhubung dengan generator sehingga menghasilkan aliran listrik. Maka diperlukan penelitian awal terkait model yang dapat menghasilkan tekanan maksimal dan efektif dalam meredam gelombang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kemiringan dan lebar bukaan pada breakwater terhadap run-up dan run-down gelombang. Kemudian menganalisis parameter-parameter yang berpengaruh terhadap besaran gelombang dan serta membandingkan parameter gelombang yang dihasilkan masing-masing kedalaman.

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 merupakan breakwater dinding kedap dengan kemiringan yakni 45° dan dilakukan variasi dari keadaan dinding tertutup, terbuka setinggi 5 cm, 10 cm dan 15 cm.

Pembacaan puncak dan lembah gelombang dilakukan secara elektronik melalui pembacaan dari wave monitor serta pembacaan run-up dan rundown gelombang dilakukan secara manual.

Kata Kunci: *Breakwater, Dinding Kedap, Gelombang, Run-Up, Run-Down.*

ABSTRACT

JANUARTHO TANDI RA'PAK. *Experimental Study of Wave Run-Up and Run-Down on Hollow Wave Absorbers of OWC Type* (supervised by Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta, S.T, M.T and Dr. A. Ildha Dwipuspita, S.T, M.T)

Breakwater is a very effective wave-retaining structure that can be used as a beach protector against coastal abrasion by destroying wave energy before it reaches the beach. Recently there have been many studies to develop effective wave-breaking structures that can reduce wave energy and provide positive benefits. One way to convert ocean wave energy into electrical energy is the oscillating water column (OWC). The working mechanism of the OWC type is the rise and fall of sea waves, which will push the air in the OWC column and then rotate the turbine connected to the generator to produce electricity. So initial research is needed regarding a model that can produce maximum pressure and is effective in reducing waves.

This study aims to determine the effect of the slope and width of the breakwater opening on wave run-up and run-down. Then analyze the parameters that affect the size of the waves and compare the parameters of the waves produced at each depth.

This research was conducted at the Hydraulics Laboratory of the Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. The method used is experimental based. The resulting wave characteristics consist of three variations of depth, three variations of stroke and three variations of period. The research model is an impermeable wall breakwater with a slope of 45° and variations are made from closed, open wall conditions as high as 5 cm, 10 cm and 15 cm.

Readings of wave crests and troughs are done electronically through readings from wave monitors and wave run-up and run-down readings are done manually.

Keywords: *Breakwater, Impermeable Wall, Wave, Run-Up, Run-Down.*

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN | ii |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | iv |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR GAMBAR..... | vi |
| 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/Perancangan | 2 |
| 1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan | 3 |
| 1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 4 |
| 2.1 Defenisi Pantai | 4 |
| 2.2 Pemecah Gelombang..... | 5 |
| 2.3 <i>Oscillating Water Column (OWC)</i> | 7 |
| 2.4 Teori Dasar Gelombang | 8 |
| 2.5 Klasifikasi Teori Gelombang | 11 |
| 2.6 Energi dan Tenaga Gelombang | 12 |
| 2.7 Gelombang Berdiri Parsial | 12 |
| 2.8 Run-Up dan Run-Down Gelombang..... | 13 |
| 2.9 Hukum Dasar Model | 15 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 18 |
| 3.1 Lokasi Penelitian..... | 18 |
| 3.2 Benda Uji dan Alat..... | 18 |
| 3.3 Pra Penelitian | 19 |
| 3.4 Karakteristik Gelombang | 22 |
| 3.5 Sumber Data..... | 23 |
| 3.6 Parameter Yang Diteliti..... | 23 |
| 3.7 Prosedur Dan Rancangan Penelitian | 23 |
| 3.8 Rancangan Penelitian | 25 |
| 3.9 Pelaksanaan Penelitian | 30 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 32 |
| 4.1 Hasil Penelitian | 32 |
| 4.2 Pembahasan..... | 42 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 54 |
| 5.1 Kesimpulan | 54 |
| 5.2 Saran..... | 54 |
| DAFTAR PUSTAKA | 55 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1 - Lapisan-lapisan Peredam Gelombang Sisi Miring | 7 |
| Gambar 2 - Konsep kerja dari Oscillating Water Column(OWC)..... | 8 |
| Gambar 3 - Deformasi Gelombang (Wijaya, 2020)..... | 10 |
| Gambar 4 - Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi, dan dalam (Triatmodjo, Perencanaan Pelabuhan , 1999) | 12 |
| Gambar 5 - Gelombang Berdiri Parsial (Nastain, Suripin, Yuwono, & Sriyana, 2022)..... | 13 |
| Gambar 6 - Defenisi Runup dan Rundown (Setyandito & Yuwono, 2008) | 14 |
| Gambar 7 - Grafik Perbandingan Run-Up dan Run-Down dengan Bilangan Irribaren (Triatmodjo, Perencanaan Pelabuhan , 1999) | 15 |
| Gambar 8 - Lokasi penelitian pada ruas Jalan. Poros Malino, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa | 18 |
| Gambar 9 - Proses Kalibrasi Probe | 20 |
| Gambar 10 - Wave Flume | 20 |
| Gambar 11 - Pembangkit Gelombang Tipe Flap | 21 |
| Gambar 12 - Ilustrasi Gerakan Flap Pembangkit Gelombang | 22 |
| Gambar 13 - Sketsa Pengaturan Tinggi dan Periode Gelombang (H & T) Melalui Pengaturan Stroke dan Variator..... | 23 |
| Gambar 14 - Diagram Alir Penelitian | 24 |
| Gambar 15 - Model Uji Dengan Kemiringan Slope (θ) 45° | 27 |
| Gambar 16 - Model Tertutup (M-0)..... | 28 |
| Gambar 17 - Model Slope Terbuka Setinggi 5 cm (M-1)..... | 28 |
| Gambar 18 - Model Slope Terbuka Setinggi 10 cm (M-2)..... | 29 |
| Gambar 19 - Model Slope Terbuka Setinggi 15 cm (M-3)..... | 29 |
| Gambar 20 - Hubungan H_i dengan R_u & R_d pada Kedalaman 17.5 cm periode 1.3 detik..... | 42 |
| Gambar 21 - Hubungan H_i dengan R_u & R_d pada Kedalaman 17.5 cm periode 1.4 detik..... | 43 |
| Gambar 22 - Hubungan H_i dengan R_u & R_d pada Kedalaman 17.5 cm periode 1.5 detik..... | 43 |
| Gambar 23 - Hubungan H_i dengan R_u & R_d pada Kedalaman 21 cm periode 1.3 detik..... | 44 |
| Gambar 24 - Hubungan H_i dengan R_u & R_d pada Kedalaman 21 cm periode 1.4 detik..... | 44 |
| Gambar 25 - Hubungan H_i dengan R_u & R_d pada Kedalaman 21 cm periode 1.5 detik..... | 45 |
| Gambar 26 - Hubungan H_i dengan R_u & R_d pada Kedalaman 24.5 cm periode 1.3 detik..... | 45 |
| Gambar 27 - Hubungan H_i dengan R_u & R_d pada Kedalaman 24.5 cm periode 1.4 detik..... | 46 |
| Gambar 28 - Hubungan H_i dengan R_u & R_d pada Kedalaman 24.5 cm periode 1.5 detik..... | 46 |
| Gambar 29 - Grafik Hubungan Run Up dan Run Down Relatif dengan Bilangan Irribaren pada Kedalaman 17.5 cm periode 1.3 detik | 48 |

| | |
|---|----|
| Gambar 30 - Grafik Hubungan Run Up dan Run Down Relatif dengan Bilangan Iribaren pada Kedalaman 17.5 cm 1.4 detik | 48 |
| Gambar 31 - Grafik Hubungan Run Up dan Run Down Relatif dengan Bilangan Iribaren pada Kedalaman 17.5 cm periode 1.5 detik | 49 |
| Gambar 32 - Grafik Hubungan Run Up dan Run Down Relatif dengan Bilangan Iribaren pada Kedalaman 21 cm periode 1.3 detik | 49 |
| Gambar 33 - Grafik Hubungan Run Up dan Run Down Relatif dengan Bilangan Iribaren pada Kedalaman 21 cm periode 1.4 detik | 50 |
| Gambar 34 - Grafik Hubungan Run Up dan Run Down Relatif dengan Bilangan Iribaren pada Kedalaman 21 cm periode 1.5 detik | 50 |
| Gambar 35 - Grafik Hubungan Run Up dan Run Down Relatif dengan Bilangan Iribaren pada Kedalaman 24.5 cm periode 1.3 detik | 51 |
| Gambar 36 - Grafik Hubungan Run Up dan Run Down Relatif dengan Bilangan Iribaren pada Kedalaman 24.5 cm periode 1.4 detik | 51 |
| Gambar 37 - Grafik Hubungan Run Up dan Run Down Relatif dengan Bilangan Iribaren pada Kedalaman 24.5 cm periode 1.5 detik | 52 |
| Gambar 38 Perbandingan Hasil Penelitian Pada Grafik Iribaren | 52 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1 - Keuntungan dan Kerugian Ketiga Tipe Pemecah Gelombang | 6 |
| Tabel 2 - Klasifikasi Gelombang | 11 |
| Tabel 3 - Deskripsi parameter yang berpengaruh | 25 |
| Tabel 4 - Variasi parameter struktur | 25 |
| Tabel 5 - Variasi parameter hidrolis | 26 |
| Tabel 6 - Dimensi Model | 27 |
| Tabel 7 - Rancangan simulasi | 30 |
| Tabel 8 - Contoh perhitungan L metode iterasi untuk $T=1.3$ dan $d=21\text{cm}$ | 32 |
| Tabel 9 - Panjang Gelombang Berdasarkan Periode (T) | 33 |
| Tabel 10 - Tinggi Gelombang Datang (H_i) Kedalaman 17.5 cm..... | 33 |
| Tabel 11 - Tinggi Gelombang Datang (H_i) Kedalaman 21 cm..... | 34 |
| Tabel 12 - Tinggi Gelombang Datang (H_i) Kedalaman 24.5 cm..... | 35 |
| Tabel 13 - <i>Run Up</i> dan <i>Run Down</i> Gelombang pada Kedalaman 17.5 cm..... | 36 |
| Tabel 14 - <i>Run Up</i> dan <i>Run Down</i> Gelombang pada Kedalaman 21 cm..... | 36 |
| Tabel 15 - <i>Run Up</i> dan <i>Run Down</i> Gelombang pada Kedalaman 24.5 cm..... | 37 |
| Tabel 16 - Kecuraman Gelombang (H_i/L) pada Kedalaman 17.5 cm | 37 |
| Tabel 17 - Kecuraman Gelombang (H_i/L) pada Kedalaman 21 cm | 38 |
| Tabel 18 - Kecuraman Gelombang (H_i/L) pada Kedalaman 24.5 cm | 39 |
| Tabel 19 - Nilai Iribaren (I_r) pada Kedalaman 17.5 cm | 40 |
| Tabel 20 - Nilai Iribaren (I_r) pada Kedalaman 21 cm | 40 |
| Tabel 21 - Nilai Iribaren (I_r) pada Kedalaman 24.5 | 41 |

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

| Lambang/Singkatan | Arti dan Keterangan |
|-------------------|----------------------------|
| θ | Kemiringan slope |
| L | Panjang gelombang |
| L_0 | Panjang gelombang awal |
| H | Tinggi gelombang |
| R_u | <i>Run up</i> |
| R_d | <i>Run down</i> |
| T | Periode gelombang |
| H_{max} | Tinggi gelombang maksimum |
| H_{min} | Tinggi gelombang minimum |
| H_r | Tinggi gelombang refleksi |
| H_i | Tinggi gelombang datang |
| d | Kedalaman |
| nL | Skala geometrik |
| L_p | Panjang (jarak) prototipe |
| L_p | Panjang (jarak) model |
| A | Percepatan |
| U | Kecepatan |
| F_i | Gaya inersia |
| F_p | Gaya tekan |
| F_w | Gaya berat |
| F_v | Gaya gesek |
| F_e | Gaya kenyal |
| F_s | Gaya tegangan muka |
| F_r | Kesebangunan <i>froude</i> |
| n_t | Skala waktu |
| n_h | Skala tinggi model |
| Rb | Tinggi bukaan slope |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1 <i>Hasil Kalibrasi Wave Probe</i> | 56 |
| Lampiran 2 Dokumentasi..... | 59 |
| Lampiran 3 Data Penelitian..... | 61 |

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat 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. Segala Kemuliaan bagi Allah, Dialah yang mengikat pinggangku dengan keperkasaan dan membuat jalanku rata, yang membuat kakiku seperti rusa dan membuat aku berdiri di bukit.

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.Eng. Mukhsan Putra Hatta, S.T., M.Eng.**, sebagai Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Ibu **Dr. A. Ildha Dwipuspita, 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 selaku Laboran di Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dan sering menjadi teman diskusi selama melakukan pengujian.
8. Zaudara PORTLAND 2020 (Teknik Sipil Angkatan 2019) yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu sebagai tempat saling bertukar pikiran, berbagi suka dan duka, serta memberikan inspirasi penulis selama menjadi mahasiswa di Merah Hitam.

9. Saudara Geometric (KMKO Sipil 2019) dan HotZpring 09 sebagai keluarga kedua yang selalu mendukung penulis dari maba sampai saat ini.

Dan terkhusus penulis persembahkan Terima Kasih kepada orang tua terkasih kami **Semuel Mantong** dan **Ribka Tandi Ra'pak** atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spiritual maupun materil, semoga dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini kelak menjadi salah satu kado terindah kepada mereka di usia senja. Aamiin

Penulis sadar bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini, tidak luput dari segala kesalahan dan kekurangan sehingga tidak menutup kemungkinan dalam tugas akhir ini terdapat kekeliruan dan ketidaksempumaan. Oleh karena itu kami akan menerima segala kritik dan saran yang sifatnya membangun.

Tiada imbalan yang dapat diberikan penulis selain doa kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang melimpahkan karunia-Nya kepada kita semua. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi dunia Teknik Sipil dan bagi kita semua.

Gowa, 18 Oktober 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki garis pantai cukup panjang yaitu sepanjang 95.181 km dan merupakan garis pantai terpanjang kedua di dunia, dengan luas perairan laut mencapai 5,8 juta kilometer persegi, yang merupakan 71% dari keseluruhan wilayah Indonesia. (KKP. 2019). Hal tersebut dapat menjadi peluang yang sangat baik jika ditangani dan dikelola dengan sebaik-baiknya. Namun tak dapat dipungkiri bahwa kasus kerusakan pantai di Indonesia cukup banyak, contoh kerusakan pantai yang terjadi adalah abrasi pantai. Abrasi pantai umumnya disebabkan oleh gelombang laut yang menghantam bibir pantai secara langsung. Hal ini menyebabkan semakin mundurnya garis pantai.

Daerah pantai adalah suatu zona yang selalu berubah-ubah karena merupakan zona yang berbatasan dan berinteraksi langsung dengan lutan, daratan dan udara. Pengaruh eksternal dan internal sangat mempengaruhi proses penyesuaian pantai menuju keseimbangan alami. Faktor alami seperti gelombang, arus, aksi angin, input dari sungai, kondisi tumbuhan pantai serta aktifitas tektonik maupun vulkanik. Faktor non alami seperti kegiatan atau campur tangan manusia seperti pemanfaatan kawasan pantai sebagai destinasi wisata, pelabuhan, industri, perikanan bahkan pemukiman.

Akibat mundurnya garis pantai maka, pembangunan struktur pantai untuk menjaga garis pantai sangat diperlukan. Hal ini bertujuan untuk melindungi garis pantai dari gempuran ombak atau dengan mereduksi energi gelombang agar tidak sampai ke daerah pantai. Salah satu struktur pantai yang dapat mereduksi energi gelombang adalah struktur peredam gelombang atau breakwater. Peredam Gelombang merupakan bangunan penahan gelombang yang sangat efektif untuk digunakan sebagai pelindung pantai terhadap abrasi pantai dengan menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai. Belakangan ini telah banyak penelitian untuk mengembangkan struktur penahan gelombang yang efektif yang dapat mereduksi energi gelombang serta memberikan keuntungan-keuntungan positif.

Salah satu cara untuk mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik yaitu oscillating water column (OWC). Mekanisme kerja dari tipe OWC adalah dengan naik turunnya gelombang laut yang akan mendorong udara pada kolom OWC, kemudian akan memutar turbin yang terhubung dengan generator sehingga menghasilkan aliran listrik.

Fenomena Overtopping merupakan suatu peristiwa yang paling dinamis yang terjadi pada bangunan pelindung pantai. Overtopping selalu diawali dengan peristiwa Run-up yakni jarak vertikal maksimum yang terkena rayapan gelombang yang mengenai pantai atau struktur pantai. Besarnya overtopping selalu dipengaruhi oleh fenomena Run-up yang terjadi diawalnya, oleh sebab itu, fenomena Run-up juga menjadi salah satu fenomena penting yang perlu dikaji didalam system ini. Selain untuk menghasilkan energi terbarukan dengan memodifikasi breakwater juga harus dipertimbangkan mengenai struktur bangunan yang juga harus kuat terhadap gaya geser maupun gulingnya, hal ini biasanya dipengaruhi oleh pengaruh gelombang yang membentur bagian bawah bangunan atau dalam hal Run-Down gelombang.

Dari permasalahan-permasalahan tersebut, maka dalam hal ini penulis menuangkan dalam bentuk tugas akhir atau skripsi dengan judul: *Studi Eksperimental Runup dan Rundown Gelombang Pada Peredam Gelombang Berongga Tipe OWC*

1.2 Rumusan Masalah

Dari analisa latar belakang diatas maka timbul beberapa perumusan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh parameter gelombang terhadap *Runup* dan *Rundown* gelombang pada peredam gelombang berongga tipe OWC?
2. Bagaimana pengaruh lebar bukaan dan kemiringan sudut (θ) pada peredam gelombang berongga tipe OWC terhadap besaran *Runup* dan *Rundown* gelombang?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh parameter gelombang terhadap *Runup* dan *Rundown* gelombang pada peredam gelombang berongga tipe OWC.
2. Untuk mengetahui pengaruh lebar bukaan dan kemiringan sudut (θ) pada peredam gelombang berongga tipe OWC terhadap besaran *Runup* dan *Rundown* gelombang.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini yaitu :

1. Dapat dijadikan acuan dalam perencanaan struktur peredam gelombang.
2. Dapat digunakan sebagai bahan perbandingan peredam gelombang terhadap besaran *Runup* dan *Rundown* pada grafik Iribaren
3. Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan permasalahan tersebut.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Berdasarkan fasilitas dan kondisi yang ada, maka ruang lingkup penelitian ditetapkan sebagai berikut :

1. Arah datang gelombang tegak lurus terhadap struktur.
2. Gelombang model yang dibangkitkan adalah gelombang teratur (*reguler wave*) belum pecah.
3. Dasar perairan model berupa rata dan kedap.
4. Gaya gelombang terhadap stabilitas model uji tidak dikaji
5. Fluida yang digunakan dalam flume merupakan air tawar, salinitas dan pengaruh mineral air tidak diperhitungkan.
6. Model yang digunakan adalah struktur yang sepenuhnya terbuat dari bahan akrilik.
7. Model yang digunakan adalah peredam gelombang yang berongga dengan empat variasi yaitu model tertutup, sisi miring terbuka setinggi masing-masing 5, 10 dan 15 cm.
8. Sisi miring model tetap pada kemiringan 45° .

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Defenisi Pantai

Pantai dianggap sebagai perbatasan darat dan wilayah laut. Sebutan pantai umumnya disamakan dengan pesisir (*coast*) dan pantai (*shore*). Sedangkan pesisir dapat diartikan sebagai daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Pantai juga dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Daerah daratan adalah daerah yang berada di atas dan dibawah permukaan daratan itu sendiri dimulai dari batas garis pasang tertinggi. Daerah lautan adalah semua daerah baik itu yang berada di atas maupun di bawah permukaan laut di mulai dari sisi laut pada garis surut terendah. Garis pantai adalah garis yang membatasi antara daratan dan air laut, posisi garis pantai tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi. Sempadan pantai adalah Kawasan tertentu sepanjang pantai yang mempunyai manfaat penting untuk mempertahankan kelestarian fungsi pantai (Triatmodjo, Teknik Pantai, 1999).

Gelombang yang merambat dari laut dalam mengalami perubahan bentuk karena pengaruh perubahan kedalaman laut. Berkurangnya kedalaman laut menyebabkan semakin berkurangnya panjang gelombang dan bertambahnya tinggi gelombang. Pada saat kemiringan gelombang (perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang) mencapai batas maksimum, gelombang akan pecah. Karakteristik gelombang setelah pecah berbeda dengan sebelum pecah. Gelombang yang telah pecah merambat terus kearah pantai sampai akhirnya gelombang bergerak naik dan turun pada permukaan pantai (*uprush dan downrush*). Garis gelombang pecah merupakan batas perubahan perilaku gelombang dan juga transport sedimen pantai. Daerah dari garis gelombang pecah kearah laut disebut dengan *offshore*. Sedang daerah yang terbentang kearah pantai dari gelombang pecah dibedakan menjadi tiga daerah yaitu *breaker zone*, *surfzone* dan *swash zone*. Daerah gelombang pecah (*breaker zone*) adalah daerah dimana gelombang yang datang dari laut (lepas pantai) mencapai ketidak-stabilan dan pecah. Di pantai yang landai gelombang pecah bisa terjadi dua kali. *Surf zone* adalah daerah yang

terbentang antara bagian dalam dari gelombang pecah dan batas naik-turunnya gelombang di pantai. Pantai yang landai mempunyai *surf zone* yang lebar. *Swash zone* adalah daerah yang dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang di pantai.

Ditinjau dari profil pantai, daerah ke arah pantai dari garis gelombang pecah dibagi menjadi tiga daerah yaitu *inshore*, *foreshore* dan *back shore*. Perbatasan antara *inshore* dan *foreshore* adalah batas antara air laut pada saat muka air rendah dan permukaan pantai. Proses gelombang pecah di daerah *inshore* sering menyebabkan terbentuknya *longshore bar*, yaitu gumpuk pasir yang memanjang dan kira-kira sejajar dengan pantai. *foreshore* adalah daerah yang terbentang dari garis pantai pada saat muka air rendah sampai batas dari *uprush* pada saat air pasang tinggi. Profil di daerah *inshore* dan *backshore*. *Backshore* adalah daerah yang dibatasi oleh *foreshore* dan garis pantai yang terbentuk pada saat terjadi gelombang badai bersamaan dengan muka air tinggi (Triatmodjo, Teknik Pantai, 1999).

2.2 Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang (*Breakwater*) adalah bangunan yang dibuat untuk memecahkan ombak/gelombang air laut dengan menyerap sebagian energi gelombang. Pemecah gelombang berfungsi untuk mengendalikan abrasi yang menggerus pantai dan untuk menenangkan gelombang di pelabuhan sehingga kapal dapat merapat ke pelabuhan dengan lebih mudah dan lebih cepat.

Breakwater atau 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 banyak digunakan untuk perlindungan pantai terhadap erosi. Pemecah gelombang tipe lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar dengan pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai (Sudirman, Rabung, & Pongmanda, 2017).

Berdasarkan bentuknya, pemecah gelombang terdiri dari pemecah gelombang sisi miring, pemecah gelombang sisi tegak dan pemecah gelombang campuran. Keuntungan dan kerugian ketiga tipe tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 - Keuntungan dan Kerugian Ketiga Tipe Pemecah Gelombang

| No | Tipe | Keuntungan | Kerugian |
|----|-------------------------------|---|---|
| 1 | Pemecah Gelombang Sisi Miring | Elevasi Puncak Bangunan Rendah | Dibutuhkan jumlah material besar |
| | | Gelombang Refleksi Kecil | Pelaksanaan pekerjaan lama |
| | | Kerusakan berangsur-angsur | Kemungkinan kerusakan pada saat pelaksanaan besar |
| | | Perbaikan Mudah | Lebar dasar besar |
| | | Murah | |
| 2 | Pemecah Gelombang Sisi Tegak | Pelaksanaan Pekerjaan Cepat | Mahal |
| | | Kemungkinan kerusakan pada waktu pelaksanaan kecil. | Elevasi puncak bangunan tinggi |
| | | Luas perairan pelabuhan lebih besar | Tekanan gelombang lebih besar |
| | | | Kesulitan Saat Perbaikan |
| | | | Pada saat pemasangan membutuhkan alat berat |
| | | | Erosi Kaki Fondasi |
| 3 | Pemecah Gelombang Campuran | Pelaksanaan Pekerjaan Cepat | Mahal |
| | | Pelaksanaan Pekerjaan Cepat | Diperlukan peralatan berat |
| | | Luas perairan pelabuhan lebih besar | Diperlukan tempat pembuatan kaisan yang luas |

(Triatmodjo, Perencanaan Pelabuhan , 1999)

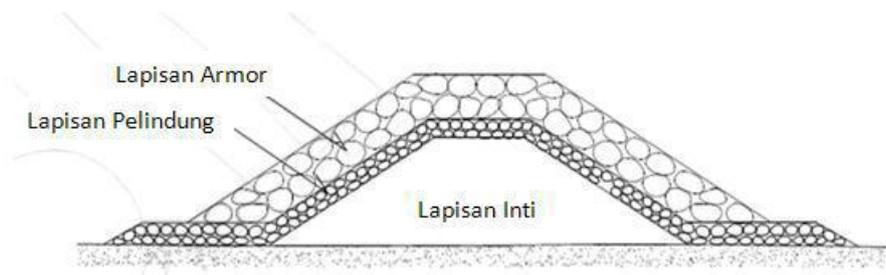
Pada pemecah gelombang sisi miring energi dari gelombang diredam secara gravitasi karena gelombang pecah pada permukaan batu atau melalui celah-celahnya. Pemecah gelombang sisi miring dibuat dari batu alam atau material buatan (*artificial*). Pemecah gelombang sisi miring terdiri dari beberapa lapis pelindung. Secara umum lapisan dari pemecah gelombang sisi miring terdiri dari tiga lapisan utama yaitu :

1. Lapisan Armor (*armour layer*) merupakan lapisan terluar yang berfungsi sebagai penahan langsung serangan gelombang yang datang.
2. Lapisan Pelindung (*under layer/filter layer*) adalah lapisan yang terletak dibawah dari *armor layer*. Fungsi utama lapisan ini adalah memperkuat

daya tahan lapisan terluar, menyerap energi gelombang dan juga menjaga agar material pada lapisan dibawahnya (lapisan inti) tidak terlempar keluar oleh gelombang yang masuk melalui celah lapisan terluar.

3. Lapisan Inti (*core layer*) terletak dibagian paling dalam dari lapisan pemecah gelombang sisi miring. Lapisan inti diisi dengan pasir dan batu-batu dengan ukuran kecil.

Gambar 1. Dibawah ini menunjukkan ilustrasi mengenai lapisan-lapisan yang terdapat pada pemecah gelombang sisi miring (Ahmad, 2013)

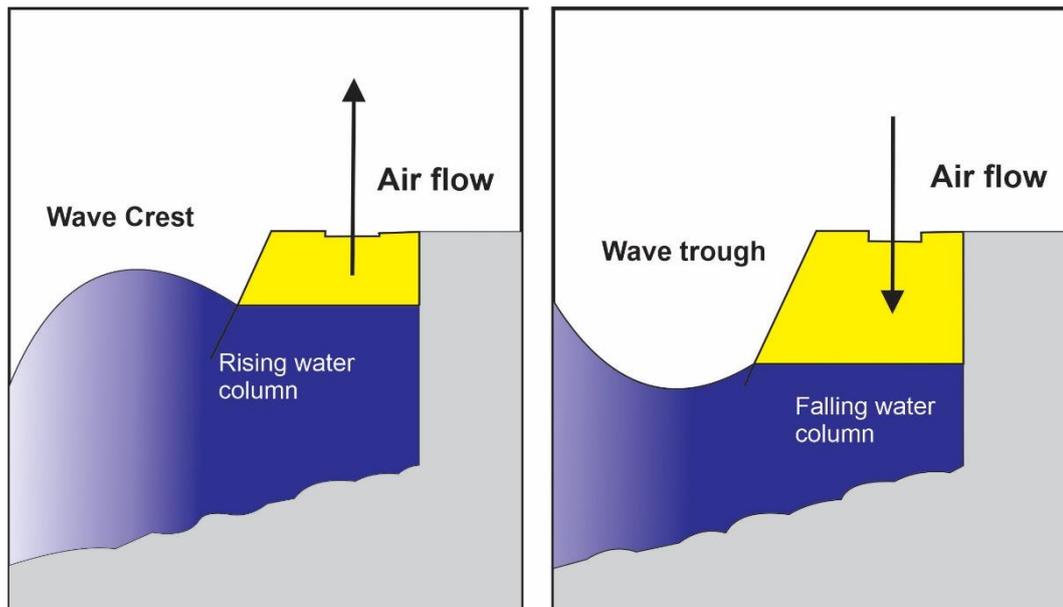


Gambar 1 - Lapisan-lapisan Peredam Gelombang Sisi Miring

2.3 Oscillating Water Column (OWC)

Oscillating Water Column (OWC) adalah teknologi pembangkit listrik yang menggunakan tenaga gelombang laut sebagai penggerak turbinnya. Prinsip kerja alat OWC ini adalah mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik berdasarkan prinsip kerja kolom isolasi. Gelombang yang datang dari arah laut akan menabrak bangunan OWC ini dimana pada bagian bawah bangunan ini terdapat kolom terbuka untuk masuknya air laut, karena tumbukan gelombang air laut ini kemudian air laut yg terdapat pada bagian dalam chamber OWC akan berisolasi naik dan turun sehingga menimbulkan peristiwa sedot dan hisap pada kolom udara di atasnya (prinsip kerja pompa). Gerakan air yang naik turun serta menimbulkan peristiwa sedot hisap pada kolom udara diatasnya inilah yang akan menggerakkan turbin. (Rendi & Arifin, 2020)

Konsep kerja dari *Oscillating Water Column (OWC)* dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2 - Konsep kerja dari Oscillating Water Column(OWC)

2.4 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, Teknik Pantai, 1999).

Bentuk gelombang di alam sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linieran, 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*).

2.4.1 Parameter Gelombang

Berdasarkan teori *Airy* maka gerak gelombang dianggap sebagai kurva sinus harmonis (*sinusoidal progressive wave*), gelombang dapat dijelaskan secara geometris (Triatmodjo, Teknik Pantai, 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.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_0}\right) \dots\dots\dots(1)$$

L = Panjang Gelombang

g = Gaya gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

d = Kedalaman

L_0 = Panjang gelombang di laut dalam/panjang gelombang awal

Persamaan (1) dapat diselesaikan dengan metode iterasi untuk menentukan panjang gelombang pada suatu kedalaman dengan memasukkan panjang gelombang awal (L_0) menggunakan persamaan berikut:

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

- c. Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (d) atau kedalaman laut.

Ketiga parameter tersebut diatas digunakan untuk menentukan parameter-parameter gelombang lainnya, seperti :

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

Parameter lainnya seperti :

- a. Amplitudo Gelombang (A), diambil dari setengah tinggi gelombang $\left(\frac{H}{2}\right)$.
- b. Periode gelombang (T), yaitu interval waktu yang dibutuhkan antara 2 puncak gelombang (*wave crest*).

- c. Frekuensi (f), yaitu jumlah puncak gelombang yang melewati titik tetap per-detik. Frekuensi berbanding terbalik dengan periode, $f = 1/T$. Satu periode gelombang dapat juga dinyatakan dalam ukuran sudut (θ) = 2π

Frekuensi sudut gelombang (σ) didefinisikan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{2\pi}{T} \text{ atau } \sigma = 2\pi f \dots\dots\dots (3)$$

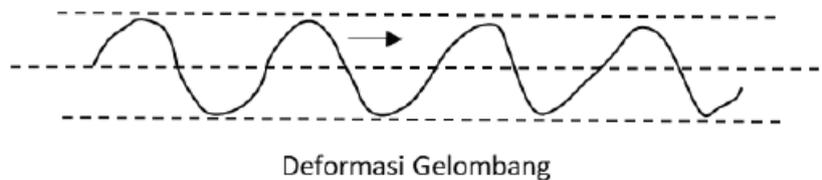
- d. Cepat rambat gelombang (c), dimana :

$$C = \frac{L}{T} \dots\dots\dots (4)$$

C = Cepat rambat gelombang
 L = Panjang Gelombang
 T = Periode Gelombang

2.4.1 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 Pecah, Shoaling, Difraksi, Refraksi dan Refleksi Gelombang (Rabung, Muhiddin, Hatta, & Malik, 2015).



Gambar 3 - Deformasi Gelombang (Wijaya, 2020)

- Refraksi gelombang yakni peristiwa berbeloknya arah gerak puncak gelombang.
- Difraksi gelombang yakni peristiwa berpindahnya energi di sepanjang puncak gelombang ke arah daerah yang terlindung.
- Refleksi gelombang yakni peristiwa pemantulan energi gelombang yang biasanya disebabkan oleh suatu bidang bangunan di lokasi pantai.

- *Wave shoaling* yakni peristiwa membesarnya tinggi gelombang saat bergerak ke tempat yang lebih dangkal.
- *Wave breaking* yakni peristiwa pecahnya gelombang yang biasanya terjadi pada saat gelombang mendekati garis pantai (*surfzone*).

2.5 Klasifikasi Teori Gelombang

Klasifikasi gelombang permukaan didasarkan pada kedalaman relative ($\frac{d}{L}$) Ketika gelombang merambat dari perairan dalam menuju perairan yang lebih dangkal mendekati pantai panjang gelombang berkurang. Dengan demikian kedalaman relatif berkurang seiring pergerakan gelombang menuju pantai

Berdasarkan kedalaman realative gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 - Klasifikasi Gelombang

| Klasifikasi | Kedalaman Reltive $\frac{d}{L}$ |
|-------------------|---------------------------------|
| Perairan dalam | $\geq \frac{1}{2}$ |
| Perairan transisi | $\frac{1}{20} - \frac{1}{2}$ |
| Perairan dangkal | $\leq \frac{1}{20}$ |

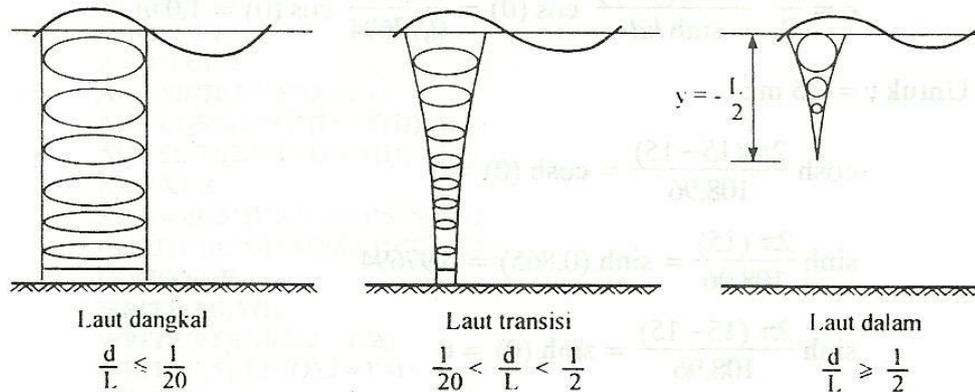
(Triatmodjo, Teknik Pantai, 1999)

Bila kedalaman relatifnya dibawah $1/20$ maka kedalaman adalah kecil dibandingkan dengan panjang gelombangnya. Gelombang ini disebut Gelombang Laut Dangkal (*shallow water waves*) atau Gelombang Panjang (*long waves*).

Bila perbandingannya lebih besar dari $1/2$ maka disebut Gelombang Laut Dalam (*deep water waves*) atau Gelombang Pendek (*short waves*). Untuk harga perbandingan antara $1/20 < d/L < 1/2$ disebut Gelombang Laut Transisi (*intermediate depth waves*).

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 berikut.



Gambar 4 - Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi, dan dalam (Triatmodjo, Perencanaan Pelabuhan , 1999)

2.6 Energi dan Tenaga Gelombang

Energi total dari gelombang adalah jumlah energi kinetik dan energi potensialnya. Energi kinetik adalah energi yang terkait dengan kecepatan gerak partikel air yang terkait dengan gerakan gelombang. Energi potensial adalah energi yang dihasilkan oleh massa fluida yang berada di atas palung atau puncak gelombang. Menurut teori gelombang Airy energi potensial ditentukan relatif terhadap SWL (tinggi muka air rata), semua gelombang disebarkan dalam arah yang sama, komponen energi kinetik sama dan energi gelombang total dalam satu panjang gelombang per satuan lebar puncak dirumuskan sebagai berikut (CERC, 1984)

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{16} + \frac{\rho g H^2}{16} = \frac{\rho g H^2 L}{8} \dots \dots \dots (5)$$

2.7 Gelombang Berdiri Parsial

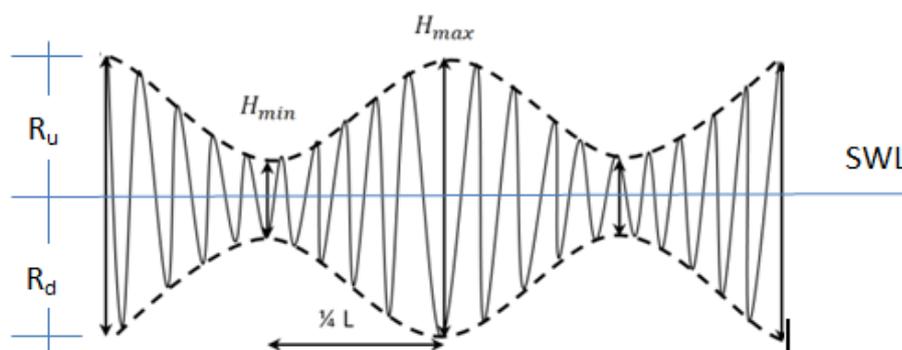
Apabila gelombang yang merambat melewati suatu penghalang, maka gelombang tersebut akan dipantulkan kembali oleh penghalang tersebut. Apabila pemantulannya sempurna atau gelombang datang dipantulkan seluruhnya, maka

tinggi gelombang di depan penghalang menjadi dua kali tinggi gelombang datang dan disebut gelombang berdiri (*standing wave*).

Tinggi gelombang datang (H_i) dan tinggi gelombang refleksi (H_r) dapat dihitung dengan menggunakan tinggi gelombang maksimum (H_{max}) dan tinggi gelombang minimum (H_{min}). Rasio tinggi gelombang (H_i) dengan (H_r) disebut sebagai koefisien refleksi (K_r).

$$H_i = \frac{(H_{max} + H_{min})}{2} \dots \dots \dots (6)$$

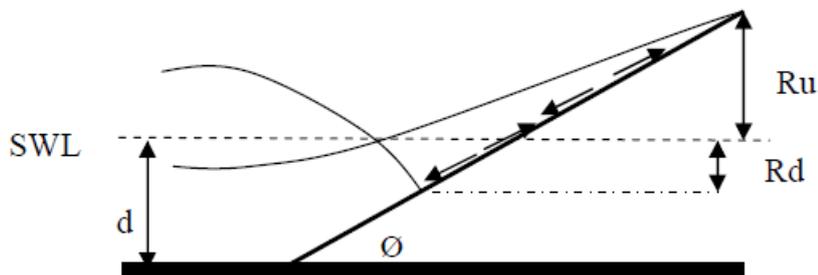
$$H_r = \frac{(H_{max} - H_{min})}{2} \dots \dots \dots (7)$$



Gambar 5 - Gelombang Berdiri Parsial (Nastain, Suripin, Yuwono, & Sriyana, 2022)

2.8 Run-Up dan Run-Down Gelombang

Run-up gelombang terjadi pada saat gelombang datang bergerak menuju ke pantai dan membentur kemiringan garis pantai atau bangunan pelindung pantai maka sebagian energi gelombang akan diubah menjadi gerakan air yang meluncur ke arah lereng bangunan. Setelah mencapai elevasi maksimum, akan terjadi aliran balik yang disebut run-down akibat gaya gravitasi. Run-down akan terus berlangsung sampai datang run-up dari gelombang berikutnya atau run-down mencapai lembah dari gelombang berikutnya. Tinggi elevasi run-up dan rundown diukur secara vertikal dari muka air rerata seperti gambar 4 :



Gambar 6 - Defenisi Runup dan Rindown (Setyandito & Yuwono, 2008)

Berbagai penelitian tentang *run-up* gelombang telah dilakukan di laboratorium. Hasil penelitian tersebut berupa grafik-grafik yang dapat digunakan untuk menentukan tinggi *run-up*. Hasil percobaan yang paling sering digunakan dalam penentuan tinggi *run-up* gelombang pada bangunan miring adalah hasil percobaan *Irribarren*.

$$Ir = \frac{tg\theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0.5}} \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

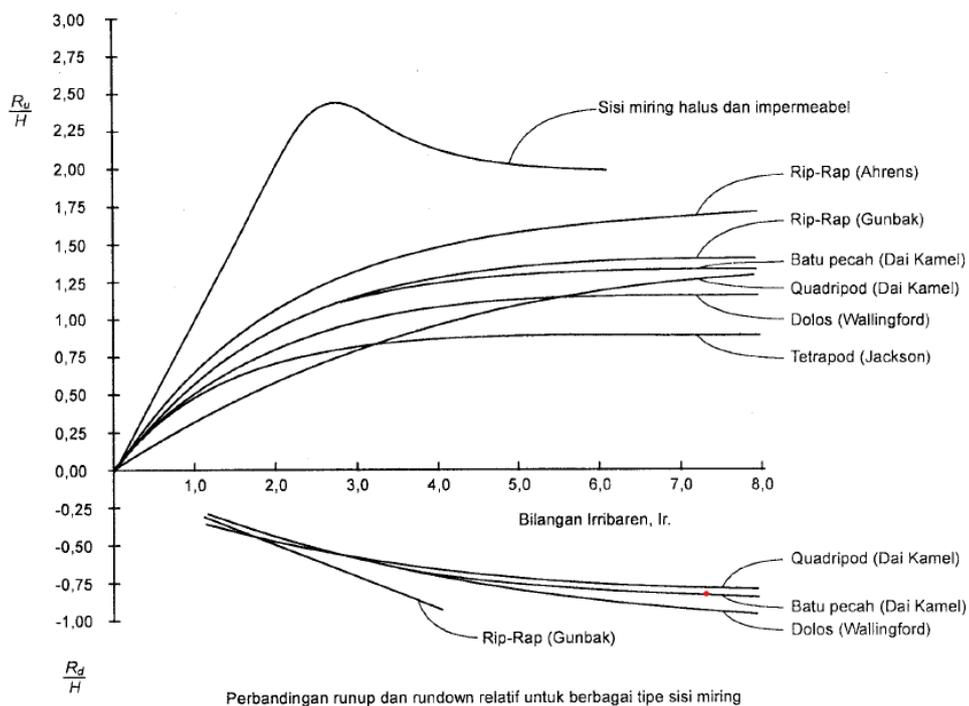
Ir = Bilangan Irribarren

θ : sudut kemiringan sisi pemecah gelombang ($^{\circ}$)

H : tinggi gelombang di lokasi bangunan (m)

L_0 : panjang gelombang di laut dalam(m)

Gambar 5. Menunjukkan grafik yang mempresentasikan perbandingan runup dan rindown relatif terhadap H untuk berbagai tipe sisi miring, dihitung dari muka air rerata.



Gambar 7 - Grafik Perbandingan Run-Up dan Run-Down dengan Bilangan Iribaren (Triatmodjo, Perencanaan Pelabuhan , 1999)

2.9 Hukum Dasar Model

Model fisik harus dibuat berdasarkan kondisi lapangan. Model yang digunakan harus memenuhi beberapa kriteria kesebangunan yaitu, sebangun geometrik, sebangun kinematik, dan sebangun dinamik. (Bhakty, et al., 2009)

2.9.1 Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik dipenuhi apabila model dan prototip mempunyai bentuk sama tetapi berbeda ukuran, yang berarti bahwa perbandingan antara semua ukuran panjang di model dan prototip adalah sama. Perbandingan ini disebut dengan skala geometrik model n_L . Skala geometrik model ini dapat ditulis secara matematis sebagai berikut:

$$n_L = \frac{L_P}{L_M} \dots\dots\dots(9)$$

dimana :

- n_L = Skala Geometrik
- L_P = Panjang (jarak) di prototipe
- L_M = Panjang (jarak) di model

Berdasarkan persamaan tersebut, skala yang lain dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Skala Luas } (n_L^2) = \frac{(L_p)^2}{(L_m)^2} = \frac{A_p}{A_m} \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{Skala Volume } (n_L^3) = \frac{(L_p)^3}{(L_m)^3} = \frac{V_p}{V_m} \dots\dots\dots(11)$$

2.9.2 Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik dipenuhi apabila antara model dan prototip terjadi kesebangunan geometrik dan perbandingan antara kecepatan dan percepatan di dua titik yang bersesuaian pada model dan prototip untuk bidang pengaliran adalah sama. Secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$\frac{(U_1)_p}{(U_1)_m} = \frac{(U_2)_p}{(U_2)_m} \quad \frac{(a_1)_p}{(a_1)_m} = \frac{(a_2)_p}{(a_2)_m} \dots\dots\dots(12)$$

dimana :

U = Kecepatan

A = Percepatan

Besaran kinematik seperti kecepatan, percepatan dan debit dinyatakan dalam bentuk skala panjang dan waktu.

$$\text{Skala kecepatan} \quad : \quad \frac{u_p}{u_m} = \frac{L_p/T_p}{L_m/T_m} = \frac{n_L}{n_T} = n_u \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{Skala percepatan} \quad : \quad \frac{a_p}{a_m} = \frac{L_p/T_p^2}{L_m/T_m^2} = \frac{n_L}{n_T^2} = n_a \dots\dots\dots(14)$$

$$\text{Untuk skala debit} \quad : \quad \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{L_p^3/T}{L_m^3/T} = \frac{n_L^3}{n_T} = n_Q \dots\dots\dots(15)$$

2.9.3 Sebangun Dinamik

Sebangun dinamik ini dicapai jika antara model dan prototip terjadi kesebangunan kinematik sehingga gaya-gaya yang bekerja pada model sebanding dan arahnya sama untuk seluruh bidang pengaliran. Yang dimaksud dengan gaya-gaya tersebut diantaranya adalah:

$$\text{Gaya inersia} \quad : \quad F_i = m.a = \rho L^3(L/T^2) = \rho u^2 L^2 \dots\dots\dots(16)$$

$$\text{Gaya tekanan} \quad : \quad F_p = p.A = p. L^2 \dots\dots\dots(17)$$

$$\text{Gaya berat} \quad : \quad F_w = m.g = \rho L^3 g \dots\dots\dots(18)$$

$$\text{Gaya gesek} \quad : \quad F_v = \mu (U/L).L \dots\dots\dots(19)$$

$$\text{Gaya kenyal} \quad : \quad F_e = E.A = E. L^2 \dots\dots\dots(20)$$

$$\text{Gaya tegangan muka} \quad : \quad F_s = \sigma L \dots\dots\dots(21)$$

Untuk mendapatkan kesebangunan dinamik tidak perlu semua gaya yang ada mempunyai perbandingan yang sama, hanya dipilih gaya-gaya yang penting dalam permasalahan saja yang diperhitungkan.

Untuk penelitian refleksi pada struktur terapung 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. (Kurniawan, Tugiono, Wahono, & Zakaria, 2021)

$$F_r = \frac{(pL^3)(U^2/L)}{\rho g L^3} = \frac{U^2}{gL} \dots\dots\dots(22)$$

Oleh karena digunakan model tanpa distorsi, maka skala panjang gelombang, skala panjang struktur, skala kedalaman dan skala sarat adalah sama. Sedangkan skala waktu nt dan skala gravitasi ditulis seperti berikut :

$$n_t = \sqrt{n_L} \dots\dots\dots(23)$$