

TUGAS AKHIR

***PENGARUH SUDUT DATANG GELOMBANG TERHADAP DEBIT OVERTOPPING PADA
BANGUNAN OWEC BREAKWATER***

***THE INFLUENCE OF THE ANGLE OF INCIDENCE OF WAVES ON THE OVERTOPPING
DEBIT IN THE OWEC BREAKWATER BUILDING***

**MOH. AGENG TIRTAYASA PARAWANSA
D111 16 517**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PENGARUH SUDUT DATANG GELOMBANG TERHADAP DEBIT
OVERTOPPING PADA BANGUNAN OWEC BREAKWATER**

Disusun dan diajukan oleh:

MOHAMMAD AGENG TIRTAYASA PARAWANSA

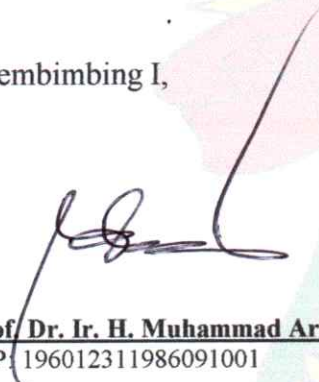
D111 16 517

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 8 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,



Pembimbing I,

Pembimbing II,


Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT
NIP: 196012311986091001


Dr. Ir. Riswal K, ST, MT
NIP: 197105052006041002

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Mohammad Ageng Tirtayasa Parawansa, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **"Pengaruh Sudut Datang Gelombang Terhadap Debit Overtopping Pada Bangunan Owec Breakwater"**, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan 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.

Gowa, 20 Februari 2023

Yang membuat pernyataan,



Moh. Ageng Tirtayasa Parawansa
NIM: D111 16 517

KATA PENGANTAR

Puji Dan Syukur Hanya Kepada Allah Yang Maha Kuasa Atas Berkat Dan Rahmat-Nya, maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, yaitu sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas Akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari tangan-tangan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun dorongan moril. Olehnya itu, ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. Kedua Orang Tua Tercinta, Yaitu Ayahanda **Moh. Nasser Parawansa** dan Ibunda **A. Padauleng Tjambolang** atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun materil, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT**, Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.
3. Bapak **Prof. Dr. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.** Dan Bapak **Dr. Eng. Bambang Bakri, ST, MT** Selaku Ketua Dan Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.
4. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT**, Selaku Dosen Pembimbing I, atas segala kesabaran dan waktu yang telah diluangkannya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini.

5. Bapak **Dr. Ir. Riswal K, ST, MT** selaku dosen pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen, Staf Dan Karyawan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
7. Saudara-Saudariku Seangkatan 2016 Teknik Sipil, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Tiada imbalan yang dapat diberikan penulis selain memohon kepada Allah Yang Maha Kuasa, Melimpahkan Berkat-Nya Kepada Kita Semua, Amin. Akhir kata penulis menyadari bahwa di dalam tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan, sehingga dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, Februari 2023



Moh. Ageng Tirtayasa Parawansa

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah Menentukan rekayasa yang bisa dilakukan untuk mendapatkan tinggi gelombang pada ketiga titik sudut gelombang datang dan mengetahui solusi yang harus dibuat untuk memaksimalkan tinggi gelombang datang serta Mendapatkan pengaruh sudut datang gelombang (90° , $67,5^\circ$ & 45°) terhadap debit overtopping yang terlimpas kedalam reservoir. Penelitian ini dilakukan di Kampus Unhas Gowa Fakultas Teknik tepatnya di laboratorium departemen teknik sipil dan departemen teknik kelautan dengan waktu pengambilan data selama 1 bulan dimulai dari 21 Agustus sampai dengan 9 September 2020. Gelombang yang terjadi pada sudut $67,5^\circ$ & 45° mengalami kemiringan sehingga terjadinya difraksi atau pembelokan gelombang sedangkan pada sudut 90° tidak terjadi difraksi. Dari ketiga Gambar grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai persentase peningkatan tinggi gelombang terbesar berada pada sudut 90° dikarenakan gelombang yang terjadi dapat dipantulkankembali. Bertemuanya gelombang datang dan gelombang refleksi menyebabkan terjadinya standing wave sehingga tinggi gelombang dapatmeningkat.

Kata Kunci: *Gelombang, Bangunan OWEC Breakwater, Karakteristik*

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the engineering that can be done to get the wave height at the three incident wave angles and find out the solutions that must be made to maximize the incoming wave height and to get the effect of the wave incident angle (90° , 67.5° & 45°) on overtopping discharge that run over into the reservoir. This research was conducted at the Unhas Gowa Campus, Faculty of Engineering, to be precise, in the laboratories of the civil engineering department and the marine engineering department with a data collection time of 1 month starting from 21 August to 9 September 2020. Waves that occur at angles of 67.5° & 45° experience a slope so that diffraction or wave deflection occurs while at an angle of 90° no diffraction occurs. From the three graphic images it can be concluded that the largest percentage increase in wave height is at an angle of 90° because the waves that occur can be reflected back. The meeting of the incoming wave and the reflected wave causes a standing wave so that the wave height can increase.

Keywords: *Waves, OWEC Breakwater Buildings, Characteristics*

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	10
1.1. Latar Belakang	10
1.2. Rumusan Masalah Penelitian	11
1.3. Tujuan Penelitian.....	11
1.4. Manfaat Penelitian	12
1.5. Batasan Masalah.....	12
1.6. Sistematika Penulisan.....	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	14
2.1. TEORI GELOMBANG SEDERHANA.....	14
2.1.1 Beberapa Definisi Gelombang.....	15
2.1.2 Persamaan Gelombang	16
2.1.3 Kecepatan Rambat dan Panjang Gelombang.....	18
2.2 Run-up Gelombang.....	21
2.3 Overtopping Gelombang.....	23
2.4. TIPE BANGUNAN BREAKWATER	25
2.4.1 <i>BREAKWATER</i> SISI MIRING	25
2.4.2 <i>BREAKWATER</i> SISI TEGAK	26
2.4.3 <i>BREAKWATER</i> GABUNGAN.....	27
2.4.4 MATERIAL PENYUSUN <i>BREAKWATER</i>	27
2.5. OVERTOPPING WAVE ENERGY CONVERTER (OWEC) BREAKWATER.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.3. Rancangan Simulasi Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.4. Bagan Alir Penelitian	33
3.5. Parameter Penelitian	34
3.6. Alat Pengujian	34
3.7. Prosedur Penelitian	35

3.7.1. Pengujian di Laboratorium.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1. Karakteristik gelombang di depan model.....	37
4.1.1. Karakteristik Gelombang di Depan Model Pada Sudut Datang 90°	37
4.1.2 Karakteristik Gelombang Pada Sudut Datang 67,5°	39
4.1.3 Karakteristik Gelombang Pada Sudut Datang 45°	42
4.2 Perbandingan Tinggi Gelombang (H) di depan model	44
4.2.1 Tabel Hasil simulasi untuk sudut datang gelombang 90°	44
4.2.2 Tabel Hasil simulasi untuk sudut datang gelombang 67,5°	45
4.2.3 Tabel Hasil simulasi untuk sudut datang gelombang 45°	45
4.3 Hubungan Tinggi Gelombang Deformasi (H6) dengan Volume air yang terlimpas kedalam model (V)	48
4.4 Hubungan Periode Gelombang (T) dengan Debit Limpasan (Q).....	49
4.5 Hubungan Kecuraman Gelombang ($H1/gT^2$) dengan Debit Limpasan (Q).....	50
4.6 Hubungan Kenaikan Tinggi Gelombang Deformasi (H6/H1) dengan Debit Limpasan (Q) ..	50
BAB V	52
PENUTUP.....	52
A. Kesimpulan	52
B. Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah negara maritim dengan luas laut terluas di Asia Tenggara, sehingga kami mencoba untuk mengupayakan akan adanya sumber energi terbarukan yang suatu saat dapat dimanfaatkan dengan baik sebagai pengganti bahan bakar energi seperti batu bara dan minyak bumi yang akan semakin kritis. Saat ini di Indonesia pun tergolong dengan garis pantai yang terpanjang di Asia Tenggara dan disaat yang bersamaan pula Indonesia pun menjadi akan rawan terjadinya gelombang tinggi yang datang.

Gelombang laut dan pasang surut adalah gerakan air laut yang mengandung potensi energi yang cukup besar yang dapat dimanfaatkan, gelombang laut di sisi lain memiliki daya rusak apabila tidak dikendalikan dengan baik. Maka dari itu kami mengupayakan adanya sumber energi terbarukan yang dari gelombang yang datang dengan cara menangkap sumber gelombang tersebut dengan merubah paradigma masyarakat dari pemecah gelombang menjadi penangkap gelombang .

Selama ini alat yang kita kenal sebagai struktur/bangunan pemecah gelombang adalah breakwater, seawall, jetty dan lain-lain. ketika ombak datang menerjang alat pemecah gelombang maka ombak tersebut akan terbang sia-sia dan tidak menghasilkan apa-apa, maka dari itu dibentuknya sebuah inovasi dengan mengubah paradigma masyarakat agar gelombang tersebut akan ditangkap dan akan menghasilkan suatu energi terbaru yang dapat diterapkan di Indonesia.

Adapun model alat yang dikembangkan oleh Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang nantinya dapat dijadikan sebagai sumber energi

terbaru dapat di implementasikan di Indonesia yaitu *CSP-MS*. *CSP-MS* sudah diteliti, namun pengaruh sudut datang gelombang belum di uji sepenuhnya. Karena peneliti mengkaji pengaruh sudut datang gelombang terhadap debit overtopping.

1.2. Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka dapat diambil rumusan masalah:

1. Bagaimana karakteristik gelombang deformasi yang terjadi pada ketiga sudut (90, 67,5 dan 45 derajat)
2. Bagaimana pengaruh sudut datang gelombang (90, 67,5 dan 45 derajat) terhadap debit overtopping yang terlompas kedalam reservoir
3. Bagaimana pengaruh periode gelombang (T) dan kecuraman gelombang (H_i/gT^2) terhadap debit overtopping (Q)
4. Bagaimana pengaruh kenaikan tinggi gelombang (H_6/H_i) terhadap debit overtopping

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui dan memahami karakteristik gelombang deformasi yang terjadi terjadi pada ketiga sudut (90, 67,5 dan 45 derajat)
2. Mendapatkan prngaruh sudut datang gelombang (90, 67,5 dan 45 derajat) terhadap debit overtopping yang terlompas kedalam reservoir
3. Mendapatkan pengaruh periode gelombang (T) dan kecuraman gelombang (H_i/gT^2) terhadap debit overtopping (Q)
4. Mendapatkan pengaruh kenaikan tinggi gelombang (H_6/H_i) terhadap debit overtopping

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini secara umum diharapkan dapat memberikan informasi masukan sebagai berikut :

1. Memberikan sumber energi terbaru yang efisien dengan nilai investasi yang bagus dan dapat menghasilkan energi listrik memadai serta memberikan dampak yang baik bagi masyarakat yang tinggal di daerah pesisir dan pulau-pulau kecil

1.5. Batasan Masalah

Demi tercapainya penelitian diperlukan suatu batasan dalam penulisan agar pembahasan tidak meluas ruang lingkupnya sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai dan dipahami. Ada beberapa hal yang menjadi perhatian di eksperimen ini di antaranya :

1. Gelombang model yang digunakan adalah gelombang regular pada kolam 3D
2. Kedalaman air model (d) digunakan hanya 1 macam yaitu kedalaman 35 cm
3. Tinggi jagaan (freebord) di tinjau hanya 1 macam yaitu 30 cm
4. Sudut datang gelombang terhadap model struktur OWEC Breakwater digunakan 90, 67,5 dan 45 derajat
5. Air yang digunakan adalah air tawar

1.6. Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu : Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran

Berikut merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini mengandung uraian tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan diadakan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi uraian mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai uraian tentang metode, bahan, peralatan, cara penelitian serta uraian pelaksanaan penelitian.

BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

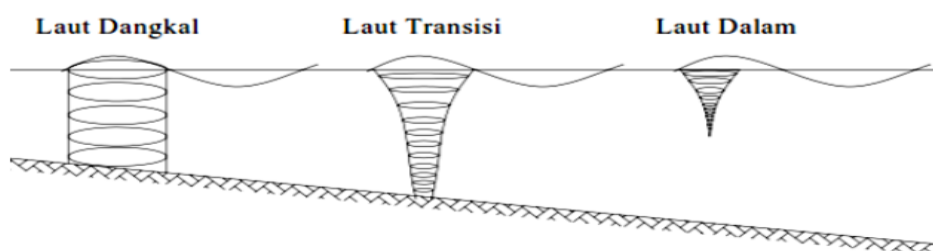
Bab ini memuat uraian tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil analisis terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. TEORI GELOMBANG SEDERHANA

Gelombang di laut terbagi menjadi gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak (Triatmodjo, 1999). Pada umumnya gelombang terjadi karena hembusan angin di permukaan air laut. Daerah di mana gelombang itu dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang (wave generating area). Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut sea, sedangkan gelombang yang terbentuk di luar daerah pembangkitan disebut swell. Ketika gelombang menjalar, partikel air di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran besar membentuk puncak gelombang pada puncak lingkarannya dan lembah pada lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang makin kecil. Saat gelombang mendekati pantai, bagian bawah gelombang akan mulai bergesekan dengan dasar laut yang menyebabkan pecahnya gelombang dan terjadi putaran pada dasar laut yang dapat membawa material dari dasar pantai serta menyebabkan perubahan profil pantai.



Gambar 1. Gerak Partikel Air di Laut Dangkal, Transisi dan Dalam

Sumber: Triatmodjo (1999)

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

Tabel 1 Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linear

Klasifikasi	d/L	$2\pi d/l$	Tan h ($2\pi d/L$)
Gelombang Laut Dalam	$> 1/2$	$> \pi$	≈ 1
Gelombang Laut Transisi	1/25 s/d 1/2	$1/4$ s/d π	$\tan h (2\pi d/l)$
Gelombang Laut Dangkal	$< 1/25$	$< 1/4$	$\approx 2\pi d/l$

Sumber: Nur Yuwono (1982)

2.1.1 Beberapa Definisi Gelombang

Gambar 2.1 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada system koordinat x-y. Gelombang menjalar pada arah sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan adalah :

d : jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)

$\eta(x,t)$: fluktuasi muka air terhadap muka air diam

α : amplitude gelombang

H : tinggi gelombang = $2 a$

L : panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.

T : periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan

kedudukan sebelumnya.

C : kecepatan rambat gelombang = L / T

K : angka gelombang = $2\pi/L$

σ : frekuensi gelombang = $2\pi/T$

2.1.2 Persamaan Gelombang

Teori gelombang amplitude kecil dapat diturunkan dari persamaan kontinuitas untuk aliran tak rotasi (Persamaan Laplace) yaitu :

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (2.1)$$

dengan :

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \text{ dan } v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} \quad (2.2)$$

kondisi batas di dasar laut dari persamaan tersebut adalah kecepatan vertical nol.

$$v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0 \text{ . di } y = -d \quad (2.3)$$

kondisi batas pada permukaan diperoleh dari persamaan Bernoulli untuk aliran tak mantap.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{1}{2}(u^2 + v^2) + gy + \frac{p}{\rho} = 0 \quad (2.4)$$

dengan g adalah percepatan gravitasi, p adalah tekanan dan ρ adalah rapat massa zat cair.

Apabila persamaan tersebut dilinierkan, yaitu dengan mengabaikan u^2 dan v^2 , dan pada permukaan $y = \eta$, serta mengambil tekanan di permukaan adalah nol (tekanan atmosfer), maka persamaan Bernoulli menjadi :

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_{y = \eta} \quad (2.5)$$

Dengan anggapan bahwa gelombang adalah kecil terhadap kedalaman, maka kondisi batas di $y = 0$ adalah kira-kira sama dengan di $y = \eta$. Dengan anggapan tersebut maka kondisi batas pada permukaan adalah :

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_{y = 0} \quad (2.6)$$

Jadi persamaan yang diselesaikan adalah sebagai berikut ini.

1. Persamaan Laplace

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (2.1)$$

2. Kondisi batas persamaan tersebut adalah :

$$v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0 \quad \text{di } y = -d \quad (2.3)$$

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_{y = 0} \quad (2.6)$$

Persamaan tersebut diselesaikan untuk mendapatkan nilai φ . Berdasarkan nilai

φ yang diperoleh tersebut, sifat-sifat gelombang seperti fluktuasi muka air, kecepatan rambat gelombang, kecepatan partikel, dan sebagainya dapat diturunkan. Penyelesaian persamaan diferensial tersebut memberikan hasil berikut ini.

$$\varphi = \frac{ag}{\sigma} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t)$$

dengan

φ : Potensial kecepatan

g : Percepatan gravitasi

σ : Frekuensi gelombang

k : Angka gelombang

d : Kedalaman laut

y : Jarak vertical suatu titik yang ditinjau terhadap muka air diam

x : Jarak horizontal

t : Waktu

2.1.3 Kecepatan Rambat dan Panjang Gelombang

Komponen vertical kecepatan partikel pada permukaan air v adalah $v = \partial\eta/\partial t$,

dimana η diberikan oleh persamaan (2.6), sehingga : $v = \frac{\partial\eta}{\partial t} =$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(-\frac{1}{g} \frac{\partial\varphi}{\partial t} \right) = -\frac{1}{g} \frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}$$

Karena $v = \partial\varphi/\partial y$, maka persamaan tersebut dapat ditulis :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{1}{g} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}$$

apabila nilai φ dari persamaan (2.7) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.9), maka akhirnya didapat :

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{ag}{\sigma} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t) \right] = -\frac{1}{g} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\frac{ag}{\sigma} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t) \right]$$

$$\frac{ag}{\sigma} k \frac{\sinh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t) = -\frac{1}{g} \frac{ag}{\sigma} (-\sigma^2) \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t)$$

$$\frac{agk \sinh k(d+y)}{\sigma \cosh kd} \sin(kx - \sigma t) = a\sigma \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t)$$

Untuk gelombang amplitude kecil, nilai y di permukaan adalah sama dengan di muka air diam, sehingga $y = 0$; dan persamaan di atas menjadi :

$$\sigma^2 = gk \tanh(kd) \quad (2.10)$$

Oleh karena $\sigma = kC$, maka persamaan (2.10) menjadi :

$$C^2 = \frac{g}{k} \tanh(kd) \quad (2.11)$$

Jika nilai $k = 2\pi/L$ didistribusikan ke dalam persamaan (2.11), didapat :

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh(kd) \quad (2.12)$$

Persamaan (2.12) menunjukkan laju penjalaran gelombang sebagai fungsi kedalaman air (d) dan panjang gelombang (L).

Jika nilai $k = \frac{\sigma}{c} = \frac{(2\pi/T)}{c}$ disubstitusikan ke dalam persamaan (2.11), akan

didapat nilai C sebagai fungsi T dan d .

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.13)$$

Dengan memasukkan nilai $k = 2\pi / L$ dan $C = L / T$ ke dalam persamaan (2.12) akan diperoleh panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.14)$$

Dengan menggunakan persamaan (2.14), jika kedalaman air dan periode gelombang diketahui, maka dengan metode iterasi (cara coba banding) akan didapat panjang gelombang L . Penyelesaian persamaan (2.14) akan lebih sederhana apabila digunakan computer. Program 2.1 adalah contoh program computer untuk menghitung panjang gelombang dan cepat rambat gelombang. Selain dengan menggunakan program tersebut, tabel L-1 dalam lampiran 1 juga dapat digunakan untuk menghitung panjang gelombang. Cepat rambat gelombang dapat diperoleh dengan membagi panjang gelombang yang diperoleh dengan periode gelombang ($C = L/T$).

Contoh 1.

Gelombang dengan periode 10 detik terjadi di laut dengan kedalaman 30m. Hitung panjang dan cepat rambat gelombang. Hitung pula panjang dan cepat rambat gelombang pada kedalaman 5m.

Penyelesaian

Panjang gelombang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14) atau tabel L-1 dalam lampiran 1. Penyelesaian berdasar persamaan (2.14) dilakukan

dengan membuat program komputer seperti terlihat dalam program 2.1, dan hasil hitungan ditunjukkan di bawahnya. Bahasa komputer adalah Fortran dan menggunakan *software* WATFOR77.

Hitungan dilakukan dengan iterasi, dengan nilai awal adalah panjang gelombang di laut dalam (persamaan 2.17). Pada iterasi kedua, nilai L_r yang dimasukkan ke dalam ruas kanan dari persamaan (2.14) adalah rerata dari pemisalan awal (L_0) dan hasil iterasi pertama (L_1). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat prosedur hitungan berikut ini.

$$\text{Nilai awal : } L_0 = 1,56 T^2 = 1,56 \times 10^2 = 156m$$

Untuk kedalaman $d = 30$ m :

$$\text{Iterasi I : } L_1 = \frac{g \times 10^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi \times 30}{156} = 130,55m$$

$$\text{Iterasi II : } L_r = \frac{L_0 + L_1}{2} = \frac{156 + 130,55}{2} = 143,28m$$

$$L_2 = \frac{g \times 10^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi \times 30}{143,28} = 135,16m$$

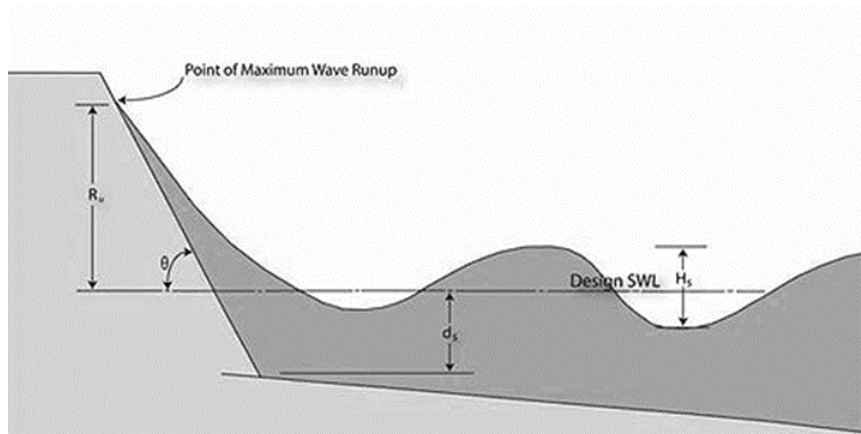
Hasil hitungan menunjukkan bahwa untuk $d = 30$ m, pada iterasi ke 8 sudah diperoleh hasil yang benar, sedang untuk $d = 5$ m diperlukan 6 iterasi. Cepat rambat gelombang didapat dari membagi panjang gelombang dengan periode gelombang ($C = L/T$).

2.2 Run-up Gelombang

Pada waktu gelombang menghantam suatu bangunan, gelombang tersebut akan naik (*run-up*) pada permukaan bangunan. Tinggi gelombang *run-up* didefinisikan sebagai perbedaan vertikal antara titik tertinggi run-up gelombang dan level air diam

(SWL) seperti terlihat pada gambar 2. Karena adanya sifat stochastic pada gelombang datang, setiap gelombang akan memberikan level *run-up* (R_u) yang berbeda.

Run-up gelombang tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kedalaman air pada kaki bangunan, kemiringan dasar laut depan bangunan, dan karakteristik gelombang.



Gambar 2. Sketsa definisi run-up gelombang pada sisi miring (FHWA, 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 *Irribaren*.

$$I_r = \frac{tg\theta}{(H/L_0)^{0.5}} \quad (6)$$

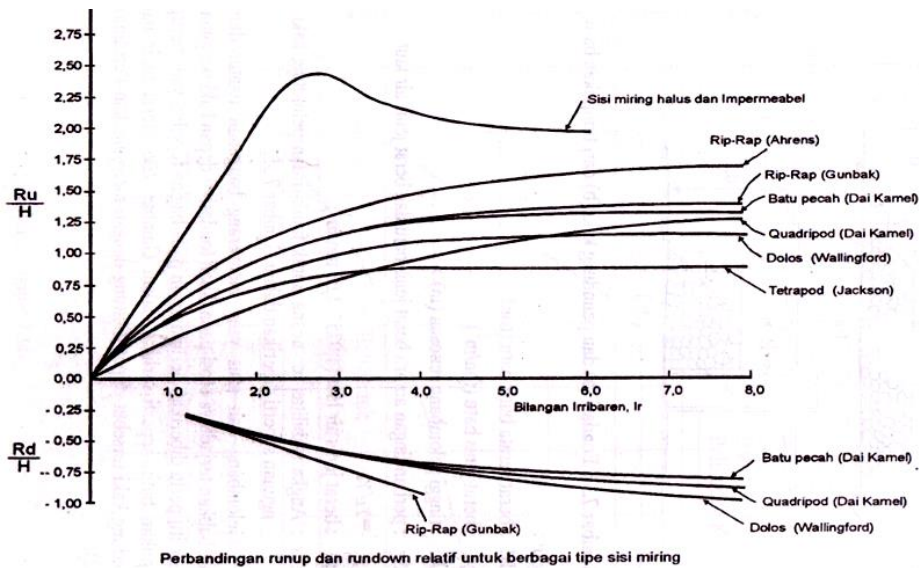
dengan :

I_r : bilangan *Irribaren*

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

H : tinggi gelombang di lokasi bangunan (m)

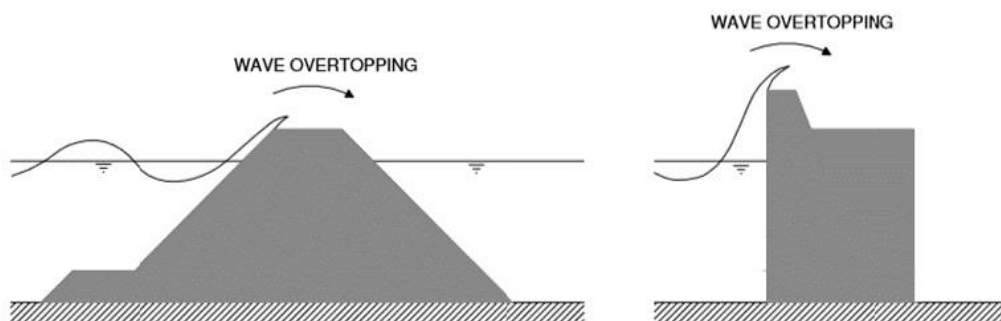
L_0 : panjang gelombang (m)



Gambar 3. Grafik run-up gelombang (Triatmodjo, 1999)

2.3 Overtopping Gelombang

Limpasan gelombang (overtopping) terjadi ketika ketinggian puncak struktur pantai lebih rendah daripada level gelombang run-up potensial; gelombang yang merayap di permukaan lereng struktur mencapai dan melewati puncak struktur. Jika total ketinggian run-up melebihi ketinggian puncak, maka limpasan gelombang melalui struktur berpotensi terjadi signifikan. Overtopping gelombang adalah fungsi dari parameter hidrolis seperti tinggi gelombang, periode gelombang, panjang gelombang, dan permukaan air serta fungsi dari parameter struktur seperti geometris, tata letak dan bahan sifat struktur. Adapun sketsa dan gambar mengenai overtopping gelombang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema dari proses overtopping (Brito, 2010)

Overtopping gelombang adalah proses yang sangat dinamis dan tidak teratur.

Proses ini dapat dicirikan oleh debit overtopping gelombang dan volume overtopping gelombang. Dalam realita, tidak ada debit konstan yang melimpas pada puncak struktur selama *overtopping*. Proses *overtopping* gelombang sangat acak dalam waktu, ruang, dan volume. Gelombang tertinggi akan mendorong volume besar air di atas puncak dalam periode waktu yang singkat, sedangkan gelombang yang lebih rendah mungkin tidak menghasilkan limpasan apa pun.

Pemodelan fisik umumnya digunakan untuk mengkaji overtopping gelombang dan mengembangkan rumus empiris untuk memprediksinya. Banyaknya parameter relevan yang mempengaruhi fenomena ini membuatnya sulit untuk mengembangkan pendekatan teoritis atau numerik yang mewakili sifat overtopping dengan baik. Sebaliknya, tes eksperimental adalah metode yang mapan dan andal untuk menentukan gelombang overtopping rata-rata untuk struktur pantai (EurOtop 2018).

Debit *overtopping* gelombang, q , adalah debit rata-rata per meter linier lebar dan memiliki satuan m^3/s per m atau l/s per m. Alasan untuk menggunakan debit *overtopping* rata-rata adalah bahwa parameter ini dapat dianggap stabil pada sekitar 1000 gelombang (Verhaeghe et al. 2008 in Jiménez, 2017). Sebaliknya, volume gelombang overtopping dapat dihitung untuk kondisi gelombang tertentu dan debit rata-rata q . Volume dinyatakan dalam m^3 per gelombang per meter lebar.

Secara umum, debit overtopping rata-rata diekspresikan oleh dua tipe formula dibawah, dimana a dan b adalah koefisien yang berubah berdasarkan geometry struktur. Q dan R adalah parameter tak berdimensi dari debit overtopping dan tinggi freeboard.

$$= \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} a \exp(-bR_e / H_{m0}) \quad (7)$$

$$Q = aR^{-b} \quad (8)$$

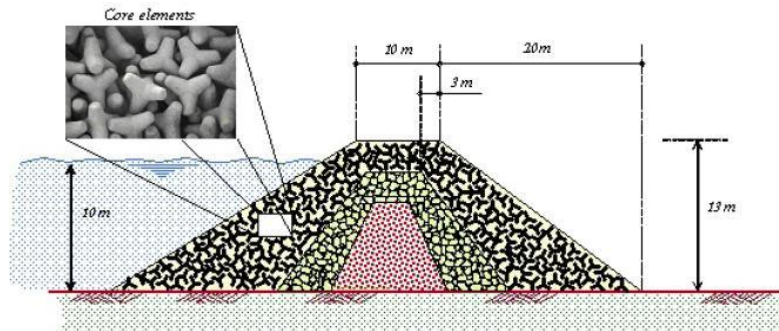
2.4. TIPE BANGUNAN BREAKWATER

Pemecah gelombang (breakwater) adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang. Bangunan ini memisahkan daerah perairan dari laut lepas, sehingga perairan pelabuhan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar di laut. Daerah perairan dihubungkan dengan laut oleh mulut pelabuhan dengan lebar tertentu dimana kapal keluar masuk melalui celah tersebut.

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. Bentuk/tipe pemecah gelombang berdasarkan tipe bangunannya dapat dibedakan menjadi tiga yaitu Breakwater Sisi Miring, Breakwater Sisi Tegak, Breakwater Gabungan.

2.4.1 BREAKWATER SISI MIRING

Pada umumnya pemecah gelombang sisi miring dibuat dari tumpukan batuan alam yang dilindungi oleh lapis pelindung berupa batu besar ataupun beton dengan bentuk tertentu. Pemecah gelombang ini lebih cocok digunakan pada kondisi tanah yang lunak dan tidak terlalu dalam.

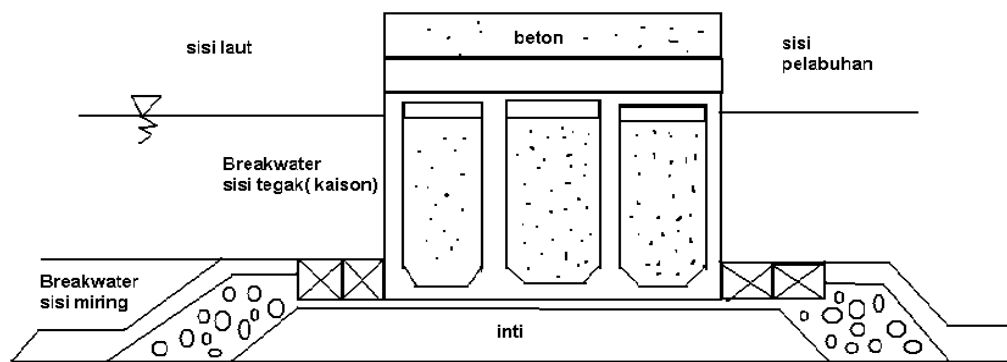


Gambar 5. Pemecah gelombang sisi miring

Breakwater sisi miring bersifat fleksibel karena jika serangan gelombang merusak yang terjadi tidak secara tiba-tiba, meskipun beberapa butiran longsor. Biasanya butir batu pemecah gelombang sisi miring disusun dalam beberapa lapis, dengan lapis terluar terdiri dari batu dengan ukuran besar dan semakin ke dalam ukurannya semakin kecil. Bentuk butiran akan berpengaruh terhadap kaitan antara butir batu yang ditumpuk. Butir batu dengan sisi tajam akan mengait satu sama lain dengan lebih baik sehingga stabil.

2.4.2 BREAKWATER SISI TEGAK

Breakwater tipe sisi tegak seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 biasanya ditempatkan di laut dengan kedalaman lebih dalam dengan tanah dasar keras. Karena dinding breakwater tegak, maka akan terjadi gelombang diam atau *klapotis* yaitu superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul.



Gambar 6. Pemecah Gelombang Sisi Tegak

2.4.3 BREAKWATER GABUNGAN

Pada pemecah gelombang gabungan konstruksi dikombinasikan antara pemecah gelombang sisi Tegak yang dibuat di atas pemecah gelombang sisi miring. *Breakwater* campuran dibuat apabila kedalaman air sangat besar dan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang sisi tegak. Pada waktu air surut bangunan berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi miring, sedang pada waktu air pasang berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi tegak.

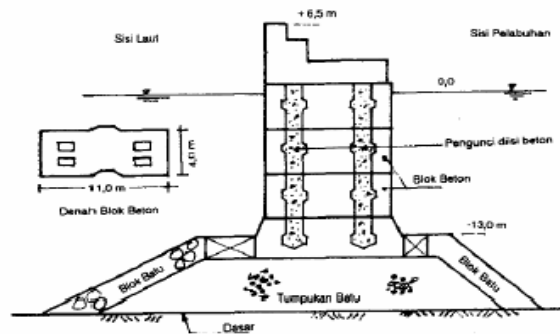
Adapun pertimbangan lebih lanjut mengenai perbandingan sisi tegak dengan tumpukan batunya. Pada dasarnya ada tiga macam yaitu:

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

2.4.4 MATERIAL PENYUSUN BREAKWATER

1. Blok beton

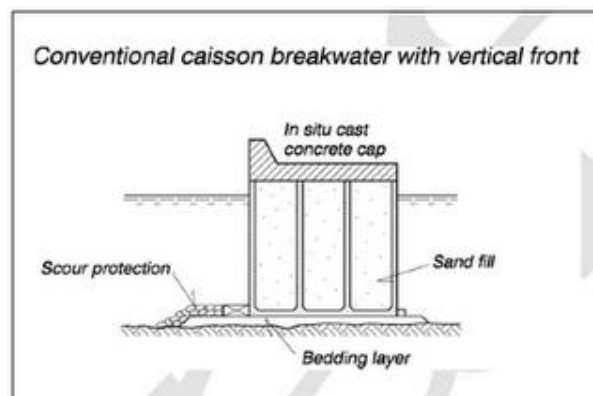
Dibuat dari blok-blok beton massa yang disusun secara vertikal. Masing-masing blok dikunci dengan beton bertulang yang dicor di tempat setelah blok-blok tersebut disusun. Puncak pemecah gelombang dibuat dinding beton yang dicor ditempat. Fondasi terbuat dari tumpukan batu yang diberi lapis pelindung dari blok beton.



Gambar 7. Pemecah Gelombang Blok Beton

2. Kaison (*caisson*)

Pemecah gelombang ini dibuat di daratan dan kemudian dibawa ke lokasi yang telah ditentukan dengan ditarik oleh kapal. Pengangkutan ke lokasi dilakukan pada waktu air tenang. Setelah sampai ke lokasi kaison tersebut ditenggelamkan ke dasar laut dengan mengisikan air ke dalamnya dan kemudian diisi dengan pasir. Bagian atasnya kemudian dibuat lantai dan dinding beton. Kaison dibuat seperti kotak dengan sisi bawah tertutup dan dengan dinding-dinding diafragma yang membagi kotak.

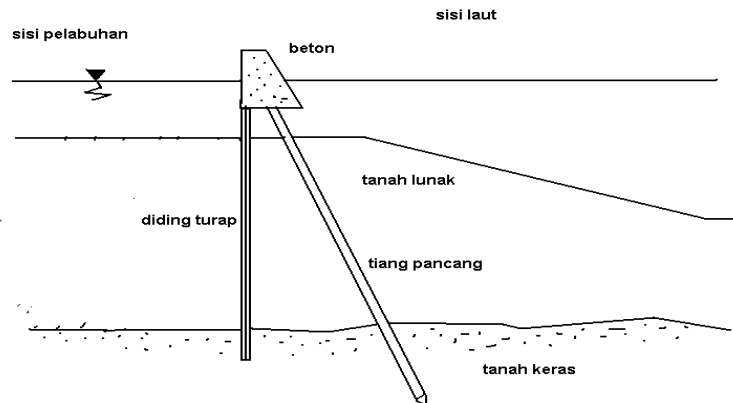


Gambar 8. Pemecah Gelombang Caisson

3. Sel papan pancang (*sheet pile cells*)

Pemecah gelombang ini terdiri dari turap beton dan tiang beton yang dipancang melalui tanah lunak sampai mencapai tanah keras. Bagian atas dari turap

dan tiang tersebut dibuat blok beton .Pemecah gelombang ini dibuat apabila dasar laut terdiri dari tanah lunak yang sangat tebal ,sehingga penggantian tanah lunak dengan pasir menjadi mahal.

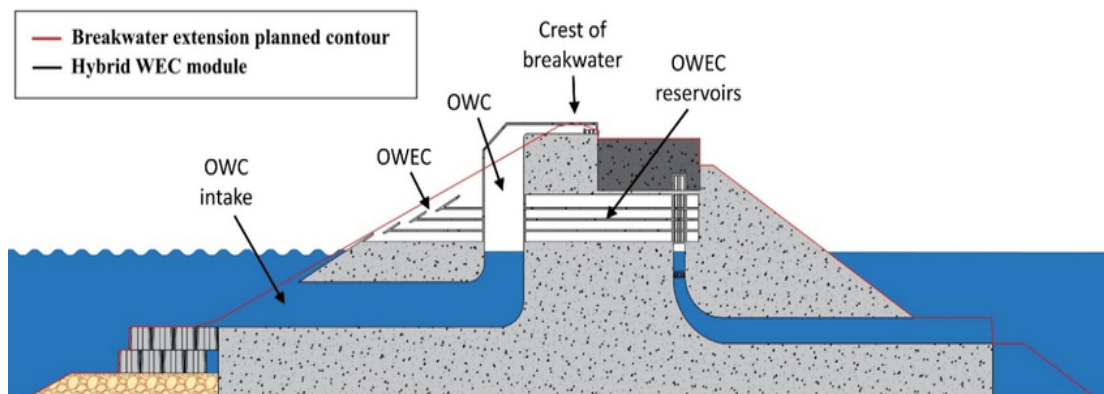


Gambar 9. Pemecah Gelombang Papan Pancang

2.5. OVERTOPPING WAVE ENERGY CONVERTER (OWEC) BREAKWATER

OWEC (*overtopping wave energy converter*) breakwater adalah pelindung pantai yang sekaligus berkonsep konverter energi gelombang. Model pelindung pantai ini dilengkapi dengan reservoir pada bagian atas yang berfungsi untuk mengumpulkan air yang melimpas dari puncak bangunan melalui mekanisme overtopping gelombang. Besarnya debit overtopping dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah karakteristik gelombang, termasuk karakteristik gelombang pecah pada permukaan bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik gelombang pecah (breaker parameter) pada OWEC breakwater dan pengaruhnya terhadap debit overtopping yang dihasilkan. Penelitian ini berupa uji eksperimental model fisik pada saluran gelombang di laboratorium. Gelombang yang dibangkitkan pada saluran gelombang adalah gelombang regular. Model OWEC breakwater akan disimulasi dengan beberapa variasi pada parameter gelombang dan parameter model. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah didapatkan analisa pengaruh breaker

parameter terhadap debit overtopping yang dihasilkan, yang selanjutnya dapat diketahui jenis breaker parameter yang dapat memberikan debit overtopping paling besar pada model OWEC breakwater. Overtopping gelombang merupakan suatu kondisi dimana ketika gelombang menghantam suatu bangunan, gelombang tersebut terlebih dahulu akan naik (run-up) pada permukaan bangunan, dan kemudian akan melimpas melewati puncak bangunan tersebut yang disebut dengan overtopping



Gambar 10. Skema dari proses Overtopping