

**DISERTASI**

**PEMUSATAN ENERGI GELOMBANG PADA WAVE  
CATCHER SHORE PROTECTION DUAL-SLOPE (WCSP-DS)  
MODEL ZIGZAG**

*(Focusing Wave Energy on the Wave Catcher Shore  
Protection Dual-Slope (WCSP-DS) Zigzag Models)*

**WA ODE ZULIA PRIHATINI  
D013171002**



**PROGRAM STUDI S3 ILMU TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMUSATAN ENERGI GELOMBANG PADA *WAVE CATCHER SHORE*  
*PROTECTION DUAL - SLOPE (WCSP-DS) MODEL ZIGZAG*

Disusun dan Diajukan oleh

**WA ODE ZULIA PRIHATINI**  
NPM. D013171002

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi  
Pada tanggal 21 Desember 2022  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui  
Komisi Penasehat

Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT  
Promotor

Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT  
Co-Promotor

Dr. Chairul Paotonan, ST., MT  
Co-Promotor

Ketua Program Studi  
S3 Teknik Sipil



Dr. Eng. Ir. Rita Irmawaty, ST., MT



Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. M. Isran Ramli, ST. MT, IPM, ASEAN.Eng



## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Wa Ode Zulia Prihatini

Nomor Induk : D013171002

Program Studi : S-3 Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti dan dapat dibuktikan bahwa sebagian atau seluruh isi disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 21 Desember 2022

Yang Menyatakan



Wa Ode Zulia Prihatini

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas berkat rahmat dan hidayahnya sehingga penelitian dan penulisan disertasi ini yang berjudul *“Pemusatan Energi Gelombang pada Wave Catcher Shore Protection Dual Slope (WCSP-DS) Model Zigzag”* dapat terselesaikan. Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam melaksanakan penelitian dalam rangka penyusunan disertasi ini.

Berkat bantuan beberapa pihak disertasi ini dapat diselesaikan oleh penulis. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan yang sangat tinggi dan amat mendalam kepada Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha ST., MT. selaku Promotor, Dr. Eng. Ir. H. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT dan Dr. Chairul Paotonan, ST., MT selaku Co-Promotor. Kepada bapak Promotor dan Co-Promotor kami mengucapkan terima kasih dan penghormatan yang setinggi-tingginya atas bimbingan yang begitu tulus dan ikhlas, meluangkan waktu, dalam memberi arahan dan petunjuknya sehingga penelitian dan penyusunan disertasi ini dapat kami laksanakan dengan baik.

Ucapan dan penghargaan yang sama kami sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Saleh Pallu, M. Eng; Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc; Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT dan Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT sebagai tim penguji internal yang juga banyak memberikan waktu, arahan dan bimbingannya kepada penulis. Ucapan dan penghargaan sama juga penulis sampaikan kepada Dr. Eng. Ir. Andi Rusdin, ST., MT., M.Sc sebagai

penguji eksternal, terimakasih atas kesempatan dan waktunya. Arahan yang membangun penulis harapan untuk sempurnanya disertasi ini.

Penghargaan yang setinggi tingginya kepada; Rektor Universitas Hasanuddin (Prof. Dr. H. Jamaluddin Jompa, M.Sc), Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., IPM. ASEAN. Eng (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), Rektor Universitas Dayanu Ikhsanuddin (Bapak Ir. LM. Sjamsul Qamar, MT., IPU), Prof. Dr. Ir. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M. Eng (Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), Dr. Eng. Ir. Rita Irmawaty, ST., MT (Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin) dan bapak/ibu dosen Program studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing dalam proses perkuliahan. Bapak/ibu staf Pascasarjana Unhas dan staf Prodi S3 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada Pengelola Laboratorium Kepantaraan dan Lingkungan Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mengizinkan dan memfasilitasi penulis dalam melakukan penelitian. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2017 pada program S3 Teknik Sipil Unhas, terkhusus grup diskusi Raya, Novisca Maria Anditiaman, ST., MT; Thely S H Sembor, ST., MT; Hamzah Al Imran ST., MT; Asep Hudiankuwera, ST., MT dan Hendra Hafid, ST., MT atas diskusi dan curahan suka duka selama menempuh Pendidikan Doktor.

Terkhusus dengan penuh kerendahan hati penulis ucapkan terimakasih yang sangat tulus dan penghargaan yang tinggi kepada kedua orang tua (alm) Bapak La Ode Muhammad Husni Lalangi dan (almh) Ibu Wa Ode Mariha Zakir. Suami tercinta La Ode F Darnis Tirtadi, anak kami tersayang La Ode Idza Hatta Ekasitra, Wa Ode Nurul Muntia Aulia dan Wa Ode Munzila Maharani, atas segala keikhlasan, ketabahan, pengorbanan dorongan semangat dan doa yang senantiasa menyertai perjalanan Pendidikan penulis.

Semoga naskah disertasi ini dapat menjadi sumbangan dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi ilmu teknik sipil terkhusus bidang ilmu teknik pantai. Aamiin

Makassar, Desember 2022

Wa Ode Zulia Prihatini  
D013171002

## ABSTRAK

**WA ODE Z PRIHATINI.** Pemusatan Energi Gelombang pada *Wave Catcher Shore Protection Dual-Slope (WCSP-DS)* Model Zigzag (dibimbing oleh **Muhammad Arsyad Thaha, Mukhsan Putra Hatta dan Chairul Paotonan**)

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penangkapan energi gelombang dalam pengembangan model pemecah gelombang OWEC menjadi WCSP-DS dengan mengatur penempatan model secara zigzag dan menambahkan dinding kolektor. Penelitian dilakukan dengan studi model fisik skala geometrik 1:20 secara eksperimental 3-D di laboratorium, dengan merancang dan membuat model kotak WCSP-DS, diletakan pada posisi zigzag 90° dan diberi tambahan dinding kolektor pada kolam gelombang. WCSP-DS model zigzag divariasikan dalam 5 ketinggian freeboard ( $F_b$ ), dua variasi panjang kolektor ( $l$ ), disimulasikan pada tiga elevasi muka air relatif ( $d/z$ ), dan tiga variasi masing – masing tinggi dan periode gelombang ( $H$  dan  $T$ ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Melalui rekayasa deformasi gelombang, terjadi peningkatan tinggi gelombang di depan model. Penambahan kolektor pemusat dan tinggi freeboard pada WCSP-DS berpengaruh signifikan terhadap tinggi gelombang yang terjadi di depan struktur WCSP-DS. Penambahan satu kolektor pemusat dapat meningkatkan debit overtopping ( $Q$ ) yang masuk kedalam reservoir sebesar 33,87% pada kondisi ( $d/z$ ) = 0,857; sebesar 50,88% pada kondisi ( $d/z$ ) = 1 dan sebesar 29,51% pada kondisi ( $d/z$ ) = 1,143 . Penambahan dua kolektor pemusat dapat meningkatkan debit overtopping ( $Q$ ) yang masuk kedalam reservoir sebesar 53,93% pada kondisi ( $d/z$ ) = 0,857; sebesar 77,95% pada kondisi ( $d/z$ ) = 1 dan sebesar 61,26% pada kondisi ( $d/z$ ) = 1,143. Nilai koefisien deformasi gelombang pada model tanpa dinding kolektor (MTD) adalah 0,9 dengan nilai debit overtopping rata-rata yang masuk kedalam reservoir sebesar 0,00043 m<sup>3</sup>/dtk. Koefisien deformasi pada model dengan penambahan satu kolektor pemusat adalah 1,66 dengan debit overtopping rata-rata yg masuk kedalam reservoir sebesar 0,00099 m<sup>3</sup>/dtk dan nilai koefisien deformasi pada model dengan penambahan dua dinding kolektor adalah 1,45 dan nilai debit overtopping rata-rata yang masuk kedalam reservoir sebesar 0,00145 m<sup>3</sup>/dtk. Persamaan empiris hubungan debit *overtopping* ( $q$ ) pada WCSP-DS model zigzag terhadap parameter koefisien deformasi gelombang ( $K_{df}$ ), kecuraman gelombang ( $H_1/L$ ), *freeboard* relatif ( $F_b/H_1$ ) dan panjang relatif kolektor pemusat ( $l/L$ ) pada penelitian ini dengan kondisi batas kedalaman relatif model ( $d/z$ ) pada rentang nilai antara 0,857 – 1,143.

**Kata Kunci:** energi gelombang, freeboard, overtopping, model zigzag.

## ABSTRACT

**WA ODE Z PRIHATINI.** Focusing Wave Energy on The Wave Catcher Shore Protection Dual-Slope (WCSP-DS) Zigzag Models (supervised by **Muhammad Arsyad Thaha, Mukhsan Putra Hatta, and Chairul Paotonan**)

*This study aims to increase the efficiency of capturing wave energy in developing the OWEC breakwater model into WCSP-DS by setting the model's placement as a zigzag and adding a collector wall. The research was carried out by studying the physical model of a geometric scale of 1:20 experimentally in 3-D in the laboratory by designing and making a WCSP-DS box model, placed in a 90° zigzag position and added with a collector wall in the wave basin. Two WCSP-DS models were varied in 5 freeboard heights ( $F_b$ ), two collector length variations ( $l$ ), simulated at three relative water level elevations ( $d/z$ ), and three variations of each wave height and period ( $H$  and  $T$ ). The results showed that through wave deformation engineering, there was an increase in wave height in front of the model. The addition of the central collector and freeboard height on the WCSP-DS significantly affects the wave height in front of the WCSP-DS structure. The addition of a focusing collector can increase the overtopping discharge ( $Q$ ) that enters the reservoir by 33.87% under conditions ( $d/z$ ) = 0.857, by 50.88% in the state ( $d/z$ ) = 1, and by 29.51% in condition ( $d/z$ ) = 1.143. The addition of two focusing collectors can increase the overtopping discharge ( $Q$ ) that enters the reservoir by 53.93% under conditions ( $d/z$ ) = 0.857, by 77.95% in the state ( $d/z$ ) = 1, and by 61.26% in condition ( $d/z$ ) = 1.143. The value of the wave deformation coefficient on the model without a collector wall ( $MTD$ ) is 0.9, with an average overtopping discharge value that enters the reservoir of 0.00043 m<sup>3</sup>/s. The deformation coefficient in the model with the addition of one central collector is 1.66, with an average overtopping discharge that enters the reservoir of 0.00099 m<sup>3</sup>/s and the deformation coefficient value in the model with the addition of two collector walls is 1.45 and the average overtopping discharge value -the average entering the reservoir is 0.00145 m<sup>3</sup>/sec. The empirical equation for the relationship of overtopping discharge ( $q$ ) in the zigzag WCSP-DS model to the parameters of the wave deformation coefficient ( $K_{df}$ ), wave steepness ( $H1/L$ ), relative freeboard ( $F_b/H1$ ) and the relative length of the central collector ( $l/L$ ) in the study this condition with the condition of the relative depth limit of the model ( $d/z$ ) in the value range between of 0.857 – 1.143.*

**Keywords:** wave energy, freeboard, overtopping, zigzag model



## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK INDONESIA	vii
ABSTRAK INGGRIS	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
E. Batasan Masalah	6
F. Novelti	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Gelombang	8
1. Teori Dasar Gelombang	9

2. Karakteristik Gelombang	10
3. Klasifikasi Gelombang	11
B. Deformasi Gelombang	14
1. Shoaling	14
2. Gelombang Refleksi	15
3. Koefisien Deformasi	16
4. Gelombang Pecah	16
C. Energi dan Konservasi Energi	17
1. Energi dan Daya Gelombang	17
2. Konservasi Energi Gelombang	20
D. <i>Overtopping</i> Gelombang	21
E. <i>Overtopping Wave Energi Converter (OWEC) Breakwater</i>	24
1. <i>Seawave Slot-Cone Generator (SSG)</i>	28
2. <i>Overtopping Breakwater for Energy Conversion (OBREC)</i>	29
F. Hukum Dasar Model Fisik	30
1. Sifat Sebangun	31
2. Angka Froude	33
G. Analisa Dimensi	35
H. Kerangka Pikir Penelitian	37
I. Hipotesis	38
J. Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian	39

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	50
A. Tempat dan Waktu Penelitian	50
B. Pra Penelitian	50
1. Kolam Gelombang ( <i>Wave Basin</i> )	50
2. Mesin Pembangkit Gelombang ( <i>Wave Generator</i> )	52
3. Karakteristik Gelombang yang Dihasilkan di Laboratorium	52
4. Kalibrasi <i>Wave Probe</i>	53
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data	65
1. Jenis Penelitian	65
2. Sumber Data	66
D. Alat dan Bahan	66
1. Alat	66
2. Bahan	67
E. Variabel Penelitian	67
F. Rancangan Model	68
1. <i>Wave Catcher shore Protection Dual Slope (WCSP-DS)</i>	68
2. Variasi Parameter Model dan Parameter Gelombang	71
3. Skala Model, Dimensi Model dan Rancangan Simulasi	72
G. Prosedur Pengambilan Data	77
H. Bagan Alir Proses Penelitian Laboratorium dan Analisa Data	78
BAB IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN	82
A. Analisis Dimensi	82

B. Data Gelombang Hasil Akuisisi dan Pembahasan	85
1. Fluktuasi Muka Air dan Tinggi Gelombang	85
2. Karakteristik Gelombang di Depan Model	93
3. Presentase Kenaikan Tinggi Gelombang	99
4. Hubungan Presentase Tinggi Gelombang dan Debit (Q) yang masuk ke dalam Reservoir pada Kedalaman Relatif Model (d/z)	103
5. Pengaruh Wave Steepnes ( $H1/L$ ) pada Variasi Kedalaman Relatif Model (d/z) terhadap Nilai Koefisien Deformasi ( $K_{def}$ )	107
6. Pengaruh Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) Pada Variasi Tinggi Relatif Model (d/z) terhadap Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ )	123
7. Pengaruh Kecuraman Gelombang / <i>Wave Steepness</i> ( $H1/L$ ) terhadap Debit <i>Overtopping</i> Tiga Model Penelitian (MTD, MD1 dan MD2)	133
8. Pengaruh Tinggi Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) terhadap Debit <i>Overtopping</i> Relatif ( $q(gH^3)^{0.5}$ )	135
9. Pengaruh Deformasi Gelombang terhadap Debit <i>Overtopping</i>	138
10. Perbandingan Debit <i>Overtopping</i> yang Masuk ke Dalam reservoir pada Variasi Panjang Kolektor Pemusat	140
11. Gabungan Parameter dan Perumusan Hubungan Antar Parameter	144
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	149
A. Kesimpulan	149
B. Saran	150
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	152
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

<b>Nomor</b>		<b>Halaman</b>
Tabel 1.	Karakteristik teknologi WEC berkonsep overtopping (M.A Mustapa, et all , 2017)	26
Tabel 2.	Matriks penelitian terdahulu dan rencana penelitian	40
Tabel 3.	Nilai Kalibrasi Wave Probe (sebelum pengujian)	53
Tabel 4.	Nilai kalibrasi Wave Probe (sesudah pengujian)	54
Tabel 5.	Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 1	54
Tabel 6.	Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 2	55
Tabel 7.	Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 3	56
Tabel 8.	Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 4	57
Tabel 9.	Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 5	58
Tabel 10.	Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 6	59
Tabel 11.	Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 7	60
Tabel 12.	Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 8	61
Tabel 13.	Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 9	62
Tabel 14.	Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 10	63
Tabel 15.	Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 11	64
Tabel 16.	Variasi variabel penelitian	72

Tabel 17. Dimensi model	74
Tabel 18. Rancangan simulasi	76
Tabel 19. Penentuan nilai $\alpha$ , $\beta$ dan $\tau$	82
Tabel 20. Penentuan bilangan tak berdimensi ( $\pi_i$ )	83
Tabel 21. Tinggi gelombang rata-rata pada 11 <i>wave probe</i>	90
Tabel 22. Data tinggi gelombang depan model pada MTD tiap kedalaman	91
Tabel 23. Data tinggi gelombang depan model pada MD1 tiap kedalaman	92
Tabel 24. Data tinggi gelombang depan model pada MD2 tiap kedalaman	93
Tabel 25. Nilai Persentase kenaikan tinggi gelombang (H) pada MTD tiap kedalaman	101
Tabel 26. Nilai Persentase kenaikan tinggi gelombang (H) pada MD1 tiap kedalaman	101
Tabel 27. Nilai Persentase kenaikan tinggi gelombang (H) pada MD2 tiap kedalaman	102
Tabel 28. Nilai koefisien deformasi ( $K_{def}$ ) pada MTD terhadap pengaruh ( $H_1/L$ ), variasi ( $d/z$ ) dan Periode (T) 2 detik	109
Tabel 29. Nilai koefisien deformasi ( $K_{def}$ ) pada MTD terhadap pengaruh ( $H_1/L$ ), variasi ( $d/z$ ) dan Periode (T) 2,3 detik	110
Tabel 30. Nilai koefisien deformasi ( $K_{def}$ ) pada MTD terhadap pengaruh ( $H_1/L$ ), variasi ( $d/z$ ) dan Periode (T) 2,6 detik	110
Tabel 31. Nilai koefisien deformasi ( $K_{def}$ ) pada MD1 terhadap pengaruh ( $H_1/L$ ), variasi ( $d/z$ ) dan Periode (T) 2 detik	114
Tabel 32. Nilai koefisien deformasi ( $K_{def}$ ) pada MD1 terhadap pengaruh ( $H_1/L$ ), variasi ( $d/z$ ) dan Periode (T) 2,3 detik	115

Tabel 33. Nilai koefisien deformasi ( $K_{def}$ ) pada MD1 terhadap pengaruh ( $H_1/L$ ) , variasi ( $d/z$ ) dan Periode (T) 2,6 detik	115
Tabel 34. Nilai koefisien deformasi ( $K_{def}$ ) pada MD2 terhadap pengaruh ( $H_1/L$ ) , variasi ( $d/z$ ) dan Periode (T) 2 detik	119
Tabel 35. Nilai koefisien deformasi ( $K_{def}$ ) pada MD2 terhadap pengaruh ( $H_1/L$ ) , variasi ( $d/z$ ) dan Periode (T) 2,3 detik	119
Tabel 36. Nilai koefisien deformasi ( $K_{def}$ ) pada MD2 terhadap pengaruh ( $H_1/L$ ) , variasi ( $d/z$ ) dan Periode (T) 2,6 detik	120

## DAFTAR GAMBAR

<b>Nomor</b>		<b>Halaman</b>
Gambar 1.	Daerah Penerapan Teori Gelombang fungsi $H/d$ dan $d/L$ (Triatmojo, 1999)	9
Gambar 2.	Gelombang berdiri tidak sempurna	13
Gambar 3.	Deskripsi bidang gelombang berdiri	16
Gambar 4.	Sketsa breaker type (Van der Meer, 2007).	17
Gambar 5.	Konsep dasar penurunan rumus energi gelombang (Thaha,2002)	18
Gambar 6.	Konservasi energi gelombang pada pemusatan gelombang	21
Gambar 7.	Grafik run-up gelombang (Triatmodjo, 1999)	22
Gambar 8.	Skema dari proses <i>overtopping</i> (Brito, Study of, 2010)	23
Gambar 9.	Konsep teknologi <i>Overtopping</i> WEC	25
Gambar 10.	Tapered Chanel (TAPCHAN)	26
Gambar 11.	Wave Dragon	27
Gambar 12.	Seawave Slot-Cone Generator (SSG) (M.A. Mustapa, et all , 2017)	28
Gambar 13.	Innovative rubble mound breakwater with frontal reservoir for energy production (OBREC). (Vicinanza, D., Contestabile, P., Nørgaard, J. H., & Andersen, T, 2014)	29
Gambar 14.	Kerangka pikir penelitian	37
Gambar 15.	Wave Basin yang digunakan untuk uji model	51
Gambar 16.	Pembangkit gelombang	52



Gambar 17.	Grafik Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 1	55
Gambar 18.	Grafik Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 2	56
Gambar 19.	Grafik Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 3	57
Gambar 20.	Grafik Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 4	58
Gambar 21.	Grafik Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 5	59
Gambar 22.	Grafik Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 6	60
Gambar 23.	Grafik Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 7	61
Gambar 24.	Grafik Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 8	62
Gambar 25.	Grafik Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 9	63
Gambar 26.	Grafik Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 10	64
Gambar 27.	Grafik Pengaruh Perubahan Elevasi Terhadap Nilai Konduktivitas pada Wave Probe 11	65
Gambar 28.	Ilustrasi breakwater konvensional	69
Gambar 29.	Ilustrasi OWEC breakwater	69
Gambar 30.	Dimensi dan parameter model WCSP-DS	70
Gambar 31.	Tiga model penelitian WCSP-DS	71
Gambar 32.	Lay out model pada kolam dan posisi probe	76
Gambar 33.	Tampak samping model pada kolam dan posisi wave probe	77

Gambar 34.	Bagan Alir Proses Penelitian Laboratorium dan Analisa Data	81
Gambar 35.	Grafik fluktuasi muka air pada MTD	86
Gambar 36.	Grafik fluktuasi muka pada MD1	86
Gambar 37.	Grafik fluktuasi muka pada MD2	87
Gambar 38.	Grafik profil tinggi gelombang di 11 probe pada MTD	88
Gambar 39.	Grafik profil tinggi gelombang di 11 probe pada MD1	89
Gambar 40.	Grafik profil tinggi gelombang di 11 probe pada MD2	89
Gambar 41.	Grafik pola gelombang di depan model tanpa dinding pemusat pada $d/z= 1,143$ dan $(T) = 2$ detik	94
Gambar 42.	Grafik pola gelombang di depan model tanpa dinding pemusat pada $d/z= 1$ dan $(T) = 2,3$ detik	94
Gambar 43.	Grafik pola gelombang di depan model tanpa dinding pemusat pada $d/z= 0,857$ dan $(T) = 2,6$ detik	95
Gambar 44.	Grafik pola gelombang di depan model dengan 1 dinding pemusat pada $d/z= 1,143$ dan $(T) = 2$ detik	96
Gambar 45.	Grafik pola gelombang di depan model dengan 1 dinding pemusat pada $d/z= 1$ dan $(T) = 2,3$ detik	96
Gambar 46.	Grafik pola gelombang di depan model dengan 1 dinding pemusat pada $d/z= 0,0857$ dan $(T) = 2,6$ detik	97
Gambar 47.	Grafik pola gelombang di depan model dengan 1 dinding pemusat pada $d/z= 1,143$ dan $(T) = 2$ detik	98
Gambar 48.	Grafik pola gelombang di depan model dengan 1 dinding pemusat pada $d/z= 1$ dan $(T) = 2,3$ detik	98
Gambar 49.	Grafik pola gelombang di depan model dengan 1 dinding pemusat pada $d/z= 0,0857$ dan $(T) = 2,6$ detik	99

Gambar 50.	Perbandingan persentase kenaikan tinggi gelombang pada MTD, MD1 dan MD2	102
Gambar 51.	Hubungan Persentase Tinggi Gelombang Rata-Rata dan Nilai $Q_{in}$ Reservoir terhadap Variasi Kedalaman Relatif Mode pada MTD	105
Gambar 52.	Hubungan Persentase Tinggi Gelombang Rata-Rata dan Nilai $Q_{in}$ Reservoir terhadap Variasi Kedalaman Relatif Mode pada MD1.	105
Gambar 53.	Hubungan Persentase Tinggi Gelombang Rata-Rata dan Nilai $Q_{in}$ Reservoir terhadap Variasi Kedalaman Relatif Mode pada MD2	106
Gambar 54.	Hubungan Kecuraman Gelombang ( $H_1/L$ ) terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2$ dtk di MTD	111
Gambar 55.	Hubungan Kecuraman Gelombang ( $H_1/L$ ) terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,3$ dtk di MTD	112
Gambar 56.	Hubungan Kecuraman Gelombang ( $H_1/L$ ) terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,6$ dtk di MTD	112
Gambar 57.	Hubungan Kecuraman Gelombang ( $H_1/L$ ) terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2$ dtk di MD1	116
Gambar 58.	Hubungan Kecuraman Gelombang ( $H_1/L$ ) terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,3$ dtk di MD1	117
Gambar 59.	Hubungan Kecuraman Gelombang ( $H_1/L$ ) terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,6$ dtk di MD1	117
Gambar 60.	Hubungan Kecuraman Gelombang ( $H_1/L$ ) terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2$ dtk di MD2	121
Gambar 61.	Hubungan Kecuraman Gelombang ( $H_1/L$ ) terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,3$ dtk di MD2	121
Gambar 62.	Hubungan Kecuraman Gelombang ( $H_1/L$ ) terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,6$ dtk di MD2	122

Gambar 63.	Hubungan Kecuraman Gelombang ( $H_1/L$ ) terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,6$ dtk di 3 Model.	124
Gambar 64.	Hubungan Tinggi Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) pada MTD terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2$ dtk	125
Gambar 65.	Hubungan Tinggi Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) pada MTD terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,3$ dtk	126
Gambar 66.	Hubungan Tinggi Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) pada MTD terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,6$ dtk	126
Gambar 67.	. Hubungan Tinggi Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) pada MD1 terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2$ dtk	128
Gambar 68.	Hubungan Tinggi Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) pada MD1 terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,3$ dtk	128
Gambar 69.	Hubungan Tinggi Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) pada MD1 terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,6$ dtk	129
Gambar 70.	Hubungan Tinggi Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) pada MD2 terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2$ dtk	131
Gambar 71	Hubungan Tinggi Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) pada MD2 terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,3$ dtk	131
Gambar 72	Hubungan Tinggi Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) pada MD2 terhadap Nilai Koefisien Deformasi Gelombang ( $K_{def}$ ) pada $T= 2,6$ dtk	132
Gambar 73.	Pengaruh Kecuraman Gelombang ( $H1/L$ ) terhadap Debit Overtopping Relatif ( $q/(gH^3)^{0.5}$ ) pada MTD	133
Gambar 74	Pengaruh Kecuraman Gelombang ( $H1/L$ ) terhadap Debit Overtopping Relatif ( $q/(gH^3)^{0.5}$ ) pada MD1	134
Gambar 75.	Pengaruh Kecuraman Gelombang ( $H1/L$ ) terhadap Debit Overtopping Relatif ( $q/(gH^3)^{0.5}$ ) pada MD2	134
Gambar 76.	Pengaruh Tinggi Freeboard Relatif ( $Fb/H1$ ) terhadap Debit Overtopping Relatif ( $q/(gH^3)^{0.5}$ ) pada MTD	136

Gambar 77.	Pengaruh Tinggi Freeboard Relatif ( $F_b/H_1$ ) terhadap Debit Overtopping Relatif ( $q/(gH^3)^{0.5}$ ) pada MD1	137
Gambar 78.	Pengaruh Tinggi Freeboard Relatif ( $F_b/H_1$ ) terhadap Debit Overtopping Relatif ( $q/(gH^3)^{0.5}$ ) pada MD2	137
Gambar 79	Pengaruh koefisien deformasi gelombang terhadap debit Overtopping relatif pada MTD	139
Gambar 80	Pengaruh koefisien deformasi gelombang terhadap debit Overtopping relatif pada MD1	139
Gambar 81.	Pengaruh koefisien deformasi gelombang terhadap debit Overtopping relatif pada MD2	140
Gambar 82	Variasi panjang kolektor pemusat pada $d/z = 0,857$ terhadap besaran debit overtopping $Q$ ( $m^3/dtk$ ) yang masuk ke dalam reservoir	142
Gambar 83	Variasi panjang kolektor pemusat pada $d/z = 1$ terhadap besaran debit overtopping $Q$ ( $m^3/dtk$ ) yang masuk ke dalam reservoir.	143
Gambar 84.	Variasi panjang kolektor pemusat pada $d/z = 1,143$ terhadap besaran debit overtopping $Q$ ( $m^3/dtk$ ) yang masuk ke dalam reservoir	144
Gambar 85	Grafik Parameter Non Demensional $F_b/H_1$ , $H_1/L$ , $K_{def}$ , $l/L$ terhadap ( $q/(gH^3)^{0.5}$ ) pada Gabungan model	146

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang / singkatan	Arti dan Keterangan
$b$	: Lebar kolektor (m)
$C$	: Cepat rambat gelombang (m/s)
$C_r$	: Koefisien refleksi
$d$	: Kedalaman air (m)
$d/z$	: Kedalaman relatif model
$F_r$	: Bilangan Froude
$F_b$	: Freeboard
$F_b/H_1$	: Freeboard relatif
$f$	: Frekuensi gelombang (L/T)
$g$	: Percepatan gravitasi bumi: 9,81 (m/s <sup>2</sup> )
$H_i; H_1$	: Tinggi gelombang (m)
$H_{mak}$	: Tinggi gelombang maksimum (m)
$H_{min}$	: Tinggi gelombang minimum (m)
$H_i$	: Tinggi gelombang datang (m)
$H_1/L$	: Kecuraman gelombang
$H_r$	: Tinggi gelombang refleksi (m)
$l$	: Panjang kolektor (m)
$K_{def}$	: Koefisien deformasi
$L$	: Panjang gelombang (m)
$L_o$	: Panjang gelombang di laut dalam (m)

$L_m$	: Ukuran panjang model (m)
$L_p$	: Ukuran panjang prototipe (m)
$M$	: Model
$MTD$	: Model tanpa kolektor pemusat
$MD1;MD2$	: Model dengan kolektor pemusat
$N$	: Jumlah gelombang ( $t/T$ )
$n$	: skala model
$n_H$	: Skala tinggi gelombang
$n_L$	: Skala panjang gelombang
$n_d$	: Skala kedalaman
$n_t$	: Skala waktu
$n_v$	: Skala kecepatan
$n_v$	: Skala volume
$q, Q$	: Debit overtopping
$T$	: Periode gelombang
$u$	: Kecepatan partikel
$V$	: Volume
$WCSP-DS$	: Wave Catcher Shore Protection Dual Slope
$WP$	: Wave probe
$\eta$	: Tinggi muka air diukur dari SWL
$\rho$	: densitas fluida

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Wilayah perairan memiliki potensi besar sebagai sumber energi baru terbarukan di Indonesia karena sebagian besar wilayah Indonesia berupa perairan, yang luasnya tiga kali lebih besar dari luas daratan. Luas laut sebesar 74% dari luas wilayah negara dengan panjang garis pantai 108.000 km. Posisi Indonesia yang berada di garis khatulistiwa yang dikelilingi oleh dua lautan yaitu Samudra Indonesia dan Samudra Pasifik, mempunyai potensi sumber energi baru terbarukan (EBT) yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara maksimal. Kebutuhan energi saat ini yang semakin meningkat terkait dengan pertumbuhan penduduk dan menipisnya sumber energi tak terbarukan, bahan bakar fosil dan minyak bumi. Pengembangan sumber energi gelombang laut yang melimpah di perairan Indonesia sangat diperlukan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan yang tersedia di laut dan cukup menjanjikan sebagai yang telah berkembang pesat di dunia dalam dua dekade terakhir adalah energi gelombang laut (Falcao,dkk 2010).

Gelombang laut memiliki potensi energi cukup besar yang dapat dimanfaatkan namun energi ini bisa menjadi daya rusak yang besar apabila tidak dikendalikan. Untuk mengatasi daya rusak dibuatlah



*breakwater* yang berfungsi sebagai penghancur energi gelombang untuk melindungi pantai, sementara energi yang terdapat pada gelombang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Penggabungan *Wave Energy Converter* (WEC) pada suatu struktur pantai merupakan solusi yang tepat untuk kelayakan ekonomi yang lebih baik dalam mengurangi biaya yang tinggi (Vicinanza, 2014) dan (Puspita, dkk, 2020).

Energi gelombang di Indonesia jika dimanfaatkan secara optimal dapat menghasilkan daya listrik lebih dari dua Tera Watt (Lubis A, 2007). Sangat dibutuhkan inovasi dan rekayasa teknik menjadikan *breakwater* dual fungsi, selain dimanfaatkan sebagai pelindung pantai juga bisa dimanfaatkan sebagai penangkap energi gelombang.

*Wave Catcher Shore Protection Dual Slope* (WCSP-DS) merupakan model penangkap gelombang yang sekaligus dapat sebagai peredam gelombang. Konsep WCSP-DS sama dengan *Wave Energy Converter* (WEC) yang memanfaatkan energi gelombang sebagai sumber energi listrik. Model WCSP-DS ini mempunyai gabungan dua dinding yaitu dinding sisi tegak dan dinding sisi miring dengan sudut kemiringan  $45^\circ$ . Pada bagian puncak WCSP-DS terdapat reservoir yang berfungsi untuk menampung limpasan gelombang (*overtopping*) yang melewati puncak bangunan. Elevasi muka air yang tertampung pada reservoir akan lebih tinggi dari muka air laut. Perletakan WCSP – DS dengan model zigzag diharapkan meningkatkan tinggi gelombang di depan model sehingga meningkatkan jumlah limpasan gelombang yang masuk kedalam

reservoir. Nilai efisiensi model dapat ditingkatkan dengan rekayasa deformasi gelombang (Puspita,dkk 2020).

Berdasarkan penelitian sebelumnya seperti Van der Meer (1995), Lee & Lee (2013), Thaha dkk (2013), Puspita, dkk (2014), Thaha, dkk (2015) dan Puspita, dkk (2020) serta hukum konservasi energi, pemasangan dinding pemusat pada WCSP-DS, dapat memfokuskan gelombang dan meningkatkan tinggi gelombang, dan akan meningkatkan efisiensi penangkapan energi gelombang. Limpasan gelombang (*overtopping*) yang ditampung pada reservoir, dimaksudkan untuk merubah gerakan gelombang yang tidak konstan menjadi energi statis yang relatif konstan, sehingga lebih mudah digunakan dengan memanfaatkan perbedaan ketinggian reservoir dengan muka air laut untuk memutar turbin dan menghasilkan daya listrik.

Untuk itu, penelitian tentang rekayasa pemusatan energi gelombang WCSP-DS model zigzag sangat urgensi untuk dilakukan. Dalam penelitian ini dilakukan dengan uji laboratorium 3-D, dengan menggunakan gelombang reguler untuk mendemonstrasikan *overtopping* gelombang dalam berbagai kondisi gelombang.

## **B. Rumusan Masalah**

Sasaran yang ingin dicapai dalam penelitian ini mendapatkan tangkapan energi gelombang semakin besar melalui debit *overtopping* dan tinggi *freeboard*. Oleh karena itu, rekayasa yang perlu dilakukan adalah

meningkatkan tinggi gelombang di depan model yang selanjutnya disebut gelombang deformasi, sehingga diharapkan debit *overtopping* akan semakin meningkat. Ada tiga proses yang diperkirakan berpengaruh dalam meningkatkan tinggi gelombang deformasi yaitu; proses *shoaling*, proses pemusatan dan proses refleksi gelombang. Ketiga hal inilah yang akan dirumuskan untuk meningkatkan debit *overtopping*. Selanjutnya disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana meningkatkan tinggi gelombang deformasi di depan model struktur WCSP-DS melalui rekayasa deformasi gelombang?
2. Bagaimana meningkatkan debit *overtopping* WCSP-DS dengan pengaturan tata letak model dan penambahan kolektor pemusat pada struktur WCSP-DS?
3. Seberapa besar kontribusi deformasi gelombang yang merupakan pengaruh dari proses *shoaling*, proses pemusatan dan proses refleksi yang terjadi pada WCSP-DS model zigzag terhadap besaran debit *overtopping* yang bisa ditangkap?
4. Bagaimana persamaan hubungan debit *overtopping* ( $q$ ) pada WCSP-DS model zigzag terhadap parameter koefisien deformasi gelombang ( $K_{df}$ ), kecuraman gelombang ( $H_i/L$ ), *freeboard* relatif ( $F_b/H_i$ ) dan panjang relatif kolektor pemusat ( $l/L$ ).

### C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan penelitian dalam tulisan ini adalah :

1. Menghasilkan peningkatan tinggi gelombang deformasi di depan model struktur WCSP-DS melalui rekayasa deformasi gelombang;
2. Menemukan peningkatan debit *overtopping* WCSP-DS dengan pengaturan tata letak model struktur WCSP-DS?
3. Mendapatkan pengaruh kontribusi deformasi gelombang yang terjadi pada WCSP-DS model zigzag terhadap besaran debit *overtopping* yang dapat ditangkap;
4. Menemukan persamaan empiris hubungan debit *overtopping* ( $q$ ) pada WCSP-DS model zigzag terhadap parameter koefisien deformasi gelombang ( $K_{df}$ ), kecuraman gelombang ( $H_i/L$ ), *freeboard* relatif ( $F_b/H_i$ ) dan panjang relatif kolektor pemusat ( $l/L$ )

### D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Diperolehnya alternatif bangunan pelindung pantai yang berfungsi ganda yaitu sebagai pelindung pantai dan penangkap energi gelombang yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik;
2. Diperolehnya pedoman dan pendekatan teknis perencanaan bangunan WCSP – DS untuk keperluan aplikasi praktis dilapangan;
3. Tersedianya referensi dalam pengembangan *Wave Catcher Shore*

*Protection Dual Slope* (WCSP-DS) yang dapat digunakan sebagai pelindung pantai sekaligus penangkap energi gelombang di Indonesia;

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

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Fluida yang digunakan adalah air tawar, sehingga salinitas dan pengaruh mineral air tidak diperhitungkan;
2. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang teratur (*regular wave*);
3. Deformasi gelombang yang dikaji adalah *wave shoaling*, *wave focusing* dan *wave refleksi*;
4. Sudut datang gelombang tegak lurus model, sehingga deformasi gelombang akibat proses refraksi dan difraksi tidak dikaji;
5. Stabilitas guling dan geser model pelindung pantai tidak dikaji;
6. Kondisi daya dukung tanah tidak dikaji dan model diasumsikan tidak mengalami penurunan; dan
7. Konversi energi yang dikaji adalah konversi tahap pertama sehingga kajian terhadap spesifikasi dan jenis turbin tidak pada penelitian ini.

## F. Kebaruan/*Novelty*

Kebaruan atau *novelty* yang dari hasil penelitian ini adalah perletakan bentuk zigzag dari WCSP-DS dan pemusatan energi gelombang, untuk meningkatkan debit *overtopping* melalui peningkatan tinggi gelombang deformasi yang selama ini belum dikaji. Melalui penelitian ini diharapkan besaran energi gelombang yang ditangkap WCSP-DS dapat ditingkatkan, debit *overtopping* diukur melalui besaran volume air yang masuk persatuan waktu kedalam reservoir. Output *novelty* adalah persamaan empiris sederhana yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan teknis di lapangan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Gelombang

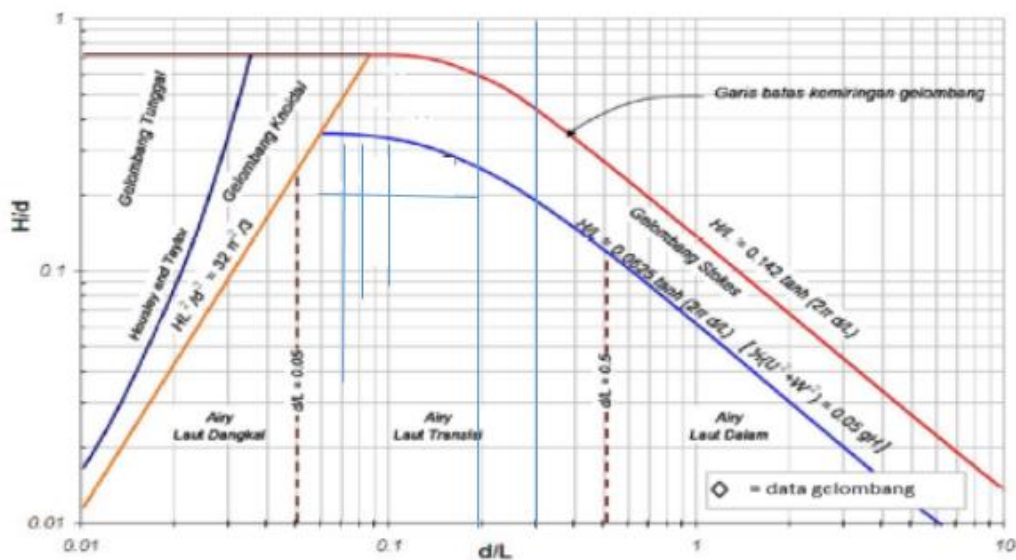
##### 1. Teori Dasar Gelombang

Bentuk gelombang di alam sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidaklinieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random. Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan gelombang alam. Untuk menjelaskan fenomena gelombang laut para ilmuwan telah mengembangkan beberapa teori gelombang, antara lain sebagai berikut:

- a. Teori gelombang linier (*Airy Wave Theory, Small-Amplitude Wave Theory*)
1. Teori gelombang non linier (*Finite-Amplitude Wave Theories*), diantaranya:
  - a. Gelombang *Stokes* orde 2, orde 3, orde 4 dan seterusnya.
  - b. Gelombang *Cnoidal*
  - c. Gelombang *Dean Stream Function*
  - d. 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 amplitude waves*). Teori yang paling sederhana dan mudah dipahami adalah teori gelombang linier atau teori gelombang amplitude kecil, yang pertama kali dikemukakan oleh *Airy* tahun 1845, yang selanjutnya dikenal dengan teori gelombang *Airy*. Didalam teori gelombang *Airy* dianggap bahwa tinggi gelombang adalah sangat kecil terhadap panjangnya atau kedalamannya. Untuk menentukan teori yang paling sesuai dengan permasalahan yang dihadapi maka digunakan batasan pemakaian dari masing-masing teori gelombang. Dalam penerapannya teori gelombang didasarkan pada nilai perbandingan  $H/d$  dan  $d/L$  (Triatmodjo, 1999). Adapun pedoman penentuan pemakaian teori gelombang dapat dilihat pada Gambar. 1



Gambar 1. Daerah Penerapan Teori Gelombang fungsi  $H/d$  dan  $d/L$  (Triatmojo, B 1999)



## 2. Karakteristik Gelombang

Parameter penting untuk menjelaskan gelombang air adalah panjang gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman air dimana gelombang tersebut menjalar. Parameter lain dari gelombang seperti kecepatan dan percepatan dapat diturunkan dari ketiga parameter pokok di atas. Adapun pengertian dari parameter gelombang yang disebutkan di atas adalah, Bambang Triadmodjo (1999) :

- a. Tinggi gelombang ( $H$ ) adalah jarak vertikal antara puncak/titik tertinggi gelombang dengan lembah atau titik terendah gelombang. Jarak antara muka air tenang dengan puncak gelombang dan dari air tenang ke lembah gelombang dinamakan amplitudo ( $A$ );
- b. Panjang gelombang ( $L$ ) adalah jarak horizontal antara dua puncak atau titik tertinggi gelombang yang berurutan, bisa juga dikatakan sebagai jarak antara dua lembah gelombang;
- c. Periode gelombang ( $T$ ) adalah waktu yang dibutuhkan oleh dua puncak/lembah gelombang yang berurutan melewati suatu titik tertentu; dan
- d. 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;

Dengan menggunakan panjang gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman air, maka parameter gelombang lainnya seperti berikut dapat ditentukan:

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

### 3. Klasifikasi Gelombang

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada daya pembangkitnya. Berdasarkan nilai pendekatan, persamaan untuk laut dalam, laut dangkal dan laut antara (transisi), maka perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang ( $d/L$ ), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu perairan laut dalam, perairan laut transisi dan perairan laut dangkal. Perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang ( $d/L$ ), dinamakan kedalaman relatif (*relatif depth*).

Apabila nilai  $d/L$  lebih kecil dari  $1/25$  maka dinamakan gelombang laut dangkal (*shallow water waves*) atau gelombang panjang (*long waves*). Jika nilai dari  $d/L$  lebih besar  $1/2$  disebut gelombang laut dalam (*deep water waves*) atau gelombang pendek (*short waves*). Sedangkan untuk nilai  $d/L$  antara  $1/25$  sampai  $1/2$  dinamakan gelombang laut transisi (*intermediate depth waves*), *Shore Protection Manual Vol I, 1984*.

Penelitian ini menggunakan teori gelombang amplitudo kecil (Airy) untuk gelombang laut transisi sesuai dengan kondisi penelitian yang ada.

Teori gelombang amplitudo kecil diturunkan dari Persamaan Laplace dan pada kondisi batas permukaan diperoleh dari persamaan Bernoulli dengan anggapan bahwa nilai  $y$  di permukaan adalah sama dengan di muka air diam, sehingga  $y = 0$  adalah kira-kira sama dengan di  $y = \eta$ , sehingga diperoleh kecepatan rambat gelombang dan panjang ( $C$  dan  $L$ ) pada teori amplitudo kecil yaitu :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (1)$$

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

Panjang gelombang laut dalam ( $L_0$ ) adalah:

$$L_0 = 1,56gT^2 \quad (3)$$

Untuk gelombang dilaut transisi, yaitu  $1/20 < d/L < 1/2$ , cepat rambat dan panjang gelombang dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan (2). Apabila persamaan (1) dibagi dengan  $C_0 = 1,56 T$  akan didapat:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{L}{L_0} = \tanh \left( \frac{2\pi d}{L} \right) \quad (4)$$

Pada gelombang amplitudo kecil, elevasi untuk gelombang datang didefinisikan sebagai berikut :

$$\eta = a_1 \cos(kx - \sigma t) \quad (5)$$

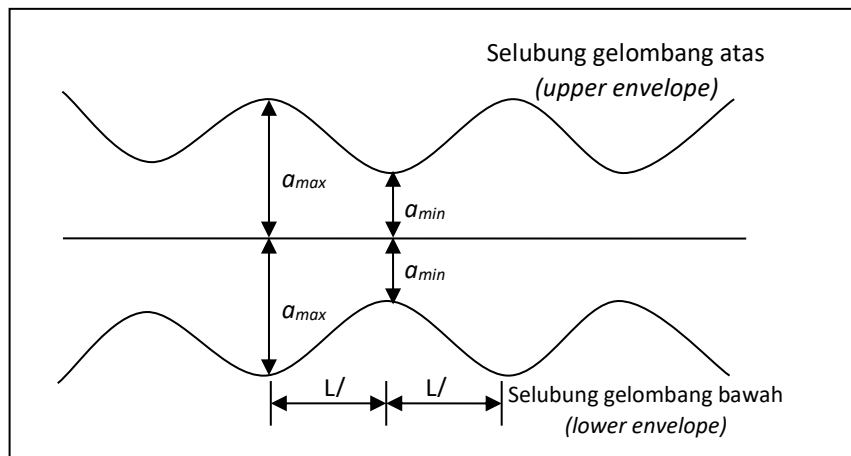
Apabila 2 buah gelombang dengan periode yang sama tetapi berlawanan arah dengan amplitudo  $a_1$  dan  $a_2$ , dengan  $a_1 > a_2$ , maka gabungan dari profil gelombang tersebut adalah:

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = a_1 \cos(kx - \sigma t) + a_2 \cos(kx - \sigma t)$$

$$\eta = (a_1 + a_2)\cos kx\cos\sigma t + (a_1 - a_2)\sin kx\sin\sigma t \quad (6)$$

Persamaan 6 adalah persamaan elevasi muka air untuk gelombang dengan refleksi tidak sempurna dimana  $a_1$  adalah amplitudo gelombang datang dengan  $a_2$  adalah gelombang refleksi. Amplitudo gelombang maksimum  $a_{max}$  dan amplitudo gelombang minimum  $a_{min}$  diberikan oleh persamaan :

$$a_{max} = a_1 + a_2 \text{ dan } a_{min} = a_1 - a_2 \quad (7)$$



Gambar 2. Gelombang Berdiri Tidak Sempurna (Paotonan, 2006)

Sehingga diperoleh persamaan :

$$H_i = a_{max} + a_{min} = 2a_1$$

$$H_r = a_{max} - a_{min} = 2a_2$$

$$H_i + H_r = 2a_{max} \text{ dan } H_i - H_r = 2a_{min} \quad (8)$$

Tinggi gelombang datang adalah :

$$H_i = \frac{2a_{max} + 2a_{min}}{2} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (9)$$

Tinggi gelombang refleksi adalah :

$$H_r = \frac{2a_{\max} - 2a_{\min}}{2} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2} \quad (10)$$

Tinggi gelombang datang  $H_i$  dan refleksi  $H_r$  pada model ditentukan berdasarkan tinggi gelombang maksimum  $H_{\max}$  dan minimum  $H_{\min}$  dari hasil pengukuran tinggi gelombang pada beberapa titik.

## B. Deformasi gelombang

Dalam perambatannya gelombang menjalar dari laut dalam ke perairan dangkal/pantai dimana pelindung pantai tersebut akan dibangun, gelombang tersebut mengalami perubahan kecepatan, tinggi dan mungkin arahnya. Parameter gelombang yang dianggap tidak mengalami perubahan sepanjang perambatannya adalah periode gelombang. Penyebab utama perubahan karakteristik gelombang tersebut adalah kedalaman dan adanya rintangan seperti struktur pantai. Deformasi gelombang dapat berupa refraksi, difraksi, refleksi dan gelombang pecah (*breaking*).

### 1. Fenomena *Shoaling*

Fenomena *shoaling* atau pendangkalan merupakan perubahan ketinggian gelombang seiring dengan perubahan kedalaman laut. Tinggi gelombang yang menuju kearah pantai akan semakin bertambah dan panjang gelombangnya semakin berkurang, mengakibatkan gelombang menjadi lebih curam dan akhirnya pecah.

Untuk menghitung koefisien *shoaling* menggunakan rumus:

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n_1 L_1}} \quad (11)$$

Untuk nilai  $n$  dicari pada lampiran dalam (Triadmodjo, B, 1999) berdasarkan nilai  $d/L_0$ .

## 2. Gelombang refleksi

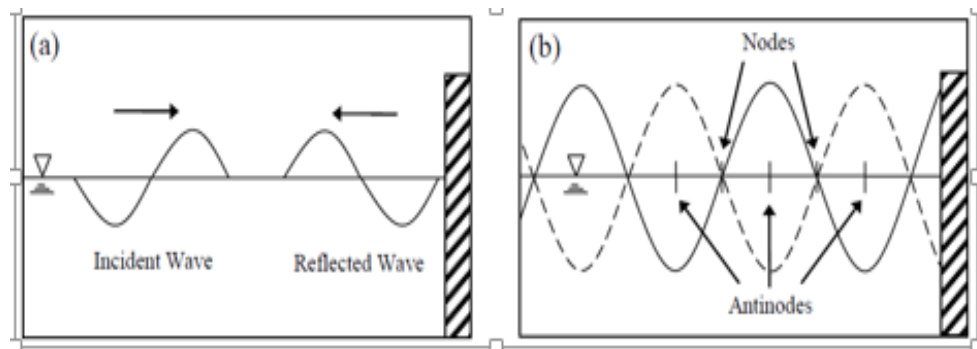
Gelombang refleksi merupakan salah satu bentuk deformasi gelombang akibat gelombang datang yang menghantam suatu struktur pantai dan menyebabkan terjadinya gelombang pantul atau gelombang refleksi. Besarnya gelombang refleksi disebut dengan tinggi gelombang refleksi ( $H_r$ ).

Parameter dasar untuk mengukur karakteristik reflektif dari suatu struktur pantai disebut koefisien refleksi ( $K_r$ ), didefinisikan sebagai rasio dari ketinggian gelombang yang dipantulkan,  $H_r$ , dengan ketinggian gelombang datang,  $H_i$ . (Triadmodjo, B. 1999)

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} \quad (12)$$

Bidang gelombang berdiri terbentuk oleh superposisi gelombang insiden dan gelombang yang dipantulkan dari penghalang vertikal reflektif sepenuhnya. Gelombang berjalan berlawanan arah dan memiliki frekuensi yang sama, memberikan persepsi gelombang stasioner, berosilasi pada ketinggian air rata-rata di semua posisi non-nodal. Pada node, ketinggian gelombang tetap konstan dan tidak berubah akibat gelombang yang lewat. Antinode adalah tempat pertemuan puncak dan palung dari setiap gelombang, menghadirkan perubahan ketinggian gelombang yang terbesar

(Hornack, 2011).



Gambar 3. Deskripsi Bidang Gelombang Berdiri (Hornack, 2011)

### 3. Koefisien Deformasi

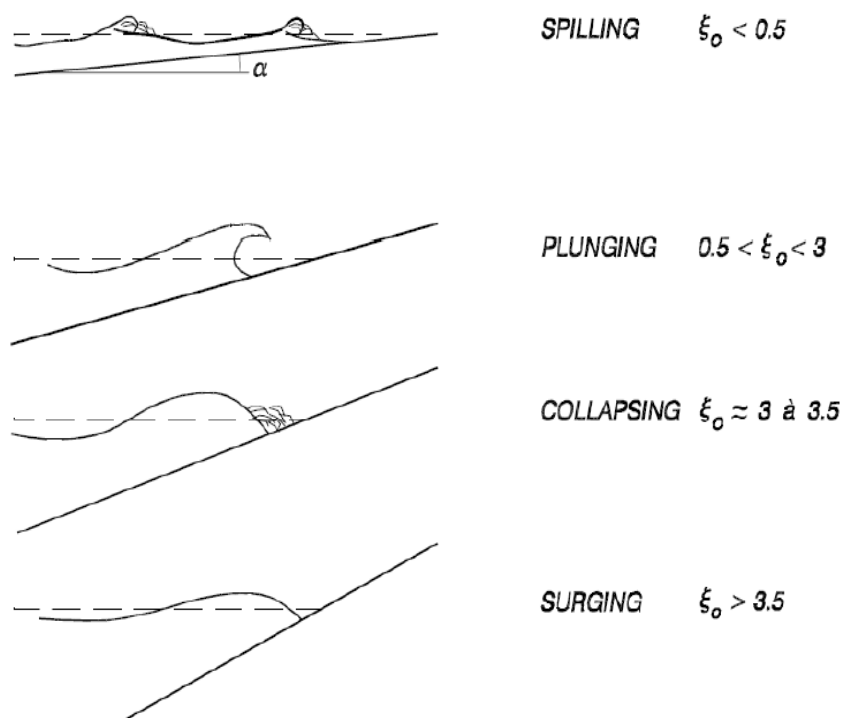
Untuk pengembangan rumusan deformasi gelombang pada penelitian ini diperkenalkan suatu koefisien yang disebut Koefisien deformasi gelombang ( $K_{df}$ ), yaitu sebuah koefisien yang merupakan gabungan koefisien shaling ( $K_s$ ), Koefisien refleksi ( $K_r$ ) dan koefisien pemusatan gelombang ( $K_f$ ) dan akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian konservasi energi gelombang.

### 4. Gelombang pecah

Kombinasi kemiringan struktur dan kecuraman gelombang memberikan jenis gelombang pecah tertentu, lihat Gambar 3. Gelombang pecah dinyatakan dalam suatu parameter yang disebut dengan breaker parameter ( $\xi$ ). Breaker parameter dirumuskan seperti pada persamaan

$$\xi = \frac{\tan \theta}{\sqrt{\frac{H}{Lo}}} \quad (13)$$

Untuk  $\xi > 3.5$  gelombang dianggap tidak pecah (surgung) atau gelombang melonjak, meskipun mungkin masih ada beberapa yang pecah, dan untuk  $\xi < 3$  gelombang pecah (plunging). Transisi antara gelombang pecah tipe plunging dan gelombang pecah tipe surgung dikenal sebagai collapsing.



Gambar 4. Sketsa Breaker Type

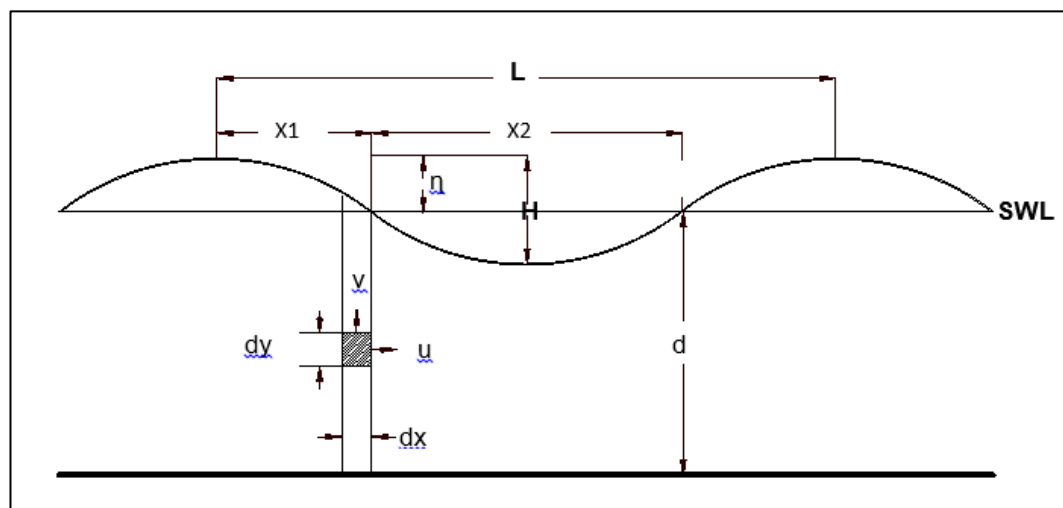
### C. Energi dan Konservasi Energi Gelombang

#### 1. Energi dan Daya Gelombang.

Gelombang yang bergerak selain menimbulkan pergerakan partikel, juga dapat memberikan energi gelombang. Energi gelombang terdiri dari dua jenis, yaitu energi kinetik dan energi potensial gelombang. Energi



kinetik terjadi karena adanya kecepatan partikel akibat gerak gelombang. Sedangkan energi potensial terjadi karena adanya perpindahan muka air karena gerakan gelombang. Untuk teori gelombang Airy, jika energi potensial ditetapkan relatif terhadap muka air diam dan semua gelombang menjalar dalam arah yang sama, maka komponen energi potensial dan kinetik adalah sama. Untuk menurunkan persamaan energi gelombang, dipandang suatu elemen berukuran  $dx$ ,  $dy$  dan  $1$  seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Konsep Dasar Penurunan Rumus Energi Gelombang (Thaha,2002)

Dari Gambar 5. untuk satu elemen kecil, maka besar energi kinetik adalah:

$$dE_k = \frac{1}{2} dm V^2$$

$$= \frac{1}{2} \rho dx dy (u^2 + v^2)$$

$$E_k = \int_0^L \int_{0-d}^0 \frac{1}{2} \rho (u^2 + v^2) dy dx \quad (14)$$

$$E_p = \int \rho g (d + \eta) \left( \frac{d + \eta}{2} \right) dx - \rho g L d \left( \frac{d}{2} \right) \quad (15)$$

$$E = E_k + E_p \quad (16)$$

Untuk teori gelombang Airy, penyelesaian persamaan (14), (15) dan (16) menghasilkan energi gelombang masing-masing:

$$E_k = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (17)$$

$$E_p = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (18)$$

Dengan demikian energi total dalam satu panjang gelombang persatuan lebar gelombang adalah:

$$E_t = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (19)$$

Sedangkan energi rata-rata persatuan luas sebesar :

$$E = \frac{E_t}{L} = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (20)$$

dimana :

$E_k$  : energi kinetik persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)

$E_p$  : energi potensial persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)

$E_t$  : energi total persatuan lebar panjang gelombang (joule/m)

$E$  : energi rata-rata gelombang persatuan luas (joule/m<sup>2</sup>)

$H$  : tinggi gelombang (m)

- $\rho$  : rapat massa air ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $g$  : percepatan gravitasi ( $\text{m/dt}^2$ )

Daya gelombang ( $P$ ) adalah energi gelombang persatuan waktu pada arah penjalaran gelombang.

$$P = \frac{nE}{T} \quad (21)$$

Dimana,  $n$  adalah faktor energi gelombang yang bernilai:

$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (22)$$

Daya yang tersedia pada reservoir adalah:

$$D = Q\Delta h\gamma \quad (23)$$

dimana:

$Q$  = debit *overtopping* ( $\text{m}^3$ )

$\Delta h$  = beda tinggi air dalam reservoir dengan SWL (m)

$\gamma$  = berat jenis air ( $\text{Kg/m}^3$ )

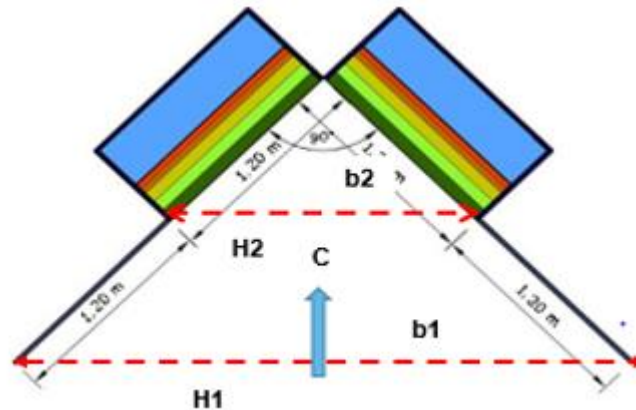
## 2. Konservasi Energi Gelombang

Gelombang yang merambat memasuki daerah yang menyempit, maka energinya akan kekal pada 2 titik yang ditinjau pada Gambar 6 menyajikan kekekalan energi gelombang dalam saluran yang menyempit.

$$(EnC)_1 b_1 = (EnC)_2 b_2 \quad (24)$$

Tinggi gelombang di  $H_2$  dapat diselesaikan dengan:

$$H_2 = H_1 K_s \sqrt{b_1/b_2} \quad (25)$$



Gambar 6. Konservasi Energi Gelombang pada Pemusatan Gelombang

Dimana:

$C = L/T =$  Kecepatan rambat gelombang (m/s);

$K_s =$  Koefisien Shoaling;

$H_1 =$  tinggi gelombang di titik 1,

$H_2 =$  tinggi gelombang di titik 2;

$b_1 =$  lebar dinding fokus di titik 1,

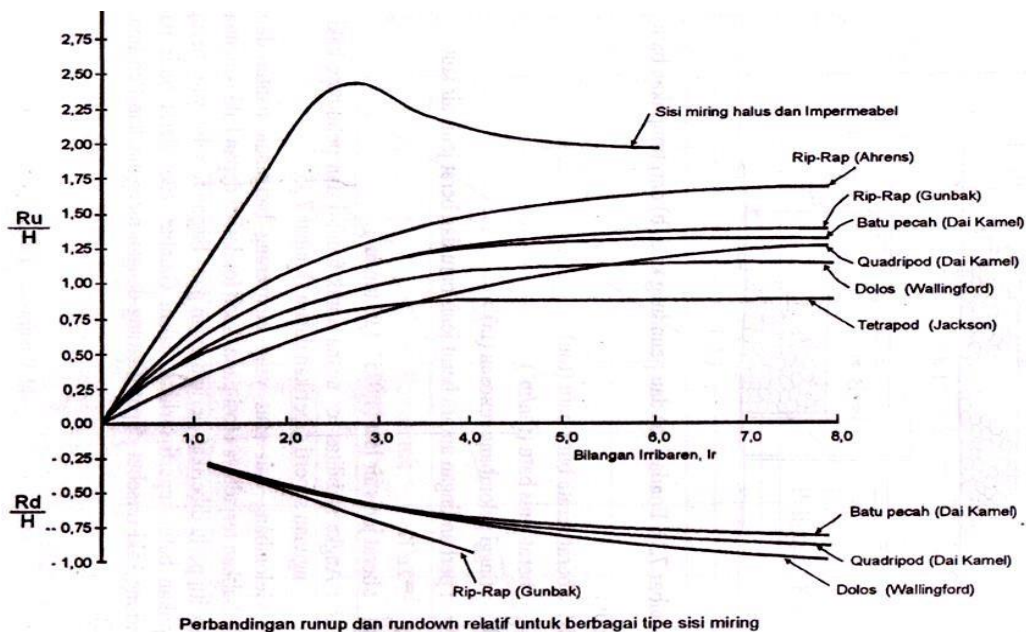
$b_2 =$  lebar dinding fokus di titik 2

#### D. Overtopping Gelombang

*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*. Grafik *run-up* gelombang dapat dilihat pada Gambar 7.

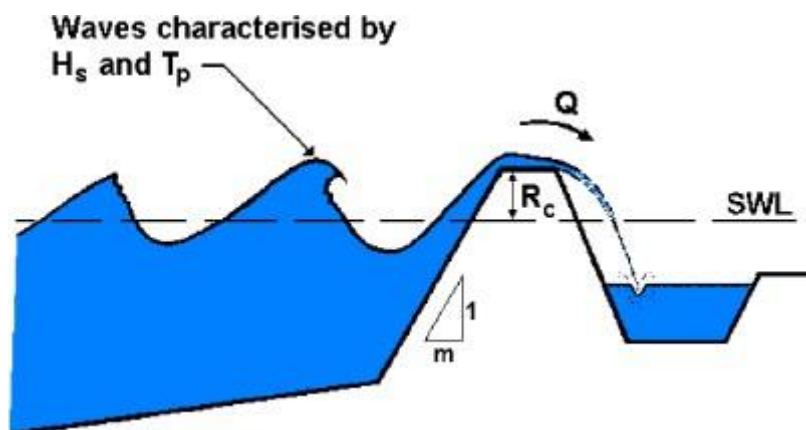
Debit *overtopping* gelombang bervariasi hingga beberapa kali lipat dari satu gelombang ke yang lain dalam kondisi gelombang acak. *Overtopping* gelombang tidak hanya tergantung pada parameter gelombang seperti tinggi gelombang, periode gelombang, panjang gelombang, permukaan air tetapi juga pada geometris tata letak dan bahan sifat struktur (Soliman, 2003 dalam Mozahedy, 2010).



Gambar 7. Grafik *Run-up* Gelombang (Triatmodjo, B. 1999)

Banyak peneliti telah berusaha untuk mengembangkan metode dan formula untuk memprediksi debit *overtopping* struktur pantai pada kondisi tertentu. Rumus prediksi ini sangat beragam dan dalam variasi hasil yang luas. Adapun sketsa dan gambar mengenai *overtopping* gelombang dapat dilihat pada Gambar 8. Pada proses *overtopping* gelombang, selain

dipengaruhi oleh karakteristik gelombang seperti tinggi gelombang ( $H$ ) dan periode gelombang ( $T$ ), juga dipengaruhi oleh karakteristik struktur seperti tinggi *freeboard* (yaitu ketinggian puncak bangunan/struktur terhadap muka air) dan kemiringan struktur.



Gambar 8. Skema dari Proses *Overtopping* (Brito, dkk, 2010)

Secara umum, debit *overtopping* rata-rata diekspresikan oleh dua tipe formula pada (26) dan (27), dimana  $a$  dan  $b$  adalah koefisien yang berubah berdasarkan geometry struktur.  $Q$  dan  $R$  adalah parameter tak berdimensi dari debit *overtopping* dan tinggi *freeboard*.

$$Q = a \exp(-b R) \quad (26)$$

$$Q = a R^{-b} \quad (27)$$

Sebagian besar metode dan prediksi untuk rumus jumlah *overtopping* rata-rata yang berasal dari pemodelan numerik dan fisik pada fasilitas laboratorium, mengarah pada pengembangan hubungan empiris antara

jumlah debit *overtopping* dengan parameter gelombang, geometri dan sifat struktur atau parameter struktur.

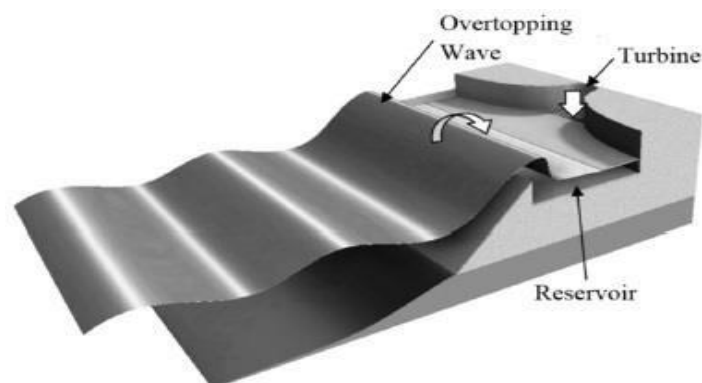
Debit *overtopping* yang melimpas pada struktur miring selain dipengaruhi oleh ketinggian gelombang dan kondisi struktur juga sangat dipengaruhi oleh kondisi pembentukan gelombang atau tipe bentukan gelombang yang melalui atau merayap naik melalui bidang miring tersebut. Tipe bentukan gelombang yang selanjutnya disebut dengan *breaker type* yang terjadi ketika menghempas atau melalui struktur atau bidang miring dapat berupa *Spilling breaker*, *Plunging breaker*, dan *Surgings breaker*. Diantara ketiga tipe gelombang tersebut yang diprediksi dapat memberikan limpasan *overtopping* yang lebih besar dibanding dua tipe lainnya adalah tipe *surgings*. Hal ini karena tipe *surgings* dimana gelombang dianggap terlambat pecah, walaupun tetap akan ada yang pecah.

#### **E. *Overtopping Wave Energy Converter (OWEC) Breakwater***

Pemecah gelombang konsep WEC (pemecah gelombang OWEC) adalah konsep struktur pantai yang merupakan gabungan antara pemecah gelombang dan pengubah energi gelombang limpasan. *OWEC breakwater* ini merupakan struktur *breakwater* yang multi fungsi, selain sebagai pelindung pantai juga sebagai penangkap energi gelombang. *OWEC breakwater* memiliki reservoir di bagian belakang puncak pemecah gelombang yang berfungsi untuk menangkap dan mengumpulkan limpasan gelombang yang meluap melalui bagian atas pemecah gelombang. Melalui

konsep OWEC *breakwater* ini dapat merubah energi gelombang yang tidak konstan menjadi energi yang lebih statis dengan adanya reservoir di bagian belakang.

Prinsip kerja OWEC *breakwater* ini adalah dengan membawa gelombang naik ke dalam reservoir melalui mekanisme *overtopping* gelombang, dimana dari reservoir yang terletak pada puncak converter yang letaknya lebih tinggi dari muka air laut, energi potensial dikonversikan menjadi energi mekanik melalui turbin. Konsep *overtopping wave energy converter* disajikan dalam gambar 9.



Gambar 9. Konsep Teknologi *Overtopping* WEC

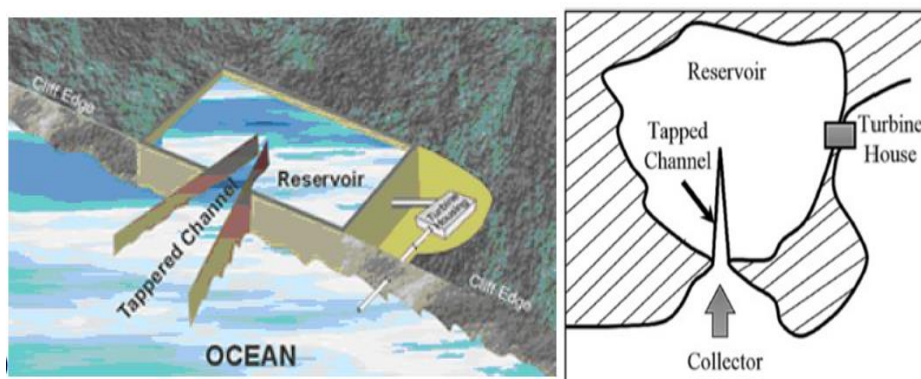
Gelombang pecah terjadi ketika gelombang bergerak pada kedalaman yang berangsur-angsur berkurang atau gelombang yang datang menghempas bidang miring. Efek dari gelombang pecah digunakan untuk menaikkan muka air gelombang kedalam reservoir yang berada lebih tinggi dari muka air laut. Secara umum, teknologi *overtopping* terdiri dari dua tipe, tipe tenggelam dan tipe terapung. Beberapa tipe temuan teknologi WEC yang didasarkan pada konsep *overtopping* disajikan dalam Tabel 1.



Tabel 1. Karakteristik Teknologi WEC Berkonsep *Overtopping* (M.A. Mustapa, dkk, 2017)

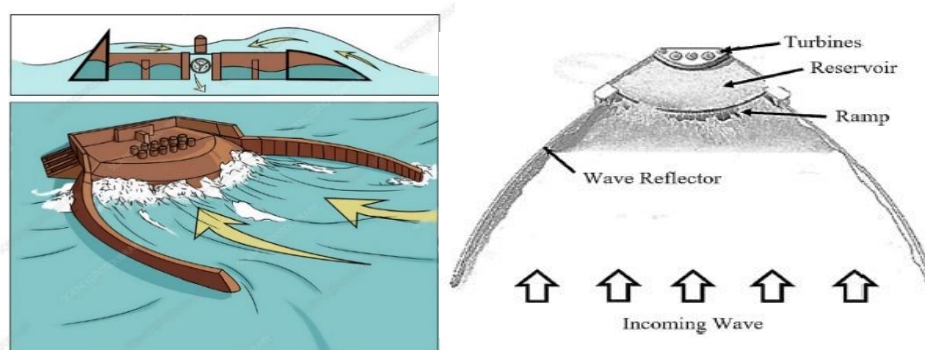
Wave energi device	Type	Water deth (m)	Mean wave power (Kw/m)	Output power (Kw)
Wave Dragon	Floating	20 -40	60	625 - 940
TAPCHAN	fixed	20	20 - 30	350
Sea Slot-Cone Generator (SSG)	Fixed	6 -18	14 - 16	49 - 62

*Tapered Chanel* atau yang biasa dikenal dengan TAPCHAN merupakan temuan pertama WEC yang berkonsep *overtopping*. Tipe tenggelam *overtopping* WEC ini pertama kali dikembangkan di Norwegia pada tahun 1980. TAPCHAN menggunakan konsep yang mirip dengan *hydroelectric power* tradisional, dimana gelombang laut dipusatkan naik kedalam reservoir melalui mekanisme *overtopping* dan dari reservoir yang letaknya lebih tinggi dari muka air laut dirilis kembali kelaut melalui rumah turbin, seperti yang terlihat pada ilustrasi Gambar 10. Tipe ini pertama kali dikembangkan di Norwegia pada tahun 1980.



Gambar 10. Tapered Chanel (TAPCHAN)

*Wave Dragon* merupakan temuan yang berkonsep *overtopping* WEC dengan tipe terapung. Bentuk fisik dari model ini memberikan kemampuan tambahan bukan hanya untuk converter energi, tetapi juga sebagai peredam gelombang. *Wave dragon* ini dibangun menggunakan 3 komponen utama, terdiri dari sepasang *reflector*, lereng miring, dan reservoir. Konsep yang digunakan untuk menaikkan gelombang mirip dengan TAPCHAN, tapi pada *wave dragon*, sepasang *reflector* digunakan untuk memusatkan gelombang. Ilustrasi gambar *wave dragon* disajikan dalam Gambar 11.



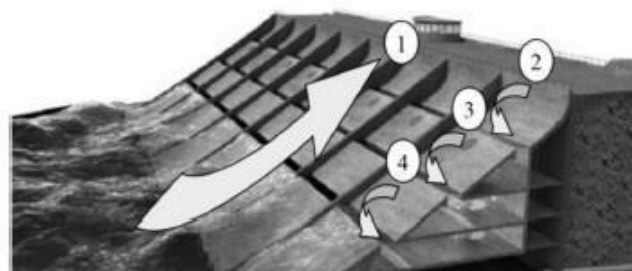
Gambar 11. *Wave Dragon*

Pada konsep penggabungan *overtopping* WEC-breakwater, gelombang pecah tipe surging akan dimanfaatkan. Gelombang tersebut akan naik dan melimpas (*overtopping*) kemudian dikumpulkan pada reservoir dan digunakan kembali untuk membangkitkan listrik menggunakan hidro-turbin *low head*. Dengan kata lain, konsep penggabungan ini, dapat meningkatkan secara optimal kemampuan breakwater konvensional satu fungsi menjadi dual fungsi yaitu, sebagai pelindung pantai dan sekaligus teknologi converter energi gelombang.

### 1. *Seawave Slot-Cone Generator (SSG)*

*Seawave Slot-Cone Generator* masuk dalam klasifikasi konsep teknologi *overtopping wave energy converter*. Penggabungan yang dilakukan berupa breakwater tipe tenggelam dan *wave energy converter* memungkinkan SSG untuk menyuguhkan struktur dual fungsi. Fokus yang diberikan pada penemuan ini lebih kepada pemecah gelombang dari pada converter energi. Metode yang digunakan untuk mengumpulkan gelombang datang dan mengisi reservoir didasarkan pada konsep air yang menyusut, seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Penggunaan reservoir bertingkat membantu SSG untuk menyimpan energi potensial berbeda tanpa merubah originalitas dari energi yang terbawa. Air yang telah terkumpulkan kemudian digunakan untuk menjalankan turbin bertingkat untuk produksi listrik. Efisiensi total yang didapatkan reservoir bertingkat lebih tinggi dari pada reservoir satu tingkat saja.

SSG beroperasi pada kondisi gelombang tinggi dan sedang. Penelitian model SSG 2D telah mengungkapkan bahwa desain SSG mampu mendapatkan efisiensi hidraulis sebesar 37 %, yang diukur dari volume air yang masuk pada reservoir



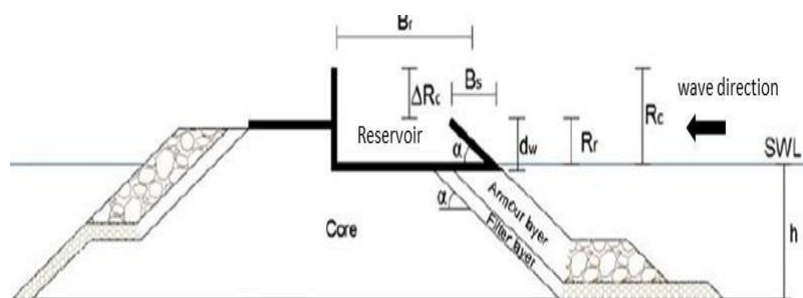
Gambar 12. *Seawave Slot-Cone Generator (SSG)* (Mustapa, dkk 2017)

Ketika gelombang kehilangan energinya yang disebabkan oleh fenomena shoaling, gelombang akan cenderung pecah. Kemudian, gelombang akan kembali ke laut dan secara otomatis mengisi reservoir bertingkat.

## 2. *Overtopping Breakwater for Energy Conversion (OBREC)*

OBREC diklasifikasikan sebagai struktur multi-fungsi yang mengimplementasikan konsep *overtopping* pada struktur *breakwater* tradisional tipe rubble mound. Konsep ini menggunakan konfigurasi yang sederhana, dimana reservoir satu tingkat ditempatkan di bagian depan dari *breakwater* tenggelam tipe rubble mound, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.

Fenomena *overtopping* mulai terjadi ketika gelombang datang, mencapai limit maximum dari *freeboard*, atau puncak *breakwater*. Pada saat itu, gelombang mulai pecah dan mengisi reservoir. Walaupun konsepnya sangat sederhana, tetapi struktur ini punya potensi untuk merubah gelombang *overtopping* yang terbuang pada struktur *breakwater* konvensional satu fungsi, menjadi bermanfaat untuk tenaga listrik.



Gambar 13. Innovative rubble mound breakwater with frontal reservoir for energy production (OBREC). (Vicinanza dkk, 2014)

Gelombang *overtopping* yang terbuang ini dapat dideskripsikan sebagai gelombang yang telah berhasil melewati *freeboard* atau puncak dari

struktur *breakwater*. OBREC beroperasi pada kondisi pasang surut yang sangat beragam, maka potensi dari struktur untuk menangkap gelombang datang maksimum menjadi terbatas. Pada kondisi dimana tinggi muka air laut berada diatas puncak *breakwater*, tidak ada *overtopping* yang akan terjadi. Hal tersebut menciptakan beberapa keterbatasan pada teknologi gabungan ini untuk membangkitkan listrik.

## F. Hukum Dasar Model Fisik

### 1. Sifat Sebangun

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

#### a. Sebangun Geometrik.

Sebangun geometrik adalah suatu kesebangunan dimana bentuk yang ada di model sama dengan bentuk prototip tetapi berbeda ukuran. Perbandingan antara semua ukuran panjang antara model dan prototip adalah sama. Sebangun geometrik dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} \quad (28)$$

dengan :

$n_L$  : skala panjang

$L_p$  : ukuran panjang prototip

$L_m$  : ukuran panjang model

### b. Sebangun Kinematik.

Sebangun kinematik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan aliran di 2 titik pada model dan prototip pada arah yang sama adalah sama besar. Skala kecepatan diberi notasi  $n_v$ , skala percepatan  $n_a$  dan skala waktu  $n_t$  didefinisikan sebagai berikut :

$$n_v = \frac{v_p}{v_m} = \frac{\left(\frac{L_p}{t_p}\right)}{\left(\frac{L_m}{t_m}\right)} = \frac{L_p t_m}{L_m t_p} = \frac{n_L}{n_t} \quad (29)$$

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{\left(\frac{v_p}{t_p}\right)}{\left(\frac{v_m}{t_m}\right)} = \frac{v_p t_m}{v_m t_p} = \frac{n_L}{n_t n_t} = \frac{n_L}{n_t^2} \quad (30)$$

$$n_t = \frac{t_p}{t_m} \quad (31)$$

### c. Sebangun Dinamik.

Sebangun dinamik adalah kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan kinematik, serta perbandingan gaya-gaya yang bekerja pada model dan prototip untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama adalah sama besar. Gaya-gaya yang dimaksud adalah gaya inersia,

gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek, gaya kental 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.

## 2. Angka *Froude*

Penelitian refleksi dan transmisi gelombang terhadap gelombang yang merambat melalui pemecah gelombang, lebih banyak dipengaruhi gaya berat, sehingga dalam penelitian ini akan digunakan kesebangunan *Froude*.

Apabila suatu model dipelajari berdasarkan angka *Froude*, maka pengaruh gaya lain seperti gaya kental dan tegangan permukaan harus dihilangkan dengan membuat model yang besar dan permukaannya halus (Triatmodjo, 1996).

Angka *Froude* adalah akar perbandingan antara gaya inersia dan gaya berat.

$$Fr = \frac{F_I}{F_G} = \frac{\rho v^2 L^2}{\rho L^3 g} = \frac{v^2}{gL}$$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (32)$$

Angka *Froude* di model harus sama dengan angka *Froude* pada prototip. Sehingga skala *Froude*  $n_{Fr} = 1$ .

$$[Fr]_m = [Fr]_p$$

$$\left[ \frac{v}{\sqrt{gL}} \right]_m = \left[ \frac{v}{\sqrt{gL}} \right]_p \quad (33)$$

$$n_{Fr} = \frac{(Fr)_m}{(Fr)_p} = 1 \quad (34)$$

$$n_{Fr} = \frac{\left( \frac{v_p}{\sqrt{g_p L_p}} \right)}{\left( \frac{v_m}{\sqrt{g_m L_m}} \right)} = \frac{v_p \sqrt{g_m L_m}}{v_m \sqrt{g_p L_p}}$$

Sehingga :

$$n_{Fr} = \frac{n_v}{\sqrt{n_g n_L}} \quad (35)$$

Substitusi nilai  $n_v$  pada persamaan (29) ke persamaan (35) sehingga diperoleh :

$$n_{Fr} = \frac{\left( \frac{n_L}{n_t} \right)}{\sqrt{n_g n_L}} = \frac{n_L}{n_t (n_g n_L)^{1/2}} \quad (36)$$

Percepatan gravitasi pada prototip sama dengan pada model,  $n_g=1$ , sehingga :



$$n_{Fr} = \frac{n_L(n_L)^{-1/2}}{n_t} = \frac{n_L^{1/2}}{n_t} = \frac{\sqrt{n_L}}{n_t} \quad (37)$$

Substitusi nilai  $n_{Fr}$  pada persamaan (31) ke persamaan (37) sehingga diperoleh :

$$1 = \frac{\sqrt{n_L}}{n_t} \quad (38)$$

diperoleh skala waktu yang memenuhi prinsip kesebangunan *Froude* :

$$n_t = \sqrt{n_L} \quad (39)$$

### G. Analisa Dimensi

Dalam permodelan fisik, analisa dimensi dilakukan untuk memudahkan menganalisa data hasil percobaan yang selanjutnya dapat digunakan untuk desain yang diinginkan. Dari analisa dimensi akan diperoleh variabel tak berdimensi yang akan menjadi acuan dalam menggambarkan atau pemaparan hasil dari percobaan, sehingga memudahkan pengelolaan data. Beberapa metode yang umum digunakan untuk analisa dimensi yaitu Metode *Basic Echelon Matriks*, Metode *Buckingham*, Metode *Rayleigh*, Metode *Stepwise* dan Metode *Langhaar* (Nur Yuwono, 1994). Untuk penelitian ini digunakan metode *Langhaar* karena variabel yang berpengaruh relatif sedikit serta metode ini tersusun sistemik.

Pada penelitian ini menggunakan metode *Langhaar* untuk menjelaskan fenomena model hidraulik dengan  $n$  parameter  $P_i$  dengan  $i =$

1, 2, 3, ..... $n$ . Jika parameter tersusun oleh  $m$  elemen pokok maka produk bilangan tak berdimensi dapat diturunkan sejumlah  $(n-m)$ . Untuk keperluan teknik hidraulik biasanya ada 3 elemen pokok yaitu Massa ( $M$ ), Panjang ( $L$ ) dan waktu ( $T$ ) (Yuwono, 1996).

Bilangan tak berdimensi ( $\pi_j$ ) dapat dinyatakan :

$$\pi_j = P_1^{k_1} P_2^{k_2} P_3^{k_3} \dots\dots\dots P_n^{k_n} \quad (40)$$

Dimana  $\pi_j$  = produk bilangan tak berdimensi dengan  $j = 1, 2, 3, \dots\dots n$ . jika  $P_i$  mempunyai dimensi  $M^{\alpha_i}, L^{\beta_i}, T^{\gamma_i}$ , maka dapat ditulis :

$$\pi_j = (M^{\alpha_1} L^{\beta_1} T^{\gamma_1})^{k_1} * (M^{\alpha_2} L^{\beta_2} T^{\gamma_2})^{k_2} * \dots\dots\dots * (M^{\alpha_n} L^{\beta_n} T^{\gamma_n})^{k_n}$$

atau

$$\pi_j = (M^{\alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2 + \dots + \alpha_n k_n}) * (L^{\beta_1 k_1 + \beta_2 k_2 + \dots + \beta_n k_n}) * (T^{\gamma_1 k_1 + \gamma_2 k_2 + \dots + \gamma_n k_n}) \quad (41)$$

$\pi_j$  merupakan bilangan tak berdimensi jika :

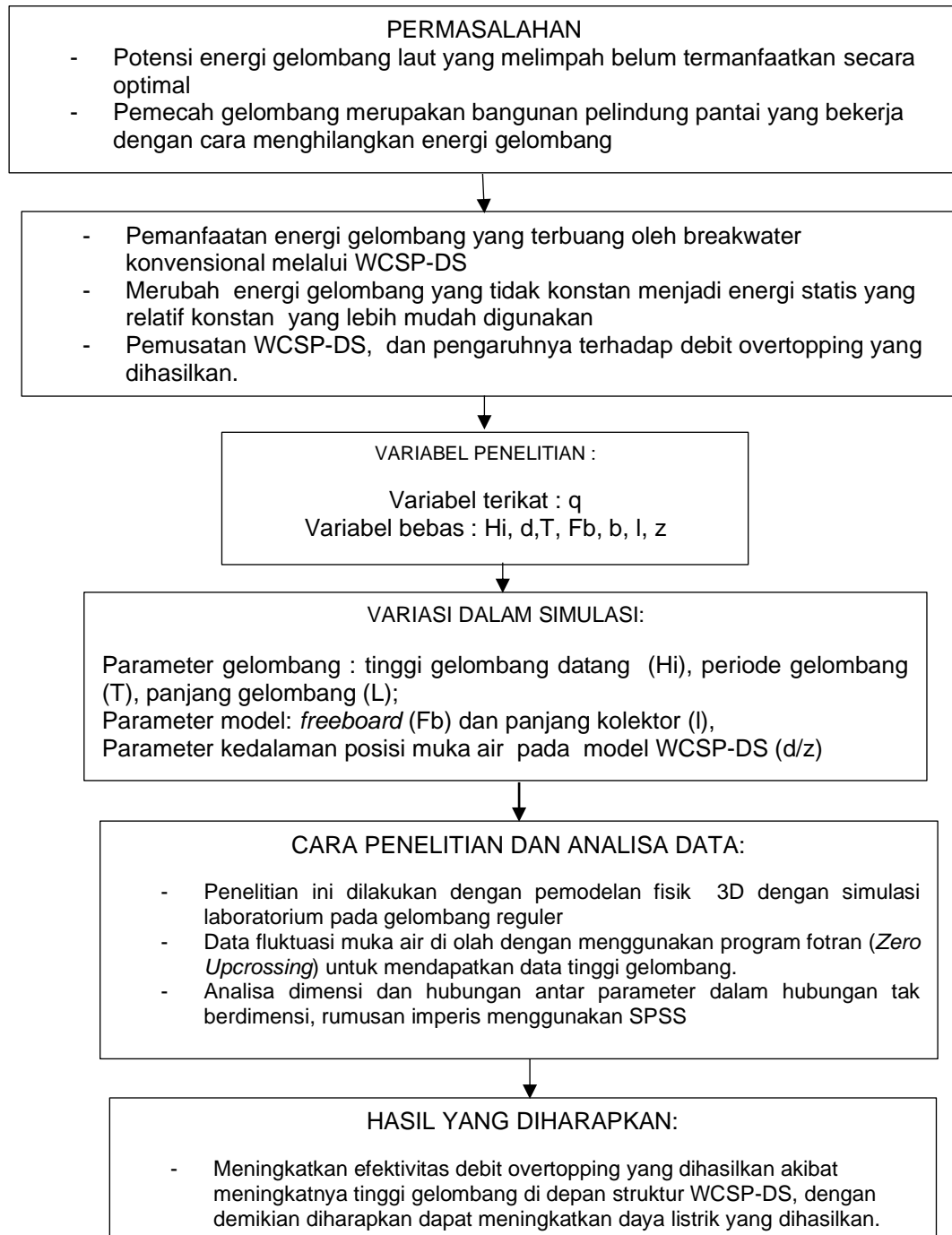
$$\alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2 + \dots\dots\dots + \alpha_n k_n = 0$$

$$\beta_1 k_1 + \beta_2 k_2 + \dots\dots\dots + \beta_n k_n = 0$$

$$\tau_1 k_1 + \tau_2 k_2 + \dots\dots\dots + \tau_n k_n = 0 \quad (42)$$

## Kerangka Pikir

Kerangka pemikiran penelitian yang dilakukan, disajikan dalam bentuk bagan alir pada Gambar 14.



Gambar 14. Kerangka Pikir Penelitian

## H. Hipotesis

Gelombang menjalar pada dinding reflektor, memasuki saluran yang menyempit maka tinggi gelombang di depan struktur model WCSP-DS akan meningkat, sebagian energinya akan melimpas kesamping dan masuk ke dalam reservoir yang akan menghasilkan debit *overtopping* ( $Q$ ) dan sebagian lagi akan dipantulkan oleh dinding vertikal dan dinding sisi miring, karena adanya pertemuan antara gelombang pantul dan gelombang datang mengakibatkan terjadinya gelombang berdiri (*standing wave*, *clapotis*). Adanya interaksi antara parameter gelombang, parameter struktur, parameter kedalaman, dan dengan pemusatan energi gelombang mengakibatkan meningkatnya efisiensi penangkapan energi gelombang pada model WCSP – DS sehingga menghasilkan debit *overtopping* yang dapat digunakan untuk memutar turbin.

Berdasarkan landasan teori dan tinjauan pustaka, parameter yang berpengaruh pada debit *overtopping* ( $Q$ ) adalah kedalaman air ( $d$ ), panjang gelombang ( $L$ ), tinggi gelombang datang ( $H$ ), tinggi gelombang deformasi ( $H_{def}$ ), periode gelombang ( $T$ ), *freebord* ( $F_b$ ), dan panjang kolektor ( $l$ ) Hipotesis diatas dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut :

$$Q = f(d, L, H_i, H_{def}, T, F_b, l, g) \quad (43)$$

Dengan:

- Q : debit *overtopping*
- d : kedalaman air
- L : panjang gelombang

$H_1$	: tinggi gelombang datang
$H_{def}$	: tinggi gelombang deformasi
$T$	: Periode
$F_b$	: freebord
$l$	: panjang reflektor
$g$	: gravitasi

### **J. Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian**

Penelitian yang mendasari penelitian ini yaitu penelitian yang dilakukan oleh Puspita, dkk (2020) yang dilakukan pada saluran 2-D, merekomendasikan pengembangan model fisik OWEC dual slope 90° dan 45°. Penelitian Runhas 2020 yang dilakukan oleh Thaha, dkk (2020) menguji kinerja 3-D dual slope 90° dan 45° dengan posisi tegak lurus arah gelombang.

Penelitian ini mengkaji kinerja 3-D dual slope 90° dan 45° dengan formasi letak zigzag dan penambahan kolektor pemusat energi. Pada Tabel 2 merupakan gambaran beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan yang berkonsep *wave energy converter*, integrasi *breakwater* WEC dan *overtopping* gelombang. Rencana penelitian ini juga disajikan untuk memberi gambaran perbedaan dengan penelitian ini dengan penelitian terdahulu, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana riset	Perbedaan Rencana Riset
1.	Wa Ode Zulia Prihatini, Muhammad Arsyad Thaha, Mukhsan Putra Hatta and Chairul Paotonan	Pemusatan Energi Gelombang pada <i>Wave Catcher Shore Protection Dual Slope (WCSP-DS)</i> model zigzag  (Penelitian ini)		menganalisis dan memperoleh efek deformasi pada pelepasan limpasan yang terjadi di WCSP-DS dengan formasi letak zigzag dan penambahan kolektor pemusat energi	Pengembangan model fisik dual slope dengan penambahan kolektor pemusat energi, meningkatkan debit <i>overtopping</i> dan tinggi head pada WCSP-DS	Mengembangkan model fisik OWEC <i>breakwater</i> . Serta menganalisa debit <i>overtopping</i> yang dapat ditangkap.	Bentuk geometry model.
2.	Muhammad Arsyad Thaha, Dadang A Suriamihardja, Farida Patittingi Chairul Paotonan, Subhan Mustari and A. Ildha Dwipuspita	Inovasi CSP – MS untuk Merubah Daya Rusak Gelombang Menjadi Daya Listrik sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan	Laporan penelitian (2020)	menganalisis dan memperoleh efek deformasi melambai pada pelepasan limpasan yang terjadi di OWEC-breakwater dengan multi slope	Mengembangkan model fisik yang berfungsi tidak hanya sebagai pelindung pantai tetapi juga dapat berfungsi sebagai penangkap energy gelombang.	Mengembangkan model fisik OWEC <i>breakwater</i> . Serta menganalisa debit <i>overtopping</i> yang dapat ditangkap..	Bentuk geometry model

Lanjutan Tabel 2.

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana riset	Perbedaan Rencana Riset
3.	Andi Ildha Dwi Puspita, Muhammad Saleh Pallu, Muhammad Arsyad Thaha and Farouk Maricar	<i>The Effect of Wave Deformation on Overtopping Discharge in Wave Energy Converter (OWEC)-breakwater</i>	Journal of Engineering and Applied Sciences Page No.: 2058-2064 Volume: 15, Issue 9, 2020	menganalisis dan memperoleh efek eformasi melambai pada pelepasan limpasan yang terjadi di OWEC-breakwater dengan multi slope.	Mengembangkan model fisik yang berfungsi tidak hanya sebagai pelindung pantai tetapi juga dapat berfungsi sebagai penangkap energy gelombang.	Mengembangkan model fisik yang berfungsi tidak hanya sebagai pelindung pantai tetapi juga dapat berfungsi sebagai penangkap energy gelombang. Serta menganalisa debit <i>overtopping</i> yang dapat ditangkap.	Bentuk geometri model
4.	M.Azlan Musa, A.Yazid Maliki, M.Fadhli-Ahmad, W.Nik Sani, Omar Yaakob, K.B.Samo	<i>Numerical Simulation of Wave Flow Over the Overtopping Breakwater for Energy Conversion (OBREC) Device</i>	Procedia Engineering 194, Elsevier, 166-173 (2017).	Mensimulasi secara numerik aliran gelombang <i>overtopping</i> pada OBREC untuk konversi energi	Model numerik aliran gelombang <i>overtopping</i> pada OBREC untuk konversi energi.	Meneliti <i>Breakwater</i> atau pelindung pantai yang juga sekaligus berkonsep konverter energi gelombang.	Model Fisik

Lanjutan Tabel 2.

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana riset	Perbedaan Rencana Riset
5.	Zhen Liu, Zhi Han, Hongda Shi, Wanchang Yang	<i>Experimental study on multi-level overtopping wave energy convertor under regular wave conditions.</i>	International journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, volume xxx, 1-9 (2017)	Mengembangkan model fisik konverter energi gelombang dengan multi reservoir	Model fisik konverter energi gelombang multi reservoir	Eksperimen studi di laboratorium untuk menguji model fisik konverter energi gelombang	Bentuk model fisik.
6.	P. Oliveira, F. Taveira-Pinto, T. Morais, P. Rosa-Santos	<i>Experimental evaluation of the effect of wave focusing walls on the performance of the Sea-wave Slot-cone Generator</i>	International Journal of Energy Conversion and Management, Elsevier, 165-175. Tahun 2016.	Menganalisa model fisik efek dan kinerja dari dinding pemusat gelombang yang ditambahkan pada SSG konverter energi gelombang berbasis <i>breakwater</i> .	Model fisik WEC SSG breakwater dengan dinding pemusat gelombang, yang menghasilkan kinerja lebih baik.	Eksperimental studi di laboratorium untuk menguji model fisik WEC berbasis <i>breakwater</i> /pelandung pantai.	Bentuk model fisik.
7.	S. Ribeiro e Silva, R.P.F. Gomes, A.F.O. Falcão	<i>Hydrodynamic optimization of the UGEN: Wave energy converter with U-shaped Interior oscillating water column.</i>	International Journal of Marine Energy, Elsevier, xxx- xxx, Tahun 2016.	Menyajikan prosedur optimasi desain untuk konverter energi gelombang tipe OWC dengan merekayasa dimensi dan geometry dengan bentuk U.	Model UGEN: konverter energi gelombang dengan bentuk U untuk interior tipe OWC.	Melakukan rekayasa geometry.	Tipe WEC adalah tipe <i>overtopping device</i> , bukan <i>oscillating water column</i> (OWC).



Lanjutan Tabel 2.

No	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana riset	Perbedaan Rencana Riset
8.	N.M. Tom, M.J. Lawson, Y.H. Yu, A.D. Wright	<i>Development of a nearshore oscillating surge wave energy converter with variable geometry</i>	International Journal of Renewable Energy, Elsevier, 410-424. Tahun 2016.	Menyajikan analisis dan konsep konverter energi gelombang baru dengan menggabungkan oscillating surge wave energi converter (OSWEC) dengan kontrol permukaan.	Analisa model fisik OSWEC baru yang mampu mengurangi beban struktur dan memberikan daya yang konstan.	Mengembangkan model fisik WEC yang sekaligus pelindung pantai dengan kondisi daya yang lebih konstan.	Tipe WEC adalah tipe <i>overtopping</i> device, bukan oscillating water column (OWC)
9.	Shaswat Saincher, Jyotirmay Banerjee	<i>Influence of wave breaking on the hydrodynamics of wave energy converters: A review.</i>	International Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 704-717. Tahun 2016.	Menyoroti dan mengkaji pengaruh dari gelombang pecah pada hidrodinamika dari konverter energi gelombang.	Hasil analisa pengaruh gelombang pecah pada hidrodinamika konverter energi gelombang.	Ada analisa tipe gelombang pecah (breaker type).	Pemodelan dan pengujian model fisik di laboratorium, tidak sekedar review.
10.	Xuexue Chen, Bas Hofland, Wim Uijtewaal	<i>Maximum overtopping forces on a dike-mounted wall with a shallow foreshore.</i>	International Journal of Coastal Engineering, Elsevier, 89-102. Tahun 2016.	Menganalisa gaya tumbukan yang disebabkan oleh gelombang <i>overtopping</i> pada tanggul laut dengan dinding vertical di puncaknya pada kondisi laut dangkal.	Metode untuk memperkirakan gaya maksimal yang terjadi pada dinding vertikal yang terjadi selama puncak badai.	Menganalisa gelombang <i>overtopping</i> .	Pengaruh deformasi gelombang, bukan gaya gelombang..

Lanjutan Tabel 2.

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana riset	Perbedaan Rencana Riset
11.	Matthew J.Wesley, Kwok Fai Cheung	<i>Modeling of wave overtopping on vertical structures with the HLLS Riemann solver.</i>	International Journal of Coastal Engineering, Elsevier, 28-43. Tahun 2016.	Memodelkan gelombang <i>overtopping</i> pada struktur tegak dengan pemodelan matematika yang di validasi dengan pemodelan fisik laboratorium.	Model gelombang <i>overtopping</i> pada dinding tegak yang disajikan dalam model matematik dan model fisik.	Menganalisa gelombang <i>overtopping</i> .	Bentuk geometry model.
12.	Mariano Buccino, Dimitris Stagonas, Diego Vicinanza	<i>Development of a composite sea wall wave energy converter system.</i>	International Journal of Renewable Energy, Elsevier, 509-522. Tahun 2015.	Mengembangkan model fisik konverter energi gelombang yang sekaligus dapat berfungsi sebagai sea wall atau pelindung pantai.	Model fisik konverter energi gelombang dwifungsi.	Mengembangkan model fisik konverter energi gelombang yang sekaligus dapat berfungsi sebagai pelindung pantai.	Bentuk/ profil lereng model fisik.
13.	M. Buccino, D. Vicinanza, D. Salerno, D. Banfi, M. Calabrese	<i>Nature and magnitude of wave loadings at Seawave Slot-cone Generators.</i>	International Journal of ocean engineering, Elsevier, 34-58. Tahun 2015.	Menganalisa besarnya tekanan gelombang yang bekerja pada bidang depan Sea-wave Slotcone Generator (SSG).	Menghasilkan persamaan untuk menghitung besarnya tekanan gelombang.	Model fisik yang diuji adalah <i>breakwater</i> berbasis converter energi gelombang.	Fokus kajian penulis adalah debit <i>overtopping</i> bukan tekanan gelombang.

Lanjutan Tabel 2.

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana riset	Perbedaan Rencana Riset
14.	Matthias Liermann, Omar Samhoury, Samer Atshan	<i>Energy efficiency of pneumatic power take-off for wave energy converter.</i>	International Journal of Marine Energy, Elsevier, xxx- xxx, Tahun 2015.	Menginvestigasi efisiensi energi dari transmisi model fisik pneumatic power yang menyajikan power take off skala kecil, biaya rendah dan ringan sebagai konverter energi gelombang.	Studi eksperimental model fisik di laboratorium pneumatic power take off untuk pengembangan prototype.	Studi eksperimental model fisik di laboratorium.	Tipe WEC adalah tipe <i>overtopping</i> device, bukan pneumatic.
15.	Mohammad Navid Moghim, Razieh Forouzan Boroujeni, Mahmoud Mohammad Rezapour Tabari	<i>Wave overtopping on reshaping berm breakwaters based on wave momentum flux.</i>	International Journal of Applied Ocean Research, Elsevier, 23-30. Tahun 2015.	Menganalisa dan menghasilkan formula baru untuk menghitung debit <i>overtopping</i> pada <i>breakwater</i> lereng bertingkat.	Formula baru untuk menghitung debit <i>overtopping</i> pada <i>breakwater</i> lereng bertingkat.	Menganalisa debit <i>overtopping</i> .	Bentuk geometry model.

Lanjutan Tabel 2.

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana riset	Perbedaan Rencana Riset
16.	A. Thaha, F. Maricar, A. F. Aboe, A.I.Dwipuspita	<i>The breakwater, from wave breaker to wave Catcher.</i>	International Journal of Procedia Engineering, Elsevier, 691-698. Tahun 2015.	Menganalisa besarnya debit <i>overtopping</i> yang dapat ditangkap oleh pelindung pantai yang juga diciptakan sebagai converter/penangkap energy gelombang	Mengembangkan model fisik yang berfungsi tidak hanya sebagai pelindung pantai tetapi juga dapat berfungsi sebagai penangkap energy gelombang.	Mengembangkan model fisik yang berfungsi tidak hanya sebagai pelindung pantai tetapi juga dapat berfungsi sebagai penangkap energy gelombang. Serta menganalisa debit <i>overtopping</i> yang dapat ditangkap.	Bentuk geometry model.
17.	Diego Vicinanza, Pasquale Contestabile, Jørgen Quvang Harck Nørgaard, Thomas Lykke Andersen	<i>Innovative rubble mound breakwaters for overtopping wave energy conversion.</i>	International Journal of Coastal Engineering, Elsevier, 154-170. Tahun 2014.	Mengembangkan model fisik <i>breakwater</i> tipe rubble mound yang sekaligus dapat berfungsi sebagai wave energi converter	Model fisik <i>breakwater</i> dwi fungsi bernama OBREC.	Mengembangkan model fisik pelindung pantai yang sekaligus dapat berfungsi sebagai wave energi converter.	Bentuk model fisik.

Lanjutan Tabel 2.

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana riset	Perbedaan Rencana Riset
18.	A.Ildha Dwi P.	Model Pelindung Pantai sebagai Penangkap Energi Gelombang .	Tesis magister Teknik Sipil Universitas Hasanuddi n. Tahun 2014.	Menganalisa besarnya debit <i>overtopping</i> yang dapat ditangkap oleh pelindung pantai yang juga diciptakan sebagai converter/penangkap energy gelombang, dengan parameter gelombang dan parameter model	Mengembangkan model fisik yang berfungsi tidak hanya sebagai pelindung pantai tetapi juga dapat berfungsi sebagai penangkap energy gelombang.	Mengembangkan model fisik yang berfungsi tidak hanya sebagai pelindung pantai tetapi juga dapat berfungsi sebagai penangkap energy gelombang. Serta menganalisa debit <i>overtopping</i> yang dapat ditangkap.	Bentuk geometry model.
19.	M.J. Walkden, D.J. Wood, T. Bruce, D.H. Peregrine	<i>Impulsive seaward loads induced by wave overtopping on caisson bw.</i>	International Journal of Coastal Engineering, Elsevier, 257-276. 2009	Menginvestigasi model fisik mengenai tekanan impulsive pada <i>breakwater</i> tipe caisson oleh <i>overtopping</i>	Analisis tekanan yang terjadi pada model fisik <i>breakwater</i> tipe caisson akibat gelombang over.	Menganalisa gelombang <i>overtopping</i> .	Bentuk geometry dan bukan menganalisa tekanan.

Lanjutan Tabel 2.

No	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana riset	Perbedaan Rencana Riset
20.	Barbara Zanuttigh, Elisa Angelelli	<i>Experimental investigation of floating wave energy converters for coastal protection purpose</i>	International Journal of Coastal Engineering, Elsevier, 148-159. Tahun 2013	Studi eksperimental converter energy gelombang terapung yang sekaligus berfungsi sebagai pelindung pantai.	Model fisik converter energy gelombang terapung yang sekaligus berfungsi sebagai pelindung pantai	Studi eksperimental Converterenergy gelombang yang sekaligus berfungsi sebagai pelindung pantai	Bukan tipe terapung.
21.	H. Fernandez, G. Iglesias, R. Carballo, A. Castro, J.A. Fraguera, F. Taveira-Pinto, M. Sanche	<i>The new wave energy converter Wave Cat: Concept and laboratory tests.</i>	International Journal of Marine Structure, Elsevier, 58-70. Tahun 2012.	Mengembangkan konsep baru model fisik konverter energi gelombang dan menguji laboratorium.	Menghasilkan model fisik baru konverter energi gelombang bernama WaveCat.	Mengembangkan model fisik baru model konverter energi gelombang (dwi fungsi) dan menguji laboratorium	Bentuk dan tipe bangunan.
22.	L. Victor, J.W. van der Meer, P. Troch	<i>Probability distribution of individual wave overtopping volumes for smooth impermeable steep slopes with low crest freeboards.</i>	International Journal of Coastal Engineering, Elsevier, 87-101. Tahun 2012.	Menganalisa distribusi probabilitas volume <i>overtopping</i> untuk gelombang per gelombang (individu) pada struktur sisi miring halus berpuncak rendah.	Menyuguhkan formula baru dalam memprediksi distribusi probabilitas volume <i>overtopping</i> untuk gelombang per gelombang (individu) pada struktur miring, halus dan berpuncak rendah halus berpuncak rendah	Menganalisa gelombang <i>overtopping</i> .	Bentuk geometry model.

Lanjutan Tabel 2.

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana riset	Perbedaan Rencana Riset
23.	L. Margheritini, D. Vicinanza, P. Frigaard	<i>S&amp;S wave energy converter: Design, reliability and hydraulic performance of an innovative overtopping device.</i>	International Journal of Renewable Energy, Elsevier, 1371-1380. Tahun 2009.	Menganalisa desain dan proses dibalik kinerja seawave slotcone generator (SSG) sebagai wave energy converter inovatif tipe <i>overtopping</i> untuk aplikasi pilot project.	Menghasilkan analisa desain dan kinerja SSG untuk aplikasi pilot project pantai utara amerika.	Model fisik yang diuji adalah <i>breakwater</i> berbasis converter energi gelombang.	Eksperimental study dalam rangka pengembangan ilmu pengetahuan.
24.	Tim Pullen, William Allsop, Tom Bruce, Jonathan Pearson	<i>Field and laboratory measurements of mean overtopping discharges and spatial distributions at vertical seawalls</i>	International Journal of Coastal Engineering, Elsevier, 121-140. Tahun 2009.	Mengukur pada uji fisik laboratorium dan lapangan, debit <i>overtopping</i> rata-rata yang terjadi pada seawall dinding vertical.	Analisis debit <i>overtopping</i> rata-rata pada seawall dinding tegak.	Menganalisa debit <i>overtopping</i> .	Bentuk geometry model.