

TESIS

**PENGARUH KEMIRINGAN GANDA DAN
KEKASARAN DINDING BANGUNAN PANTAI
TERHADAP RUN-UP DAN RUN-DOWN GELOMBANG**

*The Effect of Double Slope and
Roughness of Coastal Building Walls
on Wave Run-up and Run-down*

**MUSFIRA H.
D012201008**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



PENGAJUAN TESIS

PENGARUH KEMIRINGAN GANDA DAN KEKASARAN DINDING BANGUNAN PANTAI TERHADAP RUN-UP DAN RUN-DOWN GELOMBANG

Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Ilmu Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

**MUSFIRA H.
D012201008**

Kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



TESIS**PENGARUH KEMIRINGAN GANDA DAN
KEKASARAN DINDING BANGUNAN PANTAI
TERHADAP RUN-UP DAN RUN-DOWN
GELOMBANG****MUSFIRA H.
D012201008**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 9 September 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. H. Riswal Karamma, ST, MT, IPM
NIP. 197105052006041002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Muhammad Isran Ramli, ST, MT, IPM
P. 197309262000121002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil

Dr. M. Asad Abdurrahman, ST, MEng, PM
NIP. 197303061998021001



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Musfira H.
Nomor mahasiswa : D012201008
Program studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Pengaruh Kemiringan Ganda dan Kekasaran Dinding Bangunan Pantai terhadap Run-up dan Run-down Gelombang” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT., IPM dan Dr. Ir. H. Riswal Karamma, ST., MT., IPM. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal/Prosiding *The 2nd International Conference on Research in Engineering and Science Technology (IC-REST) 2024* dengan status *under review* sebagai artikel dengan judul “*The Effect of Dual Slope and Roughness of Coastal Building Walls on Wave Run-up and Run-down*”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 27 September 2024

Yang menyatakan,



Musfira H.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis yang berjudul **“Pengaruh Kemiringan Ganda dan Kekasaran Dinding Bangunan Pantai terhadap Run-up dan Run-down Gelombang”**, sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi program magister pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam proses penyusunan tesis ini tidak lepas dari bantuan, dorongan, bimbingan serta motivasi dari berbagai pihak sehingga tesis ini bisa diselesaikan. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muh. Isran Ramli, ST, MT, IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Ir. M. Asad Abdurrahman, ST, M.Eng, PM, IPM selaku Ketua Program Studi S2 Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT, IPM selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan masukan, arahan dan meluangkan waktu ditengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penelitian dan penyusunan tesis ini.
5. Bapak Dr. Ir. H. Riswal Karamma, ST, MT, IPM selaku Kepala Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sekaligus Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tesis ini yang telah meluangkan waktu ditengah kesibukannya, memberikan masukan serta saran dalam proses penyusunan tesis ini.
6. Bapak/Ibu Dosen dan Staff Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Kedua orang tua serta seluruh keluarga yang selama ini telah memberikan motivasi dan dukungan kepada saya.



8. Teman-teman yang telah membantu selama proses penelitian dan penyusunan tesis berlangsung.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tesis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan tesis ini masih terdapat banyak kesalahan, maka dari itu penulis mengharapkan segala kritik serta masukan untuk melengkapi penulisan tesis ini. Penulis berharap agar tesis ini dapat memberikan manfaat, menambah ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi kita semua.

Penulis
Musfira H.



ABSTRAK

MUSFIRA H. *Pengaruh Kemiringan Ganda dan Kekasaran Dinding Bangunan Pantai terhadap Run-up dan Run-down Gelombang* (dibimbing oleh **Muhammad Arsyad Thaha, Riswal Karamma**)

Pada desain bangunan pantai, run-up gelombang adalah salah satu aspek utama yang dapat mempengaruhi desain struktur dalam menentukan desain elevasi puncak struktur bangunan pantai. Run-up gelombang sangat penting untuk merencanakan bangunan pantai. Terdapat banyak aspek yang dapat mempengaruhi run-up dan run-down gelombang. Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan membuat pemodelan secara eksperimental. Model terdiri atas permukaan halus (K0) dan permukaan kasar (K1) dengan masing-masing permukaan halus (K0) dan permukaan kasar (K1) menggunakan tiga variasi model struktur dengan kemiringan ganda, yaitu ketiga variasi model mempunyai model struktur bagian depan yang sama yaitu dengan kemiringan 90° , sementara pada struktur bagian atas pada setiap model mempunyai variasi kemiringan yang berbeda yaitu 45° , 55° , dan 65° . Hasil penelitian menunjukkan bahwa run-up relatif (Ru/H_i) semakin meningkat dengan berkurangnya kecuraman gelombang (H_i/L), dengan adanya kekasaran pada model struktur dapat mengurangi tinggi run-up dan run-down gelombang dibandingkan dengan model struktur pada permukaan halus. Tinggi run-up dan run-down gelombang yang terjadi tidak memberikan pengaruh yang signifikan antara tiga variasi kemiringan, hal itu disebabkan karena pada kemiringan 45° , 55° dan 65° termasuk dalam kelompok sudut kemiringan yang sama-sama curam.

Kata kunci: bangunan pantai, run-up, run-down



ABSTRACT

MUSFIRA H. *The Effect Of Dual Slope And Roughness Of Coastal Building Walls On Wave Run-Up And Run-Down* (supervised by **Muhammad Arsyad Thaha, Riswal Karamma**)

In coastal building design, wave run-up is one of the main aspects that can influence structural design in determining of the peak elevation design of coastal building structures. Wave run-up is very important for design coastal building. There are many aspects that can influence wave run-up and run-down. This research was carried out in the laboratory by modelling experimentally. The model consists of a smooth surface (K0) and a rough surface (K1) with each smooth surface (K0) and rough surface (K1) using three variations of the structure model with a dual slope, is that the three model variations have the same front structure model, is with a slope of 90°, meanwhile the upper structure of each model has a different slope variation is 45°, 55°, and 65°. The research results show that the relative run-up (Ru/H_i) increases with decreasing wave steepness (H_i/L), with the presence of roughness in the structural model it can reduce the height of the run-up and run-down waves compared to the structural model on a smooth surface. The height of the run-up and run-down waves that occur did not have a significant influence between the three slope variations, this is because the slope is 45°, 55° and 65° are included in the group of slope angles that are equally which steep.

Keywords : coastal building, run-up, run-down.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN TESIS.....	ii
PERSETUJUAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Bangunan Pantai	4
2.2 Pemecah Gelombang (Breakwater)	5
2.3 Teori Dasar Gelombang	6
4 Gelombang Pecah	10
5 Klasifikasi Gelombang.....	12



2.6 Deformasi Gelombang	12
2.7 Run-up dan Run-down Gelombang	17
2.8 Kekasaran Permukaan.....	19
2.9 Hukum Dasar Model.....	22
2.9.1 Sebangun geometrik.....	22
2.9.2 Sebangun kinematik.....	23
2.9.3 Sebangun dinamik.....	24
2.10 Penelitian Terdahulu.....	25
2.11 Kerangka Pikir Penelitian	29
2.12 Hipotesis	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	31
3.2 Jenis Penelitian.....	31
3.3 Sumber Data.....	31
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	31
3.5 Parameter Penelitian	34
3.6 Perancangan Penelitian	35
3.7 Pelaksanaan Penelitian.....	37
3.8 Diagram Penelitian.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Hasil Penelitian	40
4.1.1 Panjang gelombang.....	40
4.1.2 Data tinggi gelombang.....	41
4.1.3 Data run-up dan run-down gelombang	41



4.2 Pembahasan.....	42
4.2.1 Hubungan tinggi gelombang datang (H_i) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) gelombang.....	42
4.2.2 Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) terhadap nilai run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i)	51
4.2.3 Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) gelombang.....	59
4.2.4 Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) gelombang berdasarkan variasi kemiringan.....	67
4.2.5 Hubungan nilai run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i) dengan bilangan iribarren	71
4.2.6 Perbandingan Nilai Run-up dengan Beberapa Jenis Material	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 1	Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam	12
Tabel 2	Koefisien Refleksi	15
Tabel 3	Daftar Penelitian Terdahulu	25
Tabel 4	Parameter yang berpengaruh	34
Tabel 5	Rancangan simulasi model	37
Tabel 6	Penentuan nilai tanh ($2\pi d/L$) dengan metode iterasi.....	40
Tabel 7	Panjang gelombang berdasarkan periode (T)	41
Tabel 8	Data tinggi gelombang datang (H_i) serta run-up dan run-down gelombang pada permukaan halus.....	45
Tabel 9	Data tinggi gelombang datang (H_i) serta run-up dan run-down gelombang pada permukaan kasar.....	50
Tabel 10	Nilai kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i) pada permukaan halus.....	54
Tabel 11	Nilai kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i) pada permukaan kasar.....	57
Tabel 12	Data kecuraman gelombang (H_i/L) serta run-up dan run-down gelombang pada permukaan halus	61
Tabel 13	Data kecuraman gelombang (H_i/L) serta run-up dan run-down gelombang pada permukaan kasar	66
Tabel 14	Data run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i) dengan bilangan iribarren	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Tipe bangunan pantai	4
Gambar 2	Pemecah gelombang sisi miring dari tumpukan batu	5
Gambar 3	Pemecah gelombang sisi tegak dari kaison.....	6
Gambar 4	Pemecah gelombang campuran.....	6
Gambar 5	Perbandingan bentuk profil gelombang	7
Gambar 6	Daerah penerapan teori gelombang fungsi H/d dan d/L	8
Gambar 7	Sketsa definisi gelombang	10
Gambar 8	Tipe gelombang pecah	11
Gambar 9	Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi dan dalam.....	12
Gambar 10	Gelombang berdiri	14
Gambar 11	Definisi run-up dan run-down.....	17
Gambar 12	Sketsa terjadinya run-up gelombang.....	17
Gambar 13	Grafik run-up gelombang.....	19
Gambar 14	Menentukan kekasaran rata-rata	20
Gambar 15	Menentukan kekasaran rata-rata	20
Gambar 16	Pengaruh kekasaran pada sub lapis.....	21
Gambar 17	Kerangka pikir penelitian.....	29
Gambar 18	Wave flume	32
Gambar 19	Pembangkit gelombang tipe flap	33
Gambar 20	Wave monitor yang terhubung ke wave probe dan komputer	33
Gambar 21	Wave Probe	33
Gambar 22	Komputer kontrol.....	34
Gambar 23	Sketsa model dengan variasi kedalaman.....	34
Gambar 24	Model permukaan halus	35
Gambar 25	Model Permukaan Kasar.....	36
Gambar 26	Sketsa parameter pada model penelitian.....	36
Gambar 27	Tata letak model pada saluran gelombang	36
Gambar 28	Diagram alir penelitian.....	39



- Gambar 29** Hubungan tinggi gelombang datang (H_i) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 18 cm pada permukaan halus42
- Gambar 30** Hubungan tinggi gelombang datang (H_i) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 21 cm pada permukaan halus43
- Gambar 31** Hubungan tinggi gelombang datang (H_i) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 24 cm pada permukaan halus43
- Gambar 32** Hubungan tinggi gelombang datang (H_i) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 18 cm pada permukaan kasar47
- Gambar 33** Hubungan tinggi gelombang datang (H_i) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 21 cm pada permukaan kasar47
- Gambar 34** Hubungan tinggi gelombang datang (H_i) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 24 cm pada permukaan kasar48
- Gambar 35** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 18 cm pada permukaan halus.....52
- Gambar 36** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 21 cm pada permukaan halus.....52
- Gambar 37** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 24 cm pada permukaan halus.....53
- Gambar 38** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 18 cm pada permukaan kasar.....55



- Gambar 39** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 21 cm pada permukaan kasar.....56
- Gambar 40** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 24 cm pada permukaan kasar.....56
- Gambar 41** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 18 cm pada permukaan halus59
- Gambar 42** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 21 cm pada permukaan halus60
- Gambar 43** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 24 cm pada permukaan halus60
- Gambar 44** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 18 cm pada permukaan kasar63
- Gambar 45** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 21 cm pada permukaan kasar63
- Gambar 46** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan variasi kemiringan kedalaman 24 cm pada permukaan kasar64
- Gambar 47** Pengaruh $\tan \theta$ terhadap run-up (R_u) untuk $H_i/L = 0.009$ s/d 0.051 .64
- Gambar 48** Pengaruh $\tan \theta$ terhadap run-down (R_d) untuk $H_i/L = 0.009$ s/d 0.05165
- Gambar 49** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan kemiringan 45° pada permukaan halus.....68
- Gambar 50** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan kemiringan 55° pada permukaan halus.....68



- Gambar 51** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan kemiringan 65° pada permukaan halus.....69
- Gambar 52** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan kemiringan 45° pada permukaan kasar.....69
- Gambar 53** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan kemiringan 55° pada permukaan kasar.....70
- Gambar 54** Hubungan kecuraman gelombang (H_i/L) dengan run-up (R_u) dan run-down (R_d) berdasarkan kemiringan 65° pada permukaan kasar.....70
- Gambar 55** Hubungan run-up relatif (R_u/H_i) dan run-down relatif (R_d/H_i) dengan bilangan iribarren72
- Gambar 56** Perbandingan run-up terhadap beberapa jenis material.....72



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

L	=	Panjang gelombang
g	=	Percepatan gravitasi bumi
T	=	Periode gelombang
d	=	Kedalaman air
H	=	Tinggi gelombang
Ir	=	Bilangan Iribarren
θ	=	Sudut kemiringan sisi bangunan pemecah gelombang
Hi/L	=	Kecuraman gelombang
H/d	=	Ketinggian relatif
d/L	=	Kedalaman relatif
Hi	=	Tinggi gelombang datang
Hr	=	Tinggi gelombang refleksi
Hmax	=	Tinggi gelombang maximum
Hmin	=	Tinggi gelombang minimum
Ru	=	Run-up gelombang
Rd	=	Run-down gelombang
Ru/Hi	=	Run-up relatif
Rd/Hi	=	Run-down relatif



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia ialah negara kepulauan dengan luas pantai 80.000 km. Daerah pantai ialah daerah padat penduduk dengan banyak kegiatan manusia, antara lain daerah pusat pemerintahan, daerah pemukiman, industri, pelabuhan, pertambakan, budidaya perikanan, serta wilayah tempat pariwisata, hal ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan lahan, infrastruktur dan lainnya serta pada akhirnya memunculkan kasus baru yaitu pencemaran lingkungan, pendangkalan muara sungai, sedimentasi di daerah pantai, serta erosi pantai (Triatmodjo, 1999).

Erosi pantai perlu dipertimbangkan serta harus diatasi. Erosi ialah proses alam yang berbentuk pengikisan tanah di daerah pesisir pantai yang diakibatkan oleh arus serta gelombang laut. Erosi ini menyebabkan pengikisan daerah pantai serta menysar daerah yang sangat dekat dengan air laut sehingga menyebabkan kehancuran sarana serta pemukiman. Hal ini tidak boleh dibiarkan karena dapat secara terus mengikis bagian pantai.

Permasalahan yang terjadi di daerah pantai memunculkan kerugian yang sangat besar. Oleh sebab itu, dibutuhkan perlindungan pada zona yang mengalami kerusakan agar tidak terjadi kehancuran yang parah. Hal yang dapat dilakukan yaitu dengan membuat perencanaan bangunan pantai. Bangunan pantai merupakan segala tipe prasarana yang dibentuk di garis pantai serta berperan sebagai pelindung pantai, daratan serta pelabuhan. Bangunan pantai digunakan untuk melindungi pantai dari kehancuran yang diakibatkan oleh gelombang serta arus.

Salah satu tipe bangunan pantai merupakan pemecah gelombang (Breakwater). Breakwater merupakan suatu struktur bangunan laut yang dirancang untuk melindungi pantai dari gelombang yang dibuat pada jarak tertentu tergantung kondisi garis pantai. Breakwater dibangun sebagai salah satu bentuk untuk menghindari terjadinya erosi pantai dengan menghancurkan energi gelombang saat

sampai ke pantai, sehingga menimbulkan terjadinya endapan di belakang

1.

Bangunan pantai harus dapat menahan gesekan air terhadap permukaan

1. Bangunan dengan sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu dapat



menyerap lebih banyak energi gelombang dibanding bangunan tegak dan masif. Bangunan pemecah gelombang dengan sisi miring mempunyai ciri yang fleksibel. Kehancuran akibat serangan gelombang tidak terjadi secara tiba-tiba (tidak fatal). Walaupun beberapa batu berjatuhan, bangunan tersebut masih dapat berfungsi. Kehancuran yang ditimbulkan bisa dengan gampang diperbaiki dengan memasang batu pelindung di sisi bagian yang longsor.

Pada desain bangunan pantai, run-up gelombang adalah salah satu aspek utama yang dapat mempengaruhi desain struktur dalam menentukan desain elevasi puncak struktur bangunan pantai. Oleh karena itu, run-up gelombang sangat penting untuk merencanakan bangunan pantai. Nugroho (2020) run-up yang terjadi cenderung menurun bersamaan dengan meningkatnya nilai kekasaran. Secara umum hasil yang diperoleh menampilkan bahwa dengan adanya kekasaran buatan pada lereng revetment dapat mengurangi besarnya run-up pada revetment dengan kemiringan 30° . Run-up dan run-down tergantung pada ketinggian dan kecuraman gelombang, karakteristik gelombang, sudut kemiringan serta bentuk dan kekasaran bangunan. Terdapat banyak aspek yang dapat mempengaruhi run-up dan run-down gelombang.

Berdasarkan hal tersebut di atas, penulis melakukan pengujian eksperimental di laboratorium dengan menggunakan beberapa variasi kemiringan pada model struktur bangunan pantai dengan variasi model permukaan halus dan permukaan kasar. Maka penulis melakukan penelitian dengan judul **“Pengaruh Kemiringan Ganda dan Kekasaran Dinding Bangunan Pantai terhadap Run-up dan Run-down Gelombang”**.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis pengaruh parameter gelombang pada model struktur terhadap run-up dan run-down gelombang?
2. Bagaimana menganalisis pengaruh kemiringan ganda terhadap run-up dan run-down gelombang dengan permukaan halus dan kasar?

Bagaimana menganalisis hubungan parameter berpengaruh dengan run-up dan run-down gelombang dengan permukaan halus dan kasar?



1.3 Tujuan Penelitian

Adapun penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh parameter gelombang pada model struktur terhadap run-up dan run-down gelombang.
2. Menganalisis pengaruh kemiringan ganda terhadap run-up dan run-down gelombang dengan permukaan halus dan kasar.
3. Menganalisis hubungan parameter berpengaruh dengan run-up dan run-down gelombang dengan permukaan halus dan kasar.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Diharapkan dapat memberikan gambaran perbandingan mengenai pengaruh kemiringan ganda terhadap run-up dan run-down gelombang pada model struktur bangunan pantai dengan permukaan halus dan kasar.
2. Sebagai bahan perbandingan serta referensi yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan permasalahan tersebut.

1.5 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa.
2. Fluida yang digunakan dalam *wave flume* merupakan air tawar.
3. Gelombang yang dibangkitkan yaitu gelombang teratur (*regular wave*).
4. Arah datang gelombang tegak lurus terhadap struktur.
5. Batu untuk permukaan kasar dengan ukuran yang ditentukan.
6. Model yang digunakan yaitu tiga variasi sudut kemiringan dari bahan akrilik.



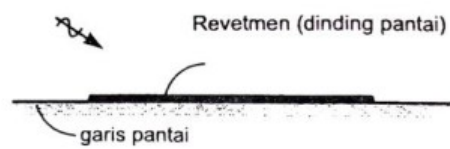
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Pantai

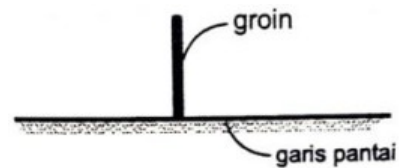
Bangunan pantai berperan untuk melindungi pantai dari kerusakan yang diakibatkan karena serangan gelombang serta arus (Triatmodjo, 1999).

Bangunan pantai diklasifikasikan dalam tiga kelompok yaitu:

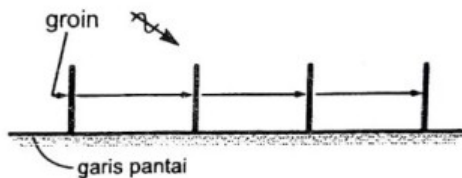
1. Struktur yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai, yang berupa revetment dan dinding pantai.
2. Struktur yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan sambung ke pantai, yang disebut groin.
3. Struktur yang dibangun dilepas pantai dan sejajar dengan garis pantai yang disebut pemecah gelombang sambung pantai.



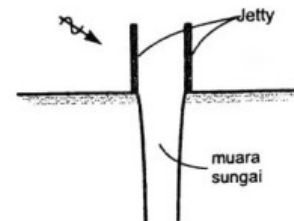
Dinding pantai atau revetment



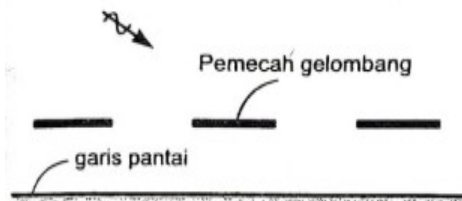
Groin



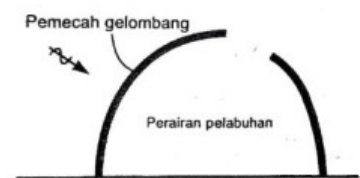
Seri groin



Jetty



Pemecah gelombang lepas pantai



Pemecah gelombang sambung pantai



Gambar 1 Tipe bangunan pantai
Sumber: Triatmodjo, 2012

2.2 Pemecah Gelombang (Breakwater)

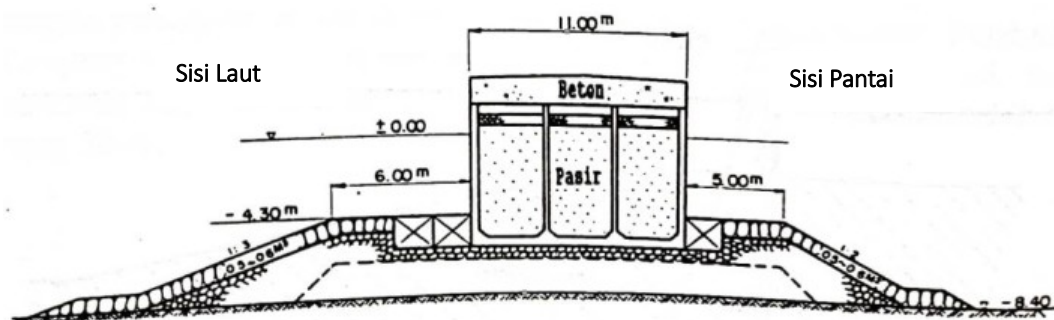
Pemecah gelombang pantai dibangun untuk dapat mengatasi permasalahan pantai yang disebabkan oleh gelombang. Pemecah gelombang atau breakwater adalah struktur bangunan pantai yang dibangun untuk memecah gelombang dengan menyerap sebagian energi gelombang. Bangunan pemecah gelombang pada dasarnya memisahkan pelabuhan dengan lautan lepas, sehingga wilayah pelabuhan tidak terpengaruh oleh gelombang besar di laut. Dengan adanya pemecah gelombang ini maka air di daerah pelabuhan menjadi lebih tenang dan kapal bisa melakukan bongkar muat barang dengan mudah (Triatmodjo, 2010).

Hal-hal yang perlu diketahui pada saat merancang pemecah gelombang antara lain menentukan tata letak, penentuan kondisi desain perencanaan, dan pemilihan jenis tipe struktur yang akan digunakan.

Pemecah gelombang dibedakan menjadi tiga jenis yaitu:

1. Pemecah gelombang sisi miring

Pemecah gelombang sisi miring dibuat dari tumpukan batu alam yang dilindungi lapisan pelindung, biasanya berupa batu besar atau beton dengan bentuk tertentu. Pemecah gelombang jenis ini umum digunakan di Indonesia karena dasar laut di sepanjang pantai Indonesia sebagian besar dari tanah lunak. Selain itu batu alam sebagai material utama juga banyak tersedia.



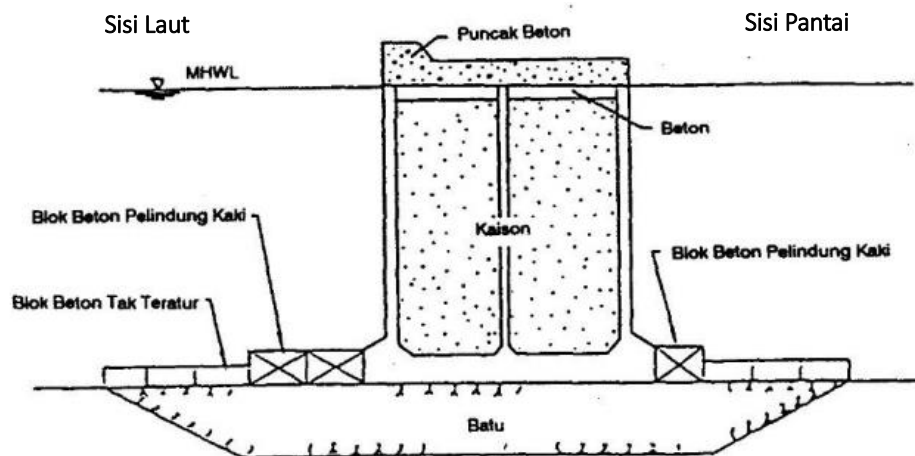
Gambar 2 Pemecah gelombang sisi miring dari tumpukan batu

Sumber: Triatmodjo, 1996

2. Pemecah gelombang sisi tegak

Pemecah gelombang sisi tegak dibangun jika lapisan tanah di bawahnya mempunyai daya dukung yang tinggi dan tahan terhadap erosi. Untuk lapisan tanah dengan daya dukung rendah, dasar dari tumpukan batu dibuat untuk busikan beban ke area yang lebih besar.

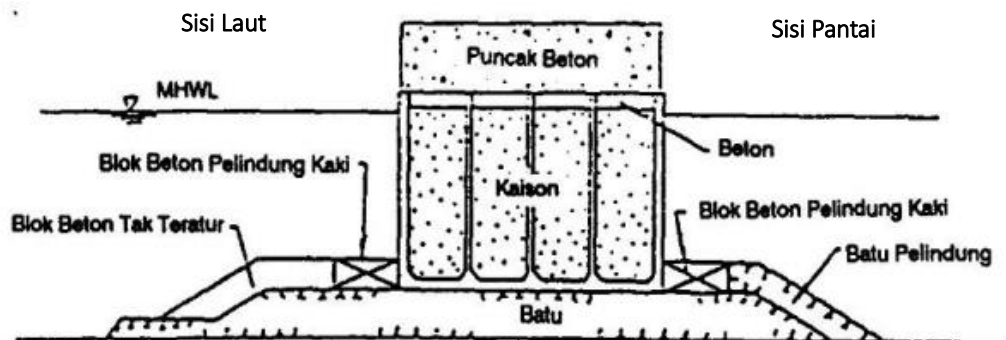




Gambar 3 Pemecah gelombang sisi tegak dari kaisan
Sumber: Triatmodjo, 1996

3. Pemecah gelombang campuran

Pemecah gelombang campuran terdiri dari pemecah gelombang sisi tegak yang dibangun di atas pemecah gelombang tumpukan batu. Bangunan ini dibangun ketika kedalaman air sangat besar dan lapisan tanah dasar tidak mampu menahan beban dari pemecah gelombang sisi tegak. Pada saat air surut bangunan berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi miring, sedang pada saat air pasang berfungsi sebagai pemecah gelombang sisi tegak.



Gambar 4 Pemecah gelombang campuran
Sumber: Triatmodjo, 1996

2.3 Teori Dasar Gelombang

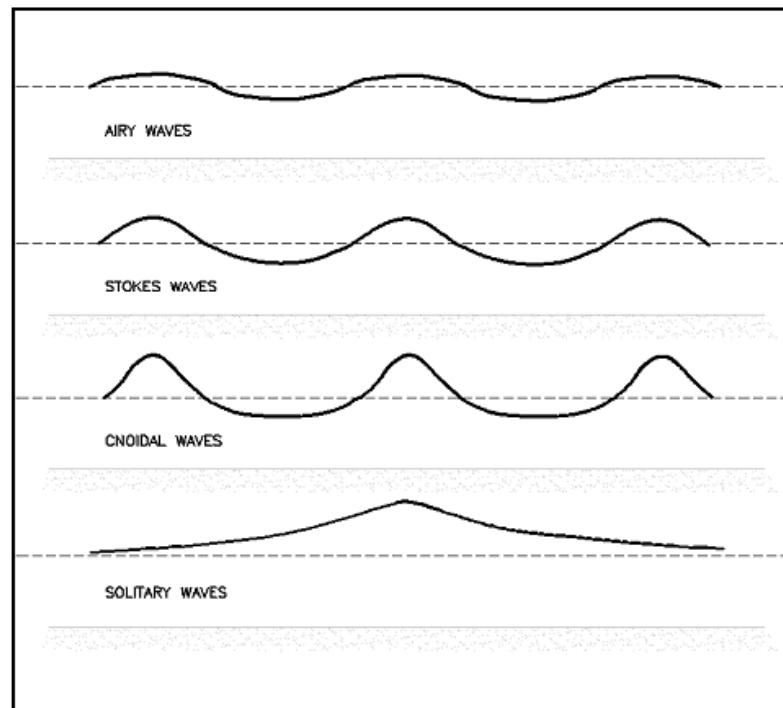
Bentuk gelombang di alam begitu kompleks, tiga dimensi serta memiliki banyak bentuk yang bermacam-macam dan sulit digambarkan secara matematis karena sifatnya yang dinamis. Beberapa teori yang terdapat hanya menerangkan bentuk gelombang yang sederhana serta merupakan pendekatan terhadap gelombang alam.



Untuk menggambarkan fenomena gelombang laut para ilmuwan telah mengembangkan beberapa teori gelombang yaitu:

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

Teori gelombang tersebut memiliki batasan keberlakuan yang berbeda-beda. Teori gelombang *Airy* merupakan gelombang dengan amplitudo kecil, sedang teori yang lain merupakan gelombang amplitudo terbatas (*Finite Amplitudo Waves*). Perbandingan profil gelombang untuk berbagai teori gelombang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 Perbandingan bentuk profil gelombang

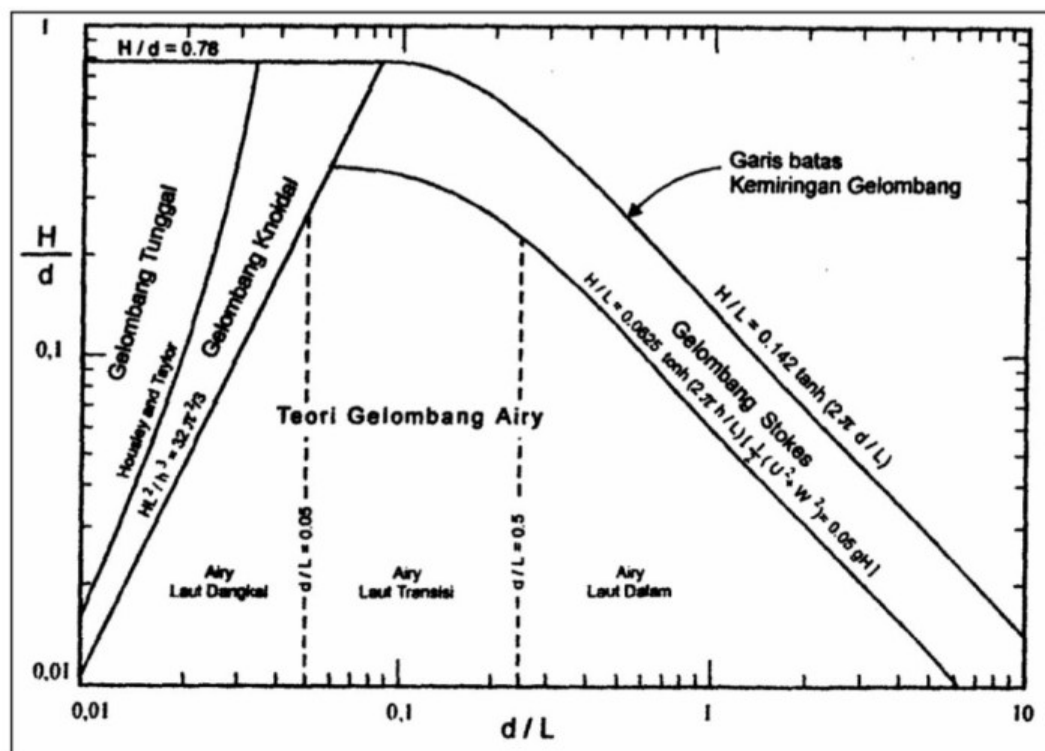
Sumber: Siddique, 2018

Teori yang paling sederhana merupakan teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil, yang pertama kali dikemukakan oleh Airy pada tahun



1845. Teori gelombang ini sangat penting karena tidak hanya gampang diterapkan, namun juga dapat diandalkan di sebagian besar daerah gelombang. Untuk menentukan teori yang sangat cocok dengan permasalahan yang dialami, batasan pemakaian masing-masing teori gelombang ditunjukkan pada gambar 6. Pada gambar ini penerapan teori gelombang didasarkan pada nilai perbandingan H/d dan d/L (Triatmodjo, 1999).

Teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di permukaan air dan dasar laut. Memecahkan persamaan ini menghasilkan potensial kecepatan periodik untuk aliran tak rotasional. Potensial kecepatan ini kemudian digunakan untuk menurunkan persamaan dari berbagai karakteristik gelombang seperti fluktuasi muka air, kecepatan rambat gelombang, tekanan, kecepatan dan percepatan partikel (Triatmodjo, 1999).



Gambar 6 Daerah penerapan teori gelombang fungsi H/d dan d/L

Sumber: Triatmodjo, 1999



Parameter penting dalam menggambarkan gelombang air yaitu panjang gelombang, tinggi gelombang, serta kedalaman air.

Berdasarkan pada teori *Airy* maka gerak gelombang dianggap sebagai kurva sinus harmonis (*Sinusoidal Progressive Wave*). Gelombang dapat dijelaskan secara geometri (Triatmodjo, 1999) berdasarkan:

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

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

Persamaan (1) dapat diselesaikan untuk menentukan panjang gelombang (L) yaitu dengan menggunakan metode iterasi. Pada persamaan (1) dibutuhkan panjang gelombang awal (L_0) dengan menggunakan persamaan berikut:

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

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

Ketiga parameter tersebut di atas digunakan untuk menentukan parameter gelombang yang lain, seperti:

- a. Kemiringan gelombang (*Wave Steepness*) = H/L
- b. Ketinggian relatif (*Relative Height*) = H/d
- c. Kedalaman relatif (*Relative Depth*) = d/L

Parameter penting lainnya seperti:

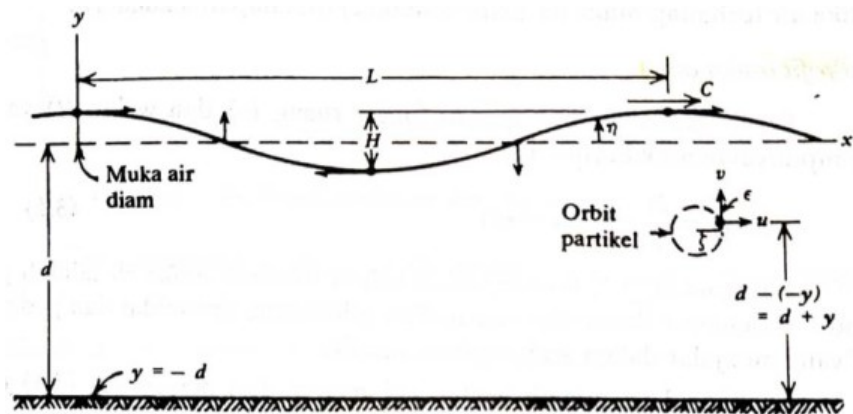
1. Amplitudo gelombang (A), yaitu diambil setengah tinggi gelombang ($\frac{H}{2}$).
2. Periode gelombang (T), yaitu interval waktu yang perlukan antara dua puncak gelombang (*Wave Crest*).
3. Frekuensi (f), yaitu jumlah puncak gelombang yang melewati titik tetap per-detik. Satu periode gelombang bisa dinyatakan dalam ukuran sudut (θ) = 2π . Frekuensi berbanding terbalik dengan periode, dimana:

$$f = \frac{1}{T} \quad (3)$$

4. Cepat rambat gelombang (C), kecepatan rambat gelombang diperoleh dengan membagi gelombang dengan periode gelombang, dimana:

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





Gambar 7 Sketsa definisi gelombang

Sumber: Triatmodjo, 1996

Beberapa notasi yang digunakan yaitu:

- d = jarak antara muka air rerata dan dasar laut
- $\eta(x, t)$ = fluktuasi muka air terhadap muka air diam
- a = amplitudo gelombang
- H = tinggi gelombang = $2a$
- L = panjang gelombang
- T = periode gelombang, interval waktu yang dibutuhkan 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 $2\pi/T$

2.4 Gelombang Pecah

Gelombang yang merambat dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk akibat perubahan kedalaman laut. Pengaruh kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang. Di laut dalam, profil gelombangnya berbentuk sinusoidal, semakin menuju ke perairan yang lebih dangkal puncak gelombang semakin tajam dan lembah gelombang semakin datar. Selain itu kecepatan dan panjang gelombang berkurang secara bertahap sementara tinggi gelombang bertambah (Triatmodjo, 1999).

Gelombang pecah dapat diklasifikasikan sebagai berikut yaitu:



1. *Spilling*

Spilling biasanya terjadi ketika gelombang dengan kemiringan kecil mendekati pantai yang datar (kemiringan kecil). Gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya terjadi berangsur-angsur. Buih terjadi pada puncak gelombang selama mengalami pecah dan meninggalkan suatu lapis tipis buih pada jarak yang cukup panjang.

2. *Plunging*

Apabila kemiringan gelombang dan dasar bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan. Energi gelombang pecah dihancurkan dalam turbulensi, dan hanya sebagian kecil yang dipantulkan pantai ke laut, dan hanya sedikit gelombang baru terjadi pada air yang lebih dangkal.

3. *Surging*

Surging terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang. Daerah gelombang pecah sangat sempit, dan sebagian besar energi dipantulkan kembali ke laut dalam. Jenis gelombang pecah tipe *surging* ini mirip dengan *plunging*, tetapi sebelum puncaknya terjun, dasar gelombang sudah pecah.

Dikatakan *spilling* apabila:

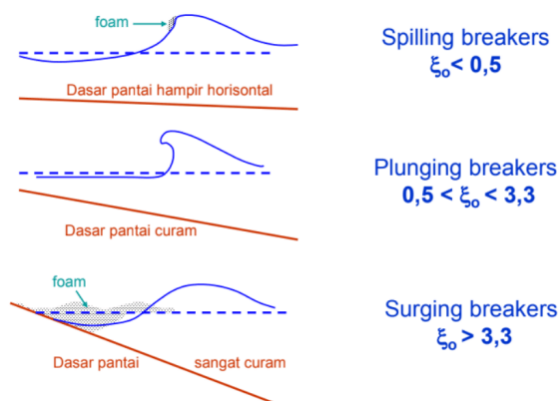
$$\xi_0 = < 0,5$$

Dikatakan *plunging* apabila:

$$0,5 < \xi_0 < 3,3$$

Dikatakan *surging* apabila:

$$\xi_0 = > 3,3$$



Gambar 8 Tipe gelombang pecah

2.5 Klasifikasi Gelombang

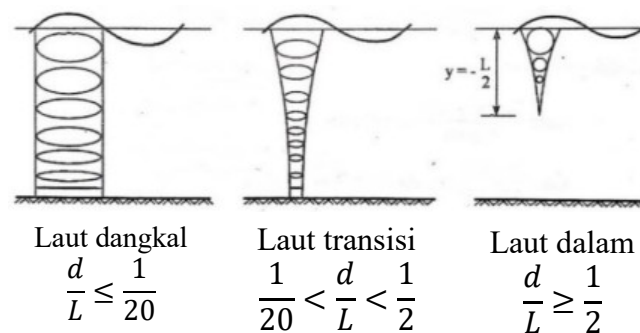
Gelombang dapat dikategorikan dalam tiga kategori gelombang yaitu gelombang air dangkal, gelombang transisi dan gelombang air dalam, jika ditinjau dari kedalaman perairan dimana gelombang menjalar. Ketiga kategori ini didasarkan pada rasio antara kedalaman dan panjang gelombang (d/L). Batasan penggunaannya tercantum pada tabel di bawah ini.

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

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

Sumber: Triatmodjo, 1999

Selama penjalaran gelombang dari laut dalam sampai laut dangkal, pada gelombang terjadi partikel-partikel air yang berubah bentuk. Bentuk partikel yang terdapat dalam gelombang yang bergerak menuju laut dangkal digambarkan pada gambar 9.



Gambar 9 Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi dan dalam

Sumber: Triatmodjo, 1999

2.6 Deformasi Gelombang

Deformasi gelombang merupakan perubahan sifat gelombang yang terjadi pada saat gelombang bergerak merambat menuju ke pantai. Perubahan atau deformasi gelombang tersebut antara lain, refraksi, difraksi, refleksi, pendangkalan gelombang dan gelombang pecah.

Refraksi gelombang (*Wave refraction*)

Refraksi gelombang dapat didefinisikan sebagai pembelokan arah rambat puncak gelombang tergantung pada bentuk kontur kedalaman laut.



2. Difraksi gelombang (*Wave diffraction*)

Difraksi gelombang (*Wave diffraction*) adalah proses pemindahan energi gelombang ke arah daerah yang terlindungi oleh pulau, bukit batu/karang yang menjorok ke laut atau bangunan pantai.

3. Refleksi gelombang (*Wave reflection*)

Refleksi gelombang atau proses pantulan (*Wave reflection*) adalah gelombang datang yang mengenai atau seluruhnya. Gelombang yang merambat dari perairan dalam menuju pantai mengalami berbagai proses, antara lain perubahan tinggi gelombang, kecepatan, arah dan fenomena lainnya.

Menurut teori gelombang amplitudo kecil, fluktuasi tinggi muka air gelombang datang adalah:

$$\eta_i = \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma t) \quad (5)$$

dan gelombang refleksi:

$$\eta_r = X \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma t) \quad (6)$$

Profil muka air di depan bangunan diberikan oleh jumlah η_i dan η_r :

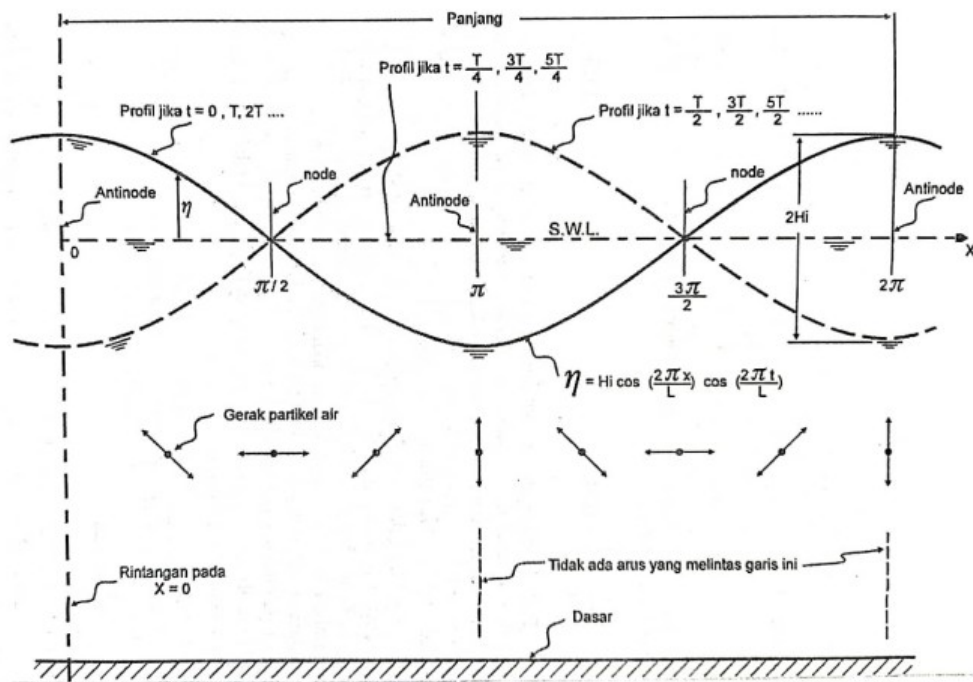
$$\begin{aligned} \eta &= \eta_i + \eta_r = \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma t) + X \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma t) \\ &= (1 + X) \frac{H_i}{2} \cos kx \cos \sigma t \end{aligned}$$

Apabila refleksi adalah sempurna $X = 1$ maka:

$$\eta = H_i \cos kx \cos \sigma t \quad (7)$$

Persamaan tersebut menunjukkan fluktuasi muka air dari gelombang berdiri (*standing wave atau clapotis*) yang periodik terhadap waktu (t) dan terhadap jarak (x). Apabila $\cos kx = \cos \sigma t = 1$ maka tinggi maksimum adalah $2 H_i$, yang berarti bahwa tinggi gelombang di depan bangunan vertikal bisa mencapai dua kali tinggi gelombang datang. Gambar 10 adalah profil muka air sebagai fungsi kx untuk berbagai nilai σt .





Gambar 10 Gelombang berdiri

Sumber: Triatmodjo, 1999

Mengacu pada gambar 10 maka nilai H_{max} dan H_{min} dapat diukur dari hasil rekaman dengan uraian sebagai berikut:

$$H_{max} = H_i + H_r \quad (8)$$

$$H_{min} = H_i - H_r \quad (9)$$

Kedua persamaan simultan (8) dan (9) dapat diselesaikan sehingga tinggi gelombang datang (H_i) dan tinggi gelombang refleksi (H_r) adalah:

$$H_i = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (10)$$

$$H_r = \frac{H_{max} - H_{min}}{2} \quad (11)$$

Parameter refleksi gelombang biasanya dinyatakan dalam bentuk koefisien refleksi (K_r), dimana:

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

Dimana energi refleksi $E_r = \frac{1}{8} \rho g H_r^2$ dan energi gelombang datang $E_i = \frac{1}{8} \rho g H_i^2$ dengan ρ adalah rapat massa zat cair dan g adalah percepatan

Nilai K_r berkisar dari 1,0 untuk refleksi total hingga 0 untuk tidak ada refleksi. Koefisien refleksi bangunan diperkirakan berdasarkan tes model, suatu

bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu akan dapat menyerap energi gelombang lebih banyak dibanding dengan bangunan yang tegak dan masif, koefisien refleksi berbagai tipe bangunan dapat dilihat pada tabel 2.

Parameter yang mempengaruhi refleksi dan disipasi gelombang adalah tinggi gelombang datang (H_i). Nilai koefisien refleksi (K_r) bertambah seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang datang (H_i), dan nilai koefisien disipasi (K_d) menurun seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang datang (H_i), begitu juga dengan nilai tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang disipasi (H_d). Mengenai kekasaran pipa, semakin besar kekasaran maka semakin besar pula koefisien refleksi (K_r), koefisien disipasi (K_d), tinggi gelombang refleksi (H_r), dan tinggi gelombang disipasi (H_d) (Karamma, dkk., 2019).

Tabel 2 Koefisien Refleksi

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

Sumber: Triatmodjo, 1999

Nilai koefisien refleksi (K_r) pemecah gelombang sisi miring berongga akan meningkat jika terjadi juga peningkatan pada nilai parameter kecuraman gelombang (H_i/L), kedalaman relatif (d/L), volume rongga relatif (V_r/V_l) serta parameter volume struktur relatif (V_r/V_s) (Huddiankuwera, 2022).

Koefisien gelombang transmisi (K_t) dan koefisien gelombang refleksi (K_r) dipengaruhi besarnya kedalaman air (d), kedalaman air di atas puncak pemecah gelombang ambang rendah (h), periode gelombang (T), lebar puncak pemecah gelombang (B), dan lebar antara pemecah gelombang (B') (Surendro, dkk., 2015). Semakin besar koefisien refleksi, maka semakin besar debit limpasan. Gelombang berdiri di depan struktur disebabkan superposisi gelombang datang dan gelombang refleksi juga berkontribusi terhadap peningkatan debit limpasan (Thaha,

l., 2018). Debit overtopping (q) dipengaruhi secara signifikan oleh free-board pemecah gelombang relatif terhadap tinggi gelombang



(R_c/H_i), kemiringan struktur ($\tan \alpha$) dan kecuraman gelombang (H_i/L_o) (Thaha, A., *et. al.*, 2015).

Parameter-parameter yang mempengaruhi besar gelombang refleksi pada inovasi pengubah energi pemecah gelombang adalah periode gelombang (T), tinggi gelombang (H_i), tinggi freeboard (R_c), dan kemiringan model. Pengaruh freeboard relatif ($\frac{R_c}{H_i}$) terhadap koefisien refleksi (K_r) dijelaskan pada kurva hubungan K_r dan $\frac{R_c}{H_i}$, yaitu nilai koefisien refleksi semakin besar seiring dengan semakin besarnya nilai freeboard relatif ($\frac{R_c}{H_i}$) (Puspita, *et. al.*, 2021).

Revetment bertirai adalah salah satu rancangan alternatif yang diharapkan mampu meredam gelombang, mengurangi refleksi sekaligus mengurangi run-up dan run-down gelombang serta artistik untuk wilayah perkotaan. Hasil penelitian menunjukkan semakin rapat tirai semakin meningkat kemampuan disipasi gelombangnya, semakin memperkecil refleksi gelombang serta semakin kecil run-up/run-down yang terjadi. Parameter kecuraman gelombang (H_i/L) dan kerapatan tirai (S/B) baik sendiri-sendiri maupun secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap refleksi dan disipasi gelombang (Thaha, *et. al.*, 2011).

4. Proses pendangkalan (*Wave shoaling*)

Proses pendangkalan adalah proses berkurangnya tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman. Ketika gelombang bergerak dari perairan dalam menuju ke perairan pantai akan mengalami perubahan kedalaman, dari perairan yang dalam ke perairan yang dangkal. Perbedaan kedalaman ini juga menyebabkan perbedaan profil gelombang datang terutama pada perubahan ketinggian gelombangnya.

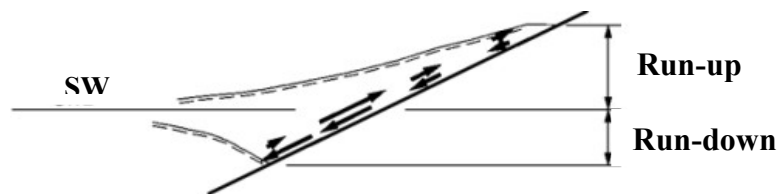
5. Gelombang pecah (*Wave breaking*)

Apabila gelombang merambat dari perairan dalam menuju ke perairan dangkal (pantai) maka gelombang akan pecah ini dapat semakin tinggi gelombangnya daripada gelombang yang datang, atau malah sebaliknya. Hal ini tergantung pada kemiringan pantai (Hidayati, 2017).



2.7 Run-up dan Run-down Gelombang

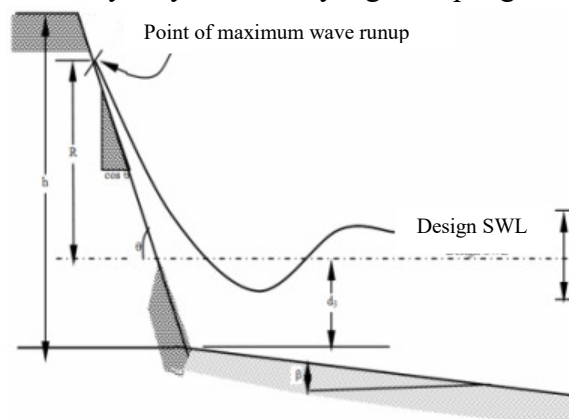
Run-up gelombang terjadi ketika gelombang datang bergerak menuju pantai dan membentur kemiringan garis pantai atau struktur bangunan pelindung pantai maka sebagian energi gelombang diubah menjadi gerakan air yang meluncur menuju ke arah lereng bangunan. Ketika ketinggian elevasi maksimum tercapai, akan menyebabkan aliran balik yang disebut run-down akibat gaya gravitasi. Run-down akan terus berlangsung hingga munculnya gelombang berikutnya atau sampai datang run-up dari gelombang berikutnya atau run-down mencapai lembah dari gelombang berikutnya. Ketinggian elevasi run-up dan run-down diukur secara vertikal terhadap muka air rerata.



Gambar 11 Definisi run-up dan run-down

Sumber: Burchart, H. F., & A. Hughes, S. 2003

Run-up gelombang berguna untuk menentukan ketinggian maksimum puncak struktur pengaman pantai. Ketinggian run-up dapat didefinisikan sebagai elevasi vertikal maksimum yang dapat dicapai oleh gerakan air yang meluncur ke atas lereng, diukur dari muka air tenang (SWL=*Sea Water Level*) (Muliati, 2020). Run-up tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kedalaman air pada kaki bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan, dan karakteristik gelombang yang ditimbulkan (Pratikto, dkk., 2014). Besarnya run-up sangat sulit ditentukan secara analitis, karena banyaknya variabel yang mempengaruhi.



Gambar 12 Sketsa terjadinya run-up gelombang

Sumber: Pratikto, dkk., 2014



Gambar 13 adalah hasil percobaan di laboratorium yang dilakukan iribarren untuk menentukan besarnya run-up gelombang pada bangunan dengan permukaan miring dari berbagai tipe material, sebagai fungsi bilangan iribarren dari berbagai jenis lapis lindung yang mempunyai bentuk berikut (Triatmodjo, 1999):

$$Ir = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{H}{L_o}\right)^{0,5}} \quad (13)$$

dimana,

I_r = Bilangan iribarren

θ = Sudut kemiringan sisi bangunan pemecah gelombang

H = Tinggi gelombang di lokasi bangunan

L_o = Panjang gelombang di laut dalam

Selain dengan rumus empiris di atas, tinggi rayapan (run-up) dapat ditentukan pula dengan cara grafis, yaitu menggunakan grafik hubungan bilangan iribarren dan tinggi relatif *wave run-up* (R_u) atau *wave run-down* (R_d) untuk berbagai jenis lapis lindung seperti pada gambar 13.

Jadi dari perpotongan antara bilangan iribarren tertentu, dengan garis lengkung dari jenis lapis lindung yang dipilih, kemudian dihubungkan secara horizontal dengan sumbu ordinat, atau diketahui nilai R_u/H atau R_d/H . Dengan H merupakan tinggi gelombang di lokasi rencana, maka R_u atau R_d dapat dihitung.

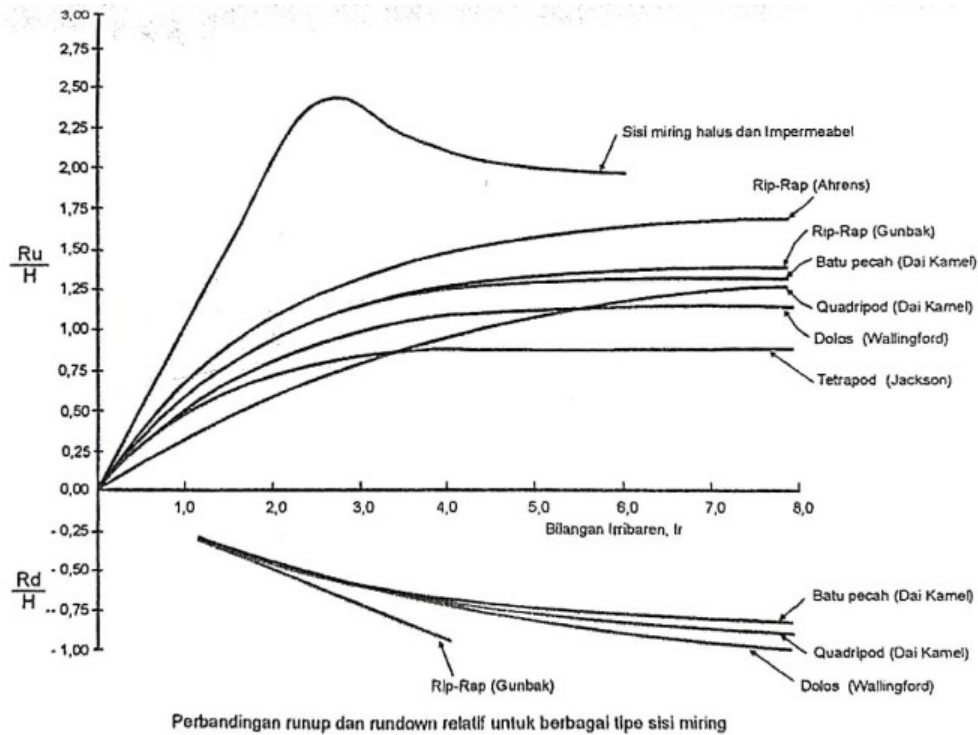
Thaha, M.A., *et. al.*, (2013) dalam *The performance of perforated screen seawall in dissipating waves, minimizing reflected wave and run-up/run-down*. Tembok laut berlubang dianggap sebagai struktur pantai multifungsi yang dapat menghilangkan energi gelombang sekaligus menekan ketinggian gelombang pantulan dan run-up dan run-down gelombang. Menambahkan layar berlubang di depan tanggul laut akan meningkatkan efektivitas struktur dalam menyerap energi gelombang, mengurangi pantulan gelombang serta run-up dan run-down gelombang, semakin tinggi kerapatan layar berlubang (S/B semakin kecil) maka kemampuan penyerapan gelombang semakin besar dan pantulan gelombang yang dihasilkan semakin kecil, begitu pula sebaliknya.

Puspita, *et. al.*, (2020) dalam *Effect of wave steepness to relative wave on OWEC breakwater*. Ketinggian run-up gelombang yang terjadi dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain kecuraman dari gelombang yang masuk.

Kecuraman gelombang terhadap kenaikan gelombang relatif pada



pemecah gelombang OWEC (*Overtopping Wave Energi Converter*) diselidiki menggunakan uji eksperimental. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil nilai kecuraman gelombang maka nilai run-up relatif gelombang semakin besar, begitu pula sebaliknya.



Gambar 13 Grafik run-up gelombang
Sumber: Triatmodjo, 1999

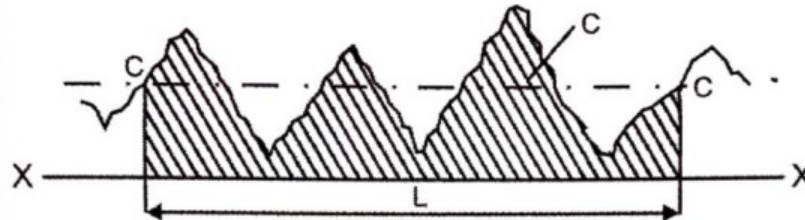
2.8 Kekasaran Permukaan

Surface Roughness atau kekasaran permukaan merupakan unsur tekstur dari suatu permukaan. Nilai kekasarannya sendiri dapat dinyatakan dalam *Roughness Average* atau Ra. Nilai kekasaran Ra merupakan parameter kekasaran yang paling umum dan banyak digunakan di berbagai negara. Ra sendiri dapat diartikan sebagai rata-rata aritmatika dan adanya penyimpangan pada profil kekasaran. Kekasaran permukaan memegang peranan penting dalam menentukan objek yang berinteraksi dengan lingkungannya. Secara umum, permukaan kasar akan lebih rentan terhadap abrasi dan memiliki gaya gesek serta memiliki tingkat lebih tinggi di permukaan



Salah satu cara menentukan kekasaran rata-rata (R_a) adalah dengan grafis, adapun caranya adalah sebagai berikut:

Pertama, gambarkan sebuah garis lurus pada penampang permukaan yang diperoleh dari pengukuran (profil terukur) yaitu garis X – X yang posisinya tepat menyentuh lembah paling dalam, gambar 14.



Gambar 14 Menentukan kekasaran rata-rata

Kedua, selanjutnya ambil sampel panjang pengukuran sepanjang L yang dapat memungkinkan memuat jumlah bentuk gelombang yang hampir sama.

Ketiga, ambil luasan daerah A di bawah kurva dengan menggunakan planimeter atau dengan metode ordinat. Maka dari itu diperoleh jarak garis center C – C terhadap garis X – X secara tegak lurus yang besarnya adalah:

$$Hm = \frac{\text{daerah A}}{L} \quad (14)$$

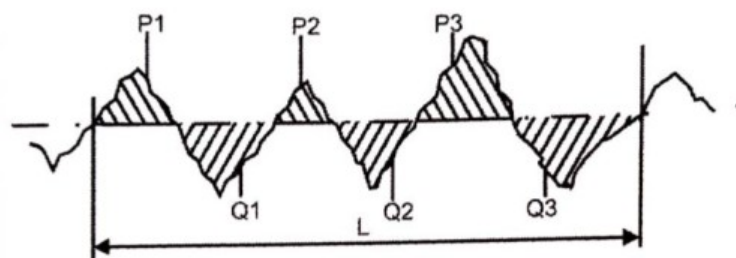
Keempat, sekarang diperoleh suatu garis yang membagi profil terukur menjadi dua bagian yang hampir sama luasnya, yaitu luasan daerah di atas ($P_1 + P_2 + \dots$ dan seterusnya) dan luasan daerah dibawah ($Q_1 + Q_2 + \dots$ dan seterusnya). Maka dari itu R_a dapat ditentukan besarnya yaitu:

$$R_a = \frac{\text{Luas Daerah P} + \text{Luas Daerah Q}}{L} \times \frac{1000}{V_v} (\mu) \quad (15)$$

dimana:

V_v = Perbesaran vertikal. Luas P dan Q dalam millimeter

L = Panjang sampel pengukuran dalam millimeter



Gambar 15 Menentukan kekasaran rata-rata



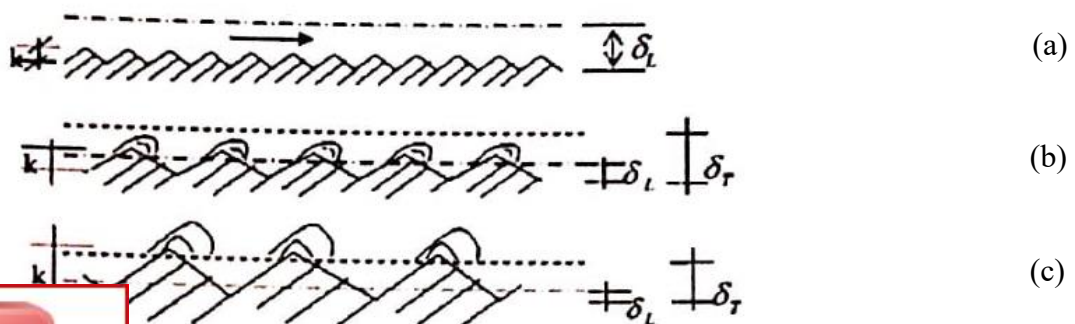
Menurut Triatmodjo (1996) dalam Nugroho (2020), aliran yang melewati suatu zat cair ideal mempunyai distribusi kecepatan yang merata. Namun dalam zat cair riil, kecepataannya melambat dan pada bidang batas kecepataannya adalah nol disebabkan karena adanya pengaruh kekentalan. Lapis zat cair di dekat permukaan bidang batas yang pengaruh kekentalannya dominan disebut dengan lapis batas.

Konsep adanya sub lapis laminar di dalam lapis batas dalam aliran turbulen dapat digunakan untuk menjelaskan perilaku kekasaran permukaan. Jika permukaan bidang batas dibesarkan, dapat terlihat bahwa permukaannya tidak halus seperti yang ditunjukkan pada gambar 16. Ketinggian efektif ketidakrataan permukaan yang membentuk kekasaran disebut dengan tinggi kekasaran k . Hubungan antara tinggi kekasaran dengan jari-jari hidraulis (k/R) atau diameter pipa (k/D) disebut dengan kekasaran relatif.

Pada gambar 16.a tinggi kekasaran lebih kecil dari tebal sub lapis laminar ($k < L\delta$) sehingga ketidakrataan permukaan akan sedemikian kecil sehingga kekasaran akan seluruhnya terendam di dalam lapis laminar. Dalam hal ini kekasaran tidak mempunyai pengaruh terhadap aliran di luar sub lapis laminar, dan permukaan batas tersebut dengan hidraulis licin.

Pada gambar 16.b tinggi kekasaran berada di daerah transisi ($L\delta < k < T\delta$), dan aliran adalah dalam kondisi transisi.

Pada gambar 16.c tinggi kekasaran berada diluar lapis transisi ($k > T\delta$), maka kekasaran permukaan akan berpengaruh di daerah turbulen sehingga mempengaruhi aliran di daerah tersebut. Permukaan ini disebut dengan hidraulis kasar.



Gambar 16 Pengaruh kekasaran pada sub lapis

Menurut Syamsuri, *et. al.*, (2021) kekasaran dinding pipa tergantung pada parameter diameter pipa, panjang pipa, dan kedalaman air pada suatu pori pemecah gelombang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekasaran dinding pipa mempengaruhi gelombang refleksi dan gelombang transmisi. Semakin besar Koefisien Gesekan (f), maka tinggi gelombang yang ditransmisikan semakin kecil. Sebaliknya, tinggi gelombang pantulan yang dihasilkan berbanding terbalik dengan semakin signifikan Koefisien Gesekan (f), gelombang pantulan yang dihasilkan semakin meningkat.

2.9 Hukum Dasar Model

Konsep dasar pemodelan dengan menggunakan skala model adalah untuk membentuk kembali permasalahan atau fenomena yang ada pada prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi pada model akan sebangun (mirip) dengan yang ada pada prototipe. Pemodelan fisik dilakukan ketika sulit mengidentifikasi fenomena dari permasalahan yang ada pada prototipe yang diperoleh karena berbagai keterbatasan.

Kesamaan antara prototipe dan model fisik dapat dicapai jika semua faktor yang mempengaruhi reaksi, berada pada porsi yang sebanding antara kondisi nyata dan model. Agar fenomena-fenomena yang terjadi di prototipe dapat dimodelkan dengan baik (*model similitude*), ada tiga kondisi umum di bawah ini yang harus dipenuhi yaitu:

2.9.1 Sebangun geometrik

Sebangun geometrik adalah suatu kesebangunan dimana bentuk-bentuk yang ada pada model sama dengan bentuk prototipe, namun ukurannya dapat berbeda. Perbandingan seluruh ukuran panjang antara model dan prototipe adalah sama. Ada dua jenis kesebangunan geometrik, yaitu sebangun geometrik sempurna (tanpa distorsi) dan sebangun geometrik dengan distorsi (*distorted*). Jika memungkinkan sebaiknya skala dibuat tanpa distorsi, namun jika terpaksa, maka skala dapat dibuat distorsi. Sebangun geometrik dapat dinyatakan dalam bentuk

$$n_L = \frac{l_p}{l_m} \quad (16)$$



$$n_h = \frac{h_p}{h_m} \quad (17)$$

dimana,

n_L = skala panjang

n_h = skala tinggi

L_p = ukuran panjang prototipe

L_m = ukuran panjang model

h_p = ukuran tinggi pada prototipe

h_m = ukuran tinggi pada model

2.9.2 Sebangun kinematik

Sebangun kinematik terjadi antara prototipe dan model jika prototipe dan model sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan di dua titik yang bersangkutan pada prototipe dan model pada arah yang sama adalah sama besar pada model tanpa distorsi pada seluruh arah, kecepatan dan percepatan mempunyai perbandingan yang sama, sedangkan pada model dengan distorsi perbandingan yang sama hanya berlaku pada arah tertentu saja, yaitu pada arah vertikal atau pada arah horizontal. Oleh karena itu, untuk permasalahan yang menyangkut aliran tiga dimensi disarankan untuk tidak menggunakan “*distorted model*” (Kurdi, dkk., 2019).

$$n_u = \frac{u_p}{u_m} = \frac{n_L}{n_T} \quad (18)$$

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_T^2} \quad (19)$$

$$n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_L^2}{n_T} \quad (20)$$

$$n_T = \frac{T_p}{T_m} \quad (21)$$

dimana,

n_u = skala kecepatan

n_a = skala tinggi

n_Q = skala debit

n_T = skala waktu



2.9.3 Sebangun dinamik

Sebangun dinamik merupakan kesebangunan yang memenuhi kriteria sebangun geometrik dan kinematik, serta perbandingan gaya-gaya yang bekerja pada model dan prototipe untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama adalah sama besar. Untuk menentukan skala model dalam hubungan dengan kesebangunan dinamik, maka dipilih gaya-gaya yang penting saja (Kurdi, dkk., 2019).

Kesetimbangan dinamik dapat dinyatakan sebagai perbandingan gaya-gaya tersebut di atas sebagai bilangan tak berdimensi dan dinyatakan dalam kriteria seperti *Froude*, *Reynold Number*, *Euler Number*, *Weber Number* atau *Cauchy Number*. Kriteria di atas haruslah sama dan dapat dinyatakan sebagai berikut:

a. *Froud Number*

$$\left(\frac{v}{\sqrt{gL}}\right)_p = \left(\frac{v}{\sqrt{gL}}\right)_m \quad (22)$$

b. *Reynold Number*

$$\left(\frac{\rho v L}{\mu}\right)_p = \left(\frac{\rho v L}{\mu}\right)_m \quad (23)$$

c. *Euler Number*

$$\left(\frac{P}{\sigma v^2}\right)_p = \left(\frac{P}{\sigma v^2}\right)_m \quad (24)$$

d. *Weber Number*

$$\left(\frac{\rho v^2 L}{\sigma}\right)_p = \left(\frac{\rho v^2 L}{\sigma}\right)_m \quad (25)$$

e. *Cauchy Number*

$$\left(\frac{\rho v^2}{E}\right)_p = \left(\frac{\rho v^2}{E}\right)_m \quad (26)$$



2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan peneliti sebagai acuan dan bahan referensi dalam menyusun penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

Tabel 3 Daftar Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti (Tahun) dan Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Shankar, N. J. <i>et. al.</i> (2003) “Wave run-up and overtopping on smooth and rough slopes of coastal structures”	Uji model hidrolik dilakukan dalam flume kaca untuk menyelidiki pengaruh tinggi gelombang, periode gelombang, kecuraman gelombang, parameter kemiripan selancar, kekasaran, ketebalan lapisan dan porositas terhadap run-up gelombang dan <i>overtopping</i> kemiringan 1:2 yang <i>impermeable</i> dan pemecah gelombang <i>permeable</i> berhadapan dengan kemiringan pantai yang landai dan mulus 1:10.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Run-up gelombang relatif berkurang dengan peningkatan kecuraman gelombang terutama model <i>impermeable</i> yang halus dan kasar. 2. Faktor pengaruh kekasaran (γ_f), yang bervariasi antara 1,0 dan 0,45 memiliki dampak yang lebih besar pada run-up gelombang. 3. Ketebalan lapisan (<i>armor</i> dan <i>wire mesh</i>) juga memiliki pengaruh pada run-up gelombang tetapi tidak ada korelasi nyata yang ditemukan antara run-up gelombang dan porositas untuk kemiringan model <i>permeable</i>.
2.	Sriyana, dkk. (2007) “Run-up dan Run-down Akibat Pengaruh Sudut Datang Gelombang pada Berbagai Unit Lapis Lindung Pemecah Gelombang”	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metode yang digunakan adalah dengan model fisik. 2. Menggunakan benda uji lapis lindung tetrapod, kubus. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Parameter yang mempengaruhi tinggi run-up dan run down pada breakwater dipengaruhi oleh periode gelombang (T), tinggi gelombang datang (H), jenis lapis lindung, kedalaman (d), dan arah sudut datang gelombang (θ). 2. 0° dan 15°, hasil run-up cenderung naik atau sama pada 0° dan 15° pada semua unit lapis lindung. Pada 30°, tetrapod dan batu pecah cenderung naik dan kubus cenderung turun. Hasil yang sama diperoleh untuk run-down.



No.	Peneliti (Tahun) dan Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
3.	S. Binumol, <i>et. al.</i> (2015) <i>“Runup and Rundown characteristics of an emerged seaside perforated quarter circle breakwater”</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penelitian eksperimen dilakukan dalam flume gelombang dua dimensi di Laboratorium Struktur Kelautan Departemen Mekanika dan Hidrolik Terapan, Institut Teknologi Nasional, Karnataka, Surathkal, Mangalore India. 2. Skala model adalah 1:30, dengan kisaran tinggi dan periode gelombang yang dihasilkan dalam flume gelombang yang memenuhi iklim gelombang pantai Mangalore. 	Runup gelombang tak berdimensi R_u/H_i meningkat seiring bertambahnya kecuraman gelombang dan juga meningkat seiring bertambahnya h_s/d , sedangkan rundown gelombang tak berdimensi R_d/H_i menurun seiring bertambahnya kecuraman gelombang, dan juga menurun seiring bertambahnya h_s/d .
4.	Diwedard, A. I. (2016) <i>“Investigating the effect of wave parameters on wave runup”</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penelitian ini menyajikan hasil dan temuan dari pekerjaan eksperimental untuk menyelidiki pengaruh kondisi gelombang pada run-up gelombang dan run-down dari pemecah gelombang gundukan puing lapis baja kasar. 2. Model fisik dengan skala 1:20 dibangun di laboratorium pesisir HRI. 	Kecuraman gelombang tak berdimensi yang berkisar antara 0,01 dan 0,07 sedangkan run-up tak berdimensi terukur bervariasi antara 1,26 dan 2,24. Hasilnya digunakan untuk memvalidasi persamaan yang ada. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat jelas bahwa kecuraman gelombang berpengaruh besar terhadap run-up.
5.	P. J. (2018)	Metode penelitian yang digunakan yaitu dilakukan secara eksperimental dengan uji fisik di saluran gelombang	1. Parameter yang berpengaruh pada run-up gelombang terdiri dari kerapatan <i>screen layer</i> (ζ), jumlah lapis <i>screen layer</i> (N) jarak <i>screen</i>



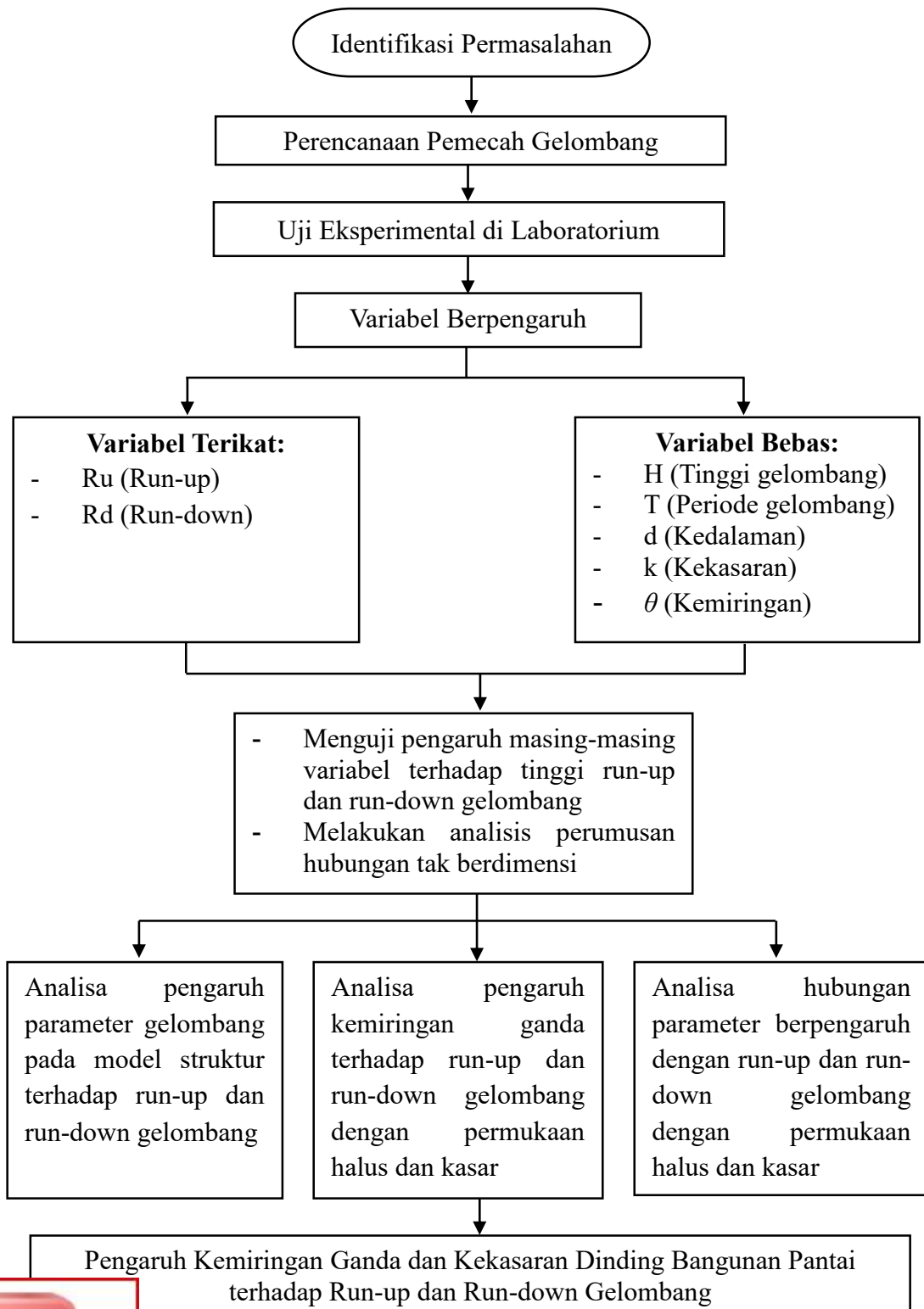
No.	Peneliti (Tahun) dan Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	Pengaruh <i>Screen Layer Breakwater</i> terhadap Tinggi Run Up Gelombang pada <i>Revetment</i> "	2-D yang dilengkapi penggerak gelombang, slot <i>screen</i> dari besi, <i>impermeable revetment</i> dari plat baja dengan kemiringan 30°, <i>screen layer</i> dari material kain tekstil serta alat ukur untuk mengukur tinggi gelombang.	<i>layer</i> (Xm), tinggi gelombang depan struktur (H), panjang gelombang (L) dan kedalaman air (d). 2. Semakin besar kerapatan, jumlah lapis dan jarak bertambah serta kedalaman air kecil maka run-up gelombang yang dihasilkan semakin kecil begitu juga sebaliknya.
6.	Hatta, M.P., <i>et. al.</i> (2020) "Experimental Study of Wave Reflection in Breakwater Overtopping Catcher Model"	1. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Studi eksperimental ini dilakukan pemodelan fisik dimana skala yang digunakan adalah skala panjang 1:20. 2. Model bangunan pemecah gelombang diuji dalam saluran gelombang yang memiliki panjang 15 m dan lebar 30 cm, kedalaman efektif saluran gelombang adalah 45 cm.	1. Hasil penelitian menjelaskan bahwa pertama dalam semua kondisi tinggi freeboard ditunjukkan nilai kecuraman gelombang yang besar tersebut, menghasilkan nilai koefisien pantulan gelombang yang kecil, atau dapat dikatakan bahwa koefisien pantulan gelombang menurun dengan bertambahnya kecuraman gelombang. 2. Semakin curam kemiringan model, semakin besar koefisien pantulan gelombang yang dihasilkan. Itu bisa dilihat bahwa kemiringan 1 : 2 menghasilkan nilai koefisien refleksi gelombang tertinggi.
7.	Puspita, A. I. D., <i>et. al.</i> (2020)	Model penelitian pemecah gelombang dengan konsep WEC (OWEC breakwater), dilakukan dua macam variasi yaitu variasi model fisik, dan	Hasil penelitian menjelaskan bahwa sebagian besar jenis parameter pemutus yang didapat adalah plunging ($0.4 < \xi < 2$) dan surging ($\xi > 2$), hasilnya juga menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai



No.	Peneliti (Tahun) dan Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	“ <i>The effect of wave reflection coefficient to the breaker parameter on OWEC breakwater</i> ”	variasi kondisi gelombang. Variasi aktif model fisiknya adalah dengan mengubah tinggi freeboard sebanyak tiga ketinggian dan mengubah kemiringan dengan tiga variasi. Sedangkan pada variasi kondisi gelombang, tinggi gelombang datang bervariasi tiga kali dan panjang periode gelombang divariasikan tujuh kali.	koefisien refleksi, semakin tinggi nilai parameter pemecah.
8.	Puspita, A. I. D., <i>et. al.</i> (2022) “ <i>Laboratory Investigation on Wave Run-up on a Dual-function Breakwater</i> ”	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penelitian ini merupakan penelitian berbasis laboratorium yang dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. 2. Model pemecah gelombang yang berfungsi ganda dengan fungsi sebagai pelindung pantai dan sebagai pengubah energi gelombang konsep luapan diselidiki secara eksperimental di laboratorium. 	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa <i>wave run-up</i> yang terjadi dipengaruhi oleh tinggi gelombang datang dan bilangan iribarren. Ditemukan bahwa semakin besar ketinggian gelombang datang, semakin besar run-up gelombangnya. Ditemukan juga bahwa jumlah iribarren yang besar mengakibatkan run-up gelombang relatif yang besar, dimana pada penelitian ini run-up gelombang relatif yang diperoleh mencapai nilai sekitar 4,8.



2.11 Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 17 Kerangka pikir penelitian



2.12 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pikir parameter yang berpengaruh pada run-up dan run-down gelombang adalah tinggi gelombang datang (H_i), periode gelombang (T), kedalaman (d), kekasaran (k), sudut kemiringan sisi bangunan pemecah gelombang (θ).

Hipotesis dalam penelitian dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R_u \text{ \& } R_d = f(H_i, T, d, k, \theta) \quad (27)$$

dimana,

R_u = Run-up gelombang

R_d = Run-down gelombang

H_i = Tinggi gelombang datang

T = Periode gelombang

d = Kedalaman

k = Kekasaran

θ = Sudut kemiringan sisi bangunan pemecah gelombang

