

DISERTASI

**PENGARUH KEKASARAN DINDING PIPA PADA STRUKTUR PEMECAH
GELOMBANG BERPORI TERHADAP DEFORMASI GELOMBANG**

***(EFFECT OF PIPE WALL ROUGHNESS ON POROUS BREAKWATER
STRUCTURE ON WAVE DEFORMATION)***

ANDI MAKBUL SYAMSURI

P0800316408



PROGRAM STUDI S3 TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

PENGESAHAN DISERTASI

**PENGARUH KEKASARAN DINDING PIPA PADA STRUKTUR PEMECAH
GELOMBANG BERPORI TERHADAP DEFORMASI GELOMBANG**

**EFFECT OF PIPE WALL ROUGHNESS ON POROUS BREAKWATER
STRUCTURE ON WAVE DEFORMATION**

disusun dan diajukan oleh :

ANDI MAKBUL SYAMSURI

P0800316408

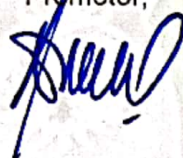
Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Studi Program Doktor Program Studi Doktor Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 13 Oktober 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

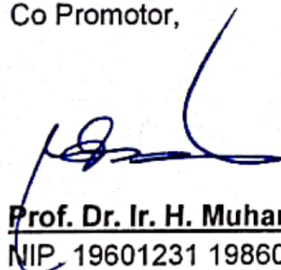
Promotor,



Prof. Dr. Dadang Ahmad Suriamihardja, M. Eng.

NIP. 19560930 198003 1 004

Co Promotor,



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

NIP. 19601231 198609 1 001

Co Promotor,



Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT

NIP. 19690802 199702 1 001

Ketua Program Studi



Prof. Ir. Sakti Adi Adisasmata, Msi., M.Eng.Sc., Ph.D

NIP. 19640422 199303 1 001

Dekan Fakultas Teknik



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

NIP. 19601231 198609 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : **ANDI MAKBUL SYAMSURI**

Nomor Mahasiswa : **P0800316408**

Program Studi : **Teknik Sipil**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Disertasi yang saya tulis benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Jika dikemudian hari terbukti atau dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Oktober 2021

Yang menyatakan



ANDI MAKBUL SYAMSURI

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan dan penelitian Disertasi dengan judul ***“Pengaruh Kekasaran Dinding Pipa pada Struktur Pemecah Gelombang Berpori Terhadap Deformasi Gelombang”***.

Penghargaan yang tinggi dan terima kasih yang sebesar-besarnya kami ucapkan kepada Bapak **Prof. Dr. Dadang Ahmad Suriamiharja, M.Eng.** selaku promotor atas bimbingan, arahan dan petunjuknya sehingga penulisan dan penyusunan Disertasi ini kami laksanakan dengan baik sebagaimana harapan kami. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang sama kami haturkan kepada Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.** dan Bapak **Dr. Taufiqur Rachman, S.T., M.T.** selaku Co-Promotor yang banyak meluangkan waktu memberikan bimbingan dan arahnya kepada kami.

Penghargaan yang tinggi tak lupa pula kami sampaikan kepada Ibu **Prof. Dr. Dwi Aries Tina Pulubuhu, MA.** (Rektor Universitas Hasanuddin), Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.** (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), Bapak **Prof. Dr. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng.** (Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas

Hasanuddin), Bapak **Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, MS., M.Eng.SC., Ph.D.** (Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin) dan Bapak/Ibu Dosen Program Studi S3 Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membimbing kami dalam proses perkuliahan, serta Bapak/Ibu staf Prodi S3 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam Disertasi kami, oleh karena itu penulis mengharapkan agar kiranya memberikan masukan, kritik dan saran yang konstruktif dalam melengkapi penulisan Disertasi kami. Akhir kata, Penulis mengharapkan Disertasi ini dapat bermanfaat bagi kita semua, Agama, Bangsa dan Negara. Aamiin.

Makassar, Oktober 2021

Penulis

Andi Makbul Syamsuri

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN DISERTASI	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xviii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6

A. Karakteristik Gelombang	6
B. Deformasi Gelombang	11
C. Klasifikasi Teori Gelombang	13
D. Parameter Bangunan Peredam Energi	19
E. Hukum Dasar Model	24
F. Matriks Referensi Hasil Penelitian yang Relevan	31
G. Hipotesis	32
H. Kerangka Pikir Penelitian	33
BAB III. METODE PENELITIAN	34
A. Tempat dan Waktu Penelitian	34
B. Jenis Penelitian dan Sumber Data	34
C. Bahan dan Alat	35
D. Variabel Penelitian	37
E. Pelaksanaan Studi Model	39
F. Pelaksanaan Simulasi	42
G. Diagram Proses Penelitian Laboratorium	44
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	45
A. Data dan Analisa Tinggi Gelombang	45
B. Pengaruh (K) Terhadap K_t , K_r dan K_d	49
C. Analisa Dimensi Metode Langhaar	54

D. Pengaruh $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ Terhadap K_t , K_r dan K_d	56
E. Pengaruh Kedalaman Relatif $\left(\frac{h}{d}\right)$ Terhadap K_t , K_r dan K_d	68
F. Pengaruh Dimensi Struktur $\left(\frac{B}{L}\right)$ Terhadap K_t , K_r dan K_d	71
G. Pengaruh Kekasaran Relatif $\left(\frac{e}{D}\right)$ Terhadap K_t , K_r dan K_d ...	75
H. Pengaruh Koefisien Gesek (f) terhadap K_t , K_r dan K_d	78
I. Pengaruh Bersama (ψ) Terhadap K_t , K_r dan K_d	83
J. Temuan Empirik yang Dihasilkan Dalam Disertasi	88
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	90
A. Kesimpulan	90
B. Saran	91

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

nomor	halaman
1.	Batasan gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam 13
2.	Koefisien refleksi20
3.	Tinggi kekasaran pipa25
4.	Skala model40
5.	Dimensi model dan parameter gelombang40
6.	Penentuan nilai α_i , β_i dan π_i54
7.	Penentuan nilai π_i55
8.	Validasi persamaan analisis suaian hubungan ψ terhadap K_t85
9.	Validasi persamaan analisis suaian hubungan ψ terhadap K_r87
10.	Validasi persamaan analisis suaian hubungan ψ terhadap K_d88

DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1.	Karakteristik gelombang	7
2.	Gelombang Reguler	10
3.	Gelombang Irreguler	10
4.	Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi, dalam	13
5.	Orbit partikel air pada gelombang amplitudo kecil, stokes	14
6.	Diagram moody	25
7.	Kerangka pikir penelitian	33
8.	Tanpa Kekasaran dan Pasir Kasar (diameter 0,3-0,5 cm)	36
9.	Kerikil (diameter 0,7-0,9 cm) dan Koral (diameter 1,0-1,2 cm)	36
10.	Model pemecah gelombang dalam Saluran flume	37
11.	Model $D7,5$; $d = 36$ cm dan $B=0,5L$	38
12.	Model $D10$; $d = 33$ cm dan $B=0,75L$	38
13.	Model $D15$; $d = 30$ cm dan $B=1,0L$	38
14.	Variasi kedalaman air, panjang model $B=1,0L$; $B=0,75L$; $B=0,5L$..	39
15.	Variasi Model tanpa kekasaran pada dinding pipa $D7,5$	41
16.	Variasi Model kekasaran kerikil pada dinding pipa $D10$	41
17.	Variasi Model kekasaran koral pada dinding pipa $D15$	41
18.	Penempatan posisi probe 1, probe 2 dan probe 3.....	43

19. Bagan alir (<i>Flow chart</i>)	44
20. Pengaruh K terhadap K_t pada $D=7,5$	49
21. Pengaruh K terhadap K_t pada $D=10$	50
22. Pengaruh K terhadap K_t pada $D=15$	50
23. Pengaruh K terhadap K_r pada $D=7,5$	51
24. Pengaruh K terhadap K_r pada $D=10$	51
25. Pengaruh K terhadap K_r pada $D=15$	52
26. Pengaruh K terhadap K_d pada $D=7,5$	53
27. Pengaruh K terhadap K_d pada $D=10$	53
28. Pengaruh K terhadap K_d pada $D=15$	53
29. Perbandingan validasi pengaruh $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ terhadap K_t	57
30. Perbandingan validasi pengaruh $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ terhadap K_r	58
31. Hubungan antara $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ vs K_t pada $B=1,0L$	59
32. Hubungan antara $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ vs K_r pada $B=1,0L$	60
33. Hubungan antara $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ vs K_d pada $B=1,0L$	61
34. Hubungan antara $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ vs K_t pada $B=0,75L$	62
35. Hubungan antara $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ vs K_r pada $B=0,75L$	63
36. Hubungan antara $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ vs K_d pada $B=0,75L$	64
37. Hubungan antara $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ vs K_t pada $B=0,5L$	65
38. Hubungan antara $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ vs K_r pada $B=0,5L$	66
39. Hubungan antara $\left(\frac{H_i}{L}\right)$ vs K_d pada $B=0,5L$	67

40.	Hubungan antara $\left(\frac{h}{d}\right)$ vs K_t pada $B=0,1L$; $B=0,75L$; $B=0,5L$	68
41.	Hubungan antara $\left(\frac{h}{d}\right)$ vs K_r pada $B=0,1L$; $B=0,75L$; $B=0,5L$	69
42.	Hubungan antara $\left(\frac{h}{d}\right)$ vs K_d pada $B=0,1L$; $B=0,75L$; $B=0,5L$	70
43.	Hubungan antara $\left(\frac{B}{L}\right)$ vs K_t pada $B=0,1L$; $B=0,75L$; $B=0,5L$	72
44.	Hubungan antara $\left(\frac{B}{L}\right)$ vs K_r pada $B=0,1L$; $B=0,75L$; $B=0,5L$	73
45.	Hubungan antara $\left(\frac{B}{L}\right)$ vs K_d pada $B=0,1L$; $B=0,75L$; $B=0,5L$	74
46.	Hubungan antara $\left(\frac{e}{D}\right)$ vs K_t pada $B=0,1L$; $B=0,75L$; $B=0,5L$	76
47.	Hubungan antara $\left(\frac{e}{D}\right)$ vs K_r pada $B=0,1L$; $B=0,75L$; $B=0,5L$	77
48.	Hubungan antara $\left(\frac{e}{D}\right)$ vs K_d pada $B=0,1L$; $B=0,75L$; $B=0,5L$	78
49.	Hubungan antara $\left(\frac{e}{D}\right)$ vs f pada $B=1,0L$; $B=0,75L$ dan $B=0,5L$	79
50.	Hubungan antara f vs K_t pada $B=1,0L$; $B=0,75L$ dan $B=0,5L$	80
51.	Hubungan antara f vs K_r pada $B=1,0L$; $B=0,75L$ dan $B=0,5L$	81
52.	Hubungan antara f vs K_d pada $B=1,0L$; $B=0,75L$ dan $B=0,5L$	82
53.	Hubungan Bersama ψ vs K_t	84
54.	Hubungan Bersama ψ vs K_r	86
55.	Hubungan Bersama ψ vs K_d	88

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
a	Amplitudo
B	Panjang model
C	Kecepatan rambat gelombang
C_h	Koefisien <i>chezy</i>
d	Kedalaman air
D	Diameter pipa
g	Percepatan gravitasi bumi
h	Tinggi Model
H	Tinggi gelombang
H_i	Tinggi gelombang datang
H_{max}	Tinggi gelombang maksimum
H_{min}	Tinggi gelombang minimum
H_r	Tinggi gelombang refleksi
H_t	Tinggi gelombang transmisi
h	Tinggi Model
k	Bilangan gelombang
K	Kekasaran pipa
K_a	Koefisien absorpsi gelombang
K_d	Koefisien disipasi
K_r	Koefisien refleksi gelombang

K_t	Koefisien transmisi gelombang
L	Panjang gelombang
n_a	Skala percepatan model
n_g	Skala gravitasi
n_h	Skala tinggi model
n_L	Skala panjang model
n_T	Skala waktu model
P	Panjang model
ρ	Rapat massa air
t	Waktu penjalaran gelombang
T	Periode gelombang
U	Kecepatan partikel air arah horisontal
u	Percepatan partikel air arah horisontal
ψ	Parameter gesek
V	Kecepatan partikel air arah vertikal
v	Percepatan partikel air arah vertikal
x	Jarak penjalaran gelombang
η	Fluktuasi muka air
σ	Frekuensi sudut gelombang

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Data tinggi gelombang Model 1LD7,5

Lampiran 2. Tabel Data tinggi gelombang Model 1LD10

Lampiran 3. Tabel Data tinggi gelombang Model 1LD15

Lampiran 4. Tabel Data tinggi gelombang Model 0,75LD7,5

Lampiran 5. Tabel Data tinggi gelombang Model 0,75LD10

Lampiran 6. Tabel Data tinggi gelombang Model 0,75LD15

Lampiran 7. Tabel Data tinggi gelombang Model 0,5LD7,5

Lampiran 8. Tabel Data tinggi gelombang Model 0,5LD10

Lampiran 9. Tabel Data tinggi gelombang Model 0,5LD15

Lampiran 10. Tabel Perhitungan $\frac{H_i}{L}$, K_t , K_r dan K_d model 1,0LD

Lampiran 11. Tabel Perhitungan $\frac{H_i}{L}$, K_t , K_r dan K_d model 0.75LD

Lampiran 12. Tabel Perhitungan $\frac{H_i}{L}$, K_t , K_r dan K_d model 0.5LD

Lampiran 13. Tabel Perhitungan $\left(\frac{h}{d}\right)$, K_t , K_r dan K_d Model 1,0LD

Lampiran 14. Tabel Perhitungan $\left(\frac{h}{d}\right)$, K_t , K_r dan K_d Model 0,75LD

Lampiran 15. Tabel Perhitungan $\left(\frac{h}{d}\right)$, K_t , K_r dan K_d Model 0,5LD

Lampiran 16. Tabel Perhitungan $\left(\frac{B}{L}\right)$, K_t , K_r dan K_d Model 1,0LD

Lampiran 17. Tabel Perhitungan $\left(\frac{B}{L}\right)$, K_t , K_r dan K_d Model 0,75LD

- Lampiran 18. Tabel Perhitungan $\left(\frac{B}{L}\right)$, K_t , K_r dan K_d Model 0,5LD
- Lampiran 19. Tabel Perhitungan $\left(\frac{e}{D}\right)$, K_t , K_r dan K_d Model 1,0LD
- Lampiran 20. Tabel Perhitungan $\left(\frac{e}{D}\right)$, K_t , K_r dan K_d Model 0,75LD
- Lampiran 21. Tabel Perhitungan $\left(\frac{e}{D}\right)$, K_t , K_r dan K_d Model 0,5LD
- Lampiran 22. Tabel Hubungan Koefisien Gesekan (f) terhadap Kekasaran Relatif (e/D) Model 1,0LD
- Lampiran 23. Tabel Hubungan Koefisien Gesekan (f) terhadap Kekasaran Relatif (e/D) Model 0,75LD
- Lampiran 24. Tabel Hubungan Koefisien Gesekan (f) terhadap Kekasaran Relatif (e/D) Model 0,5LD
- Lampiran 25. Tabel Perhitungan Pengaruh Bersama (ψ) terhadap K_t , K_r , K_d Model 1,0LD
- Lampiran 26. Tabel Perhitungan Pengaruh Bersama (ψ) terhadap K_t , K_r , K_d Model 0.75LD
- Lampiran 27. Tabel Perhitungan Pengaruh Bersama (ψ) terhadap K_t , K_r , K_d Model 0.5LD
- Lampiran 28. Dokumentasi model 1LD15 K_0 , K_1 , K_2 , K_3
- Lampiran 29. Dokumentasi model 1LD10 K_0 , K_1 , K_2 , K_3
- Lampiran 30. Dokumentasi model 1LD7.5 K_0 , K_1 , K_2 , K_3
- Lampiran 31. Dokumentasi model 1,0LD7.5 kedalaman air $d = 36$ cm
- Lampiran 32. Dokumentasi model 1,0LD7.5 kedalaman air $d = 33$ cm
- Lampiran 33. Dokumentasi model 1,0LD7.5 kedalaman air $d = 30$ cm

Lampiran 34. Dokumentasi model 0,75LD10 kedalaman air $d = 36$ cm

Lampiran 35. Dokumentasi model 0,75LD10 kedalaman air $d = 32$ cm

Lampiran 36. Dokumentasi model 0,75LD10 kedalaman air $d = 28$ cm

Lampiran 37. Dokumentasi model 0,5LD15 kedalaman air $d = 36$ cm

Lampiran 38. Dokumentasi model 0,5LD15 kedalaman air $d = 32$ cm

Lampiran 39. Dokumentasi model 0,5LD15 kedalaman air $d = 28$ cm

ABSTRAK

ANDI MAKBUL SYAMSURI. ***PENGARUH KEKASARAN DINDING PIPA PADA STRUKTUR PEMECAH GELOMBANG BERPORI TERHADAP DEFORMASI GELOMBANG*** (Dibimbing Oleh Dadang Ahmad Suriamiharja, Muhammad Arsyad Thaha, Taufiqur Rachman)

Gelombang dibangkitkan pada flume dan berinteraksi dengan struktur pemecah gelombang berpori. Akibat interaksi tersebut, gelombang akan mengalami refleksi, disipasi dan transmisi. Penelitian dilakukan dengan model kekasaran dinding pipa bertujuan untuk menganalisis koefisien refleksi dan koefisien transmisi tinggi gelombang pada setiap perubahan kekasaran dinding pipa terhadap nilai koefisien gesekan (f). Nilai koefisien gesekan bergantung pada kekasaran dinding pipa yang terdiri dari parameter-parameter diameter pipa, panjang pipa dan kedalaman air pada pemecah gelombang berpori. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental laboratorium menggunakan flume pembangkit gelombang dengan 3 variasi periode (T ; 1,0 detik, T ; 1,1 detik, T ; 1,2 detik), dan 3 variasi kedalaman air ($d=1,0h$; $d=1,1h$ dan $d=1,2h$), dimana h adalah tinggi model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien gesekan (f) berpengaruh terhadap gelombang refleksi dan gelombang transmisi. Semakin besar nilai koefisien gesekan, maka nilai koefisien transmisi semakin mengalami penurunan secara signifikan, dan nilai koefisien refleksi mengalami peningkatan.

Kata Kunci: kekasaran dinding pipa, refleksi gelombang, transmisi gelombang

ABSTRACT

ANDI MAKBUL SYAMSURI. ***EFFECT OF PIPE WALL ROUGHNESS ON POROUS BREAKWATER STRUCTURE ON WAVE DEFORMATION***

(Promoted By Dadang Ahmad Suriamiharja, Muhammad Arsyad Thaha, Taufiqur Rachman)

Waves are raised on the flume and interact with porous breakwater structures. As a result of these interactions, waves will experience reflection, dissipation, and transmission. The research was conducted with a model of pipe wall roughness to analyze the reflection coefficient and high wave transmission coefficient on each change in the coefficient value of pipe wall roughness to the friction coefficient (f). The value of the friction coefficient depends on The roughness of the pipe wall which consists of the parameters of pipe diameter, pipe length, and water depth on a porous breakwater. The study was conducted with experimental laboratory methods using wave generation flume with three-period variations (T ; 1.0 seconds, T ; 1.1 seconds, T ; 1.2 seconds), and three variations in water depth ($d=1.0h$; $d=1.1h$ and $d=1.2h$) of which h is the height of the model. The results showed that the friction coefficient (f) affected reflection waves and transmission waves. The greater the coefficient of the friction coefficient value, the transmission coefficient value decreases significantly, and the reflection coefficient value increases.

Keywords: roughness of pipe wall, wave reflection, wave transmission

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemecah gelombang atau *breakwater* adalah bangunan struktur pantai yang digunakan untuk mengantisipasi dan mengendalikan abrasi, bangunan ini mempunyai fungsi sebagai alternatif untuk menjaga garis pantai dari gempuran ombak atau dengan mereduksi energi gelombang. Belakangan ini telah banyak penelitian dalam mengembangkan struktur peredam gelombang, struktur peredam gelombang telah mengalami perkembangan yang signifikan salah satu struktur peredam gelombang adalah pemecah gelombang berpori. Pada tahun 1961 pemecah gelombang berpori untuk pertama kalinya diusulkan oleh Jarlan dan kemudian banyak dikembangkan oleh peneliti-peneliti lain salah satunya Quin (1972) mencoba mengurangi gaya gelombang yang mengenai bagian depan pemecah gelombang.

Beberapa penelitian sebelumnya yang relevan antara lain Ruey-Shan Shih dkk 2015 dalam *The performance characteristics of inclined highly pervious pipe breakwaters* dimana efektifitas peredaman gelombang tergantung pada variasi panjang pipa, variasi kedalaman dan diameter pipa terhadap pengurangan tinggi gelombang. Tamrin 2015 dalam penelitian tentang blok beton berpori bahwa lubang, panjang slot, porositas permukaan blok beton, jumlah blok baris memberikan pengaruh

yang sangat besar terhadap nilai koefisien transmisi dan refleksi. A.S. Korain dkk 2014 *Hydrodynamic characteristics of porous seawall protected by submerged breakwater* menghasilkan bahwa pemecah gelombang terendam di depan garis pantai berpori menurunkan kecepatan pada tembok laut dan refleksi gelombang dengan variasi lebar seawall, porositas seawall, kedalaman air relatif dan kecuraman gelombang.

Pemecah gelombang berpori atau berlubang memiliki model bervariasi yang diharapkan selain meminimalisir refleksi gelombang juga mampu mereduksi gelombang transmisi, karena kemampuannya dalam menyerap energi gelombang dan mereduksi terhadap energi gelombang datang. Salah satu karakteristik penting pemecah gelombang berpori adalah energi gelombang akan pecah ketika mengenai dinding bagian depan yang permeable dan berpori, selain itu gelombang datang akan melewati lubang/pori yang ada maka akan mengurangi terjadinya pemantulan gelombang di depan struktur pemecah gelombang berpori. Dengan landasan tersebut maka dalam penelitian kami memaksimalkan lubang pipa pada struktur pemecah gelombang tersebut dengan maksud menambahkan dimensi bidang gesek kasar pada permukaan lubang pipa tersebut yaitu menganalisis dimensi kekasaran dinding pipa terhadap diameter lubang dan panjang pipa, sehingga diharapkan mampu lebih efektif dalam mereduksi gelombang dan meminimalisir refleksi gelombang.

Maksud dari penulisan ini ialah untuk meninjau potensi kekasaran, diameter dan panjang pipa terhadap pengurangan tinggi gelombang pada struktur pemecah gelombang berpori.

B. Rumusan Masalah

Masalah yang dibahas dalam penelitian ini dikembangkan dari literatur-literatur penelitian sebelumnya seperti *Ruey-Shan Shih, Tamrin* serta *A.S. Korain* dan dapat dijabarkan dalam rumusan masalah berikut:

1. Bagaimana kecuraman gelombang $\left(\frac{H_i}{L}\right)$, kedalaman relatif model $\left(\frac{h}{d}\right)$, dimensi struktur model $\left(\frac{B}{L}\right)$ dan kekasaran relatif model $\left(\frac{e}{D}\right)$ terhadap transmisi dan refleksi gelombang?
2. Bagaimana pembesaran nilai kekasaran koefisien gesekan (f) terhadap transmisi dan refleksi gelombang?
3. Bagaimana pengaruh koefisien perpaduan gesekan $\psi = f\left(\frac{H_i}{L}; \frac{h}{d}; \frac{B}{L}; \frac{e}{D}\right)$ terhadap transmisi dan refleksi gelombang?

C. Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis pengaruh $\left(\frac{H_i}{L}\right)$, $\left(\frac{h}{d}\right)$, $\left(\frac{B}{L}\right)$ dan $\left(\frac{e}{D}\right)$ terhadap transmisi dan refleksi gelombang.
2. Menganalisis pengaruh nilai kekasaran koefisien gesekan (f) terhadap transmisi dan refleksi gelombang.

3. Menganalisis pengaruh koefisien gesekan non dimensional perpaduan

$$\psi = f\left(\frac{H_i}{L}; \frac{h}{d}; \frac{B}{L}; \frac{e}{D}\right) \text{ terhadap transmisi dan refleksi gelombang.}$$

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian pengembangan yang meminimalisir tinggi gelombang dengan faktor redaman dari kekasaran dinding dan bermanfaat bagi pengembangan tipe pemecah gelombang yang ramah terhadap lingkungan, adapun manfaat dari penelitian ini diantaranya adalah:

1. Dapat dijadikan sebagai bahan acuan dan informasi para peneliti dalam mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan struktur peredam gelombang berpori.
2. Sebagai referensi untuk pengembangan inovasi struktur bangunan pemecah gelombang yang variatif dan efektif terhadap deformasi gelombang serta efisien dalam perencanaan struktur.
3. Salah satu kegiatan yang membutuhkan hasil dalam kajian ini adalah penggunaan bahan/material yang lebih ekonomis untuk perlindungan areal pantai, selain itu lubang/pori yang terdapat pada pemecah gelombang sebagai media biota-biota laut untuk berkembang biak.

E. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran maka penelitian dibatasi pada:

1. Dimensi model pipa didesain dengan menyesuaikan ukuran flume pembangkit gelombang,
2. Gelombang yang datang tegak lurus terhadap model,
3. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang teratur (*reguler wave*) yang belum pecah dengan mengkondisikan alat laboratorium,
4. Gaya gelombang terhadap stabilitas alat peredam energi tidak dikaji,
5. Fluida yang digunakan adalah air tawar (salinitas dan pengaruh mineral air tidak diperhitungkan),
6. Model yang digunakan memiliki ukuran diameter pipa, panjang pipa dan kekasaran dinding pipa yang divariasikan.
7. Analisis model matematik kejadian gelombang dalam pipa tidak dikaji.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Karakteristik Gelombang

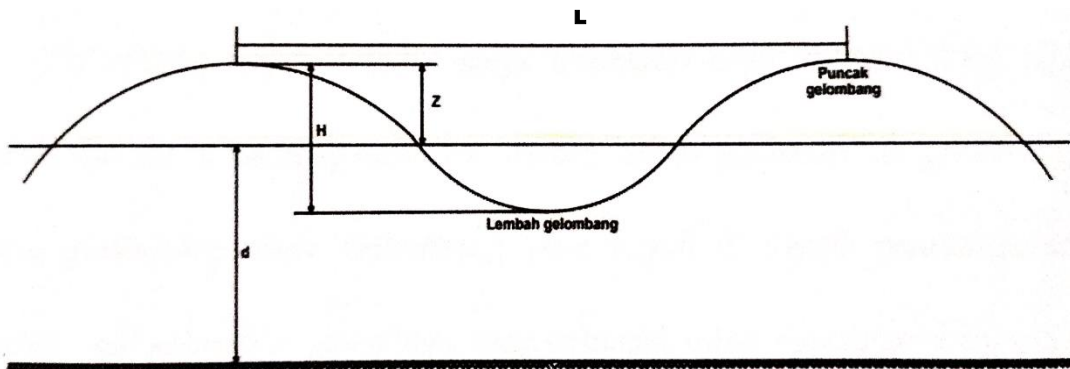
Parameter penting untuk menjelaskan gelombang air adalah panjang gelombang, tinggi gelombang, kecuraman gelombang dan kedalaman air dimana gelombang tersebut menjalar. Parameter-parameter yang lain seperti pengaruh kecepatan dapat ditentukan dari ketiga parameter pokok di atas. Adapun pengertian dari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

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

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

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



Gambar 1 Karakteristik Gelombang

Gelombang terjadi karena hembusan angin di permukaan air. Daerah dimana gelombang dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang (*wave generating area*). Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut 'sea' sedangkan gelombang yang terbentuk diluar daerah pembangkitan disebut alun (*swell*). Ketika gelombang menjalar, partikel air bergerak dalam suatu lingkaran vertikal kecil dan tetap pada posisinya selagi bentuk dan energi gelombang berjalan maju. Partikel air di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran besar dan membentuk puncak gelombang di puncak lingkaran dan lembah gelombang pada

lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang makin kecil sampai pada kedalaman lebih besar dari setengah panjang gelombang.

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

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

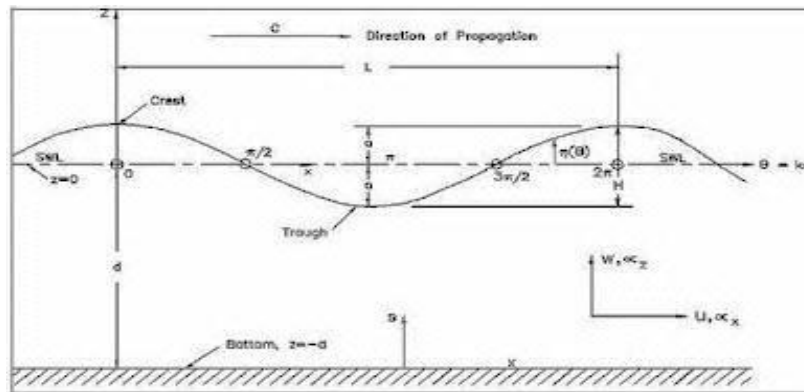
Gelombang yang memecah di pantai merupakan proses disipasi energi, yaitu perubahan energi gelombang ke energi turbulensi dan energi

arus-arus pantai. Yang terakhir inilah merupakan penyebab utama proses erosi dan akresi (pengendapan) garis pantai. Karakteristik gelombang di dekat pantai tergantung pada kemiringan dasar pantai, orientasi bentuk pantai (teluk, tanjung, lagun, pantai terbuka). Sedangkan karakteristik gelombang di lepas pantai bergantung pada kecepatan angin, durasi hembusan angin dan jarak hembusan angin (*fetch-length*).

Secara teori gelombang dibagi menjadi 2 jenis gelombang yaitu gelombang reguler dan gelombang irreguler:

1. Gelombang reguler yaitu perilaku gelombang air dengan batasan gelombang mempunyai harga tinggi gelombang dan periode yang relative konstan. Teori gelombang reguler adalah pendekatan dari sebuah kenyataan dengan beberapa asumsi penyederhanaan dan idealisasi. Asumsi dasar dari teori gelombang adalah sebagai berikut:
 - a. Fluida dianggap homogen dan tekanan permukaan diabaikan
 - b. Gaya coriolis karena rotasi bumi diabaikan
 - c. Pressure pada permukaan bebas dianggap konstan dan uniform
 - d. Fluida dianggap ideal (tidak bisa ditekan / infiscid dan incompressible)
 - e. Gerakan partikel berdiri sendiri, tidak saling mengganggu dan bertubrukan selama bergerak
 - f. Dasar laut dianggap datar, tetap impermeable, sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol
 - g. Amplitude gelombang adalah relative kecil dibanding panjang gelombang

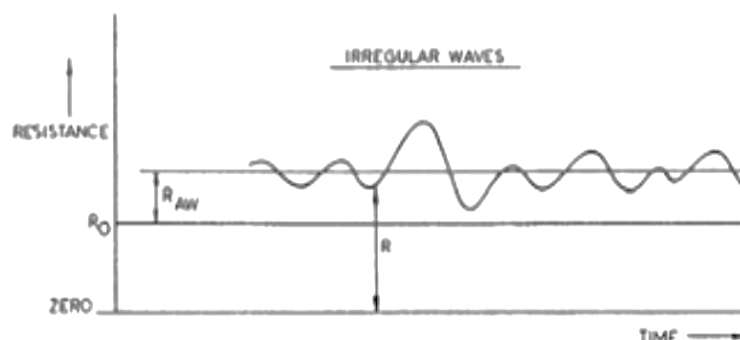
h. Gelombang dianggap memanjang 2-D (plane or long crested)



Gambar 2. Gelombang Reguler

2. Gelombang irregular yaitu perilaku gelombang air yang mempunyai perilaku gerakan yang tidak constant, dengan pendekatan statistic, yang mana perilaku ini sebenarnya lebih mendekati keadaan yang sebenarnya pada keadaan laut. Definisi Gelombang Irregular Bhattacharyya 1972:

- a. Permukaan gelombang merupakan permukaan yang tidak beraturan.
- b. Permukaan gelombang yang tidak beraturan selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat ke tempat, tergantung oeh kecepatan angin.
- c. Dari interval ke interval, pola atau bentuk gelombang irregular tidak pernah berulang.



Gambar 3. Gelombang Irregular

B. Deformasi Gelombang

Deformasi gelombang adalah suatu perubahan sifat gelombang yang terjadi pada saat ada gelombang bergerak merambat menuju ke pantai. Perubahan atau biasa disebut deformasi gelombang tersebut meliputi refraksi, difraksi dan refleksi.

1. Refraksi gelombang adalah suatu peristiwa terjadinya pembelokan arah gelombang yang memasuki perairan yang dangkal yang disebabkan karena sebagian gelombang masih merambat dengan kecepatan gelombang laut dalam pada waktu masuk ke laut dangkal. Selain mempengaruhi arah gelombang, refraksi juga sangat berpengaruh terhadap tinggi gelombang dan distribusi energi gelombang di sepanjang pantai itu. Pada laut dalam dimana dasar laut yang mempunyai jarak sangat jauh dari permukaan maka pengaruh dasar laut terhadap pergerakan gelombang hampir tidak ada. Ketika gelombang yang berasal dari lautan dalam tersebut menuju atau bergerak ke arah perairan dangkal dimana faktor kedalaman laut menjadi semakin berperan dalam perambatannya maka apabila dilihat suatu garis puncak gelombang dan pada bagian puncak gelombang yang berada di laut yang lebih dangkal akan bergerak lebih lambat dibanding di laut yang lebih dalam sehingga akibatnya garis puncak gelombang akan mengalami pembelokan dan berusaha untuk sejajar dengan garis kontur dasar laut/pantai.

2. Difraksi gelombang akan terjadi apabila gelombang yang datang terhalang oleh suatu penghalang yang dapat berupa bangunan pemecah gelombang maupun pulau-pulau kecil yang ada di sekitarnya. Akibatnya dari terhalang gelombang datang akan membelok di sekitar ujung rintangan/penghalang dan masuk ke daerah terlindung yang ada di belakangnya. Dalam hal ini, akan terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus ke daerah terlindung. Fenomena difraksi gelombang sangat penting diperhatikan dalam Perencanaan Pelabuhan dan Bangunan Pemecah Gelombang.
3. Refleksi gelombang merupakan pemantulan suatu gelombang yang terjadi apabila gelombang yang datang membentur atau menghantam suatu tembok atau penghalang seperti bangunan pemecah gelombang. Fenomena refleksi dapat ditemukan di kolam pelabuhan. Pemantulan gelombang dapat ditentukan oleh koefisien refleksi yang berbeda-beda untuk berbagai macam dan tipe bangunan.

C. Klasifikasi Teori Gelombang

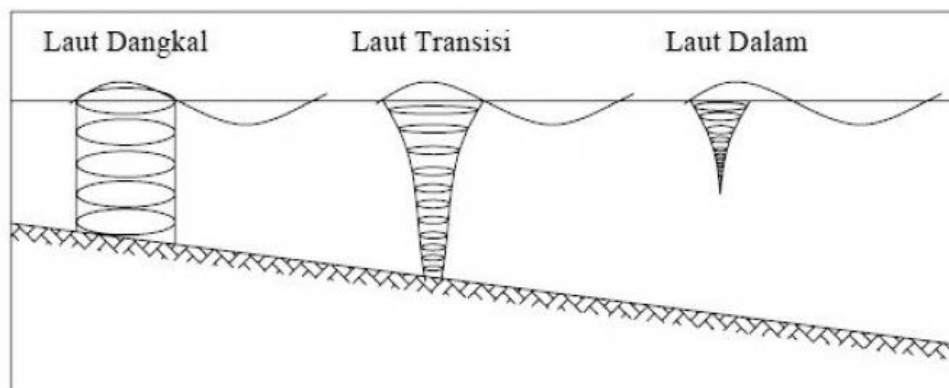
Jika ditinjau dari kedalaman perairan dimana gelombang menjalar, maka gelombang dikelompokkan dalam 3 kategori yaitu gelombang air dangkal, transisi dan air dalam. Batasan dari ketiga kategori tersebut didasarkan pada rasio antara kedalaman dan panjang gelombang (d/L). Batasan penggunaannya dapat dilihat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

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

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

Sumber : Triatmodjo. 1999

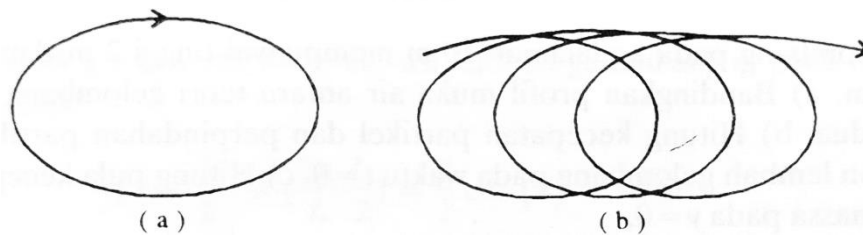
Selama perjalanan gelombang dari laut dalam ke laut dangkal, orbit partikel mengalami perubahan bentuk. Orbit perpindahan partikel berbentuk lingkaran pada seluruh kedalaman di laut dalam, di laut transisi dan laut dangkal lintasan partikel berbentuk ellips. Semakin besar kedalaman bentuk ellips semakin pipih dan di dasar gerak partikel adalah horisontal, seperti ditunjukkan pada gambar 2 dibawah ini:



Gambar 4. Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi dan dalam

Gelombang juga dapat dikelompokkan berdasarkan rasio antara tinggi gelombang dan panjang gelombang. Pada pengelompokan ini dikenal gelombang amplitudo kecil dan gelombang amplitudo berhingga (*Stock, Cnoidal, Solitair*). Dalam teori gelombang amplitudo kecil partikel air bergerak dalam suatu lintasan (orbit) tertutup yang berbentuk lingkaran

atau ellips, dalam teori *Stokes* orbit partikel air tidak tertutup, sehingga menyebabkan terjadinya aliran massa air dalam arah penjalaran gelombang, seperti gambar 3 di bawah ini:



Gambar 5. Orbit partikel air pada gelombang amplitudo kecil(a); Stokes(b)

Gelombang amplitudo kecil dikembangkan oleh Airy sehingga dikenal dengan teori gelombang Airy, diturunkan berdasarkan anggapan bahwa perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjangnya atau kedalamanya sangat kecil, sedangkan teori gelombang amplitudo berhingga memperhitungkan besarnya rasio antara tinggi gelombang terhadap panjang dan kedalaman airnya.

1. Gelombang berdiri progresif

Apabila gelombang merambat dan dipengaruhi oleh gaya luar, maka amplitudo gelombang dapat berubah. Apabila amplitudo gelombang berubah terhadap ruang dan waktu disebut gelombang progressif atau gelombang berjalan. Sedangkan jika berubah terhadap waktu disebut gelombang berdiri atau *standing wave/clapotis* (Dean dan Dalrymple, 1992). Pertama-tama kita tinjau suatu gelombang progresif yang elevasi permukaan airnya η dinyatakan dengan (Dean dan Dalrymple, 1994) :

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

Potensial kecepatannya φ dinyatakan dengan :

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

Dengan k adalah bilangan gelombang, H tinggi gelombang, σ frekwensi sudut gelombang, x adalah jarak penjalaran dan t waktu penjalaran.

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

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

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

Sedangkan percepatan partikel arah horisontal ax dan vertikal ay , masing-masing dapat ditulis :

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

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

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

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

dengan :

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

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

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

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

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

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

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

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

$$U = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{(\pi H)}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \dots \dots \dots (11)$$

$$V = \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{(\pi H)}{T} \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \dots \dots \dots (12)$$

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

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

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

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

Atau,

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

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

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

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

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

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

2. Gelombang berdiri parsial

Apabila gelombang yang merambat melewati suatu penghalang, maka gelombang tersebut akan dipantulkan kembali oleh penghalang tersebut. Apabila pemantulanya sempurna atau gelombang datang dipantulkan seluruhnya, maka tinggi gelombang di depan penghalang menjadi dua kali tinggi gelombang datang dan disebut gelombang berdiri (*standing wave*). Akan tetapi jika penghalang memiliki porositas atau tidak dapat memantulkan secara sempurna, maka tinggi gelombang di depan penghalang akan kurang dari dua kali tinggi gelombang datang dan pada kondisi ini disebut gelombang berdiri parsial (sebagian). Contoh kejadian

gelombang parsial adalah gelombang yang membentur pantai atau pemecah gelombang (*breakwater*) mengalami pemantulan energi yang tidak sempurna.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

D. Parameter Bangunan Peredam Energi

Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i). Parameter refleksi gelombang biasanya dinyatakan dalam bentuk koefisien refleksi (K_r) yang didefinisikan sebagai berikut :

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

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

Tabel 2. Koefisien Refleksi

Tipe Bangunan Peredam Energi	K_r
Dinding vertikal dengan puncak 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 – 0,3

Sumber : Triatmodjo. 1999

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

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

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

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

selisih tinggi gelombang maksimum dan minimum terukur sebelum melalui rintangan.

Menurut *Horikawa (1978)* bahwa besarnya energi gelombang yang disipasikan/diredam (K_d) adalah besarnya energi gelombang datang dikurangi energi gelombang yang ditransmisikan dan direfleksikan:

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

Gelombang yang menjalar dalam kondisi gesekan, tinggi gelombang akan mengalami pengurangan secara eksponensial. Panjang gelombang akan berkurang dengan adanya gesekan menyebabkan menurunkan kecepatan rambat gelombang. Dengan demikian meningkatnya koefisien gesek *Darcy-Weisbach* (f) akan mengurangi tinggi gelombang. Perubahan elevasi muka air (η) setelah satu panjang gelombang (L) dapat dihitung dengan ekspresi berikut (*Dean dan Dalrymple, 1984*).

$$\eta(x + L) = \eta(x)e^{-ikL} \quad \dots\dots\dots (31)$$

Dimana angka gelombang setelah tereduksi $ki = \frac{kl^*A}{2\sigma}$; angka gelombang datang $k = \frac{\sigma}{(gd)^{1/2}}$ dan konstanta gesek $A = \frac{f^*Um}{3\pi d}$; Um adalah kecepatan partikel air maksimum. Gelombang air tidak mentransfer/memindahkan massa tetapi energi. Laju transfer energi disebut *fluks* energi P . Untuk teori gelombang linier *fluks* energi adalah laju kerja yang dilakukan oleh fluida pada suatu sisi dari suatu potongan vertikal, terhadap fluida di sisi yang lain. Energi yang ditransfer (*energi flux*) adalah energi gelombang

persatuan waktu yang terkandung atau tersebar dalam arah perambatan gelombang. Energi yang ditransfer rata-rata dalam satu gelombang (*Dean dan Dalrymple, 1992*) dalam *Paotonan C (2006)* adalah :

$$\bar{P} = E \cdot n \cdot C \dots\dots\dots (32)$$

dengan :

P = transfer energi gelombang rata-rata

E = energi gelombang

$$\eta = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2k \cdot d}{\sinh 2k \cdot d} \right)$$

C = cepat rambat gelombang

Nilai n tergantung pada kedalaman dan panjang gelombang. *Radiana, 2002* memberikan nilai η untuk laut dangkal sama dengan 1, sedangkan untuk laut dalam sama dengan $\frac{1}{2}$. Dengan asumsi bahwa nilai $\eta \cdot C$ dari persamaan (32) didekati dengan nilai n untuk laut dangkal sama dengan 1, sedangkan untuk laut dalam sama dengan $\frac{1}{2}$ adalah, maka *flux* energi hanya merupakan fungsi dari energi gelombang. Dengan asumsi ini, maka persamaan (32) dapat dibentuk kembali seperti berikut :

$$P = \frac{\rho g H^2 L}{8} \dots\dots\dots (33)$$

Horikawa, 1978, memberikan rumusan tentang hukum kekekalan energi gelombang yang melalui suatu pemecah gelombang seperti diperlihatkan berikut :

$$\bar{P}_i = \bar{P}_r + \bar{P}_t + \bar{P}_a \dots\dots\dots (34)$$

Dengan \overline{P}_i , \overline{P}_r , \overline{P}_t adalah transfer energi gelombang rata-rata (*energi flux*) yang datang, refleksi dan transmisi persatuan lebar gelombang persatuan waktu, serta \overline{P}_a adalah kehilangan energi gelombang rata-rata per satuan lebar gelombang persatuan waktu.

Gelombang yang datang membentur sebuah penghalang terapung, sebagian energinya akan direfleksikan, sebagian akan ditransmisikan melalui struktur dan sebagian lagi akan dihancurkan/diserap oleh struktur yang dinyatakan dengan kehilangan energi (*Sorenson, 1978*).

Dengan mensubstitusikan Persamaan (34) ke Persamaan (35), diperoleh Persamaan berikut (*Paotonan.C, 2006*) :

$$\frac{\rho g H_i^2 L}{8} = \frac{\rho g H_r^2 L}{8} + \frac{\rho g H_t^2 L}{8} + P_a \dots\dots\dots (35)$$

Jika suku sebelah kanan dan kiri persamaan di atas dibagi dengan $\frac{\rho g H_i^2 L}{8}$, maka diperoleh persamaan berikut (*Paotonan. C, 2006*):

$$\frac{H_r^2}{H_i^2} + \frac{H_t^2}{H_i^2} + P_a = 1 \dots\dots\dots (36)$$

Apabila perbandingan antara tinggi gelombang refleksi dengan tinggi gelombang datang disebut dengan koefisien refleksi dan diberi simbol K_r , serta perbandingan antara tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang disebut koefisien transmisi dan diberi simbol K_t . Sedangkan koefisien kehilangan energi diberi simbol K_d , maka Persamaan (37) dapat ditulis: $K_r + K_t + K_d = 1 \dots\dots\dots (37)$

dengan : $K_t = \frac{H_t}{H_i}$ = koefisien transmisi gelombang (38)

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \text{koefisien refleksi gelombang} \dots \dots \dots (39)$$

$$K_d = \text{koefisien kehilangan energi gelombang}$$

E. Hukum Dasar Model

1. Diagram *Moody*

Diagram *Moody* sangat bermanfaat untuk menghitung aliran yang terjadi pada suatu pipa, untuk menghitung nilai *friction* di dalam pipa yang mempunyai ukuran diameter, panjang dan besar pipa sangat kecil. Cara yang paling mudah adalah dengan pembacaan melalui moody diagram, tanpa mengetahui dengan pasti nilai dari kekasaran pipa, kita dapat memperkirakan dengan mudah melalui pembacaan diagram tersebut.

Dasar teori *Head loss* (kehilangan energi) pada pipa karena gesekan dapat dihitung dengan persamaan *Darcy-Weisbach* seperti di bawah ini:

$$h = \frac{fLv^2}{D2g} \dots \dots \dots (40)$$

dengan: h = kehilangan energi

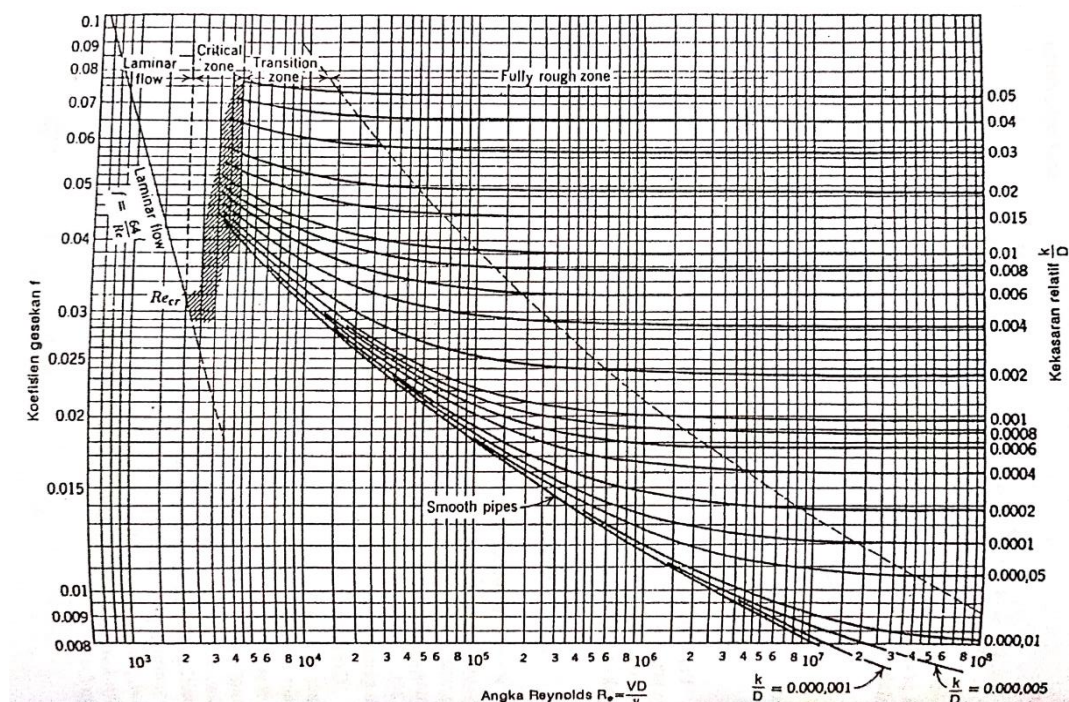
f = faktor gesekan

L = panjang pipa

v = kecepatan fluida melalui pipa

D = diameter pipa

g = percepatan gravitasi

Gambar 6. Diagram *Moody*

Gambar 6. nilai k diperoleh dari tabel 3. Nilai f (faktor gesekan) pada pipa tua jauh lebih besar dari pipa baru, tergantung pada umur pipa dan zat cair yang dialirkan, untuk pipa kecil, endapan atau kerak yang terjadi dapat mengurangi diameter pipa. Oleh karena itu diperlukan kecermatan di dalam mengestimasi nilai k dan f .

Tabel 3. Tinggi Kekasaran Pipa

Jenis Pipa (Baru)	Nilai k (mm)
Kaca	0,0015
Besi dilapisi aspal	0,06 – 0,24
Besi tuang	0,18 – 0,90
Plester semen	0,27 – 1,20
Beton	0,30 – 3,00
Baja	0,03 – 0,09
Baja dikeling	0,90 – 9,00
Pasangan batu	6

Sumber : *Triatmodjo (2015)*

Gambar 6. diagram *Moody* memberikan faktor gesekan pipa, faktor ini dapat ditentukan oleh bilangan *Reynold* dan kekasaran relatif dari Pipa. Bila pipa semakin kasar, maka kemungkinan turbulents akan semakin besar, kekasaran relatif didefinisikan sebagai berikut:

$$\frac{e}{D} \dots\dots\dots (41)$$

dengan: e = besaran kekasaran

D = diameter pipa

sedangkan bilangan *Reynold* didefinisikan sebagai:

$$Re = \frac{Dv}{\zeta} \dots\dots\dots (42)$$

Dengan : Re = bilangan *Reynold*

D = diameter

v = kecepatan

ζ = viskositas kinematik fluida

Dengan melihat Gambar 6 diagram *Moody* itu menunjukkan bahwa sudut kanan atas benar-benar turbulents dan bagian atas kiri adalah laminar. Untuk menentukan faktor gesekan, nilai kekasaran relatif dari pipa dapat dilihat di sebelah kanan, kemudian nilai *Reynolds* di bagian bawah. Tarik keatas sampai memotong garis kemudian sebelah kiri akan didapatkan nilai faktor gesekan dan jenis aliran turbulents atau laminar.

2. Penskalaan Model

Konsep dasar pemodelan dengan bantuan skala model adalah membentuk kembali masalah atau fenomena yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model akan sebangun (mirip) dengan yang ada di prototipe. Kesebangunan yang

dimaksud adalah berupa sebangun geometrik, sebangun kinematik dan sebangun dinamik (Nur Yuwono, 1996).

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

1. Sebangun Geometrik

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

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} \dots\dots\dots (43)$$

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} \dots\dots\dots (44)$$

Dengan: n_L = skala panjang

n_h = skala tinggi

L_p = ukuran panjang prototipe

L_m = ukuran panjang model

h_p = ukuran tinggi pada prototipe

h_m = ukuran tinggi pada model

2. Sebangun Kinematik

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

$$n_u = \frac{u_p}{u_m} = \frac{n_L}{n_T} \dots\dots\dots (45)$$

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_T^2} \dots\dots\dots (46)$$

$$n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_L^3}{n_T} \dots\dots\dots (47)$$

$$n_T = \frac{T_p}{T_m} \dots\dots\dots (48)$$

3. Sebangun Dinamik

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

inersia, gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek, gaya kenyal dan tegangan permukaan.

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

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

$$F_r = \frac{(\rho L^3)(U^2 / L)}{\rho g L^3} = \frac{U^2}{gL} \dots\dots\dots (49)$$

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

$$n_{F_r} = \frac{n_U}{n_{L^{0.5}}} \dots\dots\dots (50)$$

$$n_{F_r} = \frac{F_{r_p}}{F_{r_m}} = 1 \dots\dots\dots (51)$$

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

$$n_L = n_B = n_H = n_d = n_s \dots\dots\dots (52)$$

Sedangkan skala waktu n_T dan skala gravitasi ditulis seperti berikut:

$$n_T = n_L^{1/2} \dots\dots\dots (53)$$

$$n_g = 1 \dots\dots\dots (54)$$

F. Matriks Referensi Hasil Penelitian yang Relevan

No	Nama/Tahun	Judul	Parameter Riset																			
			T	d	H	L	d/L	Hi/L	Hr	Ht	Kt	Kr	pjg pipa	tinggi pipa	ø pipa lubang	draft	Porositas	lebar relatif	vol. fluida	tiga dimensi	plat pori	kekasaran pipa
1	E.V. Koutandos, P.E. Prinos. 2010	Hydrodynamic characteristics of semi-immersed breakwater with an attached porous plate	√	√	√	√	√	√	√	√								√	√			√
2	Yun-Ta Wu, Chia-Lin Yeh, Shih-Chun Hsiao. 2013	Three-dimensional numerical simulation on the interaction of solitary waves and porous breakwaters	√	√	√	√	√	√	√	√								√		√	√	
3	A.S. Koraim, E.M. Heikal, A.A. Abo Zaid. 2014	Hydrodynamic characteristics of porous seawall protected by submerged breakwater	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√					√	√	√	√		
4	Tamrin, S Pallu, H Parung, A Thaha. 2014	Experimental study of perforated concrete block breakwater	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√					√	√	√			
5	Ruey-Shan Shih, Wen-Kai Weng, Chung-Ren Chou. 2015	The performance characteristics of inclined highly pervious pipe breakwaters	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√							
6	A.M. Syamsuri, D.A. Suriamiharja, M.A. Thaha, T. Rachman. 2020	studi pengaruh kekasaran dinding pipa pada struktur pemecah gelombang berpori terhadap deformasi gelombang	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√							√

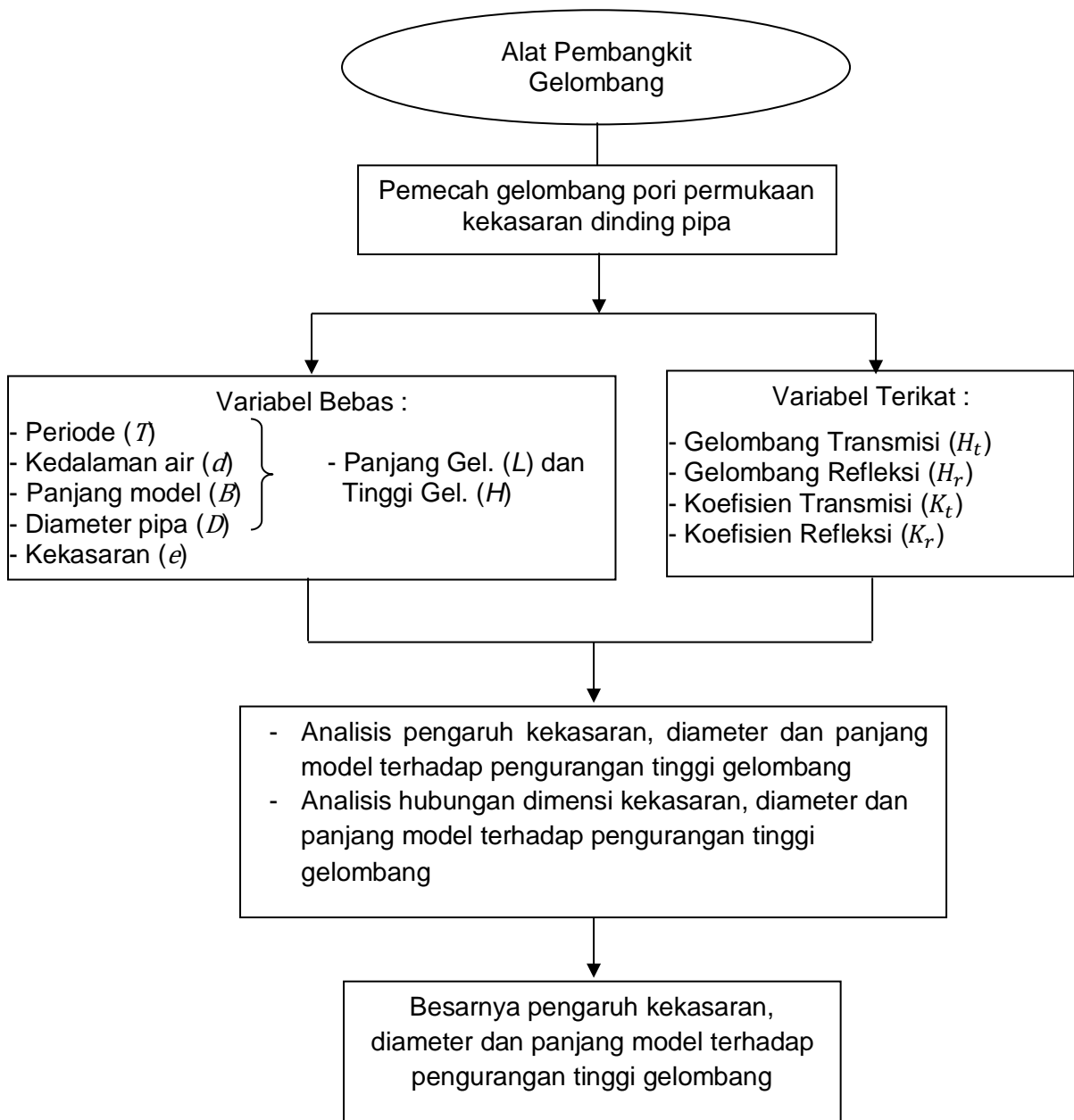
G. Hipotesis

Perambatan gelombang melalui bangunan pemecah gelombang berpori pada permukaan kekasaran akan mengalami penurunan tinggi gelombang akibat gesekan dan turbulensi, serta sebagian energi akan dipantulkan kembali, sehingga energi yang dilewatkan (ditransmisikan) menjadi lebih kecil.

Berdasarkan landasan teori dan tinjauan pustaka, parameter yang berpengaruh terhadap pengurangan tinggi gelombang untuk pemecah gelombang pori pada permukaan kasar adalah luas bidang gesekan (diameter, panjang dan kekasaran pipa), kedalaman dan panjang gelombang (L).

H. Kerangka Pikir Penelitian

Pelaksanaan penelitian dengan model kekasaran dinding pipa struktur pemecah gelombang berpori memiliki tahapan mekanisme penelitian sesuai dengan kerangka pikir penelitian pada Gambar 3 di bawah ini:



Gambar 7. Kerangka Pikir Penelitian