TESIS

STUDI STABILITAS ARMOR *BREAKWATER* MENGGUNAKAN KANTONG BATUAN

STUDY ON ARMOUR BREAKWATER STABILITY USING ROCK POCKETS

IMAM ROHANI
P 230 1211 404

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013

STUDI STABILITAS ARMOR *BREAKWATER* MENGGUNAKAN KANTONG BATUAN

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

IMAM ROHANI

kepada

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013

TESIS

STUDI STABILITAS ARMOR BREAKWATER MENGGUNAKAN KANTONG BATUAN

Disusun dan diajukan oleh

IMAM ROHANI

Nomor Pokok P2301211404

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 29 Oktober 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,

Dr. Ir. M. Arsyad Thaha, MT	**Dr. Chairul Paotonan, ST., MT**
Ketua	Anggota

Ketua Program Studi	Direktur Program Pascasarjana
Teknik Sipil,	Universitas Hasanuddin,
Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng	**Prof. Dr. Ir. Mursalim**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama	:	Imam Rohani
Nomor mahasiswa	:	P2301211404
Program studi	:	Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat di buktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Oktober 2013

Yang menyatakan

Imam Rohani

PRAKATA

Assalamu Alaikum Waramatullahi Wabarakatu, segala puji bagi Allah SWT, karena dengan rahmat dan kehendak-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tesis dengan judul **"Studi Stabilitas *Armor Breakwater* Menggunakan Kantong Batuan "**. Berbagai kendala dan permasalahan yang menyertai selama penyusunan tesis ini, namun dengan bantuan berbagai pihak sehingga dapat selesai.

Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini tidak akan selesai tanpa adanya berbagai bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Muh, Arsyad Thaha, MT sebagai ketua komisi penasehat dan Dr. Chairul Paotonan, ST.,MT sebagai anggota komisi yang telah meluangkan waktunya dalam memotivasi dan membimbing penulis mulai persiapan penulisan, penelitian sampai dengan penyelesaian tesis ini.
2. Prof. Dr. H Saleh Pallu M. Eng, Dr. Ir. Johannes Patanduk, MS, dan Dr. Eng. Tri Harianto, ST. MT selaku tim penguji yang telah memberikan masukan dalam perbaikan penulisan tesis ini.
3. Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil yang telah membantu penulis selama pendidikan.
4. Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna S, MS. M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil yang telah membantu penulis selama pendidikan.
5. Para dosen dan staff yang telah membantu penulis selama mengikuti pendidikan pada Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar.

6. Orang tua tercinta Ayahanda Katiran dan Ibunda Mukijem serta keluarga tercinta yang terus bersabar memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
7. Istri tercinta dan keluarga yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Sipil Keairan 2011 (Budi, Fadly, Pak Daniel, Pak Panal, Erwin, Ugi, Pak Harun, Pak Arham, dan Bu Titin) serta Pascasarjana Teknik Sipil angkatan 2011 pada umumnya.
9. LPDP Departemen Keuangan Republik Indonesia yang telah membantu pendanaan riset pada tesis ini.

Dan semua pihak yang namanya tidak tercantum tetapi telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini, semoga Allah SWT membalasnya dengan pahala yang berlimpah.

Akhir kata penulis mengharapkan tesis ini dapat berguna bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang pengamanan pantai.

Makassar, Oktober 2013

Imam Rohani

ABSTRAK

IMAM ROHANI. *Studi Stabilitas Armor Breakwater Menggunakan Kantong Batuan* (dibimbing oleh M. Arsyad Thaha dan Chairul Paotonan).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter yang berpengaruh terhadap stabilitas, mendapatkan nilai koefisien stabilitas dan hubungan bilangan tak berdimensi terhadap stabilitas *armor breakwater* kantong batuan.

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan uji fisik yang dilakukan di saluran gelombang 2-D pada Laboratorium Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dengan membuat beberapa konfigurasi model *armor breakwater* kantong batuan adalah periode gelombang, tinggi gelombang, berat kantong batuan, sudut kemiringan struktur. Skala model digunakan adalah 1 : 10, dengan tiga variasi kedalaman, yaitu 25 cm, 20 cm, dan 15 cm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter yang berpengaruh adalah bilangan stabilitas, kecuraman gelombang, kedalaman air relatif dan kemiringan struktur. Hasil yang diperoleh nilai koefisien stabilitas armor breakwater menggunakan kantong batuan pada ujung (kepala) bangunan breakwater kondisi gelombang tidak pecah untuk kemiringan struktur 45˚ nilai koefisien stabilitas 3.916, pada kemiringan struktur 60˚ nilai koefisien stabilitas 5.042. Dari analisis parameter tak berdimensi menunjukkan bahwa Semakin besar nilai bilangan stabilitas, kecuraman gelombang dan kedalaman air relatif akan diperoleh nilai koefisien stabilitas (K_D) yang semakin besar dan sebaliknya semakin besar nilai kemiringan struktur breakwater akan menghasilkan nilai koefisien stabilitas (K_D) semakin kecil

kata kunci : *stabilitas, koefisien stabilitas , kantong batuan, breakwater*

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
3/8 2013
PUSAT BAHASA

ABSTRACT

IMAM ROHANI. Study on Armour Breakwater Stability Using Rock Pockets (Supervised by M. Arsyad Thaha and Chairul Paotonan).

The research is aimed to obtaining parameters having the impact the stability, obtaining coefficient of damage and the relationship dimensionless number stability of armour breakwater using rock pockets.

This was an experimental research with the physical test carried out in the wave chanel of 2D in Marine Engineering Laboratory, Faculty of Engineering, Hasanuddin university. Several configuration models of the armour breakwater using rock pockets are the wave period, wave height, rock pockets weight, slope of structures. Scale models used are 1: 10, with three variations of depth, which is 25 cm, 20 cm, and 15 cm.

The research results indicates that the parameters which has the influence are the stability number, wave steepness, relative water depth and slope of structure. The results obtained coefficient of damage armour breakwater using rock pockets at the end (head) breakwater, of the unbroken wave condition for slope of structure 45˚, value coefficient of damage 3.916, for slope of structure 60˚, value coefficient of damage 5.042. From analysis dimensionless parameters, it can be concluded that the greater the value of the stability number, wave steepness and relative water depth will result in the value coefficient of damage greater and the greater the value slope of breakwater structure will result in the value coefficient of damage smaller

Key words: stability, coefficient of damage, rock pocket, breakwater

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
PUSAT BAHASA

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Penelitian Sebelumnya	6
B. Landasan Teori	7

1. Perlindungan Pantai 7

2. Teori Gelombang 9

a. Karakteristik Gelombang 9

b. Klasifikasi Gelombang 13

c. Teori Gelombang Airy 15

d. Gaya Gelombang Terhadap Struktur 17

3. Stabilitas *Breakwater* 19

a. Stabilitas Armor *Breakwater* 19

b. Parameter Berpengaruh Terhadap Stabilitas Armor *Breakwater* Kantong Batuan 20

4. Kerusakan Model 22

5. Pertimbangan Menggunakan Armor Kantong Batuan 23

C. Hukum Dasar Model 24

1. Sebangun Geometrik 24

2. Sebangun Kinematik 25

3. Sebangun Dinamik 26

D. Analisa Parameter Tak Berdimensi 28

E. Hipotesis 29

F. Kerangka Pemikiran 31

III. METODE PENELITIAN 32

A. Tempat Dan Waktu Penelitian 32

B. Jenis Penelitian Dan Sumber Data 32

C. Bahan Dan Alat 33

D. Variabel Yang Diteliti 35

E. Perancangan Model 35

1. Penentuan Skala Model 35

2. Variasi Penelitian 36

3. Penentuan Berat Model 37

4. Penentuan Gradasi Batuan 38

5. Pembuatan Kantong 38

F. Pelaksanaan Simulasi 38

G. Prosedur Pengambilan Data 40

H. Diagram Proses Penelitian Laboratorium 41

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 42

A. Hasil Penelitian 42

1. Data Tinggi Gelombang 42

2. Panjang Gelombang 42

3. Jumlah Kantong Tidak Bergerak, Bergerak Dan Berpindah 43

B. Analisa Dimensi 44

C. Pembahasan 47

1. Refleksi Gelombang 47

2. Pengaruh Tinggi Gelombang Terhadap Tingkat Kerusakan 51

3. Pengaruh Kemiringan Struktur Terhadap Tingkat Kerusakan 54

4. Pengaruh Berat Kantong Terhadap Tingkat Kerusakan 57

5. Stabilitas Kantong Batuan 59

a. Pengaruh Bilangan Stabilitas Terhadap Koefisien Stabilitas 61

b. Pengaruh Kecuraman Gelombang Terhadap Koefisien Stabilitas 62

c. Pengaruh Kedalaman Air Relatif Terhadap Koefisien Stabilitas 63

d. Pengaruh Kemiringan Struktur Terhadap Koefisien Stabilitas 64

e. Perbandingan Stabilitas 64

V. KESIMPULAN DAN SARAN 67

A. Kesimpulan 67

B. Saran 68

DAFTAR PUSTAKA 69

DAFTAR TABEL

nomor		halaman
1.	Batasan gelombang air dangkal, transisi dan dalam	14
2.	Skala model	36
3.	Variasi pengujian model dan pengulangan	37
4.	Penentuan nilai α,β dan τ	44
5.	Penentuan nilai π_i	45

DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1.	Proses erosi pantai	13
2.	Profil gelombang airy, stokes dan cnoidal	15
3.	Karakteristik gelombang	16
4.	Skema gaya hidrodinamis gelombang	18
5.	Parameter dalam pengujian model	30
6.	Kerangka pikir penelitian	31
7.	Saluran gelombang dan posisi model dalam saluran	33
8.	Tangki uji gelombang yang dilengkapi dengan alat pembangkit Gelombang	34
9.	Tangki saluran gelombang (flume) yang dilengkapi ukuran kedalaman air	34
10.	Bentuk kantong batuan	38
11.	Perletakan kantong batuan di pinggir flume	39
12.	Bagan alir (flow cart) proses penelitian	41
13.	Daerah penerapan teori gelombang fungsi H/d dan d/L	43
14.	Hubungan Hi/L terhadap koefisien refleksi (Kr) pada d = 25 cm, θ = 60˚	48
15.	Hubungan Hi/L terhadap koefisien refleksi (Kr) pada d = 25 cm, θ = 45˚	48
16.	Hubungan koefisien refleksi (Kr) terhadap Hi/L pada d = 25 cm	49
17.	Hubungan koefisien refleksi (Kr) terhadap Hi/L pada d = 20 cm	49
18.	Hubungan koefisien refleksi (Kr) terhadap Hi/L pada d = 15 cm	50

19. Hubungan tinggi gelombang (Hi) terhadap tingkat kerusakan (S) pada kedalaman (d) =25 cm, kemiringan struktur (θ) = 60˚ 51

20. Hubungan tinggi gelombang (Hi) terhadap tingkat kerusakan (S) pada kedalaman (d) =25 cm, kemiringan struktur (θ) = 45˚ 52

21. Hubungan tinggi gelombang terhadap tingkat kerusakan pada kedalaman (d) =25 cm 52

22. Hubungan tinggi gelombang terhadap tingkat kerusakan pada kedalaman (d) =20 cm 53

23. Hubungan tinggi gelombang terhadap tingkat kerusakan pada kedalaman (d) =15 cm 53

24. Hubungan kemiringan struktur (cot θ) terhadap tingkat kerusakan (S) untuk W100, d =25 cm 54

25. Hubungan kemiringan struktur (cot θ) terhadap tingkat kerusakan (S) untuk W150, d =25 cm 55

26. Hubungan kemiringan struktur (cot θ) terhadap tingkat kerusakan (S) untuk d = 25 cm 55

27. Hubungan kemiringan struktur (cot θ) terhadap tingkat kerusakan (S) untuk d = 20 cm 56

28. Hubungan kemiringan struktur (cot θ) terhadap tingkat kerusakan (S) untuk d = 15 cm 56

29. Hubungan berat kantong (W) terhadap tingkat kerusakan (S) untuk d = 25 cm, θ = 60˚ 57

30. Hubungan berat kantong (W) terhadap tingkat kerusakan (S) untuk d = 25 cm, θ = 45˚ 57

31. Hubungan berat kantong (W) terhadap tingkat kerusakan (S) untuk d = 25 cm 58

32. Hubungan berat kantong (W) terhadap tingkat kerusakan (S) untuk d = 20 cm 58

33. Hubungan berat kantong (W) terhadap tingkat kerusakan (S) untuk d = 15 cm 59

34. Hubungan tingkat kerusakan (S) terhadap koefisien stabilitas (K_D) 60

35. Perbandingan hubungan bilangan stabilitas $\left(\frac{H}{\Delta.Dn}\right)$ terhadap tingkatkerusakan dan koefisien stabilitas K_D 62

36. Perbandingan hubungan kecuraman gelombang $\left(\frac{H}{g\,T^2}\right)$ terhadap tingkat kerusakan dan koefisien stabilitas K_D 62

37. Perbandingan hubungan kedalaman air relatif $\left(\frac{d}{H}\right)$ terhadap tingkat kerusakan dan koefisien stabilitas K_D 63

38. Perbandingan hubungan kemiringan struktur $(\cot\theta)$ terhadap tingkat kerusakan dan koefisien stabilitas K_D 64

39. Nilai K_D kantong pasir pada tingkat kerusakan 5% (Fatnanta, 2007) 65

40. Perbandingan Nilai K_D armor A-Jack, Tetrapod dan kubus terhadap nilai K_D Kantong batuan 65

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
	Mulai/ selesai
	Proses / Analisis
	Alur Kerja
a	Amplitudo gelombang
A	Luas penampang yang tegak
BPPT	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
c	Koefisien lapisan,
C	Kecepatan rambat gelombang
CERC	*Coastal Engineering Research Center*
C_D, C_L, C_I	Koefisien empiris gaya drag, lift dan inersia
Cos θ	Sudut datang gelombang ,
Cot α	Sudut kemiringan struktur
d	Jarak antara muka air rerata dan dasar laut
D	Diameter
Dn	Diameter nominal
$\frac{d}{H}$	Kedalaman air relatif

f	Frekuensi gelombang
F_D	*Force drag*
F_I	*Force inersia*
F_L	*Force lift*
Fr	Angka *Froude,* akar perbandingan antara gaya inersia dan gaya gesek
g	Percepatan gravitasi
H	Tinggi gelombang
H_i	Tinggi gelombang datang
H_m	Ukuran panjang di model
H_{max}	Tinggi gelombang maksimum
H_{min}	Tinggi gelombang minimum
$\frac{H}{\Delta.Dn}$	Bilangan stabilitas
$\frac{H}{g\,T^2}$	Kecuraman gelombang,
Irr	Bilangan *irribaren*
K	Angka gelombang 2π/L
K_C	Keulegan-*carpenter number*

K_r	Koefisien refleksi gelombang
K_t	Koefisien transmisi gelombang
L	Panjang gelombang
L_o	Panjang gelombang di air dalam
LPTP	Laboratorium Pengkajian Teknik Pantai
N	Jumlah gelombang,
n_a	Skala percepatan
NDP	*Non Dimensional Parameters*
n_L	Skala panjang
Ns	Angka stabilitas
n_t	Skala waktu
n_v	Skala Kecepatan
Po	Porositas
Re	Bilangan renold
S	Tingkat kerusakan
SSCM	*Settling and Self-Weight Consolidation Method*
SWL	Muka air rata

T	Periode gelombang
t_m	Waktu di model
t_p	Waktu di prototip
v	Kecepatan aliran
v_m	Kecepatan di model
v_p	Kecepatan di prototip
VRM	*Volume Reduction Method*
v. V	Volume batuan.
W	Berat Armor
W_{100}	Berat 100 gram,
W_{150}	Berat 150 gram
W_{200}	Berat 200 gram
Δ	Berat jenis relatif
ξ_z	*Surf similarity*
η (x,t)	Fluktuasi muka air terhadap muka air diam lurus arah kecepatan
ρ	Rho, Rapat massa

ρ_w	Rapat masa air,
σ	Periode gelombang $2\pi/T$
γ_r	Berat jenis batu
γ_a	Berat jenis air,

DAFTAR LAMPIRAN

nomor		halaman
1.	Koofisien stabilitas K_D untuk berbagai jenis butir	71
2.	Variasi pengujian model	72
3.	Perhitungan tinggi gelombang (H)	73
4.	Perhitungan panjang gelombang (L) dan kecapatan rambat gelombang (c)	79
5.	Perhitungan nilai perbandingan H/d dan d/L	88
6.	Perhitungan pergerakan kantong batuan	94
7.	Perhitungan koefisien refleksi gelombang	100
8.	Gambar hubungan Hi/L terhadap Kr	103
9.	Gambar hubungan Hi terhadap kerusakan (S)	105
10.	Gambar hubungan θ terhadap kerusakan (S)	107
11.	Gambar hubungan W terhadap kerusakan (S)	110
12.	Perhitungan koefisien stabilitas (K_D)	112
13.	Analisa regresi K_D	116
14.	Nilai K_D kantong batuan diantara berbagai jenis butir	119
15.	Dokumentasi	120

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia, dimana wilayahnya terdiri dari sekitar 18.000 pulau dengan garis pantai sepanjang 81.000 kilometer yang membentang luas dari Sabang (Sumatera) sampai Merauke (Irian Jaya). Luas wilayah perairan Indonesia meliputi sekitar 62% dari luas teritorial, serta memiliki potensi dan keanekaragaman jenis hayati yang sangat besar (Triatmodjo, 2011).

Negara kepulauan Indonesia merupakan daerah yang kebanyakan tumbuh dan berkembangnya dimulai dari tepian pantai. Pada daerah pantai menjadi pusat pertumbuhan utama perekonomian dan laju pertumbuhan penduduk, sehingga kebutuhan akan lahan pantai dan prasarana pendukungnya semakin meningkat.

Sistem perlindungan pantai yang sering digunakan adalah dengan pembuatan breakwater atau pemecah gelombang. Pada breakwater type sisi miring, umumnya struktur terbuat dari tumpukan batu alam yang bagian luarnya diberi *armor* atau lapis pelindung yang berfungsi menahan serangan gelombang. Armor terbuat dari batu-batu ukuran besar dengan berat mencapai beberapa ton, atau menggunakan batu buatan seperti tetrapod, quadripod, tribar, hexapod, dolos, A-jack dan lain sebagainya.

Hal ini menyebabkan pekerjaan breakwater relatif menjadi lebih mahal dalam pembuatannya.

Di daerah sekitar pantai terkadang sulit ditemukan batu yang memenuhi spesifikasi teknis armor breakwater. Bahan lokal yang mudah diperoleh adalah pasir dan batuan, sehingga diperlukan upaya yang dapat memenuhi syarat berat armor breakwater salah satu diantaranya dengan menggunakan kantong.

Dalam perencanaan berat armor breakwater dihitung dengan rumus Hudson :

$$W = \frac{\gamma_r \, H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_a} - 1\right)^3 \cot\theta} \qquad (1)$$

Dengan W = Berat batu pelindung (ton), (γ_r) = berat jenis batu (t/m^3), (γ_a) = berat jenis air (t/m^3), H = Tinggi gelombang rencana (m), θ = Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang, K_D =Koefisien stabilitas armor.

Para ahli telah mendapatkan nilai koofisien stabilitas (K_D) untuk berbagai jenis butir armor dan menyajikannya dalam tabel dan menjadi acuan dalam perencanaan breakwater. Namun sampai saat ini, belum ada nilai koofisien stabilitas (K_D) yang dapat digunakan untuk menghitung angka stabilitas untuk jenis armor breakwater yang menggunakan kantong batuan. Olehnya penulis tertarik menelitinya dan menuangkan dalam bentuk penulisan thesis yang berjudul : “Studi Stabilitas Armor Breakwater Menggunakan Kantong Batuan”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah, maka beberapa pokok permasalahan yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut :

1. Parameter apa saja yang berpengaruh terhadap stabilitas armor breakwater menggunakan kantong batuan ?
2. Berapa nilai koefisien stabilitas (K_D) armor breakwater menggunakan kantong batuan ?

C. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisis parameter stabilitas armor breakwater menggunakan kantong batuan.
2. Untuk mendapatkan koofisien stabilitas (K_D) armor breakwater menggunakan kantong batuan

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari hasil penelitian ini adalah :

1. Dapat dijadikan bahan acuan dalam perencanaan dan informasi bagi para peneliti yang berhubungan dengan armor breakwater menggunakan kantong batuan.
2. Sebagai referensi untuk memanfaatkan batuan yang banyak tersedia di alam sebagai material armor breakwater.

3. Hasil yang di peroleh dalam kajian ini adalah koofisien stabilitas (K_D) armor breakwater menggunakan kantong batuan untuk material perlindungan pantai.

E. Batasan Masalah

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

1. Dimensi kantong disesuaikan dengan berat dan volume batuan sebagai pengisi kantong
2. Gelombang yang datang tegak lurus terhadap model,
3. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang teratur (reguler wave) yang belum pecah
4. Fluida yang digunakan adalah air tawar (salinitas dan pengaruh mineral air tidak diperhitungkan)
5. Perbedaan karakteristik batuan tidak dikaji lebih dalam.
6. Batuan yang digunakan jenis kerakal dengan ukuran 8-20 cm pada prototype
7. Batu yang digunakan adalah batu tidak pecah
8. Berat jenis batu yang digunakan ditentukan 2200 kg/m^3
9. Kantong Batuan berbentuk bantal
10. Jumlah susunan kantong batuan (n) ditentukan
11. Tingkat kekasaran kantong batuan tidak dikaji secara mendalam

12. Batuan dicampur acak dan dimasukkan kedalam kantong
13. Perletakan kantong batuan pada ujung (kepala) bangunan breakwater

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Sebelumnya

Karakter stabilitas pemecah gelombang kantong pasir tipe tenggelam (Fatnanta, 2011), formasi karung pasir memiliki permukaan halus dan relative kedap air, sehingga arus internal tidak terjadi. Pada tes stabilitas, menunjukkan bahwa respon dari karung pasir dipengaruhi oleh elastisitas karung pasir yang tergantung pada dimensi dan rapat massa. Stabilitas tergantung pada perubahan gaya gelombang pada struktur bangunan, sebagai konsekuensi dari perubahan lereng dan daerah lintas karena bentuk karung pasir dan jenis formasi dan kemiringan

Stabilitas penahan gelombang kantong pasir bentuk guling (Fatnanta, 2011), stabilitas susunan kantong pasir dipengaruhi oleh tipe susunan dan kemiringan lereng. Gaya angkat dipengaruhi kemiringan lereng, lereng lebih landai, gaya *force lift* makin berkurang. Pada penelitian ini variasi dibatasi pada tinggi gelombang, susunan dan kemiringan struktur, sedangkan parameter pengujian lainnya, seperti periode gelombang, berat dan bentuk kantong pasir dibuat konstan.

Formula angka stabilitas unit lapis lindung pemecah gelombang tipe gelombang tak pecah (Sriyana, 2009), Secara matematis angka stabilitas dapat dinyatakan sebagai berikut Ns = f (Po, d, N, C, Cot α, Cos

θ, ξ_z), dengan Ns = angka stabilitas, Po = porositas, d = tingkat kerusakan, N = jumlah gelombang, C = koefisien lapisan, Cos θ = sudut datang gelombang , Cot α = sudut kemiringan struktur, ξ_z = surf similarity

Stabilitas armor pada *breakwater* tenggelam (Kinog, 2005), Penelitian mengkaji koefisien stabilitas K_D, parameter yang berpengaruh adalah gelombang (H dan T) dan parameter *breakwater* d/h. sedangkan armor yang digunakan ada 3 jenis armor, yaitu A-jack, tetrapod dan kubus. Studi difokuskan untuk menentukan hubungan antara kecuraman geiombang H/gT^2 dan koefisien stabilitas K_D, untuk harga parameter d/h tertentu.

Stabilitas armor kubus, dan tetrapod accropode (VAN DER MEER, 1988), Stabilitas ditentukan dalam bentuk bilangan tak berdimensi, menggunakan parameter tinggi gelombang signifikan, parameter surf similarity, sudut kemiringan, kerusakan, jumlah gelombang, parameter yang tidak mempengaruhi stabilitas: gradasi dari armor bentuk armor dan gelombang group.

B. Landasan Teori

1. Perlindungan pantai

Pantai adalah jalur yang merupakan batas antara darat dan laut, diukur pada saat pasang tertinggi dan surut terendah. Proses kerusakan pantai yang berupa abrasi/erosi pantai dapat terjadi karena sebab alami

dan buatan. Perlindungan pantai seharusnya bersifat komprehensif dan efektif untuk menanggulangi permasalahan kerusakan yang ada. Hal itu akan dapat tercapai apabila penyebab kerusakan pantai dapat diketahui, yaitu :

a. Kerusakan pantai secara alami :

1) Sifat dataran pantai yang masih muda dan belum berimbang, dimana sumber sedimen (source) lebih kecil dari kehilangan sedimen (sink).
2) Naiknya ketinggian gelombang.
3) Hilangnya perlindungan pantai (bakau, terumbu karang, sand dune).
4) Naiknya muka air karena pengaruh global warming.

b. Kerusakan pantai karena sebab buatan :

1) Perusakan perlindungan pantai alami, seperti kegiatan penebangan bakau, perusakan terumbu karang, pengambilan pasir di pantai, dan lain-lain.
2) Perubahan imbangan transportasi sedimen sejajar pantai akibat pembuatan bangunan pantai, seperti: jetty, pemecah gelombang, pelabuhan, dan lain-lain.
3) Perubahan suplai sedimen dari daratan, contohnya: perubahan aliran sungai atau sudetan sungai, pembuatan bendungan di hulu sungai, dan lain-lain.
4) Pengembangan pantai yang tidak sesuai dengan proses pantai.

Pada umumnya sebab-sebab kerusakan pantai merupakan gabungan dari beberapa faktor diatas. Agar penanganan masalah abrasi/erosi pantai dapat dilakukan dengan baik, maka penyebabnya harus diidentifikasi terlebih dahulu.

Dengan adanya pengembangan pantai untuk berbagai kepentingan, maka perimbangan dan perlindungan alami pantai yang ada dapat terusik ataupun rusak. Hal ini menyebebkan pantai menjadi terbuka dan rentan terhadap erosi atau abrasi.

2. Teori gelombang

a. Karakteristik gelombang

Gelombang permukaan merupakan salah satu bentuk penjalaran energi yang biasanya ditimbulkan oleh angin yang berhembus di atas lautan. Sifat gelombang yang datang menuju pantai sangat dipengaruhi oleh kedalaman air dan bentuk profil pantainya (*beach profile*), selain tentunya parameter dan karakter gelombang itu sendiri.

Parameter penting untuk menjelaskan gelombang air adalah panjang gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman air dimana gelombang tersebut menjalar. Parameter-parameter yang lain seperti pengaruh kecepatan dapat ditentukan dari ketiga parameter pokok diatas. Adapun pengertian dari beberapa parameter diatas :

1) Panjang gelombang (*L*) adalah jarak horizontal antara dua puncak atau titik tertinggi gelombang yang berurutan, bisa juga dikatakan sebagai jarak antara dua lembah gelombang.

2) Periode gelombang (*T*) adalah waktu yang dibutuhkan oleh dua puncak/lembah gelombang yang berurutan melewati suatu titik tertentu.

3) Kecepatan rambat gelombang (*celerity*) (*C*) adalah perbandingan antara panjang gelombang dan periode gelombang (*L/T*). ketika gelombang air menjalar dengan kecepatan *C*. partikel air tidak turut bergerak ke arah perambatan gelombang. Sedangkan sumbu koordinat untuk menjelaskan gerak gelombang berada pada kedalaman muka air tenang. Yaitu $z= -h$

4) Amplitudo (*a*) adalah jarak vertikal antara puncak/ titik tertinggi gelombang atau lembah/titik terendah gelombang, dengan muka air tenang (*H/2*).

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 *‘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 ditepi pantai. Hal ini juga dapat terjadi pengaruh pada garis pantai dan bangunan yang ada disekitarnya. Keenam peristiwa tersebut adalah :

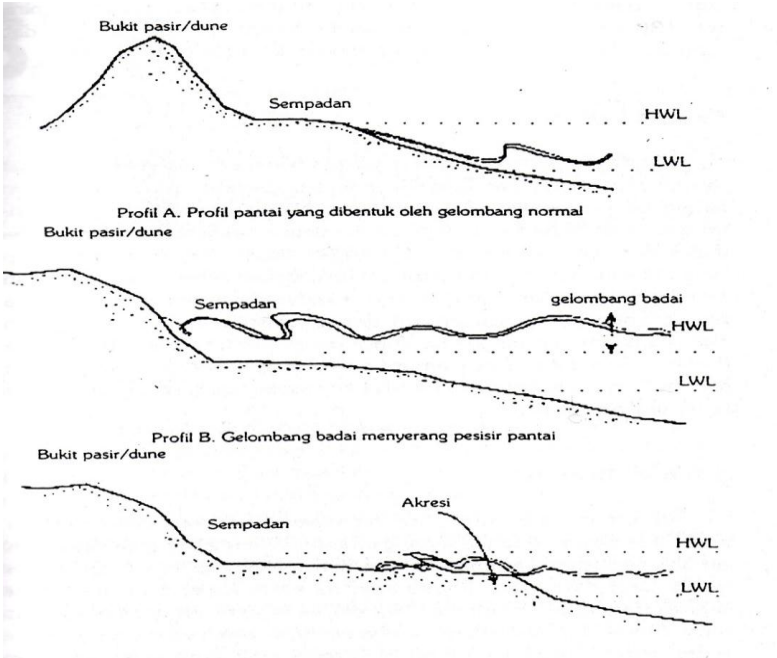
1) Refraksi gelombang yakni peristiwa berbeloknya arah gerak puncak gelombang.
2) Difraksi gelombang yakni peristiwa berpindahnya energi di sepanjang puncak gelombang ke arah daerah yang terlindung.
3) Refleksi gelombang yakni peristiwa pemantulan energi gelombang yang biasanya disebabkan oleh suatu bidang bangunan di lokasi pantai.
4) *Wave shoaling* yakni peristiwa membesarnya tinggi gelombang saat bergerak ke tempat yang lebih dangkal.
5) *Wave damping* yakni peristiwa tereduksinya energi gelombang yang biasanya disebabkan adanya gaya gesekan dengan dasar pantai.

6) *Wave breaking* yakni peristiwa pecahnya gelombang yang biasanya terjadi pada saat gelombang mendekati garis pantai (*surf zone*).

Gelombang yang peecah di pantai merupakan penyebab utama proses erosi dan akresi (pengendapan) garis pantai. Karakteristik gelombang ini tergantung pada kecepatan angin, durasi dan jarak seret gelombang (*fetch*).

Kemampuan air memindahkan material pantai tergantung pada kecepatannya. Gelombang besar atau gelombang dengan arus kuat atau cepat mampu mengangkut sedimen yang cukup besar dan dalam jumlah yang cukup banyak. Material sedimen ini diendapkan ketika kecepatan air mulai menurun dan kemudian akan diambil kembali ketika kecepatan air meningkat.

Elevasi muka air juga mempengaruhi proses terjadinya erosi pantai, seperti pada Gambar 1. Perubahan tinggi gelombang ini disebabkan misalnya karena pasang surut, musim, atau badai. Pantai dengan kemiringan relatif datar memiliki sistem perlindungan alami terhadap erosi. Keberadaan terumbu karang dan kemiringan pantai yang relatif datar akan memudahkan tereduksinya energi gelombang yang mendekat pesisir pantai. Sempadan pantai mencegah muka air laut yang tinggi mencapai daratan. Bukit pasir dan hutan bakau melindungi pantai dari serangan gelombang badai dan berfungsi sabagai tampungan sedimen.



Gambar 1. Proses Erosi Pantai (CERC, 1984)

b. Klasifikasi gelombang

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang angin adalah gelombang yang dibangkitkan oleh tekanan angin, gelombang pasang-surut yaitu gelombang yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik benda-benda angkasa terutama bulan dan matahari. Gelombang tsunami timbul akibat gempa bumi, letusan gunung berapi atau longsoran dengan volume tanah yang besar di pantai. Gelombang lainnya adalah gelombang yang dibangkitkan oleh gerakan kapal dan lain lain.

Gelombang diklasifikasikan menurut kedalaman airnya kedalam 3 katagori yaitu gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam

(Triatmodjo, 2011). Batasan ketiga katagori tersebut didasarkan pada ratio antara kedalaman dan panjang gelombang (d/L). Batasan ketiga kategori tersebut selanjutnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Batasan gelombang air dangkal, transisi dan dalam

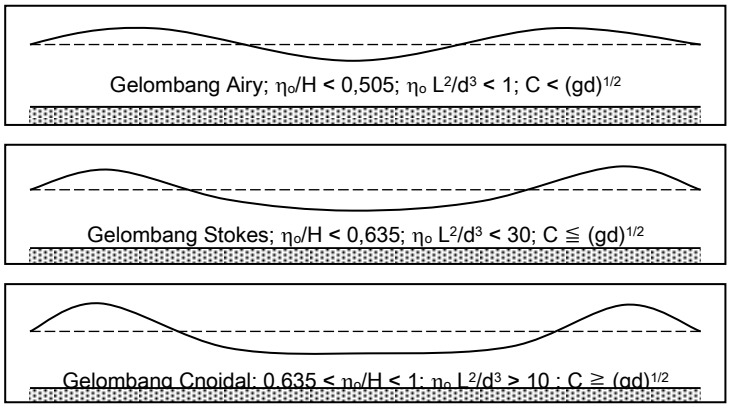
Katagori gelombang	d/L	$2\pi d/L$	Tanh $2\pi d/L$
Air dalam	> 0,5	> π	≈ 1
Air transisi	0,05 – 0,5	0,25 - π	Tanh $2\pi d/L$
Air dangkal	< 0,05	< 0,25	$\approx 2\pi d/L$

(Triatmodjo, 2011)

Sedangkan melalui rasio antara tinggi gelombang dengan panjangnya atau kedalaman airnya, teori gelombang dikembangkan ke dalam 2 macam, yaitu teori gelombang amplitudo kecil dan teori gelombang amplitudo berhingga. Teori gelombang amplitudo kecil yang dikembangkan oleh Airy, mendasarkan pada anggapan bahwa tinggi gelombang sangat kecil terhadap panjangnya atau kedalaman airnya, sedangkan gelombang amplitudo berhingga memperhitungkan besarnya tinggi gelombang terhadap panjang dan kedalaman airnya. Kondisi batas pada permukaan yang diperoleh dari persamaan Bernoulli dengan suku *nonlinier* ($u^2 + v^2$) yang diabaikan / dilinierkan pada teori gelombang amplitudo kecil, tidak lagi bisa diabaikan dalam teori gelombang amplitudo

berhingga. Dengan demikian teori gelombang amplitudo berhingga disebut juga teori gelombang *nonlinier*.

Dikenal beberapa teori gelombang *nonlinier* yaitu teori gelombang *Stokes, Cnoidal dan Solitery*. Perbedaan bentuk/profil dari gelombang-gelombang Airy, Stokes dan Cnoidal dapat dilihat pada Gambar 2.

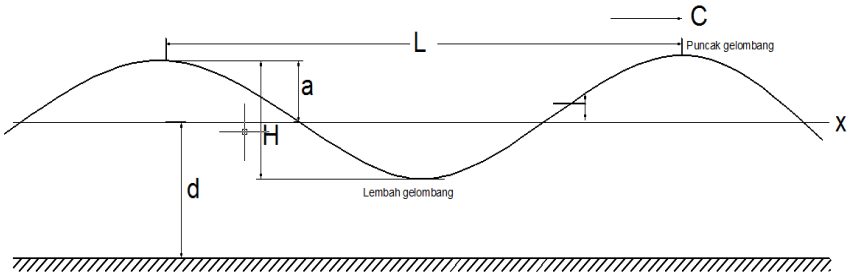


Gambar 2. Profil gelombang Airy, Stokes dan Cnoidal (Wilson, 1963).

c. Teori gelombang airy

Teori paling sederhana adalah teori gelombang Airy, yang juga disebut teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil, yang pertama kali dikemukakan oleh Airy pada tahun 1845. Selain mudah dipahami, teori tersebut sudah dapat digunakan sebagai dasar dalam merencanakan bangunan pantai.

Gambar 3. menunjukkan ilustrasi sebuah gelombang yang berada pada koordinat x dan y, dimana gelombang menjalar ke arah sumbu x.



Gambar 3. Karakteristik gelombang (Triatmodjo, 2011)

d : jarak antara muka air rerata dan dasar laut

η (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 diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya.

C : kecepatan rambat gelombang (L/T)

K : angka gelombang 2π/L

σ : periode gelombang 2π/T

1) Profil muka air

Profil muka air merupakan fungsi ruang (x) dan waktu (t) yang mempunyai bentuk berikut ini.

$$\eta\ (x,t) = \frac{H}{2}\cos(kx - \sigma t) \quad (2)$$

Persamaan 2. menunjukkan bahwa fluktuasi muka air adalah periodik terhadap x dan t, dan merupakan gelombang sinusoidal dan pro-gresif yang menjalar dalam arah sumbu x positip

2) Cepat rambat dan panjang gelombang

Cepat rambat (C) dan panjang gelombang (L) diberikan oleh persamaan berikut ini.

$$C = \frac{gT}{2\pi}\tanh\frac{2\pi d}{L} = \frac{gT}{2\pi}\tanh kd \quad (3)$$

$$\mathrm{L} = \frac{\mathrm{gT}^2}{2\pi}\tanh\frac{2\pi\mathrm{d}}{\mathrm{L}} = \frac{\mathrm{gT}^2}{2\pi}\tanh\mathrm{kd} \quad (4)$$

Dengan $$\mathrm{k} = \frac{2\pi}{\mathrm{L}} \quad (5)$$

d. Gaya gelombang terhadap struktur

Pemecah gelombang tipe *rubble mound* merupakan tumpukan batu yang dipasang di dalam laut yang diharapkan mampu menahan gaya gelombang. Oleh sebab itu batu tersebut dibuat seberat mungkin namun ekonomis dan tidak mengalami perpindahan apabila mengalami terjangan gelombang sampai dengan tinggi tertentu.

Gaya hidrodinamis gelombang pada pemecah gelombang cenderung mengangkat dan memindahkan batuan, seperti tampak pada Gambar 4. Oleh (Burcharth, 1994), gaya-gaya tersebut dinyatakan sebagai berikut :

1) gaya angkat *(lift force)*:

$$F_L = C_L \, \rho_W \, A \, \overline{V} \, |V| \tag{6}$$

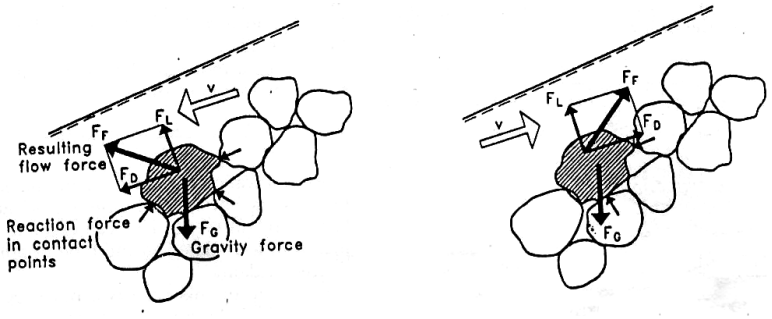
2) gaya seret *(drag force)*:

$$F_D = C_D \, \rho_W \, A \, \overline{V} \, |V| \tag{7}$$

3) gaya inersia *(inersia force)*:

$$F_I = C_I \, \rho_W \, V \, \frac{dv}{dt} \tag{8}$$

dimana, ρ_w = rapat masa air, A = luas penampang yang tegak lurus arah kecepatan v. V = volume batuan. C_D, C_L, C_I = koefisien empiris gaya drag, lift dan inersia, nilainya dipengaruhi oleh bentuk batuan, Reynolds Number, R_e, dan Keulegan-Carpenter number, KC. Sedangkan gaya penahan merupakan gaya gravitasi batuan, F_G. Gaya ini bekerja pada titik kontak antar batuan, sehingga dipengaruhi oleh posisi titik kontak dan arah gaya kontak antar batuan, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema Gaya Hidrodinamis Gelombang (Burchart, 1994)

Pada kondisi seimbang *(critical state)*, dimana batuan tidak bergerak, maka gaya inersia dapat diabaikan, sehingga perbandingan

stabilitas dapat dirumuskan sebagai gaya gravitasi dibagi dengan gaya *drag* dan *uplift* :

$$\frac{F_G}{F_D + F_L} \approx \frac{g\,(\rho - \rho_w)\,D_n}{\rho_w\,V^2} \tag{9}$$

Dimana Dn adalah diameter nominal, dirumuskan sebagai $\mathrm{Dn} = \left(\frac{W}{\gamma}\right)^{1/3}$.

Apabila $V = \sqrt{g\,H}$ dan $\Delta = (\rho - \rho_w)/\,\rho_w$ maka Persamaan 9 dapat dituliskan sebagai

$$\frac{H}{\Delta\,Dn} = K_1\,, K_2, \ldots\ldots\ K_n \tag{10}$$

Dimana $H/\,(\Delta Dn)$ merupakan bilangan stabilitas, H adalah tinggi gelombang karakteristik, K merupakan fungsi parameter struktur yang dipengaruhi oleh kemiringan struktur, tingkat kerusakan, jumlah gelombang, periode gelombang, susunan dan bentuk batuan.

3. Stabilitas *breakwater*

a. Stabilitas armor *breakwater*

Model perumusan stabilitas pemecah gelombang tipe *armoured rubble mound* telah dikembangkan oleh (Hudson, 1959). Sesuai dengan kriteria pengujian yaitu tidak terjadi kerusakan *(no-damage)* dan tidak overtopping *(no-overtopping),* hubungan antara gaya gelombang dan berat batuan dapat dirumuskan sebagai:

$$W = \frac{\gamma_r\,H^3}{K_D\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_a} - 1\right)^3\,\cot\theta} \tag{11}$$

Dengan W = Berat batu pelindung (ton), (γ_r) = berat jenis batu (t/m^3), (γ_a) = berat jenis air (t/m^3), H = Tinggi gelombang rencana (m), θ = Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang, K_D = Koefisien stabilitas armor. Sehingga koofisien stabilitas (K_D) dapat dihitung :

$$K_D = \frac{\gamma_r H^3}{W\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_a}-1\right)^3 \cot\theta} \quad (12)$$

Nilai-nilai K_D untuk beberapa contoh batu pelindung peredam gelombang telah diberikan di Shore Protection Manual (CERC, 1984) seperti pada Lampiran 1. Nilai K_D yang tinggi menunjukkan tingginya stabilitas terhadap serangan gelombang.

b. Parameter berpengaruh terhadap stabilitas armor *breakwater* kantong batuan

Berdasarkan persamaan Hudson, stabilitas dipengeruhi oleh empat parameter yaitu gelombang, berat material, fluida dan geometri struktur. Pada sub bab ini ditampilkan parameter-parameter berpengaruh tersebut pada penelitian sebelumnya.

1) Parameter gelombang

a) Tinggi gelombang

Tinggi gelombang merupakan faktor yang berperan terhadap kerusakan struktur. Tinggi gelombang makin tinggi, energi gelombang juga makin besar maka tingkat kerusakan yang ditimbulkan pada struktur juga makin besar. Sesuai dengan energi gelombang, tinggi gelombang berpengaruh terhadap stabilitas struktur (Hudson, 1959; Van der Meer, 1988; Vidal, *et al.,* 1995).

b) Jumlah gelombang

Sesuai (Van der Meer, 1988), stabilitas struktur dipengaruhi oleh jumlah gelombang yang diberikan. (Ahrens, 1988) melakukan pengujian stabilitas dengan jumlah gelombang sebesar 3500 - 4000 gelombang, dimana pada jumlah tersebut diharapkan struktur pemecah gelombang telah mencapai kondisi stabil. (Vidal, *et al.,* 1995) menyatakan bahwa untuk mencapai kondisi stabil pada kerusakan tertentu, jumlah gelombang reguler pada pengujian sebesar antara 100-400 gelombang.

2) Parameter berat kantong batuan

a) Gaya gravitasi

Perhitungan pada penelitian ini menggunakan gaya grafitasi standar sebesar 9.81 kg/m^3.

b) Berat

Berdasarkan persamaan stabilitas Hudson, material armor semakin berat maka nilai stabilitasnya akan semakin besar.

c) Berat jenis material

Berat jenis material batuan berpengaruh terhadap berat kantong batuan. Berat jenis material semakin besar maka berat kantong akan semakin besar walupun volume kantong batuan sama.

3) Parameter Fluida

Pada penelitian ini parameter fluida yang berpengaruh ditentukan yatu air pembangkit gelombang yang digunakan di laboratorium, jenis air

tawar. Yaitu perbandingan berat per volume 1 m^3, sehingga berat jenisnya adalaha 998 kg/m^3

4) Parameter geometri struktur (θ)

Gaya gelombang dipengaruhi oleh kemiringan struktur. Pada kemiringan landai, gaya impact gelombang makin berkurang, Gaya gelombang makin berkurang maka stabilitas pemecah gelombang makin meningkat (Jensen, 1984). Beberapa penelitian juga memasukkan pengaruh kemiringan struktur terhadap stabilitas (Hudson, 1959; van der Meer, 1991).

4. Kerusakan model

Kerusakan pada struktur bangunan laut itu didefinisikan sebagai jumlah batuan yang bergerak atau berpindah dari kedudukan semula setelah diterjang gelombang.

Terdapat dua metode yang umum digunakan untuk mengukur kriteria kerusakan tersebut yaitu secara visual dengan penghitungan jumlah batu yang berpindah dan pengukuran profil permukaan kemiringan (Hughes, 1993).

Metode penghitungan jumlah batuan berpindah dilaksanakan dengan anggapan merupakan pergerakan tunggal *(single armour unit rocking)* dan batuan terlepas dari posisi semula dengan jarak tertentu. Cara yang umum digunakan pada metode adalah memberi warna pada batuan atau material pemecah gelombang. Sehingga apabila terdapat perpindahan unit batuan dari lokasi satu ke lokasi lain, unit batuan

tersebut dapat dikenali. Pergerakan unit batuan dapat dipantau dan dicatat, atau lebih mudah dengan cara difoto atau film (Hughes, 1993). Pada metode ini, perpindahan unit batuan harus didasarkan pada kriteria tertentu, misalnya tidak bergerak, bergerak tapi tidak berpindah, berpindah dari posisi semula dengan jarak tertentu (CERC, 1984).

5. Pertimbangan armor kantong batuan

a. Kerusakan kantong

Struktur kantong batuan merupakan struktur yang rentan terhadap pengrusakan khususnya yang berlokasi di darat. Namun telah dikembangan teknik pelapisan *(coating)* seperti bitumen dan teknik penambalan *(patching).* Selain itu telah dikembang teknik penambalan di dalam air akibat kerusakan kantong pasir yang terjadi selama pemasangan. (Restall, et al., 2001).

b. Material pengisi dan bentuk kantong

Jenis material pengisi juga berpengaruh terhadap hasil akhir bentuk kantong. Kantong dengan tanah pengisi berbutir kasar *(coarse-grained)* mempunyai bentuk relatif stabil dari pada berbutir halus *(fine-grained),* hal ini disebabkan pada tanah berbutir kasar mempunyai permeabilitas tinggi sehingga hanya terjadi penurunan sesaat (Shin dan Oh, 2007). Penelitian mengenai prakiraan bentuk akhir kantong telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain (Leshchinsky, *et al.,* 1996) dalam (Shin dan Oh, 2007). menjelaskan dua metode untuk memprakirakan bentuk kantong yaitu:

1) Metode pengurangan volume (VRM=*Volume Reduction Method*)

Memperkirakan perubahan tinggi kantong terhadap kerapatan material pengisi didasarkan pada hubungan volume-berat.

2) Metode pemasangan dan konsolidasi akibat berat sendiri (SSCM=*Settling and Self-Weight Consolidation Method*).

Memperkirakan variasi kecepatan pengendapan *(settling)* Vs, dan koefisien konsolidasi (Cf) material pengisi kantong.

C. Hukum Dasar 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 (Yuwono, 1996).

Hubungan antara model dan prototipe diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidak sama. Skala dapat disefinisikan 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 :

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} \tag{13}$$

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} \tag{14}$$

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 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 menggunkan *distorted* model. Skala kecepatan diberi notasi n_u, skala percepatan n_a, dan skala waktu n_T didefinisikan sebagai berikut :

$$n_u = \frac{u_p}{u_m} = \frac{n_L}{n_T} \tag{15}$$

$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_{T^2}} \tag{16}$$

$$n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_{L^3}}{n_T} \tag{17}$$

$$n_T = \frac{T_p}{T_m} \tag{18}$$

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.

Sebangun dinamik yang dimaksud adalah sebangun dinamik Reynold (*Reynold number*) yang diekspresikan sebagai perbandingan gaya inersia terhadap gaya gesek, sebangun dinamik froud (*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 Froud. 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.

$$F_r = \frac{(\rho L^3)(U^2 / L)}{\rho g L^3} = \frac{U^2}{gL} \tag{19}$$

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

$$n_{F_r} = \frac{n_U}{n_{L^{0,5}}} \tag{20}$$

$$n_{F_r} = \frac{F_{r_p}}{F_{r_m}} = 1 \tag{21}$$

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 :

$$n_L = n_B = n_H = n_d = n_s \tag{22}$$

Sedangkan skala waktu n_T dan skala gravitasi ditulis seperti berikut:

$$n_T = \sqrt{n_L} \tag{23}$$

$$n_g = 1 \tag{24}$$

D. Analisa Parameter Tak Berdimensi

Bilangan tak berdimensi digunakan untuk menyatakan hubungan antar parameter serta dipakai untuk menggambarkan hasil-hasil penelitian. Untuk menentukan bilangan tak berdimensi dapat dilakukan dengan analisis dimensi. Beberapa cara/metode yang umum digunakan untuk analisis dimensi yaitu Metode *Basic Echelon*, Metode *Buckingham*, Metode *Rayleight*, Metode *Stepwise* dan Metode *Langhaar*. Untuk penelitian ini digunakan metode *Langhaar* karena variabel yang berpengaruh relatif sedikit serta metode ini tersusun sistemik.

Metode *Langhaar* menjelaskan fenomena model hidraulik dengan n parameter Pi dengan i = 1,2,3, …….. n. Jika parameter tersusun oleh m elemen pokok, maka produk bilangan tak berdimensi dapat diturunkan sejumlah (n-m). Untuk keperluan teknik hidraulik biasanya ada 3 elemen pokok yaitu Massa (*M*), Panjang (*L*) dan Waktu (*T*).

Bilangan tak berdimensi dapat dinyatakan :

$$\pi j = P_1^{k1}\ P_2^{k2} P_3^{k3} \ldots\ldots\ldots\ldots P_n^{kn} \tag{25}$$

Dimana πj = produk bilangan tak berdimensi

dengan j = 1, 2, 3, ... n

jika Pi mempunyai dimensi $M^{\alpha 1}\ L^{\beta 1}\ T^{\sigma 1}$, maka dapat ditulis :

$$\pi j = (M^{\alpha 1}\ L^{\beta 1}\ T^{\tau 1})^{k1}.\,(M^{\alpha 2}\ L^{\beta 2}\ T^{\tau 2})^{k2} \ldots\ldots\ldots\ (M^{\alpha n}\ L^{\beta n}\ T^{\tau n})^{kn}$$

atau

$$\pi j = \left(M^{\alpha 1k1+\alpha 2k2+\cdots\ldots\ldots\alpha nkn}\right).\left(L^{\beta 1k1+\beta 2k2+\cdots\ldots\ldots\beta nkn}\right).$$

$$\left(T^{\tau 1k1+\tau 2k2+\cdots\ldots\ldots\tau nkn}\right) \tag{26}$$

αj merupakan bilangan tak berdimensi jika :

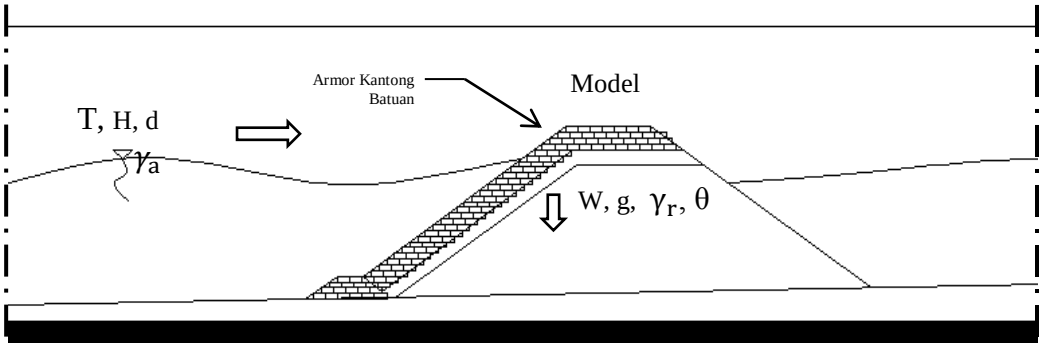
$$\alpha_1\ k_1 + \alpha_2\ k_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \alpha_n\ k_n = 0$$

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

$$\tau 1\ k1 + \tau 2\ k2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \tau n\ kn = 0 \tag{27}$$

E. Hipotesis

Mengacu pada persamaan Hudson, maka nilai koofisien stabilitas (K_D) dipengaruhi oleh empat variabel utama yaitu : gelombang, berat armor breakwater, fluida dan geometri struktur. Variabel gelombang terdiri dari periode gelombang, tinggi gelombang, dan kedalaman air. Variabel berat kantong batuan terdiri dari : gaya gravitasi, berat armor kantong batuan dan berat jenis material. variabel fluida yang berpengaruh adalah berat jenis air dan variabel geometri struktur yang berpengaruh adalah kemiringan struktur. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Parameter dalam pengujian model

Hipotesis diatas dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut :

$$K_D = f\,(T\ H\ d\ g\ w\ \gamma_r\ \gamma_a\ \theta\,) \tag{28}$$

Dengan :

K_D = koofisien stabilitas,

T = periode gelombang,

H = tinggi gelombang,

d = kedalaman air,

w = berat kantong batuan,

g = gravitasi,

γ_r = berat jenis batu,

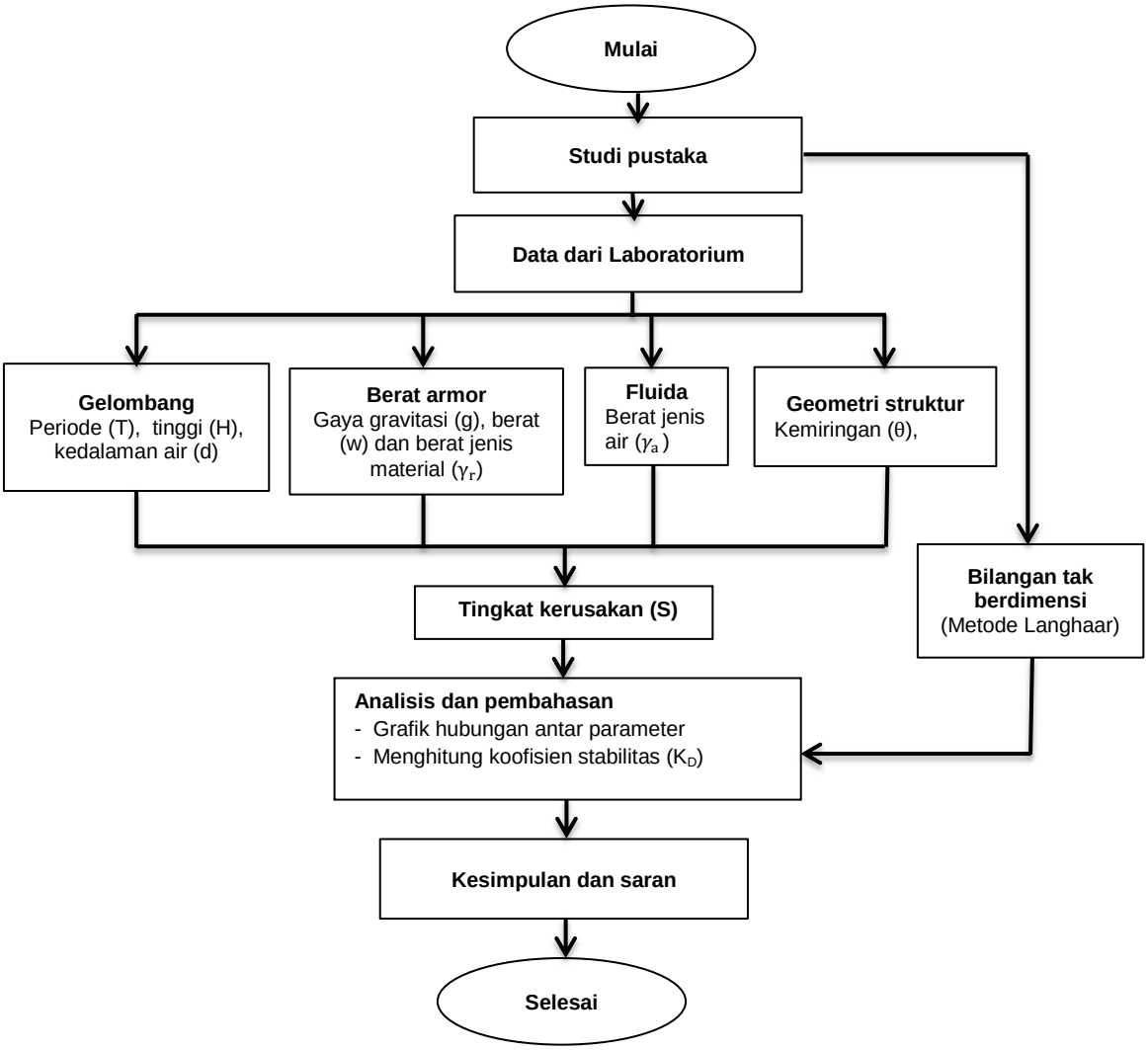
γ_a = berat jenis air dan

θ = sudut kemiringan struktur.

Berdasarkan hipotesis ini, maka akan dilakukan uji model fisik di Laboratorium. Spesifikasi model serta pendukung lainnya dijelaskan pada bab selanjutnya.

F. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir pada penelitian ini seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kerangka pikir penelitian