23.210/H105

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH – NOPEMBER

TUGAS AKHIR

LL 1327

PENGARUH *WAVE STEEPNESS* TERHADAP STABILITAS BATU PECAH PADA PERMUKAAN *CELLULAR COFFERDAM* AKIBAT GELOMBANG *OVERTOPPING*

RSKe
627.24
Cah
P-1
2005

Oleh :

Rony Dwi Cahyono
NRP : 4399 100 026

PERPUSTAKAAN
I T S
Tgl. Terima 5-4-2005
Terima Dari H
No. Agenda Prp. 721738

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2005

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH *WAVE STEEPNESS* TERHADAP STABILITAS BATU PECAH PADA PERMUKAAN *CELLULAR COFFERDAM* AKIBAT GELOMBANG *OVERTOPPING*

Rony Dwi Cahyono
NRP : 4399 100 026

Surabaya, Pebruari 2005

Mengetahui / Menyetujui

Pembimbing I

DR. Haryo D.A. MEng, ST
NIP. 132 133 973

Pembimbing II

Sholihin, ST
NIP. 132 276 193

Ketua Jurusan Teknik Kelautan

Ir. Imam Rochani, MSc
NIP. 131 417 209

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH *WAVE STEEPNESS* TERHADAP STABILITAS BATU PECAH PADA PERMUKAAN *CELLULAR COFFERDAM* AKIBAT GELOMBANG *OVERTOPPING*

Rony Dwi Cahyono
4399.100.026

Surabaya, Februari 2005

Mengetahui/Menyetujui,

Pembimbing I	Pembimbing II
DR. Haryo D.A. MEng, ST	Sholihin, ST
NIP : 132 133 973	NIP: 132 276 193

Ketua Jurusan Teknik Kelautan

Ir Imam Rochani, MSc
NIP : 131 417 209

ABSTRAK

Rony Dwi Cahyono
Pembimbing : DR Haryo D.A. MEng,ST dan Sholihin ST

Model fisik akibat *wave steepness* untuk *breakwater* tipe *cellular cofferdam* telah di uji. Model mempunyai dimensi dengan tinggi 53 cm, diameter 50 cm, lebar 73 cm dengan skala model 1 :40. Pengujian dilakukan untuk variabel yaitu berat batu (500 kg, 384 kg, 256 kg), tinggi gelombang (3,82 m, 3,21 m, 2,68 m), periode gelombang (20 s, 15 s, 12 s) dan elevasi struktur (1 m di atas SWL, 0 m pada SWL dan -1, -2 m di bawah SWL). Batu diletakkan pada puncak struktur untuk mengurangi serangan limpasan gelombang. Pencatatan dilakukan untuk w*ave steepness* sebagai akibat serangan gelombang dan perpindahan batu yang mewakili stabilitas batu . Dari percobaan menunjukkan bahwa kerusakan batu tertinggi pada struktur ada pada elevasi 0 pada SWL. Untuk batu 500 kg kerusakan di bawah 20 % terjadi pada semua *wave steepness* kecuali pada 0 m pada SWL. Untuk 256 -500 kg pada periode 20 detik stabilitas batu akibat *wave steepness* sangat stabil kecuali pada 0 m pada SWL dimana kerusakan batu mencapai di atas 20 % pada 0,00116.

Kata kunci : Stabilitas batu pecah, Prosentase Kerusakan, *Wave Steepness, Cellular Cofferdam*

ABSTRACT

Rony Dwi Cahyono
supervisor : DR Haryo D.A. MEng,ST dan Sholihin ST

The physical model of wave steepness effect in breakwater cellular cofferdam is presented The model has dimension of 53 cm height, 50 cm diameter, 73 cm width, as a result of 1 : 40 model scale. Four variation of stone weight (500 kg, 384 kg, 256kg), wave height (3,82 m, 3,21 m 2,68 m, wave period (20 s, 15 s, 12 s) and structure elevation (1 m above SWL, 0 m at SWL and -1, -2 below SWL were used. The stone armour is placed in the top of the structure to reduce the incoming overtopping wave. The steepness of the incoming wave is recorded, as well as the displacement of the stone that representing stone stability.The experiment shows that the steeper incoming wave the highter damage resulted on the structure, especially at elevation 0 m. For 500 kg stone the damage below 20 % at all wave steepness, for all elevation except 0 m at SWL. For 256 – 500 kg at 20 s period, the stability is good at all wave steepness except 0 m at SWL in which 20 % stone damage occurs at 0,00116.

Key Words : Stone stability, Procentage of Damage, Wave Steepness, Cellular Cofferdam

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Alloh SWT. Yang selalu melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan judul " Pengaruh *Wave Steepness* pada *Cellular Cofferdam* pada Patu Pecah Akibat Gelombang *Overtopping*". Tugas akhir ini dipenuhi sebagai prasarat memperoleh Gelar Sarjana untuk Jurusan Teknik Kelautan – FTK – ITS.

Dengan segala hormat dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih setulus – tulusnya kepada :

1. Alloh SWT yang telah memberikan kekuatan dan rahmatnya kepada penulis dalam menjalani kuliah di Teknik Kelautan.
2. Ayah dan Ibu serta kedua kakak (Dodik & Nurul), adik (Etik), keponakan (A.Saddam N.S), serta kakek – nenek dan saudara dari orang tua yang tidak henti-hentinya memberi semangat baik materi maupun moral.
3. Bapak Imam Rochani dan Bapak Handayanu selaku ketua Jurusan Teknik Kelautan dan sekretaris Jurusan Teknik Kelautan.
4. Bapak J.J. Soedjono selaku Dosen Wali yang selalu sabar dan membimbing selama masa perkulian.
5. Bapak Haryo Armono dan bapak Sholihin selaku Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang selama Tugas Akhir berlangsung selalu dengan sabar menyediakan waktu memberikan arahan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Bapak Dosen Teknik Kelautan yang selalu memberikan ilmunya selama penulis kuliah.
7. Seluruh guru SD, SLTP, SLTA yang memberikan ilmunya semoga menjadi ilmu yang bermanfaat.
8. Staf Lab. *Wave Tank* (M.M. Arif , Aries Resdiantoro) dan Staf Lab Dinamika Struktur (Mudjiono) serta Staf Lab. Komputer (Zuhud Ubaidillah).
9. Saudara tercinta ; Ahmad Ridloudin & Hadi Sutanto sebagai motivator yang selalu memberi semangat untuk kuliah, Fahmi Arifin sebagei pendobrak Tugas Rancang Besar Tahap II & III, Fery S & Fuad Andrisal sebagai tim peneliti yang sabar.

10. Angkatan "99 (Eryk B. & Djainul yang kental dengan guyonannya, Bagus budi sang letda 99, Wiwiet, Yudistira, Endro, Fardian, Rukmanul, Breh, Arga, Ragil, D.W Semedi, Peter, Abi, Imam Ebek, Ali, Satrio, Christop, Feri Horas, Vivian, Harinto, Miasto, Marwan, Gempur, Qosrul, Zaenal, chritian, Zulfikri, Alexis, Doffy, Hambali, Budi Kris, Tyas, Melly, Ririn, Denok, Ratna, Alin, Shanti, Dharma, Hendra, Ipung, Chadibah,
11. Angkatan "98 Saudara Bun-bun, Dikor, Djatmiko, Budi S., Medi, Lidya, A. Suyuthi, Fonda, Sulung, Rouf, Umamah, Yenung dll serta angkatan "97 saudara Zenik, Jefri, Dain dll.
12. Angkatan "00 saudara Catur, Kusuma, Bambang, Erfan, Ruri, Lilik, Mauli, Shanti, Yayuk, Indah dan lainnya serta Angkatan "01, "02,"03, "04.
13. Kos – kosan 2C/1 (Alip, Rizal, Asnawi, Fahron. Sunggokong, Ebek, dan lainnya).
14. Saudara Lazim dkk. kos Gebang Kidul 08 dan semua pihak yang telah membantu yang tidak penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari banyaknya kesalahan dalam penelitian tugas akhir ini, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan penulis untuk perbaikan lebih lanjut. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi diri pribadi penulis dan pembaca lainnya.

Surabaya, Januari 2005

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan

Abstrak i

Kata Pengantar ii

Daftar Isi iv

Daftar Gambar vii

Daftar Tabel ix

Daftar Notasi x

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah 1

1.2 Perumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 2

1.4 Manfaat Penelitian 2

1.5 Ruang Lingkup Penelitian 2

1.6 Sistematika Penulisan 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka 4

2.2 Landasan Teori 6

2.2.1 *Breakwater Cellular Cofferdam* 6

2.2.2 Bahan Lapis Lindung 7

2.2.2.1 Sifat –Sifat Bahan Lapis Lindung 7

2.2.2.2 Batu Alam 8

2.2.3 Perencanaan Pemecah Gelombang Tumpukan 9

2.2.4 Teori Gelombang 10

2.2.5 Spektrum gelombang 12

2.2.6 Model fisik 12

2.2.6.1 Pengertian Model Fisik 12

2.2.6.2 Efek Skala *(Scale Effect)* 14

2.2.6.3 Prinsip Kesebangunan *(Similitude Prinsiple)* 16

2.2.7 Analisis Dimensi 18
2.2.7.1 Analisa *Non Dimension* cara Langhaar 18
2.2.9 Pembangkitan gelombang *plunger Type* 21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur 22
3.2 Analisa Dimensi dan Kesamaan 22
3.3 Persiapan Alat dan Bahan 22
3.3.1 Pemodelan dan Fasilitas Kolam Gelombang 22
3.3.2 Persiapan dan Bahan Percobaan 28
3.4 Persiapan Percobaan 30
3.5 Input Data Tinggi dan Periode Gelombang 33
3.6 Running Gelombang 33
3.7 Pencatatan Hasil Running 34
3.8 Analisa hasil Percobaan 34
3.9 Kesimpulan 34

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Gelombang pada Wave Tank 36
4.1.1 Pengukuran Besarnya Stabilitas Pecah 37
4.2 Pembahasan 38
4.2.1 Hubungan Prosentase Kerusakan Batu Pecah dengan $(gT^2/H)^{0,5}$ 38
4.2.2 Hubungan Prosentase Kerusakan Batu Pecah dengan $(gT^2/H)^{0,5}$ tiap – tiap Elevasi 41
4.2.3 Hubungan Prosentase Kerusakan Btatu Pecah dengan Berat Batu Masing – masing Periode Gelombang 43
4.2.4 Hubungan Prosentase Kerusakan Batu Pecah dengan Stabilitas Batu tiap-tiap Elevasi 45
4.2.5 Hubungan Prosentase Kerusakan Btatu Pecah dengan periode Gelombang pada Variasi Berat 46
4.2.6 Pengaruh Prosentase Kegagalan Batu secara Ekonomis batu Pecah digunakan sebagai Material Isi Pemecah Gelombang

tipe *cellular Cofferdam* 47

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 51

5.2 Saran 51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Profil Gelombang	11
Gambar 2.2	Struktur Model	20
Gambar 2.3	Pembangkit Gelombang *Plunger Type*	21
Gambar 3.1	*wave Tank*	24
Gambar 3.2	Komputer Kontrol	24
Gambar 3.3	*Recording* data ACD Data	25
Gambar 3.4	*Wave Maker Control Program*	26
Gambar 3.5	Model Siap di Uji	27
Gambar 3.6	Grafik Kalibrasi *Wave Probe* dengan Matlab	28
Gambar 3.7	Grafik Hasil Kalibrasi Alat Ukur	28
Gambar 3.8	Proses Pengecatan batu Pecah	30
Gambar 3.9	Contoh *layout breakwater* yang di Tes di *wave Tank*.....	31
Gambar 3.10	Model Percobaan di *Wave Tank*	32
Gambar 3.11	*Model cellular* Cofferdam Tampak Atas	32
Gambar 3.12	Model *Cellular Cofferdam* Tampak Samping	33
Gambar 3.13	Proses Gelombang Running dengan H = 3,82 m dan T = 20 s ...	33
Gambar 3.14	Menghitung Batu yang Mengalami Kegagalan	34
Gambar 3.15	Diagram Alir Percobaan Fisik *Cellular Cofferdam*	35
Gambar 4.1	Penempatan Struktur Cellular Cofferdam pada tiap-tiap Elevasi pada Data Model	36
Gambar 4.2	Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan Prosentase Kerusakan Batu Pecah pada Elevasi 1 m di atas SWL	38
Gambar 4.3	Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan Prosentase Kerusakan Batu Pecah pada Elevasi 0 m Sejajar SWL	39
Gambar 4.4	Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan Prosentase Kerusakan Batu Pecah pada Elevasi –1 m di Bawah SWL	39
Gambar 4.5	Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan Prosentase Kerusakan Batu Pecah pada Elevasi –2 m di Bawah SWL	40
Gambar 4.6	Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan Prosentase Kerusakan Batu Pecah pada W = 500 kg	41

Gambar 4.7 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan Prosentase Kerusakan Batu Pecah pada W = 384 kg 42

Gambar 4.8 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan Prosentase Kerusakan Batu Pecah pada W = 256 kg 42

Gambar 4.9 Grafik Hubungan Berat Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,82 m dan Elevasi 1 m di atas SWL 43

Gambar 4.10 Grafik Hubungan Berat Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,21 m dan Elevasi 1 m di atas SWL 43

Gambar 4.11 Grafik Hubungan Berat Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 2,68 m dan Elevasi 1 m di atas SWL 44

Gambar 4.12 Grafik Hubungan Stabilitas Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada T = 20 s 45

Gambar 4.13 Grafik Hubungan Stabilitas Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada T = 12 s 45

Gambar 4.14 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,82 m dan Elevasi 1 m di atas SWL 46

Gambar 4.15 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,21 m dan Elevasi 1 m di atas SWL 46

Gambar 4.11 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 2,68 m dan Elevasi 1 m di atas SWL 47

BILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH – NOPEMBER

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien Kerusakan batu Kasar	9
Tabel 2.2	Koefisien Kerusakan batu halus	9
Tabel 3.1	Parameter Skala Model	22
Tabel 3.2	Dimensi dari *Wave Tank*	22
Tabel 4.1	Data Prototipe	36
Tabel 4.2	Data Model Percobaan dengan Skala 1 : 40	36
Tabel 4.3	Pengaruh *Wave Steepness* terhadap Stabilitas Batu Pecah	39
Tabel 4.4	Pengaruh Berat Batu pada Stabilitas batu Pecah	44
Tabel 4.6	Prosentase Kegagalan Batu 0 – 5 % pada W = 500 Kg	48
Tabel 4.7	Prosentase Kegagalan Batu 0 – 5 % pada W = 384 Kg	48
Tabel 4.8	Prosentase Kegagalan Batu 0 – 5 % pada W = 256 Kg	48
Tabel 4.9	Prosentase Kegagalan Batu 5 – 10 %	49
Tabel 4.10	Prosentase Kerusakan Batu Pecah 10 – 20 %	49
Tabel 4.11	Prosentase Kerusakan Batu Pecah di atas 20 %	50

DAFTAR NOTASI

Am	Skala Luas Model
A_P	Skala Luas prototype
L_P	Skala Panjang Prototipe
L_m	Skala Panjang Model
A_P	Skala Luas Prototipe
A_m	Skala Luas Model
V_P	Skala Volume Prototipe
V_m	Skala Volume Model
U_P	Skala Kecepatan Prototipe
U_m	Skala Kecepatan Model
a_p	Skala Percepatan Prototipe
a_m	Skala Percepatan Model
Q_P	Skala Debit Prototipe
Q_m	Skala Debit Model
W	Stabilitas Batu
ρ	Massa Jenis
g	Percepatan Gravitasi
K_D	Koefisien damage
H	Tinggi Gelombang
T	periode Gelombang
n	Porositas
L	Panjang Gelombang
η	Profil gelombang
d	jarak antara Muka Air Rerata dan Dasar Laut
a	Amplitudo
c	Cepat rambat Gelombang
Ek	Energi Kinetik
Ep	Energi Potensial
h	Tinggi Elevasi
f	Frekuensi gelombang

k	Angka Gelombang
t	Waktu
N_X	Skala Panjang Horisontal
N_W	Skala Berat Batu
N_Z	skala Panjang Vertikal
N_D	Skala Diameter Batuan
N_d	Skala Kedalaman Air
N_H	Skala Tinggi Gelombang
N_t	Skala Periode Gelombang
P	Tekanan
Q	Dwbit Air
μ	Viskositas
E	Energi
σ	Tegangan
V	Volume
U	kecepatan
A	percepatan
F_R	*Froude Number*
R_E	*Reynold Number*

BAB I
PENDAHULUAN

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pada mulanya, pelabuhan hanya merupakan suatu tepian dimana kapal-kapal dan perahu dapat merapat dan membuang jangkar untuk bisa melakukan bongkar muat barang, menaik-turunkan penumpang dan kegiatan lainnya. Untuk itu kondisi perairan pelabuhan harus tenang dari gangguan gelombang ditambah lagi dengan jumlah arus masuk kapal yang kapasitas muatnya berbeda–beda sehingga perlu adanya penyesuaian terhadap kedalaman dasar kolam. Seiring dengan kemajuan teknologi, maka berkembang kapal-kapal khusus seperti kapal tanker, kapal penumpang, kapal peti kemas dan lain-lain yang memungkinkan pelabuhan tidak lagi berada pada daerah terlindung secara alami. Maka dari itu, perlu adanya pemecah gelombang umtuk melindungi daerah perairan pantai.

Pelabuhan alami adalah daerah perairan yang terlindungi dari badai dan gelombang secara alam misalnya oleh suatu pulau, jazirah, atau terletak di teluk estuari dan muara sungai. Sedangkan pelabuhan terbuka yaitu daerah perairan yang dilindungi dari pengaruh gelombang dengan membuat bangunan pemecah gelombang *(breakwater)*. Pemecah gelombang ini membuat daerah perairan tertutup dari laut dan hanya dihubungkan oleh suatu celah (mulut pelabuhan) untuk keluar-masuknya kapal. Untuk daerah dengan kedalaman besar, gelombang besar, jumlah kapal yang masuk dengan DWT *(Dead Weight Tonnage)* yang besar dan biaya kontruksi perlu direduksi maka jenis struktur pelindung yang cukup efektif adalah *breakwater* tipe *cellular cofferdam*

Cellular cofferrdam adalah sebuah struktur penahan *gravity* yang tersusun secara seri dari *sheet pile* baja yang saling mengunci *(interlocking)* satu sama lainya dimana biasanya lubang terisi oleh tanah, pasir *(sand)*, dan kerikil *(gravel)*. Penguncian antar *sheet pile* baja ini dimaksudkan untuk stabilitas struktur itu sendiri dan melawan tekanan lateral dari air dan tanah. Untuk struktur *cellular cofferdam* ini, pada lapisan atasnya terdiri dari tumpukan batu pecah yang terdapat di alam. Batu perlu dipilih, dikarenakan keterbatasan jumlah batu dengan ukuran besar yang ada di lokasi pengerjaan dan sarana transportasi yang kurang memadai. Batu pecah ini memberikan kestabilan pada isi material

dibawahnya dari *overtopping* gelombang, karena material batu pecah ini dapat menyerap energi gelombang.

1.2 Perumusan Masalah

Bagaimana pengaruh *wave steepness* terhadap stabilitas batu pecah yang mengalami *overtopping* gelombang ?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengetahui stabilitas batu pecah akibat pengaruh *wave steepness* pada kondisi gelombang *overtopping.*

1.4 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui besarnya prosesntase kegagalan/perpindahan batu pecah akibat pengaruh *wave steepness* gelombang *overtopping.*
2. Mengetahui tinggi struktur minimum yang dipakai pada kondisi gelombang *overtopping* dan dimensi material batu pecah yang efektif yang dapat digunakan sebagai material *breakwater cellular cofferdam*

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

1. Gelombang *reguler*
2. Densitas material yaitu $\Pi_4 = \rho_S / \rho_W$ tidak divariasikan
3. Tinggi elevasi terhadap tinggi gelombang ($\Pi_2 = h / H$) tidak diperhitungkan
4. Porositas batu pecah tidak diperhitungkan
5. Gelombang melampui struktur dan gelombang tidak pecah.
6. Gaya Angin diabaikan.
7. Tinjauan stabilitas batu lapis lindung *breakwater* tipe *cellular cofferdam*
8. Batu lapis lindung menggunakan batu pecah.
9. Dasar perairan rata dan kedap.
10. Model 2 dimensi dan gaya lateral diabaikan

1.6 Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan

Berisi latar belakang masalah yang menjadi penyebab adanya masalah dengan tujuan dan manfaat yang ingin di capai dengan ruang lingkup yang menunjang untuk dilakukannya penelitian.

Bab. II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Berisi tentang pengetahuan dasar yang menunjang penelitian baik di peroleh dari buku, *proceeding,* majalah, *research of journal, survey* ataupun penelitian sebelumnya.

Bab III Metodologi Penelitian

Berisi tentang rangkaian alur percobaan mulai awal sampai dengan tujuan yang ingin dicapai dapat terlaksana.

Bab IV Analisa dan Pambahasan

Berisi tentang Pembahasan dari data yang didapatkan dari hasil percobaan bailk itu dalam bentuk angka, grafik ataupun kata–kata yang membahas hasil penelitian.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan secara umum dari pembahasan dan data yang di dapat dan saran berisi beberapa imbauan hal-hal yang perlu dilakukan bagi peneliti selanjutnya yang berkaitan dengan percobaan tersebut.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pemodelan fisik dipilih sebagai salah satu metode dalam rekayasa teknik pantai yang sangat cocok untuk memodelkan prototip yang ada di lapangan karena memberikan hasil yang lebih mendekati kebenaran. Dalrymple, 1985. (Hughes, 1993) memberikan dua kelebihan model fisik dalam mereplika fenomena yang terjadi di daerah pantai yaitu :

1. Model fisik mengintregasikan semua persamaan – persamaan pembangkit suatu proses tanpa adanya penyederhanaan assumsi, seperti yang sering dilakukan pada metode numerik.
2. Dengan adanya pengecilan skala pada prototip menjadi suatu model, maka mempermudah pengumpulan data sehingga akan mengurangi biaya, dimana pengumpulan data lapangan lebih mahal dan lebih sulit untuk dilakukan apalagi bila dilakukan pengumpulan data lapangan yang simultan.

Pemodelan fisik dalam rekayasa teknik pantai biasanya sering digunakan untuk membuat suatu suatu *breakwater* berdasarkan kondisi lapangan yang ada. *Breakwater* adalah suatu bangunan pelindung pantai yang berfungsi untuk mengurangi besarnya energi gelombang yang datang dan merusak daerah pantai. Bangunan ini biasanya dibuat untuk melindungi daerah pelabuhan maupun daerah wisata bahari, disamping itu juga untuk menstabilkan garis pantai. Pada dasarnya, ada dua jenis pemecah gelombang yang terdiri dari tumpukan batu, Pertama, *overtopping breakwater* yaitu pemecah gelombang yang direncanakan dengan memperkenankan/mengijinkan air melimpas diatas pemecah gelombang tersebut. Pemecah gelombang tipe ini biasanya direncanakan apabila di daerah yang dilindungi tidak begitu sensitif terutama terhadap gelombang yang terjadi akibat adanya *overtopping* misalkan pemecah gelombang untuk melindungi alur pelayaran, jetti, maupun groin.

Kedua, *Non overtopping breakwater* yaitu pemecah gelombang direncanakan dengan tidak mengijinkan air melimpas diatas pemecah gelombang tersebut. Tinggi mercu/puncak gelombang harus direncanakan/ditentukan berdasarkan *wave run-up* yang akan terjadi. Ukuran batu pelindung bagian lereng dapat lebih kecil dari lapis lindung lereng luar. Kadang – kadang dibuat sama namun lereng dalam lebih tegak. Pemecah gelombang

tumpukan batu dibangun berlapis dengan lapisan paling luar terdiri dari batu lindung yang paling besar/berat, sedangkan makin ke dalam ukuran batunya makin kecil, hal ini dimaksudkan karena bagian luar akan menerima beban gaya gelombang yang paling besar sehingga ukuran yang direncanakan harus berat dan stabil.

Pada dasarnya kerusakan batu ada tiga kategori, pertama *initial damage* yaitu beberapa unit batu yang berpindah tatapi tidak sampai menggeser bagian permukaan sampai jauh dari daerah pias dimana kerusakan batu berkisar antara 0 – 5 %. Kedua, *intermediate damage* yaitu beberapa unit batu yang berpindah dimana kerusakannya antara 5 – 10 % tanpa menyebabkan pembukaan pada lapisan di bawahnya. Sedangkan yang ketiga, *failure damage* yaitu lapisan batu mulai lapisan atas sampai dengan lapisan di bawahnya mendapat serangan gelombang secara langsung dimana kerusakan batu dapat mencapai di atas 20 % (Jackson.1968).

Struktur *cellular cofferdam* berupa pemecah gelombang *monolit* yang dibentuk dari beberapa *sheet pile* baja yang saling mengunci (*interlocking*) dan didalamnya di isi pasir dan butiran kasar seperti kerikil sebagai batu lapis lindung. Isian ini berfungsi sebagai penyetabilitas struktur dari tekanan *lateral* tanah dan energi gelombang. Selama *sheetpile* baja mampu menahan beban, maka tidak perlu adanya dinding penahan dan *tierod* (Jensen, 1999).

Mengingat batu ukuran besar harganya lebih mahal, maka bagian dalam dari pemecah gelombang dapat diisi dengan batu yang ukurannya lebih kecil. Syarat utama ukuran bahan yang dipakai lapisan dalam adalah tidak boleh tercuci lewat pori-pori atau rongga lapisan luar. Gelombang di laut dapat dibedakan berdasarkan gaya pembangkitnya anatara lain; gelombang angin, gelombang pasang surut, gelombang tsunami, gelombang yang disebabkan oleh gerak kapal. Untuk perairan terbuka bentuk gelombang mendekati bentuk lengkung *sinusoidal,* dimana arah perambatannya dinyatakan dengan sudut kemiringan terhadap arah angin. (Karmadibrata, 1981). Teori gelombang yang sering dipakai dan sederhana adalah teori gelombang amplitudo kecil atau teori gelombang *linear.*

Hal ini dipakai untuk menurunkan persamaan gelombang linear dalam berbagai asumsi :

- Zat cair adalah *homogen* dan tiodak termampatkan, sehingga massa jenis konstan
- Tegangan permukaan diabaikan
- Gaya koriolis diabaikan
- Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan
- Zat cair adalah *ideal* sehingga berlaku aliran tak rotasi
- Dasar laut adalah horisontal, tetap dan impermeable sehingga kecepatan didasar laut adalah sama dengan nol
- Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air
- Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah 2 dimensi.

Energi gelombang yang sampai di pantai apabila tidak ada yang menghalangi, dapat menyebabkan kerusakan pantai. Besarnya energi gelombang yang mencapai pantai dapat dikurangi dengan mengurangi tinggi gelombang. Tinggi gelombang dapat dikurangi dengan suatu konstruksi yang melintang arah gelombang yang berfungsi untuk mengurangi tinggi gelombang yang melewatinya dengan cara memecahkan atau memantulkan gelombang datang (CERC,1984).

Dalam perencanaan struktur pantai, pengujian model sangat diperlukan untuk mengetahui pengaruh gaya gelombang terhadap struktur yang ada. Tes model fisik adalah salah satu metode yang dapat dipakai untuk mengetahui variasi dari energi/spektrum, tinggi dan periode gelombang terhadap stabilitas dari batu lindung dalam kondisi *overtopping* (Jensen, 1999).

BILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Breakwater cellular cofferdam*

Pada dasarnya struktur pelindung pantai jenis *Breakwater* terdiri atas dua macam yaitu:

- Pemecah gelombang lepas pantai

  Jenis pemecah gelombang ini berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang. Perairan dibelakang bangunan menjadi lebih tenang sehingga terjadi endapan di daerah tersebut. Endapan tersebut dapat menghalangi *transport* sedimen sepanjang pantai.

- Pemecah gelombang sambung pantai

  Konstruksi bangunan ini digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang, sehingga kapal-kapal dapat merapat ke dermaga untuk melakukan bongkar muat dan menaikkan penumpang.

Cellular cofferdam adalah suatu konstruksi yang menggunakan *sheet pile* yang saling berhubungan. *Pile* yang saling menutup dan mengunci *(interlocking)* antar *pile* satu sama lain. Rongga yang dibentuk oleh sheetpile di isi oleh material yang tak kohesif seperti pasir di bagian bawah dan batu pecah digunakan sebagai penutup atasnya.

2.2.2 Bahan Lapis Lindung

Bahan lapis lindung yang dipakai untuk pemecah gelombang harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Bahan lapis lindung harus tahan terhadap keadaan lingkungan (tidak mudah lapuk, tidak rusak karena bahan kimia, tahan terhadap gelombang dinamik yang berasal dari gelombang pecah dan sebagainya.
2. Batu (alam ataupun buatan) harus mempunyai berat volume (γ) yang cukup besar (>2,6). Makin besar berat volume yang dipakai, makin kecil ukuran batu yang diperlukan, sehingga mempermudah pelaksanaan pekerjaan.
3. Bahan lapis lindung hendaklah cukup kasar sehingga mampu menahan gaya-gaya yang disebabkan oleh gelombang.
4. Bahan lapis lindung yang dipakai haruslah yang relatif murah. Perlu pemilihan jenis bahan yang ada dilokasi pekerjaan sehingga didapatkan jenis konstruksi yang murah.

2.2.2.1 Sifat-sifat Bahan Lapis Lindung

Untuk keperluan penentuan ukuran lapis lindung, sifat-sifat bahan lapis lindung perlu dikuantifikasikan dalam suatu parameter. Ada empat sifat bahan lapis lindung yang penting dan diantaranya sangat penting untuk perhitungan stabilitas konstruksi, dua diantaranya sangat penting untuk penentuan ukuran pemecah gelombang.

Keempat sifat tersebut antara lain :

a. Rapat massa batuan, ρa *("mass density")* .

Rapat massa batu *granit* = 2650 – 3000 kg/m^3

Rapat massa batu *basalt* = 2700 kg/m^3

Rapat massa *limestone* = 2300 – 2750 kg/m^3

Rapat massa beton = 2300 – 3000 kg/m^3

Limestone Block jarang digunakan untuk pemecah karena rapat massanya yang relatif rendah dan tidak tahan terhadap lingkungan (cuaca gempuran gelombang, bahan gelombang dan sebagainya).. Rapat massa beton dapat diusahakan tinggi dengan cara menggunakan bahan aggregat khusus. Beton yang digunakan harus mempunyai kekuatan paling tidak 30 N/mm^2 pada saat berumur 28 hari.

b. Koefien Lapisan, KΔ *(" Layer Coefficient, packing Coefficient")*

Koefien ini menunjukkan tingkat bahan lapis lindung untuk bergabung bersama dalam suatu lapisan. Koefisien ini penting untuk menentukan ukuran ketebalan lapisan.

c. Koefisien Porositas, n *("porosity")*

Koefien ini menunjukkan rasio antara volume rongga *("void Volume")* dengan total volume. Koefisien ini terutama untuk menentukan jumlah batu *("armourt unit")* dalam suatu proyek.

d. Koefisien batu lindung, K_D *(" Damage Coefficient)*

Koefisien ini merupakan pencerminan dari dari berbagai sifat-sifat bahan yang belum termasuk dalam ketiga sifat bahan yang dijelaskan (ρa, KΔ, n). Sifat – sifat bahan yang diwakili oleh kooefisien K_D antara lain : bentuk batu, kekasaran, tingkat *"interlocking"*, lokasi batu dalam pemecah gelombang dan sebagainya.

2.2.2.2 Batu Alam

Salah satu bahan lapis lindung yang dapat dipakai untuk struktur bangunan adalah batu alam. Batu alam ini didapatkan dari peledakan bukit batu di daerah batu. Karakteristik dari batu ini adala kasar, bersudut dan bentuknya tidak teratur. Spesifikasi dari bentuk batu ini adalah sebagai berikut ;

1. Rapat massa 2400 sampai 3000 kg/m^3

2. Koefisien Kerusakan

Tabel 2.1 Koefisien Kerusakan Batu Kasar

Damage (%)	0 - 5	5 - 10	10 -15	15 - 20	20 - 25
K_D	4,0	4,9	6,6	8,0	10,0

3. Koefisien Lapisan, $K\Delta = 1{,}00 - 1{,}15$
4. Porositas, n = kira – kira 37 %

Apabila batu alam tersebut permukaannya halus dan bentukny lebih teratur dan tidak bersudut – sudut, maka sifat – sifat stabilitasnya akan berkurang menjadi sebagai berikut :

1. Rapat massa 2400 sampai 3000 kg/m^3
2. Koefisien kerusakan

Tabel 2.2 Koefisien Kerusakan Batu Halus

Damage (%)	0 - 5	5 - 10	10 -15	15 - 20	20 - 25
K_D	2,4	3,0	3,6	4,1	5,1

3. Koefisien lapisan, $K\Delta = 1{,}02$
4. Porositas, n = kira –kira 38 %

2.2.3 Perencanaan Pemecah Gelombang Tumpukan Batu

a. Rumus berat batu

Pada tahun 1953, Hudson mengembangkan suatu rumus untuk menentukan berat batu yang lebih sederhana. Ia mengembangkan rumus ini di *US Army Corps Engineers Waterway Experiment Station.*

$$W = \frac{\rho_a g H^3}{K_D (Sr - 1)^3 \cot\alpha} \qquad (2.1)$$

Namun demikian rumus diatas memiliki banyak batasan pemakaiannya :

1. Hanya berlaku pada lereng dengan nilai cot $\alpha > 1{,}5$
2. Rumus ini dikembangkan berdasakan gelombang tidak pecah (*Non Breaking Wave*) dan untuk bagian depan dari pemecah gelombang.
3. *Run-up* tidak melebihi puncak pemecah gelombang.
4. Tidak memperhitungkan pengaruh periode gelombang
5. Model tes dilakukan dengan gelombang *regular*

2.2.4 Teori Gelombang

Gelombang laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut dalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin dipermukaan laut, gelombang akibat pasang surut, gelombang akibat *tsunami* dan sebagainya. Di antara beberapa bentuk gelombang itu yang paling penting dalam teknik pantai adalah gelombang angin. Gelombang ini dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan sedimen *transport* dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta memantulkan gaya tekan pada bangunan pantai. Oleh karena itu seorang ahli teknik pantai harus memahami dengan baik karakteristik dan perilaku gelombang baik di laut dalam maupun selama penjalarannya menuju pantai.

a. Profil muka air

profil muka air merupakan fungsi ruang (x) dan waktu (t) yang mempunyai bentuk :

$$\eta (x,t) = H/2 \cos (kx - \sigma t) \qquad (2.2)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa fluktuasi muka air adalah periodik terhadap x dan t dan merupakan gelombang *sinusoidal* dan *progresif* yang menjalar pada sumbu x positif

b. Cepat rambat dan panjang gelombang

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

$$C = gT/2\pi \tanh 2\pi d/L = gT/2\pi \tanh kd \qquad (2.3)$$

$$L = gT^2/2\pi \tanh 2\pi d/L = gT^2/2\pi \tanh kd \qquad (2.4)$$

dengan $k = 2\pi/L$

untuk laut dalam ($d/L > \frac{1}{2}$) persamaan diatas menjadi :

$$C_0 = gT/2\pi = 1.56\,T \qquad (2.5)$$

$$Lo = gT^2/2\pi = 1.56\,T^2 \qquad (2.6)$$

c. Tekanan gelombang

Tekanan yang disebabkan oleh gelombang merupakan gabungan dari tekanan hidrostatis dan dinamis

$$p = -\rho gy + (\rho gH/2)(\cosh k(d+y))/\cosh kd \cos(kx - \sigma t) \qquad (2.7)$$

d. Kecepatan kelompok gelombang

$$Cg = 0.5\,(1 + 2kd/\sinh 2kd)\,C \qquad (2.8)$$

e. Energi dan tenaga gelombang

Energi total gelombang merupakan jumlah dari energi kinetik dan energi potensial gelombang

- Energi kinetik gelombang :

  $Ek = \rho g H^2 L / 16$ (2.9)

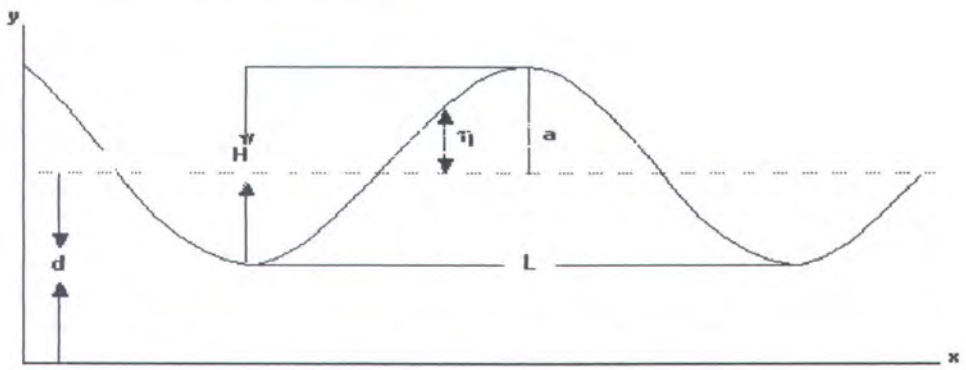
- Energi potensial gelombang

  $Ep = \rho g H^2 L / 16$ (2.10)

- Energi total gelombang

  $Et = Ek + Ep = \rho g H^2 L / 8$ (2.11)

Di bawah ini digambarkan gelombang yang berada pada sistem koordinat x,y dan arah penjalaran gelombang adalah sumbu x :



Gambar 2.1 Profil gelombang

Keterangan:

η (n,t) = Fluktuasi muka air rerata dan dasar laut

d = Jarak antara muka air rerata dan dasar laut

a = Amplitudo

h = Tinggi gelombang

L = Panjang gelombang

T = Periode gelombang

c = Cepat rambat gelombang

Untuk persamaan – persamaan gelombang yang sering digunakan dengan g sebagai percepatan gravitasi adalah :

Waktu $T = \sqrt{\frac{2\pi L}{g}}$ atau $T^2 = \frac{2\pi L}{g}$ (2.12)

Panjang Gelombang $L = \frac{gT^2}{2\pi}$ (2.13)

Kecepatan Gelombang $v = \frac{L}{T}$ (2.14)

Frekuensi gelombang $f = \frac{1}{T}$ (2.15)

Dimana : L = Panjang Gelombang

A= Amplitudo Gelombang

2.2.5 Spektrum Gelombang

Untuk spektrum gelombang , besarnya energi per satu meter persegi permukaan gelombang sinusoidal ke-n adalah:

$$E_n = 0{,}5\,\rho g\,\varsigma_{no}^{\,2} \qquad (2.16)$$

Jika didefinisikan luasan yang dibatasi oleh suatu batasan frekuensi tertentu adalah proporsional dengan energi total (per meter persegi) dari semua komponen gelombang dari batasan frekuensi tersebut, maka luasan total yang dibatasi oleh spektrum adalah proporsional dengan energi total per meter persegi dari keseluruhan sistem gelombang.

2.2.6 Model Fisik

2.2.6.1 Pengertian Model Fisik

Pemilihan model fisik hidraulik *(Hydraulic Scale Model, Physical Modelling)* dilakukan apabila fenomena fisik dari masalah yang ada pada *prototype* dapat dibuat dengan skala yang lebih kecil dengan prinsip kesebangunan (similaritas) yang cukup memadai. Untuk beberapa kasus model juga membutuhkan model matematik yang diperlukan sebagai masukan *(input)* untuk mengatur gerak piston alat pembangkit gelombang tidak teratur *(irregular wave generator)* memerlukan program matematik untuk mengatur gerak piston, agar gelombang yang dibangkitkan sesuai dengan yang diharapkan.

Dalrymple, 1985 (dalam, Hughes,1993) menyatakan bahwa studi lapangan memberikan data yang akurat tetapi biasanya mahal dan banyak mengandung variabel yang alami yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data. Sebaliknya dalam model fisik biaya yang dikeluarkan lebih kecil, mudah untuk dipelajari dan lebih sedikit variabel yang ada.

Kamphuis, 1991 menyatakan bahwa pembuatan model fisik akan memerlukan banyak sekali kalibrasi dalam verifikasi data.

Le Mehaute, 1990 (Hughes,1993) memberikan enam alasan mengapa digunakan model fisik untuk mempelajari dan menyelesaikan masalah – masalah yang berkaitan dengan rekayasa pantai :

1. Teknologi skala model berkaitan dengan efektifitas penggunaan model. Hal ini berkaitan dengan dimensi pantai dan hal detail yang berkaitan dengan aktivitas lepas pantai. Model fisik dapat menambah kendala dan kredibilitas para pembuat keputusan dalam menentukan hal yang sulit untuk dicapai dengan observasi lapangan.
2. Teknik–teknik percobaan labolatorium selalu merupakan salah satu alat yang bermanfaat didalam bidang rekayasa teknik, karena aliran fluida yang turbulen secara sistematik sulit untuk menentukan batasan yang diperlukan.
3. Teknik-teknik baru yang ada sekarang memungkinkan untuk menentukan hubungan fisik aliran fluida selain hal-hal yang telah diketahui sebelumnya. Kemajuan teknik pemrosesan data juga turut mempermudah untuk mengolah data dalam jumlah banyak sehingga pengolahan data dengan variabel yang lebih komplek dapat dilakukan.
4. Ketepatan model matematis ditentukan oleh ketepatan penggunaan fungsi-fungsi matematis. Ada bebarapa penyederhanaan yang digunakan, sedangkan dalam model fisik memberikan kesempatan untuk mengamati dan mengukur hal-hal fisik dalam kondisi yang terkendali.
5. Model skala bersifat komputer analog, dimana model skala dapat merupakan replika kondisi batas yang komplek dalam rangka penyelesaian permasalahan beda hingga dalam efek-efek *non linear*, sehhingga kesulitan utama dalam pemodelan matematis juga dapat dimodelkan mendekati hal yang sebenarnya.
6. Efek-efek fisik antara elemen fluida juga merupakan hal yang sangat berpengaruh untuk penelitian mengenai karakter fluida. Dengan model fisik hal tersebut, mungkin saja merupakan hal yang tidak dapat dihasilkan secara teoritis atau dengan perhitungan komputer.

Di samping kelebihan diatas, model fisik juga mempunyai kelemahan. Kelemahan model fisik menurut Hughes (1993) adalah sebagai berikut :

1. Adanya efek skala. Efek skala ini terjadi karena kita membuat suatu model yang lebih kecil dari prototipnya di alam. Sangatlah tidak mungkin memodelkan semua variabel yang relevan dalam hubungan yang benar satu sama lain. Dapat diumpamakan adanya efek skala ini sama dengan adanya penyederhanaan dan assumsi pada pemodelan numerik.
2. Efek labolatorium. Efek labolatorium uni dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan kalau tidak dilakukan pendekatan yang sesuai dengan prototipnya di alam. Efek labolatorium ini biasanya muncul karena ketidakmampuan untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realitis dan karena adanya pengaruh keterbatasan yang dipunyai model terhadap proses yang disimulasikan.
3. Seringkali semua fungsi gaya dan kondisi batas yang bekerja di alam tidak disertakan dalam pemodelan fisik. Dapat diberikan contoh sebagai berikut yaitu adanya gaya geser angin yang bekerja pada permukaan air, yang dapat menyebabkan terjadinya arus di dekat pantai, ini tidak dimodelkan. Dalam banyak model fisik, biasanya hanya dimodelkan pembangkitan gelombangnya saja.
4. Meskipun tidak selalu terjadi, tetapi tidak dapat dipungkiri, bahwa model fisik lebih mahal untuk dikerjakan daripada model numerik. Pada situasi dimana model numerik memberikan hasil yang handal, maka tentu saja pilihan akan jatuh ke penggunaan model numerik.

2.2.6.2 Efek Skala *(Scale effect)*

Pengaruh efek skala pada gelombang pendek, terutama untuk model hidrodinamis pada suatu percobaan dimaksudkan adanya kesamaan *(similitude)* antara *froude number* dan *Reynold number* dimana gaya gravitasi harus sama dengan gaya viskositas. Jika ada perbedaan dan kesulitan dalam penyekalaan *(scalling)*, maka penentuan dasar dari assumsi skala yang dipakai yaitu gaya gravitasi harus lebih dominan dari gaya viskositas. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari jarak propagasi gelombang panjang *(long wave)* dan pengurangan/penghilangan gesekan pada model yaitu dengan perluasan/penyebaran awal

untuk tinggi gelombang. Efek skala pada model fisik disamakan dengan model numerik untuk nilai/variabel yang komplek pada formulasi matematika-nya (Kamphuis, 1991).

Le Mehaute, (1976) menitikberatkan efek skala secara umum untuk model di pantai sebagai berikut :

1. Perbedaan densitas model eksperimen untuk model dengan pada prototipe sebesar 3 %. Untuk stabilitas *breakwate*r-nya kira-kira *error*-nya 15 %
2. Tekanan air tidak di skala, maka gelombang ledakan bawah air *(explotion underwater)* tidak disamakan skalanya, hal ini karena kesulitan penentuan model material untuk densitas dan tekanannya.
3. Tegangan material jarang diperhitungkan pada skala model.

Maka dari itu, penentuan rentang skala sebagai batasan dalam suatu percobaan berdasarkan pada eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya untuk skala model.
Rentang skala panjang digunakan dalam model fisika hidrodinamisnya untuk lebar yang berbeda, (Vary). yaitu sebagai berikut :

- Untuk transformasi gelombang 2 dimensi : 1:10 ; 1:50
- Stabilitas breakwater : 1:30 ; 1:75
- Penetrasi pelabuhan untuk gelombang pendek : 1:50 ; 1:150
- Gaya pada struktur *(solid body)* : 1:10 ; 1:50

Ada beberapa faktor untuk menentukan skala model fisik hidrodinamis yaitu :

1. Ukuran fasilitas model dan kemampuan pembangkit gelombang
2. *Reynold number* aliran untuk skala yang digunakan
3. Pengetahuan tentang model fisik percobaan yang sudah ada dengan permasalahan yang sama.
4. Rentang yang dipertimbangkan dalam model fisik
5. Batasan biaya/anggaran yang ada

2.2.6.3 Prinsip Kesebangunan *(Similitude Principle)*

Penyekalaan model adalah membentuk kembali masalah yang ada di prototip dalam skala yang lebih kecil lagi. Sehingga adanya kemiripan bentuk prototip dengan yang ada pada model. Kesebangunan terdiri atas :

1. Sebangun geometrik (panjang, lebar, tinggi)

Sebangun geometrik dipenuhi apabila model dan prototip mempunyai bentuk yang sama tetapi berbeda ukurannya. Sebangun geometrik ini terdiri atas dua macam yaitu sebangun geometrik sempurna (tanpa distorsi) dan sebangun geometrik dengan distorsi

Untuk penyekalaan dengan distorsi harus memenuhi persyaratan :

Skala panjang (nL) = $\frac{L_P}{L_m} = \frac{Panjang\ pada\ prototip}{panjang\ pada\ \mathrm{mod}el}$

Skala Tinggi (nH) = $\frac{h_p}{h_m} = \frac{Tinggi\ pada\ prototip}{Panjang\ pada\ \mathrm{mod}el}$

Pada Sebangun geometrik sempurna dapat ditentukan bahwa;

Skala luas : $nA = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(panjang\ x\ lebar)_p}{(panjang\ x\ lebar)_m} = (nL)^2$

Skala Volume: $nV = \frac{V_p}{V_m} = (nL)^3$

Sedangkan pada sebangun geometrik dengan distorsi :

Skala luas posisi panjang : $nA = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(panjang\ x\ lebar)_p}{(panjang\ x\ lebar)_m} = (nL)^2$

Skala luas Posisi vertikal : $nA = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(panjang\ x\ lebar)_p}{(panjang\ x\ lebar)_m} = nL\ x\ nh$

Skala Volume: $nV = \frac{V_p}{V_m} = (nL)^2\ x\ nh$

2. Sebangun Kinematis (kecepatan, aliran)

Sebangun kinematis terjadi antara prototip dan model jika prototip dan model sebangun geometrik dan perbandingan kecepatan dan percepatan di dua titik yang berangkutan pada prototip dan model pada arah yang sama adalah sama besar. Pada model tanpa distorsi

pada seluruh arah, percepatan dan kecepatan mempunyai perbandingan yang sama, sedang pada model dengan distorsi perbandingan yang sama hanya berlaku pada arah tertentu saja, yaitu arah vertikal dan pada arah horisontal. Untuk aliran dengan tiga dimensi disarankan tidak menggunakan *"Distorted Model"*

Skala Kecepatan: $n_U = \frac{U_p}{U_m} = \frac{n_L}{n_T}$ *atau* $\frac{n_h}{n_T}$

Skala Percepatan: $n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_T^2}$ *atau* $\frac{n_h}{n_T^2}$

Skala Debit: $n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_L^3}{n_T}$ *atau* $\frac{n_L^2 n_h}{n_T}$

3. Sebangun dinamik (yang berhubungan dengan gaya)

Jika prototip dan model sebangun geometrik dan kinematik, dan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototip untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama, maka dikatakan bahwa keduanya adalah sebangun dinamik.

Gaya gaya tersebut adalah :

Gaya inersi	$F_i = M.a = \rho\ L^3\ (L/T^2) = \rho\ U^2 L^2$
Gaya tekanan	$F_p = P.A = P\ L^2$
Gaya Berat	$F_W = M\ g = \rho\ L^3\ g$
Gaya gesek (viscositas)	$F_v = \mu\ (du/dy)\ A = \mu\ (U/L)\ L^2$
Gaya kenyal	$Fe = E.\ A = E\ L^2$
Gaya tegangan Permukaan	$F_s = \sigma\ L$

Untuk mendapatkan kesebangunan dinamik antara model dan prototip tidak perlu semua gaya tersebut di atas mempunyai perbandingan yang sama, hanya dipilih gaya-gaya yang penting dalam permasalahan saja yang diperhitungkan.

Kesebangunan dinamik dapat diekspresikan sebagai perbandingan gaya-gaya tersebut di atas sebagai bilangan tak berdimensi dan dinyatakan dalam kriteria-kriteria sebagai berikut :

1. Froude Number $\left[\frac{V}{\sqrt{gL}}\right]_p = \left[\frac{V}{\sqrt{gL}}\right]_M$

2. *Reynold Number*

$$\left[\frac{\rho V L}{\mu}\right]_P = \left[\frac{\rho V L}{\mu}\right]_M$$

3. *Euler Number*

$$\left[\frac{P}{\sigma V^2}\right]_P = \left[\frac{P}{\sigma V^2}\right]_M$$

4. *Webwer Number*

$$\left[\frac{\rho V^2 L}{\sigma}\right]_P = \left[\frac{\rho V^2 L}{\sigma}\right]_M$$

5. *Cauchy number*

$$\left[\frac{\rho V^2}{E}\right]_P = \left[\frac{\rho V^2}{E}\right]_M$$

2.2.7 Analisa Dimensi

Dalam pembuatan model biasanya dilakukan pengecilan dari berbagai variabel, yaitu dengan memberikan skala (n) pada masing-masing variabel tersebut. Sedangkan skala dari berbagai variabel tersebut dapat ditentukan hubungan antar parameter yang diekspresikan dalam bilangan tak berdimensi. Selain itu bilangan tak berdimensi dapat pula digunakan untuk menggambarkan hasil penelitian, dengan demikian hasil penelitian dapat digeneralisir.

Ada beberapa cara dalam mentukan bilangan tak berdimensi, yaitu :

1. *Basic Echelon Matrix*
2. *Stepwise*
3. *Langhaar*
4. *Buckingham (Phi Theorem)*
5. Cara *Rayleigh*

MILIK PERPUSTAKAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH – NOPEMBER

Dalam tugas akhir ini digunakan cara Langhaar untuk menentukan bilangan tak berdimensi yang akan digunakan dalam penelitian.

2.2.7.1 Analisis *Non* Dimensi Cara Langhaar

Jika cara/kejadian hidraulik dapat dijelaskan dengan n parameter phi dengan i = 1,2,3,4,5 ... , n dan jika parameter tersebut tersusun oleh elemen pokok, maka produk elemen tak

berdimensi yang dapat diturunkan sejumlah (n-m). Untuk keperluan teknik hidraulik biasanya ada 3 elemen pokok yaitu : massa (M), Panjang (L) dan Waktu (T).

$$\pi_j = P1^{ki} \cdot P2^{k2} \cdot P3^{k3} \ldots Pn^{kn}$$

Jika π_j mempunyai dimensi $M^{\alpha I} L^{\beta I}$ dan $T^{\tau\tau}$ maka dimensi dapat ditulis sebagai berikut :

$$\pi = (M^{\alpha I} L^{\beta I} T^{\tau\tau})^{k1} * (M^{\alpha 2} L^{\beta 2} T^{\tau 2})^{k2} * \ldots * (M^{\alpha n} L^{\beta n} T^{\tau n})^{kn}$$

$$\pi = (M^{(\alpha Ik1 + \alpha 2k2 + \ldots + \alpha nkn)}) * (L^{(\beta Ik1 + \beta 2k2 + \ldots . + \beta nkn)}) * (T^{(\tau 1k1 + \tau 2k2 + \ldots + \tau nkn)})$$

π merupakan bilangan tak berdimensi jika

$(\alpha Ik1 + \alpha 2k2 + \ldots + \alpha nkn) = 0$

$(\beta Ik1 + \beta 2k2 + \ldots + \beta nkn) = 0$

$(\tau 1k1 + \tau 2k2 + \ldots + \tau nkn) = 0$

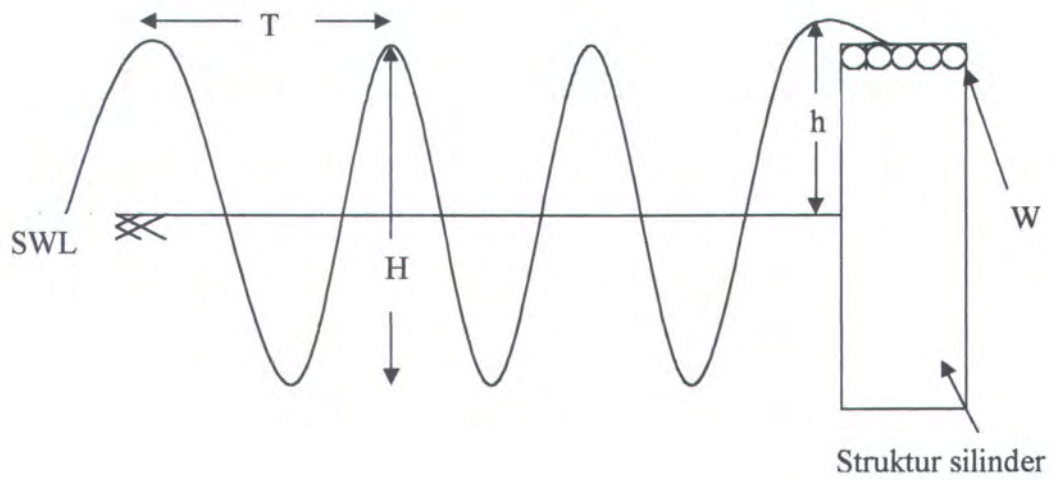
Untuk percobaan stabilitas batu pecah pada permukaan *cellular cofferdam* pada kondisi gelombang *overtopping* ini variabel dan dimensi yang dipakai untuk menentukan bilangan tidak berdimensi *(non dimensional)* ditunjukkan dalam tabel berikut :

Tabel 2.3 Bilangan Tak Berdimensi

Variabel		W	h	T	ρ_s	ρ_w	g	H
Dimensi	L	1	1	0	-3	-3	1	1
	T	-2	0	1	0	0	-2	0
	M	1	0	0	1	1	0	0
		k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7

Untuk variabel yang diubah-ubah adalah (W,H,T,h) :

- W = Berat batuan
- H = Tinggi Gelombang
- T = Periode gelombang
- h = tinggi dari SWL ke puncak struktur yang terkena limpasan gelombang



Gambar 2. 2 struktur model

sehingga nantinya dihasilkan produk sebanyak $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$ yaitu sebagai berikut:

k1 + k2 + -3k4 -3k5 + k6 + k7 = 0

-2k1 + k3 -2k6 = 0

k1 + k4 + k5 = 0

Eliminasi untuk k5, k6, k7 maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

k5 = -k1 – k4

k6 = -k1 + 0,5 k3

k7 = -3k1 – k2 – 0,5 k3

Penentuan bilangan tak berdimensi

Sehingga dihasikkan suatu produk dengan matrik sebagai berikut :

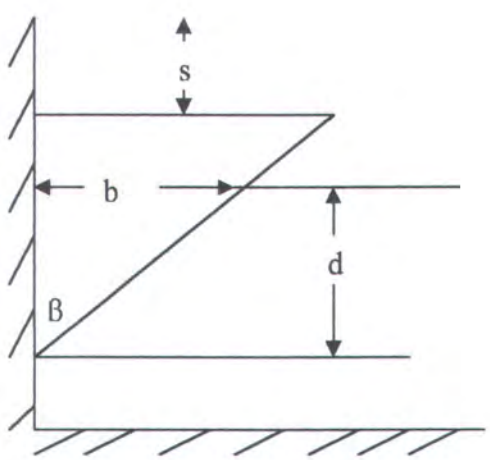
ki	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7
							keterangan
Parameter	W	h	T	ρ_s	ρ_w	g	H
π_1	1	0	0	0	-1	-1	-3
π_2	0	1	0	0	0	0	-1
π_3	0	0	1	0	0	0,5	-0,5
π_4	0	0	0	1	-1	0	0

Sehingga dapat diketahui persamaan bilangan tak berdimensinya sebagai berikut :

$$\pi_1 = \frac{W}{\rho_w g H^3} \qquad \pi_2 = \frac{h}{H} \qquad \pi_3 = \sqrt{\frac{gT^2}{H}} \qquad \pi_4 = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

2.8 Pembangkitan Gelombang Tipe *Plunger*

Labolatorium Lingkungan dan Energi Laut, JTK – FTK ITS menggunakan pembangkit gelombang jenis *Plunger wakemaker* dengan sebuah bentuk baji silang (*cross wedge*). Alat ini dirancang untuk membangkitkan gelombang hanya untuk satu arah. Untuk baji tercelup membuat gerakan vertical kecil dan sudut β, teori *linear* sama dengan pembangkit gelombang tipe piston. Untuk pembangkit vertikal yang luas dan luasan β sebagaimana yang direferensikan oleh Wang (1974). Pembangkit gelombang tipe *plunger* ini menggunakan *conformal transformation*.



Gambar 2.3 Pembangkit Gelombang Tipe *Plunger*

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Studi literatur ini untuk mengetahui lebih banyak tentang struktur pelindung pantai dari batu pecah dan mengetahui periode dan tinggi gelombang efektif yang dapat memindahkan batu pecah akibat limpasan gelombang (*overtopping wave*)

3.2 Analisa Dimensi dan Kesamaan

Skala pemodelan harus ditentukan terlebih dahulu, sebelum kita menentukan bentuk dan dimensi dari struktur yang akan di uji dalam percobaan. Untuk parameter-parameter yang akan diskalakan adalah:

Tabel 3.1 Parameter Skala Model

No	Dimensi	Simbol
1	Skala Panjang horisontal	(N_X)
2	Skala Berat Batu	(N_W)
3	Skala Panjang Vertikal	(N_Z)
4	Skala Diameter Batuan	(N_D)
5	Skala Kedalaman Air	(N_d)
6	Skala Tinggi Gelombang	(N_H)
7	Skala Periode gelombang	$N_t = n_L^{1/2}$)

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

3.3.1 Pemodelan dan Fasilitas Kolam Gelombang

Seluruh kegiatan percobaan pengukuran prosentase kerusakan batu pecah akibat *wave steepness* dilakukan di Laboratorium Rekayasa Dasar Laut dan Bawah Air, Jurusan Teknik Kelautan – FTK, ITS Surabaya. Ukuran dari kolam gelombang yang ada di Laboratorium Rekayasa Dasar Laut dan Bawah Air adalah seperrti pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.2 Dimensi dari *Wave Tank*

Dimensi	Ukuran
Panjang	20, 3 m
Tinggi	2,5 m
Lebar	2,3 m

Material dari *side wall* adalah terbuat *dari toughened glass and mild steel* (SS400) serta *Floor* and *End Wall* terbuat dari *mild steel.* Pembangkit gelombang yang ada adalah tipe *plunger*, sedangkan gelombang yang dibangkitkan dapat berupa gelombang *reguler* ataupun *irreguler*. Tinggi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 0.3 m periode gelombang berkisar 0.5 – 3.0 detik untuk gelombang *reguler.* Adapun untuk gelombang *irreguler* dapat dibuat spektrum gelombang baik itu Jonswap, Pierson-Moskowitz, ISSC, ITTC yang berhubungan dengan *software* yang ada. Adapun fasilitas yang lengkap adalah sebagai berikut :

1. Akuisisi Data

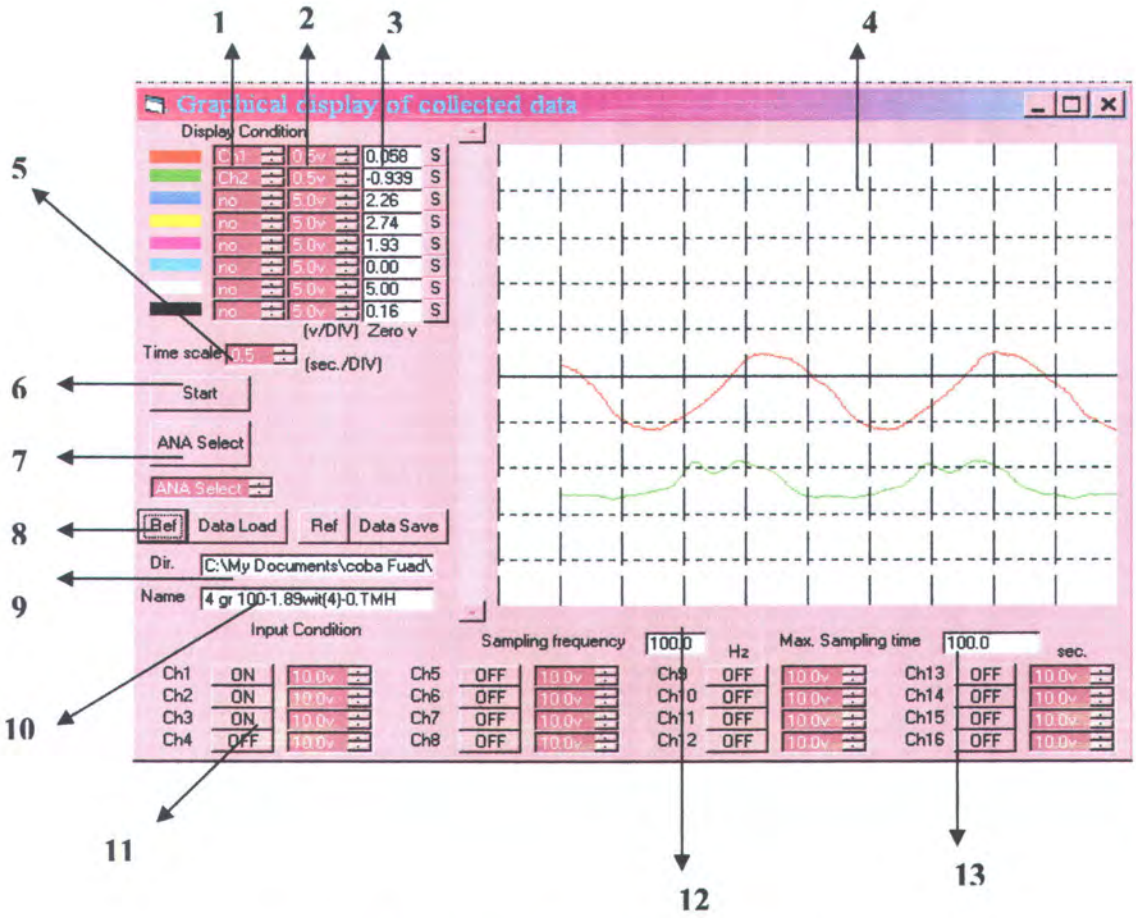
Adapun spesifikasi komputer yang digunakan untuk analisa hasil pengujian sebagai berikut :

- *Type* : *Desk-top Type*
- *CPU* : *Pentium (266MHz)*
- *RAM* : *64 MB*
- *Hard Disk* : *3 GB*
- *CRT* : *14 inch*
- *Expanded Slot* : *two*
- *CD-ROM Drive* : *one*
- *Floppy Disk Drive* : *3.5 inch, 1.4 MB*
- *Other Accessories* : *mouse,keyboard,RS232C interface*
- *System sofware* : *Windows 95, MS-DOS Version 6.2*

Software yang digunakan untuk membangkitkan gelombang dan menganalisa gelombang hasil pengujian telah terintegrasi dalam komputer yang tersedia.

Gambar 3.1 *Wave Tank*

Gambar 3.2 Komputer Kontrol



Gambar 3.3 *Recording* Data ACD Data

Keterangan :

1 : Recording data display channel selection listing box

2 : Recording data display range selection listing box

3 : Recording data display OOFSET input column

4 : Recording data display column

5 : Recording data display time scale selection listing box

6 : Recording data start/stop command button

7 : Data analysis selection command button

8 : Recording data reference LOAD command

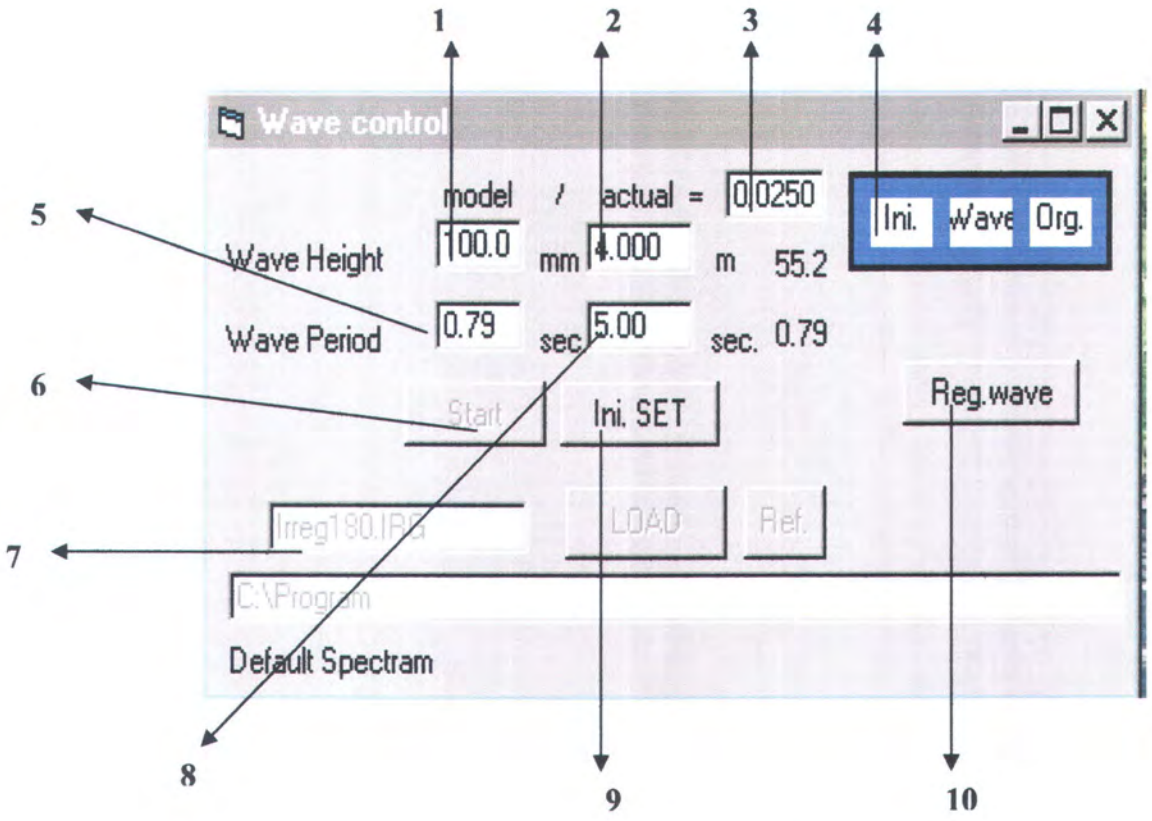
9 : Recording data file directory input column

10 : Recording data file name input column

11 : Recording data ON/OFF command button

12 : Sampling frequency input column

13 : Sampling time input column



Gambar 3.4 *Wave Maker Control Program*

Keterangan :

1 : Setting wave height input column

2 : Actual wave height input column

3 : Model/actual scale input

4 : Wave condition display column

5 : Setting wave priod input column

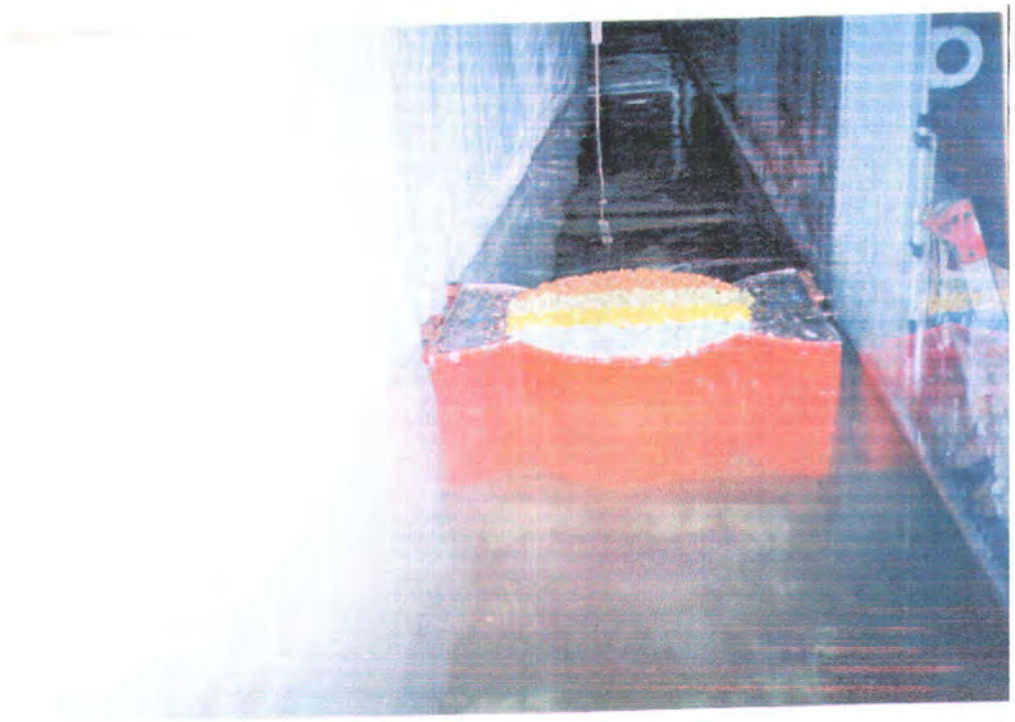
6 : Wave drive start/stop command button

7 : Irreguler wave data file name input column

8 : Actual wave period input column

9 : Initial setting move start command button

10 : Wave mode regular command button



Gambar 3.5 Model siap di uji

2. Pembangkit Gelombang

   Pembangkit gelombang terdiri atas 4 unit pengapung dan penggerak gelombang, sebuah pengontrol tekanan dan sebuah komputer khusus dengan sinyal listrik.

   Masing-masing pengapung digerakkan keatas dan kebawah oleh *actuator*, yang terdiri dari linear *slide assembly* dan AC servo motor. Semua gerakan apung diserentakan, semua penggerak dikontrol dengan komputer listrik.

3. *Wave Absorber*

   Terbuat dari *stainless steel* dan bahan kimia dengan panjang 3 m dengan tipe *fixed beach type.*

4. Penggerak Gelombang
   - *Linier slide assembly*
   - Mesin dengan tipe AC servo motor
   - Rencana kerja
   - Pengontrol
5. Generator angin
6. Generator aliran
7. System akuisisi data

8. ADC *interface*

Laboratorium *Wave Tank* dilengkapi dengan *interface* ADC *(Analog Digital Converter).* Alat berfungsi merubah data *analog* dari *wave probe* menjadi data digital yang di proses dengan menggunakan piranti lunak. Dengan perangkat ini maka dapat di ketahui hasil percobaan secara digital maupun grafik

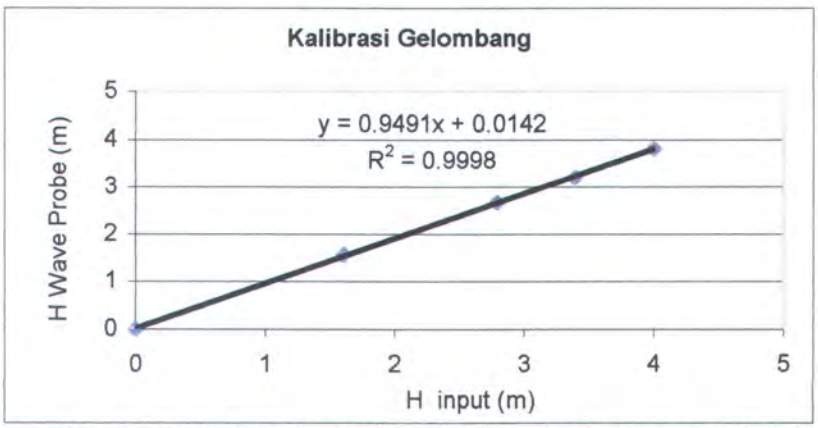
3.3.2 Persiapan dan Bahan Percobaan

- *Setting* Peralatan Percobaan

  Pertama kali yang perlu dilakukan untuk persiapan alat di *wave tank* adalah pengecekan alat yang dibutuhkan dalam percobaan yaitu komputer dan *wave tank* dan persiapan pendukung lainnya seperti pengecekan *wave generator, wave absorber* dan kedalaman air di kolam gelombang. Untuk peralatan yaitu pengaturan jarak dua buah probe yang diletakkan di depan dan di belakang model dengan jarak yang telah ditentukan sekitar 2,5 meter. Alat ukur ini pada umumnya terdiri dari dua bagian yaitu alat sensor dan akuisisi data untuk merekam signal. Disamping itu penyetingan sekat pembatas untuk membatasi lebar kolam dengan lebar sekitar 83 cm.

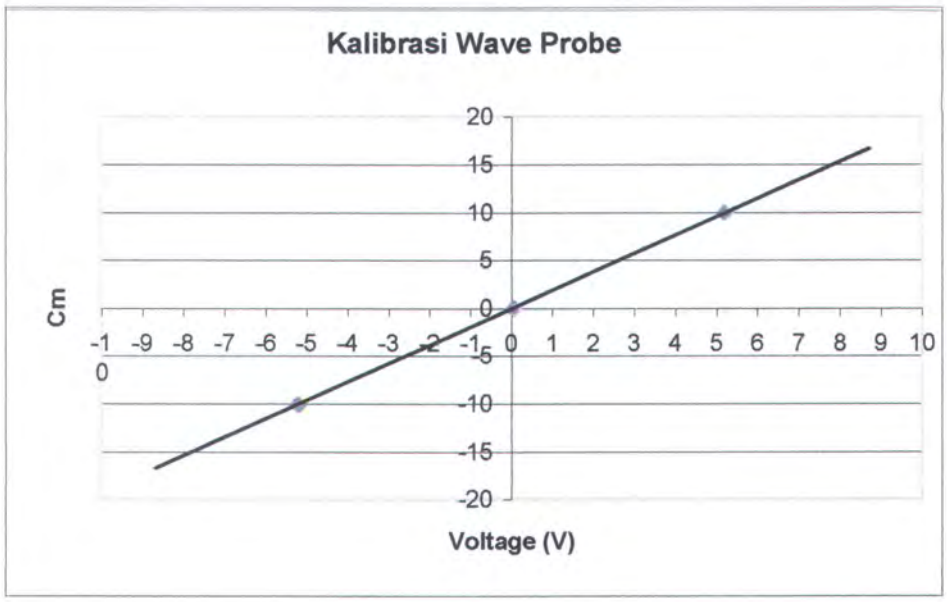
- Kalibrasi

  Kalibrasi yang pertama dengan cara dengan bantuan *matlab software* untuk mengetahui apakah gelombang yang dibangkitkan sama dengan gelombang yang terbentuk oleh mesin pembangkit gelombang. Data yang diperoleh dari grafik η (ETA) digunakan untuk menentukan tinggi gelombang datang yang tercatat pada wave probe. Dari η dengan bantuan Program Wavan sehingga diperoleh grafik seperti gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3.6 Grafik Kalibrasi *Wave Probe* dengan Matlab

Untuk kalibrasi yang kedua yaitu dengan alat ukur gelombang (*wave probe*) yang dilakukan dengan cara mencatat *zero point* dari *wave probe* dan merekam kalibrasinya dengan menaikkan serta menurunkan *wave probe* sejauh 10 cm dari posisi *zero point.* Setelah proses pencatatan kalibrasi selesai, maka *wave probe* harus dikembalikan pada posisi *zero point.* Kalibrasi ini bertujuan untuk mencari hubungan antara perubahan elektrode MTG yang tercelup dalam air dengan perubahan voltase yang tercatat dalam *recorder.* Hasil Kalibrasi ketiga posisi tersebut dapat di grafikkan seperti berikut :



Gambar 3.7 Grafik Hasil Kalibrasi Alat Ukur

Dari grafik kalibrasi *Wave Probe* diatas didapatkan persamaan kalibrasi sebagai berikut $y = 1.9192x - 0.049$.

- Persiapan Material

Pada percobaan *cellular cofferdam* ini dipakai batu pecah dengan berat batu pada model 7,8 gram, 6 gram dan 4 gram dengan toleransi berat sebesar 10 % yaitu batas bawah 5 % dan batas atas 5 %. Penentuan penyekalaan berat batu berdasarkan rumus Hudson ($nW = nH^3$). Variasi batu diberi warna cokelat, hijau, kuning, biru dengan cat yang diusahakan setipis mungkin agar pori-pori batu tidak tertutup untuk menambah stabilitas batu pecah. Disamping itu pada model yang akan diuji, untuk menjaga stabilitas batu pecah sebagai lapisan pelindung

permukaan maka didabawahnya di isi dengan material yang lebih kecil yaitu kerikil dan pasir.

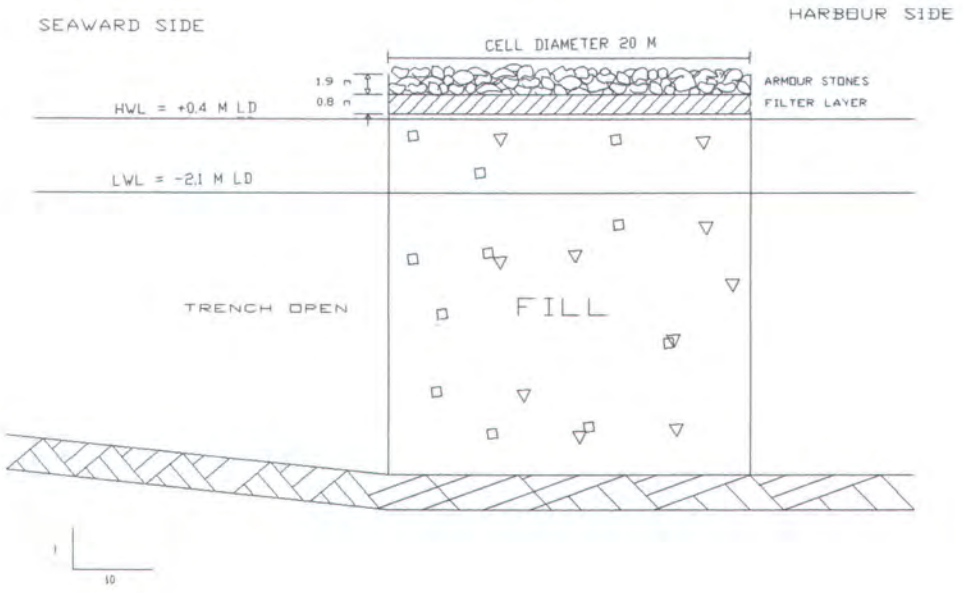
Gambar 3.8 Proses Pengecatan Batu Pecah

3.4 Persiapan Percobaan

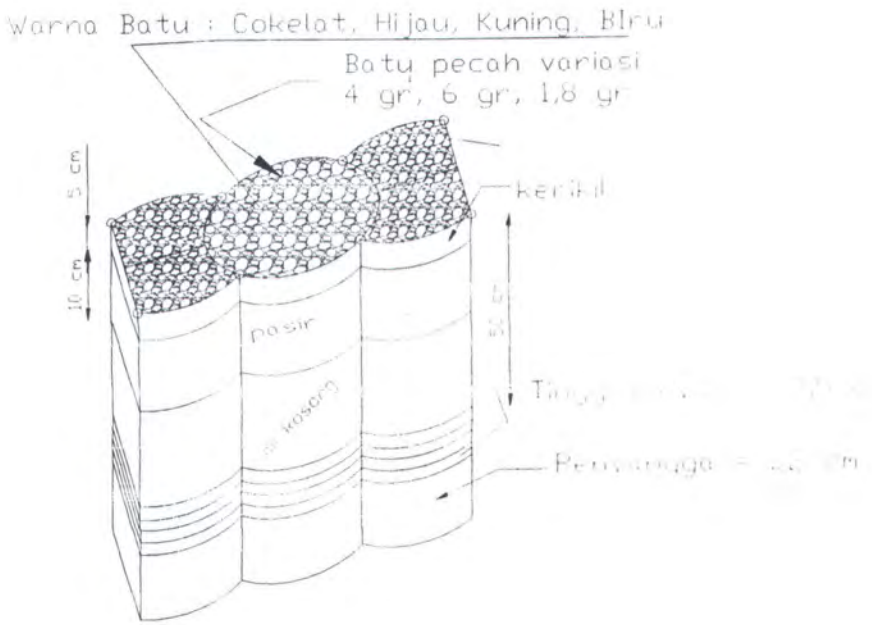
Hal -hal penting yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut :

- Bahan Percobaan
  1. Satu lembar seng (3 mm) sebagai lapisan luar struktur agar struktur *impermeable.*
  2. Gunting seng, Kawat ikat, Lem besi.
  3. Batu pecah, Cat, Pasir.
  4. Kerangka baja tulangan dengan diameter 10 mm (1 batang).
  5. Kerangka baja tulangan dengan diameter 6 mm (1 batang)
- Pembuatan Model *Cellular Cofferdam*
  1. Model terbuat dari kerangka dari bahan baja tulangan dan dan lapisan luarnya dilapisi seng Kerangka dibuat dari bahan baja dengan diameter 10 mm, panjang 50 cm sebanyak 16 buah dengan bentuk lurus, sedangkan untuk bentuk yang melingkar terbuat dari baja dengan diameter 6 mm, panjang 50 cm sebanyak 3 buah.

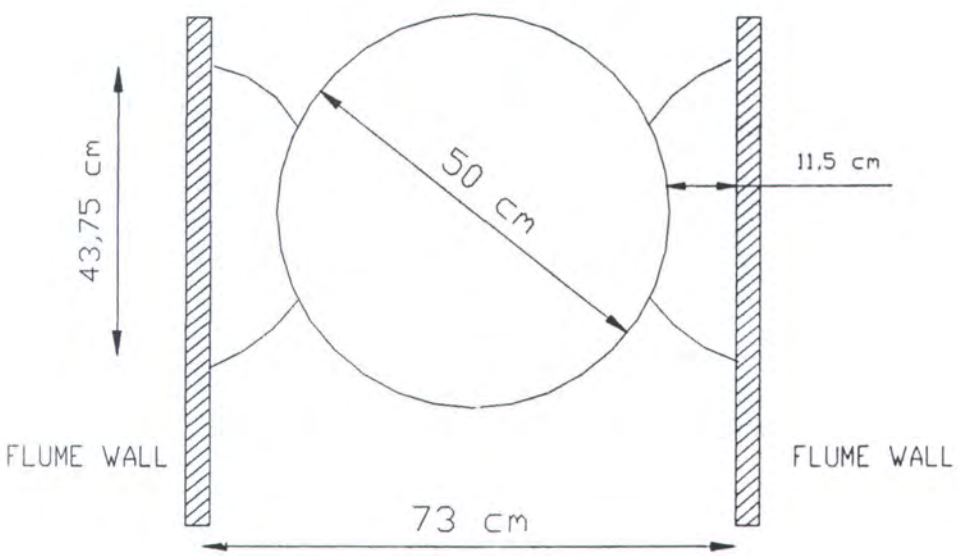
2. Bagian kerangka yang telah dibentuk kemudian saling dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan proses pengelasan SMAW sehingga menjadi kerangka model *Cellular Cofferdam.*
3. Untuk lembaran seng dipotong dan dibentuk sesuai dengan ukuran model *Cellular Cofferdam* yang telah dihitung, lalu seng ditempelkan pada kerangka model dengan bantuan kawat ikat dan lem besi. Hal ini dimaksudkan agar struktur tidak tembus air (*impermeable*).
4. Setelah model selesai dibuat, untuk bagian model diberi *drain* yang mengelilingi bagian atas dari model. Fungsi drain ini adalah untuk menjaga agar air tidak menggenang pada model struktur dan menjaga agar batu pecah tetap dalam kondisi yang kering sehingga dapat diketahui prosentase kegagalan batu pecah.
5. Untuk variasi tinggi model, pada bagian bawah model diberikan tumpuan dari papan kayu yang dilapisi dengan seng. Hal ini untuk menjaga kondisi kedalaman air dalam kondisi konstan.



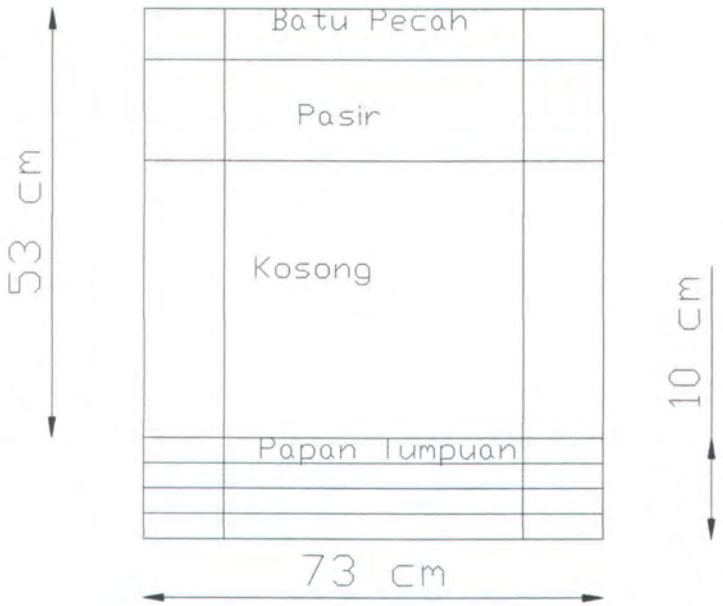
Gambar 3.9 Contoh *Layout Breakwater* yang di uji *di Wave Tank*



Gambar 3.10 Model Percobaan di *Wave Tank*



Gambar 3.11 Model *Cellular Cofferdam* Tampak Atas



Gambar 3.12 Model *Cellular Cofferdam* Tampak Samping

3.5 *Input* Data Tinggi dan Periode Gelombang

Menginput *wave steepness* yang akan dibangkitkan ke dalam komputer setelah di skala 1 : 40.

3.6 *Running* Gelombang

Setelah struktur dan fasilitas pendukung terpasang pada *wave tank* maka dilakukan *running* gelombang dengan jumlah 1000 gelombang pada masing – masing tinggi gelombang dan periode gelombang.

Gambar 3.13 Proses Gelombang *Running* dengan H = 3,82 m dan T = 20 s

3.7 Pencatatan Hasil *Running*

Setelah *running* gelombang selesai, maka dilakukan pengecekan hasil *running* gelombang untuk mengetahui besarnya prosentase kegagalan batu pecah yang berpindah dari masing – masing pias dan yang jatuh ke lantai.

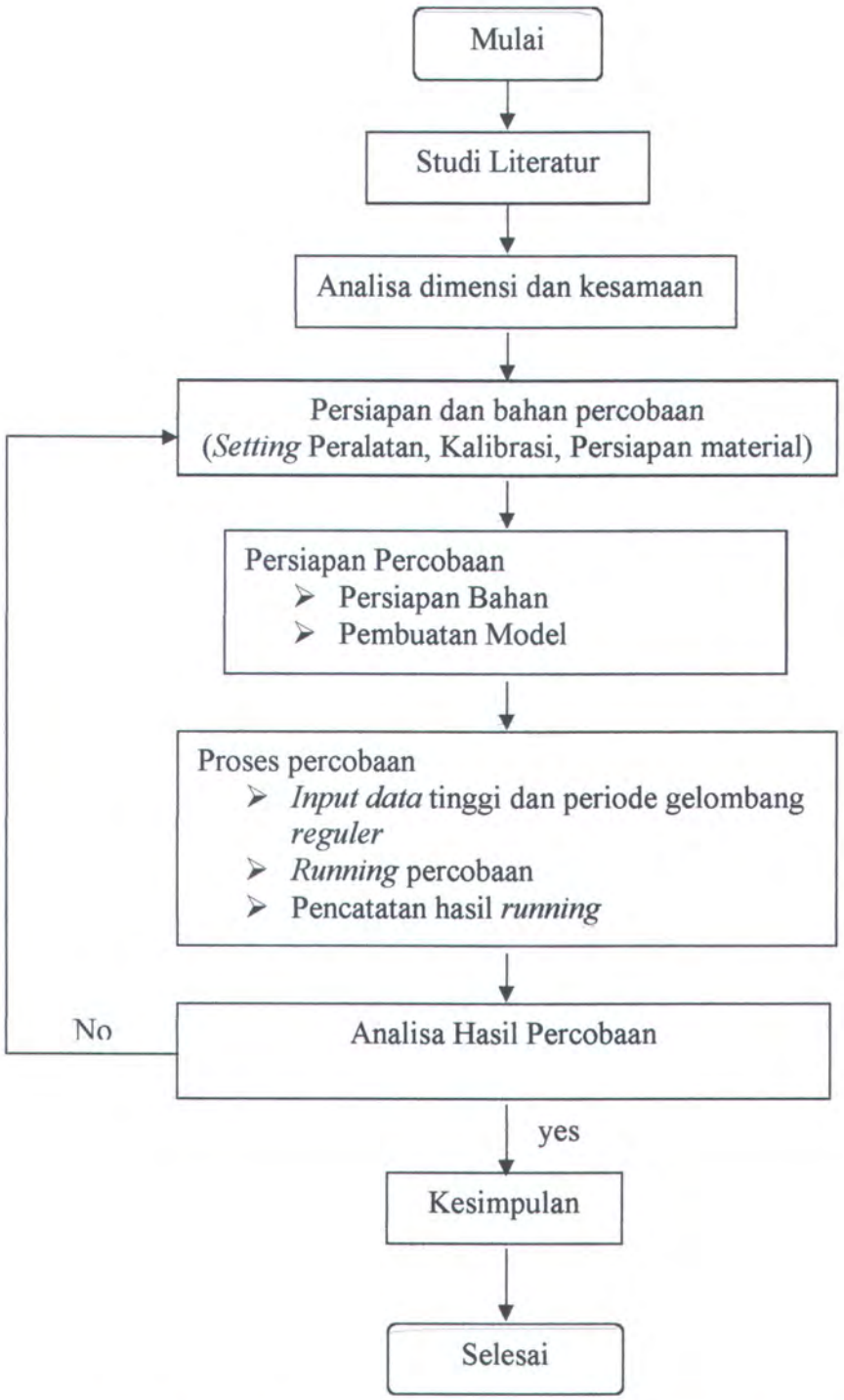
Gambar 3.14 Menghitung Batu yang Mengalami Kegagalan

3.8 Analisa Hasil Percobaan

Menganalisa dalam bentuk grafik hubungan antara berat batu, tinggi gelombang, dan periode gelombang untuk mengetahui besarnya prosentase kegagalan batu pecah berpindah yang disebabkan oleh *overtopping wave* akibat pengaruh *wave steepness*

3.9 Kesimpulan

Dari hasil analisa kerusakan batu pecah dengan berbagai variabel seperti tinggi gelombang, periode gelombang, berat batu dan elevasi maka dapat di tarik kesimpulan untuk berat yang paling sesuai.



Gambar 3.15 Diagram Alir Percobaan Fisik *Cellular Cofferdam*

BAB IV
ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Gelombang pada *Wave Tank*

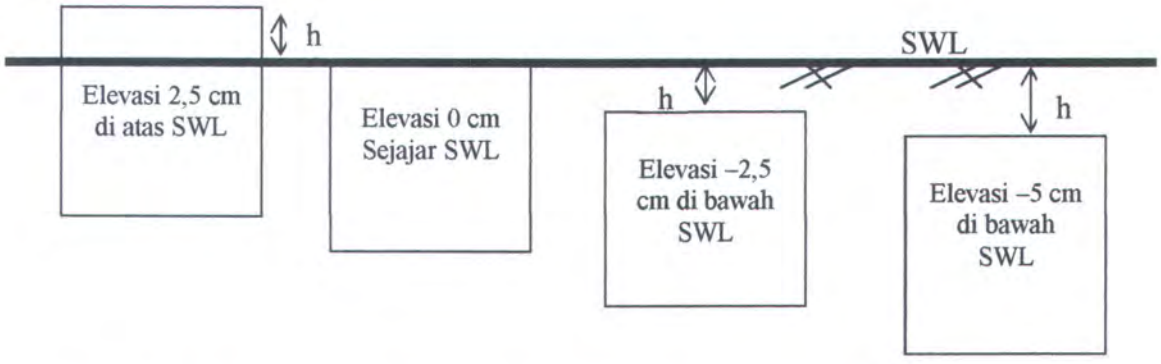
Pada percobaan *cellular cofferdam breakwater type,* dimana untuk mengetahui besarnya stabilitas batu pecah akibat pengaruh *wave steepness* dengan data gelombang sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data prototipe

Variasi Tinggi Gelombang (H)	Variasi Periode Gelombang (T)	Variasi Berat Batu (W)	Variasi Tinggi Elevasi (h)
3,82 meter	20 detik	500 kg	1 m di atas SWL
3,21 meter	15 detik	384 kg	0 m pada SWL
2,68 meter	12 detik	256 kg	-1 m di bawah SWL
			-2 m di bawah SWL

Tabel 4.2 Data Model Percobaan dengan Skala 1 : 40

Variasi Tinggi Gelombang (H)	Variasi Periode Gelombang (T)	Variasi Berat Batu (W)	Variasi Tinggi Elevasi (h)
10 centimeter	3,2 detik	7,8 gram	2,5 cm diatas SWL
8,5 centimeter	2,37 detik	6 gram	0 cm pada SWL
7 centimeter	1,89 detik	4 gram	-2,5 cm di bawah SWL
			-5 cm dibawah SWL



Gambar 4.1 Penenpatan Struktur *Cellular Cofferdam* pada tiap-tiap Elevasi pada Data Model

4.1.1 Pengukuran besarnya stabilitas batu pecah

Proses penentuan ukuran batu pecah yang akan digunakan sebagai material percobaan di *wave tank* adalah dengan cara pemilihan ukuran yang seragam baik itu bentuk, berat, tingkat pori – pori, ketajaman batu, kekasaran batu yang mana batu ditimbang dengan berat yang sama dengan tiga variasi. Variasi ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya stabilitas akibat pengaruh *wave steepness* akibat limpasan gelombang. Setiap kali selesai *running* diganti dengan batu dengan berat yang berbeda dimana penempatan batu sebagai material isi struktur dibuat saling mengunci *(interlocking)* satu sama lain sehingga dapat melindungi material di bawahnya dari serangan gelombang secara langsung.

Besarnya pengaruh *wave steepness* pada stabilitas batu pecah pada *cellular cofferdam* yang dilakukan dengan percobaan di *wave tank* dengan menggunakan *wave maker* yang merupakan *sinusoidal wave* ini dapat digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara *wave steepness*, berat batu dengan prosentase kegagalan batu pecah baik dalam bentuk dimensional maupun *non dimensional.* Analisa *non dimensional* yang digunakan adalah cara langhaar dengan bilangan tak berdimensinya sebagai berikut :

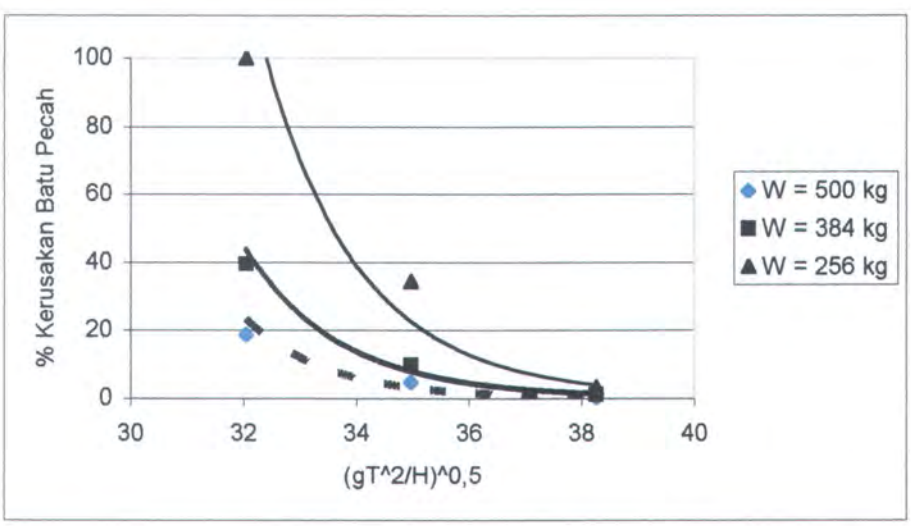
$$\pi_1 = \frac{W}{\rho_w g H^3} \qquad \pi_2 = \frac{h}{H} \qquad \pi_3 = \sqrt{\frac{g T^2}{H}} \qquad \pi_4 = \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

4.2 PEMBAHASAN

Pada percobaan model fisik untuk *cellular cofferdam* ini menghasilkan banyak kegagalan batu pecah akibat pengaruh *wave steepness*. Di sini akan dibahas tentang hubungan antara pengaruh *wave steepness* dengan kerusakan batu dalam bentuk grafik .

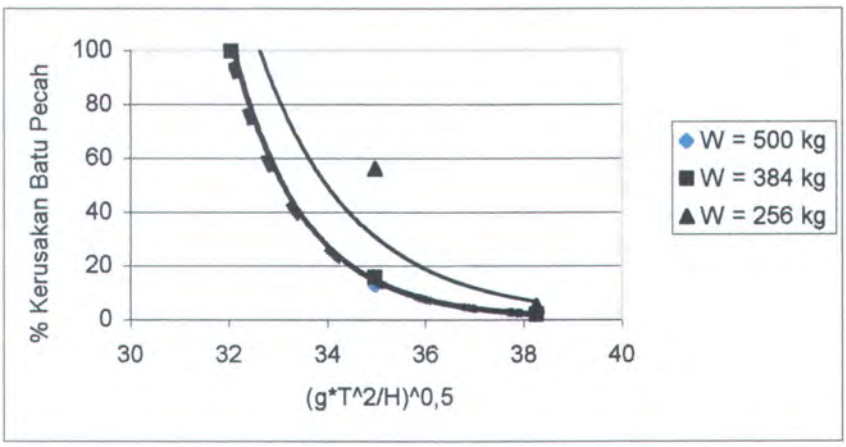
4.2.1 Hubungan Prosentase Kerusakan Batu Pecah dan *Wave Steepness*

Hubungan antara *wave steepness* dengan prosentase kegagalan batu ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pengaruh periode dan tinggi gelombang ampu mempengaruhi stabilitas batu pecah pada struktur *cellular cofferdam*. Di bawah ini grafik hubungan antara % kerusakan batu pecah dan $(gT^2/H)^{0,5}$ yang diperoleh dari data percobaan di *wave Tank*.

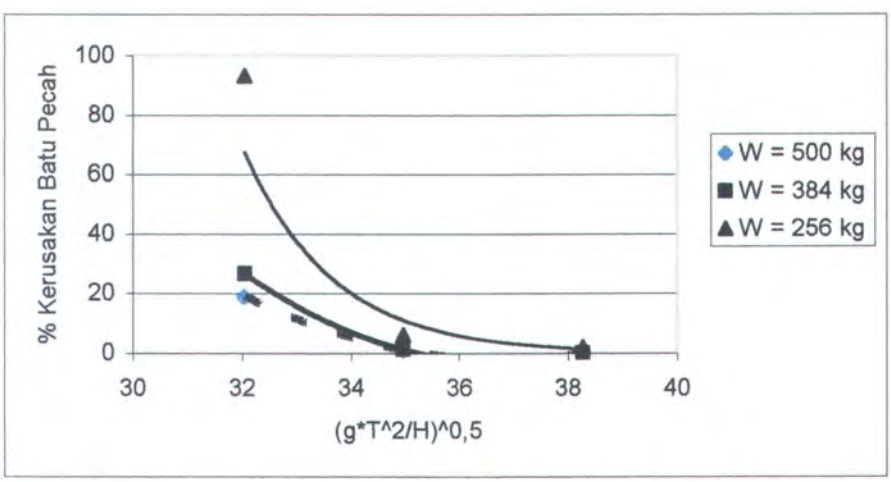


Gambar. 4.2 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada Elevasi 1 m di atas SWL

Dari gambar 4.2 dapat diketahui bahwa semakin curam gelombang untuk variasi tinggi gelombang maka *wave steepness* akan semakin kecil dan kerusakannya akan semakin besar pula dan sebaliknya. Kerusakan batu pecah terbesar terjadi pada elevasi 0 m pada SWL dan semakin menurun kerusakannya pada elevasi 1 m di atas SWL, -1 m dan -2 m di bawah SWL. Untuk berat batu 500 kg pada grafik di atas batu cukup stabil dipakai sebagai material pengisi *cellular cofferdam* karena kerusakan di bawah 20 % (Jackson,1968).



Gambar. 4.3 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada Elevasi 0 m pada SWL



Gambar. 4.4 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada Elevasi -1 m di bawah SWL

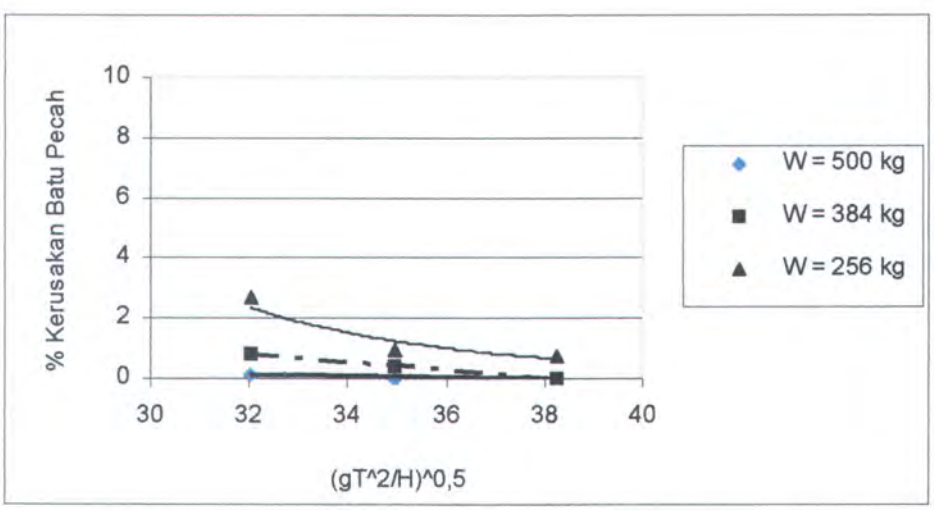
Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa prosentase kerusakan batu pecah maksimum yang diakibatkan oleh pengaruh *wave steepness* adalah seperti tabel di bawah ini :

Tabel 4.3 Pengaruh *wave steepness* terhadap stabilitas batu pecah

$Wave\ Steepness = \sqrt{\frac{gT^2}{H}}$	Prosentase Kerusakan Batu
Elevasi 0 meter	Paling besar kerusakan batu pecahnya
Elevasi 1 meter	Lebih kecil dari Elevasi 0 m
Elevasi -1 meter	Lebih kecil dari Elevasi 1 m

Hal ini sesuai dengan persamaan berat batu Hudson (1953), yang menyatakan bahwa besarnya stabilitas batu sebanding dengan besarnya tinggi gelombang. Disamping itu teori gelombang menyatakan bahwa semakin besar panjang gelombang energinyapun semakin besar $\left[E = \frac{\rho\ g H^2 L}{8}\right]$ dimana L = 1,56 T^2. Dari persamaan tersebut dapat dinyatakan bahwa untuk tinggi gelombang yang sama dan periode yang makin besar, maka panjang gelombang yang dihasilkan juga besar dan energinyapun juga besar sehingga prosentase kegagalan batu pecah semakin meningkat.

Jensen, 1999 juga menyebutkan dengan tes uji cobanya bahwa semakin besar tinggi gelombang prosentase kerusakan batu juga semakin besar. Dari grafik terlihat pada elevasi –1 m di bawah SWL untuk berat batu di bawah 384 kg prosentase kegagalan batu di bawah 20 % atau tidak mengalami *failure damage* (Jackson, 1968). Pengaruh *wave steepness* di atas disebabkan oleh pengaruh gaya angkat ke atas *(up lift force)*, gaya geser *(shear force)* dan turbulensi.. Besarnya distribusi energi gelombang maksimum pada laut dalam terjadi pada keadaan sejajar dengan SWL *(sea water level)* dan semakin mengalami penurunan pada elevasi dibawah SWL sampai pada L/2 (Triatmodjo, 1999).



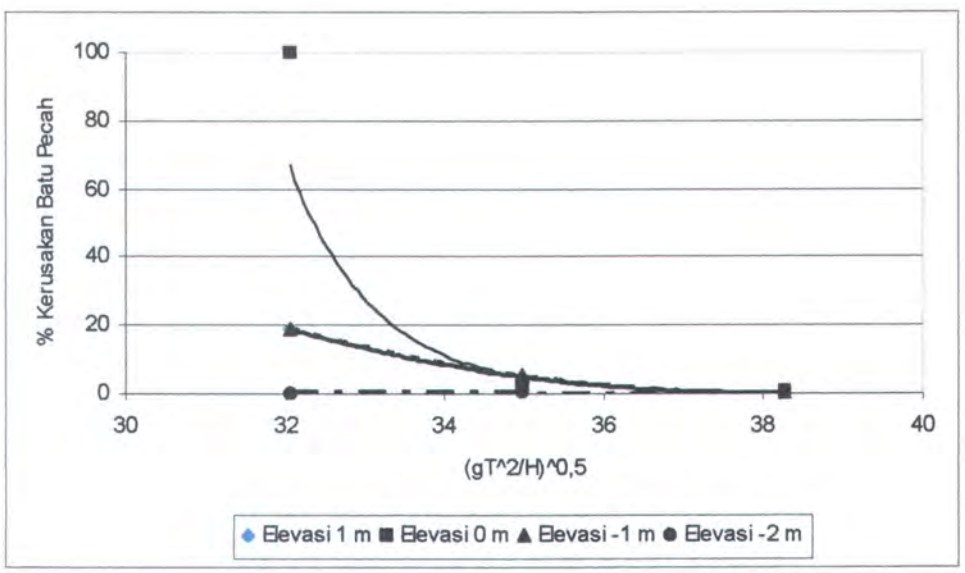
Gambar. 4.5 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada Elevasi -2 m di bawah SWL

MILIK PERPUSTAKAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH - NOPEMBER

Dari grafik di atas yaitu pada elevasi –2 m di bawah SWL terjadi distribusi energi gelombang yang mencapai titik minimum di mana gelombang datang tidak menghantam

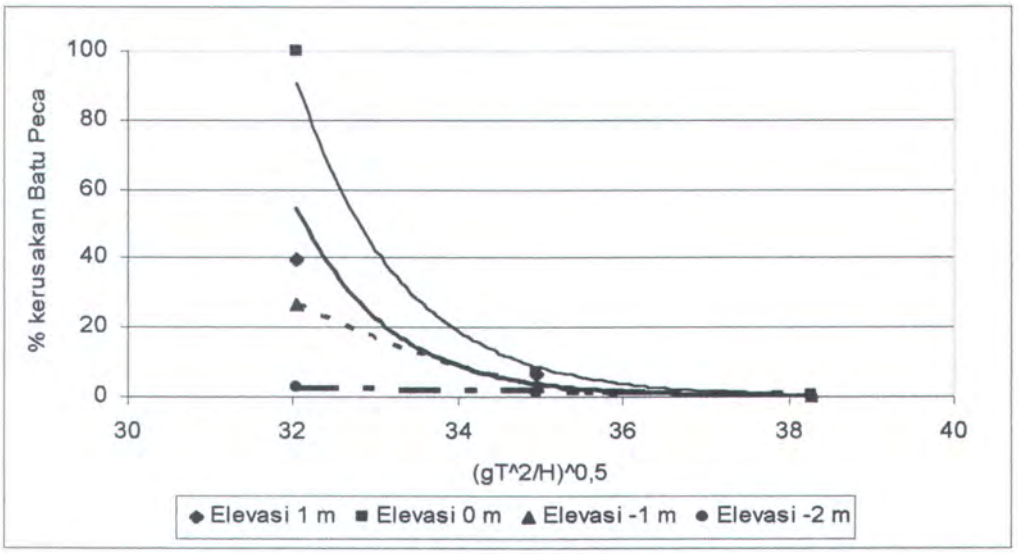
permukaan batu pecah dan hanya melewati bagian atasnya saja sehingga kerusakan yang kecil kemungkinan hanya di sebabkan oleh turbulensi gelombang yang melewatinya.

4.2.2 Hubungan Prosentase Kerusakan Batu Pecah dan *Wave Steepness* tiap tiap Elevasi

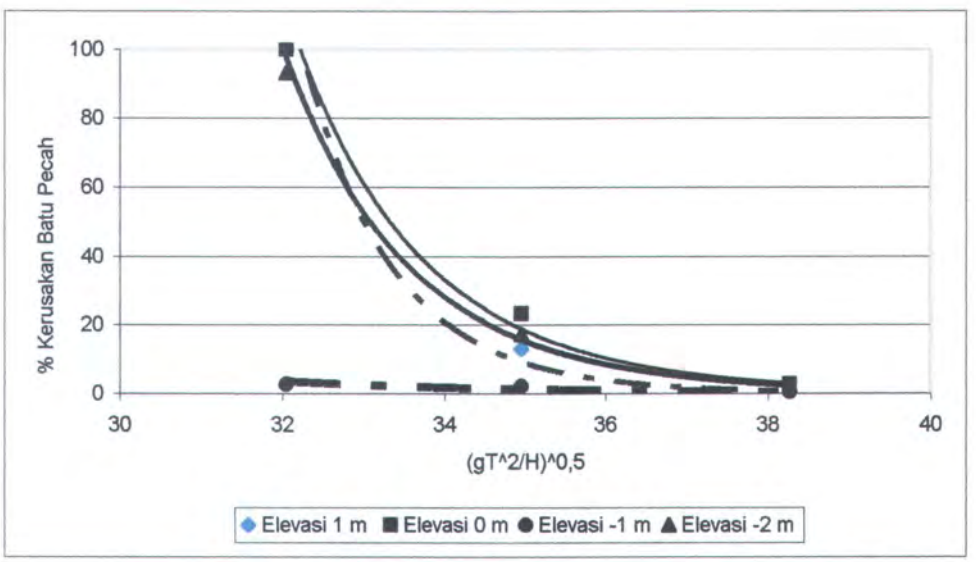


Gambar. 4.6 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 500 Kg

Dari gambar 4.6 untuk berat batu 500 kg, kerusakan batu pecah terbesar terjadi pada elevasi 0 m pada SWL, karena pada kondisi ini gelombang *overtopping* secara langsung menghantam permukaan batu pecah dan energi yang diakibatkan pengaruh *wave steepness* meningkat secara eksponensial. Dan mengalami penurunan pada elevasi 1 m di atas SWL, tetapi kerusakan batu pecah masih di bawah 20 % atau belum termasuk dalam kategori *damage failure* (Jackson, 1968). Sedangkan pada elevasi -2 m di bawah SWL kerusakan sangat kecil, hal ini pengaruh *wave steepness* dari gelombang *overtopping* tidak sampai menghantam permukaan batu pecah. Ini karena distribusi gelombang terbesar ada pada elevasi 0 m pada SWL dan mengalami titik penurunan sampai titik minimum L/2 (Triadmodjo, 1999). Jadi selain elevasi 0 m pada SWL, bangunan struktur pantai dengan tipe *cellular cofferdam,* material batu pecah masih cukup aman di pakai untuk struktur pelindung pantai dari serangan gelombang *overtopping.* Kerusakan batu pecah akan mengalami kerusakan dengan semakin meningkatnya tinggi gelombang (Jensen, 1999).



Gambar. 4.7 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 384 Kg

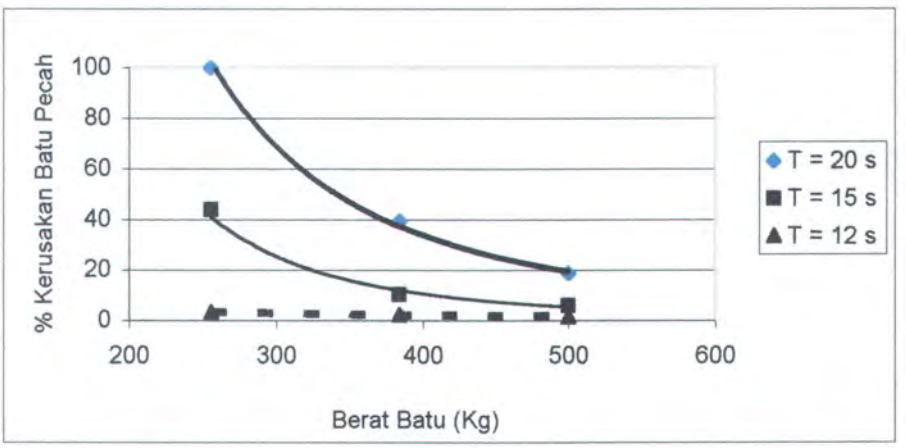


Gambar. 4.8 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 256 Kg

Seperti pada berat batu 500 kg, untuk berat batu 384 kg dan 256 kg juga dapat dinyatakan bahwa pengaruh elevasi terbesar pada elevasi 0 m pada SWL tetapi pada berat batu 256 kg kurva sangat curam dibandingkan pada berat batu 384 kg. Tetapi pada elevasi di sini cukup kritis material batu dipakai untuk peredam energi gelombang karena kerusakan pada tiap – tiap elevasi cukup besar, seperti yang terlihat pada W = 256 kg pada elevasi -1 m di bawah SWL, kerusakan 20 % terjadi pada *wave steepness* 34.

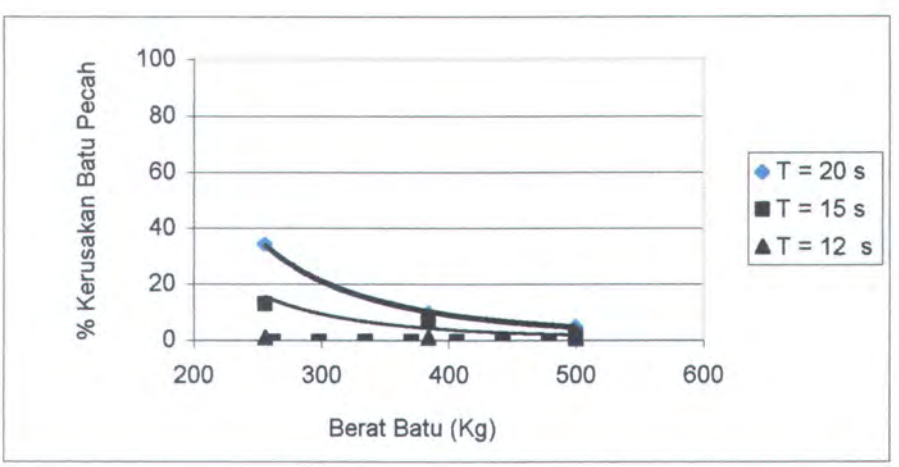
4.2.3 Hubungan Prosentase Kerusakan Batu Pecah dengan Berat Batu masing-masing Periode Gelombang.

Di bawah ini grafik hubungan antara berat batu pecah dengan prosentase kerusakan batu pecah yaitu sebagai berikut :

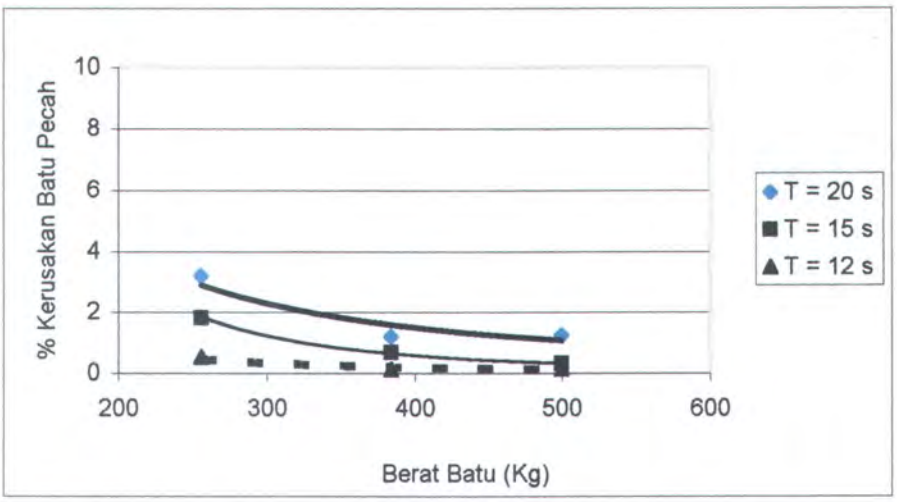


Gambar. 4.9 Grafik Hubungan berat batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,82 m dan Elevasi 1 m di atas SWL

Dari gambar 4.9 dapat diketahui bahwa semakin curam gelombang dengan semakin meningkatnya periode maka kerusakan batu pecah akan semakin besar. Hal ini dapat dilihat pada berat batu 256 kg dan sebaliknya. Untuk berat batu yang besar maka gelombang akan semakin landai dengan kerusakan batu pecah kecil. Untuk kerusakan batu di bawah 20 % kerusakan pada periode gelombang 15 detik dan tinggi gelombang 3,82 m terjadi pada berat batu 325 kg. Kondisi yang sama juga terjadi pada tinggi gelombang 3,21 m dan 2,68 m



Gambar. 4.10 Grafik Hubungan berat batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,21 m dan Elevasi 1 m di atas SWL



Gambar. 4.11 Grafik Hubungan berat batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 2,68 m dan Elevasi 1 m di atas SWL

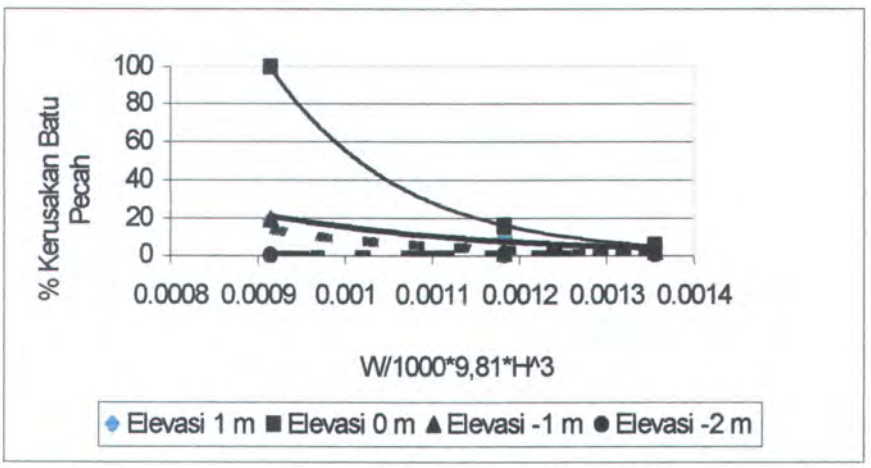
Secara umum untuk keseluruan elevasi yang dapat dilihat pada lampiran 2, dapat di ketahui prosentase kerusakan batu pecah seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.4 Pengaruh berat batu pada stabilitas batu pecah

Variasi Elevasi Tinggi 1 m; 0 m; -1 m; -2 m	Prosentase Kegagalan Batu Pecah
• T = 20 s H = 3,82 m	Untuk berat batu yang bervariasi umumnya prosentase kerusakan batu diatas 20 % baik itu pada elevasi 1 m; 0 m; -1 m kecuali pada elevasi –2 m.
• T = 15 s H = 3,21 m	Untuk berat batu yang bervariasi umumnya prosentase kerusakan batu pecah antara 6 % sampai 20 % kecuali pada pada berat batu di bawah 310 kg dan pada elevasi –2 m dibawah 2 %
• T = 12 s H = 2,68 m	Secara umum prosentase kegagalan batu pecah adalah di bawah 5 % baik itu pada variasi elevasi maupun berat batu

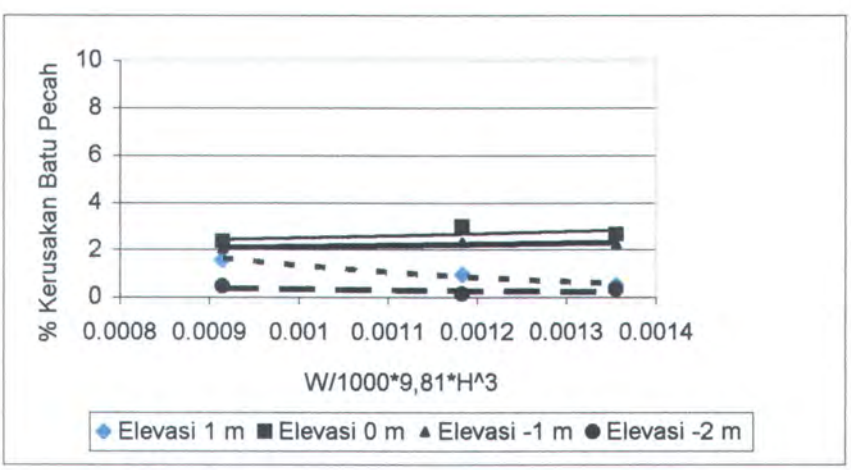
Dan juga dapat diketahui bahwa stabilitas batu pecah secara umum dipengaruhi oleh periode gelombang dimana semakin besar periode gelombang maka semakin besar pula kerusakan batu pecah. Jadi Secara umum semakin berat batu pada *wave steepness* yang semakin besar maka prosentase kegagalan batu pecah semakin kecil dan sebaliknya. Maka di sini kita tinjau secara umum prosentase kerusakan batu pecah dari segi *wave steepness* pada elevasi keseluruan.

4.2.4 Hubungan Prosentase Kerusakan Batu dengan Stabilitas Batu tiap -tiap Elevasi



Gambar. 4.12 Grafik Hubungan Stabilitas Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada T = 20 s

Dari gambar 4.12 di atas dapat diketahui bahwa semakin besar tinggi gelombang semakin kecil stabilitas batunya dengan gelombang yang semakin curam hal ini dapat dilihat pada elevasi 1 m di atas SWL, -1 m dan -2 m di bawah SWL dimana prosentase kerusakan batu pecah di bawah 20 %. Sedangkan pada elevasi 0 m pada SWL terjadi kegagalan batu terutama untuk stabilitas 0,00116 dimana prosentase kerusakannya di atas 20 %, hal ini batu mengalami *failure damage*.(Jackson,1968). Hal ini karena energi gelombang yang mengenai permukaan batu pecah pada elevasi 0 m pada SWL sangat besar (Triatmodjo, 1999).



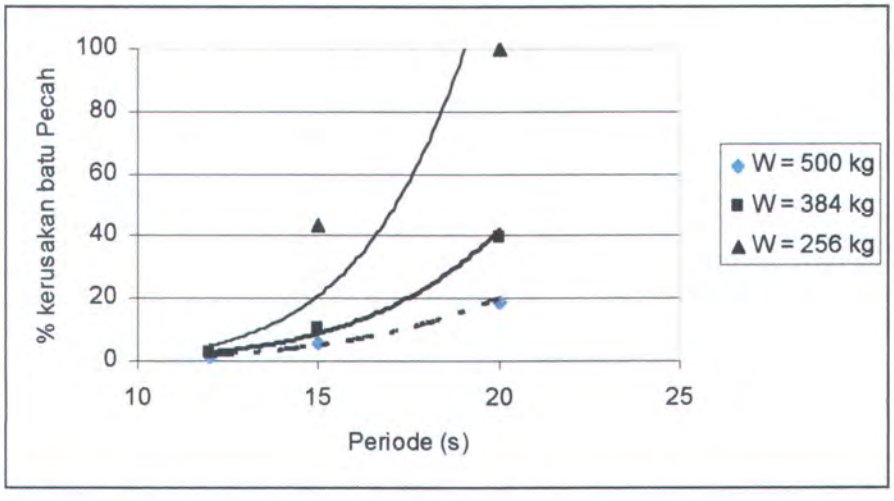
Gambar. 4.13 Grafik Hubungan Stabilitas Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada T = 12 s

Dari gambar 4.13 dapat diketahui bahwa stabilitas dengan periode 12 detik kerusakan batu pecah kecil untuk keseluruan elevasi dimana prosentase kerusakan batu di bawah 10 %

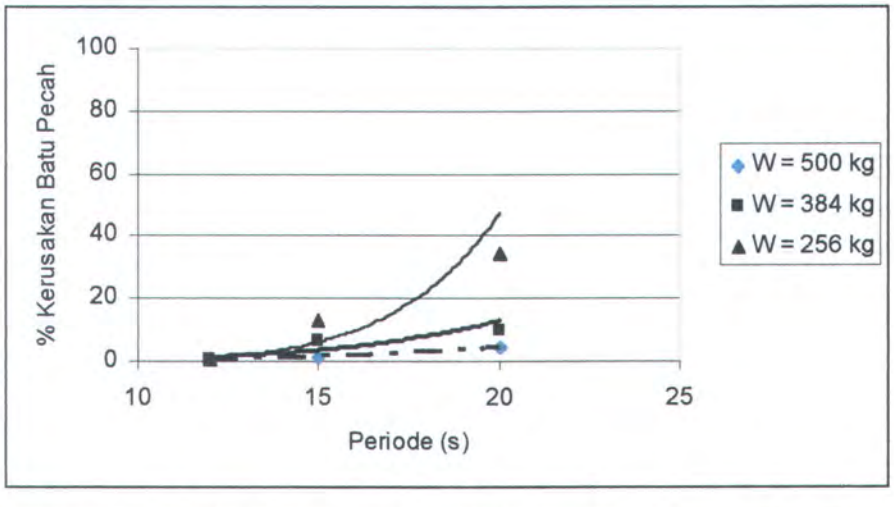
atau masuk kategori *initial damage* (Jackson, 1968). Energi pada periode 12 detik di sini sangat kecil sehingga dapat dikatakan bahwa semakin besar periode stabilitas batu juga semakin kecil. Tetapi pada periode ini material batu pada *cellular cofferdam* untuk melindungi pantai dari serangan gelombang *overtopping* cukup aman di gunakan.

4.2.5 Hubungan Prosentase Kerusakan Batu Pecahdengan Periode pada Variasi Berat

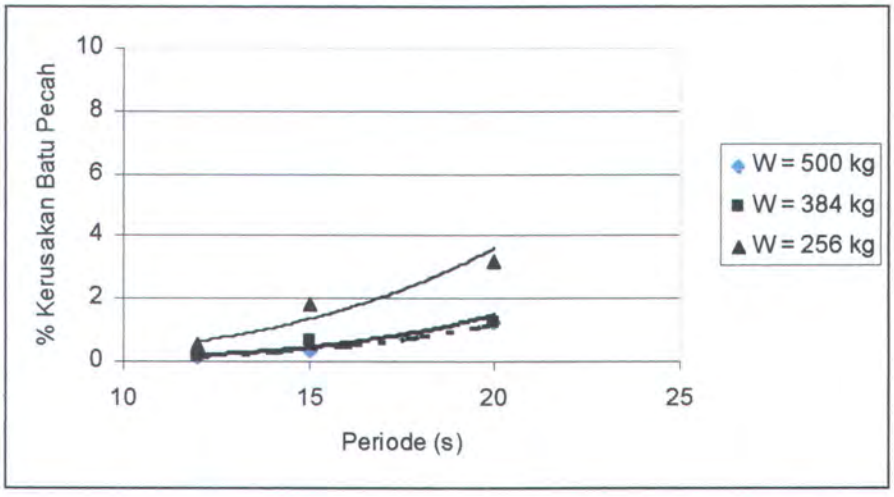
Di bawah ini grafik hubungan antara prosentase kerusakan batu pecah dengan periode yaitu sebagai berikut :



Gambar. 4.14 Grafik Hubungan berat batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,82 m dan Elevasi 1 m di atas SWL



Gambar. 4.15 Grafik Hubungan berat batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,21 m dan Elevasi 1 m di atas SWL



Gambar. 4.16 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 2,68 m dan Elevasi 1 m di atas SWL

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa periode akan meningkatkan prosentase kerusakan batu pecah, dimana pada tinggi H = 3,82 m merupakan kerusakan batu terbesar. Dan batu dengan berat 500 kg masih dapat digunakan sebagai material isi *cellular cofferdam* karena kerusakannya masih di bawah 20 % (Jackson 1968). Sedangkan tinggi di bawahnya cukup stabil kecuali pada berat batu 256 kg pada tinggi 3,21 m dimana kerusakan batu di bawah 20 % terjadi pada periode 17,7 detik ke bawah.

4.2.6 Pengaruh Prosentase Kerusakan Batu Pecah Secara Ekonomis Batu Pecah Digunakan Sebagai Material Isi Pemecah Gelombang Tipe *Cellular Cofferdam*

Jackson, 1968 membagi kerusakan batu dalam tiga kategori berdasarkan besarnya prosentase kerusakannya yaitu sebagai berikut :

1. *Initial Damage* dimana kerusakan batu antara 0 – 5 %
2. *Intermediate Damage* dimana kerusakan batu antara 5 – 10 %
3. *Failure Damage* dimana kerusakan batu di atas 20 %

Di bawah ini tabel prosentase kerusakan batu pecah berdasarkan kategori kerusakannya seperti yang dinyatakan Jackson, 1968.

Tabel 4.5 Prosentase Kegagalan Batu Pecah 0 – 5 % pada W = 500 Kg

H (m)	T (s)	Prosentase Kerusakan Batu Pecah			
		1 m	0 m	-1 m	-2 m
3,82	20				0.16
	15				2.03
	12	1.56	2.34	2.03	0.47
3,21	20	4.84		1.09	0.00
	15	1.41	2.19		0.63
	12	0.78	1.88	0.31	0.16
2,68	20	1.25	2.03	0.00	0.00
	15	0.31	1.88	0.31	0.00
	12	0.16	0.47	0.00	0.00

Tabel 4.6 Prosentase Kegagalan Batu Pecah 0 – 5 % pada W = 384 kg

H (m)	T (s)	Prosentase Kerusakan Batu Pecah			
		1 m	0 m	-1 m	-2 m
3,82	20				0.81
	15				3.92
	12	2.43	3.24	2.57	0.68
3,21	20			1.22	0.41
	15			3.51	0.68
	12	0.95	2.97	2.30	0.14
2,68	20	1.22	1.89	0.00	0.00
	15	0.68	1.49	2.57	0.00
	12	0.14	0.68	0.00	0.00

Tabel 4.7 Prosentase Kegagalan Batu Pecah 0 – 5 % pada W = 256 Kg

H (m)	T (s)	Prosentase Kerusakan Batu Pecah			
		1 m	0 m	-1 m	-2 m
3,82	20				2.66
	15				
	12	3.30	4.36		1.60
3,21	20				0.96
	15				2.02
	12	0.85	3.19	4.68	0.74
2,68	20	3.19	5.00	1.91	0.74
	15	1.81	2.87	4.57	0.43
	12	0.53	2.66	2.23	0.32

Pada tabel 4.5 – 4.7 di atas kerusakan batu pecah termasuk pada kategori kerusakan awal *(initial damage)* dimana besarnya kerusakan batu pecah adalah 0 – 5 %. Pada kondisi ini terjadi gerakan batu pada bagian lapisan permukaan tetapi tidak sampai mengenai lapisan

terkeras dibawahnya sehingga dapat di katakan batu stabil dan secara ekonomis dapat di gunakan untuk berat batu di bawah 500 kg.

Tabel 4.8 Prosentase Kerusakan Batu Pecah 5 – 10 %

Berat Batu	H - T	Elevasi	% damage
500 kg	3,82 m - 15 s	1	5.94
	3,82 m - 15 s	0	6.41
	3,21 m - 15 s	-1	5.31
384 kg	3,21 m - 20 s	1	9.73
	3,21 m - 15 s	1	6.76
	3,21 m - 15 s	0	7.30
256 kg	3,21 m - 20 s	-1	6.06
	2,68 m - 20 s	0	5.00

Pada tabel 4.8 di atas, kerusakan batu termasuk kategori kerusakan menengah *(intermediate damage)* dimana besarnya kerusakan batu pecah 5 – 10. pada kondisi ini terjadi gerakan batu pada bagian lapisan permukaan tetapi tidak sampai mengenai lapisan terkeras di bawahnya sehingga dapat di katakan batu stabil dan secara ekonomis dapat di gunakan untuk berat batu di bawah 500 kg

Tabel 4.9 Prosentase Kerusakan Batu Pecah 10 – 20 %

Berat Batu	H - T	Elevasi	% damage
500 kg	3,82 m - 20 s	1	18.75
	3,82 m - 20 s	-1	19.06
	3,21 m - 20 s	-1	12.97
384 kg	3,82 m - 15 s	1	10.14
	3,21 m - 20 s	0	15.68
256 kg	3,82 m - 20 s	-1	18.62
	3,21 m - 15 s	1	12.98
	3,21 m - 15 s	-1	17.13

Pada tabel 4.9 di atas, kerusakan batu termasuk kategori kerusakan kritis *(critical damage)* dimana prosentase kegagalannya 5 – 10 %. Pada ketegori ini terjadi gerakan batu pada bagian lapisan permukaan tetapi tidak sampai mengenai lapisan terkeras di bawahnya sehingga dapat di katakan batu stabil dan secara ekonomis dapat di gunakan untuk berat batu di bawah 500 kg

Tabel 4.10 Prosentase Kerusakan Batu Pecah di atas 20 %

Berat Batu	H - T	Elevasi	% damage
500 kg	3,82 m - 20 s	0	100.00
	3,82 m - 15 s	-1	94.38
384 kg	3,82 m - 20 s	1	39.46
	3,82 m - 20 s	0	100.00
	3,82 m - 20 s	-1	26.62
	3,21m - 15 s	0	29.46
	3,21m - 15 s	-1	98.65
256 kg	3,82 m - 20 s	1	100.00
	3,82 m - 20 s	0	100.00
	3,82 m - 20 s	-1	93.19
	3,82 m - 15 s	1	43.83
	3,82 m - 15 s	0	46.06
	3,82 m - 15 s	-1	100.00
	3,82 m - 15 s	-2	88.51
	3,21 m - 20 s	1	34.36
	3,21 m - 20 s	0	56.06

Pada tabel 4.10 di atas, dapat di ketahui bahwa kerusakan batu pecah termasuk pada kategori kerusakan total *(failure damage)*. Pada kondisi ini material batu mengalami kerusakan di atas 20 % dimana pada kategori ini serangan gelombang secara langsung dapat menghantam lapisan pelindung/*filter layer* ataupun dapat menghantam lapisan di bawahnya sehingga stabilitasnya tidak aman dan perlu adanya material batu yang lebih berat lagi.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pembahasan tentang kerusakan batu pecah sebagai material penyusun *cellular cofferdam* dapat di simpulkan bahwa :

1. Untuk variasi tinggi gelombang, semakin kecil *Wave Steepness* maka gelombang yang terjadi semakin curam sehingga prosentase kerusakan batu semakin besar dan sebaliknya. Kerusakan batu pecah terbesar pada berat batu 256 kg yang mencapai kerusakan di atas 20 % pada nilai *wave steepness* 35,8 ke bawah kecuali pada elevasi -2 m di bawah SWL. Untuk berat batu 500 kg dan 384 kg prosentase kerusakan batu pecah terbesar pada elevasi 0 m di atas SWL dan mengalami penurunan pada elevasi 1 m di atas SWL, -1 m dan –2 m di bawah SWL.
2. Pada Berat batu 500 kg, selain elevasi 0 m pada SWL memiliki tingkat stabilitas batu yang cukup stabil dimana kerusakan batu pecah akibat pengaruh *wave steepness* kurang dari 20 % (belum terjadi *failure damage*) sehingga batu pecah ini cukup stabil untuk peredam gelombang *overtopping* yang menuju pantai. Sedangkan pada berat 384 kg dan 256 kg kurang stabil
3. Kerusakan batu pecah meningkat secara eksponensial seiring dengan semakin kecilnya batu dan meningkatnya periode.
4. Untuk stabilitas batu dengan berat 256 kg sampai 500 kg pada T = 20 detik, kerusakan batu pada elevasi 0 m pada SWL meningkat secara eksponensial, dimana kerusakan di bawah 20 % terjadi pada stabilitas 0,00116 sedangkan pada elevasi 1 m di atas SWL, -1 dan -2 m di bawah SWL, kerusakan batu di bawah 20 % tetapi pada T = 12 detik stabilitas batu sangat stabil.

5.2 SARAN

1. Pada peneliti lanjutan dapat menggunakan bentuk *cellular cofferdam* bentuk kotak
2. Untuk Material batu dapat dipakai untuk jenis selain batu pecah misalnya kubus *tetrapod* dan sebagainya

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

CERC,1984. **Shore Protection Manual.** US Army, Vol I & II, Missisippi

Dean, R.G., and Dalrymple, R.A., 1991. **Water Wave Mechanic for Engineers and Scientist.** Advanced Series on Ocean Engineering – Vol.2, World Scientific, Singapura.

Hughes, S.a, 1993. **Physical Models and Labolatory Techniques in Coastal Engineering**. Advanced Series on Ocean Engineering Vol 7, World Scientific, Singapore

Jackson,R.A,1968. *"Design of Cover layers for Rubble Mound Breakwater Subjected to Nonbreaking Waves"'* **Research report** No 2 – 11, U.S. Army Engineering Waterways Experiment Station, Vicksburg, M.S.

Jensen, 1984. **" Guide dynamic and Coastal Processe,"** CPS

Kramadibrata, S.,1981. **Perencanaan Pelabuhan.** Gama Exact, Bandung

Kamphuis, J.W., 1991. **Physical Modelling.** in Handbook of Coastal and Ocean Engineering, J. B Herbich, Vol. 2, Gulf Publishing Company,Houston, Texas.

Le Mehaute, B, 1976, **"An Introduction to Hydrodinamics and Water Waves"**, Springer – Verlag, New York

Nizam, 1987. **Refleksi dan Transmisi Gelombang Pada Pemecah Gelombang Bawah Air**, Fakultas Teknik, Uniservitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Pratikto,W.A, D. A Haryo, Suntoyo, 1996. **Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut.** BPFE, Yogyakarta.

Triatmodjo, B., 1996, **Pelabuhan,** Beta Offset, Yogyakarta.

Triatmodjo, B., 1999. **Teknik Pantai**. Beta Offset, Yogyakarta.

Widagdo, A.B., 1999, **"Pengantar Model Hidraulik di Labolatorium",** Makalah Workshop Teknik Kelautan, LPTP-BPPT< Yogyakarta.

Wang, S., ***Plunger – Type Breakwaters*** *; Theory and experiment* **J. Hidraulic Res.,** Vol. 12, No. 3, 1974

Yuwono, Nur,1996. **Perencanaan Model Hidraulik.** Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi Pusat Antar Universitas Ilmmu Teknik UGM Yoyakarta.

Yuwono, Nur, 1992. **Perencanaan Bangunan Pantai Volume II.** Yogyakarta.

LAMPIRAN

Hasil Prosentase Kerusakan batu Pecah pada prototipe

Tabel 1 Berat batu 500 kg pada Elevasi 1m di atas SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	h (m)	Wm batu	ggl batu	Jum.tot	% damage
640	3,82	20	500	1	Cokelat	13		
					Hijau	45	120	18.750
					Kuning	24		
					Biru	38		
		15			Cokelat	4		
					Hijau	15	38	5.938
					Kuning	7		
					Biru	12		
		12			Cokelat	2		
					Hijau	1	10	1.563
					Kuning	4		
					Biru	3		
	3,21	20	500	1	Cokelat	0		
					Hijau	8	31	4.844
					Kuning	6		
					Biru	17		
		15			Cokelat	1		
					Hijau	0	9	1.406
					Kuning	2		
					Biru	6		
		12			Cokelat	1		
					Hijau	3	5	0.781
					Kuning	0		
					Biru	1		
	2,68	20	500	1	Cokelat	0		
					Hijau	2	8	1.250
					Kuning	2		
					Biru	4		
		15			Cokelat	0		
					Hijau	0	2	0.313
					Kuning	2		
					Biru	0		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	0	1	0.156
					Kuning	0		
					Biru	1		

Tabel 2 Berat batu 384 kg pada Elevasi 1 m di atas SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	h (m)	Wm batu	ggl.batu	Jum.tot	% damage
740	3,82	20	384	1	Cokelat	30		
					Hijau	78	292	39.459
					Kuning	27		
					Biru	157		
		15			Cokelat	7		
					Hijau	9	75	10.135
					Kuning	19		
					Biru	40		
		12			Cokelat	1		
					Hijau	3	18	2.432
					Kuning	4		
					Biru	10		
	3,21	20	384	1	Cokelat	9		
					Hijau	14	72	9.730
					Kuning	13		
					Biru	36		
		15			Cokelat	6		
					Hijau	10	50	6.757
					Kuning	8		
					Biru	26		
		12			Cokelat	1		
					Hijau	0	7	0.946
					Kuning	4		
					Biru	2		
	2,68	20	384	1	Cokelat	3		
					Hijau	1	9	1.216
					Kuning	1		
					Biru	4		
		15			Cokelat	1		
					Hijau	1	5	0.676
					Kuning	1		
					Biru	2		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	1	1	0.135
					Kuning	0		
					Biru	0		

Tabel 3 Berat batu 256 kg pada Elevasi 1 m di atas SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	h (m)	Wm batu	ggl batu	Jl Tot	% damage
940	3,82	20	256	1	Cokelat	235		
					Hijau	235	940	100.000
					Kuning	235		
					Biru	235		
		15			Cokelat	72		
					Hijau	97	412	43.830
					Kuning	103		
					Biru	140		
		12			Cokelat	12		
					Hijau	2	31	3.298
					Kuning	7		
					Biru	10		
	3,21	20	256	1	Cokelat	40		
					Hijau	47	323	34.362
					Kuning	106		
					Biru	130		
		15			Cokelat	15		
					Hijau	24	122	12.979
					Kuning	4		
					Biru	79		
		12			Cokelat	3		
					Hijau	2	8	0.851
					Kuning	1		
					Biru	2		
	2,68	20	256	1	Cokelat	6		
					Hijau	4	30	3.191
					Kuning	11		
					Biru	9		
		15			Cokelat	2		
					Hijau	4	17	1.809
					Kuning	9		
					Biru	2		
		12			Cokelat	2		
					Hijau	1	5	0.532
					Kuning	1		
					Biru	1		

Tabel 4 Berat batu 500 kg pada Elevasi 0 m pada SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	h (m)	Wm batu	ggl batu	JL. tot	% Damage
640	3,82	20	500	0	Cokelat	160		
					Hijau	160	640	100.000
					Kuning	160		
					Biru	160		
		15			Cokelat	2		
					Hijau	6	41	6.406
					Kuning	17		
					Biru	16		
		12			Cokelat	1		
					Hijau	2	15	2.344
					Kuning	5		
					Biru	7		
	3,21	20	500	0	Cokelat	9		
					Hijau	18	83	12.969
					Kuning	24		
					Biru	32		
		15			Cokelat	1		
					Hijau	5	14	2.188
					Kuning	1		
					Biru	7		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	4	12	1.875
					Kuning	1		
					Biru	7		
	2,68	20	500	0	Cokelat	0		
					Hijau	2	13	2.031
					Kuning	2		
					Biru	9		
		15			Cokelat	1		
					Hijau	2	12	1.875
					Kuning	4		
					Biru	5		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	0	3	0.469
					Kuning	1		
					Biru	2		

Tabel 5 Berat batu 384 kg pada Elevasi 0 m pada SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	h (m)	Wm batu	ggl batu	Jl. tot	% damage
740	3,82	20	384	0	Cokelat	185		
					Hijau	185	740	100.000
					Kuning	185		
					Biru	185		
		15			Cokelat	7		
					Hijau	40	218	29.459
					Kuning	78		
					Biru	93		
		12			Cokelat	1		
					Hijau	2	24	3.243
					Kuning	12		
					Biru	9		
	3,21	20	384	0	Cokelat	1		
					Hijau	9	116	15.676
					Kuning	25		
					Biru	81		
		15			Cokelat	10		
					Hijau	15	54	7.297
					Kuning	6		
					Biru	23		
		12			Cokelat	3		
					Hijau	3	22	2.973
					Kuning	7		
					Biru	9		
	2,68	20	384	0	Cokelat	0		
					Hijau	4	14	1.892
					Kuning	2		
					Biru	8		
		15			Cokelat	5		
					Hijau	3	11	1.486
					Kuning	1		
					Biru	2		
		12			Cokelat	2		
					Hijau	1	5	0.676
					Kuning	1		
					Biru	1		

Tabel 6 Berat batu 256 kg pada Elevasi 0 m pada SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	h (m)	Wm batu	jumlah	Jl. Tot	% damage
940	3,82	20	256	0	Cokelat	235		
					Hijau	235	940	1.000
					Kuning	235		
					Biru	235		
		15			Cokelat	54		
					Hijau	123	433	0.461
					Kuning	111		
					Biru	145		
		12			Cokelat	2		
					Hijau	6	41	0.044
					Kuning	8		
					Biru	25		
	3,21	20	256	0	Cokelat	56		
					Hijau	118	527	0.561
					Kuning	148		
					Biru	205		
		15			Cokelat	2		
					Hijau	17	218	0.232
					Kuning	65		
					Biru	134		
		12			Cokelat	2		
					Hijau	5	30	0.032
					Kuning	4		
					Biru	19		
	2,68	20	256	0	Cokelat	5		
					Hijau	5	47	0.050
					Kuning	10		
					Biru	27		
		15			Cokelat	10		
					Hijau	3	27	0.029
					Kuning	0		
					Biru	14		
		12			Cokelat	3		
					Hijau	2	25	0.027
					Kuning	3		
					Biru	17		

Tabel 7 Berat batu 500 kg pada Elevasi -1 m di bawah SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	h (m)	Wm batu	ggl batu	Jl..tot	% damage
640	3,82	20	500	-1	Cokelat	0		
					Hijau	40	122	19.063
					Kuning	45		
					Biru	37		
		15			Cokelat	132		
					Hijau	154	604	94.375
					Kuning	159		
					Biru	159		
		12			Cokelat	1		
					Hijau	3	13	2.031
					Kuning	0		
					Biru	9		
	3,21	20	500	-1	Cokelat	0		
					Hijau	3	7	1.094
					Kuning	0		
					Biru	4		
		15			Cokelat	1		
					Hijau	18	34	5.313
					Kuning	10		
					Biru	5		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	1	2	0.313
					Kuning	1		
					Biru	0		
	2,68	20	500	-1	Cokelat	0		
					Hijau	0	0	0.000
					Kuning	0		
					Biru	0		
					Cokelat	0		
		15			Hijau	0	2	0.313
					Kuning	0		
					Biru	2		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	0	0	0.000
					Kuning	0		
					Biru	0		

Tabel 8 Berat batu 384 kg pada Elevasi -1 m di bawah SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	h (m)	Wm batu	ggl.batu	Jl .tot	% damage
740	3,82	20	384	-1	Cokelat	0		
					Hijau	30	197	26.622
					Kuning	85		
					Biru	82		
		15			Cokelat	175		
					Hijau	185	730	98.649
					Kuning	185		
					Biru	185		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	9	19	2.568
					Kuning	4		
					Biru	6		
	3,21	20	384	-1	Cokelat	2		
					Hijau	1	9	1.216
					Kuning	4		
					Biru	2		
		15			Cokelat	5		
					Hijau	6	23	3.514
					Kuning	6		
					Biru	9		
		12			Cokelat	1		
					Hijau	0	17	2.297
					Kuning	12		
					Biru	4		
	2,68	20	384	-1	Cokelat	0		
					Hijau	0	0	0.000
					Kuning	0		
					Biru	0		
		15			Cokelat	2		
					Hijau	4	19	2.568
					Kuning	5		
					Biru	8		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	0	0	0.000
					Kuning	0		
					Biru	0		

Tabel 9 Berat batu 256 kg pada Elevasi -1 m di bawah SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	elev.h (m)	Wm batu	ggl batu	Jl.. Tot	% damage
940	3,82	20	256	-1	Cokelat	223		
					Hijau	228	876	93.191
					Kuning	214		
					Biru	211		
		15			Cokelat	235		
					Hijau	235	940	100.000
					Kuning	235		
					Biru	235		
		12			Cokelat	11		
					Hijau	14	175	18.617
					Kuning	75		
					Biru	75		
	3,21	20	256	-1	Cokelat	9		
					Hijau	6	57	6.064
					Kuning	3		
					Biru	39		
		15			Cokelat	8		
					Hijau	4	161	17.128
					Kuning	54		
					Biru	95		
		12			Cokelat	3		
					Hijau	5	44	4.681
					Kuning	16		
					Biru	20		
	2,68	20	256	-1	Cokelat	1		
					Hijau	1	18	1.915
					Kuning	2		
					Biru	14		
		15			Cokelat	4		
					Hijau	6	43	4.574
					Kuning	6		
					Biru	27		
		12			Cokelat	2		
					Hijau	4	21	2.234
					Kuning	9		
					Biru	6		

BIDANG PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

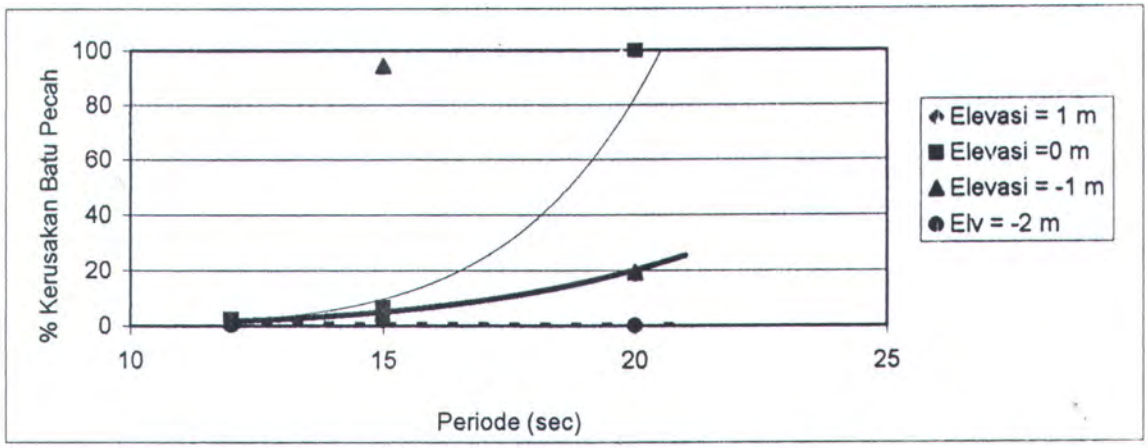
Tabel 10 Berat batu 500 kg pada Elevasi -2 m di bawah SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	h (m)	Wm batu	ggl batu	Jl. tot	% damage
640	3,82	20	500	-2	Cokelat	0		
					Hijau	0	1	0.156
					Kuning	0		
					Biru	1		
		15			Cokelat	1		
					Hijau	8	13	2.031
					Kuning	3		
					Biru	1		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	1	3	0.469
					Kuning	0		
					Biru	2		
	3,21	20	500	-2	Cokelat	0		
					Hijau	0	0	0.000
					Kuning	0		
					Biru	0		
		15			Cokelat	0		
					Hijau	1	4	0.625
					Kuning	2		
					Biru	1		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	0	1	0.156
					Kuning	0		
					Biru	1		
	2,68	20	500	-2	Cokelat	0		
					Hijau	0	0	0.000
					Kuning	0		
					Biru	0		
					Cokelat	0		
		15			Hijau	0	0	0.000
					Kuning	0		
					Biru	0		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	0	0	0.000
					Kuning	0		
					Biru	0		

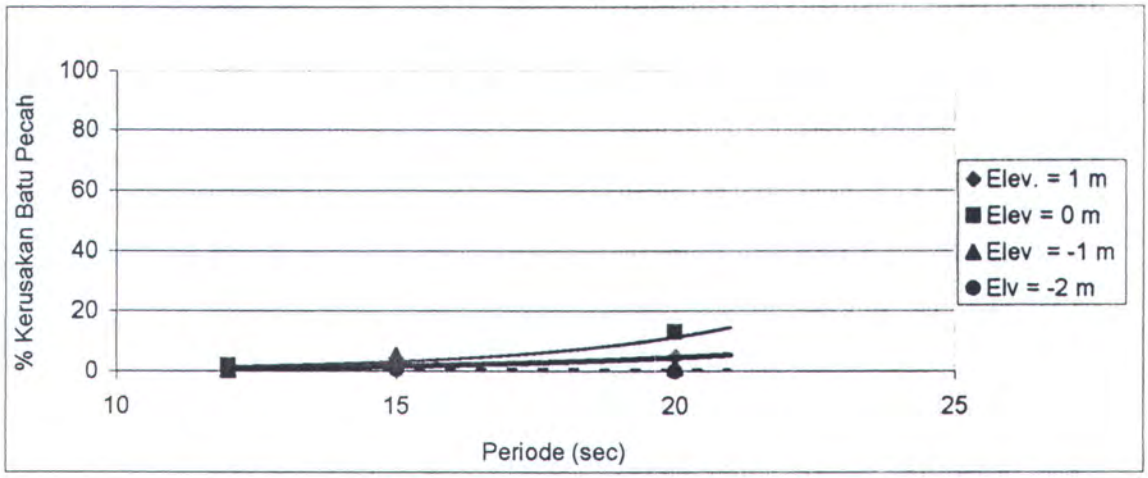
Tabel 11 Berat batu 384 kg pada Elevasi -2 m di bawah SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	h (m)	Wm batu	ggl.batu	Jl..tot	% damage
940	3,82	20	384	-2	Cokelat	0		
					Hijau	1	6	0.811
					Kuning	3		
					Biru	2		
		15			Cokelat	1		
					Hijau	7	29	3.919
					Kuning	9		
					Biru	12		
		12			Cokelat	1		
					Hijau	2	5	0.676
					Kuning	0		
					Biru	2		
	3,21	20	384	-2	Cokelat	0		
					Hijau	0	3	0.405
					Kuning	0		
					Biru	3		
		15			Cokelat	1		
					Hijau	1	5	0.676
					Kuning	2		
					Biru	1		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	0	1	0.135
					Kuning	1		
					Biru	0		
	2,68	20	384	-2	Cokelat	0		
					Hijau	0	0	0.000
					Kuning	0		
					Biru	0		
		15			Cokelat	0		
					Hijau	0	0	0.000
					Kuning	0		
					Biru	0		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	0	0	0.000
					Kuning	0		
					Biru	0		

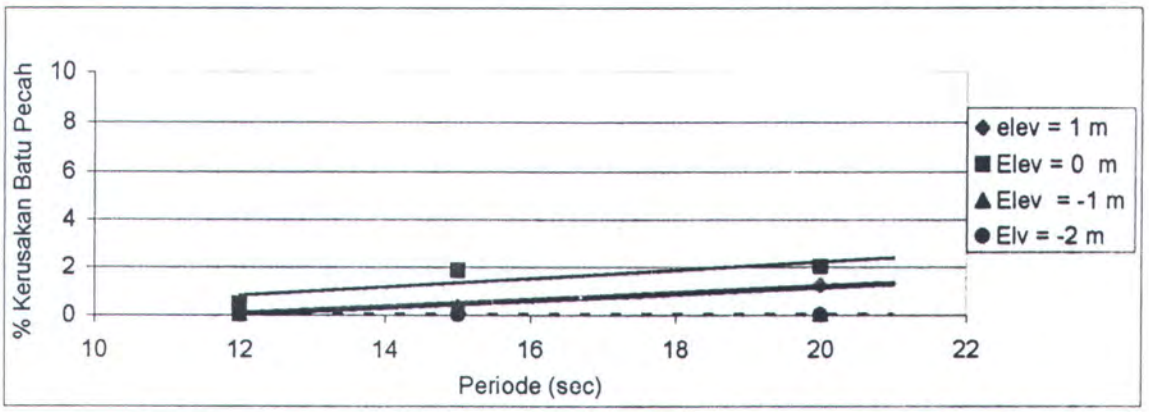
II. Gambar Grafik Hubungan Prosentase Kerusakan Batu Pecah denganTinggi Gelombang, Periode Gelombang, Berat Batu



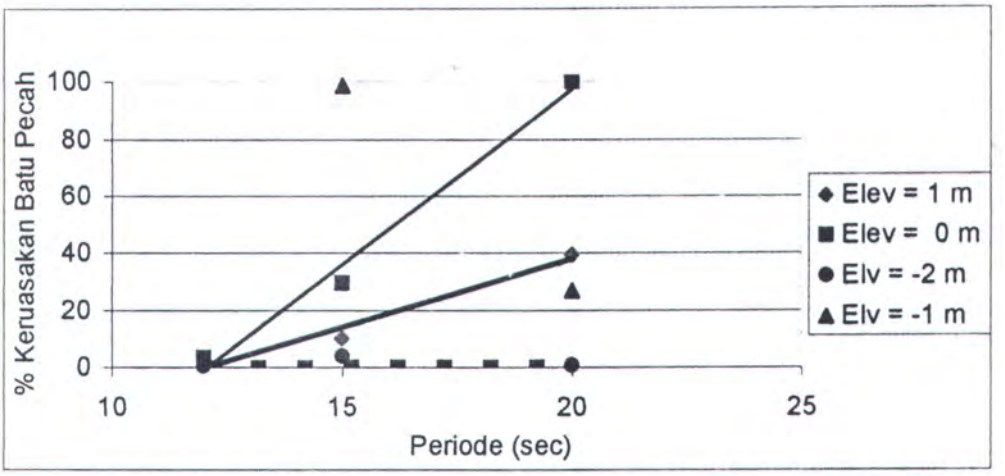
Gambar 1 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,82 m dan W = 500 g



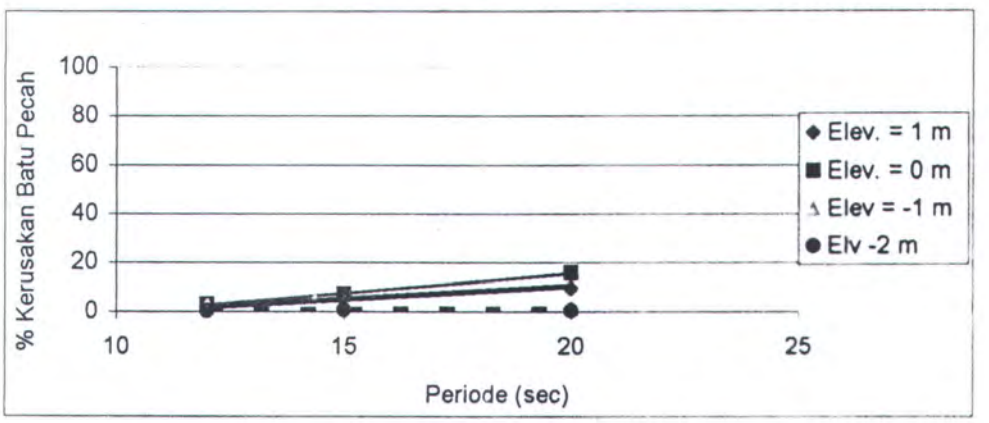
Gambar 2 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,21 m dan W = 500 g



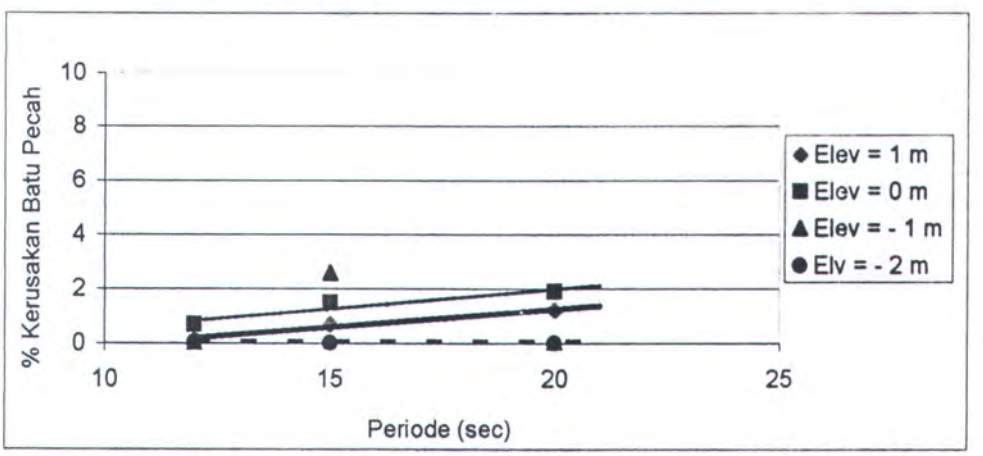
Gambar 3 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 2,68 m dan W = 500 g



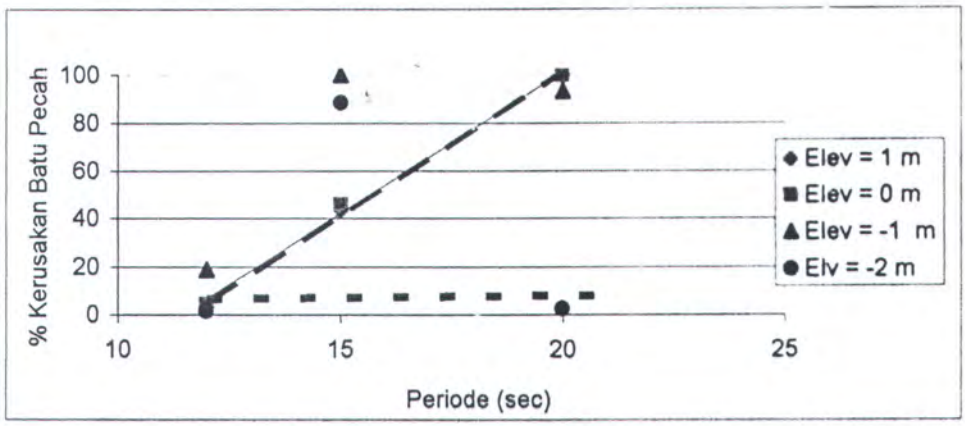
Gambar 4 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 384 kg dan H = 3,82 m



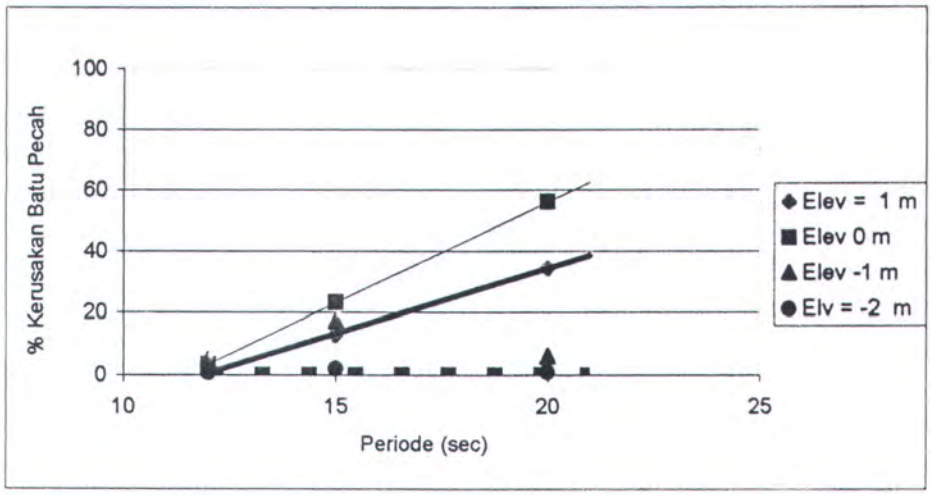
Gambar 5 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 384 kg dan H = 3,21 m



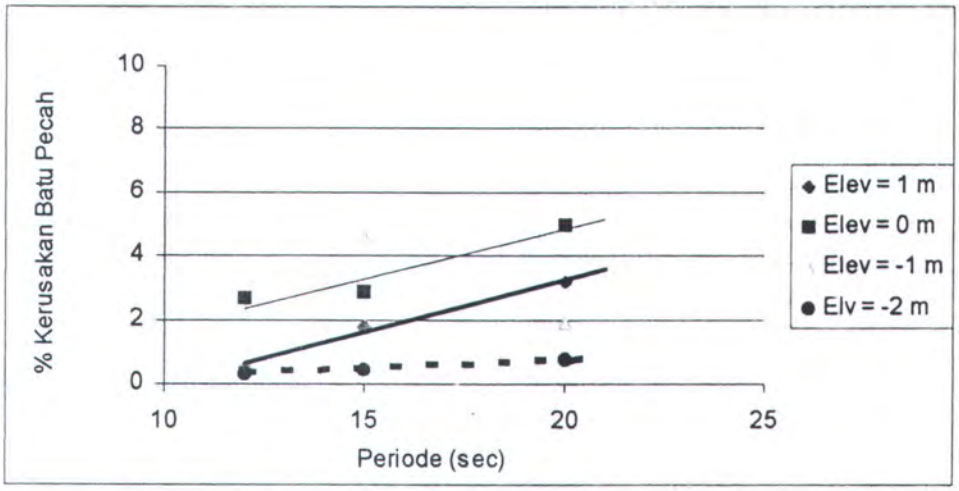
Gambar 6 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 384 kg dan H = 2,68 m



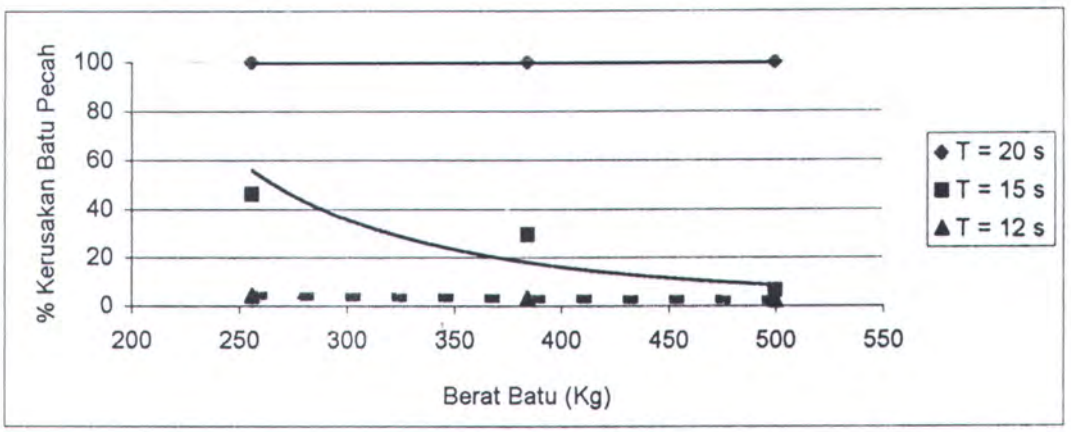
Gambar 7 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 256 kg dan H = 3,82 m



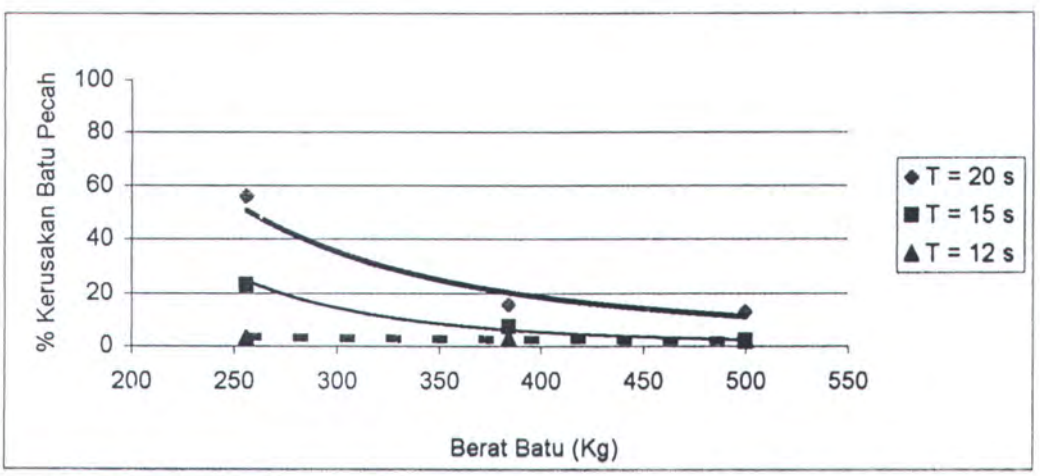
Gambar 8 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 256 kg dan H = 3,21 m



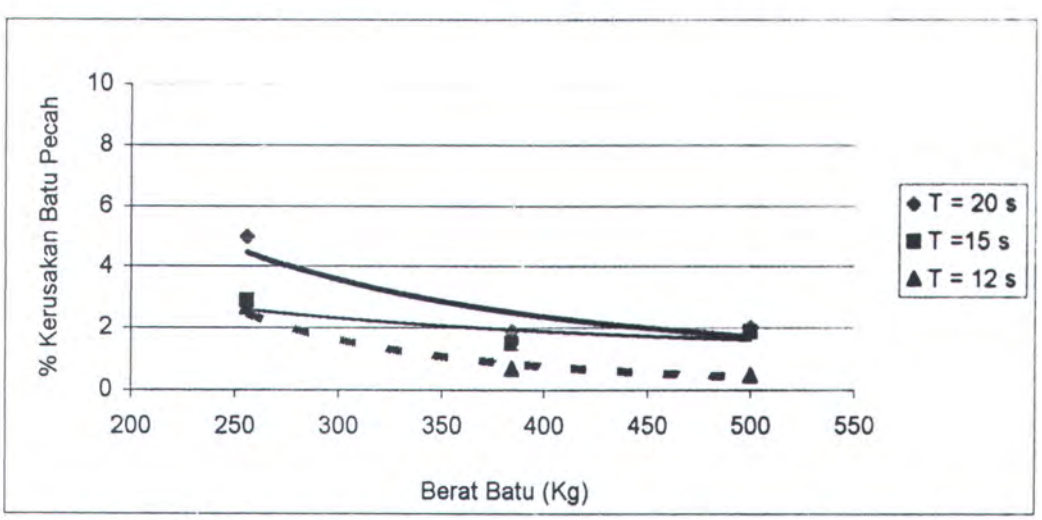
Gambar 9 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 256 kg dan H = 2,68 m



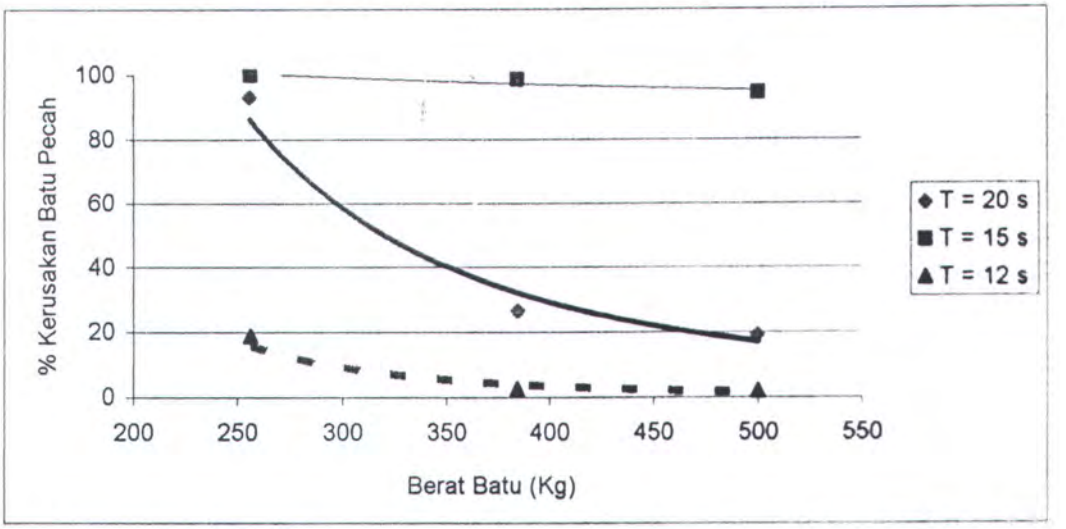
Gambar 10 Grafik Hubungan Berat Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,82 m dan Elevasi 0 m pada SWL



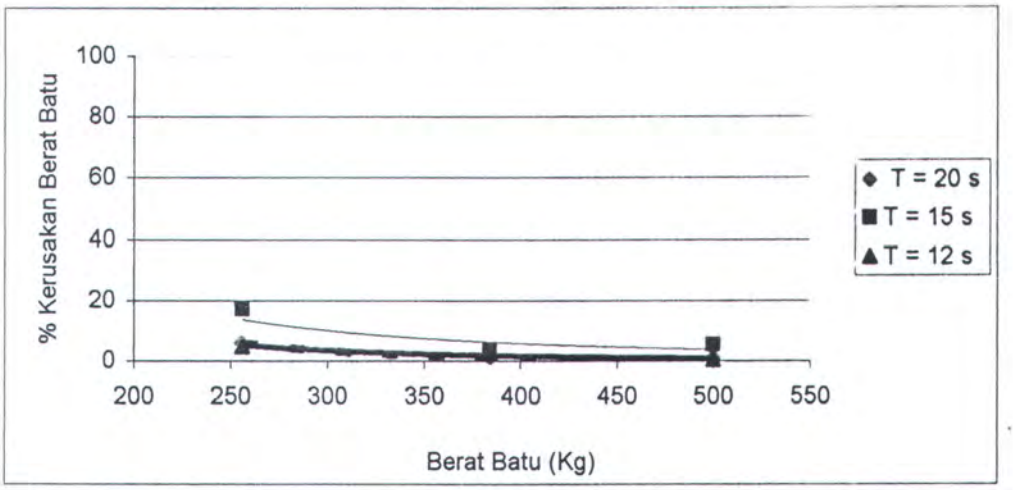
Gambar 11 Grafik Hubungan Berat Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,21 m dan Elevasi 0 m pada SWL



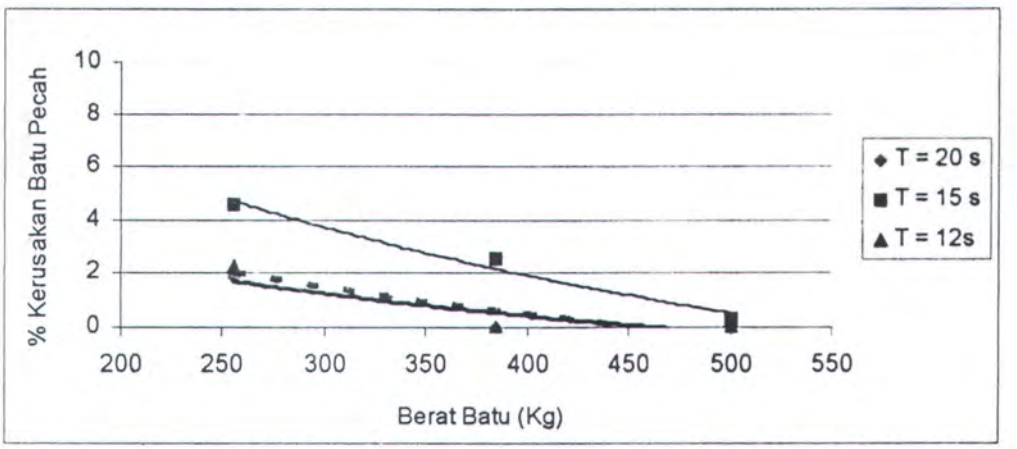
Gambar 12 Grafik Hubungan Berat Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 2,68 m dan Elevasi 0 m pada SWL



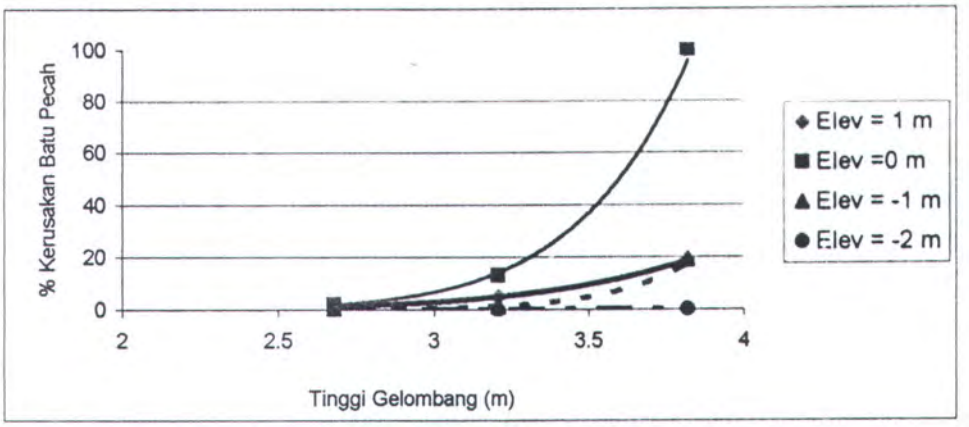
Gambar 13 Grafik Hubungan Berat Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,82 m dan Elevasi -1 m di bawah SWL



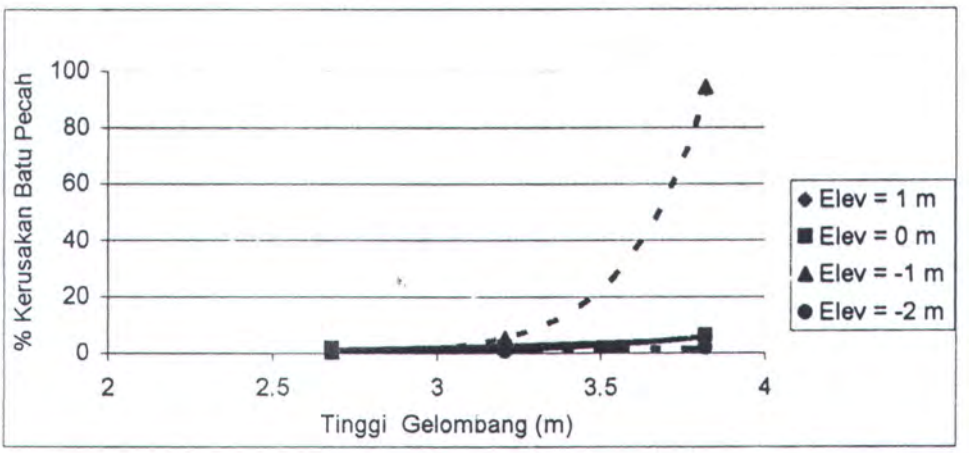
Gambar 14 Grafik Hubungan Berat Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,21 m dan Elevasi -1 m di bawah SWL



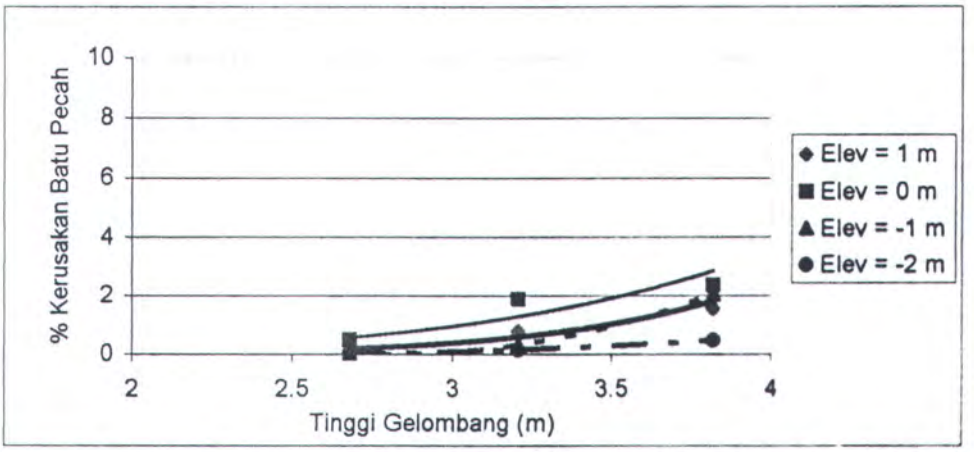
Gambar 15 Grafik Hubungan Berat Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 2,68 m dan Elevasi -1 m di bawah SWL



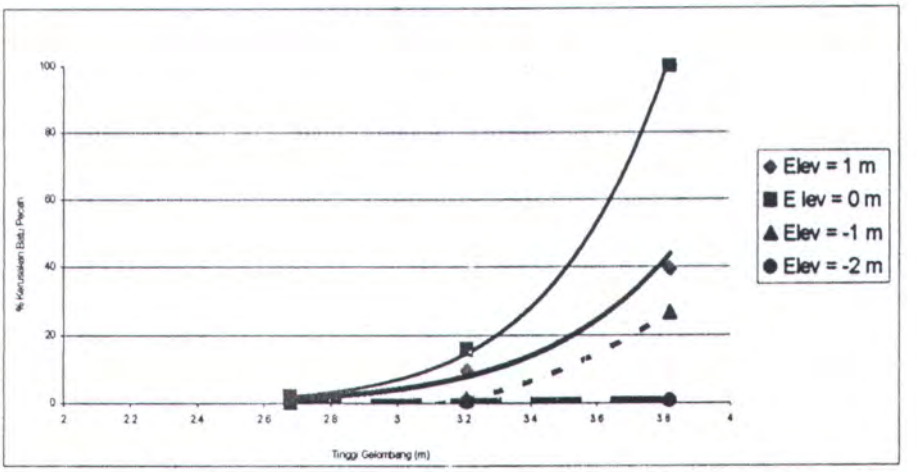
Gambar 16 Grafik Hubungan Tinggi Gelombang dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 500 kg dan T = 20 s



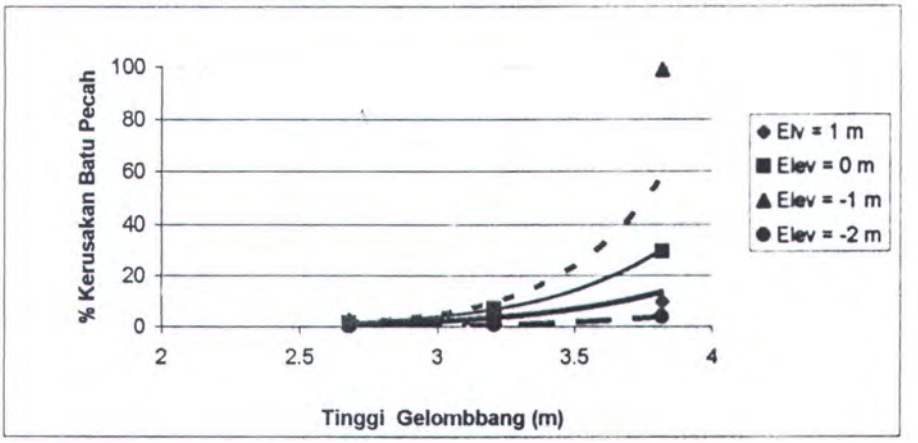
Gambar 17 Grafik Hubungan Tinggi Gelombang dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 500 kg dan T = 15 s



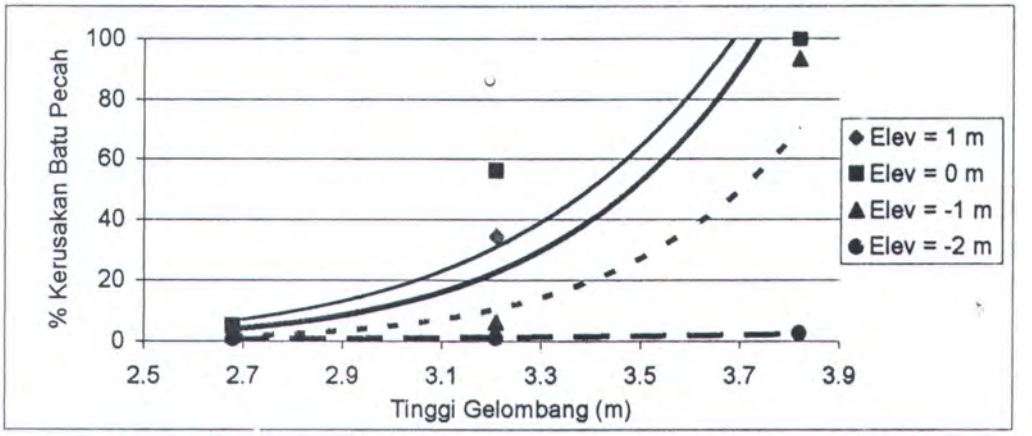
Gambar 18 Grafik Hubungan Tinggi Gelombang dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 500 kg dan T = 12 s



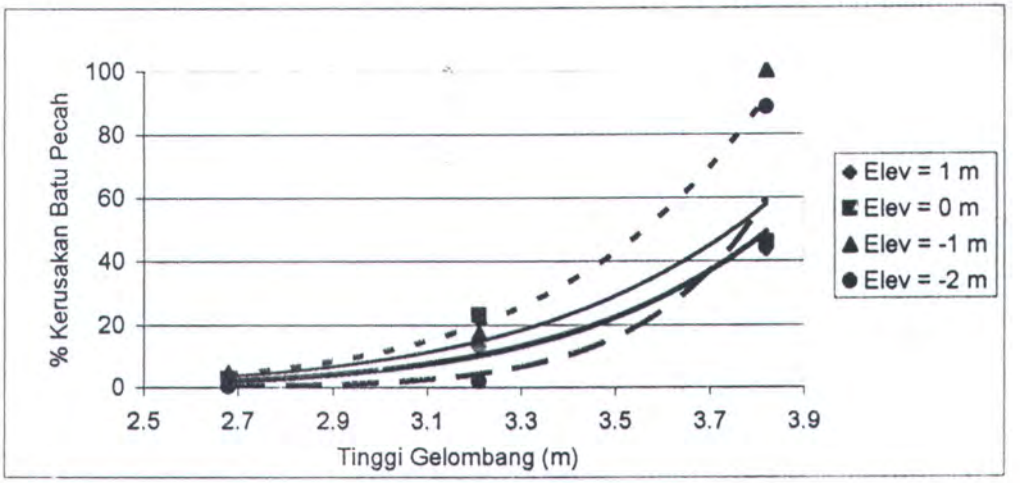
Gambar 19 Grafik Hubungan Tinggi gelombang dan % Kerusakan Batu Pecah Pada W = 384 kg dan T = 20 s



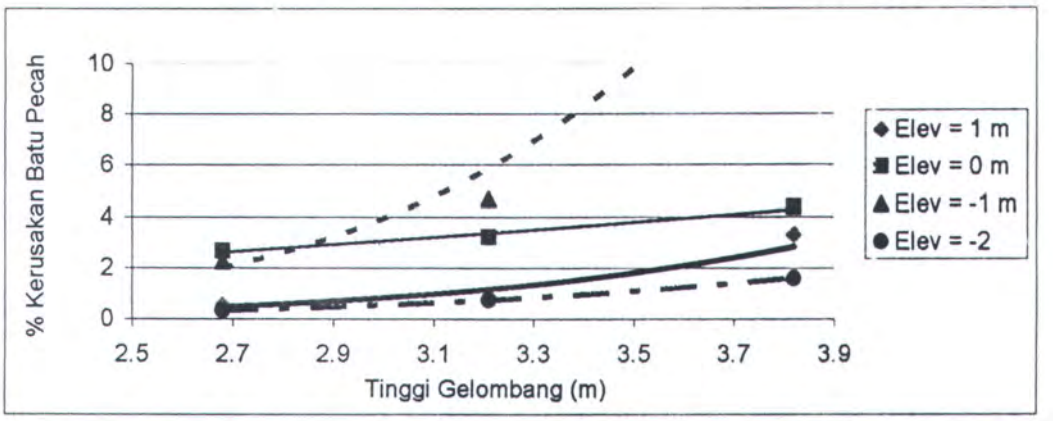
Gambar 20 Grafik Hubungan Tinggi gelombang dan % Kerusakan Batu Pecah Pada W = 384 kg dan T = 15 s



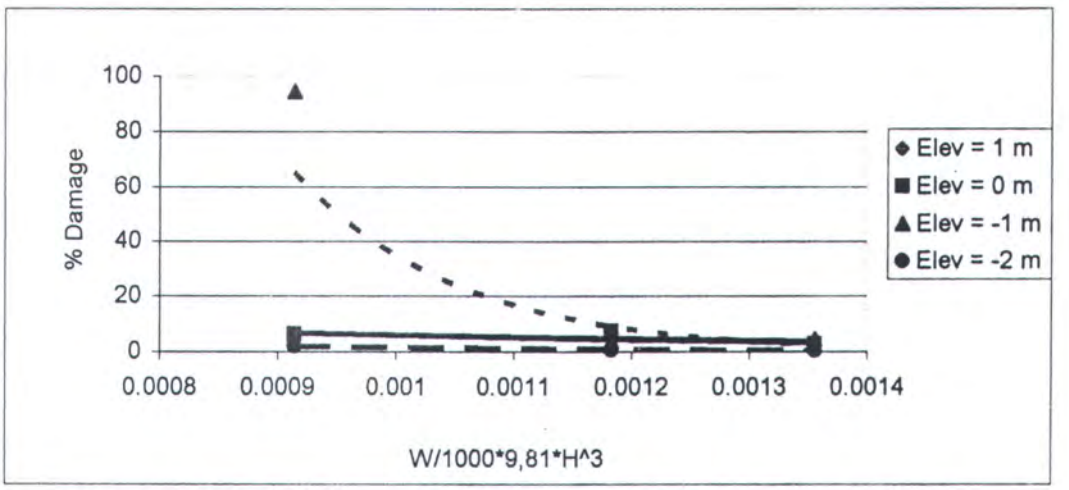
Gambar 21 Grafik Hubungan Tinggi Gelombang dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 256 kg dan T = 20 s



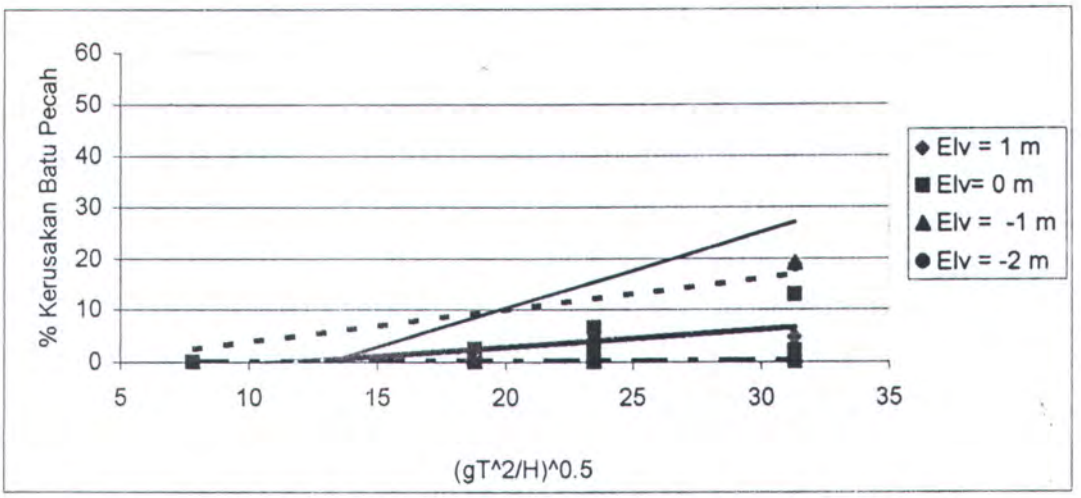
Gambar 22 Grafik Hubungan Tinggi Gelombang dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 256 kg dan T = 15 s



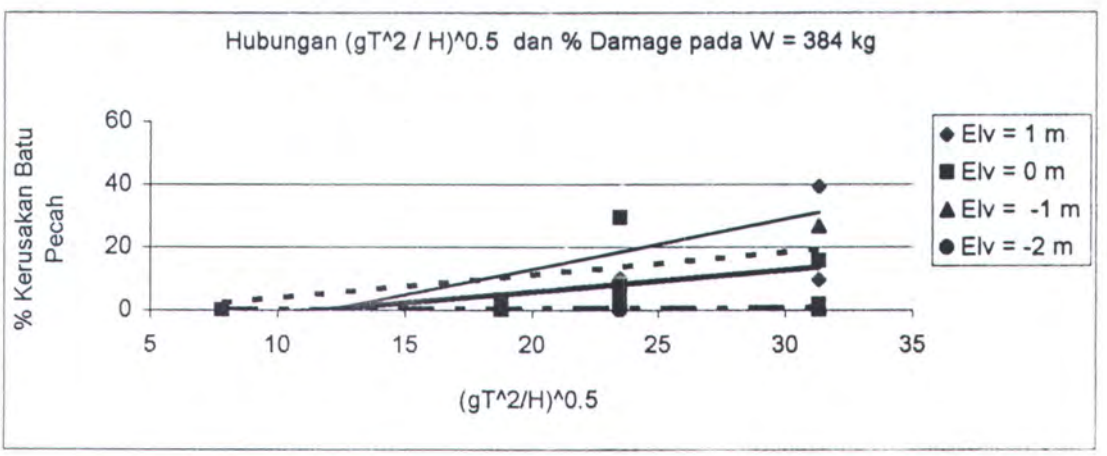
Gambar 23 Grafik Hubungan Tinggi Gelombang dan % Kerusakan Batu Pecah pada W = 256 kg dan T = 12 s



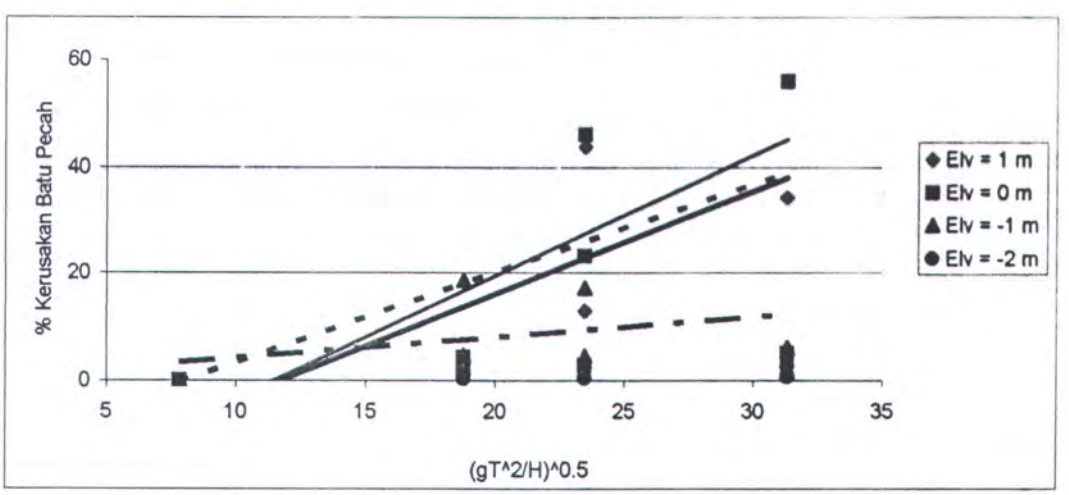
Gambar. 24. Grafik Hubungan Stabilitas Batu dan % Kerusakan Batu Pecah pada T = 15 s



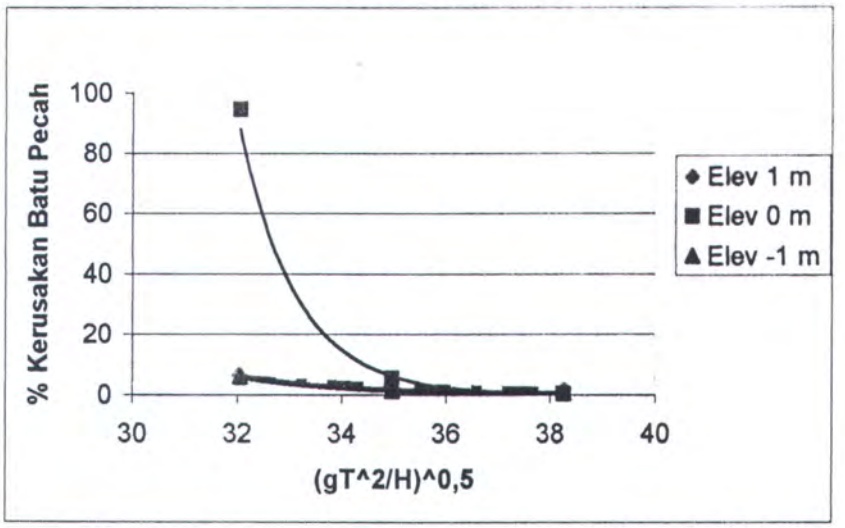
Gambar 25 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada Pada W = 500 kg



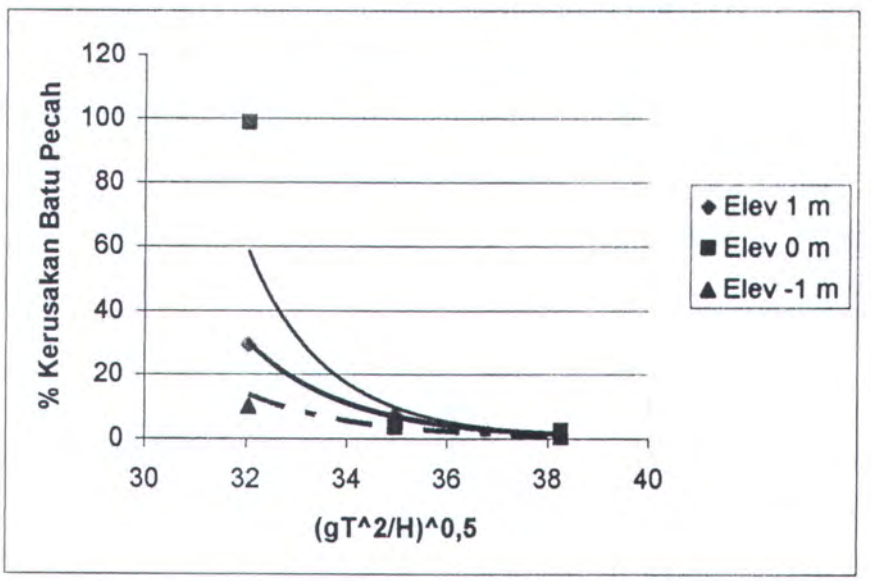
Gambar 26 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada Pada W = 384 kg



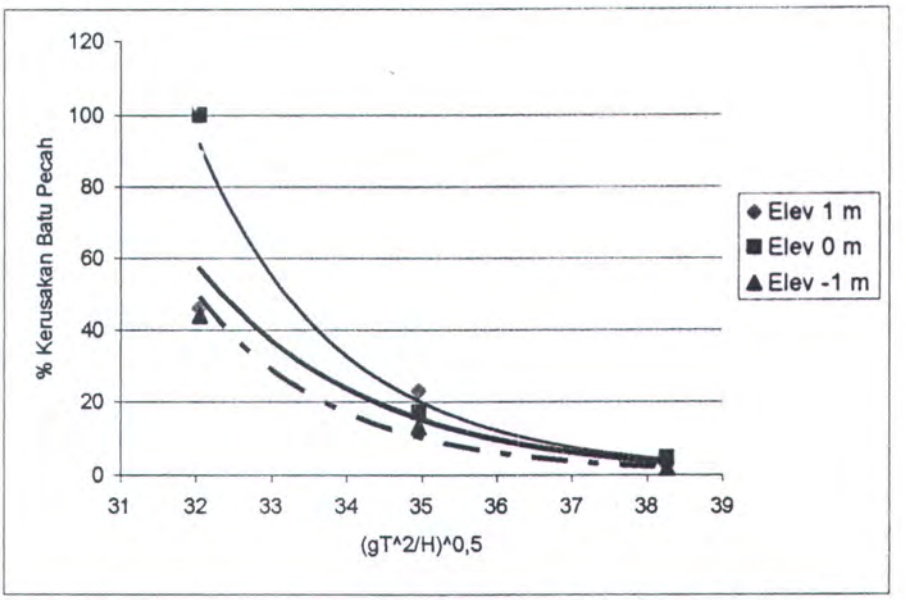
Gambar 37 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada Pada W = 256kg



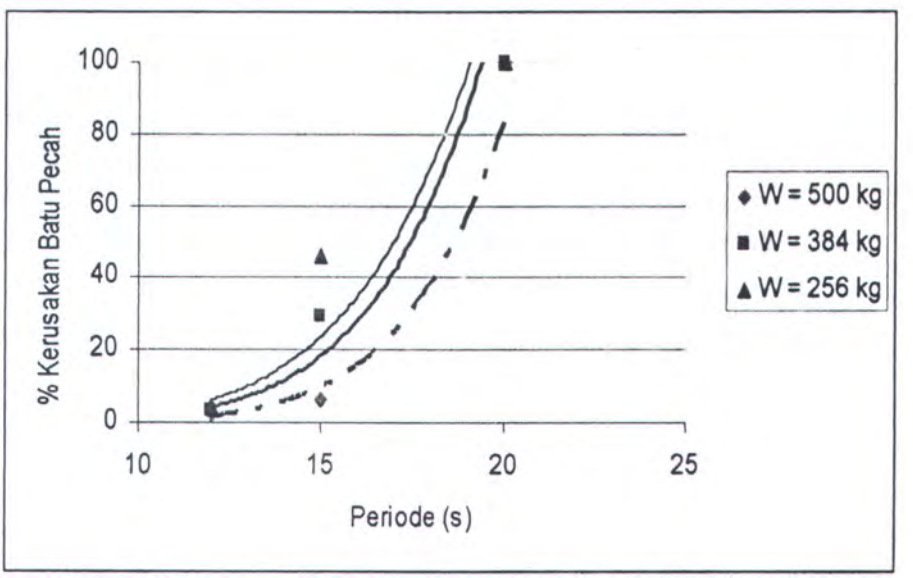
Gambar 28 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada Pada W = 500 kg



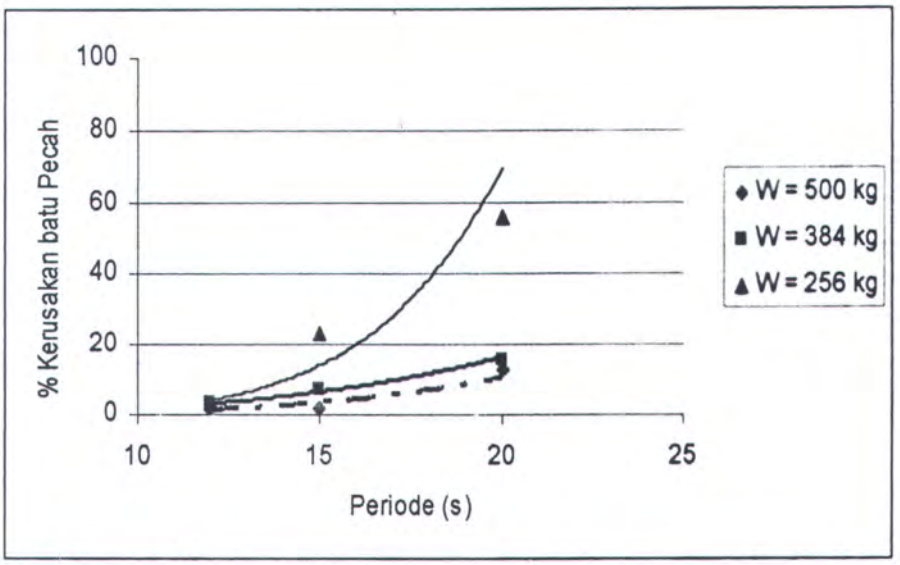
Gambar 29 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada Pada W = 384 kg



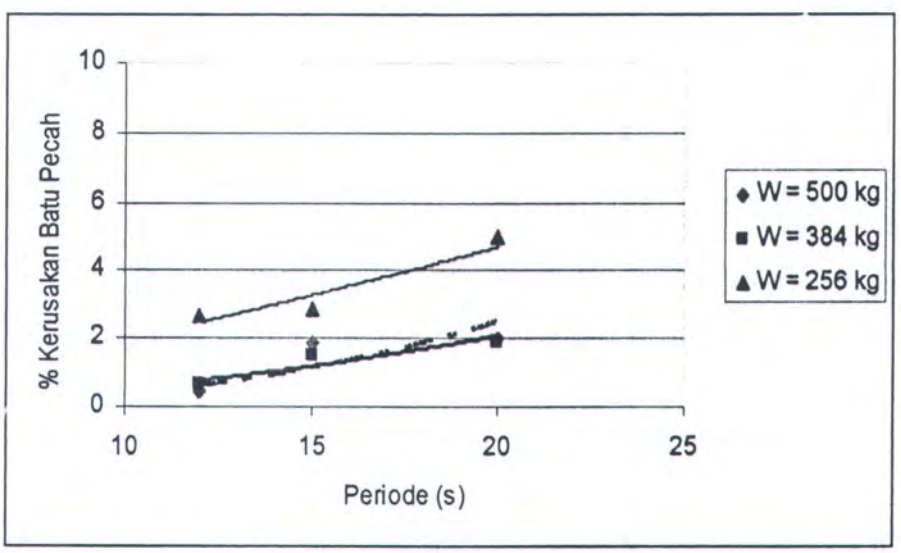
Gambar 30 Grafik Hubungan $(gT^2/H)^{0,5}$ dan % Kerusakan Batu Pecah pada Pada W = 256 kg



Gambar 31 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,82 m dan Elevasi 0 m pada SWL



Gambar 32 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,21 m dan Elevasi 0 m pada SWL

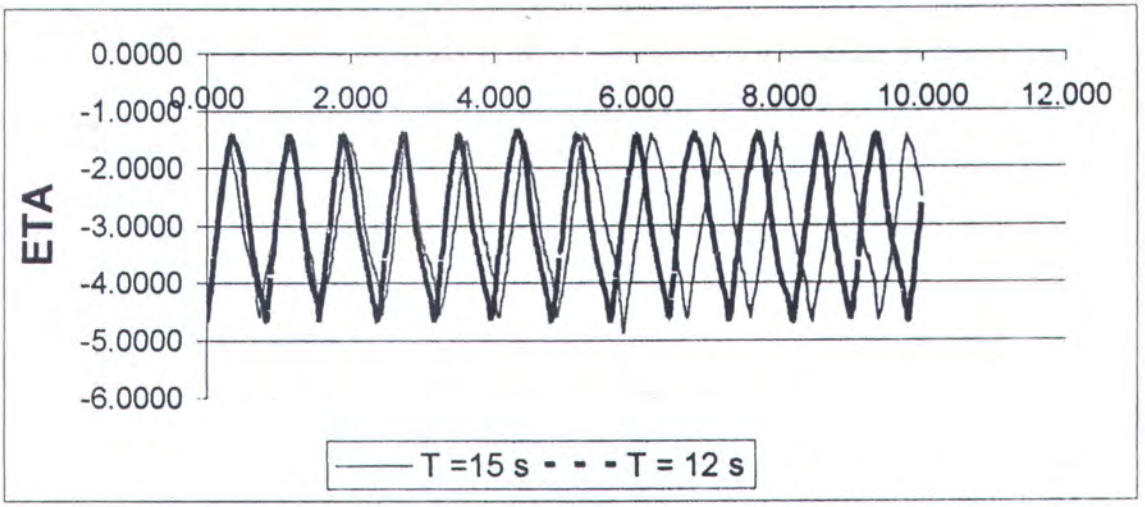


Gambar 33 Grafik Hubungan Periode dan % Kerusakan Batu Pecah pada H = 2,68 m dan Elevasi 0 m pada SWL

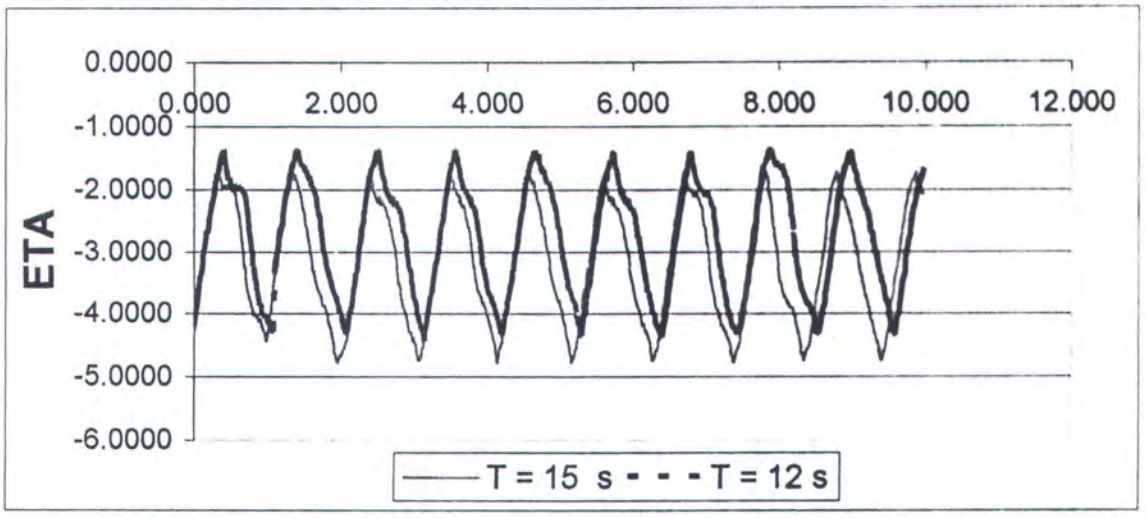
Tabel 12 Berat batu 500 kg pada Elevasi -2 m di bawah SWL

Jml. Batu.	H (m)	T (dtk)	W (kg)	h (m)	Wm batu	ggl batu	Jl. Tot	% damage
235	3,82	20	256	-2	Cokelat	1		
					Hijau	2	25	2.660
					Kuning	12		
					Biru	10		
		15			Cokelat	217		
					Hijau	235	832	88.511
					Kuning	225		
					Biru	155		
		12			Cokelat	2		
					Hijau	1	15	1.596
					Kuning	8		
					Biru	4		
	3,21	20	256	-2	Cokelat	0		
					Hijau	1	9	0.957
					Kuning	4		
					Biru	4		
		15			Cokelat	0		
					Hijau	0	19	2.021
					Kuning	13		
					Biru	6		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	2	7	0.745
					Kuning	3		
					Biru	2		
	2,68	20	256	-2	Cokelat	1		
					Hijau	1	7	0.745
					Kuning	1		
					Biru	4		
		15			Cokelat	0		
					Hijau	0	4	0.426
					Kuning	1		
					Biru	3		
		12			Cokelat	0		
					Hijau	0	3	0.319
					Kuning	2		
					Biru	1		

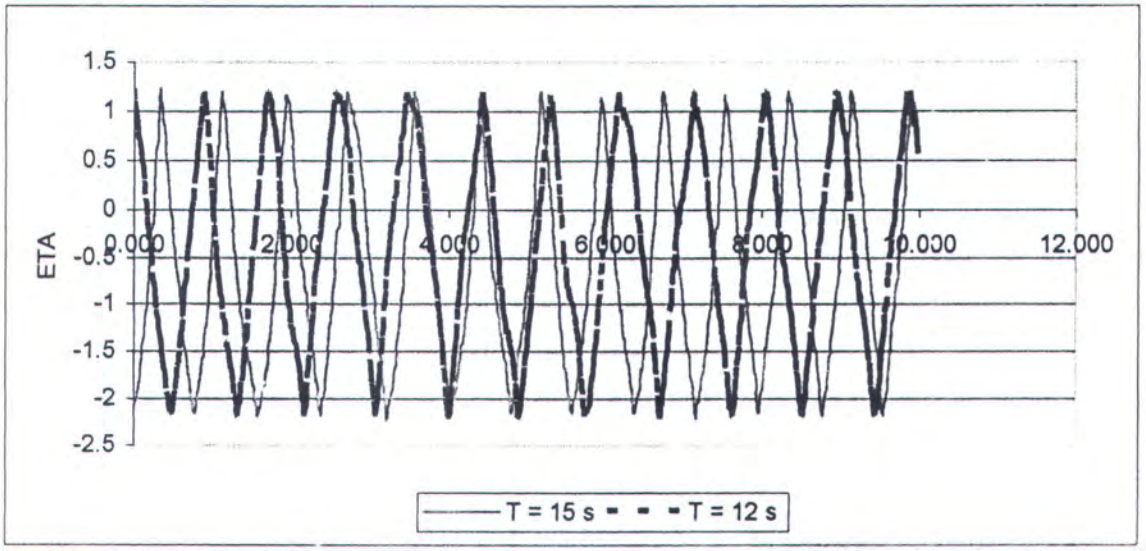
III Grafik Gelombang Datang



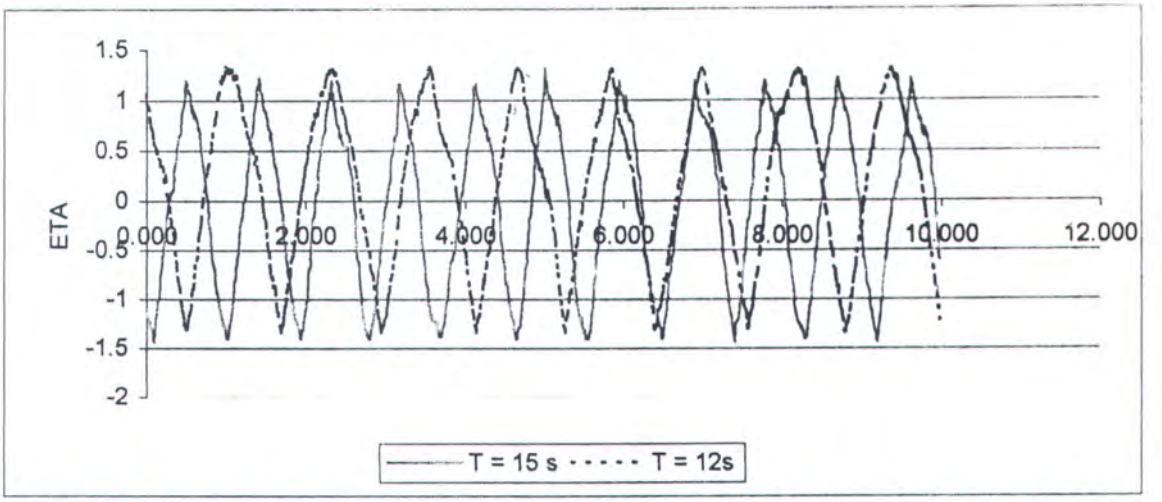
Gambar 34 Gelombang Datang ETA pada W = 500 kg; H =3,21 m; Elevasi 1 m di bawah SWL



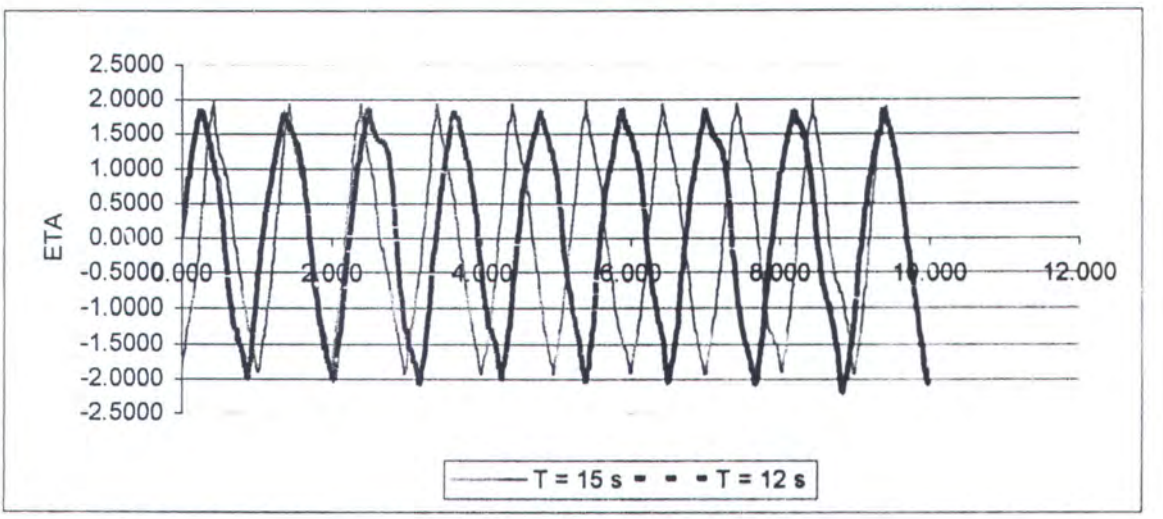
Gambar 32 Gelombang Datang ETA pada W = 500 kg; H =2,68 m; Elevasi 1 m di bawah SWL



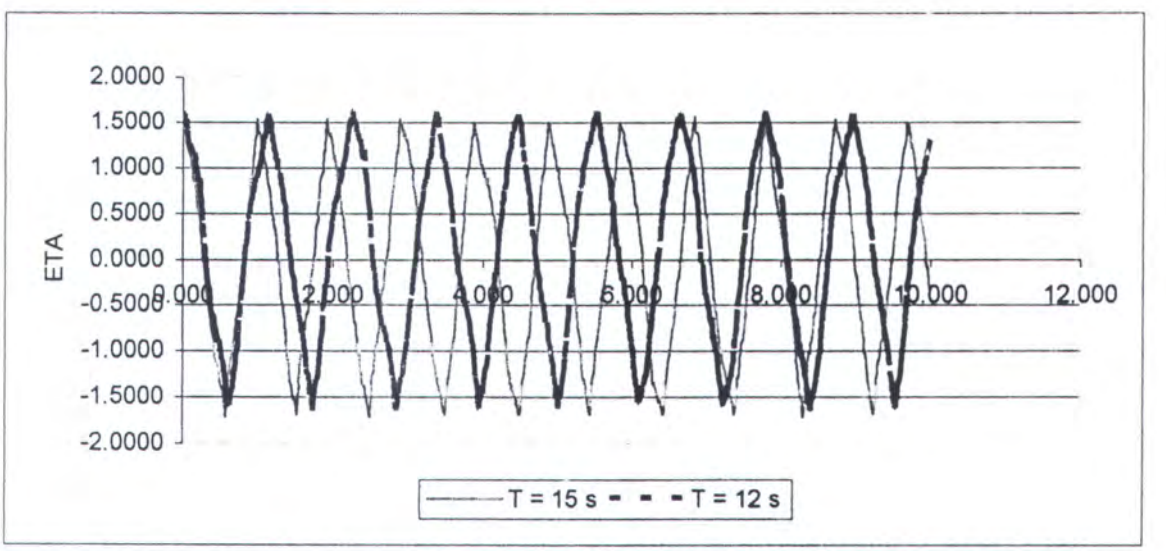
Gambar 33 Gelombang Datang ETA pada W = 384kg; H =3,21 m; Elevasi 0 m di bawah SWL



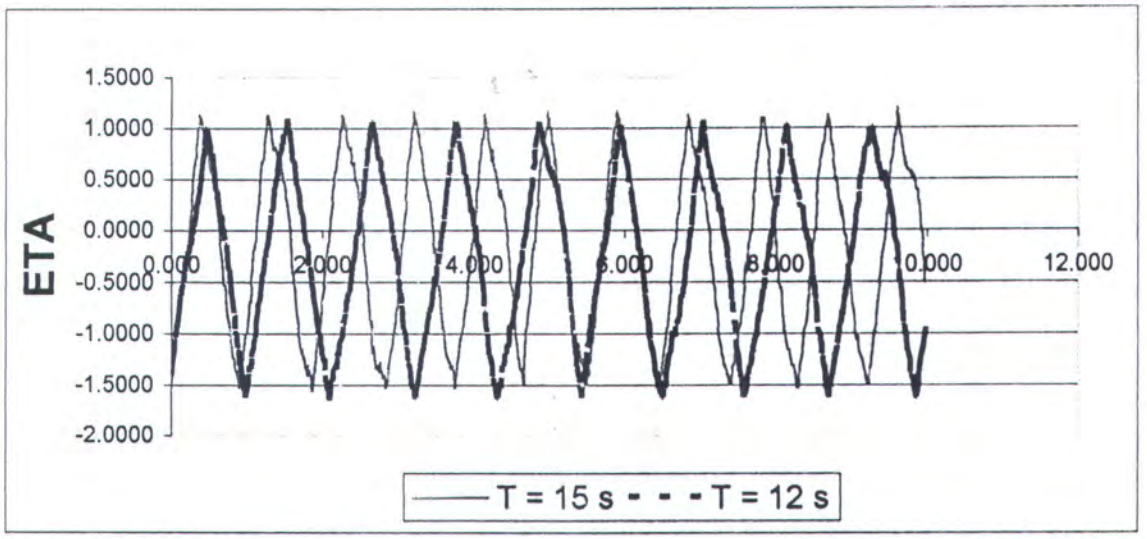
Gambar 34 Gelombang Datang ETA pada W = 384kg; H = 2,68 m; Elevasi 0 m di bawah SWL



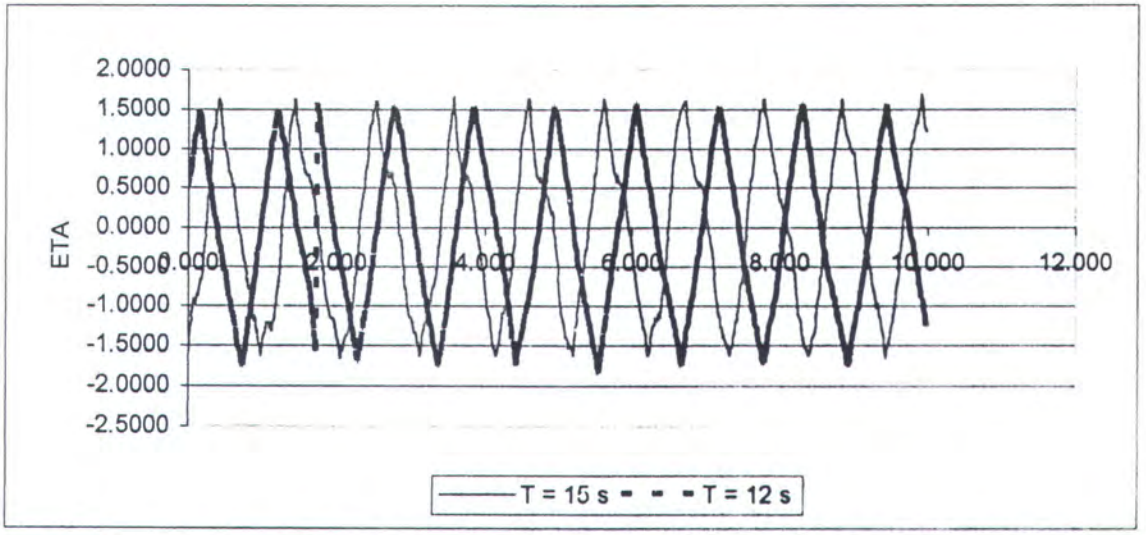
Gambar 35 Gelombang Datang ETA pada W = 256 kg; H = 3,82 m; Elevasi –1 m di bawah SWL



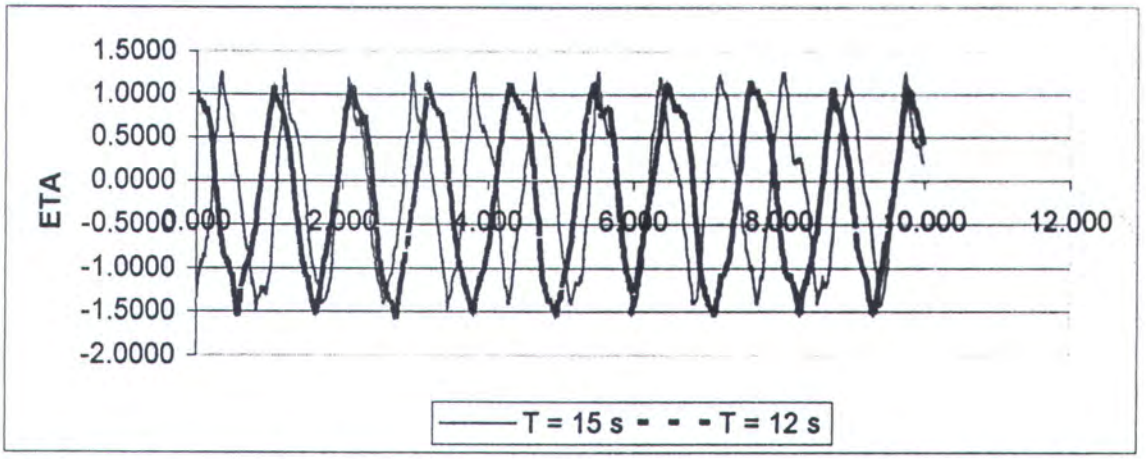
Gambar 36 Gelombang Datang ETA pada W = 256 kg; H = 3,21m; Elevasi –1 m di bawah SWL



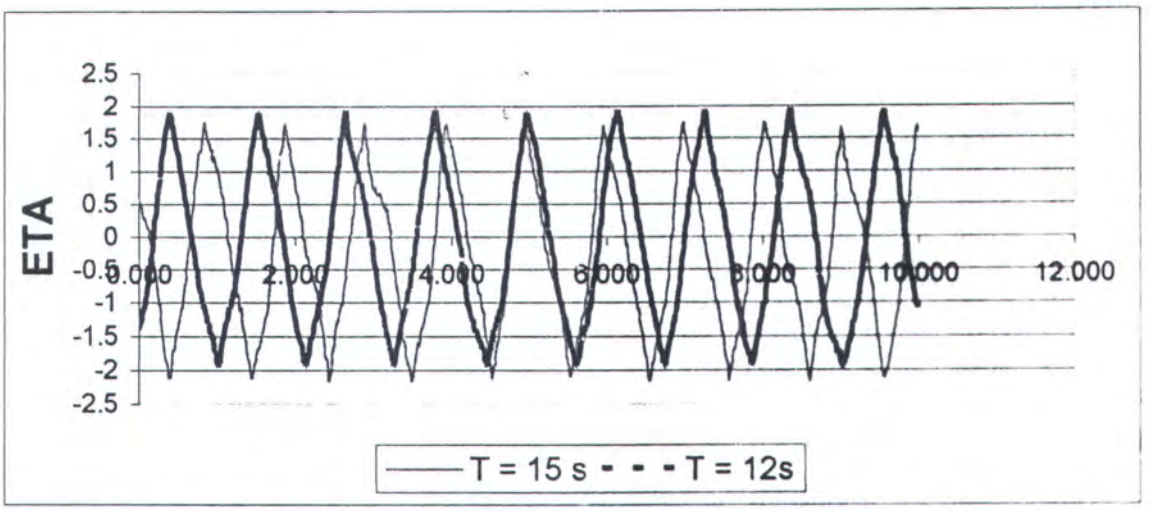
Gambar 37 Gelombang Datang ETA pada W = 256 kg; H = 2,68 m; Elevasi –1 m di bawah SWL



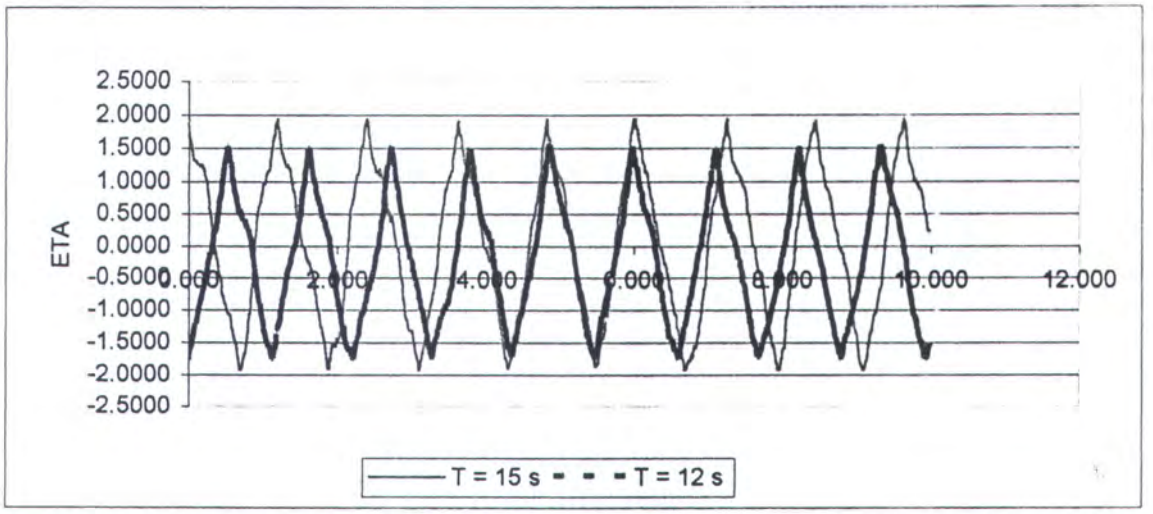
Gambar 38 Gelombang Datang ETA pada W = 500 kg; H = 3,21 m; Elevasi –1 m di bawah SWL



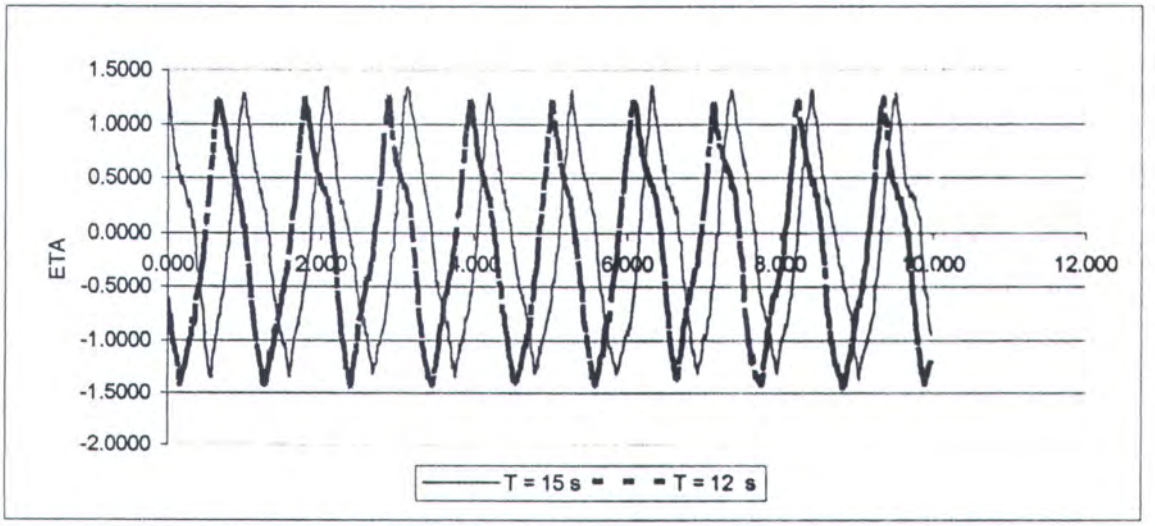
Gambar 39 Gelombang Datang ETA pada W = 500 kg; H = 2,68 m; Elevasi – ! m di bawah SWL



Gambar 40 Gelombang Datang ETA pada W = 384 kg; H = 3,82 m; Elevasi –2 m di bawah SWL



Gambar 41 Gelombang Datang ETA pada W = 384 kg; H = 3,21 m; Elevasi –2 m di bawah SWL



Gambar 42 Gelombang Datang ETA pada W = 384 kg; H = 2,68 m; Elevasi –2 m di bawah SWL

IV. Hasil output matlab
Elevasi 2,5 cm (model)

INPUT
enter input filename wi7810032.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.2865 metres
Water Level Trend = 0.00299 m/s
Sigma = 0.985 metres

Number of Waves = 29
Significant Wave Height = 3.7105 metres
Maximum Wave Height = 3.7245 metres
Average Wave Height = 3.0317 metres
rms Wave Height = 3.2222 metres
Average of Highest 1/10 = 3.7245 metres
Sigmaz = 0.6865 metres

INPUT
enter input filename wi78100237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.0366 metres
Water Level Trend = 0.00137 m/s
Sigma = 1.173 metres

Number of Waves = 41
Significant Wave Height = 3.7825 metres
Maximum Wave Height = 3.8482 metres
Average Wave Height = 3.6571 metres
rms Wave Height = 3.6883 metres
Average of Highest 1/10 = 3.8048 metres
Sigmaz = 1.5076 metres

INPUT
enter input filename wi78100189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -2.9071 metres
Water Level Trend = 0.00091 m/s
Sigma = 1.219 metres

Number of Waves = 45
Significant Wave Height = 3.7959 metres
Maximum Wave Height = 3.8326 metres
Average Wave Height = 3.7581 metres
rms Wave Height = 3.7583 metres
Average of Highest 1/10 = 3.8233 metres
Sigmaz = 0.5788 metres

INPUT
enter input filename wi788532.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.0822 metres
Water Level Trend = -0.00252 m/s
Sigma = 0.914 metres

Number of Waves = 24
Significant Wave Height = 3.1541 metres
Maximum Wave Height = 3.2296 metres
Average Wave Height = 2.8031 metres
rms Wave Height = 2.8935 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2090 metres
Sigmaz = 1.2092 metres

INPUT
enter input filename wi7885237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -2.9943 metres
Water Level Trend = 0.00019 m/s
Sigma = 0.978 metres

Number of Waves = 35
Significant Wave Height = 3.2988 metres
Maximum Wave Height = 3.5080 metres
Average Wave Height = 3.2201 metres
rms Wave Height = 3.2216 metres
Average of Highest 1/10 = 3.3844 metres
Sigmaz = 0.4303 metres

INPUT
enter input filename wi7885189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -2.9254 metres
Water Level Trend = -0.00267 m/s
Sigma = 1.031 metres

Number of Waves = 48
Significant Wave Height = 3.3088 metres
Maximum Wave Height = 3.3688 metres
Average Wave Height = 3.2774 metres
rms Wave Height = 3.2776 metres
Average of Highest 1/10 = 3.3199 metres
Sigmaz = 0.6210 metres

KETERANGAN : wi7810032 wi
Wi = gelomb. Datang; 78 = berat batu 7,8 gram; 100 = tinggi gelombang 10 cm; 32 = periode 3,2 sekon

INPUT
enter input filename wi787032.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.1368 metres
Water Level Trend = -0.00293 m/s
Sigma = 0.739 metres

Number of Waves = 31
Significant Wave Height = 2.4093 metres
Maximum Wave Height = 2.5034 metres
Average Wave Height = 1.7137 metres
rms Wave Height = 1.9200 metres
Average of Highest 1/10 = 2.4725 metres
Sigmaz = 0.3975 metres

INPUT
enter input filename wi7870237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -2.9961 metres
Water Level Trend = 0.00079 m/s
Sigma = 0.825 metres

Number of Waves = 34
Significant Wave Height = 2.6311 metres
Maximum Wave Height = 2.7045 metres
Average Wave Height = 2.5986 metres
rms Wave Height = 2.5988 metres
Average of Highest 1/10 = 2.6658 metres
Sigmaz = 0.2898 metres

INPUT
enter input filename wi7870189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -2.7428 metres
Water Level Trend = -0.00203 m/s
Sigma = 0.930 metres

Number of Waves = 37
Significant Wave Height = 3.0323 metres
Maximum Wave Height = 3.0597 metres
Average Wave Height = 2.9774 metres
rms Wave Height = 2.9777 metres
Average of Highest 1/10 = 3.0504 metres
Sigmaz = 0.3636 metres

INPUT
enter input filename wi610032.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.3868 metres
Water Level Trend = -0.00048 m/s
Sigma = 1.136 metres

Number of Waves = 23
Significant Wave Height = 3.8981 metres
Maximum Wave Height = 3.9713 metres
Average Wave Height = 3.6467 metres
rms Wave Height = 3.7081 metres
Average of Highest 1/10 = 3.9455 metres
Sigmaz = 1.4533 metres

INPUT
enter input filename wi6100237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.0025 metres
Water Level Trend = 0.00073 m/s
Sigma = 1.153 metres

Number of Waves = 35
Significant Wave Height = 3.7696 metres
Maximum Wave Height = 3.7708 metres
Average Wave Height = 3.7322 metres
rms Wave Height = 3.7324 metres
Average of Highest 1/10 = 3.7708 metres
Sigmaz = 0.9662 metres

INPUT
enter input filename wi6100189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.0025 metres
Water Level Trend = 0.00073 m/s
Sigma = 1.153 metres

Number of Waves = 35
Significant Wave Height = 3.7696 metres
Maximum Wave Height = 3.7708 metres
Average Wave Height = 3.7322 metres
rms Wave Height = 3.7324 metres
Average of Highest 1/10 = 3.7708 metres
Sigmaz = 0.9662 metres

INPUT
enter input filename wi68532.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.2686 metres
Water Level Trend = -0.00310 m/s
Sigma = 0.932 metres

Number of Waves = 27
Significant Wave Height = 3.2961 metres
Maximum Wave Height = 3.4305 metres
Average Wave Height = 2.6138 metres
rms Wave Height = 2.8143 metres
Average of Highest 1/10 = 3.3687 metres
Sigmaz = 0.8992 metres

INPUT
enter input filename wi685189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.4481 metres
Water Level Trend = 0.00080 m/s
Sigma = 1.040 metres

Number of Waves = 44
Significant Wave Height = 3.3844 metres
Maximum Wave Height = 3.4307 metres
Average Wave Height = 3.3598 metres
rms Wave Height = 3.3599 metres
Average of Highest 1/10 = 3.4091 metres
Sigmaz = 0.4583 metres

INPUT
enter input filename wi670237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.0668 metres
Water Level Trend = -0.00200 m/s
Sigma = 0.822 metres

Number of Waves = 34
Significant Wave Height = 2.6527 metres
Maximum Wave Height = 2.7196 metres
Average Wave Height = 2.6219 metres
rms Wave Height = 2.6221 metres
Average of Highest 1/10 = 2.6810 metres
Sigmaz = 0.3056 metres

INPUT
enter input filename wi685237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.6408 metres
Water Level Trend = 0.00413 m/s
Sigma = 1.038 metres

Number of Waves = 39
Significant Wave Height = 3.3791 metres
Maximum Wave Height = 3.4002 metres
Average Wave Height = 3.3461 metres
rms Wave Height = 3.3463 metres
Average of Highest 1/10 = 3.3970 metres
Sigmaz = 0.5445 metres

INPUT
enter input filename wi67032.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.2416 metres
Water Level Trend = -0.00291 m/s
Sigma = 0.760 metres

Number of Waves = 31
Significant Wave Height = 2.4837 metres
Maximum Wave Height = 2.6116 metres
Average Wave Height = 1.7568 metres
rms Wave Height = 1.9746 metres
Average of Highest 1/10 = 2.5420 metres
Sigmaz = 0.4390 metres

INPUT
enter input filename wi670189.dat
Basic Output
Mean Water Level = 0.1694 metres
Water Level Trend = 0.00009 m/s
Sigma = 0.812 metres

Number of Waves = 50
Significant Wave Height = 2.6889 metres
Maximum Wave Height = 2.7970 metres
Average Wave Height = 2.4463 metres
rms Wave Height = 2.5202 metres
Average of Highest 1/10 = 2.7147 metres
Sigmaz = 0.9547 metres

Elevasi 0 cm (model)

INPUT
enter input filename wi410032.dat
Basic Output
Mean Water Level = 0.1016 metres
Water Level Trend = -0.00683 m/s
Sigma = 0.943 metres

Number of Waves = 35
Significant Wave Height = 3.1340 metres
Maximum Wave Height = 3.2609 metres
Average Wave Height = 2.3712 metres
rms Wave Height = 2.5952 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2108 metres
Sigmaz = 0.6744 metres

INPUT
enter input filename wi4100189.dat
Basic Output
Mean Water Level = 0.1023 metres
Water Level Trend = -0.00274 m/s
Sigma = 1.235 metres

Number of Waves = 41
Significant Wave Height = 3.9693 metres
Maximum Wave Height = 4.0795 metres
Average Wave Height = 3.9156 metres
rms Wave Height = 3.9160 metres
Average of Highest 1/10 = 4.0024 metres
Sigmaz = 0.5208 metres

INPUT
enter input filename wi485237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.0937 metres
Water Level Trend = 0.00092 m/s
Sigma = 0.995 metres

Number of Waves = 41
Significant Wave Height = 3.2484 metres
Maximum Wave Height = 3.2763 metres
Average Wave Height = 3.1421 metres
rms Wave Height = 3.1685 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2577 metres
Sigmaz = 1.8426 metres

INPUT
enter input filename wi4100237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.0473 metres
Water Level Trend = 0.00036 m/s
Sigma = 1.158 metres

Number of Waves = 40
Significant Wave Height = 3.8558 metres
Maximum Wave Height = 3.9099 metres
Average Wave Height = 3.8187 metres
rms Wave Height = 3.8189 metres
Average of Highest 1/10 = 3.8759 metres
Sigmaz = 0.5906 metres

INPUT
enter input filename wi48532 dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.3448 metres
Water Level Trend = -0.00058 m/s
Sigma = 0.934 metres

Number of Waves = 28
Significant Wave Height = 3.1711 metres
Maximum Wave Height = 3.2453 metres
Average Wave Height = 2.4693 metres
rms Wave Height = 2.6801 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2144 metres
Sigmaz = 0.6341 metres

INPUT
enter input filename wi485189.dat
Basic Output
Mean Water Level = 0.1107 metres
Water Level Trend = -0.00041 m/s
Sigma = 1.018 metres

Number of Waves = 42
Significant Wave Height = 3.2597 metres
Maximum Wave Height = 3.3225 metres
Average Wave Height = 3.2313 metres
rms Wave Height = 3.2315 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2855 metres
Sigmaz = 0.3730 metres

INPUT
enter input filename wi47032.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.3544 metres
Water Level Trend = 0.00131 m/s
Sigma = 0.738 metres

Number of Waves = 37
Significant Wave Height = 2.53013 metres
Maximum Wave Height = 2.5653 metres
Average Wave Height = 1.4453 metres
rms Wave Height = 1.7256 metres
Average of Highest 1/10 = 2.5066 metres
Sigmaz = 0.3428 metres

INPUT
enter input filename wi470189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.0566 metres
Water Level Trend = -0.00042 m/s
Sigma = 0.807 metres

Number of Waves = 45
Significant Wave Height = 2.6590 metres
Maximum Wave Height = 2.6889 metres
Average Wave Height = 2.5750 metres
rms Wave Height = 2.5958 metres
Average of Highest 1/10 = 2.6734 metres
Sigmaz = 1.1147 metres

INPUT
enter input filename wi470237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.1685 metres
Water Level Trend = -0.00060 m/s
Sigma = 0.827 metres

Number of Waves = 38
Significant Wave Height = 2.6913 metres
Maximum Wave Height = 2.7353 metres
Average Wave Height = 2.4396 metres
rms Wave Height = 2.5116 metres
Average of Highest 1/10 = 2.7137 metres
Sigmaz = 0.8853 metres

Elevasi –2,5 cm

Elevasi –2,5 cm

INPUT
enter input filename wi7810032.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.1210 metres
Water Level Trend = 0.00001 m/s
Sigma = 1.128 metres

Number of Waves = 24
Significant Wave Height = 3.9021 metres
Maximum Wave Height = 4.0953 metres
Average Wave Height = 3.6069 metres
rms Wave Height = 3.7229 metres
Average of Highest 1/10 = 3.91498 metres
Sigmaz = 1.5095 metres

INPUT
enter input filename wi78100237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.2794 metres
Water Level Trend = 0.00560 m/s
Sigma = 1.151 metres

Number of Waves = 46
Significant Wave Height = 3.9001 metres
Maximum Wave Height = 3.9561 metres
Average Wave Height = 3.8591 metres
rms Wave Height = 3.8593 metres
Average of Highest 1/10 = 3.9150 metres
Sigmaz = 0.5512 metres

INPUT
enter input filename wi78100189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.1219 metres
Water Level Trend = 0.00029 m/s
Sigma = 1.190 metres

Number of Waves = 49
Significant Wave Height = 3.8635 metres
Maximum Wave Height = 3.8635 metres
Average Wave Height = 3.8471 metres
rms Wave Height = 3.8472 metres
Average of Highest 1/10 = 3.8635 metres
Sigmaz = 0.8230 metres

INPUT
enter input filename wi788532.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.0822 metres
Water Level Trend = -0.00025 m/s
Sigma = 0.914 metres

Number of Waves = 24
Significant Wave Height = 3.1541 metres
Maximum Wave Height = 3.2296 metres
Average Wave Height = 2.8031 metres
rms Wave Height = 2.8935 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2090 metres
Sigmaz = 1.2092 metres

INPUT
enter input filename wi7885237.dat
Basic Output
Mean Water Level = 0.0857 metres
Water Level Trend = -0.00068 m/s
Sigma = 0.996 metres

Number of Waves = 39
Significant Wave Height = 3.2718 metres
Maximum Wave Height = 3.2916 metres
Average Wave Height = 3.2516 metres
rms Wave Height = 3.2517 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2916 metres
Sigmaz = 0.2301 metres

INPUT
enter input filename wi7885189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.2119 metres
Water Level Trend = -0.00042 m/s
Sigma = 0.951 metres

Number of Waves = 45
Significant Wave Height = 3.2791 metres
Maximum Wave Height = 3.2916 metres
Average Wave Height = 3.1213 metres
rms Wave Height = 3.1715 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2855 metres
Sigmaz = 1.3427 metres

INPUT
enter input filename wi787032.dat
Basic Output

Mean Water Level = -0.1368 metres
Water Level Trend = -0.00029 m/s
Sigma = 0.739 metres
Number of Waves = 31
Significant Wave Height = 2.4093 metres
Maximum Wave Height = 2.5034 metres
Average Wave Height = 1.7137 metres
rms Wave Height = 1.9200 metres
Average of Highest 1/10 = 2.4725 metres
Sigmaz = 0.3975 metres

INPUT
enter input filename wi7870189.dat
Basic Output

Mean Water Level = -0.1649 metres
Water Level Trend = 0.00024 m/s
Sigma = 0.806 metres
Number of Waves = 50
Significant Wave Height = 2.6821 metres
Maximum Wave Height = 2.7045 metres
Average Wave Height = 2.6540 metres
rms Wave Height = 2.6542 metres
Average of Highest 1/10 = 2.6967 metres
Sigmaz = 0.5863 metres

INPUT
enter input filename wi6100237.dat
Basic Output

Mean Water Level = 0.1044 metres
Water Level Trend = 0.00009 m/s
Sigma = 1.136 metres
Number of Waves = 38
Significant Wave Height = 3.9263 metres
Maximum Wave Height = 3.9407 metres
Average Wave Height = 3.8955 metres
rms Wave Height = 3.8957 metres
Average of Highest 1/10 = 3.9283 metres
Sigmaz = 0.7780 metres

INPUT
enter input filename wi7870237.dat
Basic Output

Mean Water Level = -0.0830 metres
Water Level Trend = 0.00023 m/s
Sigma = 0.797 metres
Number of Waves = 39
Significant Wave Height = 2.6757 metres
Maximum Wave Height = 2.6889 metres
Average Wave Height = 2.5170 metres
rms Wave Height = 2.5623 metres
Average of Highest 1/10 = 2.6889 metres
Sigmaz = 1.2853 metres

INPUT
enter input filename wi610032.dat
Basic Output

Mean Water Level = -0.4278 metres
Water Level Trend = -0.00093 m/s
Sigma = 1.028 metres
Number of Waves = 20
Significant Wave Height = 3.9089 metres
Maximum Wave Height = 3.9089 metres
Average Wave Height = 3.8936 metres
rms Wave Height = 3.8937 metres
Average of Highest 1/10 = 3.9089 metres
Sigmaz = 0.4135 metres

INPUT
enter input filename wi6100189.dat
Basic Output

Mean Water Level = -0.3398 metres
Water Level Trend = -0.00020 m/s
Sigma = 1.179 metres
Number of Waves = 50
Significant Wave Height = 3.8960 metres
Maximum Wave Height = 3.9252 metres
Average Wave Height = 3.8671 metres
rms Wave Height = 3.8672 metres
Average of Highest 1/10 = 3.9097 metres
Sigmaz = 0.4385 metres

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH – NOPEMBER

Elevasi – 5 cm

INPUT
enter input filename wi68532.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.3448 metres
Water Level Trend = -0.00006 m/s
Sigma = 0.934 metres

Number of Waves = 28
Significant Wave Height = 3.1711 metres
Maximum Wave Height = 3.2453 metres
Average Wave Height = 2.4693 metres
rms Wave Height = 2.6801 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2144 metres
Sigmaz = 0.6341 metres

INPUT
enter input filename wi685189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.1183 metres
Water Level Trend = 0.00080 m/s
Sigma = 0.951 metres

Number of Waves = 54
Significant Wave Height = 3.2827 metres
Maximum Wave Height = 3.3844 metres
Average Wave Height = 3.1550 metres
rms Wave Height = 3.1771 metres
Average of Highest 1/10 = 3.3123 metres
Sigmaz = 2.1977 metres

INPUT
enter input filename wi670237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.1225 metres
Water Level Trend = 0.00101 m/s
Sigma = 0.817 metres

Number of Waves = 47
Significant Wave Height = 2.6862 metres
Maximum Wave Height = 2.7354 metres
Average Wave Height = 2.6544 metres
rms Wave Height = 2.6546 metres
Average of Highest 1/10 = 2.7045 metres
Sigmaz = 0.2778 metres

INPUT
enter input filename wi685237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.1072 metres
Water Level Trend = 0.00531 m/s
Sigma = 1.003 metres

Number of Waves = 37
Significant Wave Height = 3.2660 metres
Maximum Wave Height = 3.3229 metres
Average Wave Height = 3.2501 metres
rms Wave Height = 3.2501 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2889 metres
Sigmaz = 0.3034 metres

INPUT
enter input filename wi67032.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.2237 metres
Water Level Trend = -0.00095 m/s
Sigma = 0.762 metres

Number of Waves = 17
Significant Wave Height = 2.4692 metres
Maximum Wave Height = 2.5493 metres
Average Wave Height = 1.7159 metres
rms Wave Height = 1.9500 metres
Average of Highest 1/10 = 2.5133 metres
Sigmaz = 0.4262 metres

INPUT
enter input filename wi670189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.2133 metres
Water Level Trend = 0.00131 m/s
Sigma = 0.873 metres

Number of Waves = 35
Significant Wave Height = 2.6939 metres
Maximum Wave Height = 2.7046 metres
Average Wave Height = 2.6697 metres
rms Wave Height = 2.6698 metres
Average of Highest 1/10 = 2.7046 metres
Sigmaz = 0.3787 metres

INPUT
enter input filename wi410032.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.2195 metres
Water Level Trend = -0.00019 m/s
Sigma = 1.125 metres

Number of Waves = 17
Significant Wave Height = 4.0001 metres
Maximum Wave Height = 4.1260 metres
Average Wave Height = 3.2507 metres
rms Wave Height = 3.4798 metres
Average of Highest 1/10 = 4.0590 metres
Sigmaz = 0.8246 metres

INPUT
enter input filename wi4100189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.5850 metres
Water Level Trend = -0.00104 m/s
Sigma = 1.158 metres

Number of Waves = 35
Significant Wave Height = 3.8681 metres
Maximum Wave Height = 3.9097 metres
Average Wave Height = 3.8439 metres
rms Wave Height = 3.8440 metres
Average of Highest 1/10 = 3.8865 metres
Sigmaz = 0.3608 metres

INPUT
enter input filename wi485237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.0781 metres
Water Level Trend = -0.00005 m/s
Sigma = 1.009 metres

Number of Waves = 37
Significant Wave Height = 3.2726 metres
Maximum Wave Height = 3.3071 metres
Average Wave Height = 3.2524 metres
rms Wave Height = 3.2525 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2916 metres
Sigmaz = 0.3632 metres

INPUT
enter input filename wi4100237.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.1775 metres
Water Level Trend = -0.00350 m/s
Sigma = 1.126 metres

Number of Waves = 32
Significant Wave Height = 3.8992 metres
Maximum Wave Height = 3.9250 metres
Average Wave Height = 3.6252 metres
rms Wave Height = 3.7090 metres
Average of Highest 1/10 = 3.9211 metres
Sigmaz = 1.3662 metres

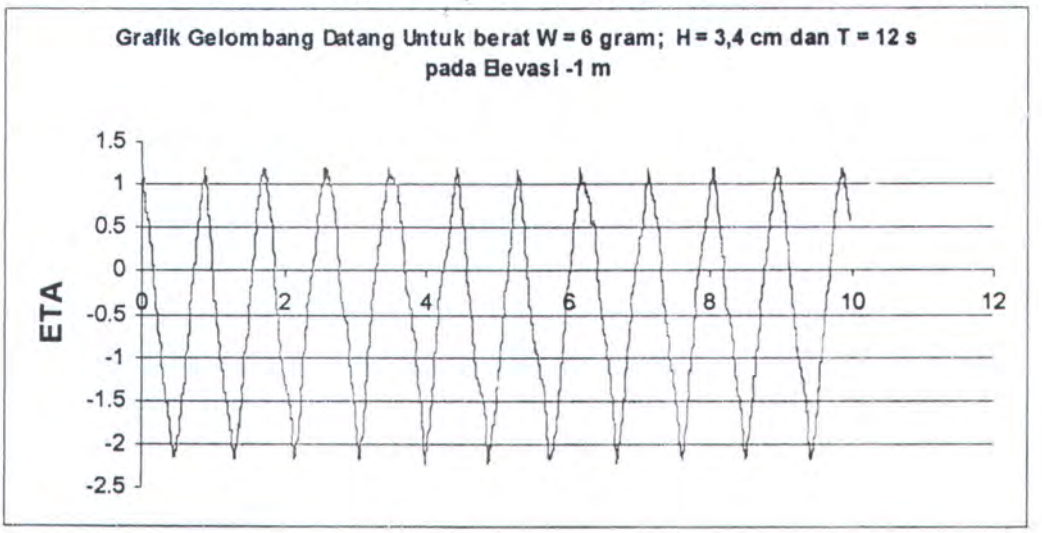
INPUT
enter input filename wi48532.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.3544 metres
Water Level Trend = 0.00013 m/s
Sigma = 0.738 metres

Number of Waves = 37
Significant Wave Height = 2.4013 metres
Maximum Wave Height = 2.5653 metres
Average Wave Height = 1.4453 metres
rms Wave Height = 1.7256 metres
Average of Highest 1/10 = 2.5066 metres
Sigmaz = 0.3428 metres

INPUT
enter input filename wi485189.dat
Basic Output
Mean Water Level = -0.3143 metres
Water Level Trend = 0.00394 m/s
Sigma = 0.992 metres

Number of Waves = 45
Significant Wave Height = 3.2589 metres
Maximum Wave Height = 3.2764 metres
Average Wave Height = 3.1745 metres
rms Wave Height = 3.2000 metres
Average of Highest 1/10 = 3.2763 metres
Sigmaz = 1.9086 metres

Perhitungan Kalibrasi dengan Matlab



Program WAVAN

Wave Analysis

INPUT
enter input filename wi685189.dat
Enter Number of Columns in Input File: 2
Enter No. of Points (Multiple of 8): 4000
Do you want plots? - Yes=1, No=0: 1
Remove Mean (1) or Trend (2)?: 2
Enter Desired Resolution, M: 4

Enter Number of Bins for Histogram: 4
Basic Output

Mean Water Level = -0.4481 metres
Water Level Trend = 0.00080 m/s
Sigma = 1.040 metres
Wave Statistics

Up-Crossing (1), Down-Crossing (2) or Average (3)?:
3

Number of Waves = 44
Average Wave Period = 0.9091 seconds
Significant Wave Height = 3.2434 metres
Maximum Wave Height = 3.4307 metres
Average Wave Height = 3.3598 metres
rms Wave Height = 3.3599 metres
Average of Highest 1/10 = 3.4091 metres
Sigmaz = 0.4583 metres

Dengan diketahuinya tinggi signifikan dari program wavan maka, untuk tiap –tiap tinggi rencana yang di input maka tinggi dari grafik ETA yang merupakan tinggi yang di baca wave probe.

Pada 6 gr T = 1,89 s E 2,5

4	3.86
3.4	3.21
2.8	2.68
1.6	1.56

Pada 6 gr T = 1,89 s E 0

4	3.78
3.4	3.14
2.8	2.7
1.6	1.58

Pada 6 gr T = 1,89 s E -2,5

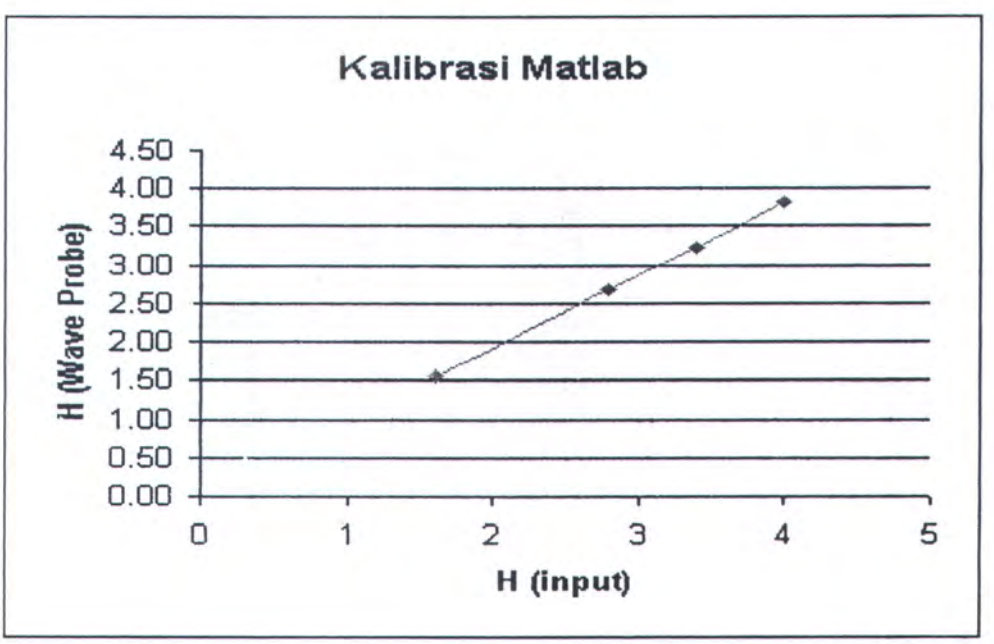
4	3.76
3.4	3.24
2.8	2.68
1.6	1.56

Pada 6 gr T = 1,89 s E -5

4	3.89
3.4	3.28
2.8	2.69
1.6	1.54

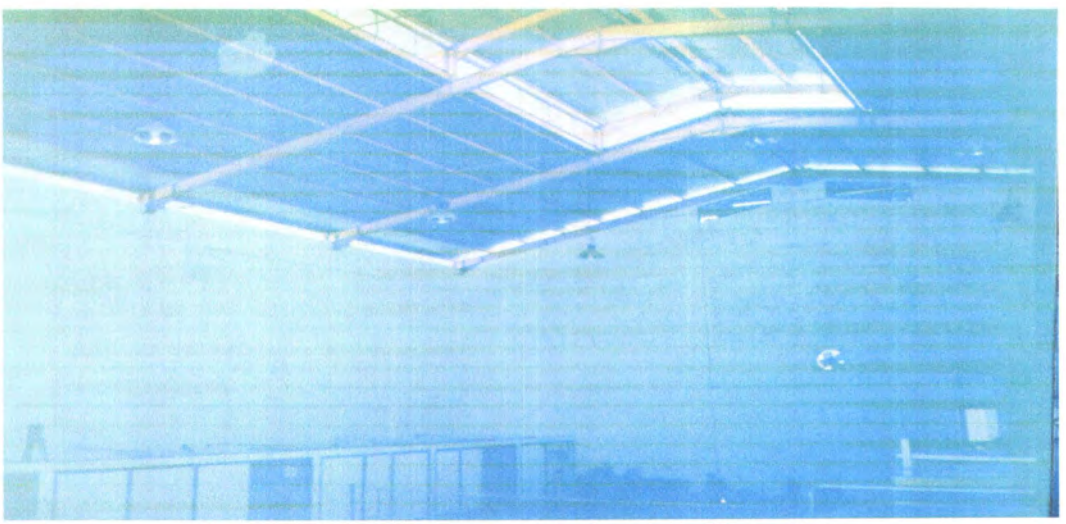
Hasil Kalibrasi

4	3.82
3.4	3.22
2.8	2.69
1.6	1.56



V. Gambar Percobaan di Labolatorium *Wave Flume*

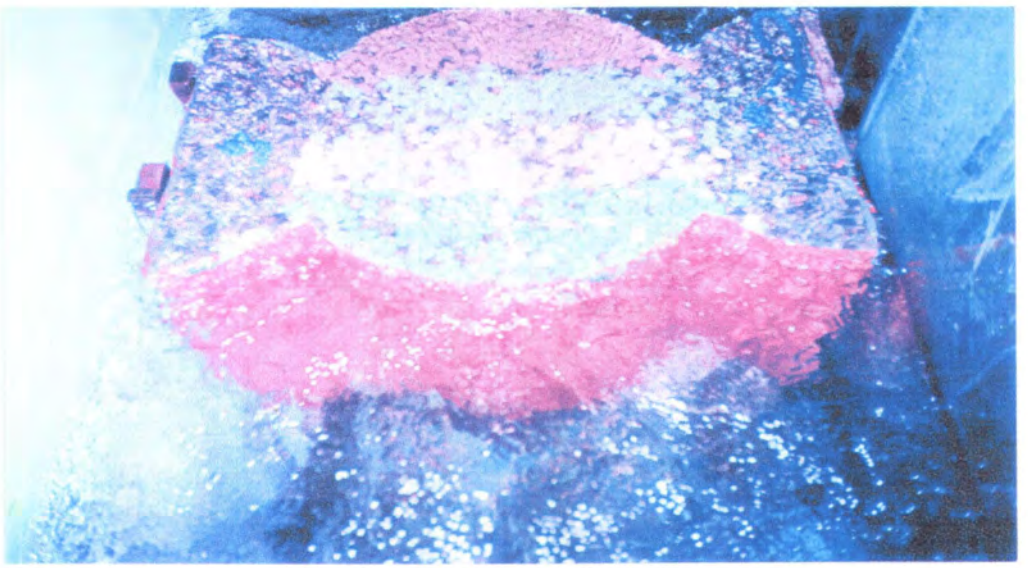
Gambar 43 Lokasi Wave Flume dari depan Jurusan Teknik Kelautan



Gambar 44 kondisi ruang labolatorium Wave Flume

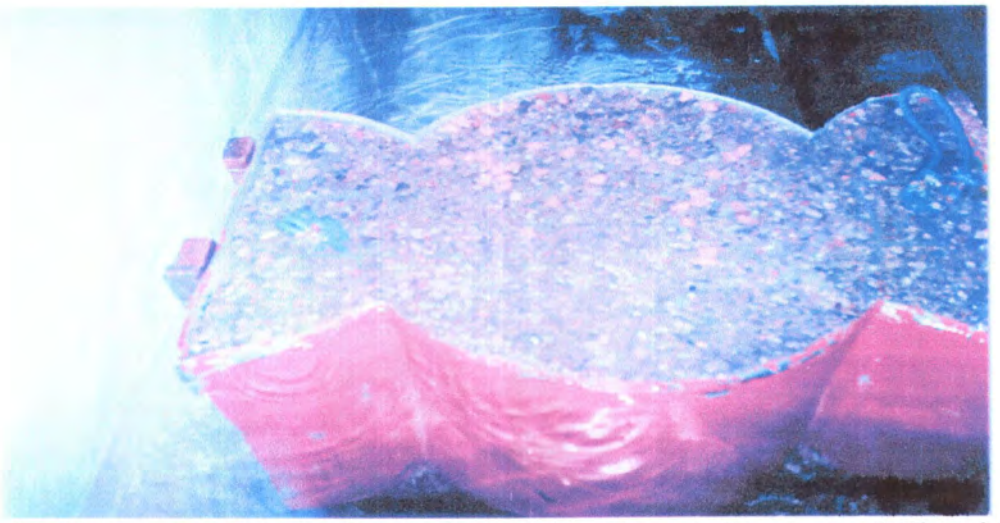
Gambar 45 Ruang Kerja Labolatorium *Wave Flume* Tampak Samping

Gambar 46 Batu Pecah



Gambar 47 *Running* Gelombang

Gambar 48 Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,82 m dan T = 15 m pada Elevasi 0 m



Gambar 49 Kerusakan Batu Pecah pada H = 3,82 ;T = 12 s pada W = 4 gram & Elevasi 0 m

Gambar 50 Kerusakan batu pecah pada H = 3,21 m; T = 20 s; W = 384 kg pada elevasi -1 m

Gambar 51 Pengambilan Batu Pecah yang jatuh/gagal

ASISTENSI TUGAS AKHIR

(KL. 1702)

Nama : Rony Dwi Cahyono.

NRP : 4399.100.026

Jurusan : Teknik Kelautan

Judul T.A. : *Pengaruh Panjang dan Periode Gelombang Terhadap Stabilitas Batu Pecah Pada Permukaan Cellular Cofferdam Akibat Gelombang Overtopping.*

Tanggal Mulai :

Tanggal Selesai :

Dosen Pembimbing I : DR. Haryo D.A. ST. MEng

Semester : X

Nomor	Kemajuan Tugas Akhir	Paraf
1	Tambahi dgn Analisa Diversi u/ Bab II. Lengkapi dgn gambar dan notasi.	
2	Perbaiki / Check lagi Analisa diversi, lanjutkan ke Bab Berikutnya.	
3	Lengkapi lagi dengan grafik hubungan kecepatan dan tgi gelombang (H), dan Berat Batu (W)	
4	Lanjutkan dan dalam hub Berat Batu W/eg#3 dgn parameter yg lain	
5	Persiapkan bahan/materi u/ seminar Mhs.	
6		
7		
8		
9		

ASISTENSI TUGAS AKHIR

(KL. 1702)

Nama : Rony Dwi Cahyono.

NRP : 4399.100.026

Jurusan : Teknik Kelautan

Judul T.A. : *Pengaruh Panjang dan Periode Gelombang Terhadap Stabilitas Batu Pecah Pada Permukaan Cellular Cofferdam Akibat Gelombang Overtopping.*

Tanggal Mulai :

Tanggal Selesai :

Dosen Pembimbing II : Sholihin ST.

Semester : X

Nomor	Kemajuan Tugas Akhir	Paraf
1	Bahasa asing di cetak miring, paragraf 7 digit merenggang, setiap persamaan diberi nomor	
2	Perbaiki sesuai coretan	
3	Buat analisa setiap grafik berdasarkan tujuan penelitian (titik tekan pembahasan)	
4	Sisa grafik lainya / bisa di lampirkan yg pendukung grafik yg di analisa	
5	- Kalibrasi di grafik yg memakai Mat Lab di lampirkan contoh perhitungan / rumus Eel. - Buat draft laporan final	
6	- Perbaiki grafik	
7		
8		
9		