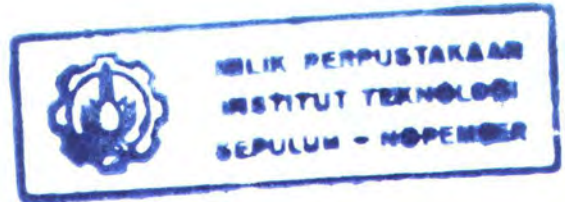


24389/1106



**TUGAS AKHIR**  
**(LL. 1327)**

**TRANSMISI GELOMBANG PADA STRUKTUR  
CELLULAR COFFERDAM  
DENGAN KONDISI OVERTOPPING**



RSKe  
627.24  
And  
t-1  
2005

**FUAD ANDRISAL**  
NRP 4399.100.007

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	31-8-2005
Terima Dari	f/
No. Agenda Exp.	223458

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2005**

## LEMBAR PENGESAHAN

# TRANSMISI GELOMBANG PADA STRUKTUR CELLULAR COFFERDAM DENGAN KONDISI OVERTOPPING



Nama : Fuad Andrisal  
NRP : 4399.100.007

Surabaya, Juli 2005  
Mengetahui / Menyetujui,

Pembimbing I

DR. Ir. Wahyudi, M.Sc.  
NIP : 131.842.502

Pembimbing II

Sholihin, ST.  
NIP : 132.276.193

Ketua Jurusan Teknik Kelautan



Ir. Imam Rochani, MSc.  
NIP : 131 417 209

## ABSTRAK

Fuad Andrisal

Pembimbing : DR.Ir.Wahyudi, M.Sc; Ir. Sholihin

Struktur pemecah gelombang merupakan jenis bangunan laut yang berfungsi untuk melindungi kawasan pelabuhan dari serangan gelombang setiap saat, sehingga memudahkan berbagai aktivitas di laut seperti bongkar muat. Bentuk struktur pemecah gelombang mempunyai beberapa jenis, salah satunya yaitu struktur cellular cofferdam yang merupakan rangkaian sheet pile yang saling mengunci dan membentuk rangkaian elemen yang di dalamnya berisi material tak kohesif dan batu lindung pada bagian atas. Percobaan ini mengenai nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) pada cellular cofferdam dengan kondisi overtopping. Data input gelombang regular yang dibangkitkan adalah 100; 85; 70; 40 mm, variasi periode gelombang 3.2; 2.37; 1.89; 0.79 detik, variasi berat batu pecah 7.8; 6.0; 4.0 gr. Untuk gelombang irregular menggunakan variasi spektra gelombang ISSC, ITTC, JONSWAP dengan  $T = 5$  detik serta P-M yang menggunakan kecepatan angin 1.58; 1.75; 2.0 m/det. Baik kondisi gelombang regular maupun gelombang irregular struktur divariasikan dengan tiga kondisi elevasi yaitu  $h = 1$  m;  $h = 0$  m;  $h = -1$  m. Pemodelan menggunakan kesebangunan geometrik sempurna dengan skala 1 : 40, dimensi model cellular cofferdam menggunakan lebar = 73 cm, tinggi = 53 cm, diameter cell = 50 cm. Pengukuran gelombang datang dan gelombang transmisi dilakukan dengan menggunakan sensor yang ditempatkan 2 m di depan dan belakang struktur. Hasil analisa percobaan adalah nilai  $K_t$  berada pada kisaran 0.057 sampai 0.936. Kesimpulan yang diperoleh yaitu pada gelombang regular nilai  $K_t$  besar dengan peningkatan periode. Pada gelombang irregular nilai  $K_t$  minimum pada spektra Jonswap. Pada kedua kondisi yaitu gelombang regular dan gelombang irregular nilai  $K_t$  besar dengan peningkatan tinggi gelombang, dan nilai  $K_t$  kecil pada kondisi elevasi  $h = 0$  m.

Kata kunci : koefisien transmisi; struktur breakwater cellular cofferdam

## ABSTRACT

Fuad Andrisal

Supervisor : Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc; Ir. Sholihin

Breakwater is one type of sea structure to protect harbour area from wave attack, it can easier to do activities on the sea such as load and discharge to a ship. Breakwater have some types, one of type is called cellular cofferdam. This structure connected between one sheet pile that interlocking each other to shape union connection cell, contents of this structure consists of non cohesive material and stones upside. This research about transmission coefficient on the cellular cofferdam with overtopping condition. Input data for regular wave are generated 100, 85, 70, 40 mm, use period variation 3.2; 2.37; 1.89; 0.79 sec, and use weight stones variation 7.8; 6.0; 4.0 gr. For irregular wave condition using spectra ISSC, ITTC, JONSWAP with period 5 second, when spectra P-M use wind speed 1.58; 1.75; 2.0 m/det Even regular and also irregular wave are conditioned with three elevation  $h = 1$  m;  $h = 0$  m;  $h = -1$  m. This model use 1:40 for scale and have dimension for width = 73 cm, height = 53 cm, diameter cell = 50 cm. Measurement of the test using 2 wave probes that have distance 2 m from front and back side of the structure. The final result of analysis have  $K_t$  range value 0.057 till 0.936. And the conclusion are for regular wave, transmission coefficient maximum while period greater. For irregular wave, transmission coefficient maximum on Jonswap spectra. And for both condition transmission coefficient high while wave height smaller, and transmission coefficient get small when elevation on  $h = 0$  m.

Keywords : Coefficient transmission; cellular cofferdam breakwater

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah*, segala puji bagi Allah, Tuhan semesta alam yang atas pertolongan rahmat serta hidayah-Nya akhirnya kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul "Transmisi Gelombang pada Struktur Cellular Cofferdam dengan Kondisi Overtopping". Shalawat serta salam semoga sanantiasa tercurahkan kepada Rasulullah, Muhammad saw beserta *ahlul baitnya*.

Penulisan tugas akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan program studi sarjana [ S-1 ] Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Kepada pihak-pihak yang telah berkontribusi dan memberikan bantuannya, penulis menyampaikan banyak terima kasih khususnya kepada :

1. Orang-orang tua penulis, *aunt* Dumijati dan *uncle* Kadir Djaelani yang telah banyak memberikan dukungan semangat dan *financial* kepada penulis.
2. Bapak Dr.Ir. Wahyudi, Msc ; Bapak Sholihin, ST ; Bapak Dr.Ir. Haryo Dwito Armono, Msc sebagai para dosen pembimbing yang telah memberikan banyak bantuan bimbingan dan pengarahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Arif Suroso, Msc sebagai Kepala Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut ( Flume Tank ).
4. Staf Laboratorium Flume Tank Mas Arief yang telah membantu operasional percobaan, staf Laboratorium Dinamika Struktur Pak Mudjiono yang telah membantu dalam pembuatan model *cellular cofferdam*, Pak Aries yang telah memberikan ijin penggunaan komputer untuk transfer data.
5. Rony Dwi Cahyono dan Fery Setiawan sebagai komponen satu tim penelitian percobaan *cellular cofferdam* yang giat dan *helpful*.
6. Seluruh Bapak dosen pengajar beserta staf jurusan Teknik Kelautan ITS Surabaya
7. Yudistira Wijaya yang telah membantu masalah komputer, semoga dengan sabar kesulitan demi kesulitan dapat teratasi.
8. Serta tidak lupa untuk kawan-kawan khususnya angkatan 1999, senior dan junior Jurusan Teknik Kelautan ITS Surabaya yang penuh dengan cerita duka dan tawa.

Penulisan tugas akhir ini tentu tidaklah sempurna, oleh karena itu adanya saran yang membangun untuk perbaikan selanjutnya sangat diharapkan. Akhirnya dengan mengucapkan rasa syukur ke Hadirat Yang Maha Kuasa, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan mudah-mudahan Allah SWT senantiasa memberikan petunjuk-Nya bagi kita yang selalu berusaha mendekat kepada-Nya. Amin.

Surabaya, Juli 2005

Penulis

## DAFTAR ISI

Abstrak	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iv
Daftar Tabel	vii
Datar Gambar	ix
Daftar Notasi	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penulisan	3
1.4 Manfaat Penulisan	4
1.5 Batasan Masalah	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	9
2.3 Gelombang Pecah	10
2.4 Teori Gelombang Amplitudo Kecil	11
2.5 Energi dan Tenaga Gelombang	13
2.6 Karakteristik Gelombang Laut	15
2.7 Refleksi Gelombang	17
2.8 Transmisi Gelombang	20

2.9	Spektra Gelombang	21
2.10	Spektra Gelombang ISSC	22
2.11	Spektra Gelombang Pierson-Moskowitz	23
2.12	Spektra Gelombang ITTC	24
2.13	Spektra Gelombang JONSWAP	24
2.14	Pengertian Model Fisik	25
2.15	Sebangun Geometrik	25
2.16	Sebangun Kinematik	26
2.17	Sebangun Dinamik	27

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Studi Literatur	30
3.2	Laboratorium Tempat Percobaan	30
3.3	Persiapan Bahan Percobaan, Alat dan Pemodelan	34
3.4	Kalibrasi Alat Percobaan	37
3.5	Pembuatan Model	38
3.6	Proses Running Gelombang	40
3.7	Pencatatan Hasil Running	41
3.8	Analisa Hasil Percobaan	42

### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Analisa	43
4.2	Analisa Koefisien Transmisi untuk Gelombang Reguler	45
4.3	Grafik Analisa untuk Gelombang Irreguler	53

## **BAB V PENUTUP**

5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran	61

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1 Persamaan-persamaan gelombang linier Airy
- Tabel 2.2 Koefisien refleksi pada beberapa tipe bangunan hasil tes model
- Tabel 4.1 Variasi puncak elevasi ( *overtopping* ) *breakwater cellular cofferdam*
- Tabel 4.2 Variasi berat batu pecah yang digunakan pada *breakwater cellular cofferdam*
- Tabel 4.3 Variasi periode gelombang yang digunakan untuk bangkitan gelombang datang pada tes *breakwater cellular cofferdam*
- Tabel 4.4 Data tinggi gelombang hasil kalibrasi
- Tabel 4.5 Nilai  $K_t$  untuk periode  $T$  dan elevasi ( *overtopping\_h* ) yang berbeda, pada  $H = 3.82$  m,  $n = 43$  %
- Tabel 4.6 Nilai  $K_t$  untuk periode  $T$  dan elevasi ( *overtopping\_h* ) yang berbeda, pada  $H = 3.23$  m,  $n = 43$  %
- Tabel 4.7 Nilai  $K_t$  untuk periode  $T$  dan elevasi ( *overtopping\_h* ) yang berbeda, pada  $H = 2.66$  m,  $n = 43$  %
- Tabel 4.8 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $h$  yang berbeda, pada  $H = 3.23$  m ;  $n = 44$  %
- Tabel 4.9 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $h$  yang berbeda, pada  $H = 3.82$  m ;  $n = 46$  %
- Tabel 4.10 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $H$  yang berbeda, pada  $h = 1$  m ;  $n = 46$  %
- Tabel 4.11 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $H$  yang berbeda, pada  $h = 0$  m ;  $n = 43$  %
- Tabel 4.12 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $H$  yang berbeda, pada  $h = -1$  m ;  $n = 44$  %
- Tabel 4.13 Nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dan persen kegagalan batu pecah ( %  $D$  ) untuk periode (  $T$  ) dan tinggi gelombang (  $H$  ) yang berbeda, pada  $h = 0$  m ;  $n = 43$  %
- Tabel 4.14 Nilai  $K_t$  untuk tinggi gelombang datang (  $H_i$  ) dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $h = 1$  m ;  $n = 43$  %
- Tabel 4.15 Nilai  $K_t$  untuk tinggi gelombang datang (  $H_i$  ) dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $h = 1$  m ;  $n = 44$  %
- Tabel 4.16 Nilai  $K_t$  untuk tinggi gelombang datang (  $H_i$  ) dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $h = 1$  m ;  $n = 46$  %
- Tabel 4.17 Nilai  $K_t$  untuk elevasi puncak relatif  $h/H$  dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $H = 1.52$  m ;  $n = 43$  %

- Tabel 4.18 Nilai  $K_t$  untuk elevasi puncak relatif  $h / H$  dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $H = 3.82 \text{ m}$  ;  $n = 44 \%$
- Tabel 4.19 Nilai  $K_t$  untuk elevasi puncak relatif  $h / H$  dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $H = 1.52 \text{ m}$  ;  $n = 46 \%$
- Tabel 4.20 Nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dan persen kegagalan batu pecah (  $\% D$  ) untuk tinggi gelombang (  $H_i$  ) dan spektra gelombang  $S(\omega)$  yang berbeda, pada  $h = 0 \text{ m}$  ;  $n = 44 \%$



## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Kondisi gelombang melimpas ( *overtopping* ) pada *breakwater*
- Gambar 2.2 Contoh *breakwater* sisi tegak monolit
- Gambar 2.3 Faktor penting pada pembangkitan gelombang
- Gambar 2.4 Notasi untuk teori gelombang Airy
- Gambar 2.5 Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi, dan dalam
- Gambar 2.6 Penurunan energi gelombang
- Gambar 2.7 Contoh data *time series* sampel rekaman gelombang acak
- Gambar 2.8 Definisi pengukuran parameter sampel gelombang acak
- Gambar 2.9 Gelombang berdiri
- Gambar 2.10 Transmisi gelombang
- Gambar 3.1 Diagram alir pada penelitian struktur *cellular cofferdam*
- Gambar 3.2 Laboratorium *flume tank*
- Gambar 3.3 Piston pembangkit gelombang
- Gambar 3.4 Piranti komputer pendukung pembangkit gelombang
- Gambar 3.5 Model batu pecah yang digunakan pada *cellular cofferdam*
- Gambar 3.6 Pembagian kolam untuk membuat model struktur kedap
- Gambar 3.7 Pemasangan dua sensor pencatat tinggi dan periode gelombang
- Gambar 3.8 Grafik kalibrasi *time series* alat ukur ( *wave probe* )
- Gambar 3.9 Pembacaan grafik hasil kalibrasi alat ukur
- Gambar 3.10 Model *cellular cofferdam* tampak dari atas
- Gambar 3.11 Model *cellular cofferdam* tampak dari depan dan belakang
- Gambar 3.12 Model *cellular cofferdam* tes dengan pembagian pias batu pecah tampak dari depan
- Gambar 3.13 Program *wave control*
- Gambar 3.14 Tampilan proses running gelombang pada program *Data record* dalam melakukan pencatatan tinggi dan periode gelombang
- Gambar 3.15 Bentuk penyimpanan data *running* gelombang
- Gambar 3.16 Program REFANA ( *Refraction Analysis* )
- Gambar 4.1 Grafik kalibrasi hubungan antara  $H$  input dan  $H$  prototip
- Gambar 4.2 Nilai  $K_t$  untuk periode  $T$  dan elevasi ( *overtopping\_h* ) yang berbeda, pada  $H = 3.82$  m,  $n = 43$  %

- Gambar 4.3 Nilai  $K_t$  untuk periode  $T$  dan elevasi (  $overtopping\_h$  ) yang berbeda, pada  $H = 3.23$  m,  $n = 43$  %
- Gambar 4.4 Nilai  $K_t$  untuk periode  $T$  dan elevasi (  $overtopping\_h$  ) yang berbeda, pada  $H = 2.66$  m,  $n = 43$  %
- Gambar 4.5 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $h$  yang berbeda, pada  $H = 3.23$  m ;  $n = 44$  %
- Gambar 4.6 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $h$  yang berbeda, pada  $H = 3.82$  m ;  $n = 46$  %
- Gambar 4.7 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $H$  yang berbeda, pada  $h = 1$  m ;  $n = 46$  %
- Gambar 4.8 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $H$  yang berbeda, pada  $h = 0$  m ;  $n = 43$  %
- Gambar 4.9 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $H$  yang berbeda, pada  $h = -1$  m ;  $n = 44$  %
- Gambar 4.10 Nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dan persen kegagalan batu pecah ( %  $D$  ) untuk periode (  $T$  ) dan tinggi gelombang (  $H$  ) yang berbeda, pada  $h = 0$  m ;  $n = 43$  %
- Gambar 4.11 Nilai  $K_t$  untuk tinggi gelombang datang (  $H_i$  ) dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $h = 1$  m ;  $n = 43$  %
- Gambar 4.12 Nilai  $K_t$  untuk tinggi gelombang datang (  $H_i$  ) dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $h = 1$  m ;  $n = 44$  %
- Gambar 4.13 Nilai  $K_t$  untuk tinggi gelombang datang (  $H_i$  ) dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $h = 1$  m ;  $n = 46$  %
- Gambar 4.14 Nilai  $K_t$  untuk elevasi puncak relatif  $h / H$  dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $H = 1.52$  m ;  $n = 43$  %
- Gambar 4.15 Nilai  $K_t$  untuk elevasi puncak relatif  $h / H$  dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $H = 3.82$  m ;  $n = 44$  %
- Gambar 4.16 Nilai  $K_t$  untuk elevasi puncak relatif  $h / H$  dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $H = 1.52$  m ;  $n = 46$  %
- Gambar 4.17 Nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dan persen kegagalan batu pecah ( %  $D$  ) untuk tinggi gelombang (  $H_i$  ) dan spektra gelombang  $S(\omega)$  yang berbeda, pada  $h = 0$  m ;  $n = 44$  %

## DAFTAR NOTASI

$a_i$	:	amplitudo gelombang datang
$a_t$	:	amplitudo gelombang transmisi
$B$	:	lebar cellular coffredam
$C$	:	jumlah batu pelindung
$C_g$	:	kecepatan kelompok gelombang
$d$ ( depth )	:	kedalaman air
$D$	:	durasi waktu hembusan angin
$E_k$	:	energi kinetik
$E_p$	:	energi potensial
$F$	:	fetch
$G$ ( g )	:	percepatan gravitasi = $9.81 \text{ m / det}^2$
$h$	:	tinggi elevasi puncak struktur terhadap SWL
$H$	:	tinggi gelombang
$H_i$	:	tinggi gelombang datang
$H_t$	:	tinggi gelombang transmisi
$H_s$	:	tinggi gelombang signifikan
$k$	:	angka gelombang
$K_L$ ( $C_L$ )	:	koefisien energi yang hilang
$K_r$ ( $C_r$ )	:	koefisien refleksi gelombang
$K_t$ ( $C_t$ )	:	koefisien transmisi gelombang
$L$	:	panjang gelombang
$m$	:	jumlah lapisan pelindung perlayer
$n$	:	koefisien porositas

$P$	:	tekanan gelombang
$P_w$	:	tekanan air
$S_r$	:	rapat massa relatif
$S(\omega)$	:	spektra gelombang
$t$	:	waktu
$T$	:	periode gelombang
$T_s$	:	periode signifikan gelombang
$T_p$	:	periode puncak gelombang
$T_z$	:	periode silangan gelombang
$U$	:	kecepatan angin
$W$	:	berat minimum batu pelindung
$\eta$	:	profil permukaan gelombang
$\pi$	:	phi = 3.14
$\rho$	:	rapat massa air
$\rho_a$	:	rapat massa batu pelindung
$\omega$	:	frekuensi gelombang
$\xi$	:	amplitudo gelombang
% D	:	persentase kerusakan batu pecah
$h / H$	:	parameter elevasi puncak relatif



**BAB I**

**PENDAHULUAN**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam perkembangannya struktur bangunan pantai seperti pelabuhan yang berfungsi sebagai sarana transit lalu-lintas yang menghubungkan laut dan darat terus mengalami perubahan terutama dalam hal kapasitas untuk menampung sejumlah kapal-kapal yang melakukan berbagai kegiatan bongkar muat, niaga dan sebagainya. Peningkatan jumlah kapal tersebut dengan sendirinya menuntut kapasitas pelabuhan yang lebih besar lagi sebagai salah satu hal untuk mengatasi kepadatan lalu lintas kapal di sekitar pelabuhan atau dengan menggunakan kapal yang lebih besar, sehingga dapat mengurangi kerumitan alur lalu lintas pelabuhan. Penggunaan sejumlah kapal-kapal besar tersebut tentu membutuhkan kedalaman kolam labuh yang besar pula, sehingga dalam disain hal tersebut merupakan salah satu perhitungan yang signifikan.

Telah banyak bangunan pelabuhan yang dibuat oleh manusia untuk berbagai keperluan. Bangunan tersebut berhubungan langsung dengan lautan bebas, dimana setiap saat mendapat kiriman gelombang datang yang bervariasi tinggi maupun periodenya. Untuk itu maka diperlukan suatu struktur yang dapat melindungi kawasan pelabuhan dari gelombang datang tersebut sehingga tidak mengganggu aktivitas di pelabuhan. Jenis struktur yang telah banyak dibangun untuk meredam energi gelombang salah satunya adalah struktur *breakwater* ( pemecah gelombang ), secara garis besar terdapat dua jenis konstruksi *breakwater* yaitu *Shore-connected Breakwater* ( pemecah gelombang sambung pantai ) dan *Offshore Breakwater* atau pemecah gelombang lepas pantai ( CERC, SPM. Vol. 1, 1984 ). *Shore-connected Breakwater* merupakan jenis struktur yang berhubungan langsung dengan pantai atau daratan, sedangkan *Offshore Breakwater* adalah konstruksi *breakwater* yang tidak berhubungan dengan garis pantai dan dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Bangunan ini direncanakan untuk melindungi pantai yang terletak di belakangnya dari serangan gelombang serta dapat didisain sedemikian rupa sehingga memungkinkan terjadi limpasan gelombang yang dapat mengurangi terbentuknya



tembolo yaitu endapan sedimen di belakang struktur. Namun demikian kedua jenis struktur tersebut mempunyai beberapa kesamaan umum dalam hal kegunaan.

Perlindungan kawasan pantai maupun pelabuhan dengan menggunakan konstruksi *breakwater* harus mempertimbangkan kondisi dimana *breakwater* tersebut ditempatkan. Ditinjau dari bentuk penampang melintangnya, *breakwater* dapat dibedakan menjadi tiga kelompok ( Triatmodjo, 1999 ) yaitu pemecah gelombang dengan sisi miring, pemecah gelombang dengan sisi tegak, dan pemecah gelombang bertipe campuran. Untuk kedalaman kolam labuh yang relatif dangkal dapat digunakan pemecah gelombang bersisi miring semisal *Rouble-Mound Breakwater*, sedangkan untuk kedalaman kolam labuh yang cukup besar lebih sesuai apabila menggunakan model konstruksi *breakwater* berinding vertikal atau tegak yaitu dengan maksud untuk mengurangi jumlah material penyusunnya. Model *breakwater* seperti ini dicontohkan dengan tipe *cellular cofferdam* yaitu suatu konstruksi yang menggunakan *sheet pile* secara langsung, dimana *pile* tersebut saling menutup atau mengunci ( *interlocking* ) satu dengan yang lain sehingga membentuk suatu rangkaian elemen ( *cell* ) dimana *cell* tersebut berisikan material yang tak kohesif seperti pasir untuk pemberat struktur di bagian bawahnya sedangkan bagian atasnya terdiri dari batu lindung yang dapat berfungsi menjaga stabilitas struktur akibat pengaruh gelombang.

Konstruksi *breakwater* tipe *cellular cofferdam* seperti halnya beberapa jenis *Offshore Breakwater* yang lain dibangun dengan puncak elevasi struktur yang mendekati *Mean Sea Level* ( *MSL* ), sehingga hal tersebut memungkinkan energi yang menyertai terjadinya gelombang dapat diteruskan melalui *breakwater*. Kondisi tersebut dinamakan dengan istilah keadaan *overtopping* atau kondisi gelombang dapat melimpas. Alasan struktur dibangun dengan kondisi *overtopping* adalah untuk pertimbangan disain secara ekonomis, dan juga karena pertimbangan kondisi gelombang rata-rata yang terjadi cukup kecil. Dengan adanya limpasan gelombang atau kondisi *overtopping* pada struktur *cellular cofferdam*, maka hal tersebut akan menyebabkan terbentuknya suatu *transmission wave* atau gelombang transmisi. Gelombang transmisi yaitu gelombang yang terjadi setelah mengenai atau melewati suatu struktur, sehingga mengalami perubahan tinggi gelombang, periode gelombang, serta pengurangan energi gelombang dari gelombang yang datang sebelum mengenai struktur. Perbandingan atau angka rasio antara tinggi gelombang

transmisi ( transmission wave ) yang terjadi dengan tinggi gelombang datang ( incident wave ) atau perbandingan antara amplitudo gelombang transmisi dengan amplitudo gelombang datang merupakan suatu nilai koefisien yang dinamakan dengan koefisien transmisi ( transmission coefficient ) yang disimbolkan dengan (  $K_t$  ). Nilai koefisien transmisi ini dapat digunakan untuk pertimbangan perencanaan konstruksi *breakwater* yang cukup memadai dan ekonomis dari jenis struktur yang sama.

### 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah :

Seberapa besar rasio tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang yang dinotasikan sebagai nilai koefisien pada tes struktur *breakwater* tipe *cellular cofferdam*.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) yang merupakan rasio tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang sebagai akibat kondisi gelombang dapat melimpas ( overtopping ) pada *breakwater* tipe *cellular cofferdam*.
2. Mencari korelasi antara nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dengan parameter periode gelombang (  $T$  ) pada variasi tinggi puncak elevasi (  $h$  ), untuk setiap tinggi gelombang yang berbeda.
3. Mencari korelasi antara nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dengan parameter periode gelombang (  $T$  ) pada variasi tinggi gelombang (  $H$  ), untuk setiap tinggi puncak elevasi (  $h$  ).
4. Mencari korelasi antara nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dengan parameter tinggi gelombang (  $H$  ) pada variasi spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], untuk setiap tinggi puncak elevasi yang berbeda.
5. Mencari korelasi antara nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dengan parameter elevasi puncak relatif (  $h / H$  ) pada variasi spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], untuk setiap tinggi gelombang (  $H$  ) yang berbeda.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dalam penelitian ini adalah :

Mengetahui nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) terhadap parameter tinggi gelombang ( $H$ ), periode gelombang ( $T$ ), elevasi puncak struktur ( $h$ ), persentase kerusakan batu pecah ( $\% D$ ), dan elevasi puncak relatif ( $h / H$ ) pada hasil percobaan *breakwater* tipe *cellular cofferdam* yang memvariasikan data input seperti tinggi gelombang, periode gelombang, porositas batu pecah, ketinggian puncak elevasi struktur, serta spektra gelombang yang berbeda-beda.

#### 1.5 Batasan Masalah

Beberapa batasan yang dipakai dalam penelitian ini diantaranya :

1. Gelombang tidak pecah pada laut dalam
2. Arah gelombang satu arah tegak lurus dengan struktur
3. Tinggi kedalaman air adalah tetap atau konstan
4. Gesekan dasar laut atau *bottom friction* diabaikan
5. Zat cair *irrotational* ( aliran tak rotasi ), *inviscid* ( tidak mengalami perubahan viskositas zat cair ), dan *incompressible* ( tidak termampatkan )
6. Material penutup *cellular cofferdam* menggunakan batu pecah
7. Model struktur yang digunakan hanya satu variasi ukuran
8. Dasar perairan rata ( horisontal ), tetap dan kedap ( impermeable )
9. Gaya oleh angin diabaikan



## BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Prinsip dari fungsi suatu breakwater adalah untuk mencegah adanya penetrasi gelombang datang pada suatu kawasan pelabuhan atau pantai. Oleh karena itu gelombang yang melewati *gap breakwater* dan gelombang yang mengenai *leeside breakwater* oleh gelombang *overtopping* harus dapat diminimumkan. Transmisi gelombang yang melewati suatu breakwater berdinding tegak dalam hal ini merupakan hasil dari gelombang bangkit pada *lee-breakwater* akibat dari limpasan massa air yang *overtopping*. Perbandingan elevasi puncak breakwater terhadap tinggi gelombang datang adalah prinsip parameter dari koefisien transmisi gelombang. Gelombang transmisi akibat *overtopping* cenderung memiliki periode yang lebih kecil karena limpasan massa air yang tumpah sering membangkitkan gelombang harmonik dengan periode setengah ( $1/2$ ) dan sepertiga ( $1/3$ ) periode gelombang datang.

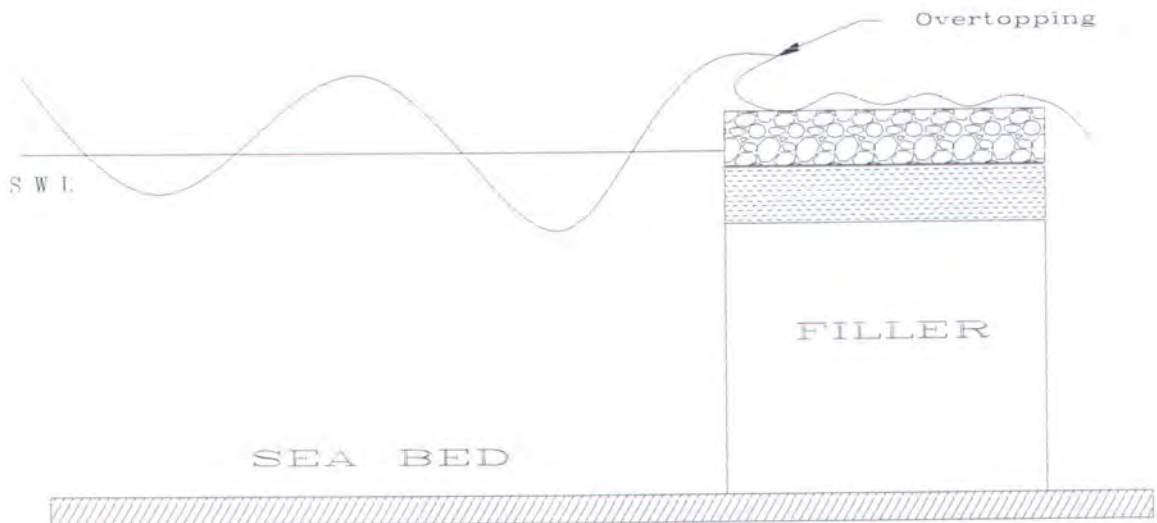
Fungsi breakwater ditunjukkan pula oleh suatu karang ( reef ) buatan sebagai salah satu struktur pelindung dari serangan gelombang, energi gelombang yang datang dapat dilemahkan dengan memaksanya pecah pada puncak permukaan *freeboard* karang. *Freeboard* yaitu jarak antara tinggi struktur paling atas dengan muka air tenang. Pada meningkatnya amplitudo gelombang datang atau *incident wave* secara umum koefisien transmisi gelombang mengalami penurunan, hal ini mengindikasikan bahwa struktur yang dibuat lebih efektif dalam mempengaruhi gelombang yang lebih besar ( CERC, 1984 ).

Nizam ( 1984 ), melakukan penelitian mengenai pemecah gelombang bawah air berpori dengan menggunakan model skala kecil yang fungsinya sama dengan terumbu karang dalam meredam energi gelombang. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pengurangan energi tinggi gelombang oleh pemecah gelombang bawah air tersebut merupakan fungsi dari lebar puncak dan periode gelombang datang. Hasil penelitian tersebut juga memperlihatkan bahwa gelombang yang tertahan adalah gelombang dengan periode pendek, sedangkan gelombang periode panjang cenderung diteruskan.

*Break water* tumpukan batu mempunyai dua tipe, yaitu :

1) *Overtopping*

*Breakwater* jenis ini didisain dan direncanakan dengan kondisi air atau gelombang yang dapat melimpas melewati struktur, hal ini ditujukan untuk daerah yang tidak begitu sensitif terhadap pengaruh gelombang yang terjadi.



Gambar 2.1 Kondisi gelombang melimpas ( *overtopping* ) pada *breakwater*

2) *Non overtopping*

*Breakwater* jenis ini didisain dan direncanakan dengan tidak mengijinkan air melimpas di atasnya, tipe ini ditujukan untuk daerah yang sensitif terhadap pengaruh gelombang.

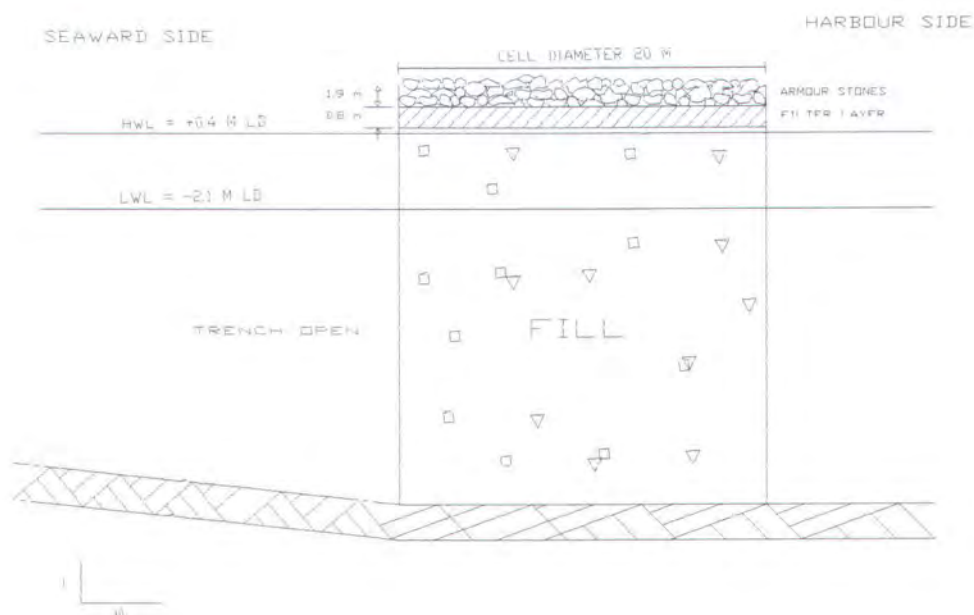
Salah satu pemecah gelombang yang digunakan pada kondisi *overtopping* adalah pemecah gelombang sisi tegak monolit yaitu pemecah gelombang yang terdiri dari satu kesatuan struktur atau dapat terdiri dari beberapa elemen yang dihubungkan sehingga membentuk satu kesatuan. Keuntungan dari pemecah gelombang monolit ini adalah dapat menghemat material serta pembangunannya dapat dilakukan dengan cepat. Struktur *cellular cofferdam* yang termasuk dalam pemecah gelombang monolit dibentuk dari beberapa *sheet pile* baja yang saling berhubungan, dan di dalamnya diisi dengan butiran kasar seperti pasir, kerikil dan batu lapis lindung. Material pengisi ini yang paling optimal pada *cellular cofferdam* adalah menjaga stabilitas struktur dari tekanan lateral tanah dan energi gelombang. Selama

*sheet pile* baja yang digunakan mampu menahan beban dari isian yang ada, maka dinding penahan dan *tierod* tidak digunakan.

Pada bagian paling atas dari pemecah gelombang *cellular cofferdam* merupakan lapisan batuan pelindung dengan ukuran batuan yang besar dan berat sedangkan semakin ke dalam ukuran batumannya semakin mengecil hingga berupa pasir. Dasar perencanaan ini adalah bagian lapis luar akan menerima beban gelombang yang paling besar, sehingga beratnya harus lebih besar yang dapat membuat struktur masih cukup stabil.

Bahan lapis lindung yang dipakai untuk pemecah gelombang harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut ( Yuwono,1992 ) :

- Bahan lapis lindung harus tahan terhadap keadaan lingkungan ( tidak mudah lapuk, tahan terhadap gaya dinamik gelombang, serta tidak rusak oleh bahan kimia ).
- Batu harus mempunyai berat volume (  $\gamma$  ) yang cukup besar (  $> 2.6$  ).
- Bahan lapis lindung haruslah cukup kasar sehingga mampu menahan gaya-gaya yang disebabkan oleh gelombang.
- Bahan yang dipakai haruslah relatif murah.



Gambar 2.2 Contoh breakwater sisi tegak monolit

Salah satu beban yang diperhitungkan dalam merencanakan bangunan pantai adalah beban akibat gelombang. Gelombang akan menimbulkan tekanan lateral pada struktur, sehingga gaya dan momen yang ditimbulkannya merupakan beban yang mempengaruhi stabilitas dari struktur tersebut.

Bilamana gelombang tidak pecah ( *non breaking wave* ) menghantam permukaan pemecah gelombang *impermeable vertikal* secara tegak lurus, maka gelombang akan dipantulkan lagi dan akan menimbulkan *standing wave* atau gelombang klapotis yang tingginya 2 (dua) kali tinggi gelombang datang. Dengan adanya viskositas air, faktor elastisitas air, dan permeabilitas dinding struktur maka amplitudo dari *standing wave* tidak lagi tepat 2 kali amplitudo gelombang datang melainkan lebih kecil, karena adanya energi yang diserap sistem di sekitarnya.

Sifat gelombang laut adalah acak baik arah maupun besarnya, terutama saat terkena angin. Karena sifat inilah besar energi gelombang acak sulit untuk diukur. Gelombang acak merupakan gabungan dari gelombang-gelombang sinusoidal dengan panjang dan periode gelombang yang sangat bervariasi. Ukuran intensitas komponen-komponen gelombang acak pada umumnya dinyatakan dalam bentuk spektra kepadatan amplitudo kepadatan energi gelombang atau biasa disingkat dengan spektra energi gelombang.

Untuk keperluan analisis spektra energi gelombang diperlukan data pencatatan gelombang selama 15 – 20 menit. Prinsip analisis spektra gelombang adalah menguraikan suatu gelombang *irreguler* menjadi susunan dari gelombang teratur dari berbagai frekuensi dan tinggi gelombang ( Yuwono, 1992 ).

Dalam menentukan detail struktur *breakwater* adalah penting untuk mengetahui secara eksak pengaruh dari gaya gelombang terhadap struktur yang ada. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui hal tersebut adalah dengan menggunakan tes model fisik dengan variasi dari energi / spektra gelombang, tinggi, dan periode gelombang terhadap stabilitas dari batuan lindung dalam kondisi *overtopping*.





Secara garis besar ada tiga tipe model hidraulika yaitu: model matematika / numerik, model fisik, dan gabungan keduanya. Model matematika adalah simulasi fenomena hidraulika yang diketahui persamaan matematikanya yang diselesaikan secara numerik. Sedangkan model fisik adalah suatu fenomena dengan ukuran sesungguhnya ( prototip ) yang direproduksi dengan menerapkan suatu skala tertentu ( ukuran yang lebih kecil ). Pemodelan secara fisik diperlukan bila fenomena hidraulika yang diamati belum diketahui formulasi matematikanya. Model fisik diharapkan dapat menjelaskan fenomena hidraulika yang ada dengan memformulasikan hasil yang telah diperoleh ( Armono, 1997 ).

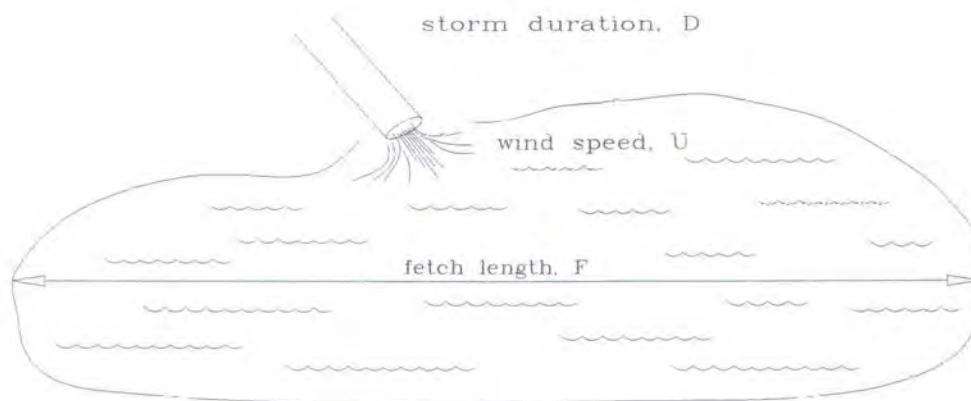
## 2.2 Landasan Teori

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut yang dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa yang terjadi di laut.

Di antara bentuk gelombang tersebut yang paling penting terutama adalah gelombang dengan gaya pembangkitnya adalah angin selain pula gelombang pasang surut. Kecepatan angin (  $U$  ) dan durasi waktu hembusan angin (  $D$  ) merupakan faktor penting selain pula *fetch* (  $F$  ) dalam mempengaruhi besarnya tinggi dan periode gelombang di laut. *Fetch* sangat berpengaruh terhadap periode dan tinggi bangkitan gelombang, gelombang dengan periode panjang dapat terjadi bilamana *fetch* luas. Pada kondisi perairan yang sempit periode gelombang yang terjadi tidak lebih lama dari 2 sampai 3 detik saja. Kendati secara umum kisaran / *range* periode gelombang biasanya 10 sampai 15 detik, untuk gelombang lautan dapat mencapai periode 20 detik atau bahkan lebih besar lagi ( Komar, 1976 ). Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan-bangunan pantai.

Pada umumnya gelombang di laut atau di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linierannya, tiga dimensi, dan mempunyai bentuk yang acak ( *random* ) dimana suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode

yang berbeda. Beberapa teori yang telah ada merupakan pendekatan terhadap gelombang di alam dan menggambarkan bentuk yang sederhana, diantaranya yaitu teori Airy, Stokes, Gerstner, Mich, Knoidal, dan tunggal yang masing-masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda. Seperti teori gelombang Airy yang merupakan teori gelombang dengan amplitudo kecil, sedangkan untuk teori yang lain adalah teori gelombang dengan amplitudo yang terbatas ( finite amplitude waves ).



Gambar 2.3 Faktor penting pada pembangkitan gelombang

### 2.3 Gelombang Pecah

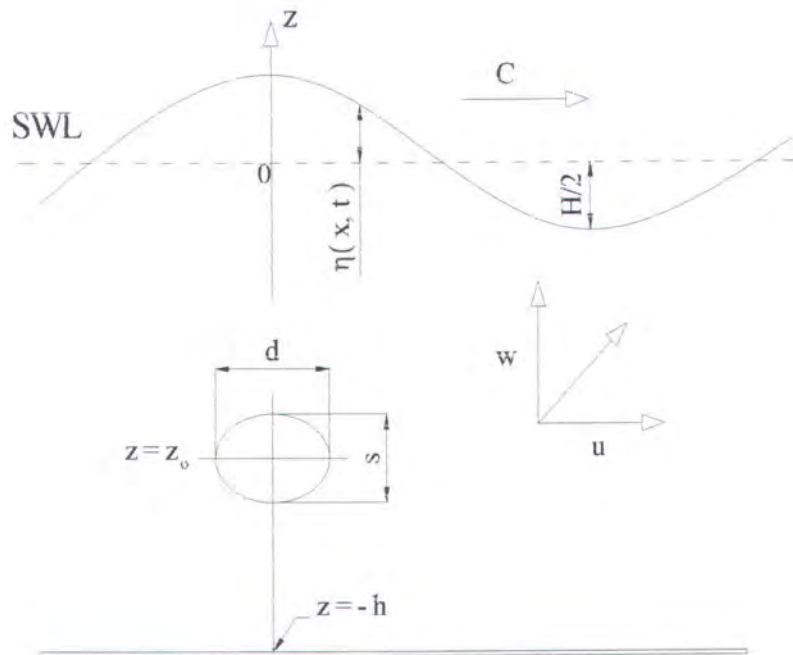
Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pengaruh kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang. Di laut dalam profil gelombang adalah sinusoidal, semakin menuju ke perairan yang lebih dangkal puncak gelombang semakin tajam dan lembah gelombang semakin datar. Selain itu kecepatan dan panjang gelombang berkurang secara berangsur-angsur sementara tinggi gelombang meningkat. Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Di laut dalam kemiringan gelombang maksimum dimana gelombang mulai tidak stabil diberikan dalam ( Triatmodjo, 1999 ) berikut :

$$\frac{H_o}{L_o} = \frac{1}{7} = 0.142 \quad (2.1)$$

Pada kemiringan tersebut kecepatan partikel di puncak gelombang sama dengan kecepatan rambat gelombang. Kemiringan yang lebih tajam dari batas maksimum tersebut dapat menyebabkan kecepatan partikel di puncak gelombang lebih besar dari kecepatan rambat gelombang sehingga terjadi ketidak-stabilan dan gelombang pecah.

## 2.4 Teori Gelombang Amplitudo Kecil

Teori gelombang yang paling sederhana pertama kali dikemukakan Airy pada tahun 1845 yang merupakan teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil. Dalam teori gelombang linier ini menggunakan beberapa definisi gelombang yang antara lain dinotasikan seperti pada gambar ( 2.4 ).



Gambar 2.4 Notasi untuk teori gelombang Airy

Salah satu parameter penting dari gelombang dengan amplitudo kecil adalah perpindahan partikel air di dalam gelombang seperti pada gambar ( 2.4 ) yang menunjukkan lintasan gerak partikel air yang mengelilingi kedudukan reratanya. Selama penjalaran gelombang dari laut dalam menuju laut dangkal, orbit partikel mengalami perubahan bentuk. Perubahan bentuk tersebut dipengaruhi oleh kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air (  $d$  ) dengan panjang gelombang (  $L$  ), (  $d / L$  ), sehingga gelombang tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yakni :

- Gelombang di laut dangkal bila  $d / L \leq 1 / 20$
- Gelombang di laut transisi bila  $1 / 20 < d / L \leq 1 / 2$
- Gelombang di laut dalam bila  $d / L \geq 1 / 2$

Tabel 2.1 Persamaan-persamaan gelombang linier Airy

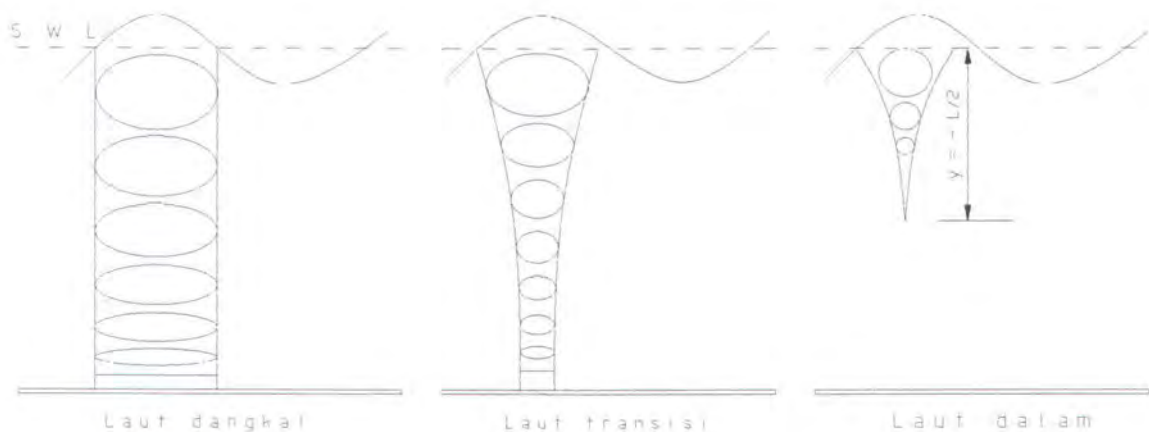
PARAMETER	BENTUK UMUM	LAUT DALAM ( $h / L_{\infty} > 1/4$ )	LAUT DANGKAL ( $h / L_{\infty} > 1/20$ )
Elevasi permukaan $\eta(x, t)$		$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t)$	
Fase kecepatan C	$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}$	$C_{\infty} = \frac{gT}{2\pi} = \frac{g}{\sigma}$	$C_s = \sqrt{gh}$
Panjang gelombang L	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}$	$L_{\infty} = \frac{gT^2}{2\pi}$	$L_s = T\sqrt{gh}$
Potensial kecepatan $\phi$	$\frac{HC}{2} \frac{\cosh[k(z+h)]}{\sinh(kh)} \sin(kx - \sigma t)$	$\frac{HC_{\infty}}{2} e^{kz} \sin(kx - \sigma t)$	$\frac{HgT}{4\pi} \sin(kx - \sigma t)$
Diameter orbit horisontal d	$d = H \frac{\cosh[k(z_o + h)]}{\sinh(kh)}$	$d = He^{kz_o}$	$d = \frac{HL}{2\pi h} = \frac{HT}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{h}}$
Diameter orbit vertikal s	$s = H \frac{\sinh[k(z_o + h)]}{\sinh(kh)}$	$s = He^{kz_o}$	$s = 0$
Kecepatan orbit horisontal u	$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh[k(z+h)]}{\sinh(kh)} \cos(kx - \sigma t)$	$u = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \cos(kx - \sigma t)$	$u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{h}} \cos(kx - \sigma t)$
Kecepatan orbit vertikal w	$w = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh[k(z+h)]}{\sinh(kh)} \sin(kx - \sigma t)$	$w = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \sin(kx - \sigma t)$	$w = 0$
Deviasi tekanan $\Delta p(x, z, t)$	$\frac{\rho g H}{2} \frac{\cosh[k(z+h)]}{\cosh(kh)} \cos(kx - \sigma t)$	$\frac{\rho g H}{2} e^{kz} \cos(kx - \sigma t)$	$\frac{\rho g H}{2} \cos(kx - \sigma t)$

Dari klasifikasi gelombang di atas orbit perpindahan partikel yang terjadi adalah berbentuk lingkaran pada seluruh kedalaman di laut dalam, sedangkan di laut transisi dan laut dangkal lintasan partikel berbentuk elips seperti yang ditunjukkan pada gambar ( 2.5 ) di bawah ini. Apabila kedalaman laut semakin besar maka bentuk elips semakin pipih, dan di dekat permukaan dasar laut gerak partikel adalah horisontal.

Sementara pada buku yang lain misalnya ( “Beach Processes and Sedimentation“ ), klasifikasi gelombang menurut kedalaman relatif dibedakan menjadi :

- Gelombang di laut dangkal bila  $h / L_{\infty} < 1 / 20$
- Gelombang di laut transisi ( intermediate ) bila  $1 / 4 > h / L_{\infty} > 1 / 20$
- Gelombang di laut dalam bila  $h / L_{\infty} > 1 / 4$

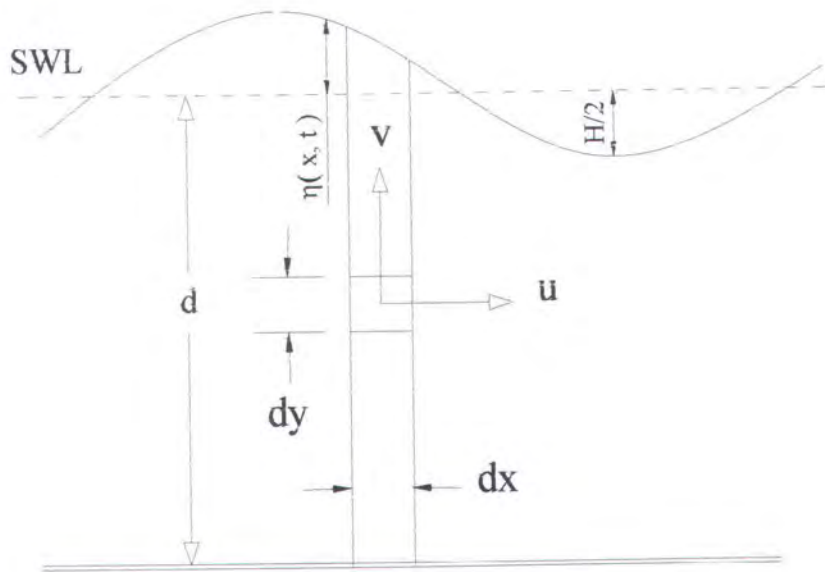
Dengan menotasikan kedalaman laut sebagai ( $h$ ) dan ( $L_\infty$ ) sebagai panjang gelombang di laut dalam, maka klasifikasi gelombang di atas memberikan batasan untuk kondisi di laut dalam sebesar  $h / L_\infty > 1 / 4$ , dan di laut *intermediate* sebesar  $1 / 4 > h / L_\infty > 1 / 20$ . Namun untuk laut dangkal kondisi batas yang diberikan adalah sama yaitu  $h / L_\infty < 1 / 20$ . Perbedaan tersebut memberikan selisih nilai kesalahan ( error ) dalam aplikasi dan kasus-kasus yang praktis. Untuk batasan  $h / L_\infty > 1 / 4$  memberikan suatu nilai kesalahan sebesar 5 %, dan kondisi tersebut lebih banyak diterima untuk aplikasi. Namun terkadang para ahli geologi menggunakan batasan  $d / L \geq 1 / 2$ , dimana kondisi batas ini memberikan nilai kesalahan hanya sebesar 0.37 % dan untuk banyak kasus praktis hal tersebut dianggap merupakan batasan yang terlalu kaku ( stringent ).



Gambar 2.5 Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi, dan dalam

## 2.5 Energi dan Tenaga Gelombang

Energi total gelombang adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial gelombang. Energi kinetik adalah energi yang disebabkan oleh kecepatan partikel air karena adanya gerak gelombang. Sedangkan energi potensial adalah energi yang dihasilkan oleh perpindahan muka air karena adanya gelombang. Untuk teori gelombang Airy, jika energi potensial ditetapkan relatif terhadap muka air diam, dan semua gelombang menjalar dalam arah yang sama, maka komponen energi potensial dan kinetik adalah sama. Untuk menurunkan persamaan energi gelombang, dipandang suatu elemen berukuran  $dx$ ,  $dy$ , seperti terlihat pada gambar ( 2.6 ). Untuk satu elemen kecil tersebut, besar energi kinetik seperti dalam ( Triatmodjo, 1999 ) adalah :



Gambar 2.6 Penurunan energi gelombang

$$d E_k = \frac{1}{2} dm V^2$$

$$= \frac{1}{2} \rho dx dy (u^2 + v^2) \tag{2.2}$$

Energi kinetik total adalah integrasi dari persamaan di atas,

$$E_k = \int_0^L \int_{-d}^0 \frac{1}{2} \rho (u^2 + v^2) dx dy \tag{2.3}$$

Apabila komponen u dan v seperti pada tabel ( 2.1 ) disubsitusikan pada persamaan di atas, akhirnya akan diperoleh :

$$E_k = \frac{\rho}{2} \int_0^L \int_{-d}^0 \frac{1}{2} \left[ \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \right]^2 + \left[ \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \right]^2 dy dx$$

$$E_k = \frac{\rho g H^2 L}{16} \tag{2.4}$$

Apabila energi potensial dari gelombang dikurangi dengan energi potensial dari massa air diam seperti ditunjukkan pada gambar ( 2.6 ), akan diperoleh energi potensial yang disebabkan oleh gerak gelombang. Dengan menggunakan dasar laut sebagai bidang referensi, energi potensial yang ditimbulkan oleh satu panjang gelombang tiap satu satuan lebar puncak gelombang  $E_p$  adalah :

$$E_p = \int_0^L \rho g(d + \eta) \left( \frac{d + \eta}{2} \right) dx - \rho g L d \left( \frac{d}{2} \right) \quad (2.5)$$

Dengan mensubsitusikan harga  $\eta$  seperti pada tabel ( 2.1 ), akhirnya akan diperoleh :

$$E_p = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (2.6)$$

Jadi energi kinetik dan potensial adalah sama, dan energi total untuk tiap satu satuan lebar

$$\text{adalah : } E = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (2.7)$$

## 2.6 Karakteristik Gelombang Laut

Salah satu penyebab terbentuknya gelombang di laut seperti disebutkan di atas adalah karena hembusan angin yang berlangsung secara kontinyu. Apabila angin terus berhembus dalam waktu yang cukup lama dan meliputi jarak permukaan laut atau *fetch* yang cukup besar, maka riak air akan tumbuh menjadi gelombang yang pada saat bersamaan pula riak permukaan baru akan terbentuk di atas gelombang yang sudah terbentuk sebelumnya dan selanjutnya akan berkembang menjadi gelombang baru tersendiri. Proses demikian akan berjalan terus sehingga yang diamati pada waktu dan tempat tertentu akan terlihat sebagai kombinasi perubahan-perubahan panjang gelombang dan tinggi gelombang yang saling bertautan. Komponen gelombang secara individu masih akan mempunyai sifat seperti gelombang pada kondisi ideal yang tidak terpengaruh oleh gelombang lain atau yang dikatakan sebagai gelombang reguler. Sedangkan pada kenyataannya gelombang yang bergerak lebih cepat akan melewati gelombang lain yang yang lebih pendek atau lamban, yang selanjutnya mengakibatkan terjadinya perubahan yang terus-menerus bersamaan dengan gerakan gelombang-gelombang yang saling melampaui. Bentuk gelombang acak atau tak beraturan yang terbentuk tersebut merupakan gelombang irreguler yang didefinisikan oleh empat besaran gelombang yang selalu berubah menurut fungsi waktu yaitu :

1. Amplitudo gelombang,  $\xi$  ( meter )

Jarak vertikal dari permukaan air tenang rata-rata ke puncak atau lembah suatu gelombang.

2. Tinggi gelombang,  $H$  ( meter )

Jarak vertikal dari lembah ke puncak gelombang berikutnya

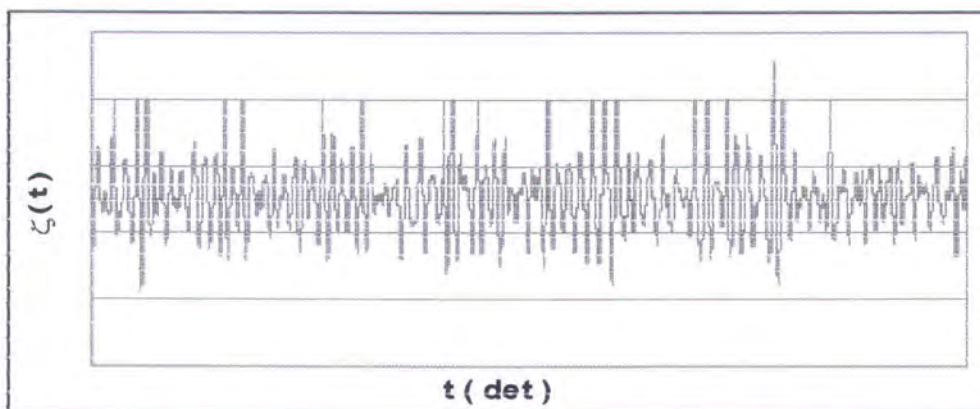
3. Periode puncak gelombang,  $T_p$  ( detik )

Waktu antara dua puncak gelombang

4. Periode silangan gelombang,  $T_z$  ( detik )

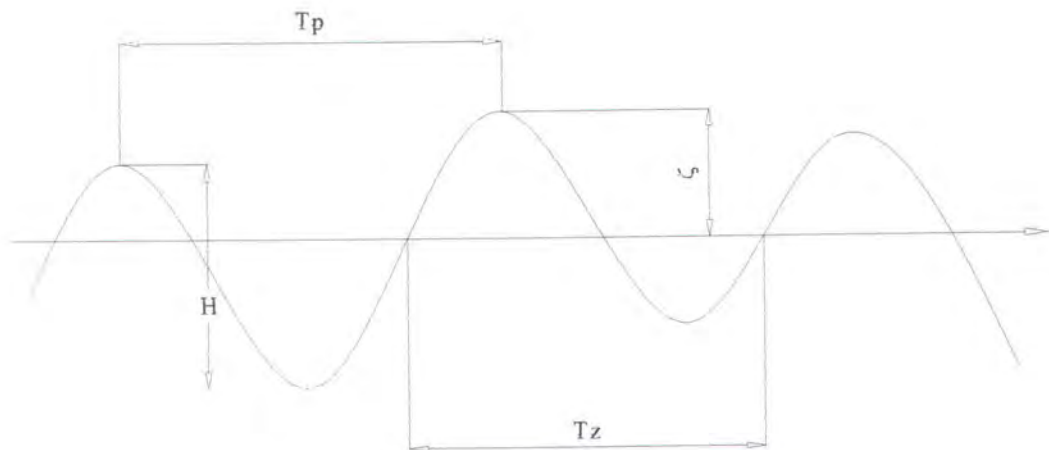
Waktu antara dua titik berurutan dimana permukaan gelombang menyilang permukaan air tenang, baik pada saat permukaan gelombang naik atau turun

Gelombang adalah fenomena yang paling penting yang harus dipertimbangkan di antara kondisi lingkungan laut yang berpengaruh terhadap aktivitas maritim, sebab gelombang secara fisik merupakan sumber eksitasi dengan intensitas terbesar. Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan sedimen transport dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya pada bangunan pantai. Gelombang di laut juga salah satu fenomena yang lebih kompleks dan mudah berubah apabila dibandingkan dengan angin, arus, dan pasang surut misalnya, sehingga pengertian yang menyeluruh karakter dasar dan perilaku gelombang laut bukan pekerjaan yang mudah. Gelombang di laut yang ada sebagian besar dibangkitkan oleh angin, sehingga diistilahkan sebagai gelombang oleh angin ( wind waves ), yakni untuk membedakannya dengan gelombang yang lain misalnya tsunami. Gelombang laut bersifat acak, yang dari berbagai penelitian ternyata didapati sebagai hasil superposisi dari sejumlah gelombang reguler ( Pierson & St. Denis, 1953; Cartright & Longuet-Higgins, 1956 ). Meskipun demikian ada keteraturan secara statistik. Semakin banyak observasi, keteraturan statistik akan semakin jelas



Gambar 2.6 Contoh data *time series* sampel rekaman gelombang acak





Gambar 2.7 Definisi pengukuran parameter sampel gelombang acak

Data gelombang hasil pengukuran biasanya berupa data *time series* perubahan muka air seperti ditunjukkan pada gambar ( 2.6 ), sehingga perlu dilakukan analisa untuk memanfaatkan data tersebut. Data seperti ini biasanya memuat sejumlah kurang lebih 100 sampel gelombang, atau waktu perekaman biasanya dilakukan selama 10 s/d 30 menit, tergantung pada intensitasnya. Analisa gelombang dapat dilakukan dengan menggunakan metode *zero-upcrossing* atau *zero-downcrossing*. Dengan metode ini dapat ditentukan parameter utama gelombang yakni tinggi atau amplitudo gelombang (  $H$  atau  $\zeta$  \_meter ) dan periode gelombang (  $T$ \_detik ) seperti didefinisikan pada gambar ( 2.7 ). Perlu dicatat pula, bahwa periode gelombang dapat dibedakan menjadi dua macam yakni periode puncak gelombang (  $T_p$ \_detik ) atau periode *zero-crossing* (  $T_z$ \_detik ).

## 2.7 Refleksi Gelombang

Gelombang refleksi adalah gelombang datang yang mengenai suatu rintangan yang kemudian dipantulkan kembali sebagian atau seluruhnya. Ada dua dimensi dalam pemantulan gelombang yaitu pemantulan dari puncak gelombang dan tinggi gelombang yang dihasilkan setelah mengenai suatu rintangan dengan suatu pertimbangan pendekatan tingkat kemiringan bangunan. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu ( rubble-mound breakwater ) akan bisa menyerap energi lebih banyak dibandingkan dengan bangunan yang berdinding tegak dan masif seperti *breakwater cellular cofferdam*. Pada bangunan yang mempunyai dinding vertikal, halus, *impermeable* ( kedap ), gelombang akan dipantulkan seluruhnya. Arah perambatan dari gelombang yang

dipantulkan tergantung pada sudut timbulnya gelombang semula. Apabila sudut yang timbul tegak lurus dengan penghalang, maka gelombang yang dipantulkan bergerak dalam arah yang tepat berlawanan dengan arah gelombang yang datang semula. Koefisien dari pemantulan gelombang tergantung dari permeabilitas dinding, ketinggian, dan juga pengisapan energi dari kapasitas perpindahan.

Besarnya kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang dirumuskan dengan koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi [  $H_r$  ] dan tinggi gelombang datang [  $H_i$  ] seperti dalam ( Triatmodjo, 1999 ).

$$X = \frac{H_r}{H_i} \quad (2.8)$$

Atau parameter refleksi gelombang adalah suatu koefisien refleksi [  $K_r$  ] yang didefinisikan sebagai perbandingan antara tinggi gelombang terefleksi [  $H_r$  ] dan tinggi gelombang datang [  $H_i$  ] atau akar dari total energi gelombang refleksi [  $E_r$  ] dan energi gelombang datang [  $E_i$  ], seperti dalam ( Goda, 2000 ).

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} \quad (2.9)$$

Koefisien refleksi bangunan diperkirakan berdasarkan tes model. Koefisien refleksi berbagai tipe bangunan diberikan dalam tabel berikut.

Tabel 2.2 Koefisien refleksi pada beberapa tipe bangunan hasil tes model

Tipe bangunan	X ( $K_r$ )
Dinding vertikal dengan puncak di atas air	0.7 – 1.0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0.5 – 0.7
Tumpukan batu sisi miring	0.3 – 0.6
Tumpukan blok beton	0.3 – 0.5
Dinding vertikal dengan peredam energi ( diberi lubang )	0.05 – 0.2

Bangunan berdinding vertikal dan tidak tembus air ( impermeable ) memantulkan sebagian besar energi gelombang, pada bangunan tersebut nilai koefisien refleksinya bisa mencapai  $X = 1.0$ ; dan tinggi gelombang yang dipantulkan sama dengan tinggi gelombang datang. Gelombang di depan dinding vertikal merupakan superposisi dari kedua gelombang

dengan periode, tinggi, dan angka gelombang yang sama tetapi berlawanan arah. Menurut teori gelombang amplitudo kecil seperti dalam ( Triatmodjo, 1999 ), fluktuasi muka air gelombang datang adalah :

$$\eta_i = \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma) \quad (2.10)$$

dan gelombang refleksi :

$$\eta_r = X \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma) \quad (2.11)$$

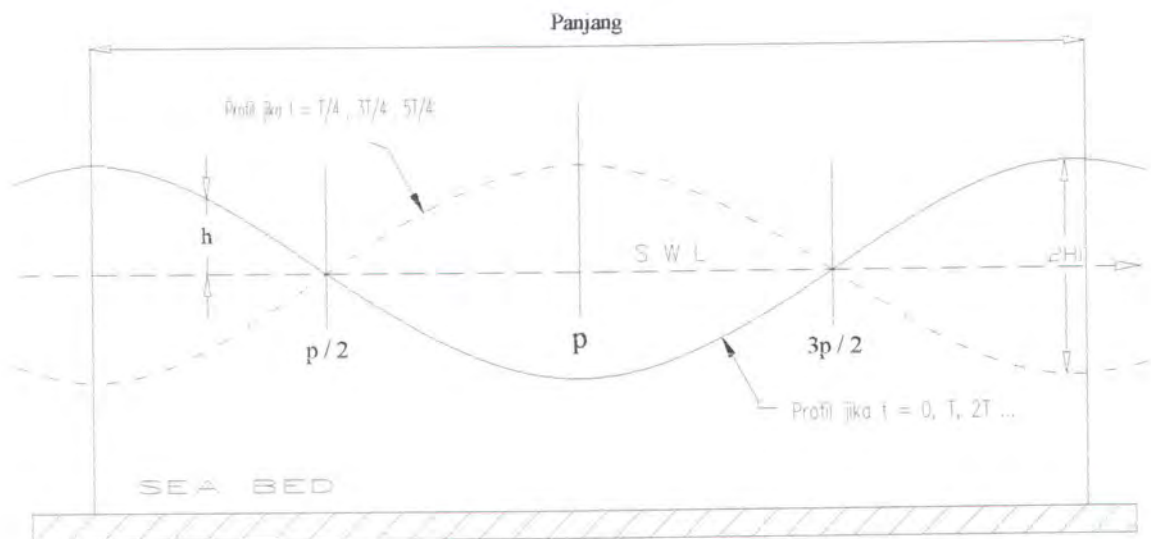
Profil muka air di depan bangunan diberikan oleh jumlah  $\eta_i$  dan  $\eta_r$  :

$$\begin{aligned} \eta_i &= \eta_i + \eta_r = \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma) + X \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma) \\ &= (1 + X) \frac{H_i}{2} \cos(kx - \sigma) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Apabila refleksi adalah sempurna (  $X = 1.0$  ) maka :

$$\eta = H_i \cos kx \cos \sigma \quad (2.13)$$

persamaan tersebut menunjukkan fluktuasi muka air dari gelombang berdiri ( standing wave atau clapotis ) yang periodik terhadap waktu (  $t$  ) dan terhadap jarak (  $x$  ). Apabila  $\cos kx = \cos \sigma = 1$  maka tinggi maksimum adalah  $2H_i$ , yang berarti bahwa tinggi gelombang di depan bangunan vertikal bisa mencapai dua kali tinggi gelombang datang. gambar (2.8) di bawah berikut adalah profil muka air sebagai fungsi  $kx$  untuk berbagai nilai  $\sigma$ .



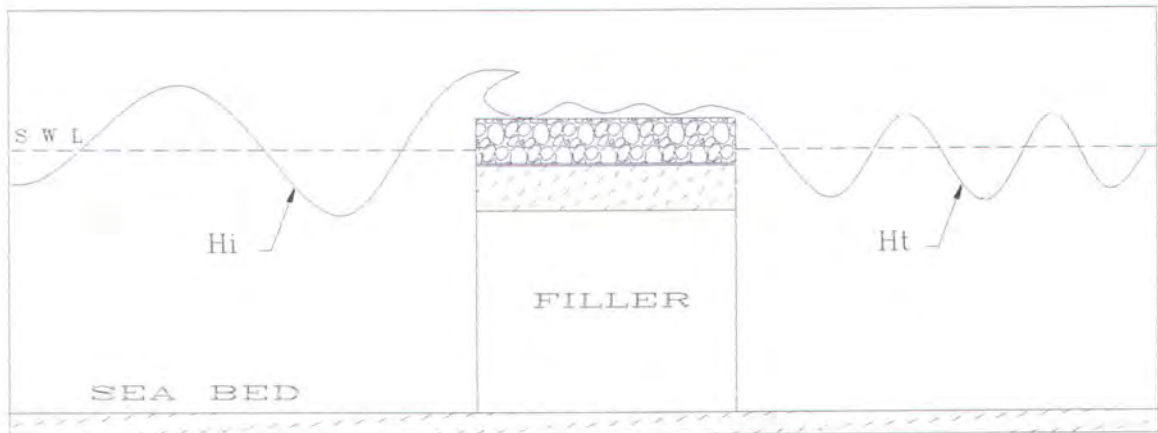
Gambar 2.8 Gelombang berdiri

## 2.8 Transmisi Gelombang

Bila refleksi gelombang merupakan gelombang datang yang dipantulkan sebagian ataupun seluruhnya ketika mengenai struktur, maka gelombang transmisi merupakan gelombang datang yang melewati suatu struktur. Hal ini berkaitan dengan karakteristik *breakwater* yang dapat berfungsi untuk mengurangi energi gelombang datang, tipe bangunan yang digunakan tidak memantulkan gelombang secara sempurna namun didisain secara vertikal dengan puncak mendekati SWL ( Still Water Level ) seperti pada gambar ( 2.10 ). Karakteristik pelemahan gelombang pada *breakwater* dikuantitaskan dengan menggunakan koefisien transmisi gelombang, yang didefinisikan dalam ( Goda, 2000 ) sebagai berikut :

$$K_t = \frac{a_t}{a_i} = \frac{H_t}{H_i} \quad ( 2.14 )$$

dimana :  $K_t$  = koefisien transmisi gelombang  
 $a_t / H_t$  = amplitudo / tinggi gelombang transmisi  
 $a_i / H_i$  = amplitudo / tinggi gelombang datang



Gambar 2.9 Transmisi gelombang

Berdasarkan pada energi konservasi, koefisien energi yang hilang dapat dikalkulasikan dalam ( Thornton dan Calhoun, 1972 ) seperti hubungan berikut :

$$C_r^2 + C_t^2 + C_L^2 = 1 \quad ( 2.15 )$$

dimana :  $C_L$  = koefisien energi yang hilang

Persamaan tersebut mengindikasikan bahwa amplitudo gelombang transmisi ( $a_t$ ) atau yang secara ekuivalen sama dengan tinggi gelombang transmisi ( $H_t$ ) dapat berkurang dengan meningkatnya gelombang refleksi. Selain dipengaruhi oleh nilai koefisien refleksi gelombang tersebut nilai koefisien energi yang hilang turut pula mempengaruhi besar kecilnya nilai dari koefisien transmisi gelombang, hal tersebut berkaitan nantinya pada batu pecah yang digunakan sebagai pelindung bagian atas *cellular cofferdam*. Sehingga dalam hal ini *draft* atau dimensi struktur *breakwater* bentuk silinder yang lebih besar untuk kasus tertentu akan lebih efektif bila dibandingkan dengan ukuran dimensi yang lebih kecil. Hal tersebut tidak selalu sesuai untuk kasus yang lain, hal tersebut dikarenakan transmisi gelombang tidak saja tergantung pada geometri *breakwater* tetapi juga dipengaruhi oleh gerakan dinamis pada kasus seperti *floating breakwater*.

Pada penjelasan mengenai transmisi gelombang pada *breakwater* untuk gelombang reguler lebih cenderung tergantung pada periode gelombang. Sedangkan transmisi gelombang untuk gelombang irregular penentuan koefisien transmisi gelombang berbasis pada kondisi gelombang reguler yang dikombinasikan dengan suatu spektra gelombang. Secara spesifik spektra tinggi gelombang dapat diperoleh dari spektra gelombang insiden dengan koefisien transmisi gelombang untuk frekuensi tertentu yang diberikan, yang didefinisikan sebagai berikut :

$$S_t(f) = [K_t(f)]^2 S_i(f) \quad (2.16)$$

Dan tinggi gelombang signifikan transmisi gelombang dapat diperoleh kemudian dengan suatu persamaan berikut :

$$H_{t/13} = 4.0 \left[ \int_0^{\infty} S_t(f) df \right]^{0.5} \quad (2.17)$$

## 2.9 Spektra Gelombang

Sifat gelombang di laut adalah tak beraturan baik arah maupun besarnya terutama saat terkena angin, karena sifat inilah besarnya energi gelombang acak sulit untuk diukur. Gelombang acak merupakan gabungan dari gelombang-gelombang sinusoidal dengan panjang dan periode gelombang yang sangat bervariasi. Ukuran intensitas komponen-komponen gelombang acak pada umumnya dinyatakan dalam bentuk spektra kepadatan

amplitudo kepadatan energi gelombang atau biasa disingkat dengan spektra energi gelombang. Dalam hal ini besarnya energi per satu meter persegi permukaan gelombang sinusoidal ke-n adalah :

$$E_n = \frac{1}{2} \rho g \xi_{no}^2 \quad (2.18)$$

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 spektra adalah proporsional dengan energi total per meter persegi dari keseluruhan sistim gelombang. Pada gelombang acak tentunya tidak dapat dikenali suatu patron yang spesifik. Dengan demikian parameter gelombang akan lebih tepat bila didefinisikan dengan memakai besaran-besaran statistik, yaitu seperti :

$H_{1/3}$  : harga rata-rata dari 1/3 jumlah keseluruhan tinggi gelombang yang tertinggi atau tinggi gelombang signifikan;

$T_{1/3}$  : harga rata-rata dari 1/3 jumlah keseluruhan periode gelombang yang tertinggi atau periode signifikan.

Spektra parameter tunggal yang paling sering digunakan adalah model Pierson-Moskowitz ( P-M, 1964 ) yang berdasarkan pada parameter kecepatan angin. Selain itu ada beberapa spektra parameter ganda yang biasa digunakan seperti Bretschneider (1969), International Ship Structure Congress ( 1964 ), International Towing Tank Conference ( 1966, 1969, 1972 ), serta spektra gelombang Joint North Sea Wave Project atau lebih dikenal dengan istilah JONSWAP, spektra ini diturunkan untuk kondisi perairan Laut Utara dan akan lebih sesuai apabila diterapkan untuk perairan tertutup atau di daerah kepulauan ( Hasselmen; 1973, 1976 ).

## 2.10 Spektra Gelombang ISSC ( International Ship Structure Congress )

International Ship Structures Congress ( 1964 ) mengusulkan modifikasi yang sederhana untuk bentuk spektra Bretschneider, yaitu :

$$S(\omega) = 0.1107 H_s^2 \left(\frac{\omega}{\omega_s}\right) e^{-0.442 \left(\frac{\omega}{\omega_s}\right)^4} \quad (2.19)$$

Bhattacharyya ( 1978 ) mendiskusikan bentuk dengan definisi bahwa  $\varpi = \omega_{0.1}$ . Hubungan antara frekuensi puncak,  $\omega_0$  dan  $\varpi$  untuk spektra ISSC adalah :

$$\varpi = 1.296\omega_0 \quad (2.20)$$

### 2.11 Spektra Gelombang P-M ( Pierson-Moskowitz )

Pada tahun 1964 Pierson dan Moskowitz mengajukan satu rumus baru untuk distribusi spektra energi dari suatu angin pembangkit bagian laut ( sea state ) yang berdasarkan pada kesamaan teori dari Kitaigorodskii dan perekaman data yang lebih akurat. Spektra ini kemudian dikenal sebagai model spektra P-M yang telah secara luas digunakan oleh para ahli teknik pantai sebagai satu rumus yang paling representatif untuk kondisi semua perairan di seluruh dunia. Aplikasi yang serupa digunakan pula untuk disain struktur lepas pantai ( offshore structures ).

Model spektra P-M menggambarkan suatu kejadian laut secara keseluruhan ( fully-develop sea ) yang ditentukan oleh satu parameter, yaitu kecepatan angin. *Fetch* dan durasi dianggap infinit. Untuk aplikasi pada contoh suatu model, angin harus berhembus di area yang luas pada kecepatan mendekati konstan untuk beberapa jam sebelum waktu ketika rekaman gelombang diambil dan angin seharusnya tidak berubah arah lebih dari sejumlah kecil spesifik tertentu. Dengan asumsi ini maka model P-M dapat digunakan dalam mempresentasikan beberapa gelombang badai pada perancangan struktur lepas pantai. Model spektra P-M dituliskan dalam ( Kamphuis, 2000 ) sebagai berikut :

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp [ -0.74 ( \omega U_w / g )^4 ] \quad (2.21)$$

Dimana :

- $\alpha = 0.0081$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $\omega = \text{frekuensi gelombang}$

Ekspresi yang sama untuk spektra gelombang P-M dalam hubungannya dengan putaran frekuensi, (  $f = \omega / 2\pi$  ) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$S(f) = \alpha g^2 / (2\pi)^4 f^5 [ -1.25 ( f / f_0 )^4 ] \quad (2.22)$$

Frekuensi *zero-crossing* didefinisikan sebagai berikut :

$$\omega_z = 2\pi \sqrt{m_2 / m_0} \quad (2.23)$$

Kemudian frekuensi puncaknya adalah

$$\omega_0 = 0.710 \omega_z \tag{2.24}$$

**2.12 Spektra Gelombang ITTC ( International Towing Tank Conference )**

International Towing Tank Conference ( 1966, 1969, 1972 ) mengusulkan modifikasi terhadap spektra P-M dalam hal ini tinggi gelombang signifikan dan frekuensi *zero crossing*. Frekuensi *zero crossing* rata-rata dapat dihitung dari

$$\omega_z = \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \tag{2.25}$$

Spektra ITTC dapat ditulis sebagai berikut :

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left[\frac{-4\alpha g^2 \omega^{-4}}{H_s^2}\right] \tag{2.26}$$

dimana

$$\alpha = 0.081/k^4$$

$$k = \frac{\sqrt{g\sigma}}{3.54\omega_z} \tag{2.27}$$

**2.13 Spektra Gelombang JONSWAP ( Joint North Sea Wave Project )**

Spektra ini merupakan penyempurnaan dari spektra P-M yang dikondisikan untuk proyek di laut Utara yang cukup ekstrim dan berbeda. Laut Utara dibatasi oleh pulau dan benua yang mengakibatkan *fetch* di daerah tersebut cukup pendek, namun memiliki kondisi gelombang yang besar. Persamaan untuk spektra JONSWAP diberikan dalam ( Kamphuis, 2000 ) sebagai berikut :

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp[-1.25(\omega/\omega_0)^{-4}] \gamma^{\exp\left[\frac{(\omega_0-\omega)}{2r2\omega_0^2}\right]} \tag{2.28}$$

Dimana :

- $\gamma$  = 3.3 biasanya diterapkan untuk analisis gelombang di Laut Utara, merupakan parameter ketinggian ( *peakness parameter* ).
- $\alpha$  =  $0.076 (x_0)^{-0.22}$  ( parameter rentang frekuensi )  
 = 0.00819 ( bila x tidak diketahui )



persamaan JONSWAP sekarang ini banyak dipakai oleh perusahaan - perusahaan minyak yang beroperasi di Indonesia dalam merancang anjungan dan fasilitas lautan lainnya, tetapi dengan mengambil harga  $\alpha$  yang lebih rendah, yaitu sekitar 2.5 atau 2.0.

- $\tau = 0.07$ , jika  $\omega \leq \omega_z$
- = 0.09, jika  $\omega > \omega_z$
- $\omega_0 = 2 \pi (g / U \omega_0) (x_0)^{-0.33}$
- $x_0 = g.x / U \omega^2$
- $\omega_0^2 = 0.161 g / H_s$

### 2.14 Pengertian Model Fisik

Pemilihan model fisik hidraulik (*hydraulic scale model, physical modeling*) dilakukan apabila fenomena fisik dari permasalahan yang ada di prototip dapat dibuat dengan skala yang lebih kecil dengan kesebangunan (similaritas yang cukup memadai). Kesebangunan dapat berupa : sebangun geometrik (panjang, lebar, tinggi), sebangun kinematik (kecepatan, aliran), sebangun dinamik (gaya).

### 2.15 Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik dipenuhi bila antara model dengan prototip mempunyai bentuk yang sama tapi berbeda ukurannya. Sebangun geometrik terdiri atas dua macam

a. Sebangun geometrik sempurna (tanpa distorsi)

Dimana dalam skala ini skala panjang arah horisontal (disingkat menjadi skala panjang) dan skala panjang arah vertikal (disingkat dengan skala tinggi) adalah sama.

$$\text{Skala panjang} \quad (nL) = \frac{L_p}{L_m} = \frac{\text{Panjang..pada..prototip}}{\text{panjang..pada..model}} \quad (2.29)$$

$$\text{Skala tinggi} \quad (nH) = \frac{h_p}{h_m} = \frac{\text{Tinggi.pada..prototip}}{\text{Panjang.pada..model}} \quad (2.30)$$

$$\text{Skala luas} \quad nA = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(\text{panjang.x.lebar})_p}{(\text{panjang.x.lebar})_m} = (nL)^2 \quad (2.31)$$

$$\text{Skala volume} \quad nV = \frac{V_p}{V_m} = (nL)^3 \quad (2.32)$$

b. Sebangun geometrik distorsi

Dimana skala panjangnya tidak sama dengan skala tingginya

$$\text{Skala luas posisi panjang} : nA = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(\text{panjang} \cdot \text{lebar})_p}{(\text{panjang} \cdot \text{lebar})_m} = (nL)^2 \quad (2.33)$$

$$\text{Skala luas posisi vertikal} : nA = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(\text{panjang} \cdot \text{lebar})_p}{(\text{panjang} \cdot \text{lebar})_m} = nL \cdot x \cdot nh \quad (2.34)$$

$$\text{Skala volume} : nV = \frac{V_p}{V_m} = (nL)^2 \cdot x \cdot nh \quad (2.35)$$

### 2.16 Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik terpenuhi bila antara model dengan prototip adalah sebangun geometrik dan kecepatan dan percepatan di dua titik yang bersangkutan adalah sama. Ada dua macam skala ini yaitu :

a. Model tanpa distorsi

Perbandingan kecepatan dan percepatan yang sama hanya berlaku untuk satu arah saja , yaitu pada arah horisontal atau vertikal saja

$$\text{Skala Kecepatan} : n_U = \frac{U_p}{U_m} = \frac{n_L}{n_T} \text{ atau } \frac{n_h}{n_T} \quad (2.36)$$

$$\text{Skala percepatan} : n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_T^2} \text{ atau } \frac{n_h}{n_T^2} \quad (2.37)$$

$$\text{Skala debit} : n_Q = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{n_L^3}{n_T} \text{ atau } \frac{n_L^2 \cdot n_h}{n_T} \quad (2.38)$$

Dimana  $n_a =$  skala percepatan  
 $n_Q =$  skala debit

### 2.17 Sebangun Dinamik

Sebangun dinamik terpenuhi bila model dan prototip merupakan sebangun geometrik dan kinematik, serta gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototip untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama adalah sama. Gaya tersebut adalah :

$$a. \text{ Gaya berat} \dots \dots \dots F_w = \rho L^3 g \quad (2.39)$$

$$b. \text{ Gaya tekanan} \dots \dots \dots F_p = p L^2 \quad (2.40)$$

$$c. \text{ Gaya gesek} \dots \dots \dots F_v = E L^2 \quad (2.41)$$

Hubungan skala antar parameter yang akan dipergunakan untuk membuat model dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu :

- 1) Hukum skala, yang dimaksud dengan hukum skala adalah hubungan antara skala parameter yang harus dipenuhi
- 2) Persyaratan skala adalah hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi untuk menghindari efek skala dan sering disebut dengan kriteria sebangun

Khampuis, ( 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 yang 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 laboratorium selalu merupakan salah satu alat yang bermanfaat di dalam bidang rekayasa teknik, karena aliran *fluida* yang turbulen yang secara sistematis 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 kompleks dapat dilakukan.
4. Ketepatan model matematis ditentukan oleh ketepatan penggunaan fungsi-fungsi matematis. Ada beberapa 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 kompleks dalam rangka penyelesaian permasalahan beda hingga dalam efek-efek *nonlinear*, sehingga kesulitan utama dalam pemodelan matematis juga dapat dimodelkan mendekati hal yang sebenarnya.
6. Efek-efek fisis 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.

Disamping kelebihan di atas, 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 asumsi pada pemodelan numerik.
2. Efek labolatorium, efek ini 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 dimiliki 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 : adanya gaya geser angin yang bekerja pada permukaan air, yang dapat

menyebabkan terjadinya arus di dekat pantai, dan hal 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.



**BAB III**

**METODOLOGI PENELITIAN**

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

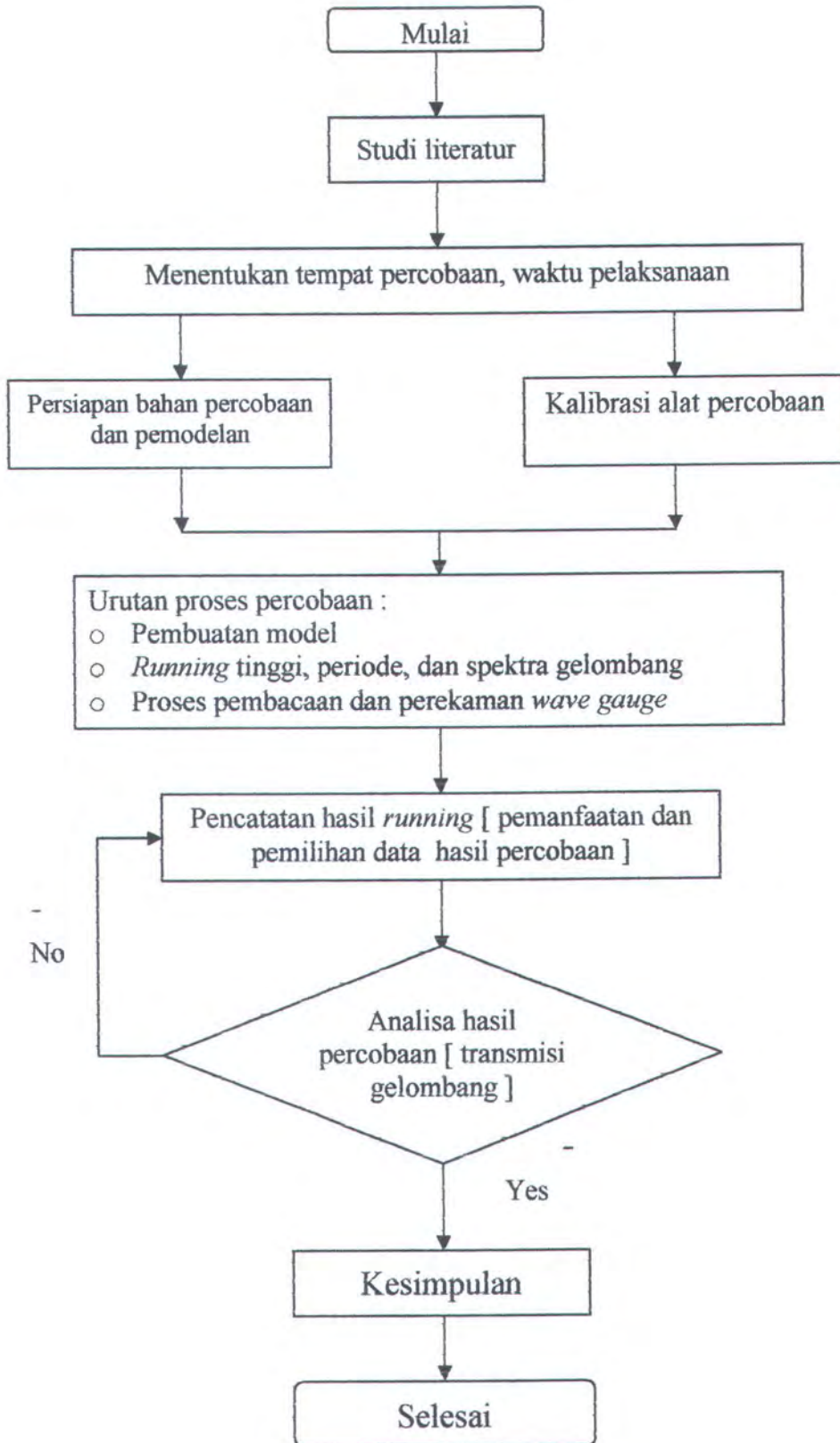
Penelitian dalam tugas akhir ini dilakukan berdasarkan semua kegiatan yang disusun secara benar sesuai dengan urutan kerja dalam melakukan penelitian. Untuk memudahkan dalam melakukan penelitian dan penulisan laporan sehingga diperoleh hasil yang maksimal dengan pengalokasian waktu yang cukup, maka diperlukan bentuk susunan rencana kegiatan yang digambarkan dalam diagram alir ( flow chart ) seperti ditunjukkan pada gambar ( 3.1 ). Diagram alir yang digambarkan tersebut merupakan bentuk pemaparan singkat dari masing-masing urutan kerja yang dilakukan dalam kegiatan penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir mengenai transmisi gelombang pada struktur *cellular cofferdam* dengan kondisi *overtopping*. Adapun diskripsi yang dilakukan pada setiap langkah kegiatan yang ditempuh merupakan garis besarnya saja.

#### 3.1 Studi Literatur

Tahap studi literatur ini dilakukan untuk mulai mencari diantaranya yaitu definisi mengenai struktur *breakwater* tipe *cellular cofferdam* yang memadai, definisi gelombang transmisi, definisi gelombang *overtopping*, menghimpun berbagai teori tentang gelombang transmisi, teori gelombang reguler dan karakteristik gelombang tak beraturan ( *irreguler* ), pengertian tentang model fisik, serta rumus-rumus dasar yang bersesuaian dengan penelitian tugas akhir ini.

#### 3.2 Laboratorium Tempat Percobaan

Tahap kegiatan berikutnya adalah menentukan tempat percobaan untuk model struktur *breakwater*, dimana untuk dapat memperoleh data-data hasil penelitian diperlukan suatu laboratorium pembangkit gelombang. Laboratorium Rekayasa Bawah Air ( Flume Tank ) Jurusan Teknik Kelautan FTK – ITS Surabaya seperti ditunjukkan pada gambar ( 3.2 ) merupakan laboratorium yang sesuai untuk melakukan tes pada model struktur *breakwater* tipe *cellular cofferdam*. Laboratorium ini memanfaatkan pembangkitan gelombang yang akan dikenakan pada model struktur guna mendapatkan hasil percobaan khususnya mengenai pengaruh gelombang setelah melewati struktur.



Gambar 3.1 Diagram alir pada penelitian struktur *cellular cofferdam*



*Flume Tank* yang digunakan sebagai tempat percobaan struktur *cellular cofferdam* merupakan bentuk kolam tes yang mempunyai pembangkit gelombang ( *wave generator* ), dimana segala proses pembangkitan gelombang diatur secara otomatis dengan computer. Adapun spesifikasi *flume tank* meliputi sebagai berikut :

1. Dimensi keseluruhan dari *flume tank* yaitu :

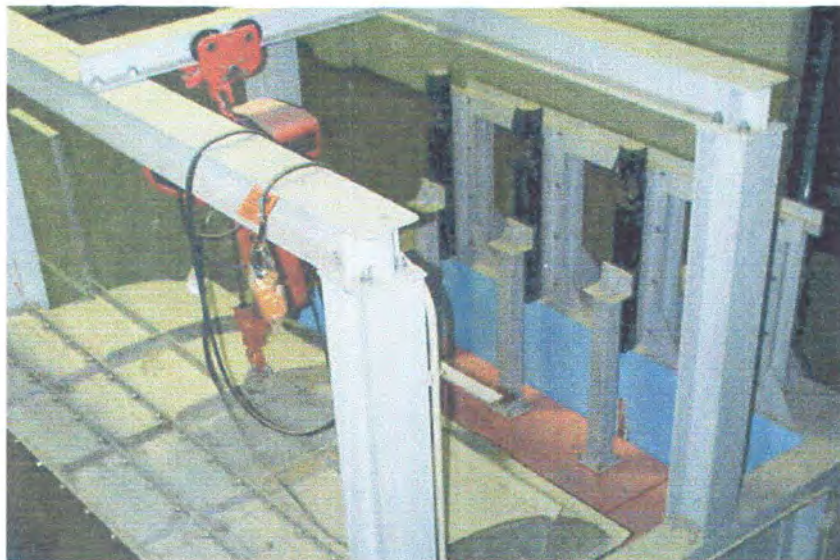
- Panjang 20300 mm
- Tinggi 2300 mm
- Lebar 2500 mm
- Kedalaman 800 mm
- Tebal kaca 15 mm
- Bahan yang digunakan untuk dinding samping adalah *Thoughtned Glass* dan *Mild Steel* ( SS400 ), sedangkan untuk dasar dan dinding belakang menggunakan bahan *Mild Steel* ( SS400 ).



Gambar 3.2 Laboratorium *flume tank*

## 2. Pembangkit gelombang

Merupakan pembangkit gelombang jenis piston ( plunger wavemaker ) dengan bentuk baji silang ( cross wedge ) yang digerakkan secara naik turun, gerakan dan bentuk pembangkit gelombang tersebut dapat membentuk suatu gelombang yang lebih baik karena tidak terganggu oleh gelombang yang terefleksi oleh struktur di depannya. Pembangkit gelombang ini mampu membangkitkan gelombang reguler maupun gelombang irreguler. Untuk gelombang reguler input data yang diperlukan adalah besarnya periode dan tinggi gelombang, sedangkan untuk gelombang irreguler data input merupakan periode dan tinggi gelombang pada tiga spektra gelombang yang tersedia yaitu ISSC, ITTC, dan JONSWAP, sedangkan untuk spektra gelombang Pierson-Moskowitz data input yang diperlukan adalah parameter kecepatan angin.



Gambar 3.3 Piston pembangkit gelombang

## 3. Penyerap gelombang ( wave absorber )

Terbuat dari *stainless steel* dan bahan kimia dengan panjang 3 m dengan tipe *fixed beach type*, penyerap gelombang ini berfungsi untuk menyerap energi gelombang yang telah melewati struktur akibat kondisi *overtopping*. Sehingga pencatatan gelombang transmisi yang terbentuk diharapkan tidak terganggu oleh gelombang refleksi yang dapat membentuk superposisi gelombang.

4. Pendukung untuk penggerak gelombang
  - *Linier slide assembly*
  - Mesin dengan tipe AC servo motor
  - Rencana kerja
  - Pengontrol
5. ADC interface

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



Gambar 3.4 Piranti komputer pendukung pembangkit gelombang

### 3.3 Persiapan Bahan Percobaan, Alat dan Pemodelan

Pada tahap ini melakukan persiapan pembuatan model *breakwater cellular cofferdam* dengan suatu skala dan pertimbangan kesebangunan. Bahan-bahan yang dipersiapkan antara lain seperti :

- Besi untuk rangka atau tulangan struktur breakwater dengan diameter 10 mm dan diameter 6 mm
- Lembaran seng untuk lapisan penutup struktur breakwater dengan ukuran diameter 3 mm
- Pengikat dari kawat, cat atau pewarna untuk penandaan batu pecah

- Lem besi, dan beberapa lapisan papan dari kayu untuk penyangga struktur
- Material batu pecah dengan berbagai ukuran yang berbeda
- Material pengisi ( filler ) breakwater berupa material tak kohesif seperti pasir untuk stabilitas struktur.

#### Batu pecah

1. Berat batuan pecah yang digunakan dalam tes model fisik ini dihitung berdasarkan rumus perhitungan berat Hudson dengan tinggi gelombang rencana di *flume tank* yang telah diskala (  $nW = nH^3$  ). Adapun berat batuan yang digunakan setelah dihitung adalah sebesar 7.8 gr, 6 gr, dan 4 gr. Untuk memudahkan mendapatkan berat batuan yang sesuai diberikan toleransi sebesar 10% untuk tiap-tiap berat. Batuan pecah dengan berat yang telah diskala diberi warna dengan variasi 4 warna ( coklat, kuning, hijau, biru ). Pewarnaan batu diusahakan setipis mungkin sehingga pori-pori batu tidak tertutup oleh cat. Setelah dilakukan pewarnaan batu dijemur sampai kering, kemudian batu diletakkan didalam model. Untuk menambah stabilitas pada model di bagian bawah batuan pecah diisi oleh pasir kali dan batuan kerikil yang lebih kecil.



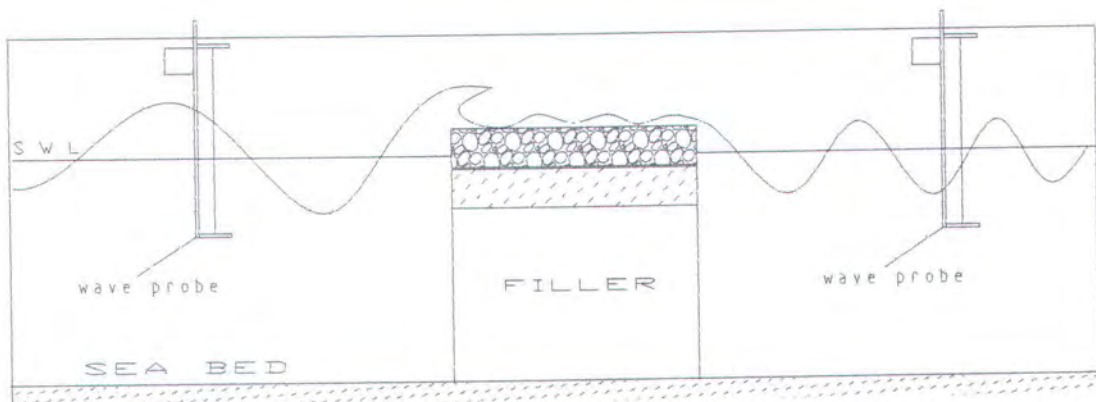
Gambar 3.5 Model batu pecah yang digunakan pada *cellular cofferdam*

Setting peralatan percobaan

1. Membuat pembatas pada kolam tes sesuai dengan dimensi model yang akan digunakan dalam percobaan seperti ditunjukkan pada gambar ( 3.6 ), dimana dalam proses percobaan ini lebar kolam yang akan digunakan adalah sebesar 75 cm.
2. Mengatur kedalaman air dalam kolam yaitu sebesar 80 cm
3. Memasang dua buah *wave probe* yang berfungsi sebagai sensor pencatat tinggi maupun periode gelombang dengan jarak lebih dari satu kali panjang gelombang pada periode yang maksimum seperti ditunjukkan pada gambar ( 3.7 ).



Gambar 3.6 Pembagian kolam untuk membuat model struktur kedap



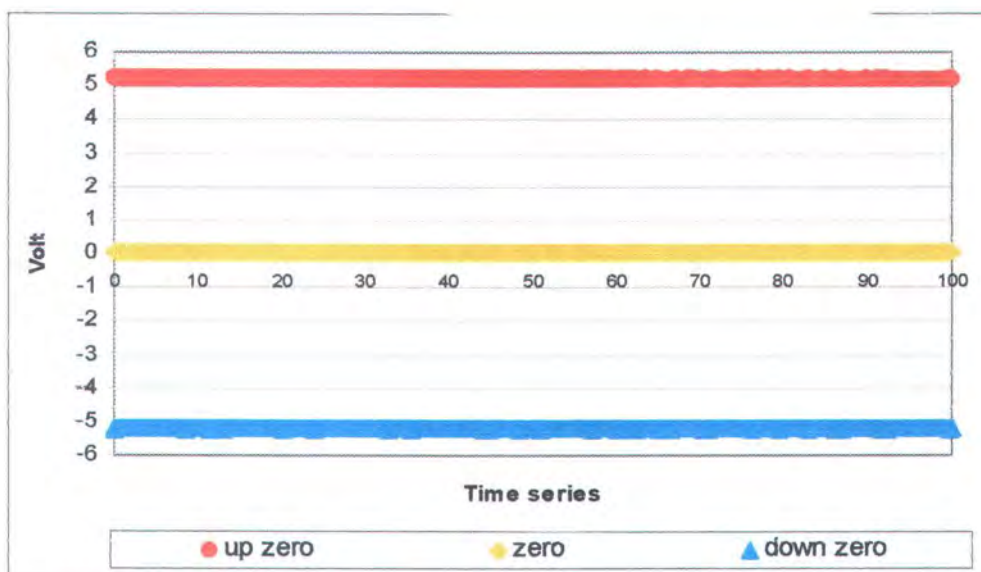
Gambar 3.7 Pemasangan dua sensor pencatat tinggi dan periode gelombang

### 3.4 Kalibrasi Alat Percobaan

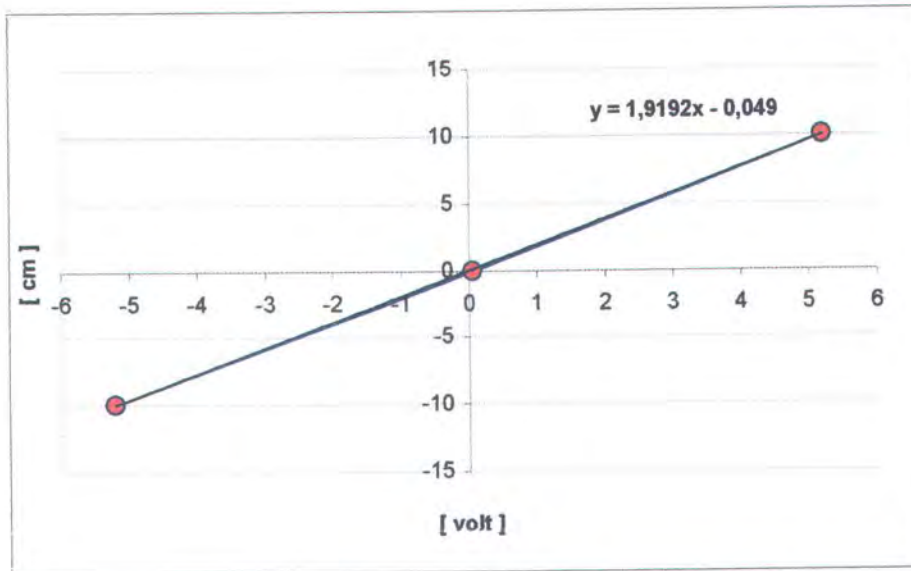
Untuk mendapatkan kesesuaian yang baik pada proses pengamatan model, pada alat sensor pencatat tinggi gelombang dan periode gelombang, diperlukan adanya suatu kalibrasi sebelum proses *running* dijalankan. Kalibrasi tersebut untuk dapat mengontrol dan mencocokkan skala bacaan suatu alat ukur dengan besaran yang diukur.

Proses kalibrasi alat ukur gelombang ( *wave probe* ) dilakukan dengan cara mencatat *time series* dengan jumlah *maximum sampling time* 100 dimana sensor dipasang pada tiga contoh titik level ketinggian air yaitu *up-zero point*, *zero point*, dan *down-zero point*. Pengaturan jarak untuk menempatkan titik level ketinggian tersebut didasarkan pada tinggi gelombang input maksimum yaitu sebesar 100 mm ( 10 cm ), maka jarak yang harus didapatkan dari *zero point* terhadap *up-zero point* maupun *down-zero point* masing-masing adalah sebesar 5 cm yang merupakan tinggi amplitudo gelombang input maksimum.

Untuk mendapatkan jarak kesesuaian tersebut dan merekam hasil kalibrasinya, *wave probe* harus dinaikkan dan diturunkan 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 electrode MTG yang tercelup dalam air dengan perubahan voltase yang tercatat pada recorder. Hasil Kalibrasi ketiga posisi tersebut ditunjukkan pada gambar ( 3.8 ) berikut :



Gambar 3.8 Grafik kalibrasi *time series* alat ukur ( *wave probe* )



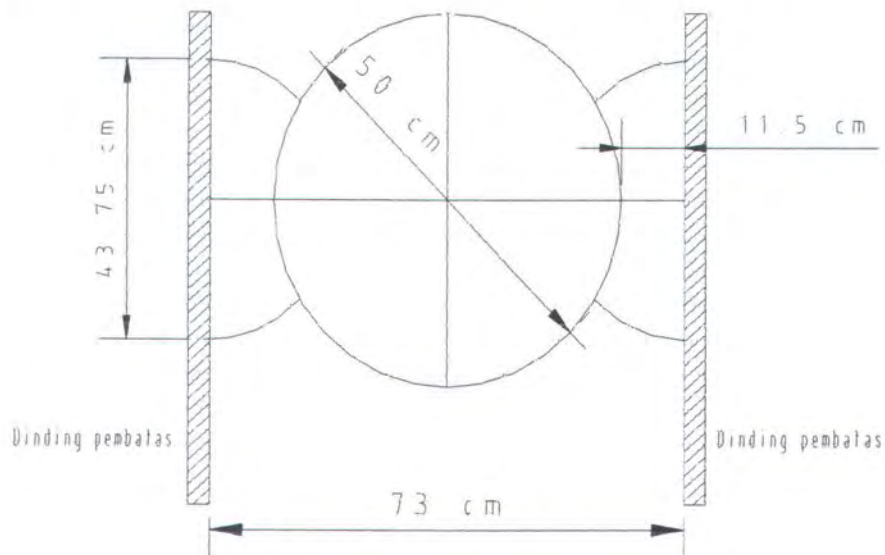
Gambar 3.9 Pembacaan grafik hasil kalibrasi alat ukur

Pada Gambar 3.9 grafik kalibrasi di atas menunjukkan untuk kenaikan maupun penurunan titik level ketinggian *wave probe* sebesar 10 cm terhadap *zero point*, alat ukur mencatat perubahan voltase sebesar 5 volt yang secara ekuivalen disamakan dengan 5 cm. Alat ukur tersebut berarti membaca tinggi gelombang ( H ) sebagai amplitudo gelombang. Kendati demikian perbedaan ini hanyalah faktor skala setting sensor dan kondisi alat ukur yang dikalibrasikan sudah cukup baik untuk mendapatkan data rekaman gelombang yang akan dibangkitkan.

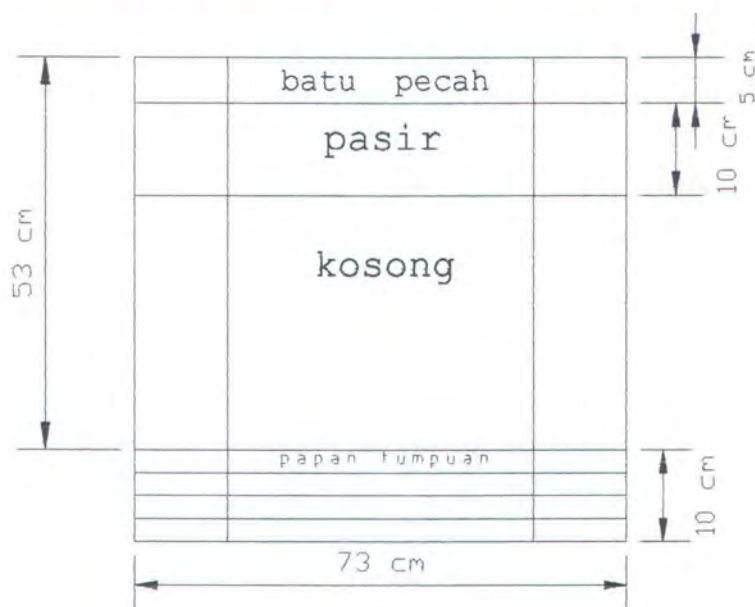
### 3.5 Pembuatan Model

1. Tulangan vertikal model dibuat dari bahan baja dengan diameter 10 mm, panjang 50 cm sebanyak 10 buah, sedangkan untuk tulangan bentuk datar melingkar menggunakan ukuran diameter 6 mm, panjang 50 cm sebanyak 3 buah.
2. Bagian penyusun model yang telah selesai dipotong kemudian disambung dengan menggunakan proses pengelasan SMAW ( Shielded Material Arc Welding ) sehingga menjadi bentuk kerangka model tipe *Cellular Cofferdam*.
3. Lembaran seng dengan tebal 0.3 mm dipotong dan dibentuk sesuai dengan ukuran model *Cellular Cofferdam* yang telah dihitung sebelumnya. Kemudian seng dilekatkan pada keliling kerangka model dengan bantuan kawat ikat dan lem besi.
4. Setelah model selesai dibuat, di bagian atas model diberi lubang untuk drainase yang mengelilingi bagian atas dari model. Fungsinya selain untuk menjaga agar air

tidak menggenang pada bagian atas model, juga untuk menjaga agar batuan pecah tetap dalam kondisi yang kering sehingga proses perhitungan prosentase kegagalan batuan pecah dapat dilakukan dengan mudah. Untuk mendapatkan variasi ketinggian dari model, bagian bawah model diberikan tumpuan papan kayu yang dilapisi dengan seng. Pelapisan seng disini mempunyai maksud agar antara model dengan tumpuan merupakan satu kesatuan yang utuh. Gambar model struktur *Cellular Cofferdam* yang akan digunakan dalam percobaan adalah sebagai berikut.

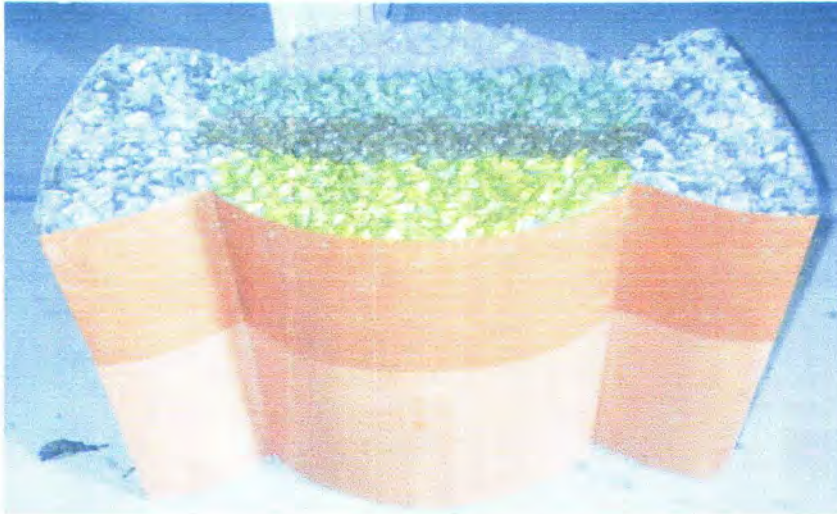


Gambar 3.10 Model *cellular cofferdam* tampak dari atas

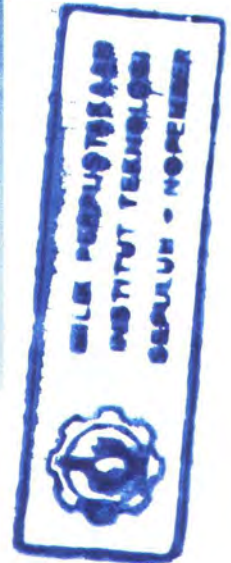


Gambar 3.11 Model *cellular cofferdam* tampak dari depan dan belakang



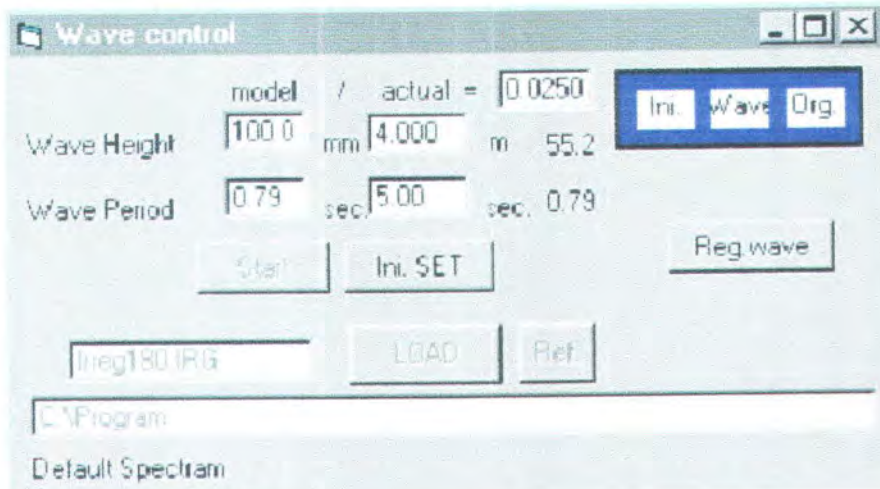


Gambar 3.12 Model *cellular cofferdam* tes dengan pembagian pias batu pecah tampak dari depan

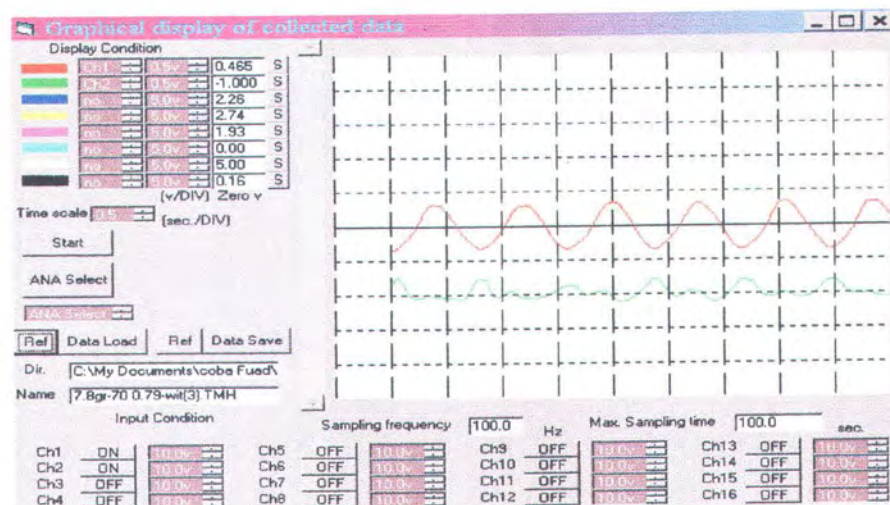


### 3.6 Proses *Running* Gelombang

1. Model seperti pada gambar ( 3.12 ) dipasang di dalam kolam, kemudian model tersebut diberi bangkitan gelombang reguler dengan memasukkan data variasi tinggi, periode gelombang. Sedangkan untuk gelombang irreguler data yang dimasukkan adalah variasi tinggi gelombang dengan satu macam periode gelombang yakni 5 detik pada variasi spektra gelombang ISSC, ITTC, Jonswap, sedangkan untuk spektra gelombang P-M memasukkan parameter data kecepatan angin. Proses pembangkitan gelombang dilakukan dengan menjalankan program *wave control* seperti pada gambar ( 3.13 ). Langkah untuk memulai bangkitan gelombang yang diinginkan yaitu menekan tombol *initial SETTING* untuk mengaktifkan tombol *start*. Langkah berikutnya memasukkan faktor skala pada kotak [ model / aktual ], kemudian memasukkan data tinggi dan periode gelombang yang sesuai. Kotak tombol *Reguler wave* dapat diubah apabila gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang irreguler. Lamanya proses *running* gelombang ditentukan dengan besarnya periode.
2. Selama proses pembangkitan gelombang berlangsung, proses pencatatan untuk gelombang datang maupun gelombang transmisi yang dilakukan oleh *wave probe* ditampilkan dalam bentuk gelombang berjalan seperti gambar ( 3.14 ), dimana rekaman gelombang yang berupa data tersebut disimpan dalam bentuk nama *file*.



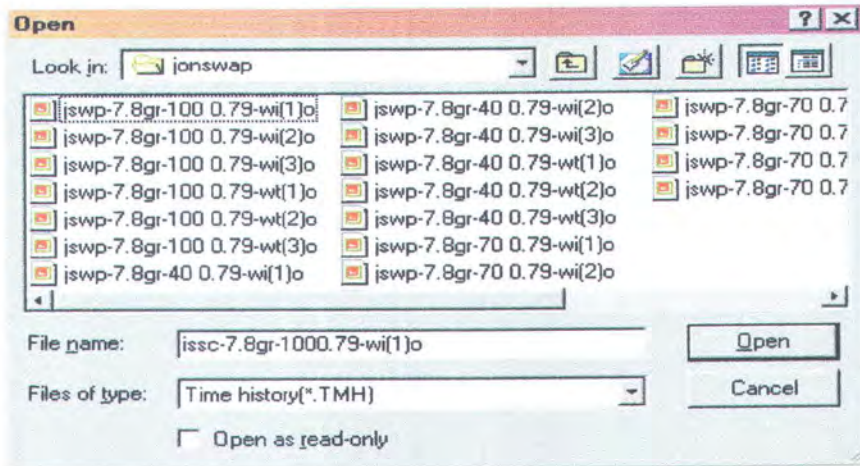
Gambar 3.13 Program *wave control*



Gambar 3.14 Tampilan proses *running* gelombang pada program *Data record* dalam melakukan pencatatan tinggi dan periode gelombang

### 3.7 Pencatatan Hasil *Running*

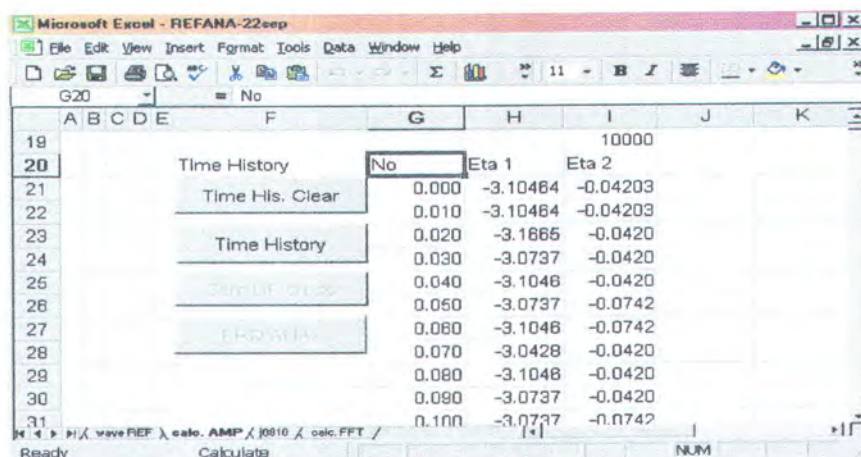
Semua hasil *running* gelombang yang berupa *file data* yang telah diperoleh disimpan sebagai rekaman untuk mengetahui hasil dari bangkitan gelombang. Pencatatan seluruh *running* gelombang tersebut digunakan untuk bahan pengolahan data dan analisa percobaan.



Gambar 3.15 Bentuk penyimpanan data *running* gelombang

**3.8 Analisa Hasil Percobaan**

Setelah data dari pencatatan serangkaian percobaan didapatkan, maka pengolahan terhadap data dilakukan untuk mendapatkan nilai koefisien transmisi gelombang sebagaimana tujuan dari tugas akhir ini. Untuk dapat memperoleh parameter tinggi gelombang transmisi, maka hasil rekaman gelombang harus ditampilkan terlebih dahulu melalui program yang dinamakan “REFANA” ( Refraction Analysis ) seperti ditunjukkan pada gambar ( 3.16 ). Program “REFANA” menampilkan data “ETA” ( Estimated Time series Analysis ) yang selanjutnya dapat dianalisis melalui program atau *software* MATLAB untuk mendapatkan beberapa parameter gelombang yang diperlukan. Dan setelah melakukan analisa terhadap parameter tinggi gelombang tersebut, maka dengan menyesuaikan terhadap teori yang ada beberapa poin dapat diambil sebagai kesimpulan.



Gambar 3.16 Program REFANA ( Refraction Analysis )



**BAB IV**

**ANALISA DAN PEMBAHASAN**

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa

Dari data-data yang telah diperoleh selama percobaan, tahap analisa ini selanjutnya memanfaatkan data yang direkam oleh *wave probe* atau sensor yang kemudian ditampilkan dalam bentuk data *time series* untuk mencari nilai tinggi dan periode gelombang datang maupun gelombang transmisi. Data-data *time series* tersebut merupakan hasil dari data masukan yang divariasikan, yaitu berupa variasi tinggi gelombang (  $H$  ), variasi puncak elevasi (  $h$  ), variasi periode gelombang (  $T$  ) untuk gelombang reguler, serta variasi spektra untuk gelombang irreguler yakni ( ITTC, JONSWAP, ISSC, P – M ) dengan periode (  $T$  ) yang konstan.

Di bawah ini adalah tabel-tabel data untuk puncak elevasi ( *overtopping* ), berat batu pecah pengisi *breakwater cellular cofferdam* ( digunakan untuk perhitungan porositas ), variasi periode untuk bangkitan gelombang datang reguler, variasi tinggi gelombang datang reguler, sedangkan untuk gelombang irreguler tinggi gelombang datang divariasikan dengan spektra gelombang dengan menggunakan satu variasi periode gelombang yakni periode gelombang selama lima ( 5 ) detik, serta grafik hasil kalibrasi untuk empat macam tinggi gelombang datang dengan menggunakan skala model 1 : 40

Tabel 4.1 Variasi puncak elevasi ( *overtopping* ) *breakwater cellular cofferdam*

Elevasi ( <i>overtopping</i> _h )			
h prototip ( cm )	2,5	0	2,5
h model ( m )	1	0	-1

Tabel 4.2 Variasi berat batu pecah yang digunakan pada *breakwater cellular cofferdam*

Berat batu pecah ( W )			
W prototip ( kg )	256	384	500
W model ( gr )	4	6	7,8

Tabel 4.3 Variasi periode gelombang yang digunakan untuk bangkitan gelombang datang pada tes *breakwater cellular cofferdam*

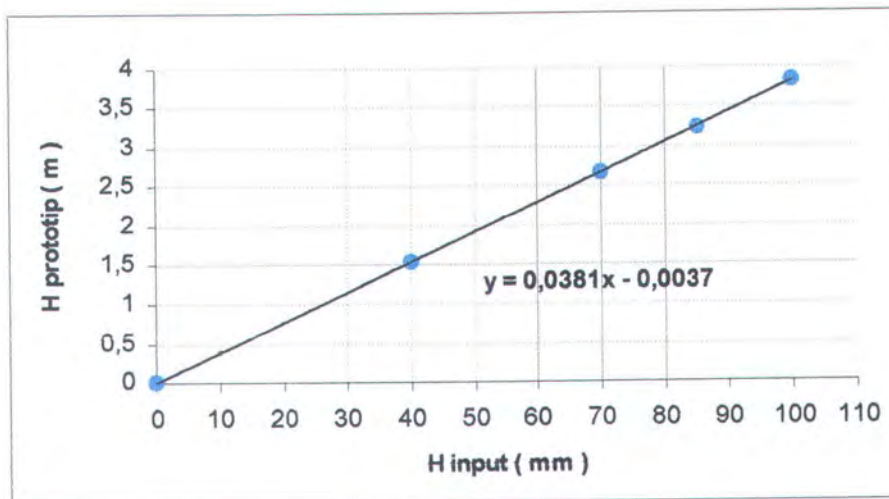
Periode gelombang datang ( T ), [  $T * (1 / (40^{0.5}))$  ]

T input ( det )	0,79	1,89	2,37	3,20
T prototip ( det )	5	12	15	20

Tabel 4.4 Data tinggi gelombang hasil kalibrasi

Tinggi gelombang datang ( H ) dengan skala 1:40

H input ( mm )	0	40	70	85	100
H prototip ( m )	0	1,52	2,66	3,23	3,82



Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi hubungan antara H input dan H prototip

#### 4.2 Analisa Koefisien Transmisi untuk Gelombang Reguler

Seperti yang telah disebutkan pada sub bab 4.1 yaitu dalam menganalisa hasil percobaan tes *breakwater cellular cofferdam*, maka untuk mengetahui hubungan antara nilai koefisien transmisi dengan parameter yang lain berdasarkan dari berbagai data *time series*, digunakan grafik analisa yang menyatakan hubungan antara nilai koefisien transmisi dengan suatu parameter tertentu. Dari data-data *time series* tersebut kemudian dicari harga-harga untuk tinggi gelombang datang maupun tinggi gelombang transmisi, sehingga dari perbandingan harga tinggi gelombang transmisi dengan harga tinggi gelombang datang dapat dihitung nilai koefisien transmisinya. Lebih lengkapnya daftar tabel yang memuat nilai koefisien transmisi untuk berbagai data *time series* dapat dilihat pada bagian halaman lampiran.

Grafik analisa untuk gelombang reguler dibuat dengan menyatakan hubungan antara nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dengan parameter periode gelombang (  $T$  ) pada variasi tinggi gelombang (  $H$  ), dan variasi puncak elevasi struktur ( *overtopping\_h* ). Selanjutnya grafik yang menyatakan hubungan antara nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dengan periode gelombang (  $T$  ) berdasarkan data setiap tabel untuk tiap-tiap elevasi, pada salah satu variasi tinggi gelombang (  $H$  ) dan salah satu porositas batu pecah (  $n$  ) ditunjukkan seperti di bawah berikut.

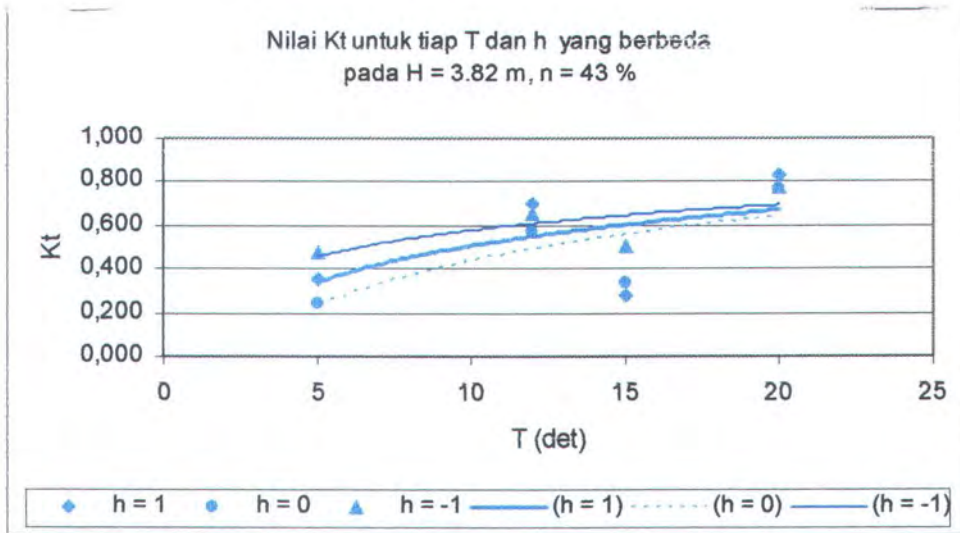
Tabel 4.5 Nilai  $K_t$  untuk periode  $T$  dan elevasi ( *overtopping\_h* ) yang berbeda,

pada  $H = 3.82$  m,  $n = 43$  %

$H = 3.82$  m ;

$n = 43$  %

T (det)	Kt		
	h = 1 m	h = 0 m	h = -1 m
5	0,353	0,248	0,472
12	0,703	0,570	0,658
15	0,282	0,333	0,506
20	0,831	0,770	0,780



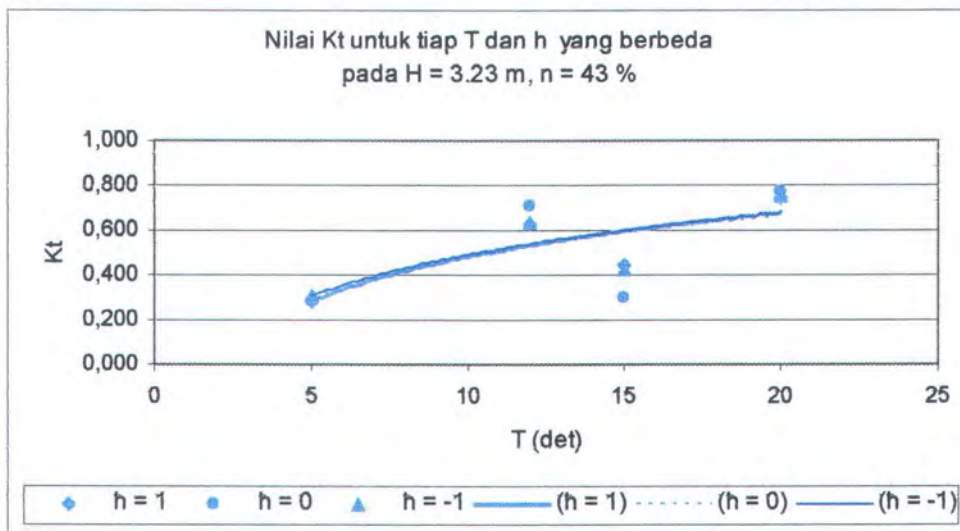
Gambar 4.2

Tabel 4.6 Nilai  $K_t$  untuk periode  $T$  dan elevasi (  $overtopping\_h$  ) yang berbeda, pada  $H = 3.23 \text{ m}$ ,  $n = 43 \%$

$H = 3.23 \text{ m}$  ;

$n = 43 \%$

T (det)	Kt		
	h = 1 m	h = 0 m	h = -1 m
5	0,285	0,286	0,311
12	0,626	0,712	0,633
15	0,442	0,297	0,426
20	0,744	0,776	0,759



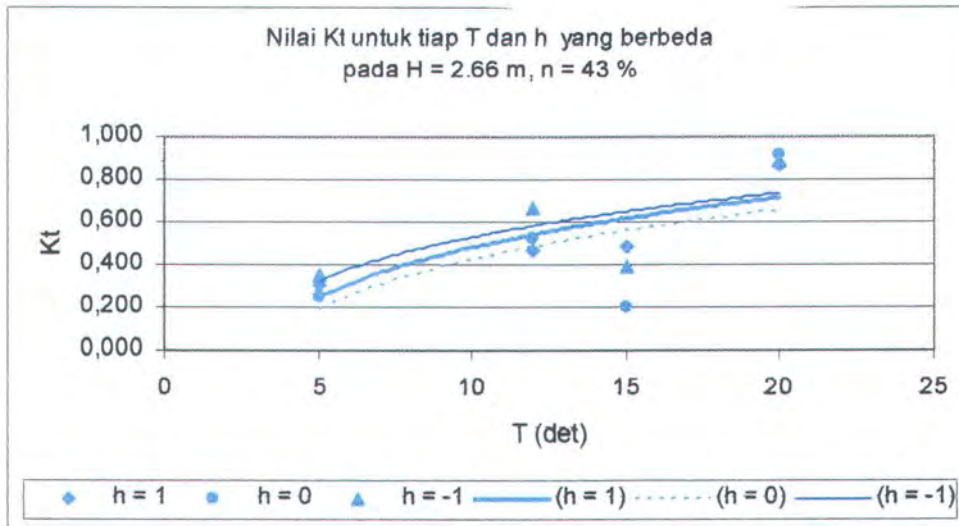
Gambar 4.3



Tabel 4.7 Nilai  $K_t$  untuk periode  $T$  dan elevasi (  $overtopping\_h$  ) yang berbeda, pada  $H = 2.66\text{ m}$ ,  $n = 43\%$

$H = 2.66\text{ m}$  ;  $n = 43\%$

T (det)	Kt		
	h = 1 m	h = 0 m	h = -1 m
5	0,305	0,250	0,349
12	0,471	0,522	0,670
15	0,482	0,198	0,395
20	0,869	0,914	0,887



Gambar 4.4

Dari ketiga grafik di atas yang menyatakan nilai koefisien transmisi untuk tiap periode gelombang (  $T$  ) dan elevasi (  $overtopping\_h$  ) yang berbeda, pada tiga variasi tinggi gelombang yaitu  $H = 3.82\text{ m}$  ;  $H = 3.23\text{ m}$  ; dan  $H = 2.66\text{ m}$ , karakteristik nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) pada tiga elevasi yang ditunjukkan oleh tiga *trendline*, dominan mempunyai nilai  $K_t$  yang paling tinggi yaitu pada elevasi (  $overtopping$  )  $h = -1\text{ m}$  (  $1\text{ m}$  di bawah muka air tenang ), kemudian nilai  $K_t$  yang lebih rendah lagi pada  $h = 1\text{ m}$  (  $1\text{ m}$  di atas muka air tenang), sedangkan pada  $h = 0\text{ m}$  ( rata dengan muka air tenang ) mempunyai nilai  $K_t$  yang paling rendah.

Hasil analisa data yang ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dan periode gelombang (  $T$  ) *trendline* yang terbentuk menunjukkan

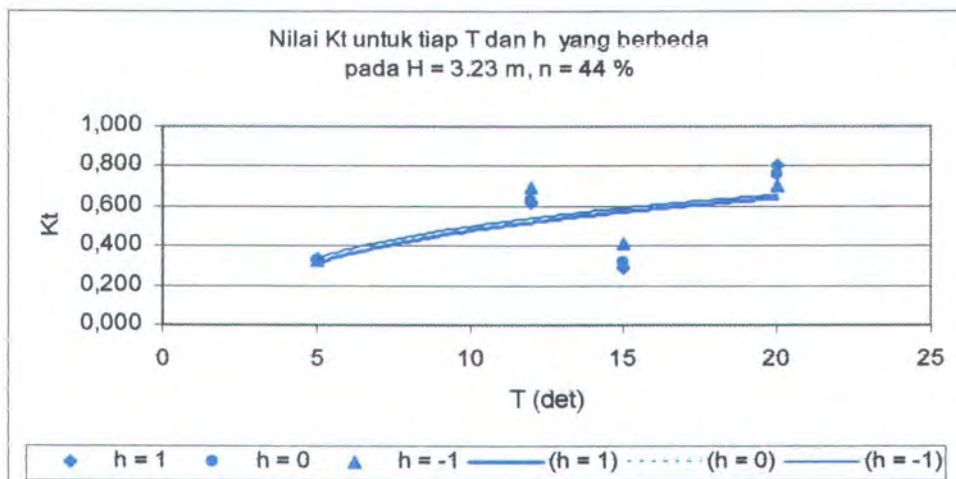
peningkatan nilai  $K_t$  pada periode gelombang yang semakin besar, seperti pada percobaan yang dilakukan oleh Nizam, ( 1984 ) kondisi tersebut memperlihatkan bahwa gelombang dengan periode panjang cenderung diteruskan melewati struktur dan membentuk gelombang transmisi yang tinggi. Sedangkan pada elevasi (  $overtopping\_h = 0\text{ m}$  ) mempunyai nilai  $K_t$  yang paling rendah, hal tersebut menunjukkan bahwa pada  $h = 0$  gelombang transmisi yang terbentuk lebih kecil dibandingkan dengan elevasi yang lain. Pada kondisi tersebut terjadi persentase kegagalan batu pecah yang besar, sehingga energi gelombang yang diindikasikan sebagai energi yang hilang (  $C_L$  ) bersesuaian dengan persentase kegagalan batu pecah tersebut.

Di bawah ini contoh analisa koefisien transmisi dari tabel dan grafik yang lain untuk menyatakan nilai  $K_t$  untuk tiap periode gelombang (  $T$  ) dan elevasi (  $overtopping\_h$  ) namun berbeda pada variasi porositas (  $n$  ) batu pecah yaitu  $n = 45\%$  ; dan  $n = 46\%$ , masing-masing untuk tinggi gelombang yang berbeda (  $H = 3.23\text{ m}$  ; dan  $H = 3.82\text{ m}$  ).

Tabel 4.8 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $h$  yang berbeda, pada  $H = 3.23\text{ m}$  ;  $n = 44\%$

$H = 3.23\text{ m}$  ;  $n = 44\%$

T (det)	$K_t$		
	$h = 1\text{ m}$	$h = 0\text{ m}$	$h = -1\text{ m}$
5	0,338	0,326	0,322
12	0,615	0,626	0,690
15	0,286	0,320	0,413
20	0,805	0,759	0,703

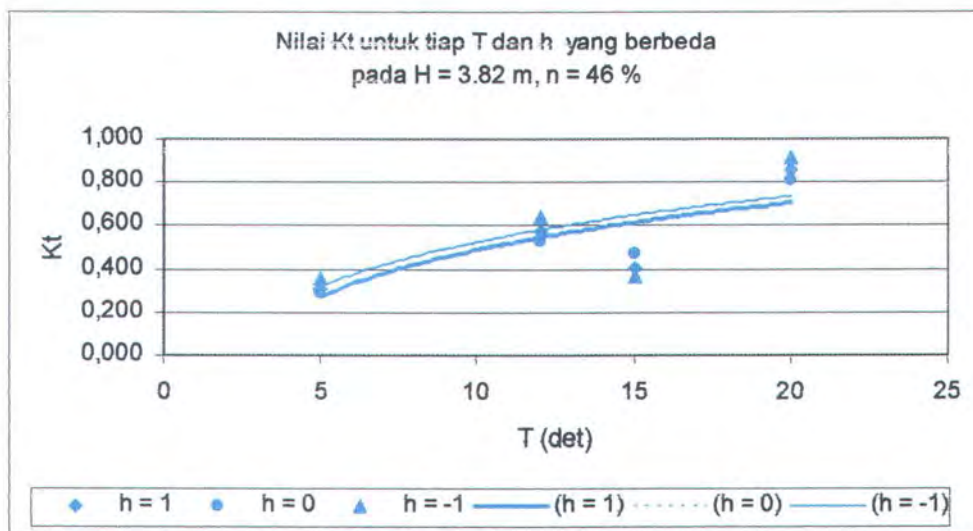


Gambar 4.5

Tabel 4.9 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $h$  yang berbeda, pada  $H = 3.82 \text{ m}$  ;  $n = 46 \%$

$H = 3.82 \text{ m}$  ;  $n = 46 \%$

T (det)	$K_t$		
	$h = 1 \text{ m}$	$h = 0 \text{ m}$	$h = -1 \text{ m}$
5	0,310	0,297	0,356
12	0,576	0,527	0,642
15	0,401	0,468	0,371
20	0,858	0,813	0,919



Gambar 4.6

Dari dua contoh tabel dan grafik di atas, pada kasus yang sama seperti sebelumnya yaitu nilai koefisien transmisi untuk tiap periode gelombang ( $T$ ) dan elevasi ( $h$ ) yang berbeda pada variasi tinggi gelombang, dan divariasikan pula terhadap porositas ( $n$ ) batu pecah menunjukkan grafik analisa (trendline) yang cukup bersesuaian. Sehingga dalam hal ini pengaruh dari porositas batu pecah yang digunakan dalam tes *breakwater cellular cofferdam* dengan tiga macam variasi ( $n = 43 \%$  ;  $n = 44 \%$  ;  $n = 46 \%$ ) terhadap gelombang transmisi tidak cukup signifikan, kendati telah divariasikan pada tinggi gelombang, periode gelombang, dan elevasi puncak struktur.

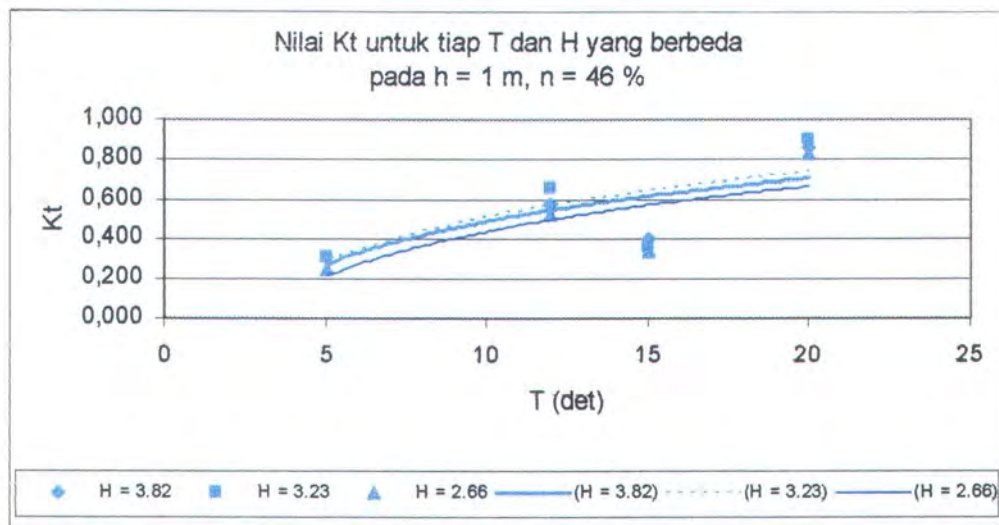
Selain grafik di atas yang menyatakan hubungan antara nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) dengan periode gelombang ( $T$ ) berdasarkan data setiap tabel untuk tiap-tiap elevasi, pada salah satu variasi tinggi gelombang ( $H$ ) dan salah satu porositas batu pecah ( $n$ ), grafik

analisa untuk gelombang reguler dapat pula dibuat dengan menyatakan hubungan antara nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) dengan periode gelombang ( $T$ ) berdasarkan data setiap tabel untuk tiap-tiap tinggi gelombang, pada salah satu puncak elevasi ( $h$ ) seperti ditunjukkan di bawah berikut.

Tabel 4.10 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $H$  yang berbeda, pada  $h = 1 \text{ m}$ ;  $n = 46 \%$

$h = 1 \text{ m}$ ;  $n = 46 \%$

T (det)	Kt		
	H = 3.82 m	H = 3.23 m	H = 2.66 m
5	0,310	0,311	0,255
12	0,576	0,652	0,528
15	0,401	0,364	0,342
20	0,858	0,901	0,831

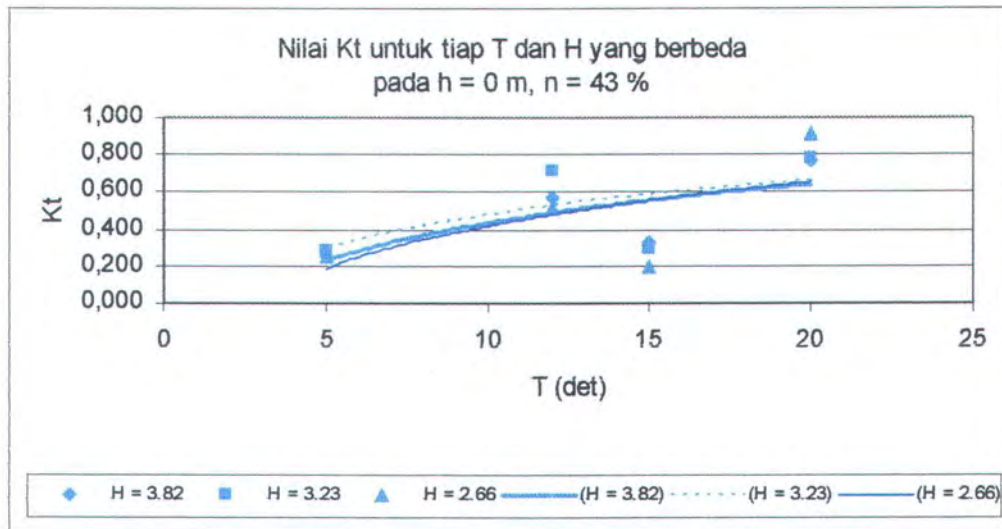


Gambar 4.7

Tabel 4.11 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $H$  yang berbeda, pada  $h = 0 \text{ m}$ ;  $n = 43 \%$

$h = 0 \text{ m}$ ;  $n = 43 \%$

T (det)	Kt		
	H = 3.82 m	H = 3.23 m	H = 2.66 m
5	0,248	0,286	0,250
12	0,570	0,712	0,522
15	0,333	0,297	0,198
20	0,770	0,776	0,914

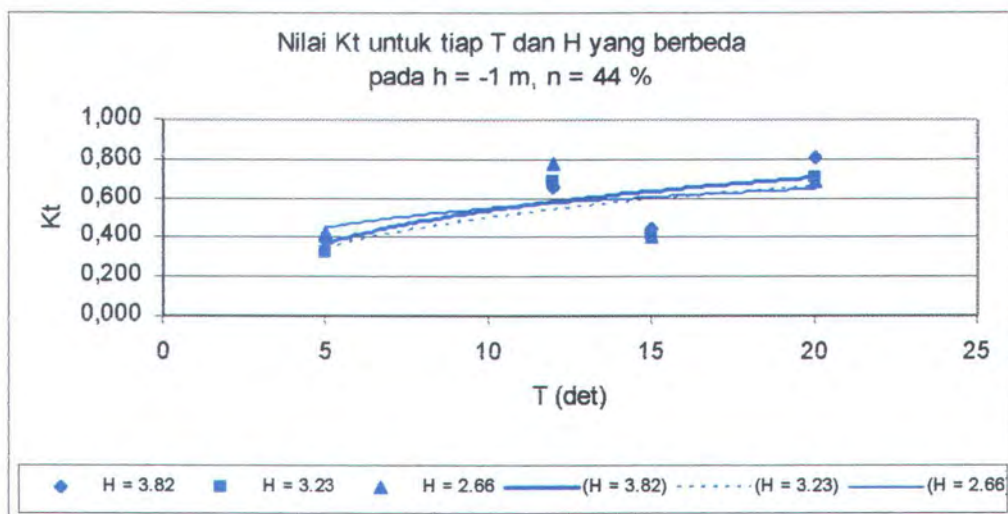


Gambar 4.8

Tabel 4.12 Nilai  $K_t$  untuk  $T$  dan  $H$  yang berbeda, pada  $h = -1$  m ;  $n = 44$  %

$h = -1$  m ;  $n = 44$  %

T (det)	Kt		
	H = 3.82 m	H = 3.23 m	H = 2.66 m
5	0,383	0,322	0,420
12	0,654	0,690	0,773
15	0,447	0,413	0,402
20	0,811	0,703	0,685



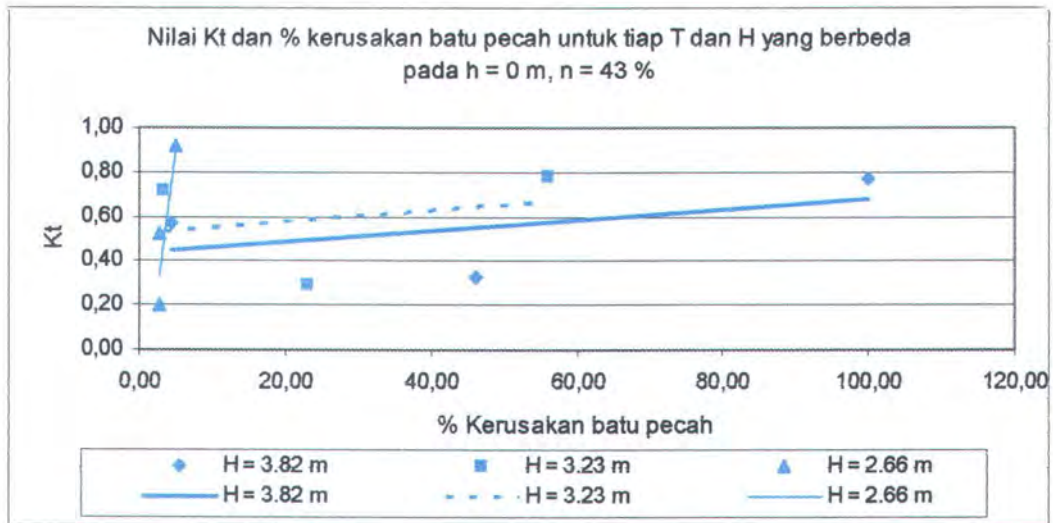
Gambar 4.9

Ketiga tabel data dan grafik yang telah ditampilkan di atas diambil untuk kondisi nilai  $K_t$  pada tiga macam kondisi puncak elevasi yang berbeda ( $h = 1 \text{ m}$  ;  $h = 0 \text{ m}$  ;  $h = -1 \text{ m}$  ). Grafik analisa yang mewakili tersebut menunjukkan suatu *trendline* sedemikian rupa, dimana *trendline* untuk tinggi gelombang yang lebih besar cenderung menghasilkan nilai  $K_t$  yang besar pula. Sebagaimana telah disebutkan bahwa disain *cellular cofferdam* memungkinkan gelombang dapat melimpas melewati struktur, maka dimensi lebar puncak struktur dalam hal ini akan sangat mempengaruhi gelombang transmisi. Artinya apabila disain struktur dibuat dengan lebar puncak yang semakin besar, maka limpasan tinggi gelombang bangkitan yang kecil akan mempunyai energi yang lebih rendah dibandingkan dengan limpasan tinggi gelombang dengan bangkitan yang lebih besar pada saat melewati struktur. Sehingga dengan berkurangnya energi gelombang tersebut tentu akan membentuk gelombang transmisi yang lebih kecil. Pada penelitian yang dilakukan oleh Nizam (1984 ) pula, menunjukkan bahwa pengurangan energi tinggi gelombang oleh suatu pemecah gelombang bawah air merupakan fungsi dari lebar puncak struktur.

Dari grafik-grafik analisa koefisien transmisi untuk gelombang reguler yang telah ditunjukkan di atas, seperti yang telah dijelaskan bahwa terutama pada elevasi rata muka air ( *overtopping*  $h = 0 \text{ m}$  ) mempunyai kondisi nilai koefisien transmisi yang paling kecil dibandingkan dengan nilai  $K_t$  pada dua elevasi yang lainnya. Selanjutnya untuk lebih spesifik mengetahui kondisi nilai koefisien transmisi pada elevasi ini, ditunjukkan pada data dan grafik di bawah berikut yang menyatakan hubungan antara nilai  $K_t$  pada variasi periode gelombang dengan persentase kerusakan batu pecah untuk tiap-tiap tinggi gelombang datang yang berbeda.

Tabel 4.13 Nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) dan persen kegagalan batu pecah ( $\% D$ ) untuk periode ( $T$ ) dan tinggi gelombang ( $H$ ) yang berbeda, pada  $h = 0 \text{ m}$  ;  $n = 43 \%$

$h = 0 \text{ m}$		$n = 43 \%$				
$T$ (det)	% rusak	$K_t$	% rusak	$K_t$	% rusak	$K_t$
		$H = 3.82 \text{ m}$		$H = 3.23 \text{ m}$		$H = 2.66 \text{ m}$
12	4,36	0,57	3,19	0,71	2,66	0,52
15	46,06	0,33	23,20	0,30	2,87	0,20
20	100,00	0,77	56,06	0,78	5,00	0,91



Gambar 4.10

Salah satu contoh grafik di atas menunjukkan tiga *trendline* untuk nilai Kt pada tiap-tiap tinggi gelombang datang yang berbeda. Dimana untuk tinggi gelombang datang 3.82 m, nilai Kt relatif kecil namun dengan persentase kerusakan batu pecah yang paling besar. Sebaliknya untuk tinggi gelombang datang sebesar 2.66 m, nilai Kt yang terjadi justru relatif besar namun mempunyai persentase kerusakan batu pecah yang paling kecil. Hal ini berarti bahwa pada elevasi  $h = 0$  m persentase kegagalan batu pecah pada *cellular cofferdam* berbanding terbalik dengan nilai Kt.

### 4.3 Analisa Koefisien Transmisi untuk Gelombang Irreguler ( Tak Beraturan )

Untuk analisa gelombang irreguler ( tak beraturan ) dilakukan sama seperti analisa pada gelombang reguler yaitu dengan memanfaatkan berbagai data *time series* untuk mendapatkan nilai-nilai koefisien transmisi ( Kt ) yang lebih lengkapnya dapat dilihat pada bagian halaman lampiran, selanjutnya grafik analisa untuk kondisi gelombang irreguler dibuat dengan menyatakan hubungan antara nilai koefisien transmisi ( Kt ) dengan parameter tinggi gelombang ( H ), dan elevasi puncak relatif ( Relative Crest Elevation\_h/H ). Untuk analisa gelombang irreguler ini periode gelombang ( T ) yang digunakan sebagai data input hanya satu variasi yakni lima ( 5 ) detik dalam skala model

$$[ T_{(input)} = T_{(prototip)} * \frac{1}{\sqrt{40}} ], \text{ tetapi divariasikan terhadap suatu spektra gelombang } [ S(\omega) ]$$

dalam hal ini spektra gelombang yang digunakan yaitu ISSC, ITTC, JONSWAP, serta

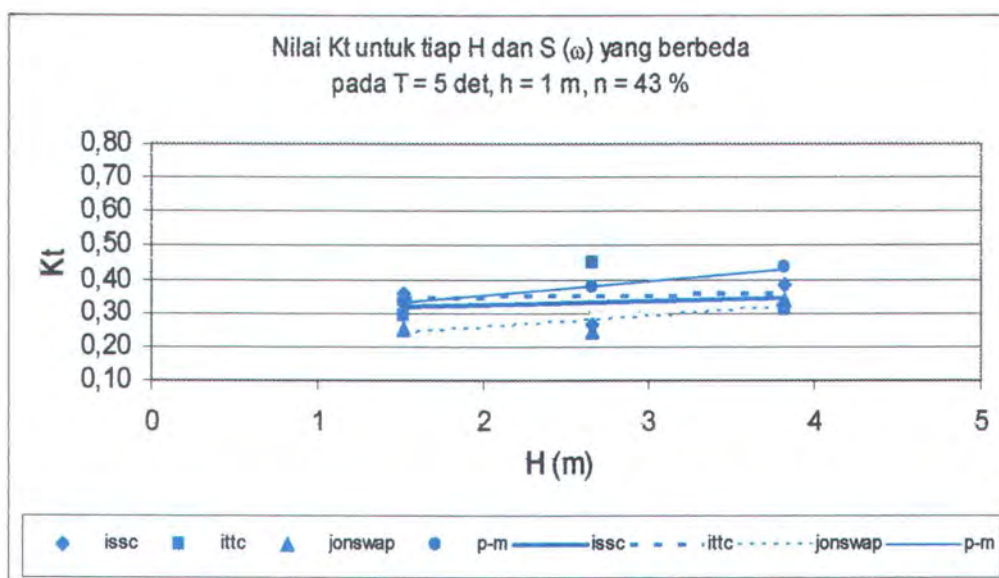
spektra Pierson-Moskowitz ( P-M ). Khusus untuk spektra gelombang P-M karena data input yang diperlukan untuk bangkitan gelombang adalah parameter kecepatan angin (  $U_m/det$  ), maka data input kecepatan angin yang digunakan disesuaikan dengan data input tinggi gelombang bangkitan pada spektra gelombang yang lain. Data kecepatan angin yang digunakan adalah 1.58 m/det; 1.75 m/det; 2.0 m/det yang ekuivalen dengan tinggi gelombang masing-masing 4 cm; 7 cm; dan 10 cm

Di bawah ini ditampilkan beberapa tabel dan grafik yang menyatakan hubungan antara nilai koefisien transmisi (  $K_t$  ) dengan tinggi gelombang (  $H$  ) berdasarkan data setiap tabel untuk tiap-tiap spektra gelombang, pada salah satu variasi puncak elevasi (  $h$  ), dengan masing-masing beda porositas batu pecah (  $n$  ).

Tabel 4.14 Nilai  $K_t$  untuk tinggi gelombang datang (  $H_i$  ) dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $h = 1\text{ m}$  ;  $n = 43\%$

$T = 5\text{ det}$  ;       $h = 1\text{ m}$  ;       $n = 43\%$

$H_i$ (m)	$K_t$			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
3,82	0,381	0,309	0,335	0,436
2,66	0,265	0,448	0,245	0,376
1,52	0,355	0,292	0,254	0,333



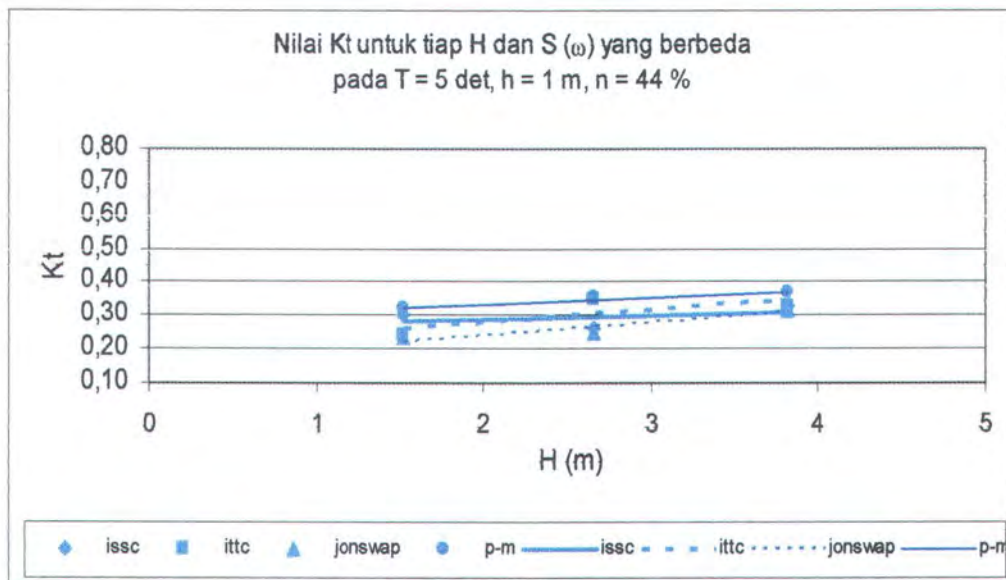
Gambar 4.11



Tabel 4.15 Nilai  $K_t$  untuk tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) dan spektra gelombang [ $S(\omega)$ ] yang berbeda, pada  $h = 1 \text{ m}$ ;  $n = 44 \%$

$T = 5 \text{ det}$ ;  $h = 1 \text{ m}$ ;  $n = 44 \%$

$H_i$ (m)	$K_t$			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
3,82	0,329	0,327	0,315	0,368
2,66	0,263	0,349	0,248	0,355
1,52	0,299	0,242	0,233	0,320

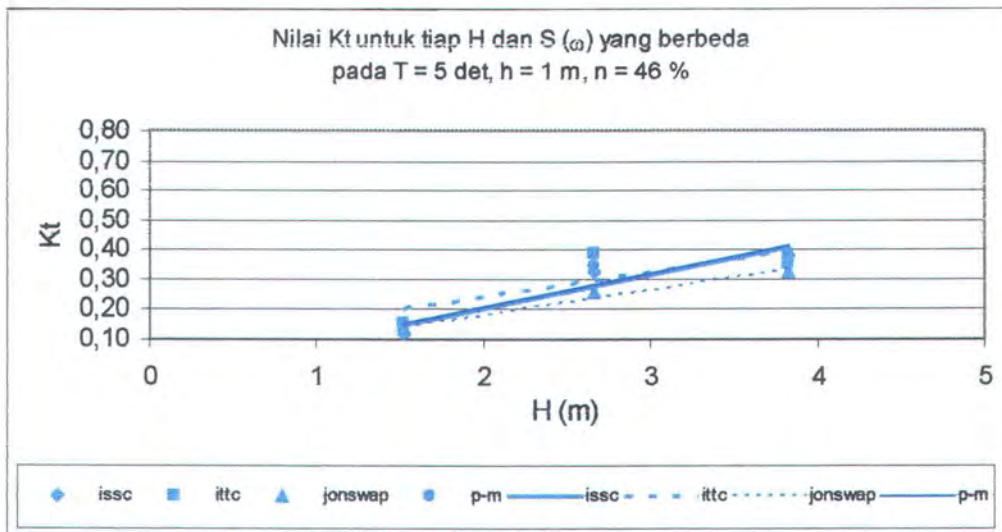


Gambar 4.12

Tabel 4.16 Nilai  $K_t$  untuk tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) dan spektra gelombang [ $S(\omega)$ ] yang berbeda, pada  $h = 1 \text{ m}$ ;  $n = 43 \%$

$T = 5 \text{ det}$ ;  $h = 1 \text{ m}$ ;  $n = 46 \%$

$H_i$ (m)	$K_t$			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
3,82	0,381	0,353	0,328	0,385
2,66	0,330	0,391	0,256	0,349
1,52	0,118	0,156	0,136	0,126



Gambar 4.13

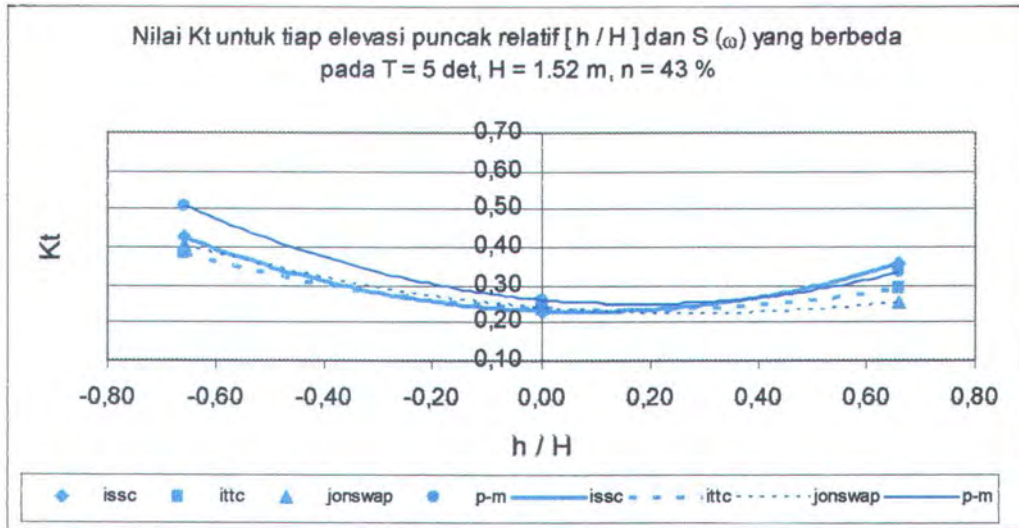
Dari hasil ketiga grafik di atas, karakteristik empat *trendline* yang terbentuk menunjukkan nilai  $K_t$  paling tinggi dimiliki oleh spektra gelombang P-M, dan nilai  $K_t$  paling rendah dimiliki oleh spektra gelombang JONSWAP, selain itu pula *trendline* tersebut menunjukkan suatu garis yang meningkat dengan tinggi gelombang terukur ( tinggi gelombang hasil kalibrasi ) yang semakin besar. Dengan memperhatikan persamaan energi konservatif, persentase kegagalan batu pecah pada spektra gelombang P-M kecil, dan dalam hal ini besarnya tinggi gelombang cenderung mempengaruhi peningkatan nilai  $K_t$ .

Analisa yang lain ditunjukkan oleh beberapa tabel data dan grafik seperti di bawah berikut yaitu dengan menyatakan korelasi nilai  $K_t$  dengan parameter elevasi puncak relatif  $h / H$  dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada salah satu tinggi gelombang datang dan dengan porositas batu pecah yang sama.

Tabel 4.17 Nilai  $K_t$  untuk elevasi puncak relatif  $h / H$  dan spektra gelombang [  $S(\omega)$  ] yang berbeda, pada  $H = 1.52$  m ;  $n = 43$  %

T = 5 det ;      H = 1.52 m ;      n = 43 %

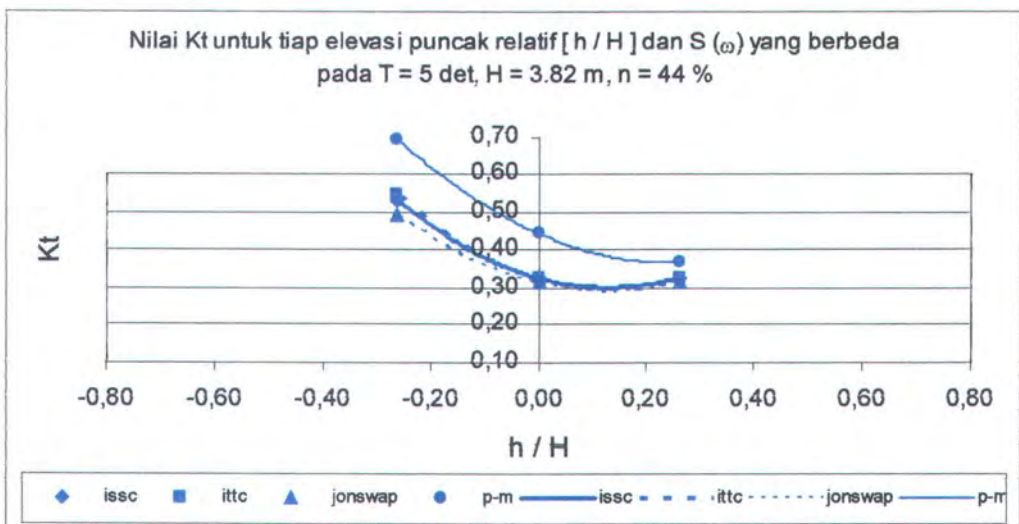
h / H	K <sub>t</sub>			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
0,658	0,355	0,292	0,254	0,333
0,000	0,231	0,238	0,239	0,263
-0,658	0,424	0,383	0,406	0,507



Gambar 4.14

Tabel 4.18 Nilai  $K_t$  untuk elevasi puncak relatif  $h/H$  dan spektra gelombang  $[S(\omega)]$  yang berbeda, pada  $H = 3.82 \text{ m}$ ;  $n = 44 \%$

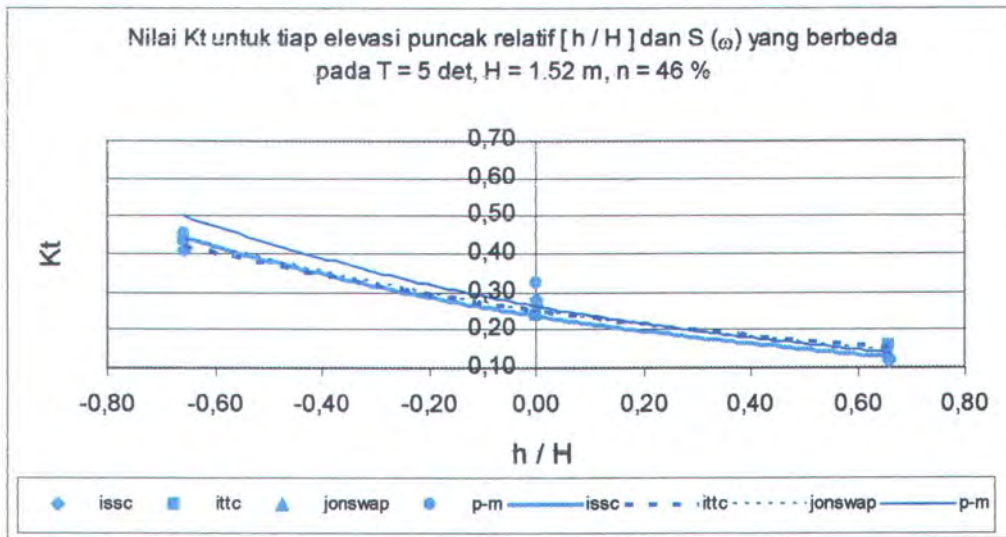
$h/H$	$K_t$			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
0,262	0,329	0,327	0,315	0,368
0,000	0,327	0,325	0,314	0,445
-0,262	0,535	0,549	0,495	0,696



Gambar 4.15

Tabel 4.19 Nilai  $K_t$  untuk elevasi puncak relatif  $h / H$  dan spektra gelombang  $[ S(\omega) ]$  yang berbeda, pada  $H = 1.52 \text{ m}$  ;  $n = 46 \%$

T = 5 det		H = 1.52 m		n = 46 %	
h / H	Kt				
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M	
0,658	0,118	0,156	0,136	0,126	
0,000	0,280	0,239	0,285	0,323	
-0,658	0,409	0,435	0,414	0,453	



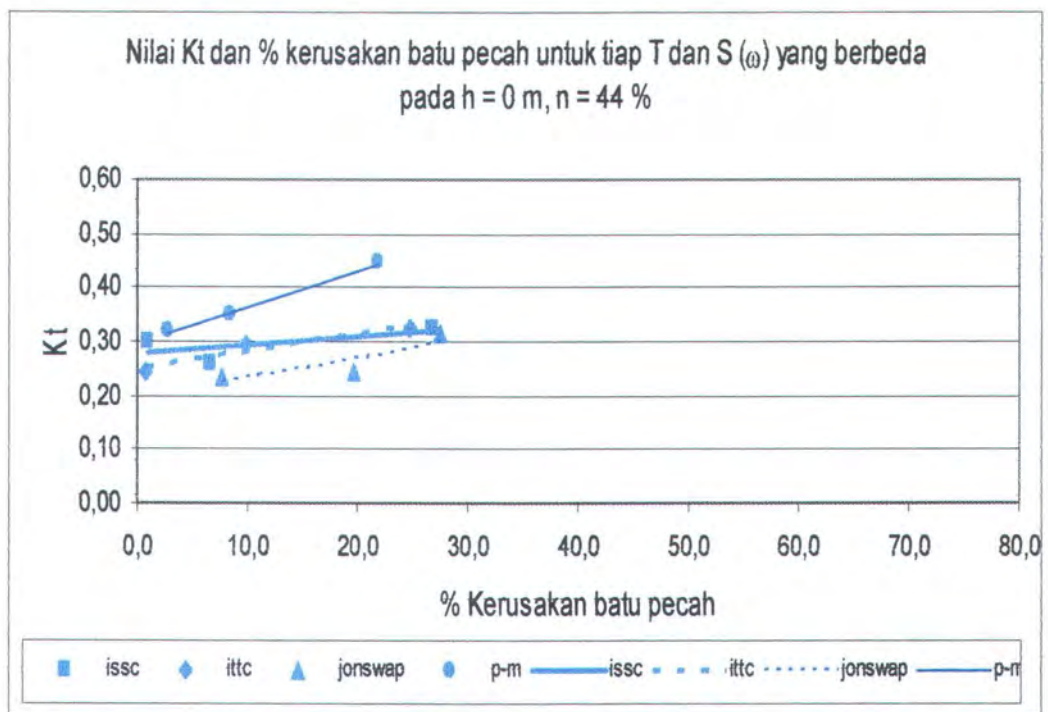
Gambar 4.16

Grafik-grafik di atas menggambarkan *trendline-trendline* yang tidak lagi membentuk garis yang lurus (*linear*), hal tersebut menunjukkan bahwa pada  $h / H$  sama dengan nol merupakan kondisi titik balik nilai koefisien transmisi. Atau dengan kata lain dapat diartikan bahwa untuk kondisi  $h / H > 0$  dan  $h / H < 0$ , nilai koefisien transmisi akan cenderung kembali meningkat. Hal ini cukup beralasan karena untuk  $h / H$  yang semakin besar dari 0 gelombang akan semakin kecil melewati struktur, sedangkan bila  $h / H$  semakin kecil dari 0 akan menyebabkan hilangnya pengaruh gelombang mengenai permukaan struktur. Dari ketiga grafik itu pula terlihat bahwa spektra gelombang P-M mempunyai nilai  $K_t$  yang paling tinggi secara dominan. Nilai  $K_t$  yang paling tinggi pada spektra gelombang P-M ini ditunjukkan pula pada grafik yang menyatakan hubungan antara nilai  $K_t$  pada variasi tinggi gelombang dengan persentase kerusakan batu pecah untuk tiap-tiap spektra gelombang yang berbeda seperti di bawah ini.

Tabel 4.20 Nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) dan persen kegagalan batu pecah ( $\% D$ ) untuk tinggi gelombang ( $H_i$ ) dan spektra gelombang  $S(\omega)$  yang berbeda, pada  $h = 0 \text{ m}$ ;  $n = 44 \%$

T = 5 det    h = 0 m    n = 44 %

Hi (m)	% D	Kt	% D	Kt	% D	Kt	% D	Kt
		ISSC		ITTC		Jonswap		P-M
3,82	26,8	0,33	24,7	0,33	27,4	0,31	21,8	0,45
2,66	6,5	0,26	9,9	0,29	19,7	0,25	8,4	0,35
1,52	0,9	0,30	0,8	0,25	7,7	0,23	2,7	0,32



Gambar 4.17



BAB V

PENUTUP

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan beberapa analisa menyangkut perhitungan nilai koefisien transmisi baik untuk kondisi gelombang reguler maupun kondisi gelombang irreguler pada tes *cellular cofferdam*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai penutup dari penulisan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

1. Perhitungan nilai koefisien transmisi pada penelitian ini mempunyai kisaran angka 0.057 sampai dengan 0.936.
2. Pada kondisi gelombang reguler, untuk periode gelombang yang panjang cenderung diteruskan yang menyebabkan pembentukan gelombang transmisi besar. Sehingga dalam hal ini nilai  $K_t$  akan meningkat pada periode gelombang panjang.
3. Pada kondisi gelombang irreguler, spektra Jonswap mempunyai nilai  $K_t$  yang paling minimum. Dan nilai  $K_t$  yang paling maksimum dimiliki oleh spektra gelombang Pierson-Moskowitz.
4. Pada kedua kondisi gelombang reguler dan gelombang irreguler, koefisien transmisi meningkat pada tinggi gelombang datang ( $H_i$ ) yang semakin besar. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengurangan energi tinggi gelombang oleh pemecah gelombang merupakan fungsi dari lebar puncak struktur.
5. Pada kedua kondisi gelombang reguler dan irreguler, pada  $h = 0$  m merupakan kondisi titik balik nilai  $K_t$ . Hal ini karena gelombang transmisi yang terjadi kecil sebagai akibat dari pengurangan energi gelombang ( $C_L$ ) yang diindikasikan oleh persen kerusakan batu pecah yang besar. Dengan menganggap nilai koefisien refleksi ( $C_r^2$ ) konstan, maka hal ini sesuai dengan persamaan *conservation energy* yang dinyatakan sebagai  $C_r^2 + C_t^2 + C_L^2 = 1$ .

## 5.2 Saran

Dari percobaan mengenai koefisien transmisi pada *cellular cofferdam* yang telah dilakukan serta analisa hasil percobaan, maka ada beberapa saran yang perlu diperhatikan yaitu :

- Untuk lebih memperluas obyek penelitian dalam penelitian selanjutnya dapat menggunakan model struktur dengan bentuk maupun variasi dimensi yang berbeda.
- Untuk percobaan pada gelombang irreguler dapat menggunakan variasi periode yang berbeda.
- Karena fasilitas laboratorium Dasar Laut dan Bawah Air ini dilengkapi pula dengan program yang dapat menggerakkan kecepatan angin, maka untuk percobaan berikutnya dapat diaplikasikan.





DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR PUSTAKA

- Armono, H.D, Suntoyo, Rudi Walujo Prastianto., Metode karakteristik untuk pemodelan gelombang dan arus di selat Madura. Lembaga penelitian ITS, 1997.
- CERC,1984, "Shore Protection Manual", US Army, Vol I & II, Mississippi
- Dean, R.G., and Dalrymple, R.A., 1991, "Water Wave Mechanic for Engineers and Scientist", Advanced Series on Ocean Engineering – Vol.2, World Scientific, Singapore.
- Goda, Y., "Random Seas and Design of Maritime structure", Singapore World Scientific 2000.
- Hughes, S.a, 1993, "Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering". Singapore : World Scientific (Advanced Series on Ocean Engineering Vol 7).
- Jensen, O.J. 1984. "A Monograph on Rubble Mound Breakwaters", Danish Hidraulic Institute Denmark.
- Kamphuis, J.W., 1991, "Physical Modelling", in Handbook of Coastal and Ocean Engineering, J. B Herbich, Vol. 2, Gulf Publishing Company,Houston, Texas.
- Kamphuis, J.W., "Introduction to Coastal Engineering and Management". Singapore : World Scientific, 2000 (Advanced Series on Ocean Engineering Vol.16)
- Komar, P.D., 1976, "Beach Processes and Sedimentation", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Nizam, 1987, "Refleksi dan Transmisi Gelombang Pada Pemecah Gelombang Bawah Air", Fakultas Teknik, Uniservitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Pratikto,W.A, Haryo Dwito Armono, Suntoyo, 1996, "Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut", BPFE, Yogyakarta.
- Thornton, E.B., Calhoun, R.J., 1972. "Spectral resolution of breakwater reflected waves". Proc ASCE 1998 ( WW4), 443-460.
- Triatmodjo, B., 1999, "Teknik Pantai ", Beta Offset, Yogyakarta.
- Widagdo, A.B., 1999, "Pengantar Model Hidraulik di Labolatorium", Makalah Workshop Teknik Kelautan, LPTP-BPPT< Yogyakarta.
- Yuwono, Nur, 1992, "Perencanaan Bangunan Pantai Volume II", Yogyakarta.
- Yuwono, Nur,1996, "Perencanaan Model Hidraulik"., Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi Pusat Antar Universitas Ilmmu Teknik UGM Yoyakarta.



LAMPIRAN

LAMPIRAN A

DATA NILAI KOEFISIEN TRANSMISI HASIL PERCOBAAN  
UNTUK GELOMBANG REGULER

elev. 2,5 cm								
W = 4 gr	H100 T0,79	H85 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H85 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,348	0,920	0,817	0,433	2,686	2,023	1,263	0,827
	0,353	0,285	0,305	0,285	0,703	0,626	0,471	0,544
elev. 2,5 cm								
W = 6 gr	H100 T0,79	H85 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H85 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,417	1,092	0,831	0,203	2,062	1,987	1,320	0,948
	0,371	0,338	0,310	0,134	0,540	0,615	0,493	0,624
elev. 2,5 cm								
W = 7,8 gr	H100 T0,79	H85 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H85 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,185	1,006	0,685	0,246	2,201	2,106	1,414	0,802
	0,310	0,311	0,255	0,162	0,576	0,652	0,528	0,528

elev. 2,5 cm								
W = 4 gr	H100 T2,37	H85 T2,37	H70 T2,37	H40 T2,37	H100 T3,2	H85 T3,2	H70 T3,2	H40 T3,2
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,076	1,427	1,293	0,314	3,174	2,402	2,329	0,777
	0,282	0,442	0,482	0,207	0,831	0,744	0,869	0,511
elev. 2,5 cm								
W = 6 gr	H100 T2,37	H85 T2,37	H70 T2,37	H40 T2,37	H100 T3,2	H85 T3,2	H70 T3,2	H40 T3,2
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,945	0,923	1,238	0,771	3,105	2,602	2,436	1,348
	0,509	0,286	0,462	0,507	0,813	0,805	0,909	0,887
elev. 2,5 cm								
W = 7,8 gr	H100 T2,37	H85 T2,37	H70 T2,37	H40 T2,37	H100 T3,2	H85 T3,2	H70 T3,2	H40 T3,2
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,532	1,177	0,916	0,314	3,279	2,911	2,226	1,446
	0,401	0,364	0,342	0,207	0,858	0,901	0,831	0,952

elev. 0 cm								
W = 4 gr	H100 T0,79	H85 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H85 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
gel. datang	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
gel. transmisi	0,946	0,925	0,670	0,308	2,749	2,106	1,616	0,896
Kt	0,248	0,286	0,250	0,203	0,570	0,712	0,522	0,589
elev. 0 cm								
W = 6 gr	H100 T0,79	H85 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H85 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
gel. datang	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
gel. transmisi	1,297	1,052	0,572	0,086	2,694	2,023	1,525	0,896
Kt	0,339	0,326	0,213	0,057	0,705	0,626	0,569	0,589
elev. 0 cm								
W = 7.8 gr	H100 T0,79	H85 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H85 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
gel. datang	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
gel. transmisi	1,134	0,920	0,545	0,302	2,013	1,987	1,628	0,521
Kt	0,297	0,285	0,203	0,199	0,527	0,615	0,608	0,343

elev. 0 cm								
W = 4 gr	H100 T2,37	H85 T2,37	H70 T2,37	H40 T2,37	H100 T3,2	H85 T3,2	H70 T3,2	H40 T3,2
gel. datang	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
gel. transmisi	1,271	0,960	0,530	0,314	2,941	2,506	2,450	1,384
Kt	0,333	0,297	0,198	0,206	0,770	0,776	0,914	0,910
elev. 0 cm								
W = 6 gr	H100 T2,37	H85 T2,37	H70 T2,37	H40 T2,37	H100 T3,2	H85 T3,2	H70 T3,2	H40 T3,2
gel. datang	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
gel. transmisi	1,780	1,033	1,243	0,739	3,130	2,451	2,498	1,423
Kt	0,466	0,320	0,464	0,486	0,819	0,759	0,932	0,936
elev. 0 cm								
W = 7.8 gr	H100 T2,37	H85 T2,37	H70 T2,37	H40 T2,37	H100 T3,2	H85 T3,2	H70 T3,2	H40 T3,2
gel. datang	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
gel. transmisi	1,789	0,654	0,818	0,314	3,105	2,679	2,171	1,184
Kt	0,468	0,202	0,305	0,206	0,813	0,830	0,810	0,779

elev. -2,5 cm								
W = 4 gr	H100 T0,79	H85 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H85 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,804	1,003	0,934	0,000	2,513	2,045	1,795	0,000
	0,472	0,311	0,349		0,658	0,633	0,670	
elev. -2,5 cm								
W = 6 gr	H100 T0,79	H85 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H85 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,465	1,042	1,126	0,000	2,497	2,229	2,073	0,000
	0,383	0,322	0,420		0,654	0,690	0,773	
elev. -2,5 cm								
W = 7.8 gr	H100 T0,79	H85 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H85 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,358	1,042	1,007	0,000	2,454	2,366	1,831	0,000
	0,356	0,322	0,376		0,642	0,732	0,683	

elev. -2,5 cm								
W = 4 gr	H100 T2,37	H85 T2,37	H70 T2,37	H40 T2,37	H100 T3,2	H85 T3,2	H70 T3,2	H40 T3,2
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,935	1,376	1,059	0,000	2,978	2,450	2,055	0,000
	0,506	0,426	0,395		0,780	0,759	0,767	
elev. -2,5 cm								
W = 6 gr	H100 T2,37	H85 T2,37	H70 T2,37	H40 T2,37	H100 T3,2	H85 T3,2	H70 T3,2	H40 T3,2
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,709	1,335	1,077	0,000	3,097	2,271	1,835	0,000
	0,447	0,413	0,402		0,811	0,703	0,685	
elev. -2,5 cm								
W = 7.8 gr	H100 T2,37	H85 T2,37	H70 T2,37	H40 T2,37	H100 T3,2	H85 T3,2	H70 T3,2	H40 T3,2
gel. datang gel. transmisi	3,82	3,23	2,68	1,52	3,82	3,23	2,68	1,52
<b>Kt</b>	1,419	1,410	1,116	0,000	3,512	2,821	1,767	0,000
	0,371	0,437	0,416		0,919	0,874	0,659	

LAMPIRAN B

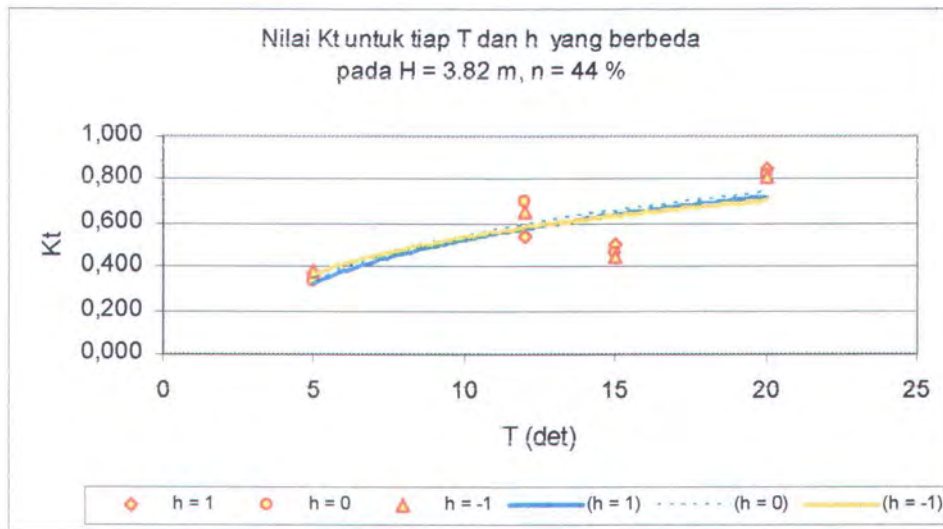
TABEL DAN GRAFIK ANALISA KOEFISIEN TRANSMISI  
UNTUK GELOMBANG REGULER



Tabel B.1 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap elevasi ( *overtopping\_h* ), pada  $H = 3.82 \text{ m}$  ;  $n = 44 \%$

$H = 3.82 \text{ m}$                        $n = 44 \%$

T (det)	Kt		
	h = 1 m	h = 0 m	h = -1 m
5	0,371	0,339	0,383
12	0,540	0,705	0,654
15	0,509	0,466	0,447
20	0,850	0,819	0,811

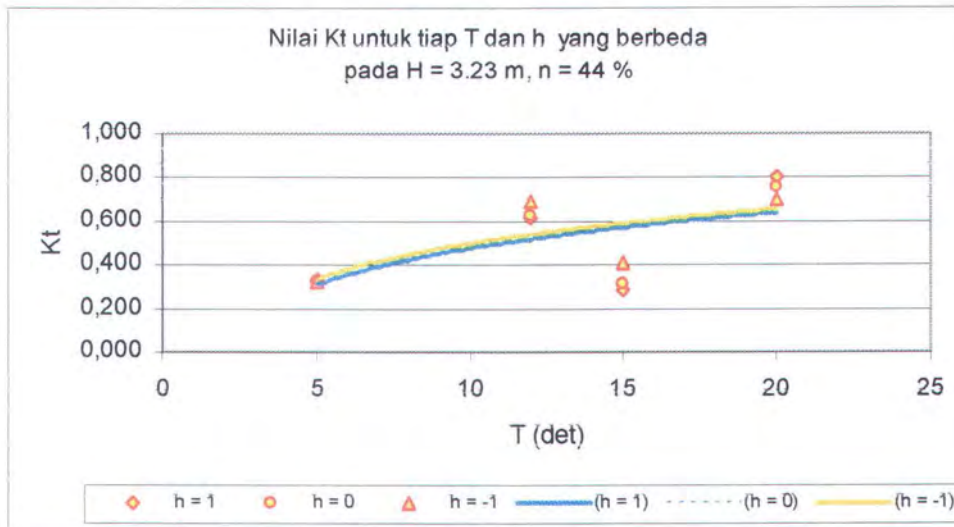


Gambar B.1

Tabel B.2 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap elevasi ( *overtopping\_h* ), pada  $H = 3.23 \text{ m}$  ;  $n = 44 \%$

$H = 3.23 \text{ m}$                        $n = 44 \%$

T (det)	Kt		
	h = 1 m	h = 0 m	h = -1 m
5	0,338	0,326	0,322
12	0,615	0,626	0,690
15	0,286	0,320	0,413
20	0,805	0,759	0,703

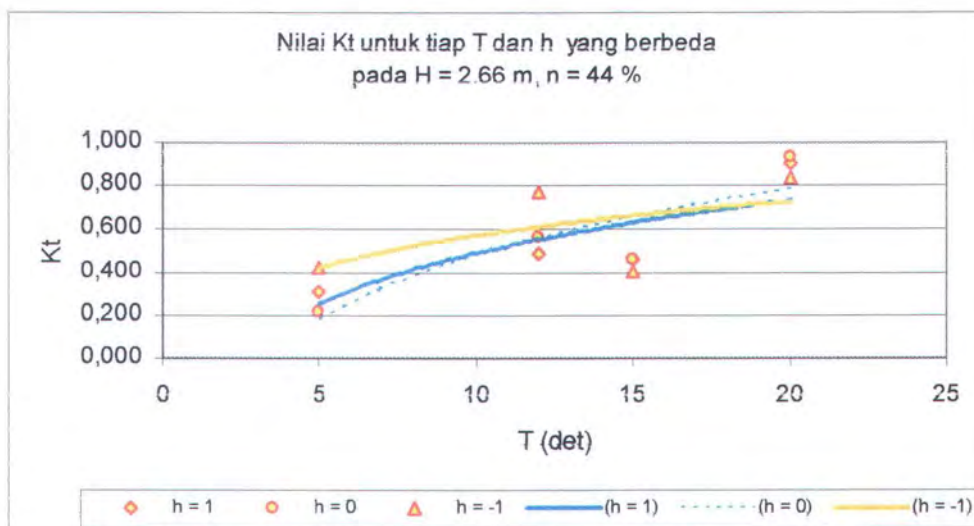


Gambar B.2

Tabel B.3 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap elevasi (overlapping\_h), pada  $H = 2.66$  m ;  $n = 44$  %

$H = 2.66$  m       $n = 44$  %

T (det)	Kt		
	h = 1 m	h = 0 m	h = -1 m
5	0,310	0,213	0,420
12	0,493	0,569	0,773
15	0,462	0,464	0,402
20	0,909	0,932	0,838



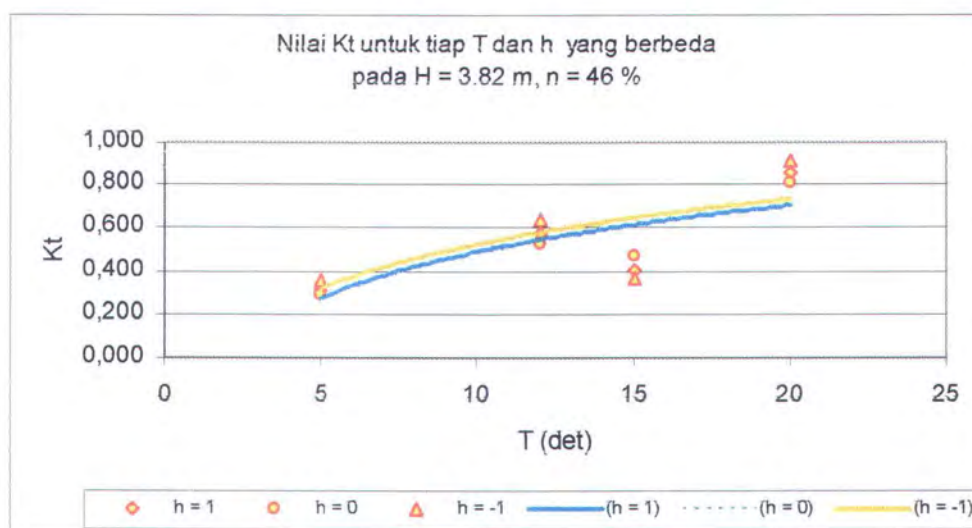
Gambar B.3

Tabel B.4 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap elevasi (  $overtopping\_h$  ), pada  $H = 3.82\text{ m}$  ;  $n = 46\%$

$H = 3.82\text{ m}$

$n = 46\%$

T (det)	Kt		
	h = 1 m	h = 0 m	h = -1 m
5	0,310	0,297	0,356
12	0,576	0,527	0,642
15	0,401	0,468	0,371
20	0,858	0,813	0,919



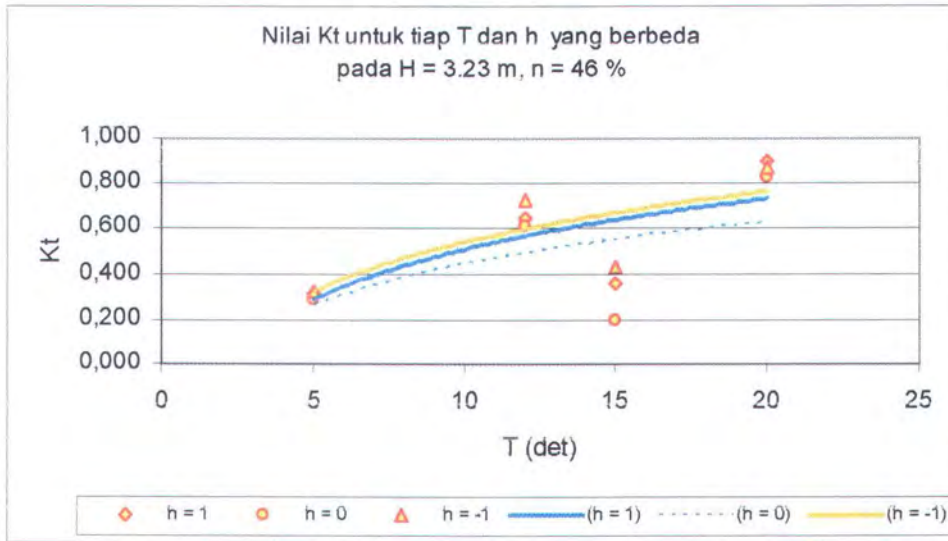
Gambar B.4

Tabel B.5 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap elevasi (  $overtopping\_h$  ), pada  $H = 3.23\text{ m}$  ;  $n = 46\%$

$H = 3.23\text{ m}$

$n = 46\%$

T (det)	Kt		
	h = 1 m	h = 0 m	h = -1 m
5	0,311	0,285	0,322
12	0,652	0,615	0,732
15	0,364	0,202	0,437
20	0,901	0,830	0,874



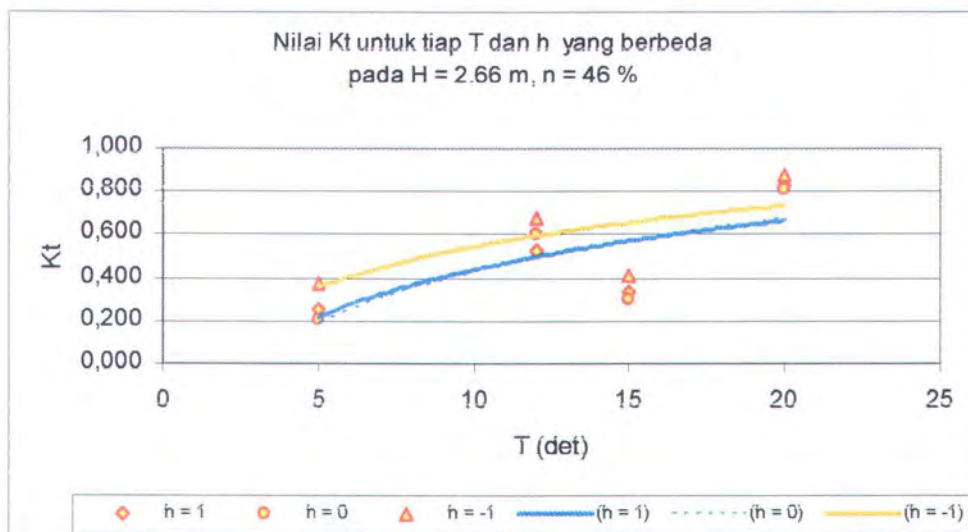
Gambar B.5

Tabel B.6 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap elevasi (overlapping\_h), pada H = 2.66 m ; n = 46 %

H = 2.66 m

n = 46 %

T (det)	Kt		
	h = 1 m	h = 0 m	h = -1 m
5	0,255	0,203	0,376
12	0,528	0,608	0,683
15	0,342	0,305	0,416
20	0,831	0,810	0,875



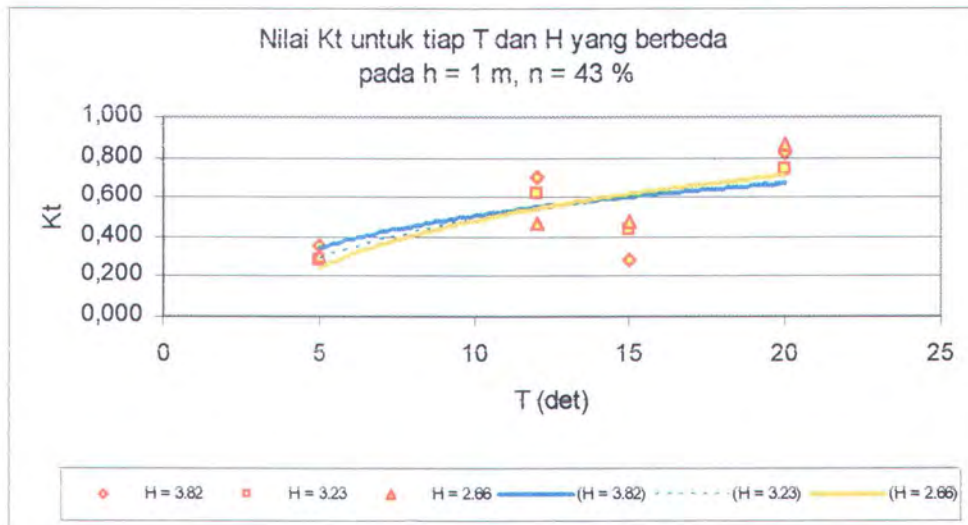
Gambar B.6

Tabel B.7 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap tinggi gelombang ( H ), pada h = 1 m ; n = 43 %

h = 1 m

n = 43 %

T (det)	Kt		
	H = 3.82 m	H = 3.23 m	H = 2.66 m
5	0,353	0,285	0,305
12	0,703	0,626	0,471
15	0,282	0,442	0,482
20	0,831	0,744	0,869



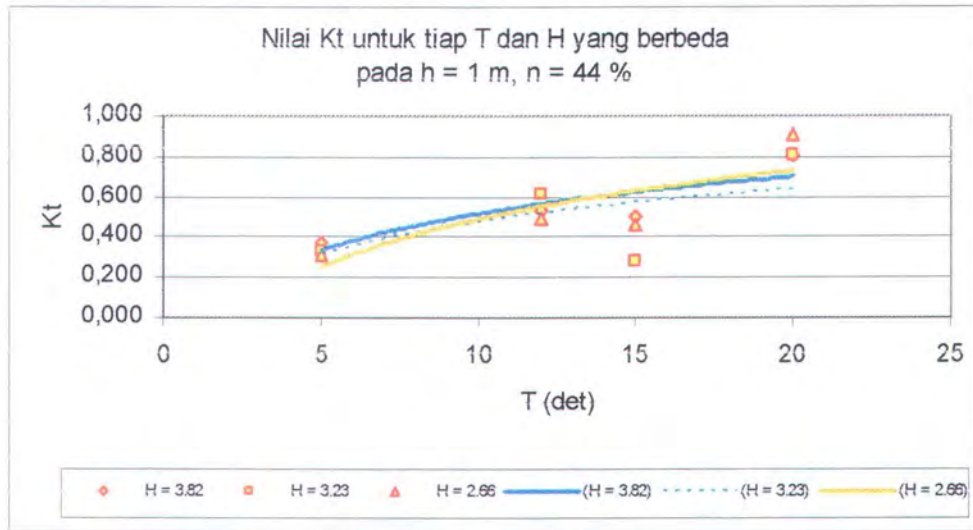
Gambar B.7

Tabel B.8 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap tinggi gelombang ( H ), pada h = 1 m ; n = 44 %

h = 1 m

n = 44 %

T (det)	Kt		
	H = 3.82 m	H = 3.23 m	H = 2.66 m
5	0,371	0,338	0,310
12	0,540	0,615	0,493
15	0,509	0,286	0,462
20	0,813	0,805	0,909

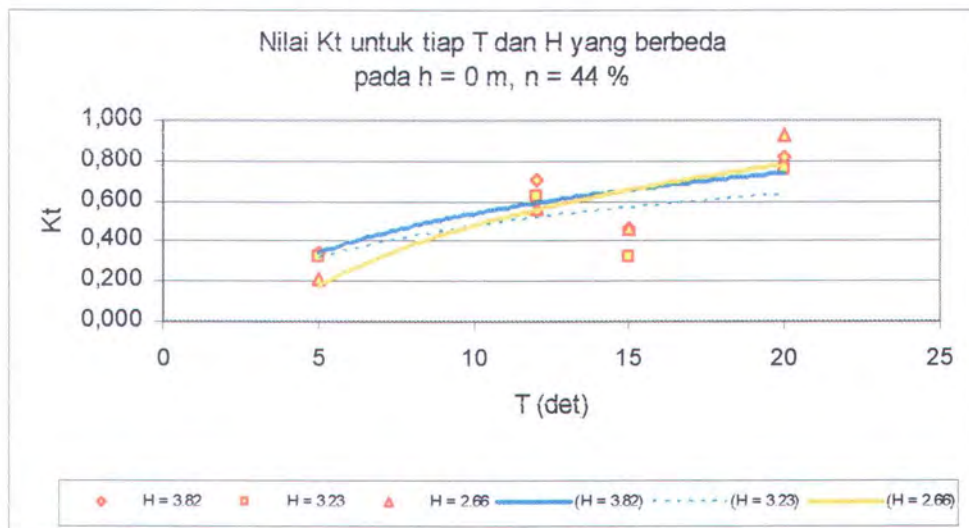


Gambar B.8

Tabel B.9 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap tinggi gelombang ( H ), pada h = 0 m ; n = 44 %

h = 0 m                      n = 44 %

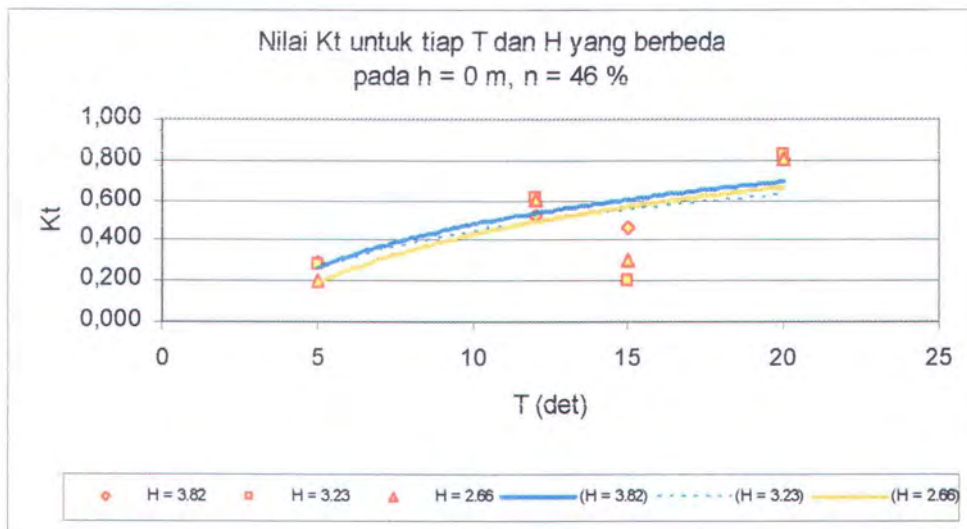
T (det)	Kt		
	H = 3.82 m	H = 3.23 m	H = 2.66 m
5	0,339	0,326	0,213
12	0,705	0,626	0,569
15	0,466	0,320	0,464
20	0,819	0,759	0,932



Gambar B.9

Tabel B.10 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap tinggi gelombang ( H ), pada h = 0 m ; n = 46 %

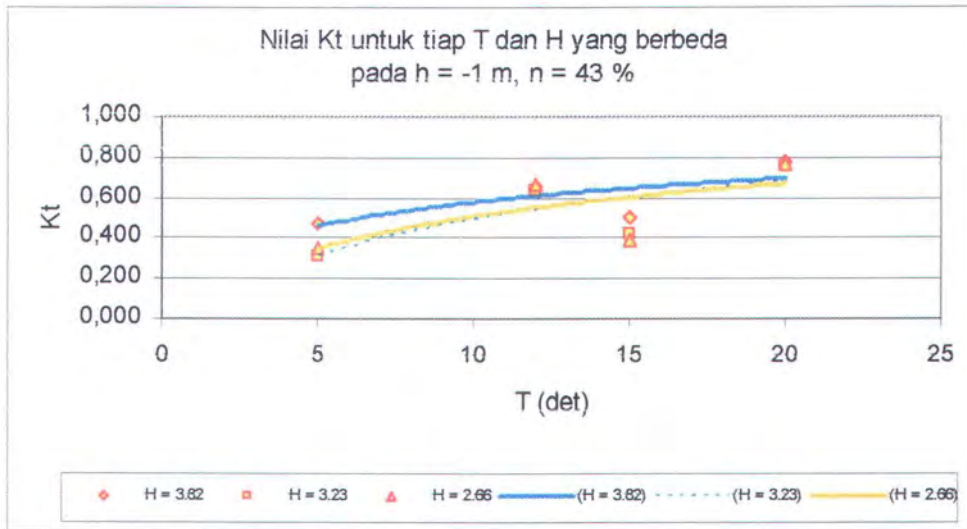
h = 0 m		n = 46 %		
T (det)	Kt			
	H = 3.82 m	H = 3.23 m	H = 2.66 m	
5	0,297	0,285	0,203	
12	0,527	0,615	0,608	
15	0,468	0,202	0,305	
20	0,813	0,830	0,810	



Gambar B.10

Tabel B.11 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap tinggi gelombang ( H ), pada h = -1 m ; n = 43 %

h = -1 m		n = 43 %		
T (det)	Kt			
	H = 3.82 m	H = 3.23 m	H = 2.66 m	
5	0,472	0,311	0,349	
12	0,658	0,633	0,670	
15	0,506	0,426	0,395	
20	0,780	0,759	0,767	

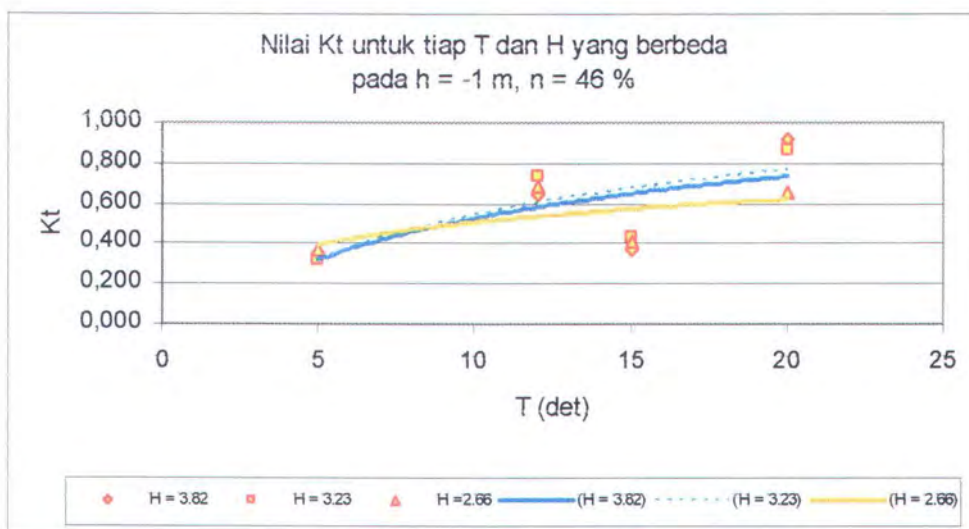


Gambar B.11

Tabel B.12 Nilai koefisien transmisi pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap tinggi gelombang ( H ), pada  $h = -1$  m ;  $n = 46$  %

$h = -1$  m       $n = 46$  %

T (det)	Kt		
	H = 3.82 m	H = 3.23 m	H = 2.66 m
5	0,356	0,322	0,376
12	0,642	0,732	0,683
15	0,371	0,437	0,416
20	0,919	0,874	0,659

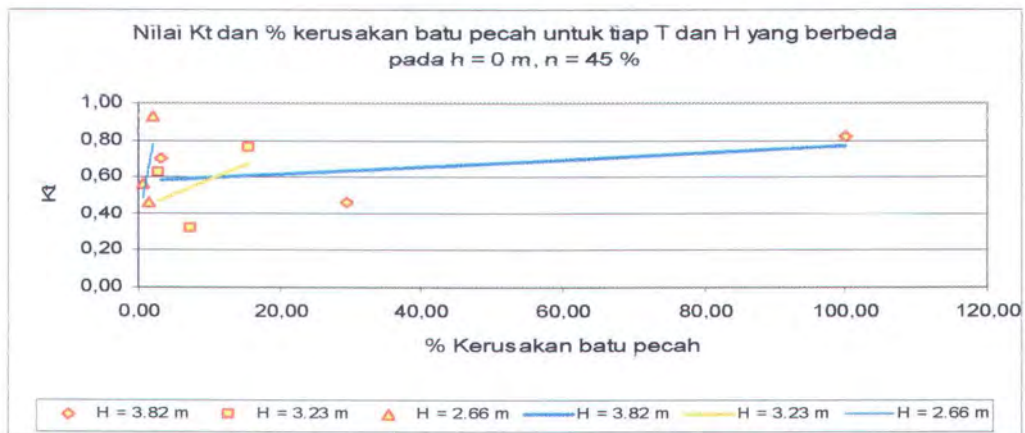


Gambar B.12



Tabel B.13 Nilai koefisien transmisi dan persen kegagalan batu pecah pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap tinggi gelombang ( H ), pada h = 0 m ; n = 45 %

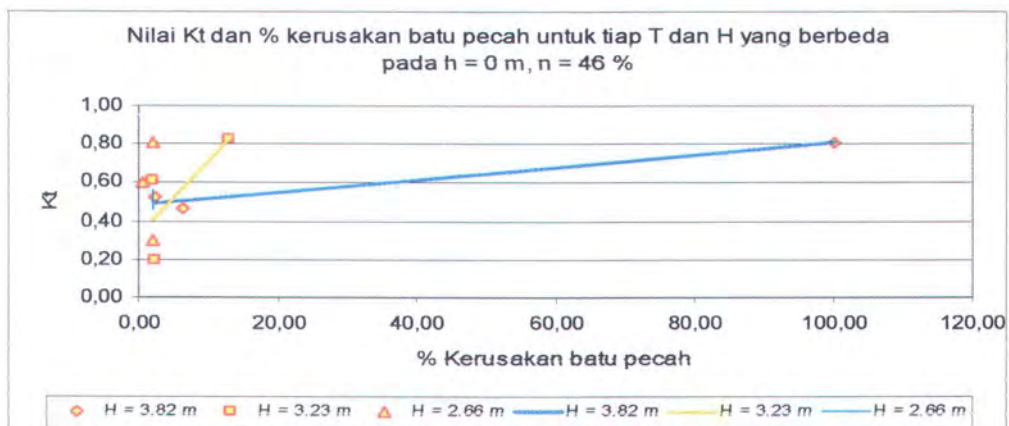
T (det)	%rusak	Kt	%rusak	Kt	%rusak	Kt
		H = 3.82 m		H = 3.23 m		H = 2.66 m
12	3,24	0,71	2,97	0,63	0,68	0,57
15	29,46	0,47	7,30	0,32	1,49	0,46
20	100,00	0,82	15,68	0,76	1,89	0,93



Gambar B.13

Tabel B.14 Nilai koefisien transmisi dan persen kegagalan batu pecah pada periode yang berbeda untuk tiap-tiap tinggi gelombang ( H ), pada h = 0 m ; n = 46 %

T (det)	%rusak	Kt	%rusak	Kt	%rusak	Kt
		H = 3.82 m		H = 3.23 m		H = 2.66 m
12	2,34	0,53	1,88	0,62	0,47	0,61
15	6,41	0,47	2,19	0,20	1,88	0,31
20	100,00	0,81	12,97	0,83	2,03	0,81



Gambar B.14.

LAMPIRAN C

DATA NILAI KOEFISIEN TRANSMISI HASIL PERCOBAAN  
UNTUK GELOMBANG IRREGULER

elev. 2,5 m						
W = 4 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79
	ISSC			ITTC		
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,456	0,704	0,539	1,181	1,191	0,444
Kt	0,381	0,265	0,355	0,309	0,448	0,292
elev. 2,5 m						
W = 6 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
	ISSC			ITTC		
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,257	0,698	0,455	1,248	0,929	0,367
Kt	0,329	0,263	0,299	0,327	0,349	0,242
elev. 2,5 m						
W = 7,8 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
	ISSC			ITTC		
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,454	0,876	0,180	1,348	1,040	0,238
Kt	0,381	0,330	0,118	0,353	0,391	0,156

elev. 2,5 m						
W = 4 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79
	Jonswap			P-M		
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,281	0,651	0,386	1,666	0,999	0,506
Kt	0,335	0,245	0,254	0,436	0,376	0,333
elev. 2,5 m						
W = 6 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
	Jonswap			P-M		
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,204	0,659	0,354	1,407	0,944	0,486
Kt	0,315	0,248	0,233	0,368	0,355	0,320
elev. 2,5 m						
W = 7,8 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
	Jonswap			P-M		
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,252	0,681	0,206	1,472	0,929	0,192
Kt	0,328	0,256	0,136	0,385	0,349	0,126

elev. 0 m						
W = 4 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79
	ISSC			ITTC		
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,485	0,690	0,351	1,163	1,055	0,362
Kt	0,389	0,259	0,231	0,304	0,397	0,238
elev. 0 m						
W = 6 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,250	0,693	0,455	1,242	0,779	0,373
Kt	0,327	0,260	0,299	0,325	0,293	0,245
elev. 0 m						
W = 7,8 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,375	0,911	0,425	1,307	1,108	0,363
Kt	0,360	0,342	0,280	0,342	0,416	0,239

elev. 0 m						
W = 4 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79
	Jonswap			P-M		
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,353	0,692	0,364	2,106	1,023	0,399
Kt	0,354	0,260	0,239	0,551	0,385	0,263
elev. 0 m						
W = 6 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,198	0,654	0,354	1,700	0,937	0,486
Kt	0,314	0,246	0,233	0,445	0,352	0,320
elev. 0 m						
W = 7,8 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,191	0,801	0,433	1,820	1,080	0,490
Kt	0,312	0,301	0,285	0,477	0,406	0,323

elev. -2,5 m						
W = 4 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79
	ISSC			ITTC		
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,858	1,121	0,645	1,872	1,529	0,582
Kt	0,486	0,421	0,424	0,490	0,575	0,383
elev. -2,5 m						
W = 6 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	2,042	1,343	0,646	2,096	1,739	0,635
Kt	0,535	0,505	0,425	0,549	0,654	0,417
elev. -2,5 m						
W = 7,8 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,841	1,180	0,622	1,639	1,583	0,661
Kt	0,482	0,443	0,409	0,429	0,595	0,435

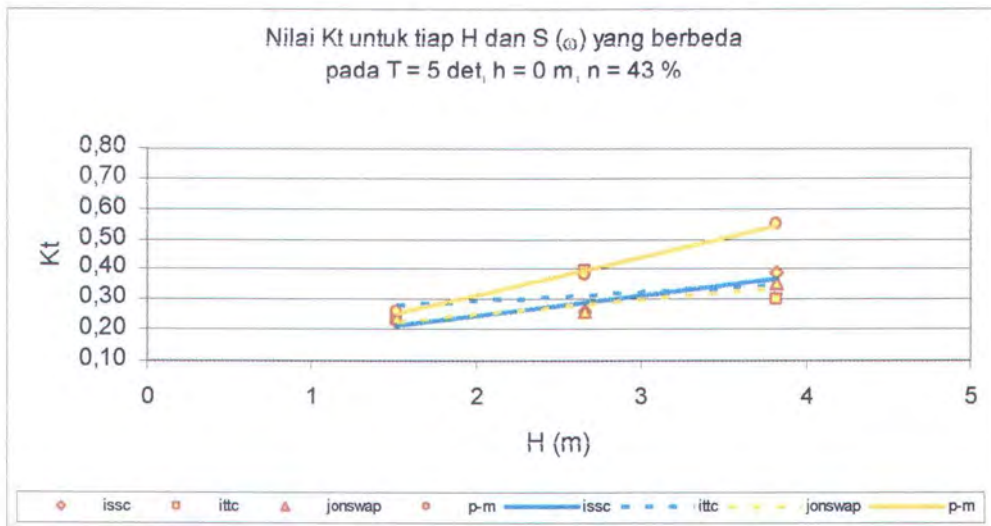
elev. -2,5 m						
W = 4 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79
	Jonswap			P-M		
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,857	1,200	0,616	2,485	1,423	0,771
Kt	0,486	0,451	0,406	0,650	0,535	0,507
elev. -2,5 m						
W = 6 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,892	1,192	0,649	2,659	1,750	0,794
Kt	0,495	0,448	0,427	0,696	0,658	0,523
elev. -2,5 m						
W = 7,8 gr	H100 T0,79	H70 T0,79	H40 T0,79	H100 T1,89	H70 T1,89	H40 T1,89
incident wave	3,82	2,66	1,52	3,82	2,66	1,52
trans. wave	1,862	1,200	0,629	1,760	1,458	0,688
Kt	0,488	0,451	0,414	0,461	0,548	0,453

LAMPIRAN D

TABEL DAN GRAFIK ANALISA KOEFISIEN TRANSMISI  
UNTUK GELOMBANG IRREGULER

Tabel D.1 Nilai koefisien transmisi pada tinggi gelombang datang yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], pada  $h = 0 \text{ m}$  ;  $n = 43 \%$

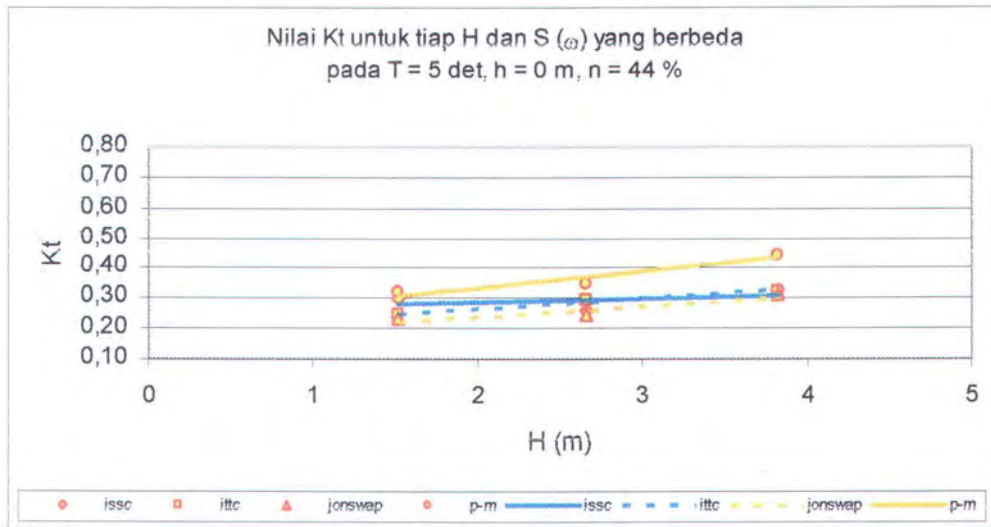
T = 5 det		h = 0 m		n = 43 %	
Hi (m)	Kt				
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M	
3,82	0,389	0,304	0,354	0,551	
2,66	0,259	0,397	0,260	0,385	
1,52	0,231	0,238	0,239	0,263	



Gambar D.1

Tabel D.2 Nilai koefisien transmisi pada tinggi gelombang datang yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], pada  $h = 0 \text{ m}$  ;  $n = 44 \%$

T = 5 det		h = 0 m		n = 44 %	
Hi (m)	Kt				
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M	
3,82	0,327	0,325	0,314	0,445	
2,66	0,260	0,293	0,246	0,352	
1,52	0,299	0,245	0,233	0,320	



Gambar D.2

Tabel D.3 Nilai koefisien transmisi pada tinggi gelombang datang yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], pada  $h = 0$  m ;  $n = 46$  %

Hi (m)	Kt			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
3,82	0,360	0,342	0,312	0,477
2,66	0,342	0,416	0,301	0,406
1,52	0,280	0,239	0,285	0,323

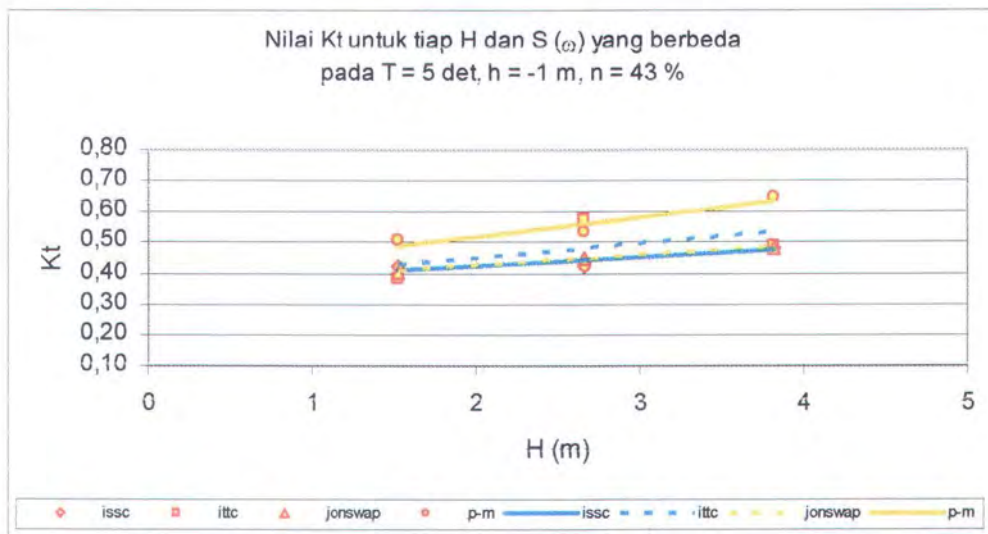


Gambar D.3



Tabel D.4 Nilai koefisien transmisi pada tinggi gelombang datang yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], pada  $h = -1$  m ;  $n = 43$  %

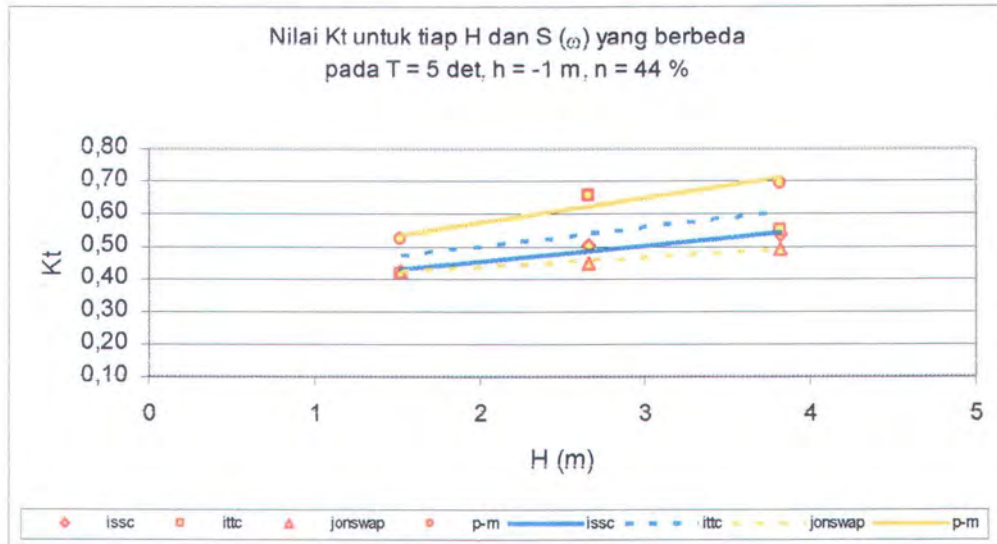
Hi (m)	Kt			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
3,82	0,486	0,490	0,486	0,650
2,66	0,421	0,575	0,451	0,535
1,52	0,424	0,383	0,406	0,507



Gambar D.4

Tabel D.5 Nilai koefisien transmisi pada tinggi gelombang datang yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], pada  $h = -1$  m ;  $n = 44$  %

Hi (m)	Kt			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
3,82	0,535	0,549	0,495	0,696
2,66	0,505	0,654	0,448	0,658
1,52	0,425	0,417	0,427	0,523

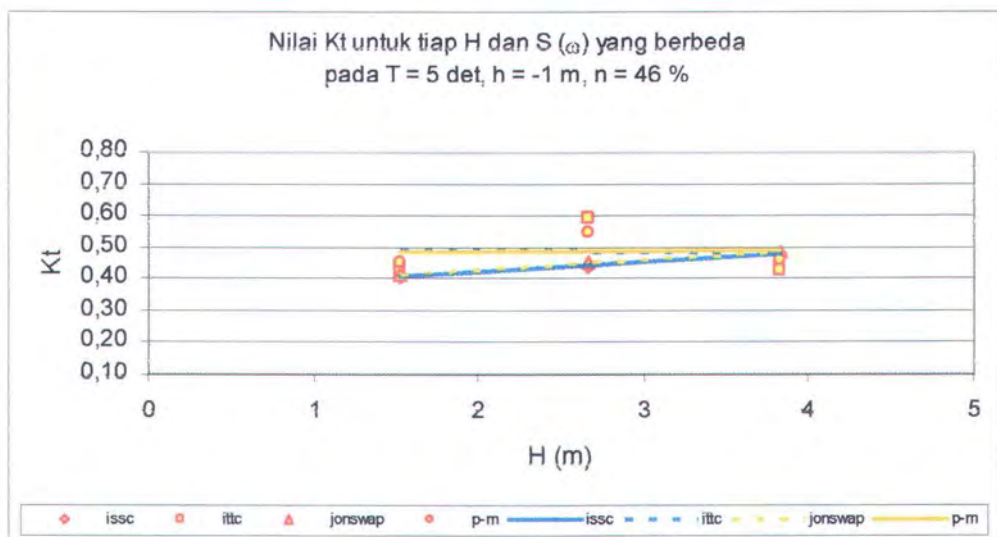


Gambar D.5

Tabel D.6 Nilai koefisien transmisi pada tinggi gelombang datang yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], pada  $h = -1$  m ;  $n = 46$  %

T = 5 det      h = -1 m      n = 46 %

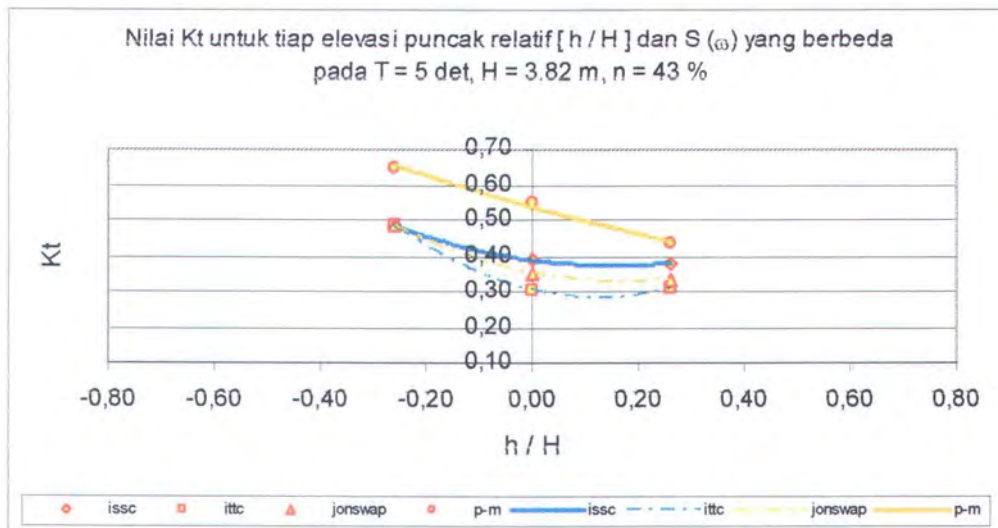
Hi (m)	Kt			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
3,82	0,482	0,429	0,488	0,461
2,66	0,443	0,595	0,451	0,548
1,52	0,409	0,435	0,414	0,453



Gambar D.6

Tabel D.7 Nilai koefisien transmisi pada elevasi puncak relatif,  $h / H$  yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], pada  $H = 3.82 \text{ m}$  ;  $n = 43 \%$

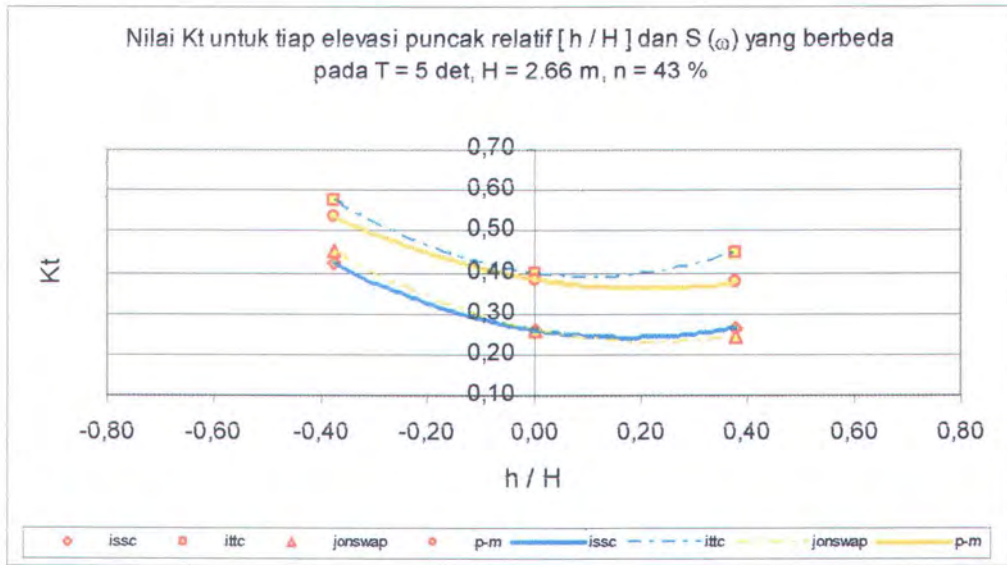
$h / H$	$K_t$			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
0,262	0,381	0,309	0,335	0,436
0,000	0,389	0,304	0,354	0,551
-0,262	0,486	0,490	0,486	0,650



Gambar D.7

Tabel D.8 Nilai koefisien transmisi pada elevasi puncak relatif,  $h / H$  yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], pada  $H = 2.66 \text{ m}$  ;  $n = 43 \%$

$h / H$	$K_t$			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
0,376	0,265	0,448	0,245	0,376
0,000	0,259	0,397	0,260	0,385
-0,376	0,421	0,575	0,451	0,535

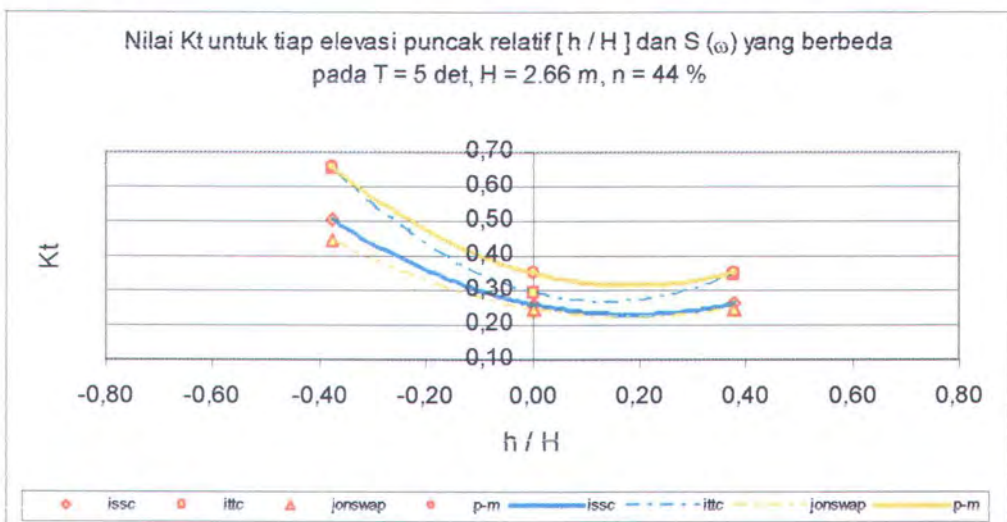


Gambar D.8

Tabel D.9 Nilai koefisien transmisi pada elevasi puncak relatif,  $h/H$  yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang  $[S(\omega)]$ , pada  $H = 2.66$  m ;  $n = 44\%$

$T = 5$  det       $H = 2.66$  m       $n = 44\%$

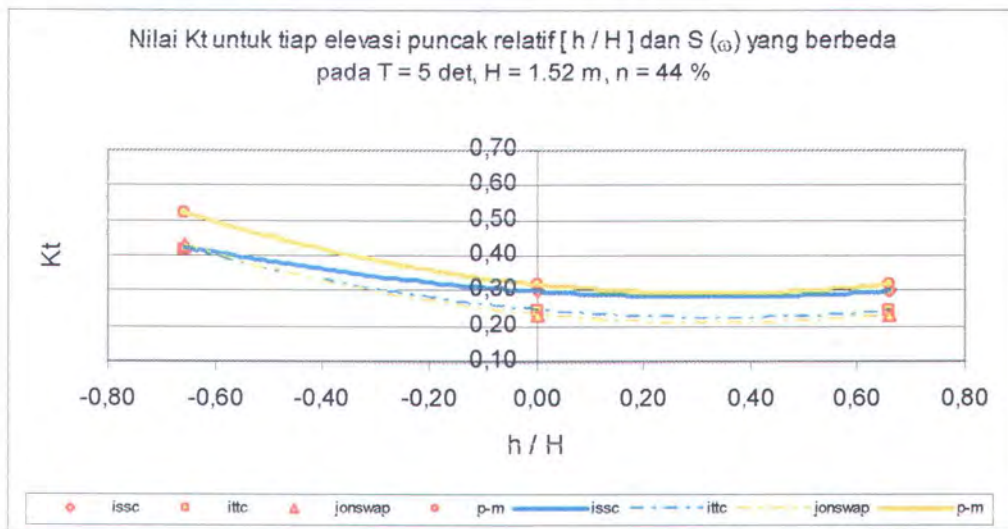
$h/H$	$K_t$			
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M
0,376	0,263	0,349	0,248	0,355
0,000	0,260	0,293	0,246	0,352
-0,376	0,505	0,654	0,448	0,658



Gambar D.9

Tabel D.10 Nilai koefisien transmisi pada elevasi puncak relatif,  $h / H$  yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], pada  $H = 1.52 \text{ m}$  ;  $n = 44 \%$

T = 5 det		H = 1.52 m		n = 44 %	
h / H	Kt				
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M	
0,658	0,299	0,242	0,233	0,320	
0,000	0,299	0,245	0,233	0,320	
-0,658	0,425	0,417	0,427	0,523	

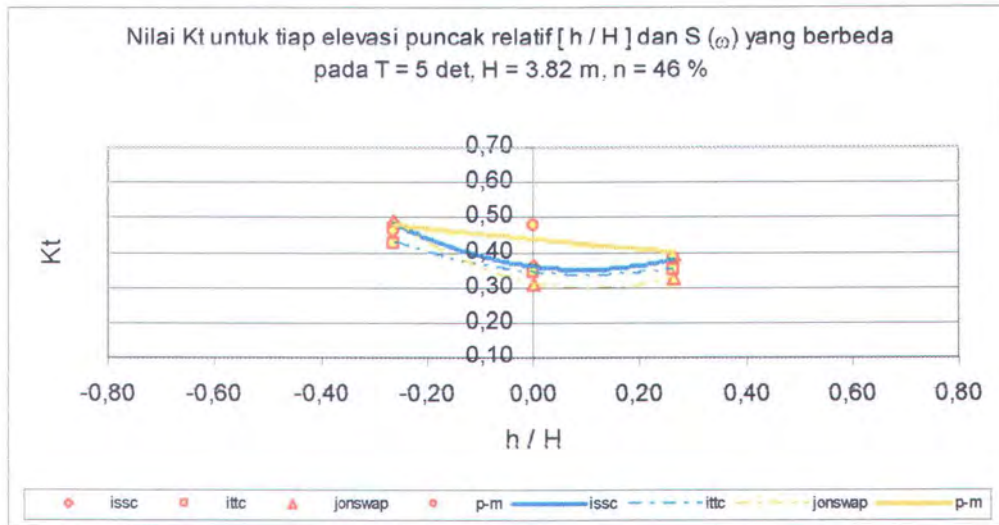


Gambar D.10

Tabel D.11 Nilai koefisien transmisi pada elevasi puncak relatif,  $h / H$  yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang [  $S(\omega)$  ], pada  $H = 3.82 \text{ m}$  ;  $n = 46 \%$

T = 5 det		H = 3.82 m		n = 46 %	
h / H	Kt				
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M	
0,262	0,381	0,353	0,328	0,385	
0,000	0,360	0,342	0,312	0,477	
-0,262	0,482	0,429	0,488	0,461	

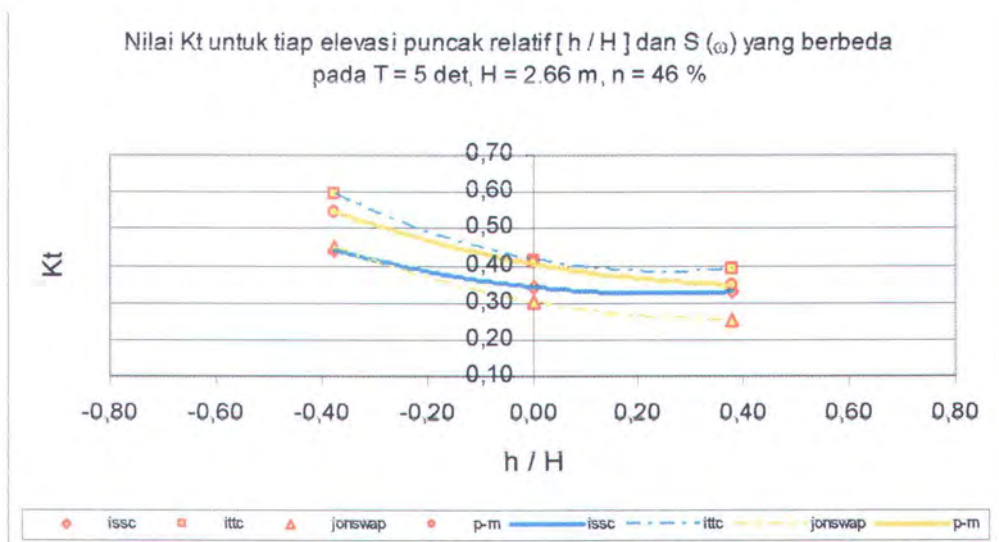




Gambar D.11

Tabel D.12 Nilai koefisien transmisi pada elevasi puncak relatif,  $h/H$  yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang  $[S(\omega)]$ , pada  $H = 2.66$  m ;  $n = 46\%$

$T = 5$ det	$H = 2.66$ m				$n = 46\%$
$h/H$	$K_t$				
	ISSC	ITTC	Jonswap	P-M	
0,376	0,330	0,391	0,256	0,349	
0,000	0,342	0,416	0,301	0,406	
-0,376	0,443	0,595	0,451	0,548	

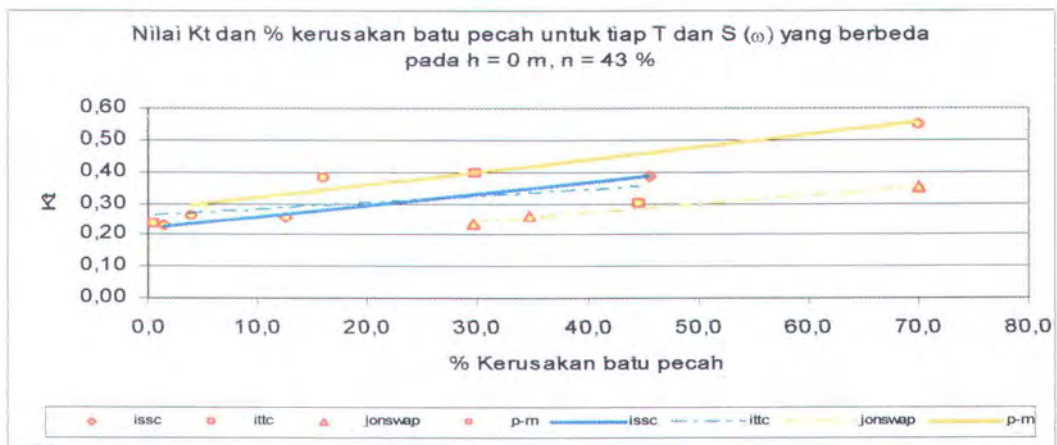


Gambar D.12

Tabel D.13 Nilai koefisien transmisi dan persen kegagalan batu pecah pada tinggi gelombang yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang  $S(\omega)$ , pada  $h = 0 \text{ m}$  ;  $n = 43 \%$

T = 5 det    h = 0 m    n = 43 %

Hi (m)	% D	Kt	% D	Kt	% D	Kt	% D	Kt
		ISSC		ITTC		Jonswap		P-M
3,82	45,6	0,39	44,6	0,30	70,1	0,35	70,1	0,55
2,66	12,6	0,26	29,7	0,40	34,6	0,26	16,0	0,39
1,52	1,5	0,23	0,5	0,24	29,5	0,24	4,0	0,26



Gambar D.13

Tabel D.14 Nilai koefisien transmisi dan persen kegagalan batu pecah pada tinggi gelombang yang berbeda untuk tiap-tiap spektra gelombang  $S(\omega)$ , pada  $h = 0 \text{ m}$  ;  $n = 46 \%$

T = 5 det    h = 0 m    n = 46 %

Hi (m)	% D	Kt	% D	Kt	% D	Kt	% D	Kt
		ISSC		ITTC		Jonswap		P-M
3,82	14,8	0,36	13,8	0,34	16,1	0,31	14,7	0,48
2,66	3,4	0,34	9,4	0,42	13,3	0,30	6,1	0,41
1,52	0,3	0,28	0,3	0,24	5,6	0,29	1,4	0,32



Gambar D.14

LAMPIRAN E

DATA PERSENTASE KEGAGALAN BATU PECAH  
UNTUK GELOMBANG IRREGULER



Jonswap; T = 5 detik; n = 43 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	22,2
	2,66	35,1
	3,82	67,3
0	1,52	29,5
	2,66	34,6
	3,82	70,1
-1	1,52	8,1
	2,66	15,2
	3,82	20,7

Jonswap; T = 5 detik; n = 45 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	11,2
	2,66	14,3
	3,82	18,2
0	1,52	7,7
	2,66	19,7
	3,82	27,4
-1	1,52	3,2
	2,66	6,1
	3,82	11,1

ITTC; T = 5 detik; n = 43 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	0,6
	2,66	22,6
	3,82	40,7
0	1,52	0,5
	2,66	29,7
	3,82	44,6
-1	1,52	0,6
	2,66	10,3
	3,82	13,4

ITTC; T = 5 detik; n = 45 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	0,3
	2,66	2,6
	3,82	13,5
0	1,52	0,8
	2,66	9,9
	3,82	24,7
-1	1,52	0
	2,66	4,1
	3,82	8

ISSC; T = 5 detik; n = 43 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	0,7
	2,66	11,4
	3,82	35,4
0	1,52	1,5
	2,66	12,6
	3,82	45,6
-1	1,52	0,6
	2,66	3,8
	3,82	18,4

ISSC; T = 5 detik; n = 45 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	0,5
	2,66	4,5
	3,82	13,2
0	1,52	0,9
	2,66	6,5
	3,82	26,8
-1	1,52	0
	2,66	2,3
	3,82	5,9

P-M; T = 5 detik; n = 43 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	4,4
	2,66	9,6
	3,82	42,1
0	1,52	4
	2,66	16
	3,82	70,1
-1	1,52	2,3
	2,66	8,5
	3,82	24,8

P-M; T = 5 detik; n = 45 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	2,8
	2,66	6,4
	3,82	14,3
0	1,52	2,7
	2,66	8,4
	3,82	21,8
-1	1,52	0,5
	2,66	1,8
	3,82	13,4

Jonswap; T = 5 detik; n = 46 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	4,4
	2,66	6,1
	3,82	9,8
0	1,52	5,6
	2,66	13,3
	3,82	16,1
-1	1,52	1,7
	2,66	6,6
	3,82	8,8

ISSC; T = 5 detik; n = 46 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	0
	2,66	3
	3,82	8,6
0	1,52	0,3
	2,66	3,4
	3,82	14,8
-1	1,52	0,2
	2,66	1,3
	3,82	3,1

ITTC; T = 5 detik; n = 46 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	0
	2,66	1,7
	3,82	8,3
0	1,52	0,3
	2,66	9,4
	3,82	13,8
-1	1,52	0
	2,66	3,9
	3,82	4,2

P-M; T = 5 detik; n = 46 %

h (m)	H (m)	% rusak
1	1,52	0
	2,66	4,8
	3,82	9,1
0	1,52	1,4
	2,66	6,1
	3,82	14,7
-1	1,52	7,7
	2,66	0,2
	3,82	2,5

LAMPIRAN F

PERHITUNGAN PENDUKUNG

## Perhitungan porositas



$W_1$

$V_1$



$W_2$

$V_v$



$W_3$



$W_4$

$W_1$  = berat wadah kosong

$W_2$  = berat  $W_1 + W_{bp}$

$W_3$  = berat  $W_1 + W_{bp} + \text{air}$

$W_4$  = berat  $W_1 + \text{air (penuh)}$

$W_{bp}$  = berat batu pecah

$V_1$  = volume wadah kosong

$V_v$  = voids volume

$V_{bp}$  = volume batu pecah

$W$  = .....gr

$V$  = ..... $\text{cm}^3$

$W$  =  $V \cdot x$

Porositas  $n = \frac{V_v}{V}$

bila \_

$$V_1 = \frac{W_1}{x}$$

$$V_{bp} = \frac{W_{bp}}{x_{bp}} = \frac{\text{gr}}{\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = \text{cm}^3$$

$$V_1 = V$$

$$V_v = V_1 - V_{bp}$$

$$x_{bp} = \gamma_s = G \cdot \gamma_w \quad (\text{gr} / \text{cm}^3)$$

$$x = \gamma_w = 1 \text{ gr} / \text{cm}^3 = 1 \text{ ton} / \text{m}^3$$

dimana \_

$G$  merupakan konstanta ( gr / gr )

$$G = \frac{(W_2 - W_1)}{[(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)]}$$

Dari pengukuran diperoleh :

$$W_1 = 94.6 \text{ gr}$$

$$W_2 (4\text{gr}) = 1512.2 \text{ gr}$$

$$W_2 (6\text{gr}) = 1503.3 \text{ gr}$$

$$W_2 (7.8\text{gr}) = 1538.7 \text{ gr}$$

$$W_3 (4\text{gr}) = 1927.0 \text{ gr}$$

$$W_3 (6\text{gr}) = 1934.6 \text{ gr}$$

$$W_3 (7.8\text{gr}) = 1982.7 \text{ gr}$$

$$W_4 = 1076.0 \text{ gr ( untuk volume air ( } V_1 ) = 990 \text{ ml )}$$

$$G_{4\text{gr}} = \frac{(1512.2 - 94.6)}{[(1512.2 - 94.6) - (1927 - 1076)]} = 2.502$$

$$G_{6\text{gr}} = \frac{(1503.3 - 94.6)}{[(1503.3 - 94.6) - (1934.6 - 1076)]} = 2.561$$

$$G_{7.8\text{gr}} = \frac{(1538.7 - 94.6)}{[(1538.7 - 94.6) - (1982.7 - 1076)]} = 2.687$$

$$x_{\text{bp}} = G \cdot \gamma_w$$

$$x_{4\text{gr}} = 2.502 \times 1 \text{ gr / cm}^3 = 2.502 \text{ gr / cm}^3$$

$$x_{4\text{gr}} = 2.590 \times 1 \text{ gr / cm}^3 = 2.561 \text{ gr / cm}^3$$

$$x_{4\text{gr}} = 2.447 \times 1 \text{ gr / cm}^3 = 2.687 \text{ gr / cm}^3$$

$$W_{\text{bp}} = W_2 - W_1$$

$$W_{4\text{gr}} = 1417.6 \text{ gr}$$

$$W_{6\text{gr}} = 1408.7 \text{ gr}$$

$$W_{7.8\text{gr}} = 1444.1 \text{ gr}$$

$$V_{\text{bp}} = W_{\text{bp}} / x_{\text{bp}}$$

$$V_{4\text{gr}} = 566.6 \text{ cm}^3$$

$$V_{6\text{gr}} = 550.1 \text{ cm}^3$$

$$V_{7.8\text{gr}} = 537.4 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ Ltr} = 1000 \text{ ml}$$

$$1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$$

$$V_v = V_1 - V_{\text{bp}}$$

$$V_v_{4\text{gr}} = 0.423 \text{ liter}$$

$$V_v_{6\text{gr}} = 0.440 \text{ liter}$$

$$V_v_{7.8\text{gr}} = 0.453 \text{ liter}$$

Porositas	$n_{bp} = \frac{V_{v_{bp}}}{V_1}$	$n$ ( % )
$n_{4 \text{ gr}}$	$= 0.428$	$n_{4 \text{ gr}} = 42.8 \%$
$n_{6 \text{ gr}}$	$= 0.444$	$n_{6 \text{ gr}} = 44.4 \%$
$n_{7.8 \text{ gr}}$	$= 0.457$	$n_{7.8 \text{ gr}} = 45.7 \%$

### Perhitungan $d / L$

Kedalaman kolam ( $d$ )	$= 0.8 \text{ m}$
Periode gelombang ( $T$ )	$= 0.79 \text{ det}; 1.89 \text{ det}; 2.37 \text{ det}; 3.2 \text{ det}$
Parameter gelombang di laut dalam	$: Lo = 1.56 T^2$
Untuk $T = 0.79 \text{ det}$	$: Lo = 1.56 (0.79)^2 = 0.9735 \text{ m}$
Untuk $T = 1.89 \text{ det}$	$: Lo = 1.56 (1.89)^2 = 5.5724 \text{ m}$
Untuk $T = 2.37 \text{ det}$	$: Lo = 1.56 (2.37)^2 = 8.7623 \text{ m}$
Untuk $T = 3.20 \text{ det}$	$: Lo = 1.56 (3.20)^2 = 15.974 \text{ m}$

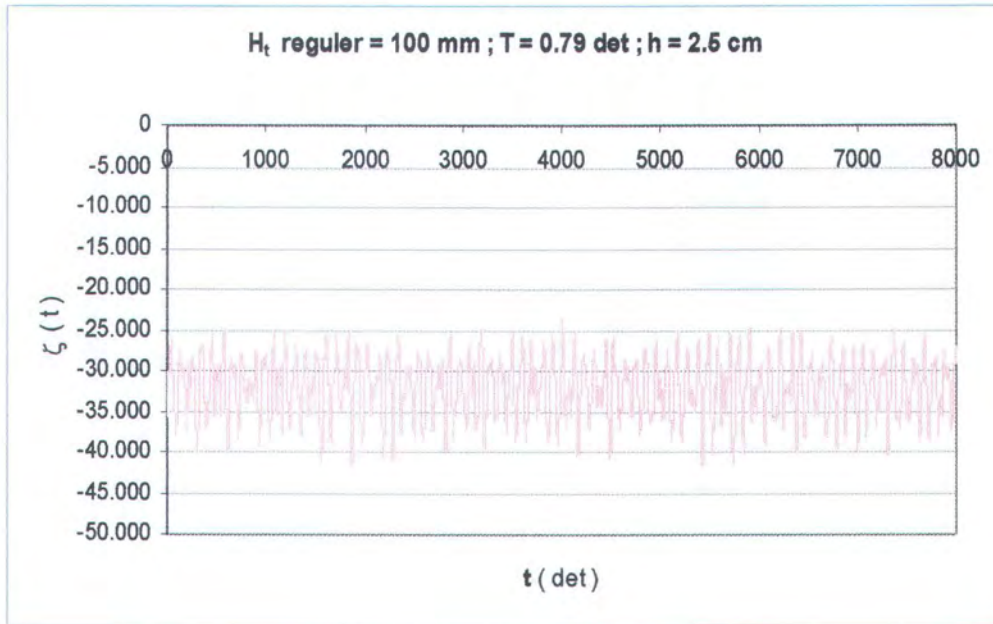
Menghitung nilai $d / Lo$	$: 0.8 / 0.9735 = 0.8216$
	$: 0.8 / 5.5724 = 0.1435$
	$: 0.8 / 8.7623 = 0.0913$
	$: 0.8 / 15.974 = 0.0500$

Dengan menggunakan hasil interpolasi tabel L-1 ( Buku Teknik Pantai, 1999. Bambang Triatmodjo ) diperoleh :

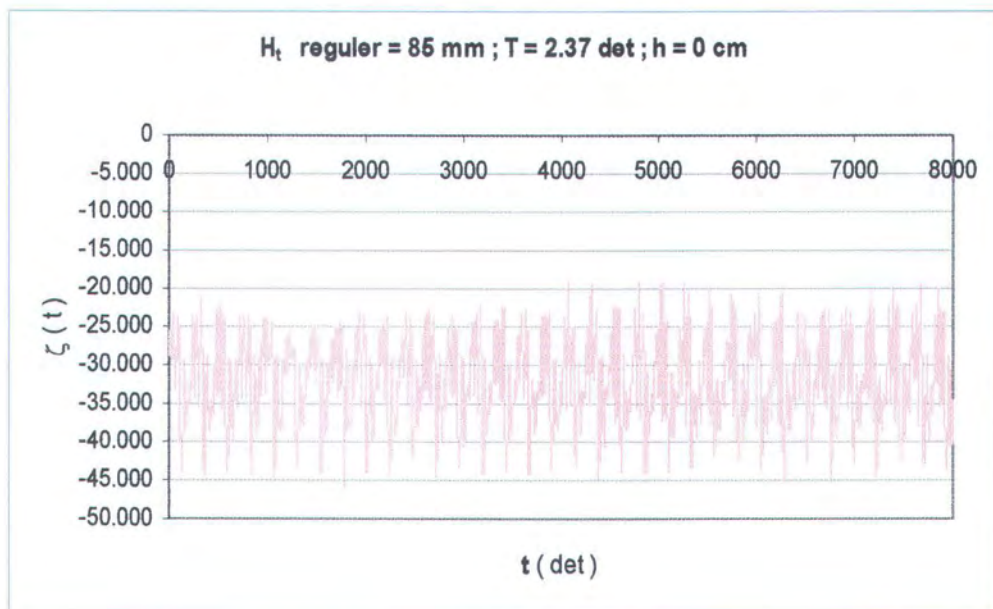
Untuk $d / Lo = 0.8216$	—	nilai $d / L = 0.8217$ ( laut dalam )
Untuk $d / Lo = 0.1435$	—	nilai $d / L = 0.1779$ ( laut transisi )
Untuk $d / Lo = 0.0913$	—	nilai $d / L = 0.1333$ ( laut transisi )
Untuk $d / Lo = 0.0500$	—	nilai $d / L = 0.0941$ ( laut dangkal )

LAMPIRAN G

CONTOH DATA *TIME SERIES*

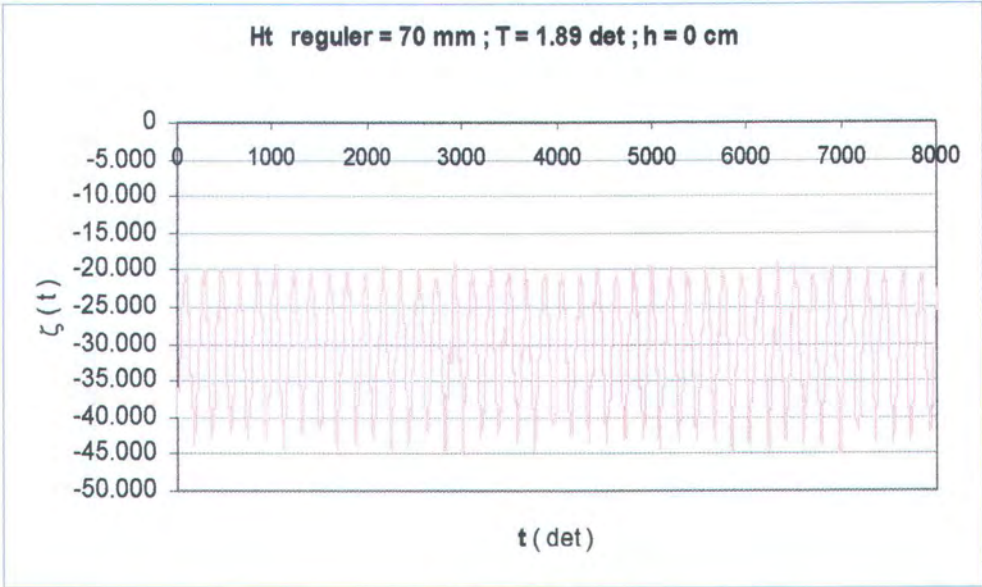


Gambar G.1

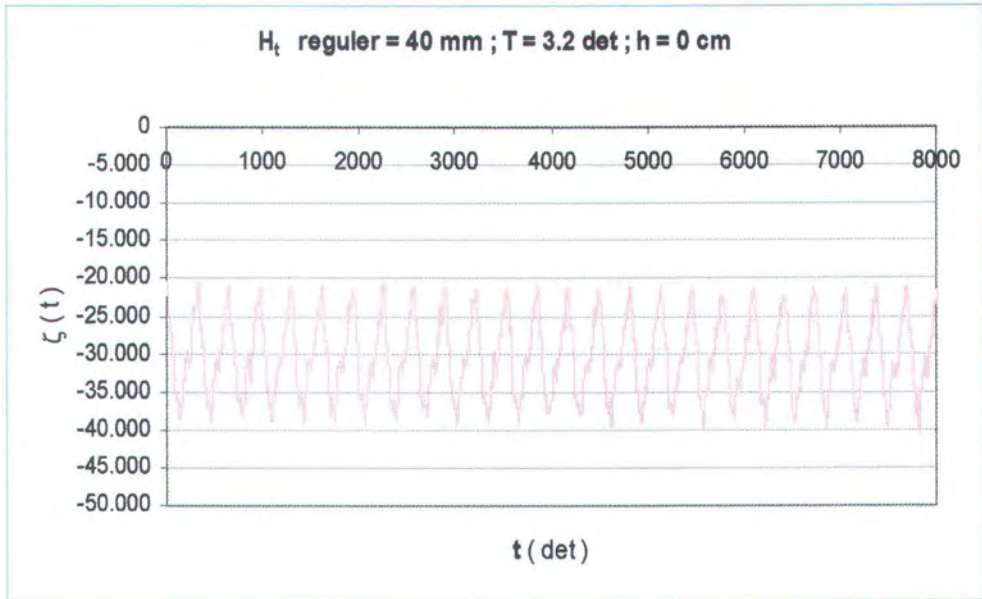


Gambar G.2

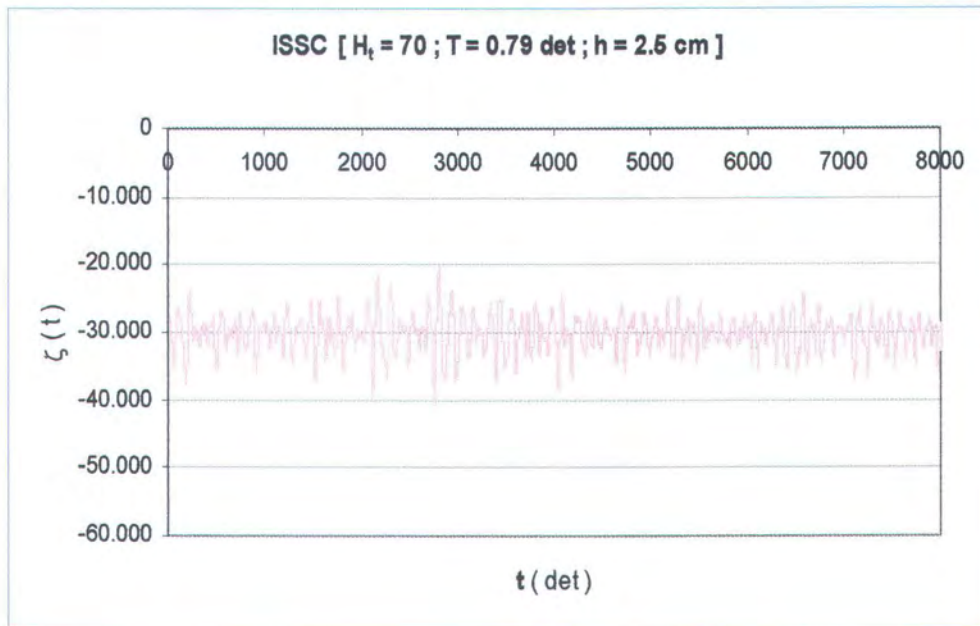




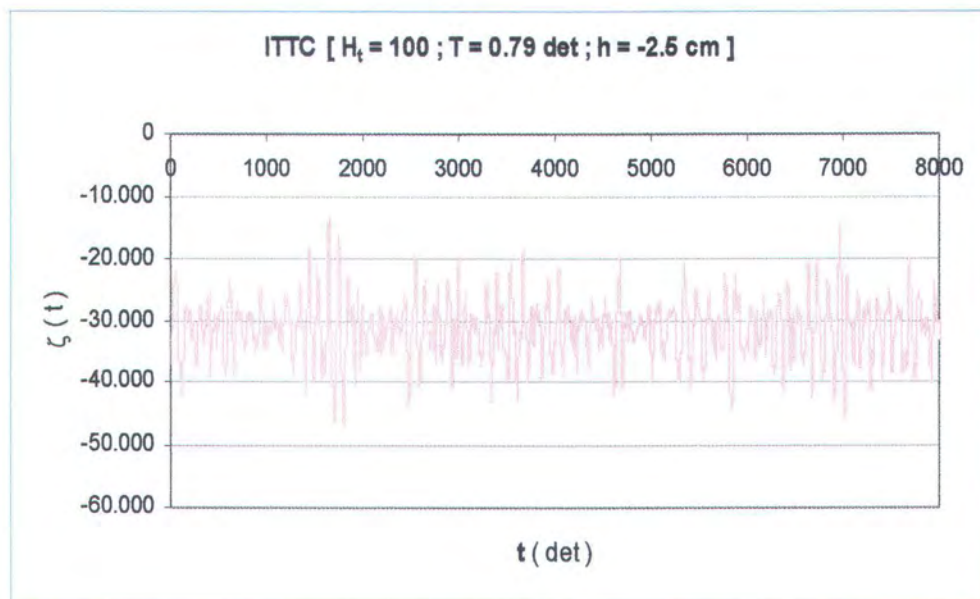
Gambar G.3



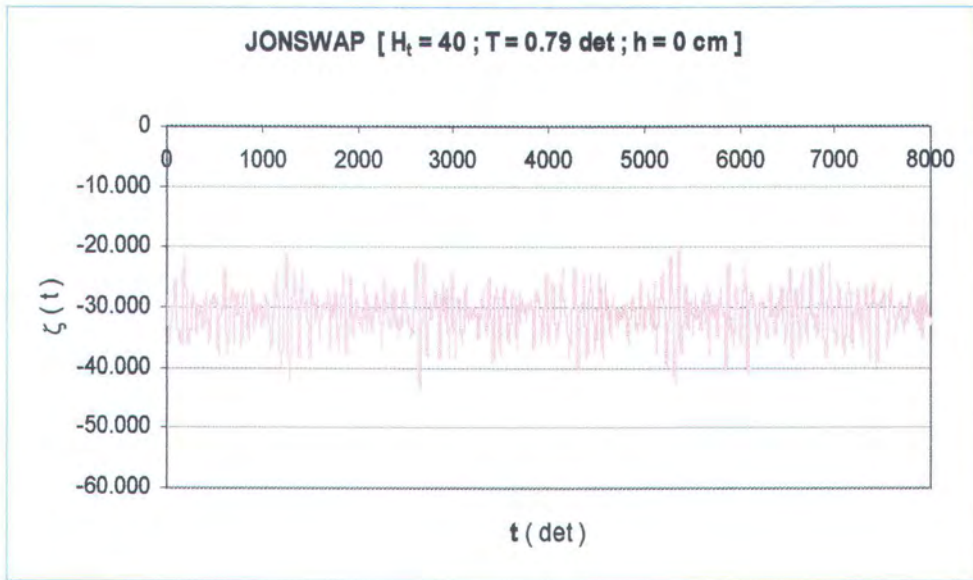
Gambar G.4



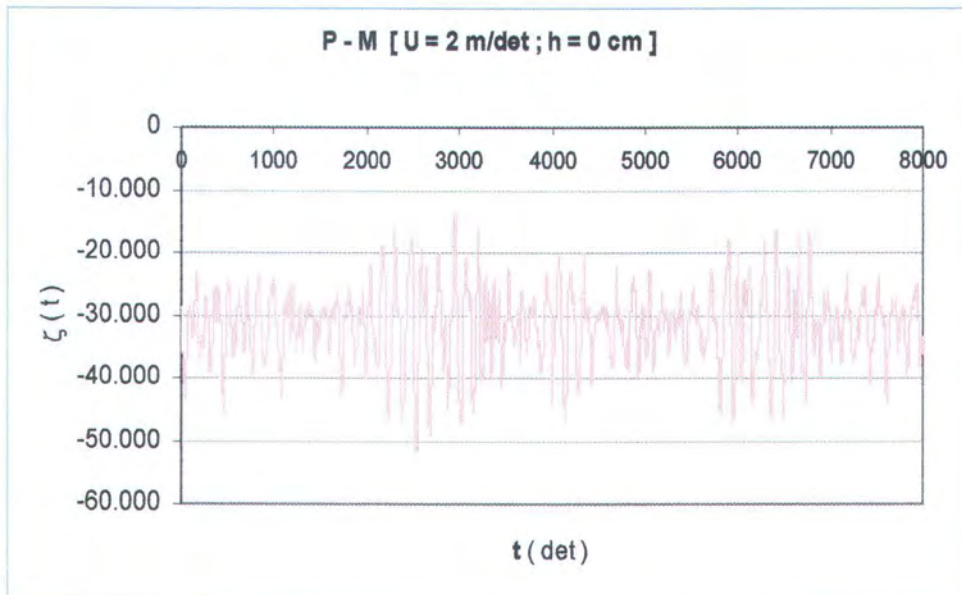
Gambar G.5



Gambar G.6



Gambar G.7



Gambar G.8



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS-Sukolilo, Surabaya 60111 Telp./Fax 5928105, 5994251 Psw. 1104-1105

LEMBAR ASISTENSI KONSULTASI TUGAS AHIR

NAMA MAHASISWA : Fuad andrisal  
NOMOR POKOK : 4399.100.007  
DOSEN PEMBIMBING : Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc  
TUGAS MULAI :  
TUGAS DISELESAIKAN :  
JUDUL TUGAS AHIR :

*Transmisi gelombang pada cellular cofferdam*

No	Tanggal	Konsultasi Mengenai	Tanda Tangan Dosen Pembimbing
1	20/3 '04	Revisi Proposal 1	<i>M. Wahyudi</i>
2	28/4 '04	METODOLOGI	<i>M. Wahyudi</i>
3	1/9 '04	Pembuatan Model & Dimensi	<i>M. Wahyudi</i>
4	10/10 '04	Kalibrasi Alat	<i>M. Wahyudi</i>
5	17/11 '04	Penggunaan Software MATLAB	<i>M. Wahyudi</i>
6	2/12 '04	Kalibrasi hasil MATLAB	<i>M. Wahyudi</i>
7	30/12 '04	Revisi Draft	<i>M. Wahyudi</i>
8	4/1 '05	Persiapan P-3	<i>M. Wahyudi</i>

No.	Tanggal	Konsultasi mengenai	Tanda tangan Dosen pembimbing
1	30/3 05	Perbaikan grafik analisa (Penyamaan skala grafik)	Munadi
2	29/4 05	Grafik → kesimpulan	Munadi
3	29/5 05	METODOLOGI	Munadi
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

Kampus ITS, Sukoilo Surabaya 60111 Telp./Fax. 031-5928105,5994251-5 psw. 1104-105

LEMBAR ASISTENSI / KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nama mahasiswa : Fuad Andrisal  
Nomor pokok : 4399.100.007  
Dosen pembimbing : Sholihin, ST  
Tugas mulai :  
Tugas diselesaikan :  
Judul tugas akhir : TRANSMISI GELOMBANG PADA CELLULAR  
COFFERDAM

No.	Tanggal	Konsultasi mengenai	Tanda tangan dosen pembimbing
1.	7 Jan 05	Perbaiki grafik & tambahkan letak probe	
2.	11 Jan 05	- Perbaiki grafik / cek lagi - buat grafik RT & irregular	
3.	16 Feb 05	- Lanjutkan ke bagian pemrosesan	
4.	10 Mar 05	Perbaiki grafik dan Tabel → sesuaikan dgn filosofi + hipotesis	
5.	29 Apr 05	Di lanjutkan sampai dgn skema (komputer)	
		Tambahkan grafik % D vs H ; $h=0$	