



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGUJIAN EFEKTIVITAS PEREDAMAN GELOMBANG DENGAN  
RANCANGAN STRUKTUR SEDERHANA BERBENTUK SILINDER**

**SKRIPSI**

**IRAWAN YUDHA ARIYANTO**

**0606072364**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**MEASURING EFFECTIVENES OF SIMPLE CYLINDER STRUCTURE TO  
DESIPATE WAVE ENERGY**

**SKRIPSI**

**IRAWAN YUDHA ARIYANTO**

**0606072364**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGUJIAN EFEKTIVITAS PEREDAMAN GELOMBANG DENGAN  
RANCANGAN STRUKTUR SEDERHANA BERBENTUK SILINDER**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana**

**IRAWAN YUDHA ARIYANTO**

**0606072364**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITY OF INDONESIA**

**MEASURING EFFECTIVENESS OF SIMPLE CYLINDER STRUCTURE  
TO DISSIPATE WAVE ENERGY**

**UNDER GRADUATE THESIS**

**Submitted as a partial fulfillment of the requirement for the degree of  
Bachelor of Engineering**

**IRAWAN YUDHA ARIYANTO**

**0606072364**

**FACULTY OF ENGINEERING  
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM**

**DEPOK**

**JUNE 2011**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Irawan Yudha Ariyanto**

**NPM : 0606072364**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 27 Juni 2011**

**PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT**

**I declare that this undergraduate thesis is the result of my own research,  
and all of the references either quoted or cited here  
have been stated clearly.**

**Name : Irawan Yudha Ariyanto**

**NPM : 0606072364**

**Signature :**

**Date : June, 27<sup>th</sup> 2011**

**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Irawan Yudha Ariyanto  
NPM : 0606072364  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Pengujian Efektivitas Peredaman Gelombang Dengan Rancangan Struktur Sederhana Berbentuk Silinder

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

**DEWAN PENGUJI**

Pembimbing 1 : Toha Saleh, S.T., M.Sc

Pembimbing 2 : Ir. Herr Soeryantono, Ph,D

Penguji 1 : Ir. Siti Murniningsih, M.Sc

Penguji 2 : RR.Dwinanti Rika M, ST, MT

(*Toha Saleh*)  
(*Herr Soeryantono*)  
(*Siti Murniningsih*)  
(*RR.Dwinanti Rika M*)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

## STATEMENT OF LEGIMITATION

The final project is submitted by:

Name : Irawan Yudha Ariyanto  
 NPM : 0606072364  
 Study Program : Civil Engineering  
 Title of undergraduate thesis : Measuring Effectiveness of Simple  
 Cylinder Structure to Dissipate Wave  
 Energy

**Has been succesfully defended in front of the Examiners and accepted  
 as part of the necessary requirements to obtain Bachelor of Engineering  
 Degree in Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, University of  
 Indonesia.**

### BOARD OF EXAMINERS

Councilor 1 : Toha Saleh, S.T., M.Sc

Councilor 2 : Ir. Herr Soeryantono, Ph,D

Examiner 1 : Ir. Siti Murniningsih, M.Sc

Examiner 2 : RR.Dwinanti Rika M, ST, MT

(*Toha Saleh*)  
 (*Herr Soeryantono*)  
 (*Siti Murniningsih*)  
 (*RR.Dwinanti Rika M*)

Approved at : Depok

Date : June 30<sup>th</sup> 2011



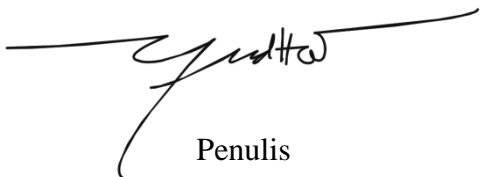
## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas limpahan hidayah-Nya penulisan skripsi dengan judul “**Pengujian Efektivitas Peredaman Gelombang Dengan Rancangan Struktur Sederhana Berbentuk Silinder** “ dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari semua perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Toha Saleh, S.T., M.Sc dan Ir. Herr Soeryantono, Ph.D. sebagai pembimbing dalam penulisan seminar skripsi ini.
2. Dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang sudah mendidik penulis.
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan material dan moral; dan
4. Semua pihak yang sudah membantu pelaksanaan saat penelitian dan penulisan skripsi ini

Saya menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kesalahan karena keterbatasan pengetahuan penulis. Oleh karena itu dimohon saran untuk perbaikan skripsi ini.

Depok, 11 Juli 2011



Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irawan Yudha Ariyanto  
NPM : 0606072364  
Departemen : Teknik Sipil  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

### **PENGUJIAN EFEKTIVITAS PEREDAMAN GELOMBANG DENGAN RANCANGAN STRUKTUR SEDERHANA BERBENTUK SILINDER**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 11 Juli 2011

Yang menyatakan



(Irawan Yudha Ariyanto)

## ABSTRAK

Nama : Irawan Yudha Ariyanto  
NPM : 0606072364  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Pengujian Efektivitas Peredaman Gelombang Dengan Rancangan Struktur Sederhana Berbentuk Silinder

Terumbu karang buatan berfungsi sebagai habitat baru bagi biota laut dan juga sekaligus dapat berfungsi untuk melindungi pantai dengan meredam energi gelombang. Salah satu aspek penting dalam pemanfaatan terumbu buatan sebagai peredam gelombang terbenam adalah sejauh mana tingkat efektifitasnya dalam mereduksi gelombang.

Penelitian dengan uji model fisik di *tilting flume* ini bertujuan untuk mengetahui korelasi kemiringan gelombang ( $H_i/gT^2$ ), diameter (D), dan panjang (B) terhadap koefisien refleksi ( $K_r$ ), koefisien transmisi ( $K_t$ ) dan koefisien kehilangan energi (KL) pada terumbu buatan bentuk silinder sederhana. Data hasil pengujian di laboratorium diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik.

Penelitian ini menunjukkan korelasi antara koefisien dengan parameter prediktor yang dapat digunakan untuk memprediksi nilai koefisien yang dihasilkan. Parameter predoktor yang mempunyai pengaruh paling besar untuk koefisien transmisi  $H_i/gT^2$  dan koefisien kehilangan energi adalah B/L.

Pada akhirnya penelitian ini memberikan informasi kinerja peredam gelombang bentuk silinder sederhana sebagai alternatif dalam perancangan peredam gelombang yang ramah lingkungan.

Kata kunci: *breakwater*, refleksi, transmisi

## ABSTRACT

Name : Irawan Yudha Ariyanto  
NPM : 0606072364  
Study Program : Civil Engineering  
Title of final report : Measuring Effectiveness of Simple Cylinder Structure to Dissipate Wave Energy

Artificial reef also has function to improve habitat of fish and other sea creatures, it can also protect the beach by attenuating wave energy without reduce the aesthetics and artistic aspect. An important aspect to be considered in using artificial reefs as submerged breakwater is their effectiveness in reducing or attenuating wave energy

The purpose of this physical model test in wave flume laboratory is to study the correlation of wave steepness ( $H_i/gT^2$ ), diameter ( $D$ ) and length ( $B$ ) to reflection coefficient ( $K_r$ ), transmission coefficient ( $K_t$ ), and dissipation coefficient ( $K_L$ ) at a simple design form of cylinder structure. Experiment data collected from laboratory were processed and displayed in graphical form.

From these experiments equation was developed to show a correlation between coefficient and the and the predictors parameters that used to estimate the coefficient. Predictor parameters that have the most impact for the reflection coefficient is  $H_i/gT^2$ . While the parameters that have the most impact for the transmission coefficient and dissipation is  $B/L$

The experiments show a correlation between coefficient

The result of this research is expected as initial guidance in using simple design form of cylinder structure. This structure is considered as alternative soft engineering approach in beach protection.

Key word: breakwater, reflection, transmission

## DAFTAR ISI

|   |          |
|---|----------|
| HALAMAN SAMBUT DALAM .....                            | i        |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....                  | v        |
| PAGE OF ORIGINALITY PRONOUNCEMENT .....               | vi       |
| HALAMAN PENGESAHAN.....                               | vii      |
| STATEMENT OF LEGIMITATION .....                       | viii     |
| KATA PENGANTAR .....                                  | ix       |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI..... | x        |
| ABSTRAK.....  | xi       |
| ABSTRACT.....   | xii      |
| DAFTAR ISI.....                                       | xiii     |
| DAFTAR GAMBAR .....                                   | xvi      |
| DAFTAR TABEL.....                                     | xviii    |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>                        | <b>1</b> |
| 1.1. Latar Belakang .....                             | 1        |
| 1.2. Perumusan Masalah .....                          | 3        |
| 1.3. Tujuan Penelitian .....                          | 3        |
| 1.4. Manfaat Penelitian .....                         | 4        |
| 1.5. Batasan Penelitian .....                         | 4        |
| 1.6. Sistematika Penelitian.....                      | 5        |
| <b>BAB 2 LANDASAN TEORI.....</b>                      | <b>6</b> |
| 2.1. Breakwatwer .....                                | 6        |
| 2.1.1. Berdasarkan Lokasi.....                        | 6        |
| 2.1.2. Berdasrkan Material .....                      | 8        |
| 2.1.3. Berdasrkan Permeabilitas.....                  | 9        |
| 2.1.4. Berdasrkan Kondisi Puncak .....                | 9        |
| 2.1.5. Berdasarkan Panjang.....                       | 12       |
| 2.2. Gelombang .....                                  | 13       |
| 2.2.1. Energi dan Tenaga Gelombang.....               | 13       |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 2.3.  | Deformasi Gelombang .....               | 14        |
| 2.3.1.  | Gelombang Refleksi .....                | 15        |
| 2.3.2.  | Gelombang Transmisi .....               | 16        |
| 2.4.  | Analisa Dimensi .....                   | 16        |
| 2.4.1.  | Satuan Fisik .....                      | 17        |
| 2.4.2.  | Sistem Satuan .....                     | 17        |
| 2.5.  | Model Analisa .....                     | 18        |
| 2.5.1.  | Hukum Froude .....                      | 19        |
| 2.5.2.  | Sebangun Geometrik .....                | 20        |
| 2.5.3.  | Sebangun Kinematik .....                | 21        |
| 2.5.4.  | Sebangun Dinamik .....                  | 22        |
| <b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>        |   | <b>23</b> |
| 3.1.  | Diagram Alir Penelitian .....           | 23        |
| 3.1.1.  | Tahapan Persiapan .....                 | 24        |
| 3.1.2.  | Tahap Pengumpulan Data .....            | 24        |
| 3.1.3.  | Tahap Pengolahan Data .....             | 24        |
| 3.1.4.  | Tahap Analisis .....                    | 24        |
| 3.1.5.  | Tahap Kesimpulan .....                  | 24        |
| 3.2.  | Alat dan Model .....                    | 25        |
| 3.3.  | Metodologi Pengujian .....              | 26        |
| 3.3.1.  | Analisa Dimensi Dan Analisa Model ..... | 27        |
| 3.3.2.  | Pengecekan Alat dan Model .....         | 27        |
| 3.3.3.  | Persiapan .....                         | 28        |
| 3.3.4.  | Model <i>Set-Up</i> .....               | 28        |
| 3.3.5.  | Pembacaan .....                         | 29        |
| 3.3.6.  | Variasi Sekenario .....                 | 30        |
| 3.4.  | Analisa Dimensi .....                   | 30        |
| 3.5.  | Analisa Model .....                     | 32        |
| <b>BAB 4 DATA DAN ANALISIS PENELITIAN .....</b> |   | <b>35</b> |
| 4.1.  | Data Penelitian .....                   | 35        |
| 4.1.1.  | Koefisien Refleksi .....                | 35        |
| 4.1.2.  | Koefisien Transmisi .....               | 37        |

|   |    |
|---|----|
| 4.1.3. Koefisien Kehilangan Energi .....          | 39 |
| 4.2. Analisis Data .....                          | 41 |
| 4.2.1. Analisis Regresi .....                     | 41 |
| 4.2.2. Analisis Koefisien Refleksi.....           | 42 |
| 4.2.3. Analisis Koefisien Transmisi .....         | 42 |
| 4.2.4. Analisis Koefisien Kehilangan Energi ..... | 43 |
| BAB 5 PENUTUP .....                               | 45 |
| 5.1. Kesimpulan .....                             | 45 |
| 5.1.1. Koefisien Refleksi.....                    | 45 |
| 5.1.2. Koefisien Transmisi .....                  | 46 |
| 5.1.3. Koefisien Kehilangan Energi .....          | 47 |
| 5.2. Saran .....                                  | 47 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                              | 49 |
| LAMPIRAN.....                                     | 51 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1 Tetrapod Breakwater .....  | 8  |
| Gambar 2.2 Pohon Mangrove dan Terumbu Karang .....  | 9  |
| Gambar 2.3 Emerged Breakwater .....   | 11 |
| Gambar 2.4 Parameter Tentatif Struktur Peredam Gelombang Tunggal .....  | 12 |
| Gambar 2.5 Contoh Sebangun Geometrik .....  | 21 |
| Gambar 2.6 Contoh sebangun kinematik .....  | 22 |
| Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....   | 23 |
| Gambar 3.2. Tilting Flume .....   | 25 |
| Gambar 3.3 Tilting Flume yang Digunakan .....   | 25 |
| Gambar 3.4 Model yang Akan Diuji .....  | 26 |
| Gambar 3.5. Kondisi Model yang Akan Diuji .....   | 26 |
| Gambar 3.6 Diagram Alir Metode Pengujian .....  | 27 |
| Gambar 3.7 Pengukuran Dimensi Model .....   | 28 |
| Gambar 3.8. Model dalam Tilting Flume .....   | 28 |
| Gambar 3.9 Wave Generator .....   | 29 |
| Gambar 3.10 Wave Absorption .....   | 30 |
| Gambar 3.11 Ilustrasi Permodelan .....  | 30 |
| Gambar 3.12 Sketsa Ilustrasi Model .....  | 34 |
| Gambar 4.1. Grafik Korelasi Panjang Relatif $B/L$ Terhadap Koefisien Refleksi<br>Gelombang $K_r$ .....          | 36 |
| Gambar 4.2. Grafik Korelasi Diameter Relatif $D/gT^2$ Terhadap Koefisien Refleksi<br>Gelombang $K_r$ .....      | 36 |
| Gambar 4.3. Grafik Korelasi Kecuraman Gelombang $H_i/gT^2$ Terhadap Koefisien<br>Refleksi Gelombang $K_r$ ..... | 37 |
| Gambar 4.4 Grafik Korelasi Panjang Relatif $B/L$ Terhadap Koefisien Transmisi<br>Gelombang $K_t$ .....          | 38 |
| Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Diameter Relatif $D/gT^2$ Terhadap Transmisi<br>Gelombang $K_t$ .....                | 38 |



|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Kecuraman Gelombang $H_i/gT^2$ Terhadap Transmisi Gelombang $K_t$ .....    | 39 |
| Gambar 4.7 Grafik Korelasi Panjang Relatif $B/L$ Terhadap Koefisien Kehilangan Energi $K_L$ .....     | 40 |
| Gambar 4.8 Grafik Korelasi Diameter Relatif $D/gT^2$ Terhadap Koefisien Kehilangan Energi $K_L$ ..... | 40 |
| Gambar 4.9 Grafik Korelasi Kecuraman Gelombang $H_i/gT^2$ Terhadap Koefisien Kehilangan Energi.....   | 41 |



**DAFTAR TABEL**

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Pontoon Breakwater.....  | 10 |
| Tabel 2.2 Mat Breakwater.....  | 10 |
| Tabel 2.3 Tethered Float Breakwater.....                                   | 11 |
| Tabel 2.4 Gambaran Struktur Gelombang.....                                 | 13 |
| Tabel 2.5 Sistem Dimensi.....  | 17 |
| Tabel 2.6 Faktor Skala Berdasarkan Hukum Froude.....                       | 20 |
| Tabel 3.1 Prakiraan Tinggi Gelombang laut di Indonesia.....                | 33 |
| Tabel 3.2 Dimensi Model.....   | 34 |
| Tabel 3.3 Skenario Percobaan Berdasarkan Parameter Keadaan Lingkungan..... | 34 |
| Tabel 4.1. Persamaan Refleksi Gelombang Kr.....                            | 37 |
| Tabel 4.2. Persamaan Refleksi Gelombang Kt.....                            | 39 |
| Tabel 4.3. Persamaan Refleksi Gelombang KL.....                            | 41 |

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia sebagai Negara kepulauan memiliki garis pantai yang sangat panjang mempunyai potensi kelautan, perikanan, dan pariwisata yang sangat besar. Adanya berbagai kegiatan merupakan potensi yang sangat penting bagi Indonesia. Potensi yang besar tersebut akan hilang apabila komponen pendukung seperti ekosistem terumbu karang mengalami kerusakan. Rusaknya terumbu karang berpengaruh terhadap kelangsungan hidup ikan dan beragam biota lainya. Untuk itu diperlukan suatu upaya pelestarian agar kerusakan terumbu karang dapat dicegah. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi masalah kerusakan terumbu karang tersebut diantaranya dengan transplantasi karang dan teknologi terumbu karang buatan.

Secara konvensional, terumbu karang buatan hanya berfungsi sebagai habitat baru tempat ikan mencari makan, tempat berkembang biak dan pembesaran berbagai biota. Akan tetapi terumbu karang buatan dapat juga digunakan sebagai peredam energi gelombang, sehingga dapat melindungi daerah dibelakangnya tanpa mengurangi estetika pantai semula.

Pada daerah pantai yang ditujukan sebagai kawasan wisata air seperti *snorkling*, selam (*diving*), dan renang dituntut daerah perairan yang tenang. Salah satu cara untuk menciptakan perairan yang tenang adalah dengan dibangun struktur pemecah gelombang. Keberhasilan penerapan teknologi terumbu buatan ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya kesesuaian parameter lingkungan, jenis dan bentuk material, serta kekuatan struktur.

Manfaat terumbu karang buatan adalah untuk melindungi pantai yang tererosi, menciptakan stabilitas garis pantai, sebagai pelindung karang alami, dan pelindung terhadap kawasan wisata. Dalam jumlah yang cukup banyak, terumbu karang buatan dapat mereduksi energi gelombang. Selain itu juga mempunyai kemampuan untuk menghasilkan pusaran dan turbulensi yang menguntungkan

dan menyediakan perlindungan bagi ikan. Reduksi gelombang transmisi yang melewati terumbu karang dipengaruhi oleh panjang gelombang, tinggi gelombang dan bentuk geometri struktur.

Dalam kaitannya dengan fungsi terumbu buatan, maka perlu pertimbangan dalam aspek desain. Desain dan kinerja dari terumbu buatan perlu dianalisis untuk mendapatkan informasi mengenai tingkat reduksi energi gelombang yang paling baik. Kemampuan silinder dalam mengatur pola aliran fluida sangat baik karena adanya peluruhan vortex, adanya gaya drag dan adanya gaya hambat yang menyebabkan peningkatan stabilitas. Besar energi yang melewati struktur bangunan tersebut akan tereduksi karena adanya gaya gesek dan turbulensi antara aliran yang melawati susunan *breakwater*. Aliran yang lolos tersebut dinyatakan sebagai aliran transmisi yang akan menjadi lebih kecil dibanding sebelum melewati. Bentuk ini juga yang paling mudah untuk ditemukan, apalagi untuk diterapkan untuk material alam seperti bambu.

Dalam geometri struktur ini gelombang yang datang dapat dipantulkan dan melewati struktur. Hal tersebut akan menyebabkan terbentuknya suatu *reflection wave* atau gelombang refleksi dan *transmission wave* atau gelombang transmisi. Gelombang refleksi merupakan gelombang yang terjadi akibat pantulan karena mengenai struktur. Sedangkan gelombang transmisi yaitu gelombang yang terjadi setelah mengenai atau melewati suatu struktur. Akibat refleksi dan transmisi gelombang, gelombang datang mengalami perubahan tinggi gelombang, periode gelombang, serta pengurangan energi gelombang dari gelombang yang datang sebelum mengenai struktur. Perbandingan atau rasio antara tinggi gelombang refleksi (*reflection wave*) yang terjadi dengan tinggi gelombang datang (*incident wave*) atau perbandingan antara perbandingan antara tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang merupakan suatu nilai koefisien yang dinamakan dengan koefisien refleksi (*reflection coefficient*) yang disimbolkan dengan ( $K_r$ ). Sedangkan perbandingan atau rasio antara tinggi gelombang transmisi (*transmission wave*) yang terjadi dengan tinggi gelombang datang (*incident wave*) atau perbandingan antara perbandingan antara tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang merupakan suatu nilai koefisien yang dinamakan dengan koefisien transmisi (*transmission coefficient*) yang disimbolkan

dengan ( $K_t$ ). Nilai koefisien ini dapat digunakan untuk pertimbangan perencanaan konstruksi *breakwater* yang cukup memadai dan ekonomis dari jenis struktur yang sama.

## 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang melatar belakangi diadakan penelitian ini adalah:

- Seberapa besar rasio tinggi gelombang refleksi dan transmisi dengan tinggi gelombang datang yang dinotasikan sebagai nilai koefisien pada tes struktur peredam gelombang tipe silinder sederhana dalam kondisi tidak melimpas.
- Seberapa besar energi gelombang yang diterima oleh peredam gelombang tipe silinder sederhana dalam kondisi tidak melimpas

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam penelitian ini adalah :

- Menghitung nilai koefisien refleksi ( $K_r$ ) yang merupakan rasio tinggi gelombang refleksi dengan tinggi gelombang datang akibat kondisi gelombang tidak melimpas pada peredam gelombang silinder sederhana
- Menghitung nilai koefisien transmisi ( $K_t$ ) yang merupakan rasio tinggi gelombang transmisi dengan tinggi gelombang datang akibat kondisi gelombang tidak melimpas pada peredam gelombang silinder sederhana
- Menghitung nilai koefisien kehilangan energi ( $K_L$ ) yang merupakan energi yang diterima oleh peredam gelombang pada kondisi tidak melimpas
- Mencari korelasi antara koefisien refleksi, transmisi, dan kehilangan energi dengan parameter tinggi gelombang ( $H$ ) pada variasi panjang model ( $B$ ), untuk tiap variasi panjang gelombang ( $L$ ) yang berbeda.
- Mencari korelasi antara koefisien refleksi, transmisi, dan kehilangan energi dengan parameter tinggi gelombang ( $H$ ) pada

variasi diameter model ( $D$ ), untuk tiap variasi periode gelombang ( $T$ ) yang berbeda.

- Mencari korelasi antara koefisien refleksi, transmisi, dan kehilangan energi dengan parameter tinggi gelombang ( $H$ ) pada variasi panjang model ( $B$ ), untuk tiap variasi periode gelombang ( $T$ ) yang berbeda.

#### 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

- Mengetahui dimensi peredam gelombang yang dibutuhkan untuk gelombang transmisi yang diharapkan apabila gelombang datang diketahui
- Mengetahui besar energi yang diterima oleh peredam gelombang, sehingga diketahui desain strukturnya

#### 1.5. Batasan Penelitian

Beberapa batasan yang dipakai dalam penelitian ini diantaranya :

- Gelombang tidak pecah pada laut dalam
- Arah gelombang satu arah tegak lurus dengan struktur
- Tinggi kedalaman air adalah tetap atau konstan
- Gesekan dasar laut atau bottom friction diabaikan
- Zat cair irrotational (aliran tak rotasi), inviscid (tidak mengalami perubahan viskositas zat cair), dan incompressible (tidak termampatkan)
- Material yang digunakan adalah PVC (*Poly Vinyl Chloride*)
- Dasar perairan rata (horisontal), tetap dan kedap (impermeable)
- Gaya oleh angin diabaikan

## 1.6. Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

### BAB I PENDAHULUAN

Berisikan penjelasan secara umum tentang latar belakang, perumusan dan batasan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

### BAB II LANDASAN TEORI

Berisikan literatur yang memberikan gambaran mengenai teori gelombang dan bangunan pantai.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan penjelasan tentang metode penelitian dan prosedur penelitian yang akan dilakukan penulis.

### BAB IV HASIL DAN ANALISA PENELITIAN

Berisikan penjelasan tentang hasil penelitian yang telah dilaksanakan beserta analisa mengenai hasil yang didapatkan dari penelitian.

### BAB V PENUTUP

Berisikan penjelasan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian yang terkait selanjutnya

## BAB 2 LANDASAN TEORI

### 2.1. Breakwater

Pemecah gelombang bertujuan untuk melindungi pantai atau kegiatan di sepanjang pantai dari gelombang. Adapun prinsip kerja dari bangunan pantai ini antara lain adalah:

- Memperkuat/melindungi pantai/perairan lain (misal kolam pelabuhan) agar mampu menahan laju gelombang.
- Mengurangi energi gelombang yang datang ke pantai.
- Mengubah laju transport sedimen sepanjang pantai.
- Menambah pasokan sedimen pada daerah-daerah yang telah mengalami penggerusan.

Skema *breakwater* memiliki banyak variabel yang menentukan dampak pada garis pantai. Skema tersebut dapat dibagi menjadi berdasarkan lokasi, material, permeabilitas, kondisi puncak, dan panjang.

#### 2.1.1. Berdasarkan Lokasi

Berdasarkan lokasinya, *breakwater* ini ditentukan oleh koneksi terhadap pesisir pantainya. Lokasi *breakwater* ini dibagi menjadi dua macam, yaitu:

##### a. *Offshore Breakwater*

*Offshore breakwater* adalah bangunan yang dibuat sejajar dengan pantai dan berjarak tertentu dari garis pantai. Bangunan ini direncanakan untuk melindungi pantai yang berada di belakangnya dari hantaman gaya gelombang yang dapat mengakibatkan tergerusnya material pantai/erosi pada pantai tersebut. Seperti halnya groin bangunan pelindung pantai jenis ini biasanya dibuat secara seri, tergantung panjang pantai yang dilindungi. Antara satu *breakwater* dengan yang lainnya dipisahkan oleh celah. Melalui celah inilah gaya gelombang yang telah terdifraksi dapat diteruskan ke pantai, tentunya



dengan energi yang lebih kecil. Karena sediment di belakang *breakwater* terlindungi maka akan terbentuk tumpukan sedimen yang biasa di sebut sebagai salien. Jika tumpukan sedimen itu menyentuh *breakwater* dan mengakibatkan terbentuknya daratan baru maka salien yang seperti ini dinamakan tombolo. Offshore *breakwater* bisanya dibuat dalam bentuk rubble mound, dengan armor layer yang berbeda beda. Berikut diberikan ilustrasi mengenai salien, tombolo dan offshore *breakwater*.



Gambar 2. 1 Offshore Breakwaters

**b. Shore-Connected Breakwater**

Berbeda dengan jenis *breakwater* sebelumnya, *breakwater* jenis ini tidak dibangun di perairan lepas, namun masih terhubung dengan daratan pantai. *Breakwater* jenis ini bisanya dibuat dengan tujuan untuk melindungi daerah perairan tertentu, biasanya di bangun di pelabuhan. Seperti yang terdapat pada pelabuhan Internasional Tanjung Priok Jakarta. Fungsi dari *breakwater* jenis ini adalah sebagai bangunan pelindung yang akan meredam/menghambat gaya gelombang yang datang dari laut lepas yang kemudian bertransformasi ke daerah perairan dangkal sehingga gelombang yang berada di belakan *breakwater* tersebut menjadi tenang. Kondisi inilah yang memungkinkan aktivitas bongkar-muat di pelabuhan tersebut.

### 2.1.2. Berdasarkan Material

Berdasarkan materialnya pembentuknya, *breakwater* dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu buatan dan alami:

#### a. Buatan

*Breakwater* ini dibuat manusia berdasarkan kebutuhan yang diinginkan agar dapat dimanfaatkan oleh manusia. Material yang digunakan untuk *breakwater* ini dapat berupa beton, tumpukan kerikil, dan banyak macam lainnya. Namun seiring jalanya waktu banyak peneliti membuatnya dengan tujuan sebagai pemicu tumbuhnya terumbu karang



Gambar 2.1 Tetrapod Breakwater

#### b. Alami

*Breakwater* ini biasanya terbentuk karena faktor alam. Hal ini menjadikan *breakwater* jenis yang paling bagus karena dapat menyediakan habitat disekelilingnya secara alami. Hal ini juga menjadi pemicu para peneliti untuk membuat *breakwater* berbahan alami. Material dalam *breakwater* ini dapat berupa pohon mangrove, pohon api-api, terumbu karang, bambu, kulit kerang, dan banyak macam lainnya.



Gambar 2.2 Pohon Mangrove dan Terumbu Karang

### 2.1.3. Berdasarkan Permeabilitas

Selain berdasarkan materialnya klasifikasi breakwater dapat berupa tingkat permeabilitasnya. Berdasarkan tingkat permeabilitasnya, klasifikasi ini dibagi menjadi *permeable* dan *impermeable*:

#### a. *Permeable*

Untuk *breakwater* *impermeable* memiliki nilai porositas lebih besar dari nol ( $\epsilon > 0$ ). *Breakwater* ini biasanya digunakan untuk meredam gelombang yang datang, sehingga gelombang yang datang dapat diteruskan, dan gelombang yang dipantulkan sangatlah kecil.

#### b. *Impermeable*

Untuk *breakwater* *impermeable* tidak memiliki nilai porositas ( $\epsilon = 0$ ). *Breakwater* ini biasanya digunakan untuk memecahkan gelombang yang datang, sehingga gelombang yang ditransmisikan sangatlah kecil, namun gelombang yang direfleksikan besar.

### 2.1.4. Berdasarkan Kondisi Puncak

Berdasarkan kondisi puncak *breakwater* dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu:

#### a. *Floating breakwater*

Umumnya digunakan untuk melindungi daerah-daerah yang mengalami iklim gelombang yang tenang dengan perioda gelombang yang sangat pendek. Secara umum *floating breakwater* itu terbagi atas 4 jenis, yaitu *box breakwater*, *pontoon break water*, *mat breakwater*, dan *thetered float breakwater*.



Gambar 2. 2 Box Breakwater

Tabel 2.1 Pontoon Breakwater

|                                |  |                              |
|--------------------------------|--|------------------------------|
| <b>PONTOON</b><br>Twin pontoon |  | Catamaran shape              |
| Open compartment               |  | Sometimes called Alaska type |
| A frame                        |  |                              |
| Twin log                       |  | Deck is open wood frame      |

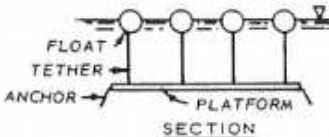
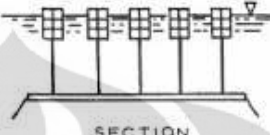
Sumber: [www.coastalwiki.org](http://www.coastalwiki.org)

Tabel 2.2 Mat Breakwater

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| <b>MAT</b><br>Tire mat |  | Scrap tires strung on pole framework or bound together with chain or belting. Foam flotation is usually need |
| Log mat                |  | Log raft chained or cabled together  |

Sumber: [www.coastalwiki.org](http://www.coastalwiki.org)

Tabel 2.3 Tethered Float Breakwater

|                                 |  |  |
|---------------------------------|--|--|
| <b>TETHERED FLOAT</b><br>Sphere |  | Float placed in rows   |
| Tire                            |  | Arrangement similar to spheres. Steel drums with ballasts can be used instead of tires |

Sumber: [www.coastalwiki.org](http://www.coastalwiki.org)

**b. Submerged Breakwater**

*Breakwater* ini memiliki puncak dibawah permukaan air. Apabila terjadi gelombang yang datang maka gelombang tersebut akan teredam. *Breakwater* tipe ini memiliki kelebihan di bidang estetika, karena permukaan *breakwater* tidak tampak ke permukaan. *Breakwater* ini juga mendekati dengan bentuk terumbu karang.

**c. Emerged breakwater**

*Breakwater* ini memiliki bentuk yang menjulang dari dasar hingga ke atas permukaan. Biasanya bangunan ini dibangun di pelabuhan.



Gambar 2.3 Emerged Breakwater

### 2.1.5. Berdasarkan Panjang

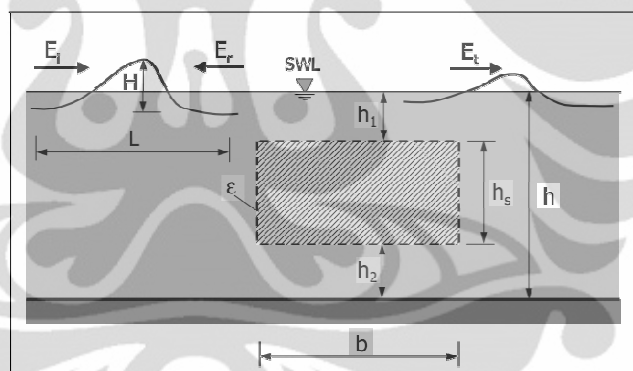
Berdasarkan panjang bangunanya, *breakwater* ini dibagi menjadi dua macam. Biasanya semakin lebar struktur *breakwater*, semakin efektif redaman gelombangnya. Jenis *breakwater* tersebut adalah:

- Wide structure

*Breakwater* ini memiliki nilai panjang yang lebih dari nol ( $B > 0$ ). Hasil dari redaman gelombang yang datang sangat berpengaruh dengan panjang dari struktur ini.

- Thin walls

*Breakwater* ini memiliki nilai panjang yang lebih dari nol ( $B = 0$ ). *Breakwater* ini biasanya berbentuk tembok atau susunan pilar. Untuk mendapatkan hasil redaman yang besar, biasanya *breakwater* ini tidak hanya disusun satu lapis.



Gambar 2.4 Parameter Tentatif Struktur Peredam Gelombang Tunggal

Tabel 2.4 Gambaran Struktur Gelombang

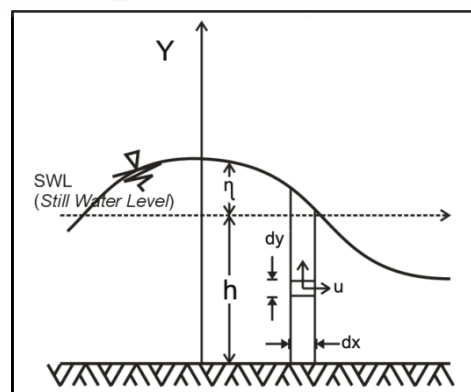
|                            |                                | $h_s > h$              |                        | $h_s < h$              |                        | $h_s = 0$           |
|----------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
|                            |                                | $h_1 = 0$<br>$h_2 = 0$ | $h_1 > 0$<br>$h_2 = 0$ | $h_1 = 0$<br>$h_2 > 0$ | $h_1 > 0$<br>$h_2 > 0$ | $h_1 + h_2 = h$     |
| $b = 0$<br>thin walls      | $\epsilon = 0$<br>impermeable  | 1.1                    | 1.2                    | 1.3                    | 1.4                    | 1.5<br>no structure |
|                            | $\epsilon \neq 0$<br>permeable | 2.1                    | 2.2                    | 2.3                    | 2.4                    | 2.5<br>no structure |
| $b > 0$<br>wide structures | $\epsilon = 0$<br>impermeable  | 3.1                    | 3.2                    | 3.3                    | 3.4                    | 3.5                 |
|                            | $\epsilon \neq 0$<br>permeable | 4.1                    | 4.2                    | 4.3                    | 4.4                    | 4.5                 |

Sumber: Handbook of Coastal and Ocean Engineering, World Scientific, Singapore

## 2.2. Gelombang

### 2.2.1. 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. Energi potensial adalah energi yang dihasilkan oleh perpindahan muka air karena adanya gelombang.



Gambar 2.3 Penurunan Energi Gelombang

$$dE_k = \frac{1}{2} dm V^2 = \frac{1}{2} \rho dx dy (u^2 + v^2)$$

Energi kinetik total adalah integras dari persamaan atas,

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

Apabila persamaan tersebut di substitusikan, maka didapat

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

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

Apabila energi potensial dari gelombang dikurangi dengan energi potensial dari massa air diam seperti yang ditunjukkan dalam gambar diatas, akan didapat energi potensial yang disebabkan oleh gerak gelombang. Dengan menggunakan dasar laut sebagai bidang referensi, energi potensial yang ditimbulkan oleh suatu panjang gelombang  $E_p$  adalah:

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

$$E_p = \frac{\rho g H^2 L}{16}$$

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

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{8}$$

Energi gelombang berubah dari satu titik ke titik yang lain sepanjang satu panjang gelombang, dan energi rerata satu satuan luas adalah:

$$\bar{E} = \frac{E}{L} = \frac{\rho g H^2}{8}$$

### 2.3. Deformasi Gelombang

Besarnya energi gelombang yang sampai di pantai tergantung pada tinggi gelombang yang datang. Tinggi gelombang dapat dikurangi dengan dengan membuat struktur melontang arah gelombang

Apabila gelombang pada saat penjalaran mengalami suatu rintangan, sebagian energinya akan dihancurkan melalui proses gesekan dan turbulensi.



Sebagian lagi akan dipantulkan dan sisanya akan dihancurkan, dihancurkan, dipantulkan, dan diteruskan tergantung pada jenis gelombang, jenis struktur, dan keadaan lingkungan setempat

Pada lokasi bangunan pantai sebagian energi gelombang akan dipantulkan, sebagian yang lain akan ditransmisikan, dan energi yang tersisaakan dihancurkan akibat pecahnya gelombang. Kejadian ini akan memenuhi hukum kekekalan energi yang dapat dinyatakan dengan:

$$\bar{E}_i = \bar{E}_t + \bar{E}_r + \bar{E}_L$$

Apabila transfer energi rata-rata dari suatu gelombang memiliki periode tertentu diketahui sebesar  $\bar{E} = \frac{\rho g h^2}{8}$ , maka

$$1 = K_t^2 + K_r^2 + K_L$$

### 2.3.1. Gelombang Refleksi

Gelombang air dapat mengalami refleksi total atau parsial baik oleh penghalang alami maupun buatan manusia. Refleksi pada gelombang laut sama halnya yang terjadi pada refleksi cahaya pada cermin datar, di mana sudut datang sama dengan sudut pantul gelombang.

Parameter refleksi gelombang oleh bangunan biasanya dinyatakan dalam bentuk koefisien refleksi  $K_r$  yang didefinisikan sebagai perbandingan antara akar dari energi gelombang refleksi ( $E_r$ ) dan energi gelombang datang ( $E_i$ ), atau tinggi gelombang refleksi ( $H_r$ ) dan tinggi gelombang datang ( $H_i$ ).

$$K_r = \sqrt{\frac{E_r}{E_i}} = \frac{H_r}{H_i}$$

Apabila dua buah gelombang dengan periode yang sama dan berlawanan arah masing-masing dengan amplitudo  $a_1$  dan  $a_2$  ( $a_1 > a_2$ ), maka gabungan dari profil gelombang tersebut diberikan oleh persamaan berikut

$$\eta = a_1 \cos(kx + \sigma t) + a_2 \cos(kx + \sigma t)$$

$$\eta = (a_1 + a_2) \cos kx \cos \sigma t - (a_1 - a_2) a_2 \sin kx \sin \sigma t$$

Pesamaan di atas adalah untuk gelombang dengan refleksi tidak sempurna dengan  $a_1$  sebagai amplitudo gelombang datang dan  $a_2$  sebagai amplitudo

gelombang refleksi. Apabila  $a_{maks}$  adalah jumlah dari  $a_1$  dan  $a_2$ , lalu  $a_{min}$  adalah selisih dari  $a_1$  dan  $a_2$ , maka

$$K_r = \frac{a_1}{a_2} = \frac{a_{maks} + a_{min}}{a_{maks} - a_{min}} = \frac{H_{max} - H_{min}}{H_{max} + H_{min}}$$

### 2.3.2. Gelombang Transmisi

Tinggi gelombang yang tertransmisikan akan lebih kecil daripada gelombang kejadian, begitu pula dengan perioda gelombangnya yang pasti akan berbeda besarnya. Derajat dari gelombang transmisi didefinisikan sebagai koefisien transmisi. Pada saat meninjau sebuah gelombang yang tidak beraturan, koefisien transmisi didefinisikan sebagai rasio atau perbandingan antara tinggi gelombang yang tertransmisikan dengan gelombang kejadian atau pada indikasi-indikasi transmisi serta kejadian lainnya. Berikut ini merupakan rumus pengerjaannya:

$$K_t = \sqrt{\frac{E_t}{E_i}} = \frac{H_t}{H_i}$$

Pada bangunan kedap air (impermeable), transmisi gelombang yang diakibatkan oleh hempasan volume air yang melimpas di atas bangunan, sedangkan pada bangunan permeable transmisi gelombang merupakan gabungan dari konstruksi overtoping dan perembesan air melalui bangunan. Gelombang panjang akan menghasilkan gelombang transmisi yang lebih besar dibandingkan gelombang pendek. Selain itu transmisi gelombang juga dipengaruhi oleh kecuraman gelombang

## 2.4. Analisa Dimensi

Di dalam merencanakan pengujian model dan untuk menyajikan hasil eksperimen, sangat berguna untuk melakukan analisis dimensi terhadap permasalahan eksperimen tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi parameter penting sehingga dapat mengatur variabel model yang diuji dengan sesuai

### 2.4.1. Satuan Fisik

Satuan fisik ditampilkan untuk suatu benda berupa panjang (m), massa (kg), berat (N), viskositas, temperatur dan lain-lainnya. Satuan fisik dibagi dua group yakni *Primary Quantities* dan *Secondary Quantities*. *Primary quantities* hanya mempunyai dimensi satu berupa panjang saja atau satu macam satuan saja. *Secondary quantities* mempunyai dimensi lebih dari satu.

### 2.4.2. Sistem Satuan

Ada 2 system satuan yang digunakan yakni *physic system (absolut)* dengan satuan M (massa), L (panjang), T (waktu ) dan *engineering system* dengan satuan F (gaya), L (panjang), T (waktu). Pada sistim absolute atau fisik termasuk *primary quantities*

Tabel 2.5 Sistim Dimensi

| No.              | Quantity                   | Unit Generally Adopted | Symbol        | Dimensions                       |                                 |
|------------------|----------------------------|------------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------------|
|                  |                            |                        |               | MLT system                       | FLT system                      |
| <b>Geometric</b> |                            |                        |               |                                  |                                 |
| 1.               | Length                     | m                      | <i>l</i>      | L                                | L                               |
| 2.               | Area                       | m <sup>2</sup>         | A             | L <sup>2</sup>                   | L <sup>2</sup>                  |
| 3.               | Volume                     | m <sup>3</sup>         | <i>V</i>      | L <sup>3</sup>                   | L <sup>3</sup>                  |
| 4.               | Slope                      | -                      | <i>S</i>      | -                                | -                               |
| <b>Kinematic</b> |                            |                        |               |                                  |                                 |
| 5.               | Time                       | sec                    | <i>T</i>      | T                                | T                               |
| 6.               | Velocity (linear)          | m/sec                  | <i>v</i>      | LT <sup>-1</sup>                 | LT <sup>-1</sup>                |
| 7.               | Velocity (angular)         | rad/sec                | <i>ω</i>      | T <sup>-1</sup>                  | T <sup>-1</sup>                 |
| 8.               | Acceleration (linear)      | m/sec <sup>2</sup>     | <i>f</i>      | LT <sup>-2</sup>                 | LT <sup>-2</sup>                |
| 9.               | Acceleration (angular)     | rad/sec <sup>2</sup>   | <i>α</i>      | T <sup>-2</sup>                  | T <sup>-2</sup>                 |
| 10.              | Discharge                  | m <sup>3</sup> /sec    | <i>Q</i>      | L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>   | L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>  |
| 11.              | Gravitational acceleration | m/sec <sup>2</sup>     | <i>g</i>      | LT <sup>-2</sup>                 | LT <sup>-2</sup>                |
| 12.              | Kinematic viscosity        | m <sup>2</sup> /sec    | <i>ν (nu)</i> | L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup>   | L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup>  |
| <b>Dynamic</b>   |                            |                        |               |                                  |                                 |
| 13.              | Mass                       | kg                     | M             | M                                | FL <sup>-1</sup> T <sup>2</sup> |
| 14.              | Force                      | N                      | F             | MLT <sup>-2</sup>                | F                               |
| 15.              | Weight                     | N                      | W             | MLT <sup>-2</sup>                | F                               |
| 16.              | Mass density               | slug/cum               | <i>ρ</i>      | ML <sup>-3</sup>                 | FL <sup>-4</sup> T <sup>2</sup> |
| 17.              | Specific weight            | kg/cum                 | <i>w</i>      | ML <sup>-2</sup> T <sup>-2</sup> | FL <sup>-3</sup>                |
| 18.              | Dynamic viscosity          | kg sec/m <sup>2</sup>  | <i>μ (mu)</i> | ML <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> | FL <sup>-2</sup> T              |
| 19.              | Surface tension            | kg/m                   | <i>λ</i>      | MT <sup>-2</sup>                 | FL <sup>-1</sup>                |
| 20.              | Elastic modulus            | kg/m <sup>2</sup>      | <i>E</i>      | ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> | FL <sup>-2</sup>                |
| 21.              | Pressure intensity         | N/m <sup>2</sup>       | <i>p</i>      | ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> | FL <sup>-2</sup>                |
| 22.              | Shear intensity            | N/m <sup>2</sup>       | <i>τ</i>      | ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> | FL <sup>-2</sup>                |
| 23.              | Work, Energy               | kg.m                   | <i>W, E</i>   | ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup>  | FL                              |
| 24.              | Impulse, momentum          | kg.m/sec               | <i>I, M</i>   | MLT <sup>-1</sup>                | FT                              |
| 25.              | Torque                     | kg.m                   | <i>T</i>      | ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup>  | FL                              |
| 26.              | Power                      | kg.m/sec               | <i>P</i>      | ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup>  | FLT <sup>-1</sup>               |

Sumber: *Bahan Kuliah Teori Model Analisa dan Dimensi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Persamaan dikatakan berdimensi homogen jika dimensi setiap suku dari suatu persamaan adalah identik/sama. Setiap persamaan secara fisik diawali dari penomena analisa keserupaan, seperti persamaan dari suatu sistim satuan. Untuk mendapatkan jumlah variabel dari suatu persamaan dapat ditentukan dengan metode :

- *Metode Rayleigh*
- *Metode Buckingham*
- *Metode Matrik*

## 2.5. Model Analisa

Model analisa ini akan membuat para disain/para experiment mendapatkan informasi yang mendekati kebenaran sebelum memulai melaksanakan pekerjaan yang sesungguhnya, dan untuk mendapatkan pengaruh yang akan ditimbulkannya.

Dengan demikian dapat memberikan perbandingan pemodelan konstruksi menjadi tidak begitu mahal, untuk mendapatkan alaternatif perencanaan sebelum dilaksanakan sebagai keputusan yang tepat.

Model hanya merupakan sumber penyelesaian pendekatan permasalahan konstruksi atau hidrolika. Dengan model ini merupakan jasa berguna untuk mempelajari alternatif perencanaan. Untuk merencanakan memodelkan suatu kegiatan perlu dipilih skala model peruntukannya sebagai berikut ;

- Ruang yang akan dipakai untuk pemodelannya
- Ketersediaan jumlah air yang ada pada laboratorium
- Tipe hasil yang diinginkan ( mutu dan jumlah)
- Besarnya pengeluaran yang digunakan

Uji coba keserupaan ditentukan oleh analisa dimensi variable bebas yang mempengaruhi permasalahan. Jika semua dimensi varaibel bebas mempunyai nilai yang sama untuk model dan prototipe maka keduanya dikatakan absolut mirip. Pada gelombang air ada pengaruh tegangan permukaan air sebesar 25 mm, akan tetapi pada prototipe karena dimodelkan dengan skala yang kecil maka tegangan permukaan diabaikan, pengaruh ini disebut sebagai efek skala.

### 2.5.1. Hukum Froude

Apabila diprototip yang berperan adalah gaya inersia dan gaya berat maka kesebangunan dapat ditentukan berdasarkan criteria kesebangunan Froude:

$$Fr^2 = \frac{F_L}{F_g} = \frac{\rho \cdot u^2 \cdot L^2}{\rho \cdot g \cdot L^3} = \frac{U^2}{gL} = \frac{u}{\sqrt{gl}}$$

Dengan demikian apabila dalam kegiatan modelisasi tersebut gaya gravitasi dan gaya inersia sama-sama memegang peranan penting dalam permasalahan, maka rasio kedua gaya tersebut pada model dan prototip harus sama. Kriteria ini disebut kriteria kesebangunan menurut kondisi bilangan Froude (Kriteria sebangun Froude).

$$n_{Fr} = \frac{n_U}{n_L^{0.5}} = 1$$

Untuk mendapatkan kesebangunan dinamik antara model dan prototip tidak perlu semua gaya yang ada mempunyai perbandingan yang sama, hanya dipilih gaya-gaya yang penting dalam permasalahan saja yang diperhitungkan. Apabila terlalu banyak gaya (apalagi semua) yang diperhatikan maka besar model harus dibuat sebesar prototip.

Untuk menentukan skala model dalam hubungannya dengan kesebangunan dinamik, maka dipilih gaya-gaya yang penting saja, sedangkan gaya yang tidak penting dapat diabaikan

Tabel 2.6 Faktor Skala Berdasarkan Hukum Froude

| No.       | Quantity             | Symbol     |            | Scale Factor                     |
|-----------|----------------------|------------|------------|----------------------------------|
|           |                      | Model      | Prototype  |                                  |
| <b>A.</b> | <b>Geometric</b>     |            |            |                                  |
| 1.        | Panjang              | $l_m$      | $l_p$      | $(l_p/l_m) = n$                  |
| 2.        | Luasan               | $A_m$      | $A_p$      | $(A_p/A_m) = n^2$                |
| 3.        | Volume               | $V_m$      | $V_p$      | $(V_p/V_m) = n^3$                |
| 4.        | Kemiringan           | $i_m$      | $i_p$      | $(i_p/V_m) = 1$                  |
| 5.        | Sudut                | $\theta_m$ | $\theta_p$ | $(\theta_p/\theta_m) = 1$        |
| <b>B.</b> | <b>Kinematic</b>     |            |            |                                  |
| 6.        | Kecepatan Linier     | $v_m$      | $v_p$      | $(v_p/v_m) = n^{0,5}$            |
| 7.        | Waktu                | $T_m$      | $T_p$      | $(T_p/T_m) = n^{0,5}$            |
| 8.        | Kecepatan Sudut      | $\omega_m$ | $\omega_p$ | $(\omega_p/\omega_m) = n^{-0,5}$ |
| 9.        | Percepatan Linier    | $a_m$      | $a_p$      | $(a_p/a_m) = 1$                  |
| 10.       | Percepatan Sudut     | $\alpha_m$ | $\alpha_p$ | $(\alpha_p/\alpha_m) = 1/n$      |
| 11.       | Debit                | $Q_m$      | $Q_p$      | $(Q_p/Q_m) = n^{2,5}$            |
| <b>C.</b> | <b>Dynamic</b>       |            |            |                                  |
| 12.       | Massa                | $M_m$      | $M_p$      | $(M_p/M_m) = n^3$                |
| 13.       | Gaya Berat           | $F_m$      | $F_p$      | $(F_p/F_m) = n^3$                |
| 14.       | Usaha, Energi, Torsi | $E_m$      | $E_p$      | $(E_p/E_m) = n^4$                |
| 15.       | Tenaga/ Daya         | $P_m$      | $P_p$      | $(P_p/P_m) = n^{3,5}$            |

Sumber: Bahan Kuliah Teori Model Analisa dan Dimensi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

### 2.5.2. Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik yang dimaksud adalah kemiripan bentuk dan dimensinya adalah linier. (seperti panjang, lebar, tinggi, kedalaman air). Rasio/perbandingan antara keduanya menjadi sebagai berikut:

$$\text{Skala panjang} : nL = \frac{L_P}{L_M}$$

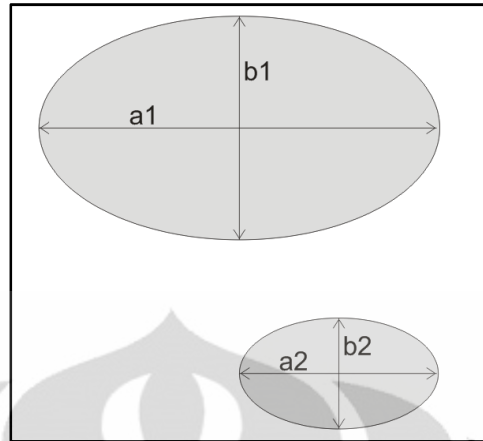
$$\text{Skala luas} : nL^2 = \frac{L_P^2}{L_M^2} = \frac{A_P}{A_M}$$

$$\text{Skala volume} : nL^3 = \frac{L_P^3}{L_M^3} = \frac{V_P}{V_M}$$

dimana

$L_P$  = ukuran di panjang prototipe

$L_M$  = ukuran di panjang model



Gambar 2.5 Contoh Sebangun Geometrik

### 2.5.3. Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik yang dimaksud adalah kemiripan gerak dari satu titik ketitik yang lainnya, dapat berupa kecepatan, percepatan, debit dan waktu yang diperlukan, sehingga ratio antara model dan prototipenya sebagai berikut:

$$\text{Untuk skala kecepatan} \quad : \frac{u_p}{u_m} = \frac{\frac{L_p}{T_p}}{\frac{L_m}{T_m}} = \frac{n_L}{n_T} = nu$$

$$\text{Untuk skala percepatan} \quad : \frac{a_p}{a_m} = \frac{\frac{L_p}{T_p^2}}{\frac{L_m}{T_m^2}} = \frac{n_L}{n_T^2} = na$$

$$\text{Untuk skala debit} \quad : \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{\frac{L_p^3}{T_p^3}}{\frac{L_m^3}{T_m^3}} = \frac{n_L^3}{n_T^3} = nQ$$

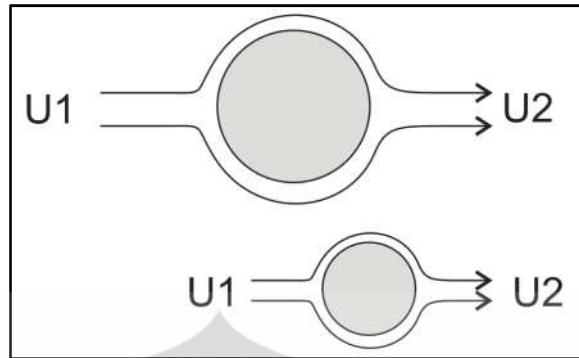
dimana :

$L_p$  = ukuran panjang di prototipe

$L_m$  = ukuran panjang di model

$T_p$  = ukuran waktu di prototype

$T_m$  = ukuran waktu di model



Gambar 2.6 Contoh sebangun kinematik

#### 2.5.4. Sebangun Dinamik

Sebangun dinamik yang dimaksud adalah kemiripan pada massa dan gaya.

Dengan catatan bahwa;

- Hubungan ratio gerakan massa partikel fluida adalah sama
- Hubungan ratio gaya massa partikel fluida adalah sama.

Variabel yang mempengaruhi gaya-gaya tersebut di klasifikasikan dalam tiga tipe yaitu:

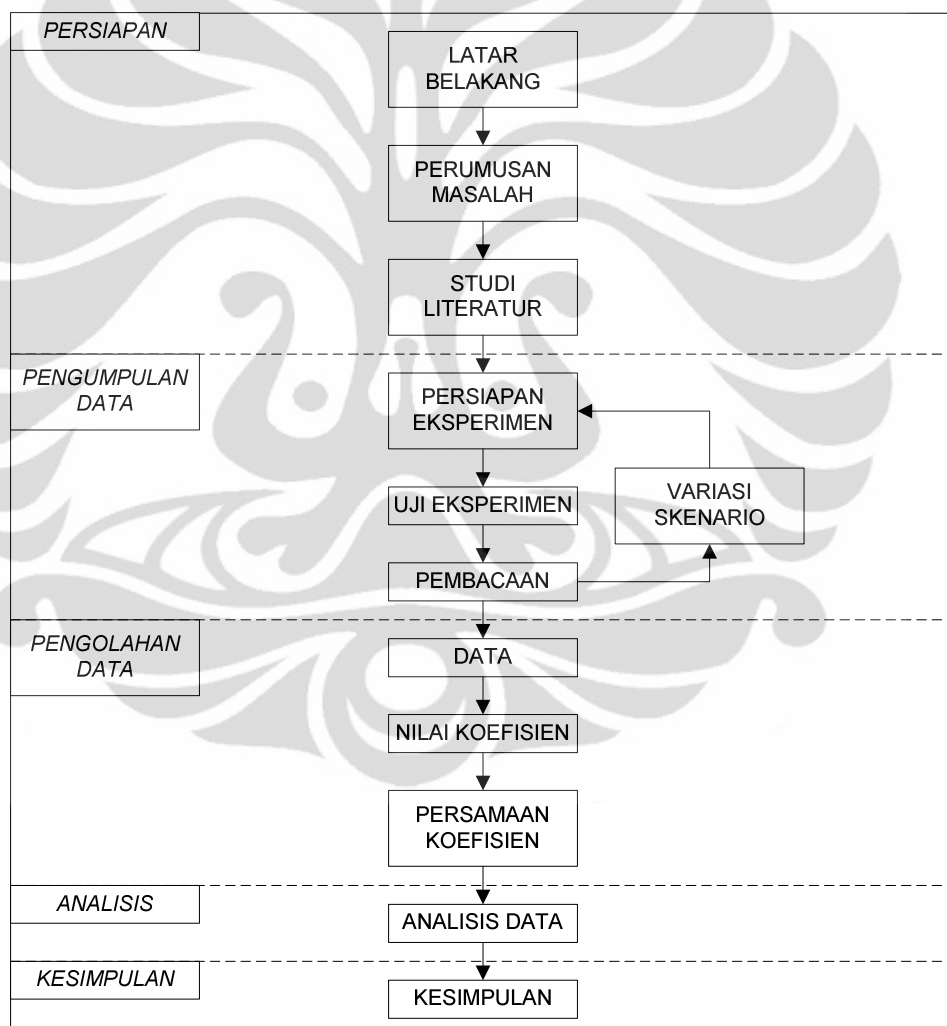
- *Linear Dimensions* ( $l$  = panjang) didefinisikan sebagai kondisi batas geometrik.
- *Fluid Properties* ( $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\lambda$ ,  $E$ ) disebut sebagai kerapatan fluida, viskositas, tegangan permukaan, dan elastisitas.
- *Kinematic and Dynamic Characteristics of Flow* ( $v$ ,  $p$ ,  $g$ ) disebut sebagai kecepatan aliran, intensitas tekanan, percepatan gravitasi.



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, digunakan pendekatan dengan mengikuti bagan alir seperti terlihat pada Gambar 3.1.



*Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian*

### **3.1.1. Tahapan Persiapan**

Tahapan persiapan mencakup proses identifikasi, perumusan masalah, studi literatur, dan survei pendahuluan. Tahapan ini dimulai dengan mencari informasi mengenai kebutuhan pesisir pantai akan gelombang air laut. Dari informasi mengenai tersebut maka kemudian dilakukan tahap identifikasi dan perumusan masalah untuk mendapatkan kasus penelitian beserta tujuannya. Kemudian dilakukan studi literatur untuk mengetahui metode analisis yang bisa dilakukan dalam menyelesaikan permasalahan yang ada.

### **3.1.2. Tahap Pengumpulan Data**

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan uji eksperimental. Tahap pengumpulan data ini akan didapatkan data mentah yang akan diolah agar mendapatkan tujuan dari penelitian ini

### **3.1.3. Tahap Pengolahan Data**

Tahap pengolahan data merupakan proses interpretasi dan elaborasi data yang dikumpulkan untuk mendapatkan suatu hasil yang dibutuhkan atau diinginkan. Pada penelitian ini, tahap pengolahan data dilakukan terhadap setiap hasil pembacaan yang dilakukan. Proses pengolahan data yang dilakukan yaitu untuk memperoleh nilai koefisien refleksi ( $K_r$ ), koefisien transmisi ( $K_t$ ), dan koefisien kehilangan energi ( $K_L$ ).

### **3.1.4. Tahap Analisis**

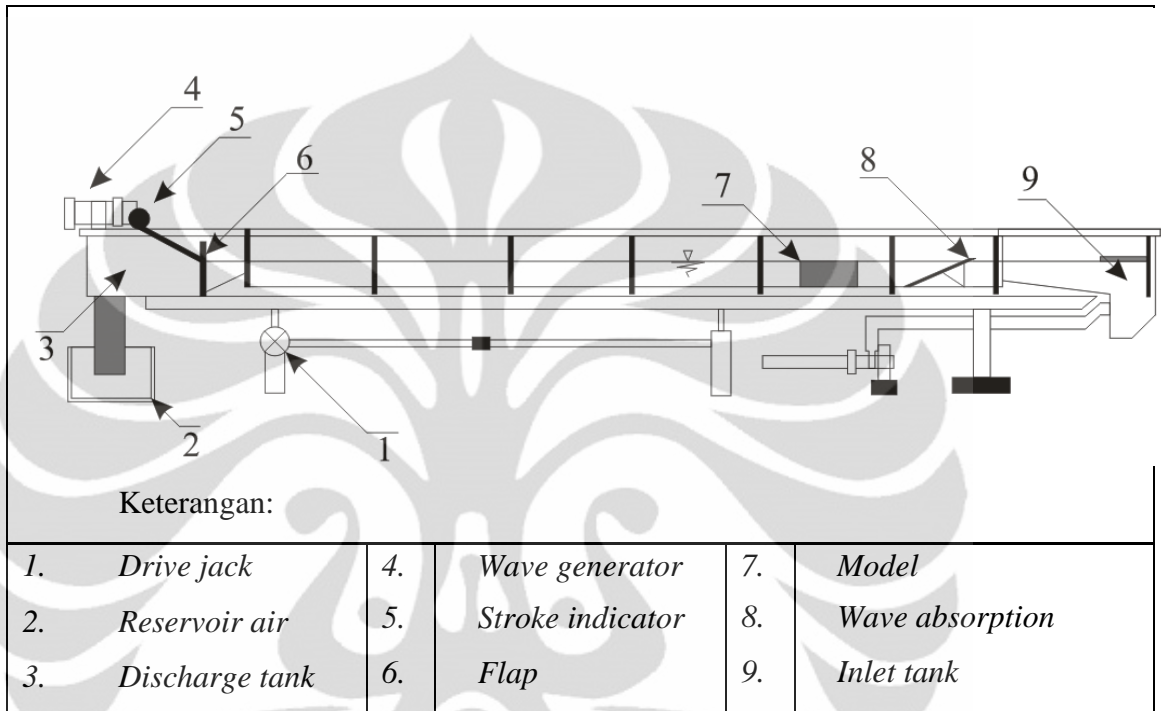
Tahap analisis pada penelitian ini mencakup seluruh kegiatan mengelaborasi kajian dan data yang bukan berupa data mentah hasil eksperimen. Analisis ini dapat dilihat dari hasil pengolahan data yang akan diubah dalam bentuk grafis.

### **3.1.5. Tahap Kesimpulan**

Bagian kesimpulan berisi konklusi dari penelitian yang telah dilakukan. Pada tahap ini dilakukan penyimpulan dari seluruh proses penelitian yang berujung pada jawaban dan saran dari rumusan masalah yang ada.

### 3.2. Alat dan Model

Alat yang digunakan berupa tilting flume yang berdimensi panjang 10 meter, lebar 31 cm, dan tinggi 31 cm. Jenis pembangkit gelombang yang digunakan berjenis flap yang berengsel dibagian bawah dan terhubung dengan motor bervariasi kecepatan dan diameter roda.



Gambar 3.2. Tilting Flume

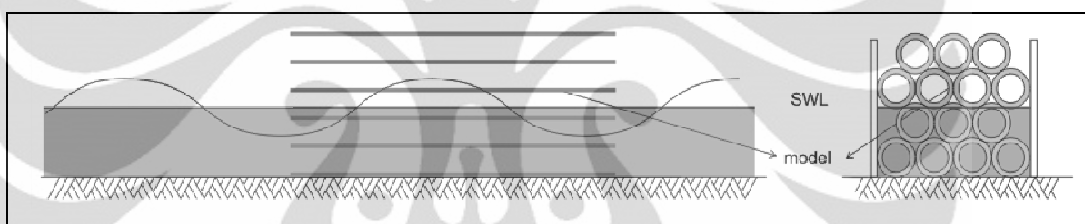


Gambar 3.3 Tilting Flume yang Digunakan

Model yang digunakan adalah silinder yang terbuat dari *poly vinyl chloride* (PVC). Silinder ini lalu disusun saling bersilangan hingga tingginya lebih dari 25 cm. hal ini agar kondisi yang diharapkan terpenuhi, yaitu kondisi dimana gelombang tidak melimpas diatas model yang akan diuji.



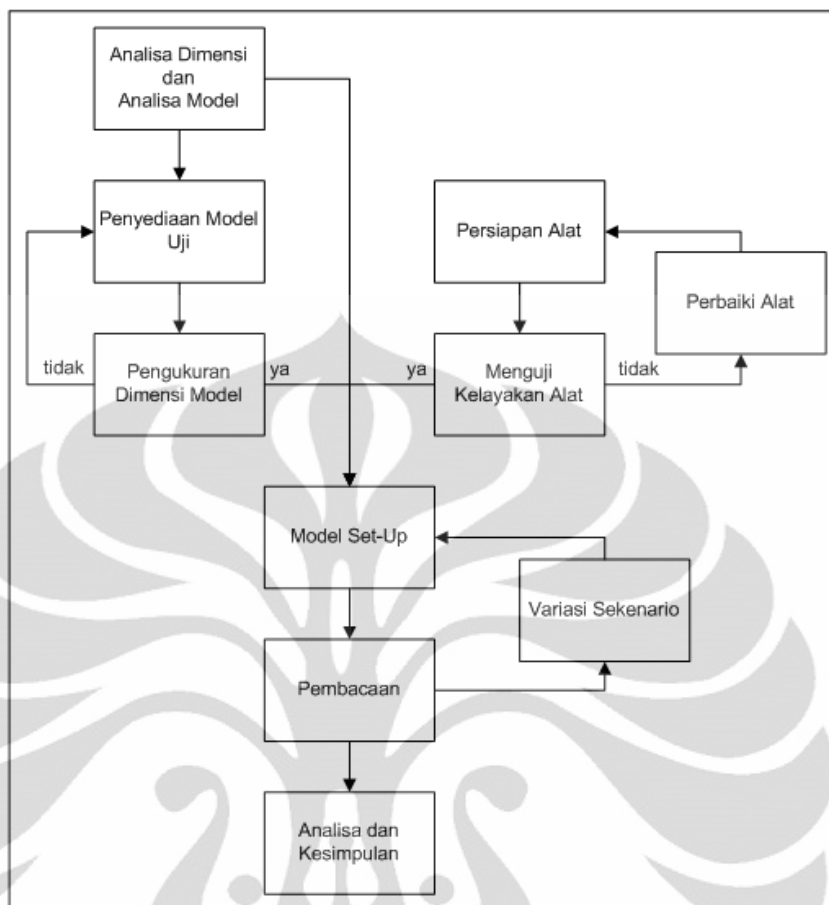
*Gambar 3.4 Model yang Akan Diuji*



*Gambar 3.5. Kondisi Model yang Akan Diuji*

### **3.3. Metodologi Pengujian**

Uji eksperimental pada model ini akan dilaksanakan di Laboratorium Hidrologi, Hidroloka, dan Sungai, Teknik Sipil Universitas Indonesia. Uji ini dilakukan untuk mengukur koefisien transmisi dan koefisien refleksi karena adanya model penahan gelombang yang menggunakan parameter berbeda.



Gambar 3.6 Diagram Alir Metode Pengujian

### 3.3.1. Analisa Dimensi Dan Analisa Model

Sebelum dilakukan uji eksperimental, dilakukan analisa dimensi dan analisa model. Hal ini agar diketahui dimensi model yang digunakan dan perlakuan terhadap model yang di uji. Analisa tersebut juga memberikan parameter yang akan diamati.

### 3.3.2. Pengecekan Alat dan Model

Pengecekan alat dan model ini dilakukan agar memperlancar keberlangsungan penelitian. Untuk alat yg diuji haruslah berfungsi dengan baik, apabila tidak dapat berfungsi, maka alat tersebut harus dibetulkan terlebih dahulu. Untuk model yang akan diuji harus sesuai dengan dimensi yang telah ditetapkan.



*Gambar 3.7 Pengukuran Dimensi Model*

### 3.3.3. Persiapan

Persiapan yang dilakukan ini berupa membersihkan alat dan model, menempelkan alat ukur ketinggian, dan mengatur kemiringan *tilting flume*. Hal ini dilakukan agar uji eksperimental dapat menghasilkan data yang mendekati sempurna dan mempermudah pembacaan.

### 3.3.4. Model Set-Up

Pada tahap ini dilakukan duamacam persiapan yaitu:

- 1) Menyusun model
- 2) Mengatur alat

Kedua tahap ini dilakukan sesuai dengan variasi model yang akan diuji dengan batasan analisa model yang sudah dilakukan. Pengaturan alat ini terdiri dari pengaturan jari-jari lengan *wave generator* dan periode gelombang yang dihasilkan.



*Gambar 3.8. Model dalam Tilting Flume*



Gambar 3.9 Wave Generator

### 3.3.5. Pembacaan

Pembacaan yang dilakukan sebagian besar dengan metode visual. Pembacaan-pembacaan tersebut adalah:

- 1) Periode  
Mengamati rentang waktu yang terbaik untuk satu panjang gelombang dimana belum ada pengaruh gelombang refleksi dengan menggunakan stopwatch
- 2) Panjang gelombang  
Mengamati panjang gelombang untuk satu periode yang terbaik dimana belum ada pengaruh gelombang refleksi dengan menggunakan meteran
- 3) Tinggi gelombang datang maksimum dan minimum  
Mengamati tinggi gelombang datang tertinggi dan terendah pada gelombang yang dihasilkan *wave generator*. Pengamatan ini dilakukan pada kondisi dimana belum ada pengaruh gelombang refleksi dengan menggunakan alat ukur ketinggian yang telah disediakan.
- 4) Tinggi gelombang refleksi maksimum dan minimum  
Mengamati tinggi gelombang refleksi tertinggi dan terendah pada gelombang yang berada di hilir model. Pengamatan ini dilakukan pada kondisi dimana gelombang datang telah beresonansi terhadap

gelombang refleksi. Pembacaan ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur ketinggian yang telah disediakan.

5) Tinggi gelombang transmisi maksimum dan minimum

Mengamati tinggi gelombang transmisi tertinggi dan terendah pada gelombang yang berada di hulu model (sebelum *wave absorption*). Pembacaan ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur ketinggian yang telah disediakan.



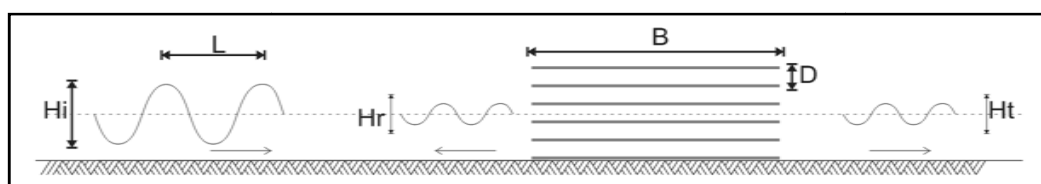
Gambar 3.10 Wave Absorption

### 3.3.6. Variasi Skenario

Setelah pembacaan selesai, maka percobaan diulangi dari tahap model *set-up*. Variasi skenario dilakukan dengan batasan analisa model yang sudah dilakukan sebelumnya.

### 3.4. Analisa Dimensi

Analisa dimensi dapat membantu studi eksperimental yang harus dilakukan dan bagaimana hasilnya akan diplot. Analisis ini juga memberikan persamaan yang diperlukan untuk keberhasilan system permodalan yang telah dianalisis (Sharp, 1981).



Gambar 3.11 Ilustrasi Permodelan



Berdasarkan Gambar 3.11, variabel yang mempengaruhi koefisien refleksi dan transmisi dapat ditulis sebagai berikut:

$$Kr = \frac{Hr}{Hi} = f(L, T, \rho_w, Hi, Hr, D, B, V_w, \mu, g)$$

$$Kt = \frac{Ht}{Hi} = f(L, T, \rho_w, Hi, Ht, D, B, V_w, \mu, g)$$

Dimana

$L$  = panjang gelombang

$T$  = periode gelombang

$\rho_w$  = massa jenis

$Hi$  = tinggi gelombang datang

$Hr$  = tinggi gelombang refleksi

$Ht$  = tinggi gelombang transmisi

$D$  = diameter struktur

$B$  = Panjang Struktur

$V_w$  = kecepatan seragam

$\mu$  = viskositas dinamis

$g$  = gravitasi

Persamaan diatas lalu dipecahkan dengan menggunakan metode matriks (sharp, 1981) sehingga menghasilkan nilai  $\pi$  sebagai berikut:

$$\frac{Hi}{L}, \frac{Hr}{L}, \frac{D}{L}, \frac{B}{L}, \frac{V_w T}{L}, \frac{\mu T}{L^2 \rho_w}, \frac{g T^2}{L} = \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7$$

$$\frac{Hi}{L}, \frac{Ht}{L}, \frac{D}{L}, \frac{B}{L}, \frac{V_w T}{L}, \frac{\mu T}{L^2 \rho_w}, \frac{g T^2}{L} = \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7$$

Dengan menggabungkan nilai  $\pi$  maka didapaat parameter tak berdimensi sebagai berikut:

$$\frac{Hi}{g T^2}, \frac{Hr}{Hi}, \frac{D}{g T^2}, \frac{B}{L}, \frac{V_w T}{L}, \frac{V_w L}{\mu / \rho_w}, \frac{V_w^2}{g h} = \frac{\pi_1}{\pi_7}, \frac{\pi_2}{\pi_1}, \frac{\pi_3}{\pi_7}, \pi_4, \pi_5, \frac{\pi_5}{\pi_6}, \frac{\pi_5^2}{\pi_7}$$

$$\frac{Hi}{g T^2}, \frac{Ht}{Hi}, \frac{D}{g T^2}, \frac{B}{L}, \frac{V_w T}{L}, \frac{V_w L}{\mu / \rho_w}, \frac{V_w^2}{g h} = \frac{\pi_1}{\pi_7}, \frac{\pi_2}{\pi_1}, \frac{\pi_3}{\pi_7}, \pi_4, \pi_5, \frac{\pi_5}{\pi_6}, \frac{\pi_5^2}{\pi_7}$$

Empat suku pertama menjelaskan sifat gelombang datang, gelombang yang direfleksikan atau ditransmisikan, dan geometri. Keempat suku pertama inidinamakan kemiringan gelombang, reflkesi atau transmisi gelombang, diameter

model, dan panjang model. Tiga parameter terakhir adalah bilangan *Keulegan-Carpenter* (KC), bilangan *Reynolds*, dan bilangan *Froude* yang penting dalam proses analisa dimensi permodelan hidrolika. Apabila ketiga persamaan tersebut konstan, persamaanya dapat dinyatakan sebagai berikut

$$Kr = \frac{Hr}{Hi} = f\left(\frac{Hi}{gT^2}, \frac{D}{gT^2}, \frac{B}{L}\right)$$

$$Kt = \frac{Ht}{Hi} = f\left(\frac{Hi}{gT^2}, \frac{D}{gT^2}, \frac{B}{L}\right)$$

### 3.5. Analisa Model

Penskalaan dari model silinder sederhana menggunakan prinsip keserupaan Froude, dimana skala dan penentuan keserupaan model mengikuti keserupaan Froude.

Rasio skala geometri didefinisikan sebagai  $nL = Lp/Lm$  dan penentuan skala geometri disesuaikan dengan kemampuan dan kapasitas saluran gelombang yang dibandingkan dengan ukuran prototipe. Kedalaman perairan maksimum yaitu 9 m dan kedalaman maksimum yang dapat dioperasikan secara optimal di dalam saluran gelombang yaitu 15 cm, sehingga skala percobaan yaitu 15 cm: 900 cm atau 1:60. Dengan menggunakan skala ini, jika tinggi gelombang maksimum pada prototipe adalah 2.8 m (Tabel 3.1 Prakiraan Tinggi Gelombang laut di Indonesia Tabel 3.1), maka tinggi gelombang model yaitu  $280\text{cm}/60 = 4.667$  cm.

Tabel 3.1 Prakiraan Tinggi Gelombang laut di Indonesia

| No | Lokasi                                    | Angin 10 m Rata – Rata (Knot) | Tinggi Signifikan Rata – Rata (meter) | Tinggi Maximum Rata – Rata (meter) | Frekuensi Gel. > 3 Meter |
|----|---|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 1  | Perairan utara Aceh                       | 4 – 15                        | 0.2 – 1.2                             | 0.3 – 1.6                          | 0 – 5 %                  |
| 2  | Perairan barat Aceh hingga Sumatera Utara | 3 – 10                        | 0.4 – 1.2                             | 0.5 – 1.6                          | 0 – 5 %                  |
| 3  | Perairan Sumatera Barat                   | 3 – 8                         | 0.4 – 1.7                             | 0.7 – 2.2                          | 0 – 5 %                  |
| 4  | Perairan Bengkulu hingga barat Lampung    | 2 – 8                         | 0.4 – 2.0                             | 0.7 – 2.5                          | 0 – 5 %                  |
| 5  | Selat Sunda                               | 2 – 10                        | 0.3 – 2.0                             | 0.4 – 2.5                          | 0 – 5 %                  |
| 6  | Perairan selatan Banten hingga Jawa Barat | 2 – 9                         | 0.5 – 1.7                             | 0.7 – 2.3                          | 0 – 5 %                  |
| 7  | Perairan selatan Jawa Tengah              | 1 – 6                         | 0.4 – 1.3                             | 0.7 – 2.0                          | 0 – 5 %                  |
| 8  | Perairan selatan Jawa Timur               | 1 – 7                         | 0.4 – 1.2                             | 0.7 – 2.0                          | 0 – 5 %                  |
| 9  | Perairan selatan Bali hingga NTB          | 1 – 8                         | 0.3 – 1.2                             | 0.5 – 1.5                          | 0 – 5 %                  |
| 10 | Laut Sawu                                 | 3 – 10                        | 0.4 – 1.2                             | 0.6 – 1.5                          | 0 – 5 %                  |
| 11 | Laut Timor                                | 5 – 15                        | 0.5 – 1.2                             | 0.7 – 2.0                          | 0 – 5 %                  |
| 12 | Selat Malaka                              | 3 – 13                        | 0.1 – 0.8                             | 0.2 – 1.3                          | 0 – 5 %                  |
| 13 | Laut Natuna                               | 3 – 16                        | 0.4 – 1.4                             | 0.6 – 1.8                          | 0 – 5 %                  |
| 14 | Selat Karimata                            | 2 – 10                        | 0.1 – 1.0                             | 0.3 – 1.2                          | 0 – 5 %                  |
| 15 | Perairan selatan Kalimantan               | 2 – 8                         | 0.1 – 0.5                             | 0.2 – 0.7                          | 0 – 5 %                  |
| 16 | Perairan Kepulauan Seribu                 | 2 – 8                         | 0.2 – 0.7                             | 0.3 – 1.1                          | 0 – 5 %                  |
| 17 | Laut Jawa                                 | 2 – 10                        | 0.1 – 0.7                             | 0.2 – 1.1                          | 0 – 5 %                  |
| 18 | Laut Bali                                 | 2 – 7                         | 0.2 – 0.7                             | 0.4 – 1.1                          | 0 – 5 %                  |
| 19 | Laut Flores                               | 4 – 15                        | 0.3 – 1.2                             | 0.4 – 1.5                          | 0 – 5 %                  |
| 20 | Selat Makassar bagian Selatan             | 3 – 10                        | 0.3 – 0.7                             | 0.4 – 1.2                          | 0 – 5 %                  |
| 21 | Perairan selatan Sulawesi                 | 4 – 10                        | 0.3 – 0.7                             | 0.4 – 1.2                          | 0 – 5 %                  |
| 22 | Laut Maluku                               | 4 – 11                        | 0.5 – 1.7                             | 0.7 – 2.2                          | 0 – 5 %                  |
| 23 | Laut Buru - Laut Seram                    | 3 – 11                        | 0.4 – 1.4                             | 0.6 – 2.1                          | 0 – 5 %                  |
| 24 | Laut Sulawesi                             | 3 – 16                        | 0.4 – 2.0                             | 0.6 – 2.6                          | 0 – 5 %                  |
| 25 | Perairan Kep. Sangihe Talaud              | 5 – 16                        | 1.2 – 2.0                             | 1.5 – 2.8                          | 0 – 5 %                  |
| 26 | Laut Halmahera                            | 4 – 11                        | 1.2 – 2.0                             | 1.5 – 2.6                          | 0 – 5 %                  |
| 27 | Perairan utara Papua                      | 2 – 8                         | 0.5 – 1.8                             | 0.7 – 2.2                          | 0 – 5 %                  |
| 28 | Laut Banda                                | 6 – 15                        | 0.5 – 1.3                             | 0.7 – 2.0                          | 0 – 5 %                  |
| 29 | Perairan Kepulauan Aru                    | 8 – 15                        | 0.5 – 1.3                             | 1.0 – 2.2                          | 0 – 5 %                  |
| 30 | Laut Arafuru                              | 8 – 18                        | 0.7 – 1.5                             | 1.2 – 2.5                          | 0 – 5 %                  |

Keterangan : Frekuensi kejadian = 100 %, gelombang &gt; 3 m terjadi seminggu (7 hari)

Sumber: Badan Meteorologi dan Geofisika

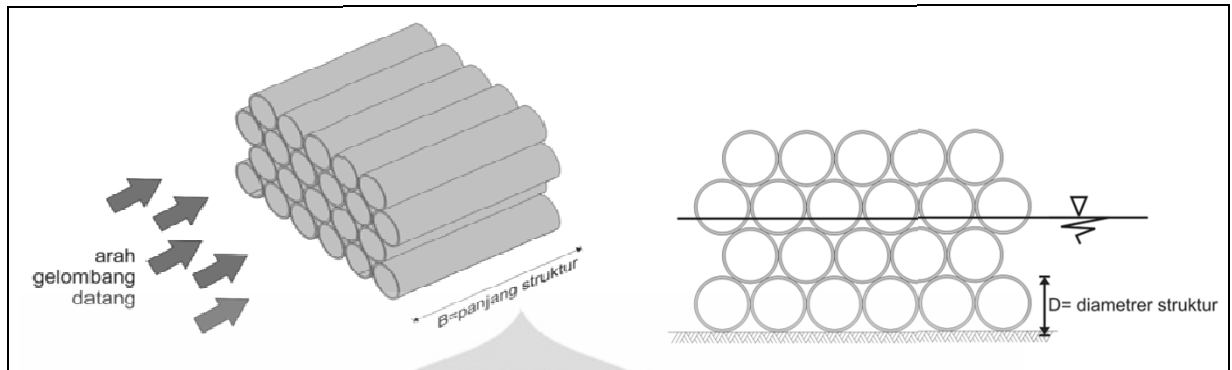
Dengan menggunakan keserupaan Froude, jenis penskalaan lainnya yaitu penskalaan waktu dan penskalaan berat yang dapat ditulis sebagai

$$\text{skala panjang} \quad nL = 60$$

$$\text{skala waktu} \quad \sqrt{nL} = 7.746$$

$$\text{skala berat} \quad (nL)^3 = 216000$$

Lebar model terbatas pada lebar saluran gelombang yaitu 31 cm. Berbagai kondisi dan skenario percobaan (Tabel 3.2 dan Tabel 3.3) diuji di dalam laboratorium.



Gambar 3.12 Sketsa Ilustrasi Model

Tabel 3.2 Dimensi Model

| Dimensi  | Simbol | Prototipe (m) | Model (cm) |
|----------|--------|---------------|------------|
| Panjang  | B      | 24            | 40         |
|          |        | 32            | 80         |
| Diameter | D      | 3.04          | 5.08       |
|          |        | 2.28          | 3.81       |
|          |        | 1.9           | 3.175      |
|          |        | 1.52          | 2.54       |

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 3.3 Skenario Percobaan Berdasarkan Parameter Keadaan Lingkungan

| Dimensi                 | Simbol         | Prototipe | Model  |
|-------------------------|----------------|-----------|--------|
| Kedalaman perairan      | h              | 9 m       | 15 cm  |
| Tinggi gelombang datang | H <sub>i</sub> | 2.58 m    | 4.3 cm |
|                         |                | 0.96 m    | 1.6 cm |
| Panjang gelombang       | L              | 232 m     | 387 cm |
|                         |                | 24 m      | 44 cm  |
| Periode gelombang       | T              | 7.823 s   | 1.01 s |
|                         |                | 4.57 s    | 0.59 s |

Sumber: Hasil perhitungan

## BAB 4

### DATA DAN ANALISIS PENELITIAN

#### 4.1. Data Penelitian

Di dalam merencanakan pengujian model dan untuk menyajikan hasil eksperimen, sangat berguna untuk melakukan analisis dimensi terhadap permasalahan eksperimen tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi parameter-parameter penting sehingga dapat mengatur variabel-variabel model yang diuji dengan sesuai. Berikut produk non-dimensional hasil analisa dimensi:

$$K = f \left( \frac{B}{L} ; \frac{D}{gT^2} ; \frac{H_i}{gT^2} \right)$$

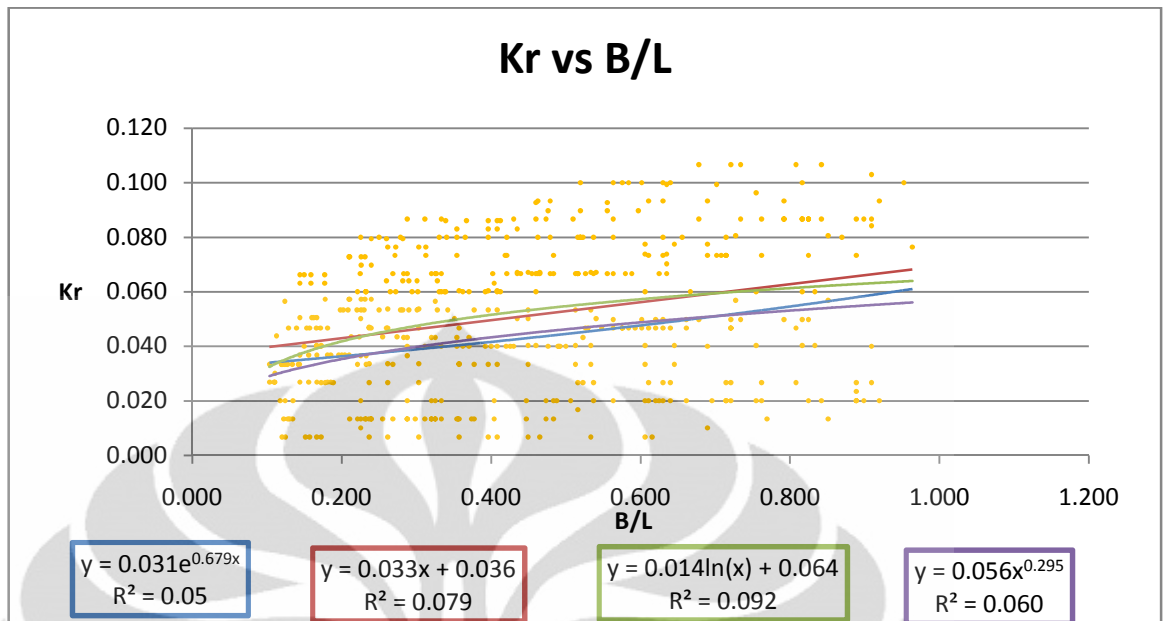
dimana B adalah panjang model,  $H_i$  adalah tinggi gelombang datang, dan D adalah diameter model.

Rentang periode pengujian yang dilakuakn adalah berkisar 1.01-0.59 detik dan rentang panjang gelombang berkisar 387-44 cm. Dari rentang tersebut, maka didapat batasan

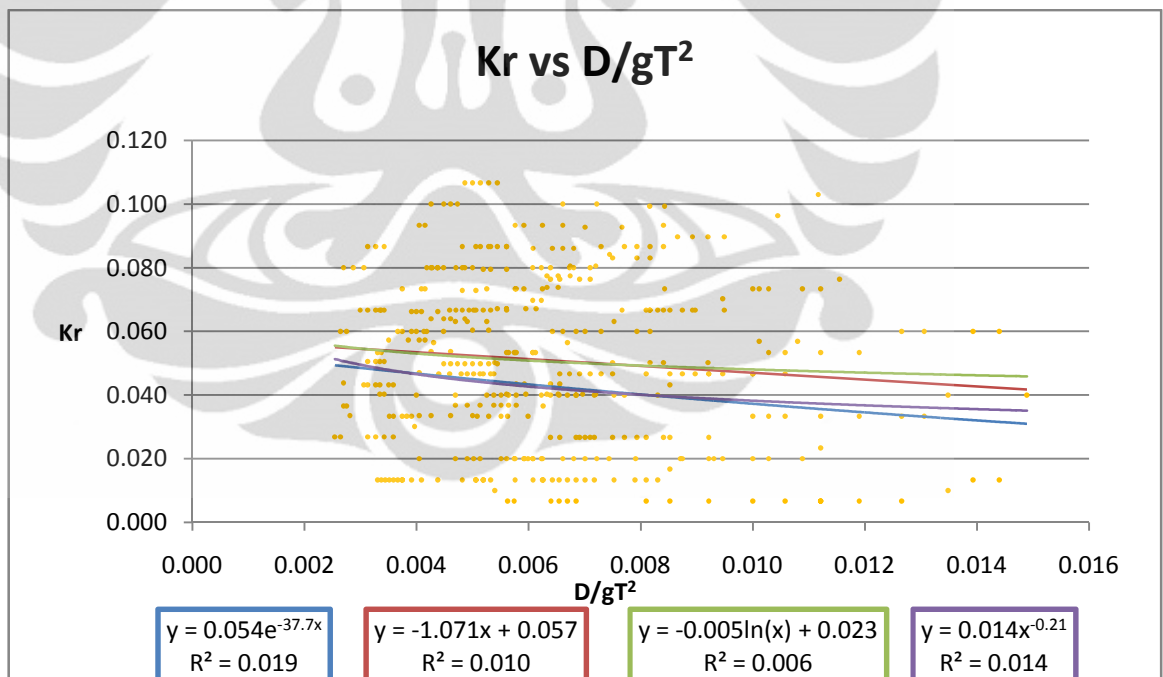
- $0.964 \leq (B/L) \leq 0.003$ ;
- $0.015 \leq (D/gT^2) \leq 0.002$ ;
- $0.013 \leq (H_i/gT^2) \leq 0.002$ .

##### 4.1.1. Koefisien Refleksi

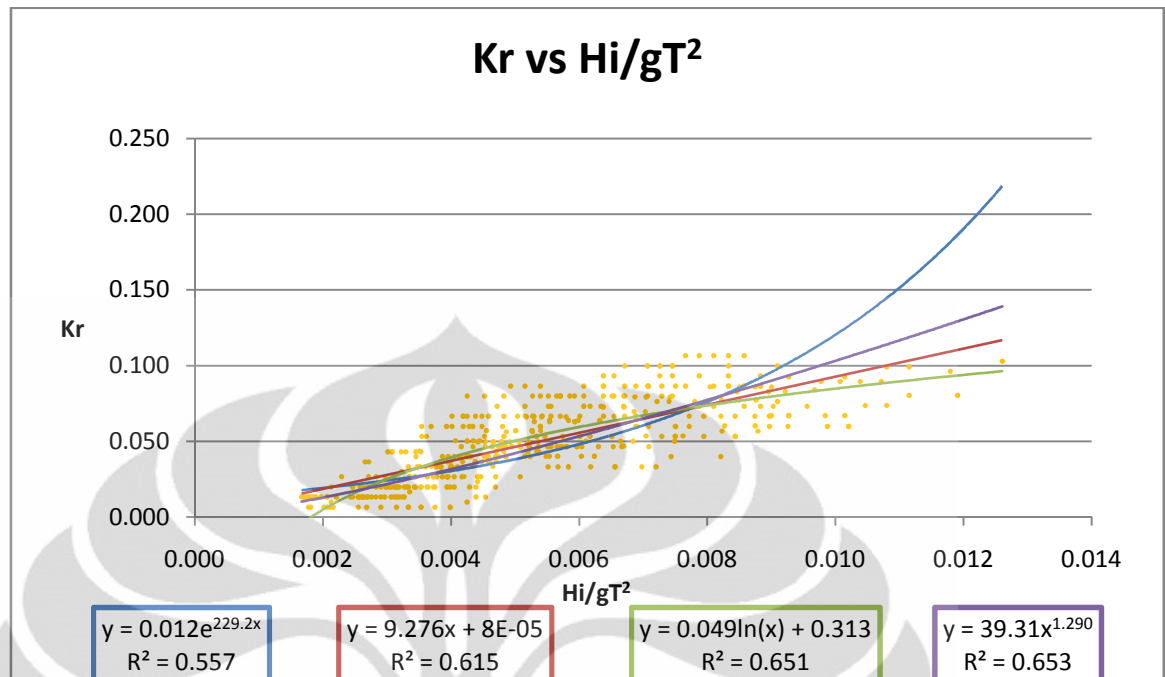
Dari persebaran data yang didapat, dilakukan pendekatan regresi. Regresi yang dilakukan adalah regresi eksponensial, regresi linear, regresi logaritmatik, dan regresi power. Berikut adalah grafik dari koefisien refleksi terhadap pengaruh model dengan batasan tertentu.



Gambar 4.1. Grafik Korelasi Panjang Relatif  $B/L$  Terhadap Koefisien Refleksi Gelombang  $K_r$



Gambar 4.2. Grafik Korelasi Diameter Relatif  $D/gT^2$  Terhadap Koefisien Refleksi Gelombang  $K_r$



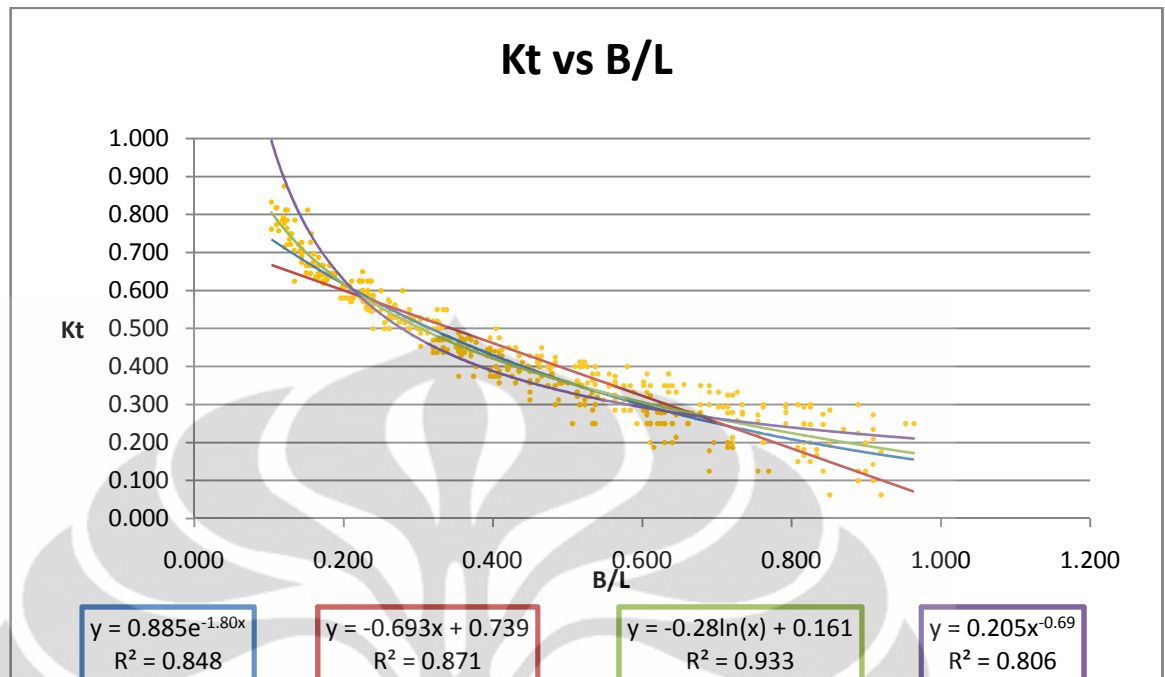
Gambar 4.3. Grafik Korelasi Kecuraman Gelombang  $H_i/gT^2$  Terhadap Koefisien Refleksi Gelombang  $K_r$

Tabel 4.1. Persamaan Refleksi Gelombang  $K_r$

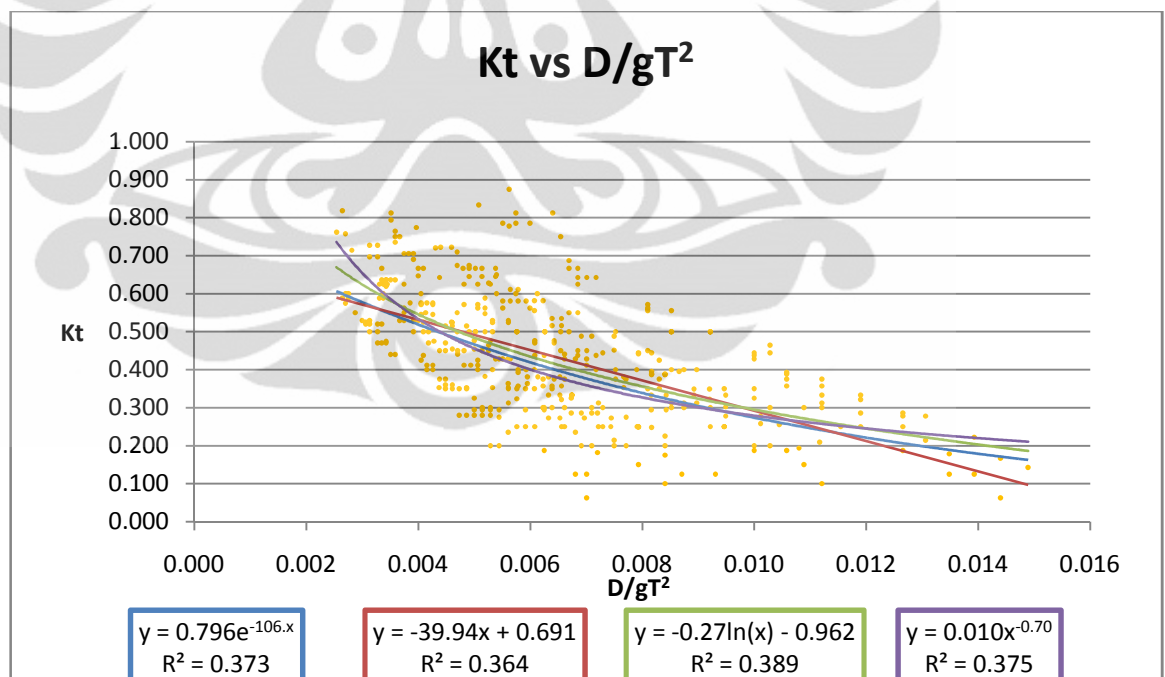
| Regresi      |                | B/L                             | D/gT <sup>2</sup>                   | H <sub>i</sub> /gT <sup>2</sup>              |
|--------------|----------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| Eksponensial | K <sub>r</sub> | $0.031e^{0.679(\frac{B}{L})}$   | $0.054e^{-3.7(\frac{D}{gT^2})}$     | $0.557e^{229.2(\frac{H_i}{gT^2})}$           |
|              | R <sup>2</sup> | 0.05                            | 0.019                               | 0.557  |
| Linear       | K <sub>r</sub> | $0.033(\frac{B}{L}) + 0.036$    | $-1.071(\frac{D}{gT^2}) + 0.057$    | $9.276(\frac{H_i}{gT^2}) + 8 \times 10^{-5}$ |
|              | R <sup>2</sup> | 0.079                           | 0.01                                | 0.615  |
| Logaritmatik | K <sub>r</sub> | $0.014\ln(\frac{B}{L}) + 0.064$ | $-0.005\ln(\frac{D}{gT^2}) + 0.023$ | $0.049\ln(\frac{H_i}{gT^2}) + 0.313$         |
|              | R <sup>2</sup> | 0.092                           | 0.006                               | 0.651  |
| Power        | K <sub>r</sub> | $0.056(\frac{B}{L})^{0.295}$    | $0.014(\frac{D}{gT^2})^{-0.21}$     | $39.31(\frac{H_i}{gT^2})^{1.29}$             |
|              | R <sup>2</sup> | 0.060                           | 0.014                               | 0.653  |

#### 4.1.2. Koefisien Transmisi

Dari persebaran data yang didapat, dilakukan pendekatan regresi. Regresi yang dilakukan adalah regresi eksponensial, regresi linear, regresi logaritmatik, dan regresi power. Berikut adalah grafik dari koefisien transmisi terhadap pengaruh model dengan batasan tertentu.

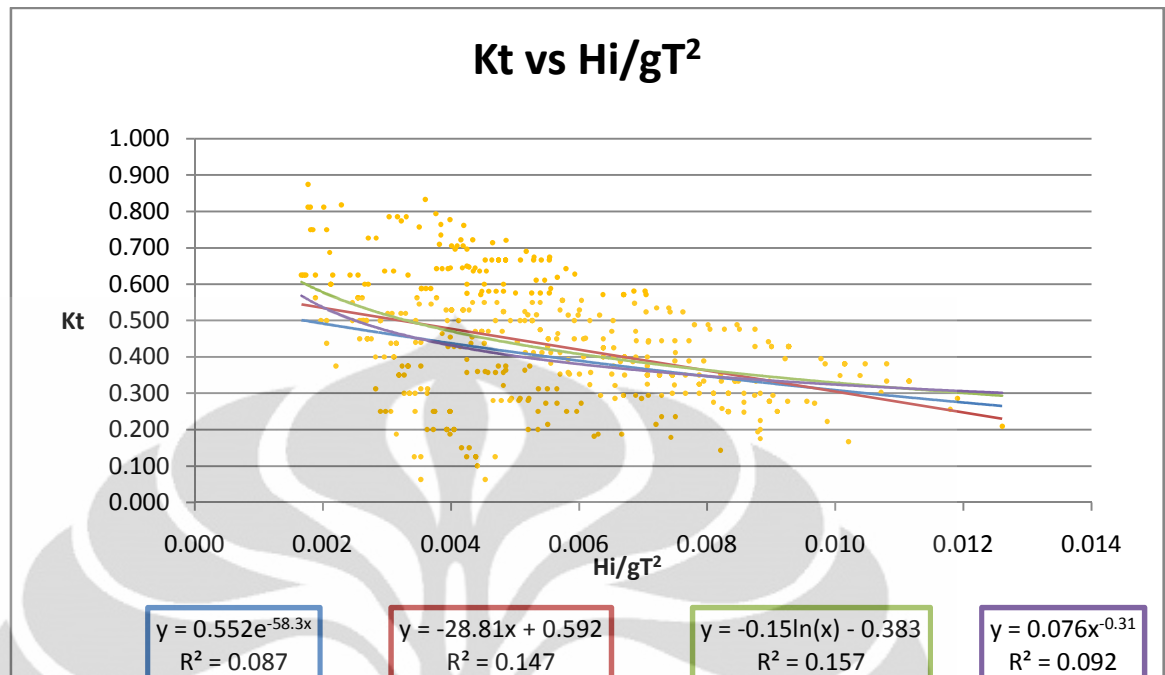


*Gambar 4.4 Grafik Korelasi Panjang Relatif B/L Terhadap Koefisien Transmisi Gelombang Kt*



*Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Diameter Relatif  $D/gT^2$  Terhadap Transmisi Gelombang Kt*





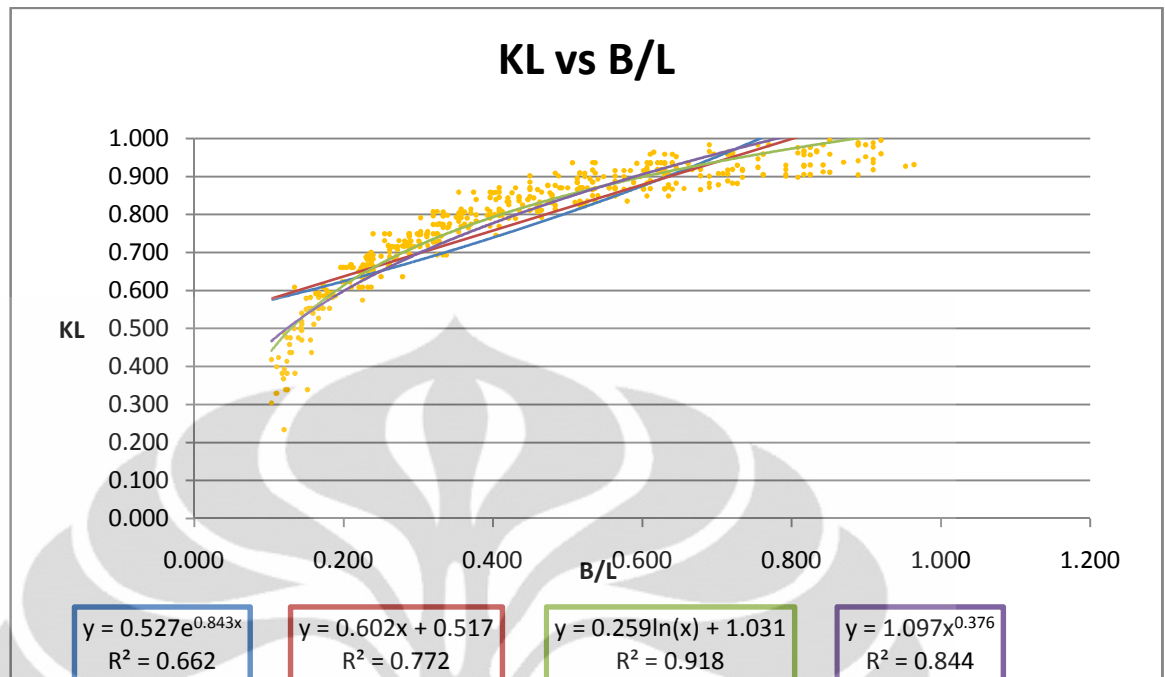
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Kecuraman Gelombang  $H_i/gT^2$  Terhadap Transmisi Gelombang  $K_t$

Tabel 4.2. Persamaan Refleksi Gelombang  $K_t$

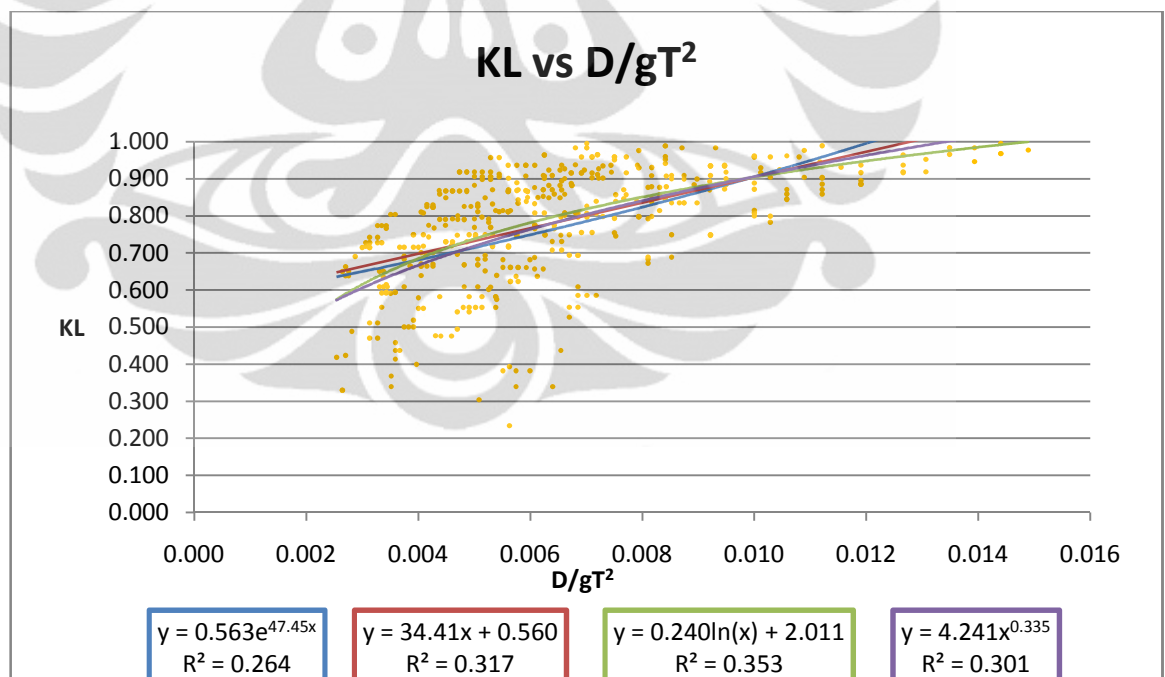
| Regresi      |                | B/L                             | D/gT <sup>2</sup>                  | H <sub>i</sub> /gT <sup>2</sup>      |
|--------------|----------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Eksponensial | K <sub>t</sub> | $0.885e^{-1.8(\frac{B}{L})}$    | $0.796e^{-106(\frac{D}{gT^2})}$    | $0.552e^{-58.3(\frac{H_i}{gT^2})}$   |
|              | R <sup>2</sup> | 0.848                           | 0.373                              | 0.087                                |
| Linear       | K <sub>t</sub> | $-0.693(\frac{B}{L}) + 0.739$   | $-39.94(\frac{D}{gT^2}) + 0.691$   | $-28.81(\frac{H_i}{gT^2}) + 0.592$   |
|              | R <sup>2</sup> | 0.871                           | 0.364                              | 0.147                                |
| Logaritmatik | K <sub>t</sub> | $-0.28\ln(\frac{B}{L}) + 0.161$ | $-0.27\ln(\frac{D}{gT^2}) - 0.962$ | $-0.15\ln(\frac{H_i}{gT^2}) - 0.383$ |
|              | R <sup>2</sup> | 0.933                           | 0.389                              | 0.157                                |
| Power        | K <sub>t</sub> | $0.205(\frac{B}{L})^{-0.69}$    | $0.01(\frac{D}{gT^2})^{-0.7}$      | $0.076(\frac{H_i}{gT^2})^{-0.31}$    |
|              | R <sup>2</sup> | 0.806                           | 0.375                              | 0.092                                |

#### 4.1.3. Koefisien Kehilangan Energi

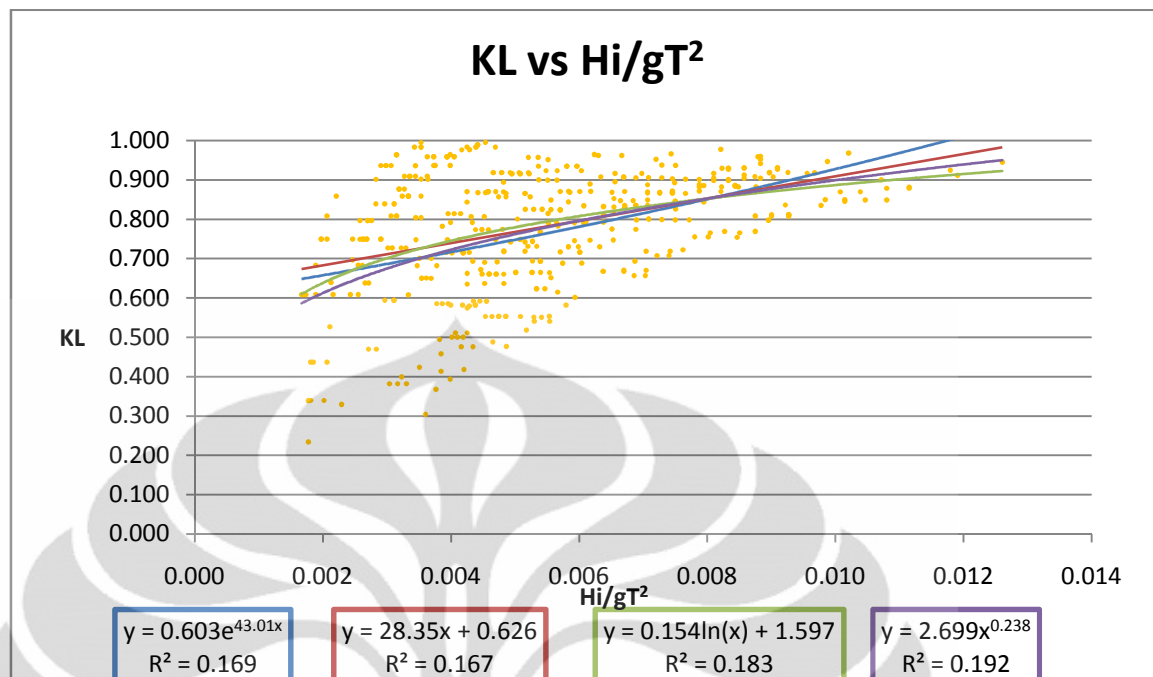
Dari persebaran data yang didapat, dilakukan pendekatan regresi. Regresi yang dilakukan adalah regresi eksponensial, regresi linear, regresi logaritmatik, dan regresi power. Berikut adalah grafik dari koefisien kehilangan energi terhadap pengaruh model dengan batasan tertentu.



Gambar 4.7 Grafik Korelasi Panjang Relatif B/L Terhadap Koefisien Kehilangan Energi KL



Gambar 4.8 Grafik Korelasi Diameter Relatif D/gT<sup>2</sup> Terhadap Koefisien Kehilangan Energi KL



Gambar 4.9 Grafik Korelasi Kecuraman Gelombang  $H_i/gT^2$  Terhadap Koefisien Kehilangan Energi

Tabel 4.3. Persamaan Refleksi Gelombang KL

| Regresi      |                | B/L                             | D/gT <sup>2</sup>                 | Hi/gT <sup>2</sup>                   |
|--------------|----------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Eksponensial | KL             | $0.527e^{0.843(\frac{B}{L})}$   | $0.563e^{47.45(\frac{D}{gT^2})}$  | $0.603e^{43.01(\frac{H_i}{gT^2})}$   |
|              | R <sup>2</sup> | 0.662                           | 0.264                             | 0.169                                |
| Linear       | KL             | $0.602(\frac{B}{L}) + 0.517$    | $34.41(\frac{D}{gT^2}) + 0.56$    | $28.35(\frac{H_i}{gT^2}) + 0.626$    |
|              | R <sup>2</sup> | 0.772                           | 0.317                             | 0.167                                |
| Logaritmik   | KL             | $0.259\ln(\frac{B}{L}) + 1.031$ | $0.24\ln(\frac{D}{gT^2}) + 2.011$ | $0.154\ln(\frac{H_i}{gT^2}) + 1.597$ |
|              | R <sup>2</sup> | 0.918                           | 0.353                             | 0.183                                |
| Power        | KL             | $1.097(\frac{B}{L})^{-0.69}$    | $4.241(\frac{D}{gT^2})^{0.335}$   | $2.699(\frac{H_i}{gT^2})^{0.238}$    |
|              | R <sup>2</sup> | 0.844                           | 0.301                             | 0.192                                |

## 4.2. Analisis Data

### 4.2.1. Analisis Regresi

Dari hasil grafik-grafik yang sudah diplot, dapat dilihat bahwa persebaran data lebih mengarah kepada fungsi logaritmik. Hal ini juga diperkuat oleh nilai koefisien determinasi  $R^2$  yang paling mendekati 100% (Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3) daripada regresi lainnya. Oleh karena itu penuruna fungsi yang digunakan adalah fungsi logaritmik.

#### 4.2.2. Analisis Koefisien Refleksi

Gelombang refleksi yang terjadi karena sebagian pantulan energi flux gelombang tidak dapat melalui konstruksi silinder horizontal. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa:

- Koefisien refleksi cenderung naik dengan semakin bertambahnya panjang puncak relatif model (Gambar 4.1). Perubahan nilai koefisien tersebut sesuai dengan persamaan

$$Kr = 0.014 \ln \left( \frac{B}{L} \right) + 0.064$$

Dengan nilai determinasi sebesar 9.2% (Tabel 4.1)

- Koefisien refleksi cenderung turun dengan semakin bertambahnya diameter relatif model (Gambar 4.2). Perubahan nilai koefisien tersebut sesuai dengan persamaan

$$Kr = -0.005 \ln \left( \frac{D}{gT^2} \right) + 0.023$$

Dengan nilai determinasi sebesar 0.6% (Tabel 4.1)

- Koefisien refleksi cenderung naik dengan semakin bertambahnya kecuraman gelombang (Gambar 4.3). Perubahan nilai koefisien tersebut sesuai dengan persamaan

$$Kr = -0.005 \ln \left( \frac{D}{gT^2} \right) + 0.023$$

Dengan nilai determinasi sebesar 65.1% (Tabel 4.1)

#### 4.2.3. Analisis Koefisien Transmisi

Sebagian energi flux gelombang yang diteruskan oleh susunan silinder menyebabkan transmisi gelombang. Besarnya energi flux gelombang tersebut akan menentukan tingginya transmisi gelombang yang terjadi Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa:

- Koefisien transmisi cenderung naik turun semakin bertambahnya panjang puncak relatif model (Gambar 4.4). Perubahan nilai koefisien tersebut sesuai dengan persamaan

$$Kt = -0.28 \ln \left( \frac{B}{L} \right) + 0.161$$

Dengan nilai determinasi sebesar 93.3% (Tabel 4.2)

- Koefisien transmisi cenderung turun dengan semakin bertambahnya diameter relatif model (Gambar 4.5). Perubahan nilai koefisien tersebut sesuai dengan persamaan

$$K_t = -0.27 \ln \left( \frac{D}{gT^2} \right) - 0.962$$

Dengan nilai determinasi sebesar 38.9% (Tabel 4.2)

- Koefisien transmisi cenderung turun dengan semakin bertambahnya kecuraman gelombang (Gambar 4.6). Perubahan nilai koefisien tersebut sesuai dengan persamaan

$$K_t = -0.15 \ln \left( \frac{H_i}{gT^2} \right) - 0.383$$

Dengan nilai determinasi sebesar 15.7% (Tabel 4.2)

#### 4.2.4. Analisis Koefisien Kehilangan Energi

Pada saat gelombang melalui struktur silinder, sebagian flux energi gelombang akan mengalami kehilangan energi. Kehilangan energi gelombang ini dapat disebabkan oleh gesekan partikel silinder, turbulensi aliran dalam silinder, peredaman energi potensial gelombang akibat fluktuasi muka air oleh panjang silinder, dan peredaman energi kinetik gelombang akibat peredaman kecepatan partikel arah vertikal dan horizontal. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa:

- Koefisien refleksi cenderung naik dengan semakin bertambahnya panjang puncak relatif model (Gambar 4.7). Perubahan nilai koefisien tersebut sesuai dengan persamaan

$$K_L = 0.259 \ln \left( \frac{B}{L} \right) + 1.031$$

Dengan nilai determinasi sebesar 91.8% (Tabel 4.3)

- Koefisien refleksi cenderung naik dengan semakin bertambahnya diameter relatif model (Gambar 4.8). Perubahan nilai koefisien tersebut sesuai dengan persamaan

$$K_L = 0.24 \ln \left( \frac{D}{gT^2} \right) + 2.011$$

Dengan nilai determinasi sebesar 35.3% (Tabel 4.3)

- Koefisien refleksi cenderung naik dengan semakin bertambahnya kecuraman gelombang (Gambar 4.9). Perubahan nilai koefisien tersebut sesuai dengan persamaan

$$KL = 0.154 \ln \left( \frac{H_i}{gT^2} \right) + 1.597$$

Dengan nilai determinasi sebesar 18.3% (Tabel 4.3)



## BAB 5 PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini berupa korelasi antara koefisien refleksi, transmisi, dan kehilangan energi dengan panjang silinder, diameter silinder, dan kemiringan gelombang. Hal lain yang didapat yaitu persamaan refleksi gelombang, persamaan transmisi gelombang dan persamaan kehilangan energi.

#### 5.1.1. Koefisien Refleksi

- Koefisien refleksi ( $K_r$ ) berbanding lurus dengan panjang peredam gelombang ( $B$ ). Koefisien refkesi menurun dengan berkurangnya panjang perdam gelombang, sebaliknya koefisien refkesi meningkat dengan bertambahnya panjang peredam gelombang.
- Koefisien refleksi ( $K_r$ ) berbanding terbalik dengan diameter peredam gelombang ( $D$ ). Koefisien refkesi meningkat dengan berkurangnya diameter perdam gelombang, sebaliknya koefisien refkesi menurun dengan bertambahnya diameter peredam gelombang.
- Koefisien refleksi ( $K_r$ ) berbanding lurus dengan kemiringan gelombang (*wave steepness*). Koefisien refkesi menurun dengan berkurangnya kemiringan gelombang, sebaliknya koefisien refkesi meningkat dengan bertambahnya kemiringan gelombang.
- Model persamaan refleksi gelombang adalah

$$K_r = 0.014 \ln \left( \frac{B}{L} \right) - 0.005 \ln \left( \frac{D}{gT^2} \right) + 0.049 \ln \left( \frac{H_i}{gT^2} \right) + 0.4$$

Parameter prediktor yang mempunyai pengaruh paling besar adalah  $H_i/gT^2$  dengan nilai korelasi sebesar 0.651, sedang yang mempunyai pengaruh kecil adalah parameter  $D/gT^2$  dengan nilai korelasi 0.06. Model persamaan ini hanya berlaku pada kondisi

$$0.964 \leq (B/L) \leq 0.003;$$

$$0.015 \leq (D/gT^2) \leq 0.002;$$

$$0.013 \leq (H_i/gT^2) \leq 0.002.$$

Nilai koefisien determinasi yang didapat dari koefisien refleksi sangatlah kecil, maka hal ini dapat diragukan keabsahan dari fungsi tersebut.

### 5.1.2. Koefisien Transmisi

- Koefisien transmisi ( $K_t$ ) berbanding terbalik dengan panjang peredam gelombang ( $B$ ). Koefisien transmisi meningkat dengan berkurangnya panjang peredam gelombang, sebaliknya koefisien transmisi menurun dengan bertambahnya panjang peredam gelombang.
- Koefisien transmisi ( $K_t$ ) berbanding terbalik dengan diameter peredam gelombang ( $D$ ). Koefisien transmisi meningkat dengan berkurangnya diameter peredam gelombang, sebaliknya koefisien transmisi menurun dengan bertambahnya diameter peredam gelombang.
- Koefisien transmisi ( $K_t$ ) berbanding terbalik dengan kemiringan gelombang (*wave steepness*). Koefisien transmisi meningkat dengan berkurangnya kemiringan gelombang, sebaliknya koefisien transmisi menurun dengan bertambahnya kemiringan gelombang.
- Model persamaan transmisi gelombang adalah

$$K_t = -0.028 \ln\left(\frac{B}{L}\right) - 0.27 \ln\left(\frac{D}{gT^2}\right) - 0.15 \ln\left(\frac{H_i}{gT^2}\right) - 1.184$$

Parameter prediktor yang mempunyai pengaruh paling besar adalah  $B/L$  dengan nilai korelasi sebesar 0.933, sedang yang mempunyai pengaruh kecil adalah parameter  $H_i/gT^2$  dengan nilai korelasi 0.157. Model persamaan ini hanya berlaku pada kondisi

$$0.964 \leq (B/L) \leq 0.003;$$

$$0.015 \leq (D/gT^2) \leq 0.002;$$

$$0.013 \leq (H_i/gT^2) \leq 0.002.$$



### 5.1.3. Koefisien Kehilangan Energi

- Koefisien kehilangan energi (KL) berbanding lurus dengan panjang peredam gelombang (B). Koefisien kehilangan energi menurun dengan berkurangnya panjang peredam gelombang, sebaliknya koefisien kehilangan energi meningkat dengan bertambahnya panjang peredam gelombang.
- Koefisien kehilangan energi (KL) berbanding lurus dengan diameter peredam gelombang (D). Koefisien kehilangan energi menurun dengan berkurangnya diameter peredam gelombang, sebaliknya koefisien kehilangan energi meningkat dengan bertambahnya diameter peredam gelombang.
- Koefisien kehilangan energi (KL) berbanding lurus dengan kemiringan gelombang (wave steepness). Koefisien kehilangan energi menurun dengan berkurangnya kemiringan gelombang, sebaliknya koefisien kehilangan energi meningkat dengan bertambahnya kemiringan gelombang.
- Model persamaan kehilangan energi gelombang adalah

$$KL = 0.259 \ln \left( \frac{B}{L} \right) + 0.24 \ln \left( \frac{D}{gT^2} \right) + 0.154 \ln \left( \frac{H_i}{gT^2} \right) + 4.639$$

Parameter prediktor yang mempunyai pengaruh paling besar adalah B/L dengan nilai korelasi sebesar 0.918, sedang yang mempunyai pengaruh kecil adalah parameter  $H_i/gT^2$  dengan nilai korelasi 0.183. Model persamaan ini hanya berlaku pada kondisi

$$0.964 \leq (B/L) \leq 0.003;$$

$$0.015 \leq (D/gT^2) \leq 0.002;$$

$$0.013 \leq (H_i/gT^2) \leq 0.002.$$

### 5.2. Saran

Dibutuhkan variasi lebih banyak pada geometri model. Pada penelitian ini variasi model hanya berupa diameter dan panjang silinder. Dapat pula diberikan variasi koefisien gesek dan tebal silinder. Variasi lain yang bisa ditambahkan

adalah dengan membuat kondisi model temggelam karena pada penelitian ini kondisi gelombang yang datang tidak melimpas.

Sebaiknya perlu diuji juga susunan silinder yang lainnya. Hal ini agar dapat diketahui bentuk penampang yang paling efisien dalam meredam gelombang.

Perlu kajian dan pemikiran lebih lanjut untuk menentukan persamaan tiap koefisien agar fungsi koefisien tersebut dapat lebih mewakili bentuk dan konfigurasi model. Hal ini tentu dapat mempengaruhi hasil perhitungan agar lebih mewakili kondisi nyata.



## DAFTAR PUSTAKA

- Merle C. Potter, David C. Wiggert, 1997, *Mechanics of Fluids Second Edition*, Prentice-Hall, Upper Sadle River
- Young C Kim, 2010, *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, World Scientific, Singapore
- Triadmojo, B., 1999, *Teknik Pantai*, Beta Offseet, Yogyakarta
- Jhonny, M. T. S., *Bahan Kuliah Teori Model Analisa dan Dimensi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Jhonny, M. T. S., *Studi Peredam Gelombang Berbentuk Gergaji Di Daerah Tropis*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Dirgayusa, 1997, *Transmisi Gelombang Melalui Pemecah Gelombang Susunan Pipa Horizontal*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Dimas Satyagangga Ardaputra, *Pengaruh Variasi Ketinggian Penempatan Rakit Budidaya Rumput Laut Ganda Dalam Mereduksi Gelombang*, Institut Teknologi Surabaya, Surabaya
- Dimas Satyagangga Ardaputra, *Transmisi Gelombang Pada Model Fisik Floating Breakwater Polyethylene*, Institut Teknologi Surabaya, Surabaya
- Setyorini, N., (2002)., *Efektifitas Terumbu Buatan (Artificial Reef) Bentuk kubus berlubang dengan penyusunan yang berbeda terhadap peredaman energi gelombang*, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sudoto, (2008)., *Karakteristik Transmisi Gelombang Yang Melalui Susunan Terumbu Buatan Bentuk Kubus Berongga Sebagai Submerged Breakwater*, Tesis, Istitut Teknologi SepuluhNopember, Surabaya.
- Andoji Wurjanto, Harman Ajiwibowo, Rahmat Zamzami, 2010, *Pemodelan Fisik 2-D untuk Mengukur Tingkat Efektivitas Perforated Skirt Breakwater pada Kategori Gelombang Panjang*, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Walpole, Ronald E., (1997), *Pengantar Statistik*, Penerbit: PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

Kyung-Duck Suh, Yeul Woo Kim, Chang-Hwan Ji ,*Calculation of Permeability Parameter of Perforated Wall*, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University

K.R. Hall, *Wave Transmission on Submerged Breakwaters Made of Hollow Hemispherical Shape Artificial Reefs*, Department of Civil Engineering, Queens University, Kingston, Canada

[http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission\\_coefficient](http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_coefficient)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Reflection\\_coefficient](http://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_coefficient)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Buckingham\\_pi\\_theorem](http://en.wikipedia.org/wiki/Buckingham_pi_theorem)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Dimensional\\_analysis](http://en.wikipedia.org/wiki/Dimensional_analysis)

<http://www.scialert.net/fulltext/?doi=ajaps.2011.1.21&org=12#f1>

<http://www.coastalwiki.org/coastalwiki>

<http://arekteknik.com/interaksi-gelombang-dengan-pantai.html>



Tanggal : 7 Juni 2011  
 Diameter silinder : 5.08 cm  
 Panjang silinder : 80 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 17 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 13 cm

| T    | L     | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.98 | 355   | 15.7          | 14.2          | 16.3          | 13.7          |
| 0.95 | 320   | 15.8          | 14.2          | 16.2          | 13.8          |
| 0.92 | 287   | 15.8          | 14.2          | 16.2          | 13.8          |
| 0.88 | 246   | 15.9          | 14.2          | 16.1          | 13.9          |
| 0.87 | 240   | 15.9          | 14.1          | 16.1          | 13.9          |
| 0.87 | 237   | 15.9          | 14.1          | 16.1          | 13.9          |
| 0.83 | 198   | 16            | 14.1          | 16.0          | 14.0          |
| 0.80 | 172   | 16            | 14            | 15.9          | 14.1          |
| 0.79 | 165.5 | 16            | 14            | 15.8          | 14.1          |
| 0.78 | 155   | 16            | 14            | 15.8          | 14.2          |
| 0.77 | 152   | 16            | 14            | 15.8          | 14.2          |
| 0.77 | 149   | 16            | 14            | 15.8          | 14.2          |
| 0.76 | 138   | 16            | 14            | 15.8          | 14.2          |
| 0.74 | 126   | 16            | 13.9          | 15.7          | 14.3          |
| 0.72 | 116   | 16.1          | 13.9          | 15.7          | 14.3          |
| 0.72 | 112   | 16.1          | 13.9          | 15.6          | 14.3          |
| 0.71 | 105   | 16.1          | 13.9          | 15.6          | 14.4          |
| 0.69 | 97    | 16.1          | 13.9          | 15.6          | 14.4          |
| 0.68 | 90    | 16.1          | 13.9          | 15.6          | 14.4          |
| 0.67 | 83    | 16.2          | 13.9          | 15.5          | 14.5          |

Tanggal : 7 Juni 2011

Diameter silinder : 5.08 cm

Panjang silinder : 80 cm

$H_{i_{max}}$  : 16.6 cm

$H_{i_{min}}$  : 13.4 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.99 | 362 | 15.5          | 14.5          | 16.0          | 14.0          |
| 0.97 | 344 | 15.5          | 14.5          | 15.9          | 14.1          |
| 0.93 | 298 | 15.5          | 14.5          | 15.9          | 14.1          |
| 0.91 | 278 | 15.6          | 14.5          | 15.8          | 14.2          |
| 0.89 | 257 | 15.6          | 14.4          | 15.8          | 14.2          |
| 0.87 | 240 | 15.6          | 14.4          | 15.7          | 14.3          |
| 0.85 | 221 | 15.6          | 14.4          | 15.7          | 14.3          |
| 0.83 | 200 | 15.6          | 14.4          | 15.6          | 14.4          |
| 0.82 | 188 | 15.6          | 14.4          | 15.6          | 14.4          |
| 0.79 | 168 | 15.6          | 14.4          | 15.6          | 14.4          |
| 0.78 | 153 | 15.7          | 14.4          | 15.5          | 14.5          |
| 0.77 | 146 | 15.7          | 14.3          | 15.5          | 14.5          |
| 0.76 | 139 | 15.7          | 14.3          | 15.5          | 14.5          |
| 0.75 | 135 | 15.7          | 14.3          | 15.4          | 14.6          |
| 0.75 | 131 | 15.7          | 14.3          | 15.4          | 14.6          |
| 0.75 | 131 | 15.7          | 14.3          | 15.4          | 14.6          |
| 0.74 | 127 | 15.7          | 14.3          | 15.4          | 14.6          |
| 0.74 | 125 | 15.7          | 14.3          | 15.4          | 14.6          |
| 0.72 | 111 | 15.7          | 14.3          | 15.3          | 14.7          |
| 0.70 | 99  | 15.7          | 14.3          | 15.3          | 14.7          |

Tanggal : 7 Juni 2011  
 Diemter silinder : 5.08 cm  
 Panjang silinder : 80 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 16 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 14 cm

| T    | L     | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.98 | 355   | 15.1          | 14.8          | 15.6          | 14.4          |
| 0.91 | 278   | 15.2          | 14.8          | 15.5          | 14.5          |
| 0.89 | 250   | 15.2          | 14.8          | 15.5          | 14.6          |
| 0.88 | 246   | 15.2          | 14.8          | 15.5          | 14.5          |
| 0.87 | 240   | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.5          |
| 0.86 | 225   | 15.2          | 14.8          | 15.5          | 14.6          |
| 0.85 | 212   | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.6          |
| 0.83 | 198   | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.6          |
| 0.81 | 179   | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.6          |
| 0.80 | 169   | 15.2          | 14.8          | 15.3          | 14.6          |
| 0.79 | 165.5 | 15.2          | 14.8          | 15.3          | 14.6          |
| 0.78 | 155   | 15.2          | 14.7          | 15.3          | 14.7          |
| 0.77 | 149   | 15.3          | 14.7          | 15.3          | 14.7          |
| 0.75 | 132   | 15.3          | 14.7          | 15.3          | 14.7          |
| 0.74 | 125   | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.7          |
| 0.72 | 115   | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.8          |
| 0.72 | 112   | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.8          |
| 0.71 | 105   | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.8          |
| 0.69 | 97    | 15.3          | 14.7          | 15.1          | 14.8          |
| 0.68 | 90    | 15.3          | 14.6          | 15.1          | 14.9          |



Tanggal : 7 Juni 2011

Diameter silinder : 5.08 cm

Panjang silinder : 40 cm

$H_{i_{max}}$  : 16.8 cm

$H_{i_{min}}$  : 13.2 cm

| T    | L     | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.96 | 332   | 15.5          | 14.5          | 16.4          | 13.6          |
| 1.01 | 387   | 15.5          | 14.5          | 16.5          | 13.5          |
| 0.87 | 232   | 15.6          | 14.4          | 16.2          | 13.8          |
| 0.88 | 240.5 | 15.6          | 14.4          | 16.2          | 13.8          |
| 0.80 | 169   | 15.7          | 14.3          | 16.0          | 14.0          |
| 0.78 | 153   | 15.7          | 14.3          | 16.0          | 14.0          |
| 0.75 | 132   | 15.7          | 14.3          | 15.9          | 14.1          |
| 0.71 | 106   | 15.8          | 14.2          | 15.8          | 14.2          |
| 0.72 | 112   | 15.7          | 14.3          | 15.8          | 14.2          |
| 0.70 | 101   | 15.8          | 14.2          | 15.7          | 14.3          |
| 0.70 | 98    | 15.8          | 14.2          | 15.7          | 14.3          |
| 0.68 | 89    | 15.8          | 14.2          | 15.7          | 14.5          |
| 0.66 | 78    | 15.8          | 14.2          | 15.6          | 14.4          |
| 0.66 | 75    | 15.8          | 14.2          | 15.6          | 14.4          |
| 0.66 | 75    | 15.8          | 14.2          | 15.6          | 14.4          |
| 0.64 | 66    | 15.9          | 14.1          | 15.5          | 14.5          |
| 0.63 | 60    | 15.9          | 14.1          | 15.5          | 14.5          |
| 0.61 | 53    | 15.9          | 14.1          | 15.4          | 14.6          |
| 0.60 | 49    | 15.9          | 14.1          | 15.3          | 14.7          |
| 0.60 | 48    | 15.9          | 14.1          | 15.3          | 14.7          |

Tanggal : 7 Juni 2011

Diameter silinder : 5.08 cm

Panjang silinder : 40 cm

$H_{i_{max}}$  : 16.4 cm

$H_{i_{min}}$  : 13.6 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.97 | 340 | 15.3          | 14.7          | 16.1          | 13.9          |
| 0.95 | 322 | 15.3          | 14.7          | 16.1          | 13.9          |
| 0.93 | 297 | 15.3          | 14.7          | 16.1          | 13.9          |
| 0.87 | 232 | 15.4          | 14.6          | 15.9          | 14.1          |
| 0.86 | 225 | 15.4          | 14.6          | 15.9          | 14.1          |
| 0.85 | 212 | 15.4          | 14.6          | 15.9          | 14.1          |
| 0.80 | 169 | 15.4          | 14.6          | 15.8          | 14.2          |
| 0.78 | 153 | 15.4          | 14.6          | 15.7          | 14.3          |
| 0.75 | 132 | 15.4          | 14.6          | 15.7          | 14.3          |
| 0.71 | 106 | 15.5          | 14.5          | 15.7          | 14.4          |
| 0.72 | 112 | 15.5          | 14.5          | 15.6          | 14.4          |
| 0.70 | 101 | 15.5          | 14.5          | 15.6          | 14.5          |
| 0.70 | 98  | 15.5          | 14.5          | 15.5          | 14.5          |
| 0.68 | 89  | 15.5          | 14.5          | 15.5          | 14.5          |
| 0.66 | 78  | 15.5          | 14.5          | 15.5          | 14.6          |
| 0.66 | 75  | 15.5          | 14.5          | 15.4          | 14.6          |
| 0.64 | 66  | 15.5          | 14.5          | 15.4          | 14.6          |
| 0.63 | 62  | 15.5          | 14.5          | 15.3          | 14.7          |
| 0.62 | 58  | 15.6          | 14.4          | 15.3          | 14.8          |
| 0.59 | 44  | 15.6          | 14.4          | 15.2          | 14.8          |

Tanggal : 7 Juni 2011

Diameter silinder : 5.08 cm

Panjang silinder : 40 cm

$H_{i_{max}}$  : 15.8 cm

$H_{i_{min}}$  : 14.2 cm

| T    | L     | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.96 | 333   | 15.1          | 14.9          | 15.7          | 14.3          |
| 0.95 | 321   | 15.1          | 14.9          | 15.6          | 14.3          |
| 0.90 | 264   | 15.1          | 14.9          | 15.6          | 14.3          |
| 0.89 | 255   | 15.1          | 14.9          | 15.6          | 14.4          |
| 0.88 | 240.5 | 15.1          | 14.9          | 15.5          | 14.4          |
| 0.87 | 232   | 15.1          | 14.9          | 15.5          | 14.5          |
| 0.80 | 169   | 15.1          | 14.9          | 15.5          | 14.6          |
| 0.78 | 153   | 15.1          | 14.9          | 15.4          | 14.6          |
| 0.75 | 132   | 15.1          | 14.9          | 15.4          | 14.6          |
| 0.72 | 112   | 15.1          | 14.9          | 15.4          | 14.7          |
| 0.68 | 86    | 15.1          | 14.9          | 15.3          | 14.7          |
| 0.70 | 101   | 15.1          | 14.9          | 15.3          | 14.7          |
| 0.70 | 98    | 15.1          | 14.9          | 15.3          | 14.7          |
| 0.68 | 89    | 15.1          | 14.9          | 15.3          | 14.8          |
| 0.66 | 75    | 15.1          | 14.9          | 15.2          | 14.8          |
| 0.64 | 66    | 15.1          | 14.9          | 15.2          | 14.8          |
| 0.64 | 65    | 15.1          | 14.9          | 15.2          | 14.9          |
| 0.62 | 58    | 15.1          | 14.8          | 15.1          | 14.9          |
| 0.61 | 52    | 15.2          | 14.8          | 15.1          | 14.9          |
| 0.60 | 47    | 15.2          | 14.8          | 15.1          | 15.0          |

Tanggal : 7 Juni 2011

Diameter silinder : 3.81 cm

Panjang silinder : 80 cm

$H_{i_{max}}$  : 17 cm

$H_{i_{min}}$  : 13 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.97 | 345 | 15.9          | 14.1          | 16.1          | 13.9          |
| 0.92 | 283 | 16            | 14            | 16.1          | 14.0          |
| 0.88 | 245 | 16            | 14            | 16.0          | 14.0          |
| 0.86 | 226 | 16.1          | 13.9          | 15.9          | 14.1          |
| 0.82 | 191 | 16.1          | 13.9          | 15.8          | 14.2          |
| 0.82 | 190 | 16.1          | 13.9          | 15.8          | 14.2          |
| 0.80 | 173 | 16.2          | 13.8          | 15.8          | 14.2          |
| 0.79 | 167 | 16.2          | 13.8          | 15.8          | 14.3          |
| 0.78 | 154 | 16.2          | 13.8          | 15.7          | 14.3          |
| 0.76 | 142 | 16.2          | 13.8          | 15.6          | 14.3          |
| 0.74 | 127 | 16.2          | 13.8          | 15.6          | 14.4          |
| 0.73 | 118 | 16.3          | 13.7          | 15.6          | 14.4          |
| 0.71 | 109 | 16.3          | 13.7          | 15.6          | 14.5          |
| 0.70 | 101 | 16.3          | 13.7          | 15.5          | 14.5          |
| 0.70 | 98  | 16.3          | 13.7          | 15.5          | 14.5          |
| 0.69 | 97  | 16.3          | 13.7          | 15.5          | 14.5          |
| 0.69 | 95  | 16.3          | 13.7          | 15.5          | 14.5          |
| 0.68 | 90  | 16.3          | 13.7          | 15.4          | 14.5          |
| 0.68 | 89  | 16.3          | 13.7          | 15.4          | 14.6          |
| 0.68 | 87  | 16.4          | 13.6          | 15.4          | 14.7          |

Tanggal : 7 Juni 2011

Diameter silinder : 3.81 cm

Panjang silinder : 80 cm

$H_{i_{max}}$  : 16.4 cm

$H_{i_{min}}$  : 13.6 cm

| T    | L     | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.91 | 278   | 15.6          | 14.4          | 15.7          | 14.3          |
| 0.86 | 226   | 15.6          | 14.4          | 15.7          | 14.4          |
| 0.85 | 216   | 15.6          | 14.4          | 15.6          | 14.4          |
| 0.84 | 204   | 15.6          | 14.4          | 15.6          | 14.4          |
| 0.83 | 196   | 15.6          | 14.4          | 15.6          | 14.4          |
| 0.82 | 190.5 | 15.6          | 14.4          | 15.6          | 14.5          |
| 0.82 | 186   | 15.6          | 14.4          | 15.5          | 14.5          |
| 0.79 | 163.5 | 15.6          | 14.4          | 15.5          | 14.5          |
| 0.79 | 163   | 15.6          | 14.4          | 15.5          | 14.5          |
| 0.79 | 162.5 | 15.6          | 14.4          | 15.5          | 14.5          |
| 0.78 | 160   | 15.6          | 14.4          | 15.5          | 14.5          |
| 0.77 | 152   | 15.7          | 14.3          | 15.5          | 14.5          |
| 0.77 | 151   | 15.7          | 14.3          | 15.5          | 14.6          |
| 0.76 | 142   | 15.7          | 14.3          | 15.4          | 14.6          |
| 0.76 | 139   | 15.7          | 14.3          | 15.4          | 14.6          |
| 0.75 | 137   | 15.7          | 14.3          | 15.4          | 14.6          |
| 0.75 | 133   | 15.7          | 14.3          | 15.4          | 14.6          |
| 0.74 | 129   | 15.7          | 14.3          | 15.4          | 14.6          |
| 0.73 | 121   | 15.7          | 14.3          | 15.4          | 14.7          |
| 0.72 | 111   | 15.7          | 14.3          | 15.3          | 14.7          |

Tanggal : 7 Juni 2011  
 Diemter silinder : 3.81 cm  
 Panjang silinder : 80 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 16 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 14 cm

| T    | L     | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.98 | 355   | 15.3          | 14.7          | 15.6          | 14.4          |
| 0.91 | 278   | 15.3          | 14.7          | 15.5          | 14.4          |
| 0.89 | 250   | 15.3          | 14.7          | 15.5          | 14.5          |
| 0.88 | 246   | 15.3          | 14.7          | 15.5          | 14.5          |
| 0.87 | 240   | 15.3          | 14.7          | 15.4          | 14.5          |
| 0.81 | 179   | 15.3          | 14.7          | 15.4          | 14.6          |
| 0.80 | 169   | 15.3          | 14.7          | 15.3          | 14.6          |
| 0.79 | 165.5 | 15.3          | 14.7          | 15.3          | 14.7          |
| 0.78 | 155   | 15.4          | 14.6          | 15.3          | 14.7          |
| 0.78 | 153   | 15.4          | 14.6          | 15.3          | 14.7          |
| 0.77 | 149   | 15.4          | 14.6          | 15.2          | 14.7          |
| 0.75 | 131   | 15.4          | 14.6          | 15.2          | 14.8          |
| 0.74 | 127   | 15.4          | 14.6          | 15.2          | 14.8          |
| 0.74 | 125   | 15.4          | 14.6          | 15.2          | 14.8          |
| 0.72 | 112   | 15.4          | 14.6          | 15.2          | 14.8          |
| 0.72 | 111   | 15.4          | 14.6          | 15.2          | 14.8          |
| 0.71 | 105   | 15.4          | 14.6          | 15.2          | 14.8          |
| 0.70 | 99    | 15.4          | 14.6          | 15.2          | 14.9          |
| 0.68 | 90    | 15.4          | 14.6          | 15.1          | 14.9          |
| 0.68 | 88    | 15.4          | 14.6          | 15.1          | 14.9          |

Tanggal : 7 Juni 2011  
 Diameter silinder : 3.81 cm  
 Panjang silinder : 40 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 17.2 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 12.9 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.95 | 323 | 15.9          | 14.2          | 16.6          | 13.5          |
| 0.91 | 278 | 16            | 14.1          | 16.5          | 13.6          |
| 0.89 | 252 | 16            | 14.1          | 16.5          | 13.6          |
| 0.86 | 226 | 16            | 14.1          | 16.4          | 13.7          |
| 0.80 | 177 | 16.1          | 14            | 16.3          | 13.8          |
| 0.79 | 167 | 16.1          | 14            | 16.3          | 13.8          |
| 0.78 | 153 | 16.2          | 13.9          | 16.2          | 13.9          |
| 0.77 | 147 | 16.2          | 13.9          | 16.2          | 13.9          |
| 0.75 | 132 | 16.2          | 13.9          | 16.1          | 14.0          |
| 0.74 | 128 | 16.2          | 13.9          | 16.1          | 14.0          |
| 0.72 | 113 | 16.3          | 13.8          | 16.1          | 14.0          |
| 0.70 | 101 | 16.3          | 13.8          | 16.0          | 14.1          |
| 0.70 | 98  | 16.3          | 13.8          | 16.0          | 14.1          |
| 0.69 | 92  | 16.3          | 13.8          | 15.9          | 14.2          |
| 0.67 | 84  | 16.4          | 13.7          | 15.9          | 14.2          |
| 0.66 | 77  | 16.4          | 13.7          | 15.8          | 14.3          |
| 0.65 | 72  | 16.4          | 13.7          | 15.8          | 14.3          |
| 0.64 | 67  | 16.4          | 13.7          | 15.8          | 14.5          |
| 0.61 | 53  | 16.5          | 13.6          | 15.6          | 14.5          |
| 0.59 | 44  | 16.6          | 13.5          | 15.5          | 14.6          |

Tanggal : 7 Juni 2011  
 Diemter silinder : 3.81 cm  
 Panjang silinder : 40 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 16.8 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 13.2 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.94 | 311 | 15.7          | 14.3          | 16.3          | 13.7          |
| 0.92 | 287 | 15.7          | 14.3          | 16.3          | 13.7          |
| 0.90 | 261 | 15.7          | 14.3          | 16.2          | 13.8          |
| 0.89 | 255 | 15.7          | 14.3          | 16.2          | 13.8          |
| 0.88 | 241 | 15.7          | 14.3          | 16.2          | 13.8          |
| 0.87 | 233 | 15.7          | 14.3          | 16.2          | 13.8          |
| 0.85 | 221 | 15.7          | 14.3          | 16.2          | 13.8          |
| 0.83 | 202 | 15.8          | 14.2          | 16.1          | 13.9          |
| 0.83 | 198 | 15.8          | 14.2          | 16.1          | 13.9          |
| 0.82 | 192 | 15.8          | 14.2          | 16.1          | 13.9          |
| 0.80 | 174 | 15.8          | 14.2          | 16.0          | 14.0          |
| 0.73 | 118 | 15.9          | 14.1          | 15.8          | 14.2          |
| 0.70 | 102 | 15.9          | 14.1          | 15.8          | 14.2          |
| 0.69 | 97  | 15.9          | 14.1          | 15.8          | 14.2          |
| 0.69 | 92  | 16            | 14            | 15.7          | 14.3          |
| 0.68 | 88  | 16            | 14            | 15.7          | 14.3          |
| 0.66 | 78  | 16            | 14            | 15.6          | 14.4          |
| 0.64 | 68  | 16            | 14            | 15.6          | 14.4          |
| 0.64 | 64  | 16            | 14            | 15.5          | 14.5          |
| 0.62 | 56  | 16.1          | 13.9          | 15.5          | 14.5          |



Tanggal : 7 Juni 2011  
 Diemter silinder : 3.81 cm  
 Panjang silinder : 40 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 16.5 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 13.4 cm

| T    | L     | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.99 | 362   | 15.4          | 14.5          | 16.2          | 13.8          |
| 0.91 | 278   | 15.5          | 14.4          | 16.1          | 13.9          |
| 0.89 | 257   | 15.5          | 14.4          | 16.0          | 14.0          |
| 0.87 | 240   | 15.5          | 14.4          | 16.0          | 14.0          |
| 0.85 | 221   | 15.5          | 14.4          | 16.0          | 14.0          |
| 0.85 | 216   | 15.5          | 14.4          | 16.0          | 14.0          |
| 0.84 | 204   | 15.5          | 14.4          | 15.9          | 14.1          |
| 0.83 | 200   | 15.5          | 14.4          | 15.9          | 14.1          |
| 0.83 | 196   | 15.5          | 14.4          | 15.9          | 14.1          |
| 0.82 | 190.5 | 15.5          | 14.4          | 15.9          | 14.1          |
| 0.82 | 188   | 15.6          | 14.3          | 15.9          | 14.1          |
| 0.81 | 179   | 15.6          | 14.3          | 15.9          | 14.1          |
| 0.78 | 157   | 15.6          | 14.3          | 15.8          | 14.2          |
| 0.77 | 146   | 15.6          | 14.3          | 15.8          | 14.2          |
| 0.72 | 114   | 15.7          | 14.2          | 15.7          | 14.3          |
| 0.69 | 92    | 15.7          | 14.2          | 15.6          | 14.4          |
| 0.68 | 89    | 15.7          | 14.2          | 15.6          | 14.4          |
| 0.65 | 74    | 15.7          | 14.2          | 15.5          | 14.5          |
| 0.62 | 55    | 15.8          | 14.1          | 15.4          | 14.6          |
| 0.60 | 47    | 15.8          | 14.1          | 15.3          | 14.7          |

Tanggal : 8 Juni 2011  
 Diameter silinder : 3.175 cm  
 Panjang silinder : 80 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 17 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 13 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.98 | 356 | 16            | 14            | 16.2          | 13.8          |
| 0.93 | 295 | 16.1          | 13.9          | 16.1          | 13.9          |
| 0.89 | 256 | 16.1          | 13.9          | 16.0          | 13.9          |
| 0.88 | 242 | 16.2          | 13.8          | 16.0          | 14.0          |
| 0.87 | 235 | 16.2          | 13.8          | 16.0          | 14.1          |
| 0.86 | 226 | 16.2          | 13.8          | 15.9          | 14.1          |
| 0.85 | 219 | 16.2          | 13.8          | 15.9          | 14.1          |
| 0.83 | 202 | 16.2          | 13.8          | 15.9          | 14.1          |
| 0.82 | 190 | 16.2          | 13.8          | 15.9          | 14.1          |
| 0.82 | 186 | 16.3          | 13.7          | 15.9          | 14.1          |
| 0.80 | 174 | 16.3          | 13.7          | 15.9          | 14.2          |
| 0.80 | 169 | 16.3          | 13.7          | 15.8          | 14.2          |
| 0.78 | 157 | 16.3          | 13.7          | 15.8          | 14.2          |
| 0.76 | 142 | 16.3          | 13.7          | 15.7          | 14.3          |
| 0.75 | 131 | 16.4          | 13.6          | 15.7          | 14.3          |
| 0.74 | 127 | 16.4          | 13.6          | 15.7          | 14.3          |
| 0.72 | 116 | 16.4          | 13.6          | 15.6          | 14.4          |
| 0.70 | 101 | 16.4          | 13.6          | 15.6          | 14.4          |
| 0.70 | 98  | 16.5          | 13.5          | 15.5          | 14.5          |
| 0.67 | 84  | 16.5          | 13.5          | 15.5          | 14.5          |

Tanggal : 8 Juni 2011

Diameter silinder : 3.175 cm

Panjang silinder : 80 cm

$H_{i_{max}}$  : 16.7 cm

$H_{i_{min}}$  : 13.3 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.99 | 363 | 15.8          | 14.2          | 16.0          | 14.0          |
| 0.98 | 354 | 15.8          | 14.2          | 16.0          | 14.0          |
| 0.94 | 302 | 15.9          | 14.1          | 15.9          | 14.1          |
| 0.93 | 294 | 15.9          | 14.1          | 15.9          | 14.1          |
| 0.91 | 272 | 15.9          | 14.1          | 15.9          | 14.1          |
| 0.90 | 265 | 15.9          | 14.1          | 15.9          | 14.1          |
| 0.88 | 242 | 15.9          | 14.1          | 15.8          | 14.2          |
| 0.85 | 221 | 15.9          | 14.1          | 15.8          | 14.2          |
| 0.83 | 199 | 16            | 14            | 15.7          | 14.2          |
| 0.82 | 190 | 16            | 14            | 15.7          | 14.3          |
| 0.81 | 182 | 16            | 14            | 15.7          | 14.3          |
| 0.80 | 174 | 16            | 14            | 15.7          | 14.3          |
| 0.80 | 173 | 16            | 14            | 15.7          | 14.3          |
| 0.79 | 167 | 16            | 14            | 15.6          | 14.3          |
| 0.78 | 155 | 16            | 14            | 15.6          | 14.4          |
| 0.76 | 142 | 16            | 14            | 15.6          | 14.4          |
| 0.75 | 131 | 16.1          | 13.9          | 15.5          | 14.4          |
| 0.74 | 127 | 16.1          | 13.9          | 15.5          | 14.5          |
| 0.72 | 113 | 16.1          | 13.9          | 15.5          | 14.5          |
| 0.69 | 92  | 16.2          | 13.8          | 15.4          | 14.6          |

Tanggal : 8 Juni 2011  
 Diemter silinder : 3.175 cm  
 Panjang silinder : 80 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 15.8 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 14.2 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.99 | 362 | 15.2          | 14.8          | 15.5          | 14.5          |
| 0.98 | 355 | 15.2          | 14.8          | 15.5          | 14.5          |
| 0.97 | 344 | 15.2          | 14.8          | 15.5          | 14.5          |
| 0.93 | 298 | 15.2          | 14.8          | 15.5          | 14.6          |
| 0.91 | 278 | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.6          |
| 0.91 | 278 | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.6          |
| 0.89 | 257 | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.6          |
| 0.89 | 250 | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.7          |
| 0.86 | 226 | 15.2          | 14.8          | 15.3          | 14.7          |
| 0.76 | 142 | 15.3          | 14.7          | 15.3          | 14.8          |
| 0.75 | 131 | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.8          |
| 0.74 | 129 | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.8          |
| 0.74 | 127 | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.8          |
| 0.73 | 121 | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.8          |
| 0.72 | 112 | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.9          |
| 0.72 | 111 | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.9          |
| 0.69 | 95  | 15.3          | 14.7          | 15.1          | 14.9          |
| 0.68 | 90  | 15.3          | 14.7          | 15.1          | 14.9          |
| 0.68 | 89  | 15.3          | 14.7          | 15.1          | 14.9          |
| 0.68 | 87  | 15.3          | 14.7          | 15.0          | 14.9          |

Tanggal : 8 Juni 2011  
 Diemter silinder : 3.175 cm  
 Panjang silinder : 40 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 17.2 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 13 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.91 | 278 | 16.1          | 14.1          | 16.5          | 13.6          |
| 0.90 | 267 | 16.1          | 14.1          | 16.5          | 13.7          |
| 0.89 | 252 | 16.1          | 14.1          | 16.5          | 13.7          |
| 0.86 | 226 | 16.1          | 14.1          | 16.5          | 13.8          |
| 0.82 | 191 | 16.2          | 14            | 16.3          | 13.9          |
| 0.82 | 190 | 16.2          | 14            | 16.3          | 13.9          |
| 0.80 | 177 | 16.2          | 14            | 16.3          | 13.9          |
| 0.80 | 173 | 16.2          | 14            | 16.3          | 13.9          |
| 0.79 | 167 | 16.3          | 13.9          | 16.3          | 14.0          |
| 0.78 | 154 | 16.3          | 13.9          | 16.2          | 14.0          |
| 0.76 | 142 | 16.3          | 13.9          | 16.2          | 14.0          |
| 0.73 | 118 | 16.4          | 13.8          | 16.1          | 14.1          |
| 0.71 | 109 | 16.4          | 13.8          | 16.1          | 14.1          |
| 0.70 | 101 | 16.4          | 13.8          | 16.0          | 14.2          |
| 0.70 | 98  | 16.4          | 13.8          | 16.0          | 14.2          |
| 0.69 | 97  | 16.4          | 13.8          | 16.0          | 14.2          |
| 0.68 | 87  | 16.5          | 13.7          | 16.0          | 14.2          |
| 0.65 | 72  | 16.5          | 13.7          | 15.9          | 14.3          |
| 0.63 | 63  | 16.6          | 13.6          | 15.8          | 14.4          |
| 0.62 | 57  | 16.6          | 13.6          | 15.8          | 14.4          |

Tanggal : 8 Juni 2011

Diameter silinder : 3.175 cm

Panjang silinder : 40 cm

$H_{i_{max}}$  : 16.7 cm

$H_{i_{min}}$  : 13.3 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.96 | 335 | 15.5          | 14.5          | 16.3          | 13.6          |
| 0.95 | 323 | 15.5          | 14.5          | 16.3          | 13.7          |
| 0.95 | 314 | 15.5          | 14.5          | 16.3          | 13.8          |
| 0.93 | 299 | 15.5          | 14.5          | 16.2          | 13.8          |
| 0.92 | 282 | 15.5          | 14.5          | 16.2          | 13.8          |
| 0.91 | 279 | 15.5          | 14.5          | 16.2          | 13.8          |
| 0.90 | 267 | 15.6          | 14.4          | 16.2          | 14.0          |
| 0.79 | 167 | 15.7          | 14.3          | 16.0          | 14.0          |
| 0.78 | 154 | 15.7          | 14.3          | 15.9          | 14.1          |
| 0.76 | 142 | 15.8          | 14.2          | 15.9          | 14.1          |
| 0.76 | 138 | 15.8          | 14.2          | 15.9          | 14.1          |
| 0.75 | 133 | 15.8          | 14.2          | 15.9          | 14.2          |
| 0.73 | 122 | 15.8          | 14.2          | 15.8          | 14.2          |
| 0.73 | 117 | 15.8          | 14.2          | 15.8          | 14.2          |
| 0.71 | 108 | 15.9          | 14.1          | 15.8          | 14.2          |
| 0.70 | 98  | 15.9          | 14.1          | 15.8          | 14.3          |
| 0.68 | 87  | 15.9          | 14.1          | 15.7          | 14.3          |
| 0.65 | 72  | 16            | 14            | 15.6          | 14.4          |
| 0.63 | 63  | 16            | 14            | 15.5          | 14.5          |
| 0.62 | 57  | 16.1          | 13.9          | 15.5          | 14.5          |

Tanggal : 8 Juni 2011  
 Diameter silinder : 3.175 cm  
 Panjang silinder : 40 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 15.8 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 14.2 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.96 | 327 | 15.2          | 14.8          | 15.7          | 14.4          |
| 0.95 | 313 | 15.2          | 14.8          | 15.6          | 14.4          |
| 0.94 | 307 | 15.2          | 14.8          | 15.6          | 14.4          |
| 0.93 | 298 | 15.2          | 14.8          | 15.6          | 14.6          |
| 0.79 | 167 | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.5          |
| 0.82 | 190 | 15.2          | 14.8          | 15.5          | 14.5          |
| 0.80 | 173 | 15.2          | 14.8          | 15.5          | 14.6          |
| 0.79 | 167 | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.6          |
| 0.80 | 169 | 15.2          | 14.8          | 15.5          | 14.5          |
| 0.78 | 157 | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.6          |
| 0.75 | 134 | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.6          |
| 0.73 | 123 | 15.2          | 14.8          | 15.4          | 14.7          |
| 0.72 | 112 | 15.2          | 14.8          | 15.3          | 14.6          |
| 0.71 | 107 | 15.2          | 14.8          | 15.3          | 14.7          |
| 0.70 | 99  | 15.3          | 14.7          | 15.3          | 14.7          |
| 0.67 | 82  | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.7          |
| 0.66 | 79  | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.8          |
| 0.64 | 64  | 15.3          | 14.7          | 15.2          | 14.8          |
| 0.61 | 53  | 15.3          | 14.7          | 15.1          | 14.9          |
| 0.59 | 45  | 15.3          | 14.7          | 15.1          | 14.9          |

Tanggal : 8 Juni 2011

Diameter silinder : 2.54 cm

Panjang silinder : 80 cm

$H_{i_{max}}$  : 17 cm

$H_{i_{min}}$  : 13 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.98 | 355 | 16.2          | 13.8          | 16.2          | 13.9          |
| 0.95 | 320 | 16.2          | 13.8          | 16.1          | 13.9          |
| 0.92 | 287 | 16.2          | 13.8          | 16.0          | 13.9          |
| 0.91 | 278 | 16.3          | 13.7          | 16.0          | 14.0          |
| 0.89 | 257 | 16.3          | 13.7          | 16.0          | 14.0          |
| 0.87 | 240 | 16.3          | 13.7          | 15.9          | 14.0          |
| 0.80 | 173 | 16.4          | 13.6          | 15.9          | 14.2          |
| 0.79 | 167 | 16.4          | 13.6          | 15.8          | 14.2          |
| 0.78 | 154 | 16.5          | 13.5          | 15.8          | 14.2          |
| 0.76 | 142 | 16.5          | 13.5          | 15.8          | 14.3          |
| 0.76 | 139 | 16.5          | 13.5          | 15.7          | 14.3          |
| 0.75 | 137 | 16.5          | 13.5          | 15.7          | 14.3          |
| 0.75 | 133 | 16.5          | 13.5          | 15.7          | 14.3          |
| 0.74 | 127 | 16.5          | 13.5          | 15.7          | 14.3          |
| 0.74 | 125 | 16.5          | 13.5          | 15.7          | 14.3          |
| 0.73 | 118 | 16.6          | 13.4          | 15.7          | 14.3          |
| 0.72 | 111 | 16.6          | 13.4          | 15.7          | 14.4          |
| 0.71 | 109 | 16.6          | 13.4          | 15.6          | 14.4          |
| 0.70 | 99  | 16.6          | 13.4          | 15.6          | 14.4          |
| 0.69 | 95  | 16.6          | 13.4          | 15.6          | 14.5          |



Tanggal : 8 Juni 2011

Diameter silinder : 2.54 cm

Panjang silinder : 80 cm

$H_{i_{max}}$  : 16.7 cm

$H_{i_{min}}$  : 13.3 cm

| T    | L     | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.99 | 362   | 15.9          | 14.1          | 16.0          | 14.0          |
| 0.97 | 344   | 15.9          | 14.1          | 16.0          | 14.0          |
| 0.93 | 298   | 16            | 14            | 15.9          | 14.1          |
| 0.91 | 278   | 16            | 14            | 15.9          | 14.1          |
| 0.91 | 278   | 16            | 14            | 15.9          | 14.1          |
| 0.89 | 250   | 16            | 14            | 15.8          | 14.2          |
| 0.88 | 246   | 16            | 14            | 15.8          | 14.2          |
| 0.87 | 240   | 16            | 14            | 15.8          | 14.2          |
| 0.79 | 165.5 | 16.1          | 13.9          | 15.7          | 14.3          |
| 0.78 | 155   | 16.2          | 13.8          | 15.7          | 14.3          |
| 0.78 | 154   | 16.2          | 13.8          | 15.7          | 14.3          |
| 0.78 | 153   | 16.2          | 13.8          | 15.7          | 14.3          |
| 0.77 | 149   | 16.2          | 13.8          | 15.6          | 14.4          |
| 0.73 | 122   | 16.2          | 13.8          | 15.6          | 14.4          |
| 0.72 | 112   | 16.2          | 13.8          | 15.5          | 14.5          |
| 0.71 | 105   | 16.3          | 13.7          | 15.5          | 14.5          |
| 0.70 | 101   | 16.3          | 13.7          | 15.5          | 14.5          |
| 0.70 | 98    | 16.3          | 13.7          | 15.5          | 14.5          |
| 0.69 | 97    | 16.3          | 13.7          | 15.5          | 14.5          |
| 0.68 | 88    | 16.3          | 13.7          | 15.4          | 14.6          |

Tanggal : 8 Juni 2011

Diameter silinder : 2.54 cm

Panjang silinder : 80 cm

$H_{i_{max}}$  : 16.3 cm

$H_{i_{min}}$  : 13.8 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.98 | 355 | 15.6          | 14.5          | 15.8          | 14.3          |
| 0.97 | 344 | 15.6          | 14.5          | 15.8          | 14.3          |
| 0.92 | 283 | 15.7          | 14.4          | 15.7          | 14.4          |
| 0.91 | 278 | 15.7          | 14.4          | 15.7          | 14.4          |
| 0.91 | 278 | 15.7          | 14.4          | 15.7          | 14.4          |
| 0.89 | 250 | 15.7          | 14.4          | 15.7          | 14.4          |
| 0.88 | 246 | 15.7          | 14.4          | 15.7          | 14.4          |
| 0.86 | 226 | 15.7          | 14.4          | 15.6          | 14.5          |
| 0.85 | 216 | 15.7          | 14.4          | 15.6          | 14.5          |
| 0.76 | 142 | 15.8          | 14.3          | 15.5          | 14.6          |
| 0.75 | 133 | 15.8          | 14.3          | 15.5          | 14.6          |
| 0.74 | 129 | 15.8          | 14.3          | 15.4          | 14.7          |
| 0.74 | 127 | 15.8          | 14.3          | 15.4          | 14.7          |
| 0.73 | 121 | 15.8          | 14.3          | 15.4          | 14.7          |
| 0.73 | 118 | 15.8          | 14.3          | 15.4          | 14.7          |
| 0.72 | 111 | 15.8          | 14.3          | 15.4          | 14.7          |
| 0.71 | 109 | 15.8          | 14.3          | 15.4          | 14.7          |
| 0.70 | 101 | 15.8          | 14.3          | 15.4          | 14.7          |
| 0.70 | 98  | 15.8          | 14.3          | 15.3          | 14.8          |
| 0.69 | 97  | 15.8          | 14.3          | 15.3          | 14.8          |

Tanggal : 8 Juni 2011  
 Diemter silinder : 2.54cm  
 Panjang silinder : 40 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 17 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 12.8 cm

| T    | L     | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1.01 | 387   | 15.3          | 14.5          | 16.5          | 13.3          |
| 0.96 | 332   | 15.4          | 14.4          | 16.4          | 13.4          |
| 0.88 | 240.5 | 15.5          | 14.3          | 16.3          | 13.5          |
| 0.87 | 232   | 15.5          | 14.3          | 16.2          | 13.6          |
| 0.80 | 169   | 15.6          | 14.2          | 16.1          | 13.7          |
| 0.78 | 153   | 15.7          | 14.1          | 16.1          | 13.7          |
| 0.75 | 132   | 15.7          | 14.1          | 16.0          | 13.8          |
| 0.72 | 112   | 15.8          | 14            | 15.9          | 13.9          |
| 0.68 | 86    | 15.9          | 13.9          | 15.8          | 14.0          |
| 0.70 | 101   | 15.8          | 14            | 15.9          | 13.9          |
| 0.70 | 98    | 15.8          | 14            | 15.9          | 13.9          |
| 0.69 | 92    | 15.9          | 13.9          | 15.8          | 14.0          |
| 0.68 | 89    | 15.9          | 13.9          | 15.8          | 14.0          |
| 0.68 | 89    | 15.9          | 13.9          | 15.8          | 14.0          |
| 0.63 | 63    | 16            | 13.8          | 15.7          | 14.1          |
| 0.66 | 75    | 15.9          | 13.9          | 15.7          | 14.1          |
| 0.65 | 74    | 15.9          | 13.9          | 15.7          | 14.1          |
| 0.64 | 66    | 16            | 13.8          | 15.7          | 14.1          |
| 0.62 | 55    | 16.1          | 13.7          | 15.6          | 14.2          |
| 0.60 | 47    | 16.1          | 13.7          | 15.5          | 14.3          |

Tanggal : 8 Juni 2011  
 Diameter silinder : 2.54cm  
 Panjang silinder : 40 cm  
 $H_{i_{max}}$  : 16.5 cm  
 $H_{i_{min}}$  : 13.2 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.98 | 355 | 15.5          | 14.2          | 16.1          | 13.6          |
| 0.91 | 278 | 15.6          | 14.1          | 16.0          | 13.7          |
| 0.89 | 250 | 15.6          | 14.1          | 16.0          | 13.7          |
| 0.88 | 246 | 15.6          | 14.1          | 15.9          | 13.8          |
| 0.87 | 240 | 15.6          | 14.1          | 15.9          | 13.8          |
| 0.86 | 225 | 15.7          | 14            | 15.9          | 13.8          |
| 0.82 | 191 | 15.7          | 14            | 15.8          | 13.9          |
| 0.82 | 190 | 15.7          | 14            | 15.8          | 13.9          |
| 0.80 | 177 | 15.7          | 14            | 15.8          | 13.9          |
| 0.80 | 173 | 15.7          | 14            | 15.8          | 13.9          |
| 0.79 | 167 | 15.7          | 14            | 15.8          | 13.9          |
| 0.78 | 154 | 15.8          | 13.9          | 15.8          | 13.9          |
| 0.76 | 142 | 15.8          | 13.9          | 15.7          | 14.0          |
| 0.76 | 138 | 15.8          | 13.9          | 15.7          | 14.0          |
| 0.75 | 133 | 15.8          | 13.9          | 15.7          | 14.0          |
| 0.73 | 122 | 15.8          | 13.9          | 15.7          | 14.0          |
| 0.64 | 66  | 16            | 13.7          | 15.4          | 14.3          |
| 0.63 | 62  | 16            | 13.7          | 15.4          | 14.3          |
| 0.62 | 58  | 16            | 13.7          | 15.4          | 14.3          |
| 0.59 | 44  | 16.1          | 13.6          | 15.3          | 14.4          |

Tanggal : 8 Juni 2011

Diameter silinder : 2.54cm

Panjang silinder : 40 cm

$H_{i_{max}}$  : 16 cm

$H_{i_{min}}$  : 13.8 cm

| T    | L   | $H_{r_{max}}$ | $H_{r_{min}}$ | $H_{t_{max}}$ | $H_{t_{min}}$ |
|------|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.99 | 366 | 15.3          | 14.5          | 15.8          | 14.0          |
| 0.99 | 362 | 15.3          | 14.5          | 15.8          | 14.0          |
| 0.91 | 278 | 15.3          | 14.5          | 15.7          | 14.1          |
| 0.89 | 257 | 15.3          | 14.5          | 15.7          | 14.1          |
| 0.87 | 240 | 15.3          | 14.5          | 15.6          | 14.2          |
| 0.85 | 221 | 15.3          | 14.5          | 15.6          | 14.2          |
| 0.85 | 216 | 15.3          | 14.5          | 15.6          | 14.2          |
| 0.80 | 169 | 15.4          | 14.4          | 15.5          | 14.3          |
| 0.78 | 153 | 15.4          | 14.4          | 15.5          | 14.3          |
| 0.75 | 132 | 15.4          | 14.4          | 15.4          | 14.4          |
| 0.72 | 112 | 15.4          | 14.4          | 15.4          | 14.4          |
| 0.68 | 89  | 15.5          | 14.3          | 15.3          | 14.5          |
| 0.68 | 87  | 15.5          | 14.3          | 15.3          | 14.5          |
| 0.66 | 78  | 15.5          | 14.3          | 15.3          | 14.5          |
| 0.66 | 75  | 15.5          | 14.3          | 15.3          | 14.5          |
| 0.64 | 66  | 15.5          | 14.3          | 15.2          | 14.6          |
| 0.63 | 62  | 15.5          | 14.3          | 15.2          | 14.6          |
| 0.61 | 53  | 15.5          | 14.3          | 15.2          | 14.6          |
| 0.60 | 49  | 15.5          | 14.3          | 15.1          | 14.7          |
| 0.60 | 48  | 15.5          | 14.3          | 15.1          | 14.7          |