

20.528/H/04

20.339/H/04

**TUGAS AKHIR  
KL 1702**



**ANALISA KEANDALAN STRUKTUR  
RUBBLEMOUND BREAKWAATER AKIBAT  
BEBAN GELOMBANG DI PPI-PAITON**



Rskc  
620.00452  
Suj  
9 - 1  
-----  
2007

Oleh:

**TEGUH SUJIWO**  
NRP. 4397.100.005

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

2002

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	7-4-2003
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	210702

**ANALISA KEANDALAN STRUKTUR  
RUBBLEMOUND BREAKWATER AKIBAT  
BEBAN GELOMBANG DI PPI-PAITON**

**TUGAS AKHIR**

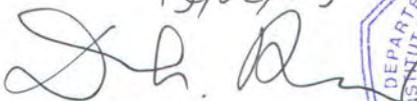
**Diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan untuk  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Surabaya, Pebruari 2003**

**Mengetahui / Menyetujui**

**Dosen pembimbing I**

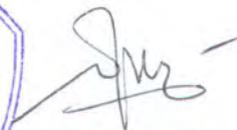
19/02/03



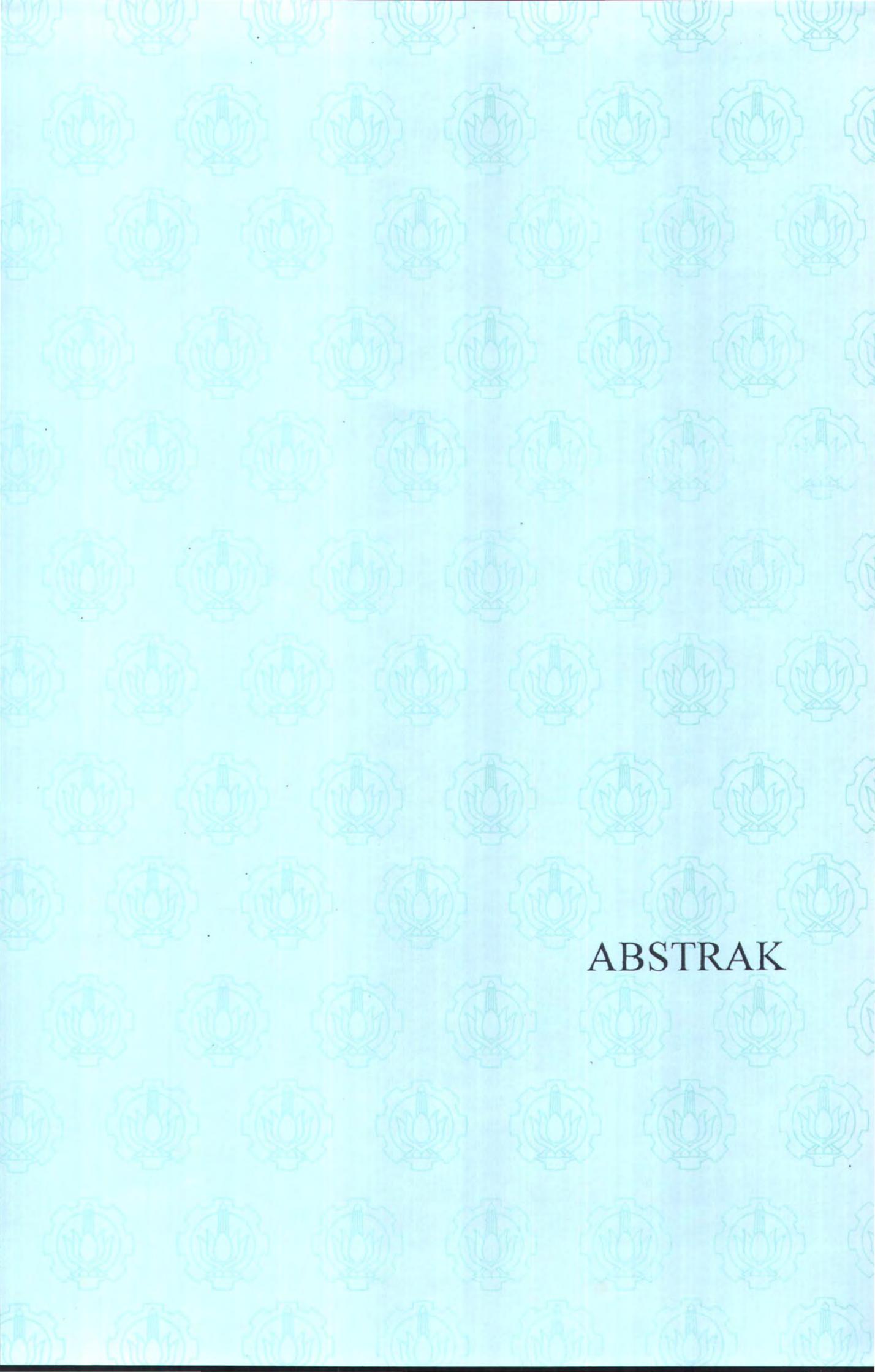
**Dr. Ir. Daniel M. Rosyid**  
Nip: 131 782 038



**Dosen pembimbing II**



**Ir. Sholihin**  
Nip: 132 276 193



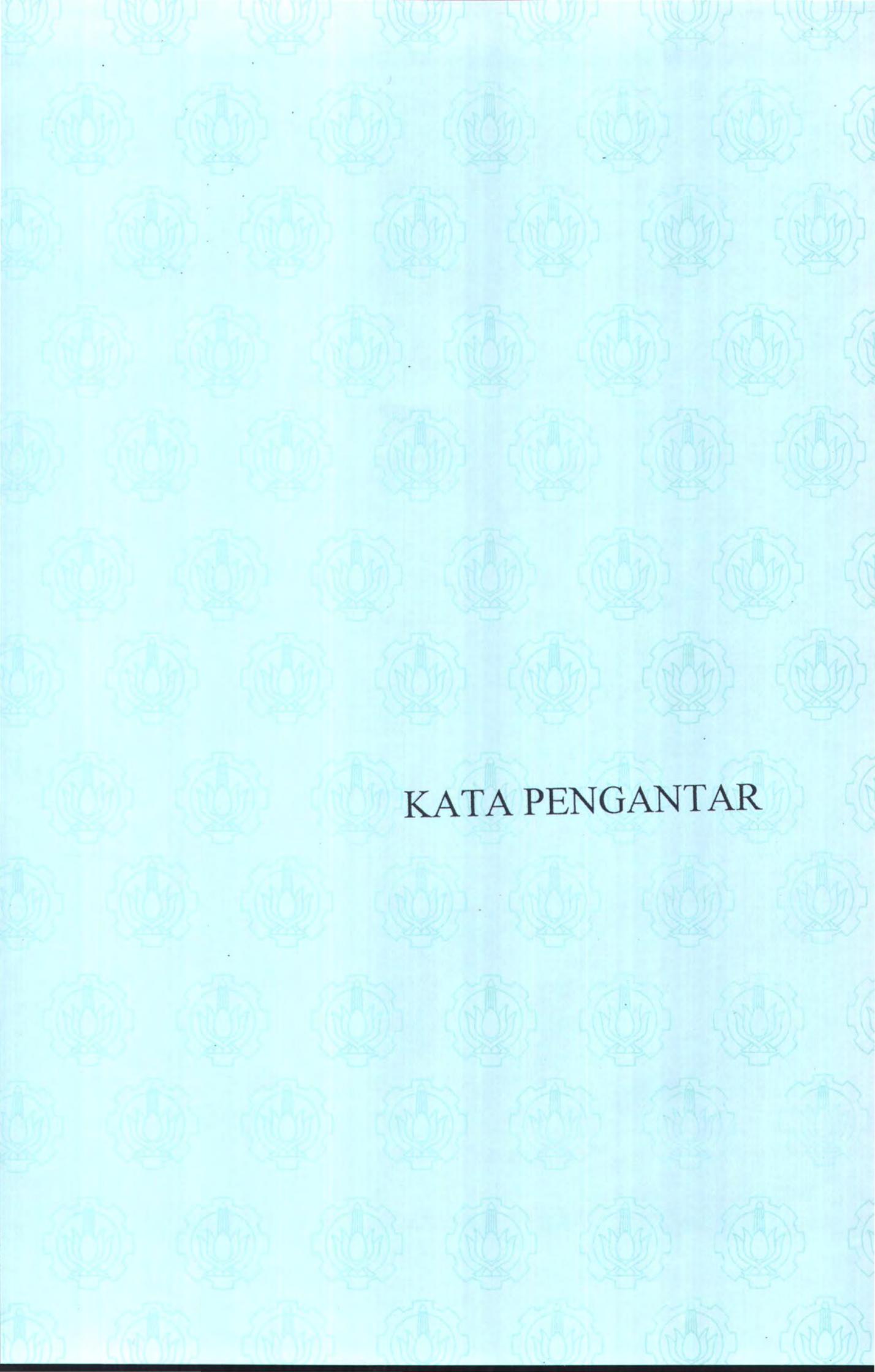
ABSTRAK

## ABSTRAK

Tugas akhir ini membahas tentang analisa keandalan struktur rubblemound breakwater akibat beban gelombang di PPI-Paiton. Beban gelombang ini dapat menyebabkan pergerakan dan kerusakan armor pada bagian depan lapisan armor yang dipertimbangkan sebagai prinsip mekanisme kegagalan dan ketidakpastian yang melekat dan sangat mungkin akan terjadi. Metode yang digunakan untuk analisa keandalan ini adalah metode simulasi Monte Carlo. Sebagai perubah dasar digunakan tanda variabel stochastic ketidakpastian dari persamaan ( untuk gelombang plunging  $Y_1$  dan gelombang surging  $Y_2$ ), Permeabilitas struktur ( $P$ ), kemiringan dari struktur (diambil cot  $\alpha$ ), Densitas masa relatif batu ( $\Delta$ ), Diameter nominal batu ( $D_n$ ), Tinggi gelombang significant ( $H_s$ ), dan nilai tinggi gelombang dibagi dengan panjang gelombang ( $H_s / L_z$ ). Metode Monte Carlo ini digunakan karena ada variabel dari suatu sistem yang dianalisa ini yang sifatnya non linier, dalam hal ini adalah gelombang. Untuk sampling dalam metode Monte Carlo ini menggunakan 100.000 sampling simulasi. Perhitungan dengan metode Monte Carlo ini menggunakan perangkat lunak Monte Carlo Simulation yang dikembangkan oleh Wasis '99.

Untuk tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) sebesar 0.381 m (pada tahun 1999) dengan jumlah gelombang ( $N$ ) sebesar 4000, diperoleh keandalan yang minimum sebesar 0.992 (untuk gelombang plunging) dan 0.98974 (untuk gelombang surging). Sedangkan pada tinggi gelombang signifikan yang mengenai struktur sebesar 0.325 (pada tahun 1998) dengan jumlah gelombang ( $N$ ) sebesar 2000 diperoleh keandalan maksimum sebesar 0.99803 (untuk gelombang plunging) dan 0.9992 (untuk gelombang surging).

Hasil perhitungan menunjukkan semakin besar / tinggi gelombang dan banyak jumlah gelombang ( $N$ ) yang mengenai struktur, semakin turun keandalan yang dimiliki oleh struktur.



KATA PENGANTAR

## KATA PENGANTAR

*Assalammualaikum Wr. Wb.*

Kulekatkan keningku pada bumi-Mu, kubersujud syukur pada-Mu, dan kupanjatkan segala puja dan puji atas kehadiran-Mu ya Allah, Dzat yang Maha Pengasih dan Penyayang, yang telah memberikan anugerah, rahmat, dan hidayah-Nya, serta kekuatan lahir batin kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

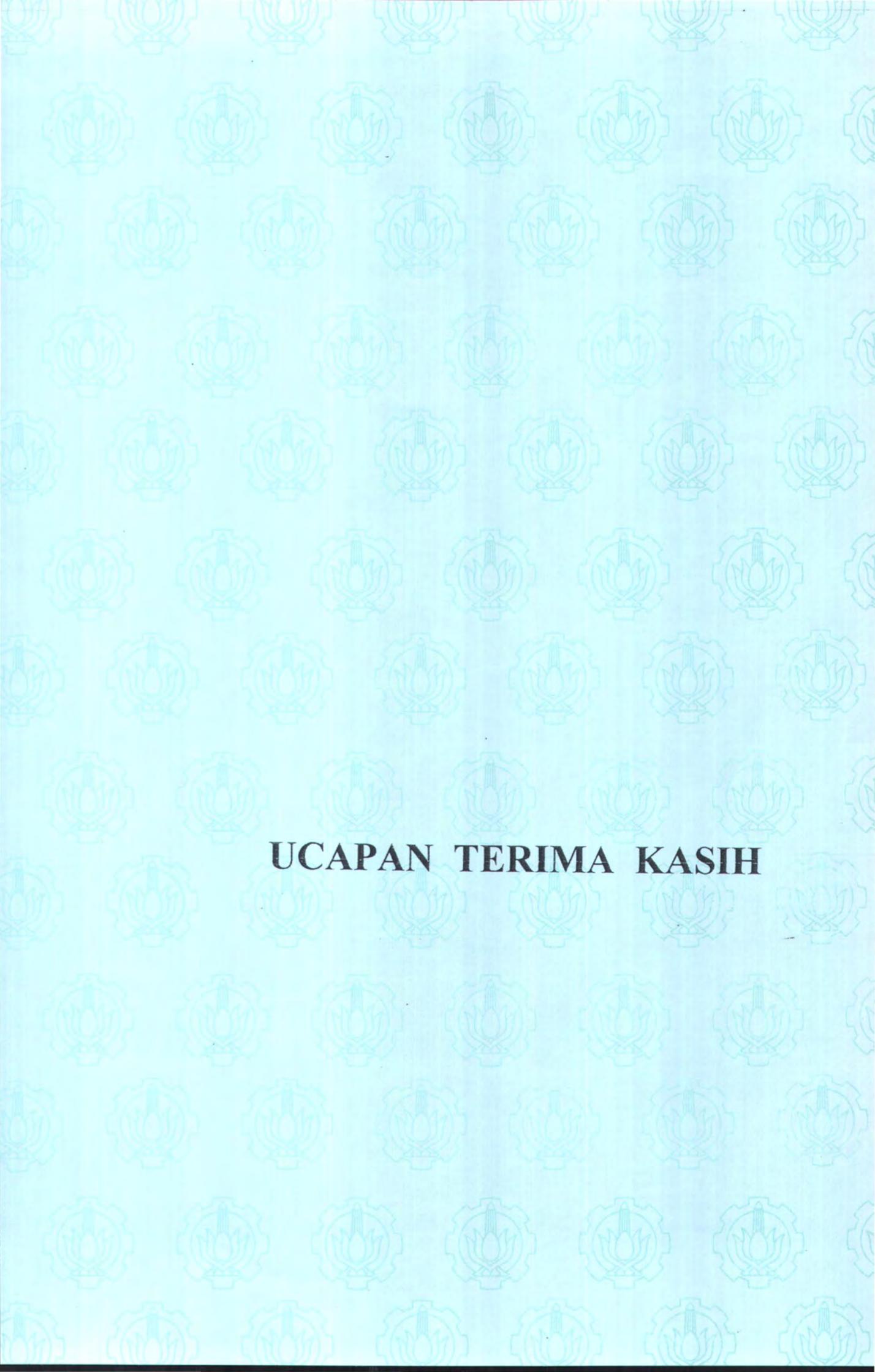
Tugas akhir ini dikerjakan sebagai syarat dalam rangka menyelesaikan pendidikan kesarjanaan Strata-1 (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna karena kelemahan dan keterbatasan diri sebagai manusia biasa. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik sebagai masukan guna perbaikan tugas akhir ini. Harapan penulis, semoga tugas akhir yang sederhana ini dapat berguna bagi penulis sendiri dan juga bagi para pembaca.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Surabaya, Februari 2003

**Penulis**



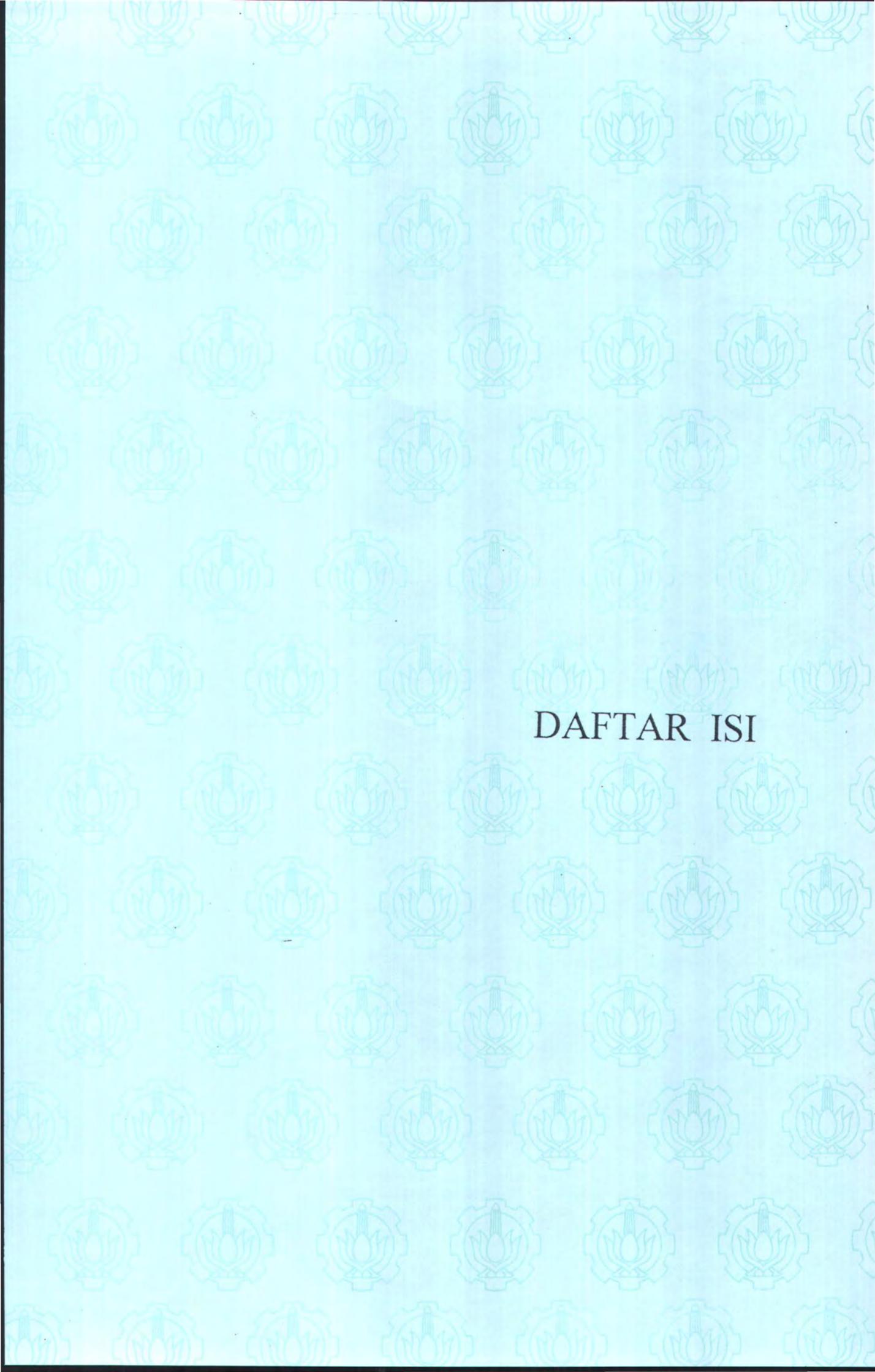
**UCAPAN TERIMA KASIH**

## UCAPAN TERIMA KASIH

Selama dalam masa perkuliahan dan proses pengerjaan tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungannya kepada penulis baik secara moril maupun materiil, secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan yang baik ini dengan tulus ikhlas penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Ibundaku tercinta, adik-adikku serta saudara-saudaraku.
2. Bapak Ir. Daniel M Rosyid, Ph.D., selaku dosen pembimbing I yang dengan sabar membimbing, memberi arahan dan memberikan ilmu serta dorongan motivasi kepada penulis.
3. Bpk Ir. Sholihin, selaku dosen pembimbing II atas bimbingan dan arahnya.
4. Bpk Dr. Ir. Wahyudi, selaku dosen wali dan sekretaris Jurusan Teknik Kelautan ITS yang telah banyak memberikan bimbingan dan perhatiannya.
5. Bpk Dr. Ir. Paulus Indiyono, M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan ITS yang juga telah banyak memberikan perhatiannya.
6. Bpk Ir. Murdjito M.Sc. Eng., selaku dosen Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ide tentang judul tugas akhir, memberikan data-data yang ada, dan membimbing selama proses pengerjaan.
7. Para dosen dan staf T.U. di Jurusan Teknik Kelautan ITS
8. Bapak-bapak dan ibu-ibu guru yang pernah mendidik dan memberikan ilmu serta perhatiannya di TK Khadijah II, SDN Tanjung Sari, SMPN IV Sby, SMUN I Sby.

9. Bpk Ir. Susono Hadinogroho, selaku Direktur Teknik PT ADYA GRAHA.
10. Bpk Ir. Sigit di CV. ALIA atas bimbingannya selama penulis melakukan kerja praktek di PPI-PAITON.
11. Bpk Ir. Herman Sudiarko, selaku Direktur CV. ALIA.
12. Bpk Let. Kol. Joko, (Pasop) Komandan Komando Lintas Laut Militer Satuan Lintas Laut Militer.
13. Bpk Ir. Adjiari di PT ADYA GRAHA atas data-data yang diberikan.
14. Konco-koncoku bendoyo-bendoyo / kopet-kopet : Geyong, Sontol, Truba, Baidi, Farouq, Ghotel.
15. Konco-koncoku '97 : Bram, Jefri, Rina, Pradin, Topeng, Heru, Awang, Dian, Meck, Djuned, Da'in, Timbol, Abud, Mil, dan semua arek<sup>2</sup> laut'97.
16. Senior-senior dan arek-arek laut, diantaranya : Mas Triono yang telah banyak membantu dengan ikhlas dan sabar, mas Wasis atas MonteCarlonya, mas<sup>2</sup> angk.'95 (terutama yang ada dirental), mas Marthunis, mas<sup>2</sup> angk.'94, arek-arek '96, arek-arek'98(Tya, Milka, dll) dan semua warga Kelautan.
17. KELATNAS INDONESIA PERISAI DIRI, diantaranya: bpk Tony, bpk Nanang, bpk Mul dan bapak-bapak pendekar lainnya, Kakak-kakak pelatih dan juga teman-teman latihan di DAPENA, ITS dan cabang Surabaya.
18. **Rallye.** Otomotive Club.
19. Mbak Rana serta keluarga di Lombok.
20. Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.



DAFTAR ISI

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul .....</b>	<b>i</b>
<b>Lembar Pengesahan .....</b>	<b>ii</b>
<b>Abstraksi .....</b>	<b>iii</b>
<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>iv</b>
<b>Ucapan Terima Kasih .....</b>	<b>v</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>vii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Tabel .....</b>	<b>xii</b>
<b>Notasi .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>I-1</b>
1.1. Latar Belakang .....	I-1
1.2. Perumusan Masalah .....	I-4
1.3. Batasan Masalah .....	I-6
1.4. Tujuan Dan Manfaat .....	I-7
1.5. Metodologi .....	I-7
1.6. Sistematika Penulisan .....	I-11
<b>BAB II DASAR TEORI .....</b>	<b>II-1</b>
2.1. Dinamika Dan Kerusakan Pantai .....	II-1
2.1.1. Kerusakan Pantai Akibat Gel. Surge .....	II-1
2.1.2. Perlind. Pantai & Kebutuhan Pemecah Gel. ....	II-2
2.2. Pembangkitan Gelombang .....	II-3
2.2.1. Angin .....	II-4
2.2.2. Data Angin .....	II-5
2.2.3. Konversi Kecepatan Angin .....	II-6
2.2.4. Fetch .....	II-8
2.3. Distribusi Rayleigh .....	II-11

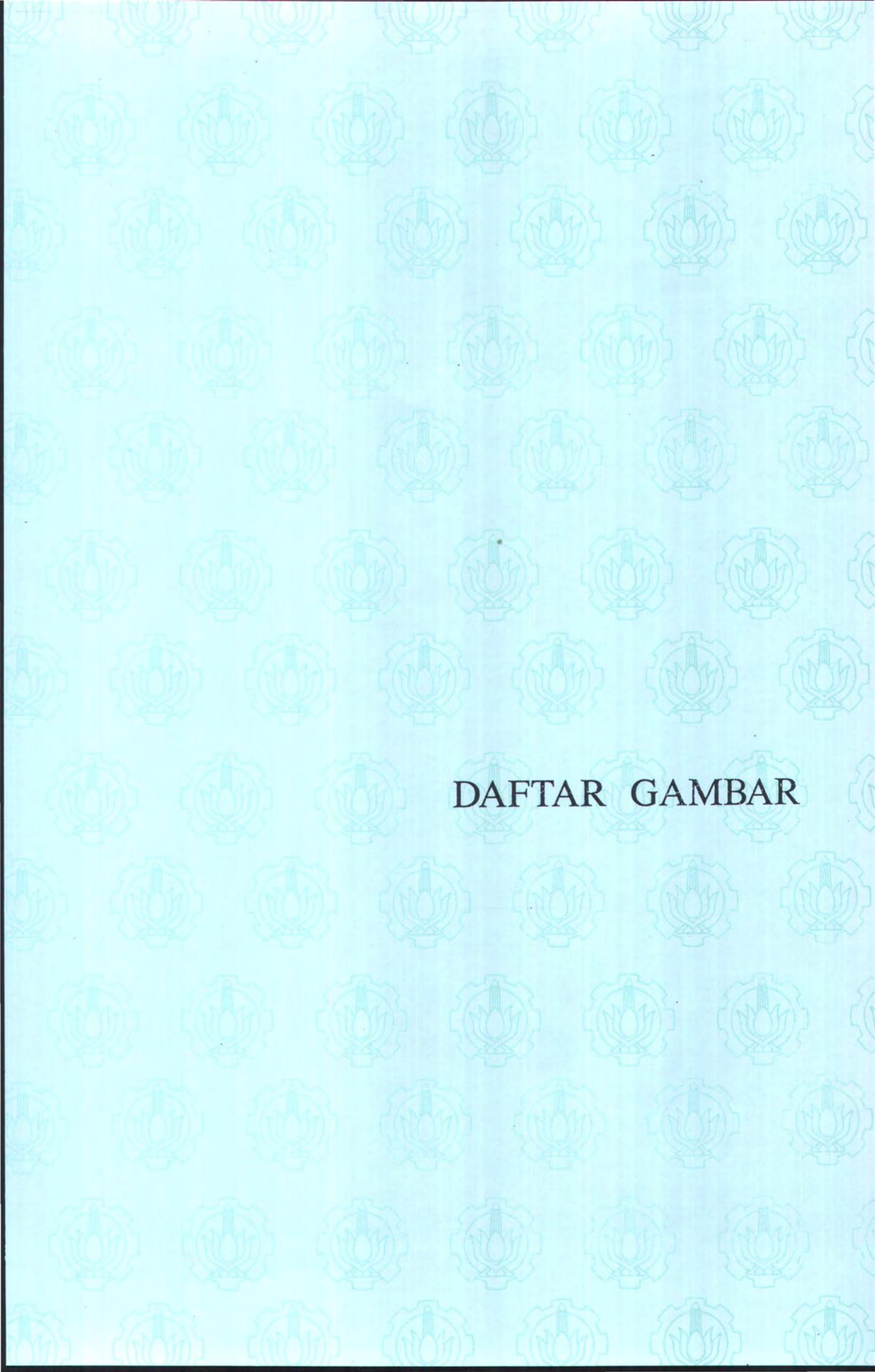
2.4. Pemecah Gelombang (Breakwater) .....	II-13
2.4.1. Umum .....	II-13
2.4.2. Definisi Breakwater .....	II-15
2.4.3. Rubble mound Breakwater .....	II-15
2.4.4. Jenis Breakwater(Sudut Pandang Elevasi Puncak)	II-16
2.4.5. Prinsip Das. Perenc. Konst. Tumpukan Batu .....	II-18
2.5. Teori Keandalan .....	II-19
2.5.1. Falsafah dan Urgensi Analisis Keandalan .....	II-19
2.5.2. Definisi Keandalan .....	II-21
2.5.3. Konsep Ketidak Pastian .....	II-24
2.5.4. Hubungan Keandalan dan Ketidakandalan .....	II-25
2.5.5. Metode Analisis Keandalan .....	II-25
2.6. Keandalan Pada Rubblemound Breakwater .....	II-27
2.6.1. Distribusi Normal yang Ekuivalen .....	II-29
2.6.2. Pers. Kondisi Batas Untuk Lapisan Armor .....	II-31
2.7. Simulasi Monte Carlo .....	II-34
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>III-1</b>
3.1. Studi Literatur .....	III-1
3.2. Penentuan Moda kegagalan .....	III-1
3.3. Perubah Dasar .....	III-2
3.4. Analisa Data .....	III-3
3.5. Perhitungan Perubah Dasar .....	III-3
3.6. Metode Analisa .....	III-3
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>IV-1</b>
4.1. Data Lapangan .....	IV-1
4.2. Perhitungan Beban Gelombang .....	IV-2
4.3. Moda Kegagalan Struktur Rubblemound Breakwater akibat beban gelombang .....	IV-6
4.4. Analisa Keandalan Struktur .....	IV-8

4.5. Analisa Hasil Perhitungan .....	IV-12
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	V-1
5.1. Kesimpulan .....	V-1
5.2. Saran .....	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN





DAFTAR GAMBAR

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Rubblemound Breakwater PPI-Paiton .....	I-3
Gambar 1.2.	Diagram Alir Metodologi .....	I-10
Gambar 2.1.	Grafik Koefisien koreksi kecepatan angin terhadap perbedaan temperatur .....	II-7
Gambar 2.2.	Grafik Koefisien koreksi terhadap pencatatan kecepatan angin didarat .....	II-7
Gambar 2.3.	Kurva peramalan gelombang di perairan pantai .....	II-10
Gambar 2.4.	Probabilitas Rayleigh fungsi densitas .....	II-12
Gambar 2.5.	Gelombang plunging dan surging .....	II-32
Gambar 2.6.	Algoritma tipikal untuk Simulasi Monte Carlo .....	II-40
Gambar 4.1.	Grafik hubungan antara keandalan (untuk gelombang plunging) Vs jumlah gelombang ( $N$ ) tahun 1997 .....	IV-13
Gambar 4.2.	Grafik hubungan antara keandalan (untuk gelombang plunging) Vs jumlah gelombang ( $N$ ) tahun 1998 .....	IV-14
Gambar 4.3.	Grafik hubungan antara keandalan (untuk gelombang plunging) Vs jumlah gelombang ( $N$ ) tahun 1999 .....	IV-15
Gambar 4.4.	Grafik hubungan antara keandalan (untuk gelombang surging) Vs jumlah gelombang ( $N$ ) tahun 1997 .....	IV-16

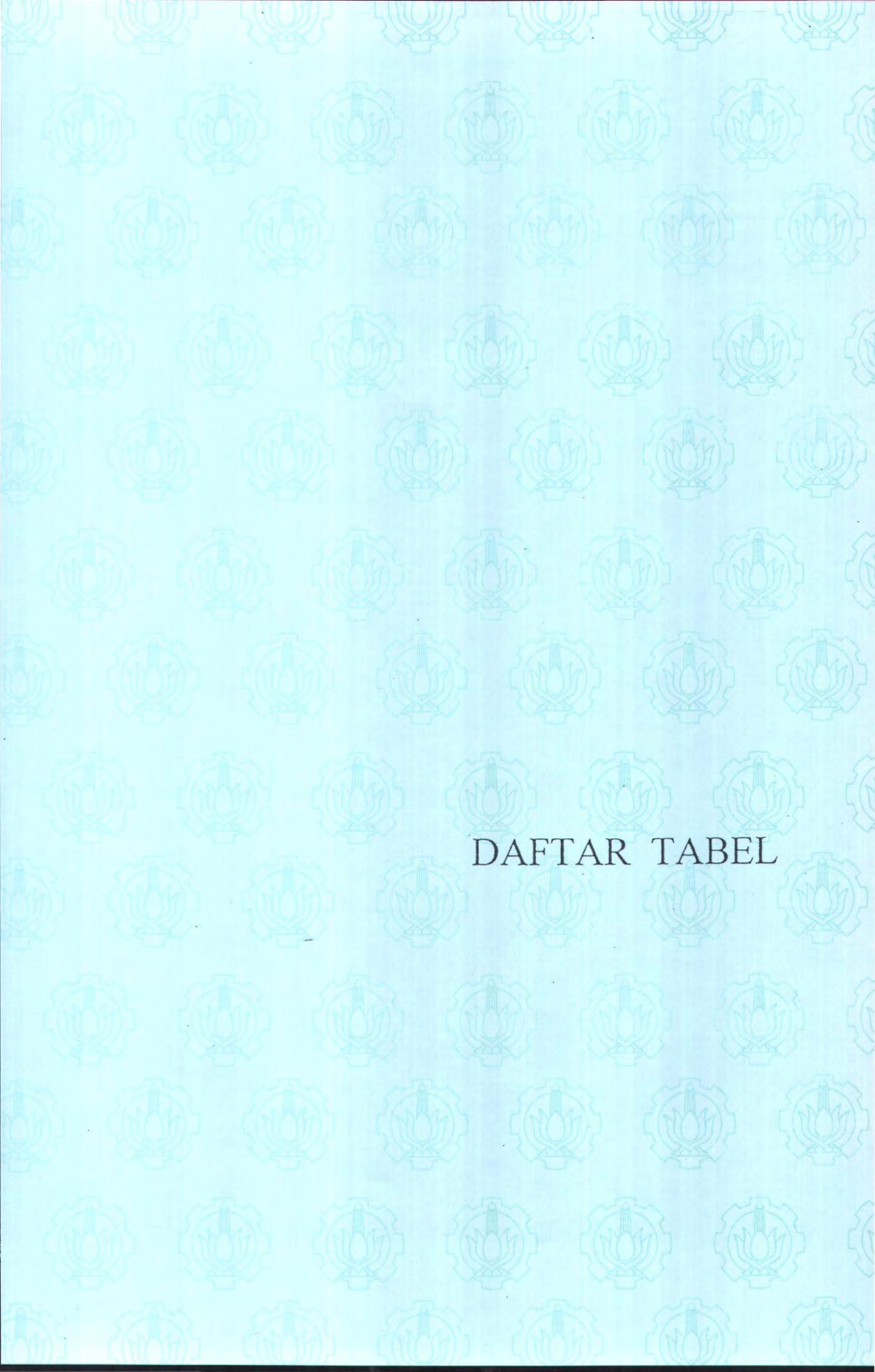
Gambar 4.5. Grafik hubungan antara  
keandalan (untuk gelombang surging) Vs  
jumlah gelombang ( $N$ )  
tahun 1998 ..... IV-17

Gambar 4.6. Grafik hubungan antara  
keandalan (untuk gelombang surging) Vs  
jumlah gelombang ( $N$ )  
tahun 1999 ..... IV-18

Peta untuk Pengukuran fetch ..... Lampiran

Lay out Pelabuhan PPI-PAITON ..... Lampiran

Lay out Potongan Breakwater PPI-PAITON ..... Lampiran



DAFTAR TABEL

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Berat unit & dimensi armour masing-masing lapisan .....	I-4
Tabel 4.2.	Data kecepatan angin tahun 1997 .....	IV-2
Tabel 4.3.	Koreksi kecepatan angin tahun 1997 .....	IV-3
Tabel 4.4.	Hasil pencarian tinggi dan periode gelombang tahun 1997 ..	IV-4
Tabel 4.5.	Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang Plunging (kondisi gelombang Tahun 1997) .....	IV-9
Tabel 4.6.	Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang Plunging (kondisi gelombang Tahun 1998) .....	IV-9
Tabel 4.7.	Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang Plunging (kondisi gelombang Tahun 1999) .....	IV-10
Tabel 4.8.	Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang Surging (kondisi gelombang Tahun 1997) .....	IV-10
Tabel 4.9.	Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang Surging (kondisi gelombang Tahun 1998) .....	IV-11
Tabel 4.10.	Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang Surging (kondisi gelombang Tahun 1999) .....	IV-11
Tabel 4.11.	Keandalan (gel. Plunging) pada tahun 1997 .....	IV-13
Tabel 4.12.	Keandalan (gel. Plunging) pada tahun 1998 .....	IV-14
Tabel 4.13.	Keandalan (gel. Plunging) pada tahun 1999 .....	IV-15
Tabel 4.14.	Keandalan (gel. Surging) pada tahun 1997 .....	IV-16
Tabel 4.15.	Keandalan (gel. Surging) pada tahun 1998 .....	IV-17
Tabel 4.16.	Keandalan (gel. Surging) pada tahun 1997 .....	IV-18





**DAFTAR NOTASI**

## NOTASI

a dan c = bilangan cacah (integer) yang berturut-turut disebut sebagai pengganda dan inkremen.

$D_n$  = Diameter nominal batu

$F_{\text{eff}}$  = fetch rerata efektif

FK = fungsi kinerja

f = distribusi non-normal asal.

$F_{xy}(x_j^*)$  = Fungsi distribusi kumulatif non-normal asal dari  $X_j$ , yang dievaluasikan ke point desain.

$H_s$  = Rencana Tinggi gelombang significant

$H_i$  = tinggi gelombang yang ditentukan

$H_{\text{rms}}$  = tinggi gelombang root mean square (akar rerata kuadrat)

**K** = Keandalan

$K$  = Penghitung (counter) jumlah eksperimen atau sampling

$K$  = koefisien von karman (=0,4)

$L_z$  = Panjang gelombang dikedalaman air

$M$  = Angka variabel non normal dalam fungsi kondisi batas.

m = modulasi

n = jumlah kejadian gagal (penghitung untuk  $FK(X) < 0$ )

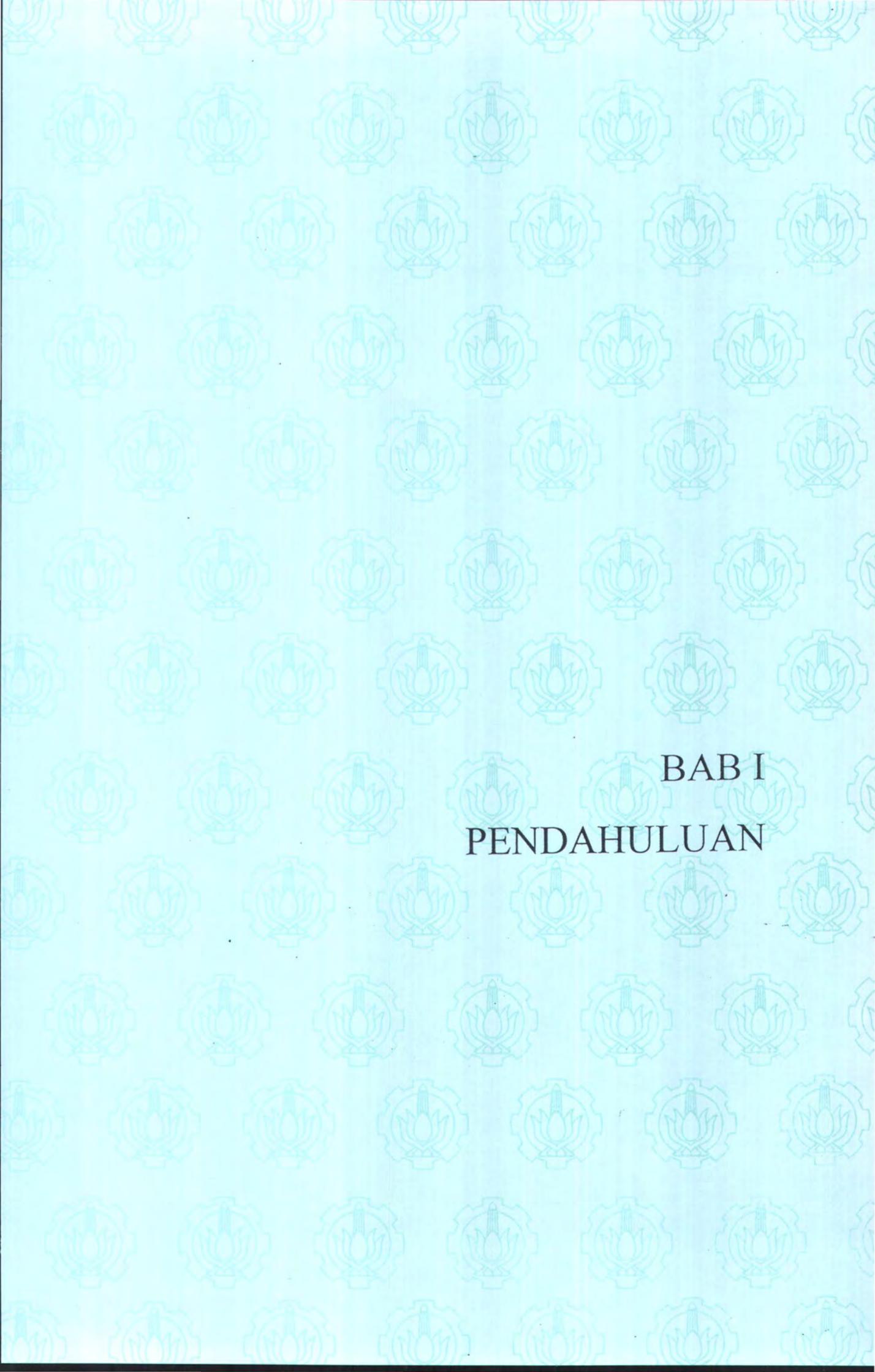
$N$  = jumlah sample

$N$  = Jumlah Gelombang(durasi badai)

P = Koefisien Porositas struktur.

- $P$  = Indeks untuk perubah dasar ke  $X_p$   
 $P(H_i)$  = probability density function distribusi Rayleigh  
 $P_g$  = peluang terjadinya kegagalan  
 $R$  = Resiko  
 $R_T$  = Perbedaan suhu didarat dan laut  
 $R_L$  = Perbedaan kecepatan angin didarat dan laut  
 $RNG$  = Random Number Generator  
 $S$  = Tingkat kerusakan  
 $U^*$  = kecepatan geser  
 $U$  = Kecepatan setelah dikoreksi  
 $U_{awal}$  = Kecepatan awal  
 $U_\Lambda$  = Tegangan Angin (m/s)  
 $X_i$  = panjang fetch dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch  
 $X_j$  = Variabel acak dalam fungsi kegagalan dimana tidak dimodelkan menggunakan distribusi normal.  
 $X_j^*$  = Harga point desain dari variabel non-normal  $X_j$ .  
 $Y$  = elevasi terhadap permukaan air  
 $Y_i$  = Tanda variabel stochastic ketidak pastian dari persamaan  
 $Y_o$  = tinggi kekasaran permukaan  
 $Z_j^*$  = Nilai Point desain dari perubah normal standard.  
 $\alpha$  = deviasi kedua sisi arah angin  
 $\alpha$  = sudut kemiringan/slope dari struktur breakwater  
 $\Delta$  = densitas masa relatif batu

- $\Phi$  = Fungsi distribusi normal standard kumulatif.
- $\phi$  = fungsi densitas probability dari distribusi normal standard
- $\mu_{x_j}^N$  = Nilai rata-rata distribusi normal yang ekuivalen untuk variabel acak  $X_j$ .
- $\sigma_{x_j}^N$  = Nilai standard deviasi dari distribusi normal yang ekuivalen untuk  $X_j$ .
- $\psi$  = Fungsi yang tergantung pada perbedaan temperatur antara air dan



BAB I  
PENDAHULUAN

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Breakwater merupakan bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah pelabuhan dari gangguan gelombang. Dengan adanya breakwater ini daerah perairan pelabuhan menjadi tenang sehingga kapal bisa melakukan bongkar muat barang dengan mudah dan juga dapat berlabuh pada kolam labuh.

Dalam perencanaan breakwater, perencanaan melalui perhitungan pendekatan deterministik terkadang pada kenyataannya tidak sesuai dengan yang diharapkan dari perencanaan perhitungannya seperti kegagalan struktur dan kegagalan umur struktur yang lebih pendek dari yang direncanakan.

Ada beberapa beberapa pertimbangan kegagalan breakwater, seperti : Pergerakan *Armour* bagian depan, belakang, bagian kaki/ berm toe, perusakan bagian armour, ketidak stabilan faktor geoteknik, dan lain-lain yang diakibatkan beberapa faktor contohnya gelombang.

Karena faktor-faktor penyebab kegagalan, maka perlu adanya analisa pendekatan lain yaitu dengan pendekatan keandalan dengan menghitung keandalan dari breakwater tersebut. Dimana nantinya diharapkan dengan pendekatan keandalan ini didapat struktur yang paling baik pada kondisi yang ada agar dapat mengurangi tingkat

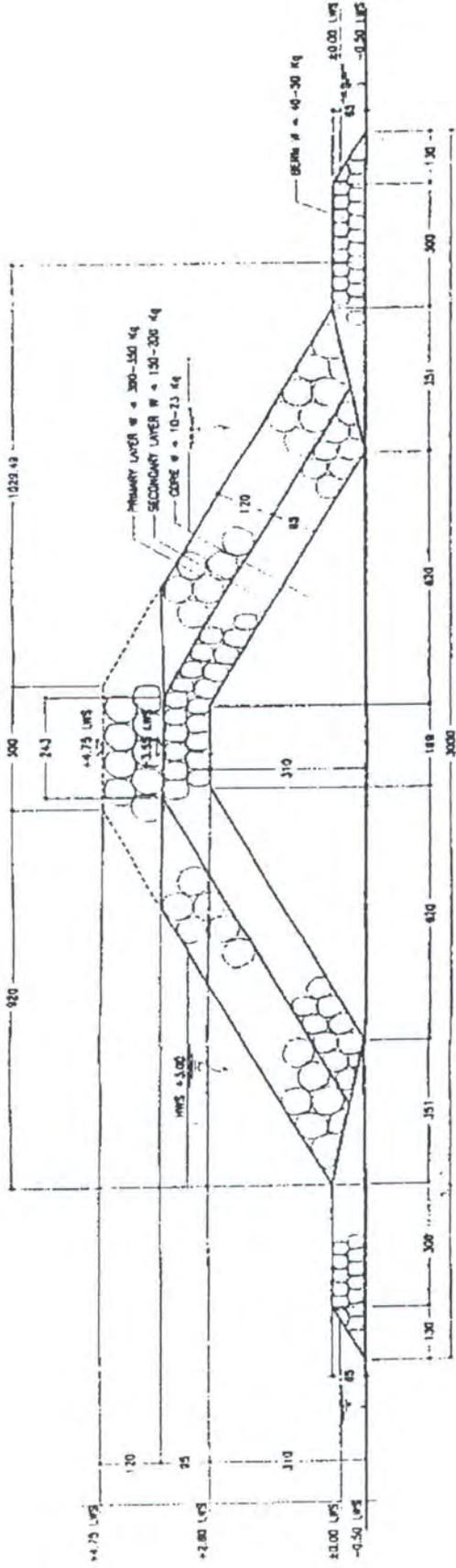
kegagalan struktur serta mengoptimalkan umur yang direncanakan dari struktur.

Untuk breakwater jenis *rubblemound* (dari tumpukan batu, seperti pada gambar 1.1.), pergerakan dan perusakan armor pada bagian depan lapisan *armour* dipertimbangkan sebagai prinsip mekanisme kegagalan dan ketidak pastian yang melekat dan sangat mungkin akan terjadi. Untuk itu sangat perlu dalam pemodelan untuk mengkarakteristikan gelombang rencana, statistik gelombang dan fisik batu sehingga peluang struktur tersebut mengalami kegagalan dapat diperkecil atau mungkin dapat dihindari, jadi struktur tersebut bisa berfungsi seperti yang direncanakan.

Struktur Breakwater yang akan dihitung keandalannya ini terletak di Kabupaten Probolinggo tepatnya di Pangkalan Pendaratan ikan (PPI) yang secara administrasi terletak di desa Sumberanyar, Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur.

Secara geografis Pangkalan Pendaratan ikan (PPI) Paiton ini terletak pada  $01^{\circ}42' 58,38''$  LS dan  $113^{\circ} 30' 48.65''$  BT.





Gambar 1.1. Rubblemound Breakwater PPI Paiton

## I.2. PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

Berapa keandalan dari struktur breakwater di PPI-Paiton seperti pada gambar 1.1 (untuk lay out dan gambar breakwater beserta elevasi-elevasinya secara jelas dapat dilihat pada lampiran), akibat beban gelombang yang menyebabkan kerusakan pada bagian depan lapisan *armour*, dengan harga-harga kriteria sebagai berikut :

- ketinggian dari tanah dasar = 5,25 m;
- harga parameter desain adalah :
  - mempunyai sudut kemiringan/*slope*( $\alpha$ ) = 2 : 1;
  - berat jenis armour = 2,50 t/m<sup>3</sup>
  - berat jenis relatif (*relative density*),  $\Delta = 1,44/m^3$
- berat dan dimensi *armour* adalah sebagai berikut :

Tabel 1.1. Berat unit dan dimensi *armour* masing-masing lapisan

Jenis Lapisan	Breakwater		
	Berat (Kg)	Diameter (m)	Tebal lapisan / ketinggian (m)
<i>Primary Layer</i>	300 – 350	0,65	1,20
<i>Secound Layer</i>	150 – 200	0,5	0,95
<i>Berm</i>	40 – 50	0,35	0,65
<i>Core</i>	10 – 23	0,20	3,6

dan dalam kondisi lingkungan sebagai berikut:

- Pasang surut : hasil pengamatan dan perhitungan yang dilakukan CV Alia yang didasarkan Konstanta Admiralty diperoleh nilai F (FormZahl)= 0,89, yang berarti bahwa pasang surut didaerah studi adalah Pasang surut campuran condong keharian ganda. Pasang surut tipe ini memperhatikan terjadinya pasang dan surut dua kali dalam satu hari dengan ketinggian pasang yang hampir sama. Sedangkan pasang tertinggi adalah  $\pm 3,00$  m dengan HWS  $+3,00$  m; MSL  $+1,50$ m dan LWS  $\pm 0,00$ m
- Arus : Arus umum bergerak dari Barat Laut keTimur, dengan kecepatan berkisar  $0,17$  m/dt.
- Angin : Kecepatan angin tahunan rata-rata distasiun Paiton menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata adalah  $2,8$  m/dt, kecepatan minimum  $0,1$  m/dt sedangkan kecepatan maksimum  $12,5$ m/dt dengan arah angin yang dominan adalah angin dari Barat Laut dan Timur Laut.
- Gelombang : berdasar pengamatan visual di lapangan dan hasil studi literatur diperoleh gambaran bahwa gelombang didaerah studi relatif kecil dengan tinggi gelombang rata-rata berkisar antara  $0,2$ - $0,5$  m dengan periode antara  $4$ - $6$  detik.
- Sedimentasi : dari hasil pengamatan visual di lapangan diperoleh gambaran bahwa jenis material dasar pantai merupakan pasir halus

sampai kasar, hanya sedikit ditemukan adanya Lumpur yang berasal dari sungai.

- Tanah : berdasarkan pengamatan visual dan hasil studi literatur jenis tanah di daerah studi terdiri dari tanah lempung berpasir dengan permeabilitas relatif tinggi, merupakan tanahaluvial dengan kohesi berat jenis dan berat volume relatif kecil, sedang plasisitas dan kadar airnya relatif cukup tinggi.

### 1.3. BATASAN MASALAH

Untuk mempersempit permasalahan dan mempermudah perhitungan maka akan dibatasi sebagai berikut :

- Struktur breakwater yang dianalisa sudah ada sehingga data-data yang dipakai merupakan data-data dari lokasi dan struktur yang ada tersebut.
- Daerah tempat struktur dan lokasi analisa adalah paiton tepatnya Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Paiton sehingga data-data fisik yang diperlukan juga di Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Paiton.
- Tipe breakwater adalah *rubblemound* breakwater dengan jenis (dilihat dari Sudut Pandang Elevasi Puncak) *non overtopping*.
- Moda kegagalan yang dianalisa adalah kerusakan armour layer akibat beban gelombang yaitu gelombang *plunging* dan gelombang *surgin*.

- Pendekatan metode analisis keandalan yang digunakan adalah metode simulasi MonteCarlo.

#### **I.4. TUJUAN DAN MANFAAT**

Adapun tujuan dan manfaat yang dapat diambil adalah :

1. Mengetahui seberapa besar beban gelombang menyebabkan peluang gagal pada *armour layer* pada struktur *rubblemound* breakwater sehingga keandalan struktur breakwater yang sudah ada tersebut (di PPI-Paiton) dapat diketahui.
2. Diharapkan menjadi bahan pertimbangan dalam mendesain suatu struktur breakwater
3. Diharapkan akan sangat berguna sebagai petunjuk untuk perkembangan baru dan arah yang lebih baik untuk pembuktian keselamatan dari desain dengan menggunakan metode yang lebih rasional dengan mengevaluasi probabilitas dari kegagalan selama umur rencana dari breakwater

#### **1.5. METODOLOGI**

Pengerjaan tugas akhir ini dapat tergambar secara grafis pada gambar 1.2. dengan rincian pengerjaan sebagai berikut :

##### **1. Start**

Memulai proses pengerjaan Tugas Akhir dengan judul “ Analisa Keandalan Struktur *Rubblemound* Breakwater Akibat Beban

Gelombang Di PPI-Paiton ”, dengan menggali dan mengkaji konsep-konsep dasar yang diambil dan digali dari referensi dan literatur diantaranya dari text book dan proseding. Kemudian dilakukan pengumpulan data awal yang diperlukan.

## **2. Analisa Perhitungan Gelombang Rencana**

Dalam Proses ini, dilakukan perhitungan peramalan gelombang seperti tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ), Periode gelombang, dan panjang gelombang.

## **3. Studi Keandalan dari *Rubblemound Breakwater***

Dalam proses ini dilakukan penggalian dan pengkajian lebih dalam dari referensi dan literatur untuk studi keandalan dari struktur *rubblemound* breakwater meliputi penetapan persamaan yang lebih spesifik yang akan digunakan dalam perhitungan, disini persamaan yang mutlak harus didapat adalah persamaan fungsi moda kegagalan.

## **4. Perhitungan Perubah Dasar Dalam Moda Kegagalan**

Setelah didapat persamaan fungsi moda kegagalan, berikutnya didapat juga parameter yang akan digunakan dalam analisa keandalan, atau dengan kata lain parameter-parameter tersebut adalah perubah dasar. seperti nilai rata-rata, koef variant dan simpangan baku dari perubah dasar

### **5. Perhitungan Dengan Metode Monte Carlo**

Setelah didapat nilai-nilai perubah dasar kemudian dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai keandalan dengan menggunakan metode Monte Carlo, perhitungan dengan metode Monte Carlo ini menggunakan perangkat lunak Monte Carlo Simulation yang dikembangkan oleh Wasis (tugas akhir tahun 1999 dengan judul : Pengembangan Perangkat Lunak Analisa Keandalan Sistem Dengan Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo )

### **6. Hasil (Nilai Keandalan)**

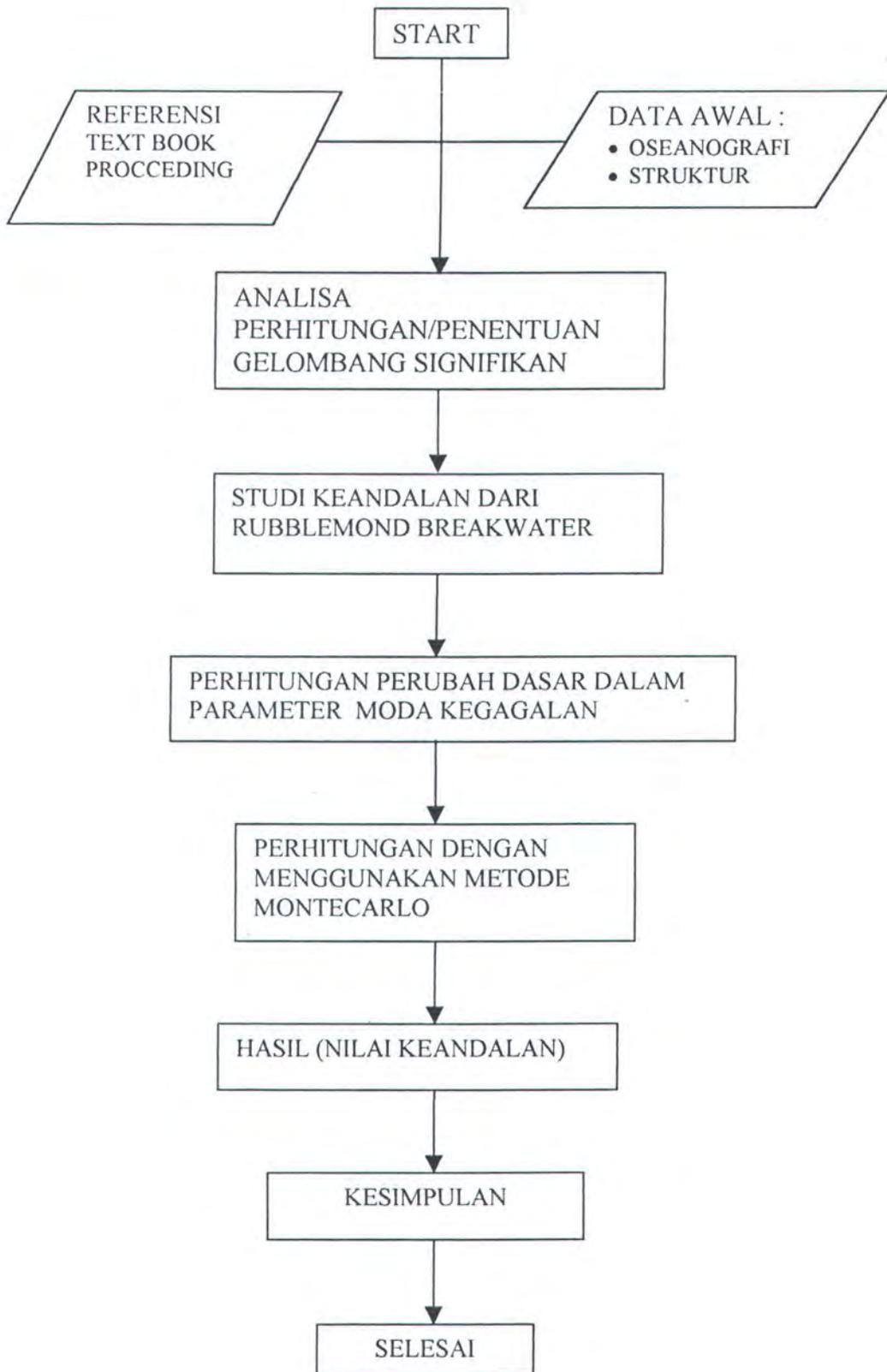
Diperoleh Keandalan setelah menjalankan metode MonteCarlo

### **7. Kesimpulan**

Didapat kesimpulan berapa besar keandalan dari struktur *rubblemound* breakwater yang dianalisa.

### **8. Selesai**

Proses Pengerjaan Tugas Akhir selesai.



Gambar 1.2. Diagram alir metodologi

## 1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut :

Dalam bab I (Pendahuluan) diuraikan mengenai Latar belakang masalah penulisan tugas akhir, Perumusan masalah yang digunakan, Batasan Masalah yang digunakan, Tujuan dan manfaat yang hendak dicapai dan diperoleh, Metodologi Penulisan, Sistematika Penulisan.

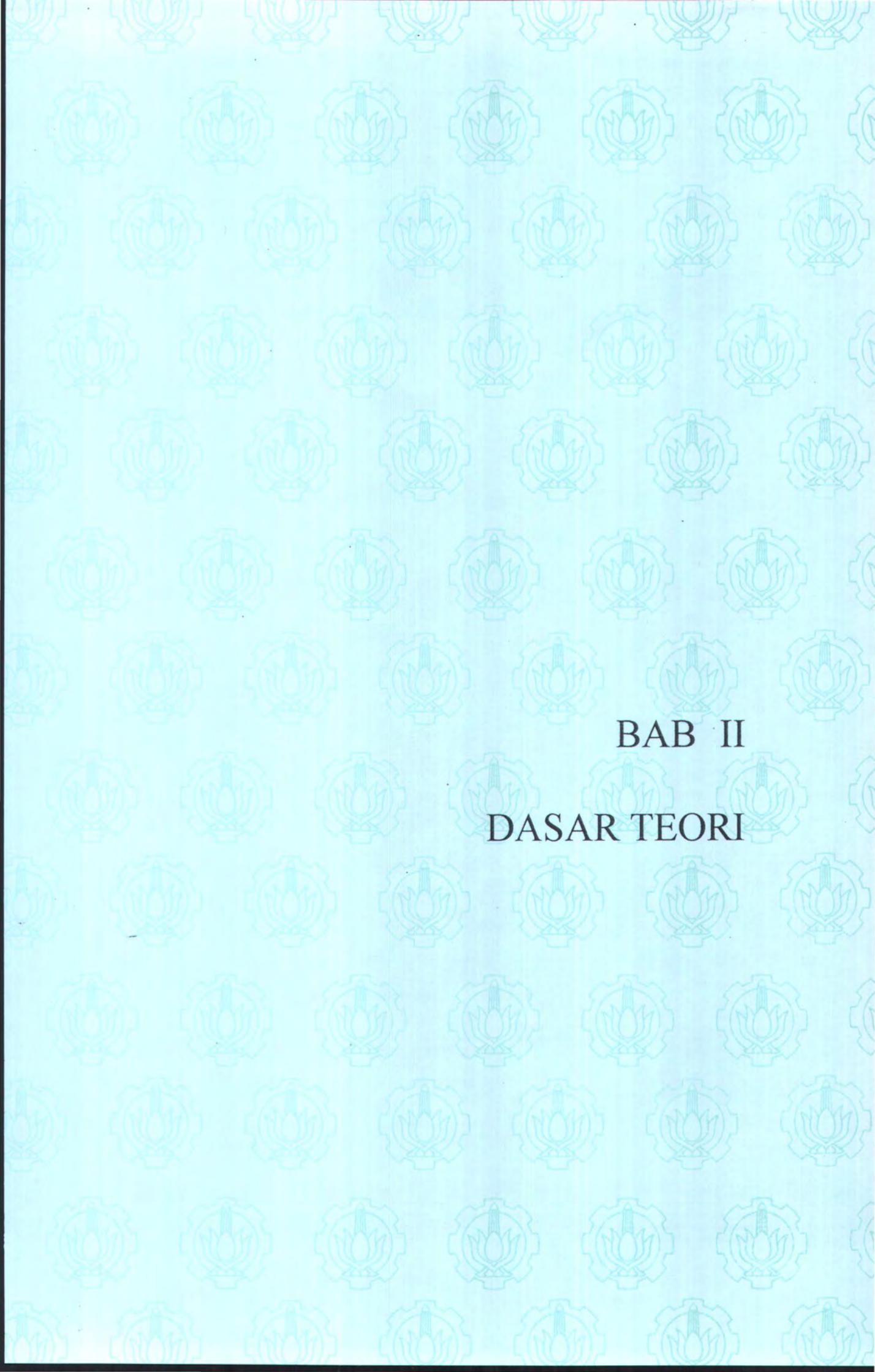
Dalam bab II (Dasar Teori) diuraikan mengenai penelitian sejenis yang telah dipublikasikan, mengenai dasar-dasar teori yang digunakan yang berhubungan dengan struktur rubblemond breakwater (termasuk didalamnya perhitungan gelombang yang menjadi beban pada struktur) dan yang berhubungan dengan analisa keandalan (termasuk didalamnya penentuan perubah dasar yang dan nilai perubah dasar itu sendiri dan uraian tentang metode yang digunakan yaitu metode montecarlo), serta persamaan-persamaan yang digunakan dalam perhitungan.

Dalam bab III (Metodologi Penelitian) diuraikan mengenai langkah-langkah dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini, mulai dari studi literatur, pengambilan data, perhitungan gelombang signifikan yang menjadi beban dari sturktur, penentuan moda kegagalan dan perubah dasarnya, analisa keandalan dengan

menggunakan metode monte carlo, sampai dengan penarikan kesimpulan dari hasil analisa.

Dalam bab IV (Hasil Dan Pembahasan) diuraikan mengenai hasil dari perhitungan secara teoritis dan hasil analisisnya. Selain itu disajikan pula pembahasan dari analisa dari metode yang digunakan.

Dalam bab V (Kesimpulan dan Saran) berisi kesimpulan dari hasil analisa dan saran-saran untuk penyempurnaan lebih lanjut atau kemungkinan pengembangan lain dari analisa tersebut.



BAB II  
DASAR TEORI

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. DINAMIKA DAN KERUSAKAN PANTAI

Pantai merupakan perbatasan antara daratan dan lautan, yaitu sebuah perairan yang sangat dinamik (Triatmadja, R., 2001). Dinamika laut tersebut disebabkan oleh pengaruh angin, gelombang angin, gelombang pasang surut, gelombang surge, tsunami dan lainnya. Gelombang-gelombang tersebut yang menjalar hingga kepantai dapat menimbulkan masalah yang sering dihadapi dalam bidang rekayasa teknik pantai, masalah tersebut antara lain bagaimana menstabilkan garis pantai, bagaimana kita melindungi daerah (daratan) dibelakang pantai, bagaimana kita menstabilkan inlet, dan terakhir bagaimana kita melindungi kawasan pelabuhan (Pratikto, et al, 1999). Angin yang menimbulkan gelombang arahnya dapat berubah dan besarnya sesuai dengan iklimnya maka arah gelombang pun akan berubah menyesuaikan. Dengan demikian dapat dikatakan banyak daerah pantai yang sifat stabilnya musiman. Garis pantai dapat berubah bentuk dan posisinya (maju atau mundur dari lokasi referensi) sesuai dengan gelombang yang menyerang.

##### 2.1.1. Kerusakan Pantai Akibat Gelombang *Surge*

Daerah pantai yang sudah stabil dapat porak poranda akibat gelombang besar *surge*. Gelombang *surge* yang disebabkan oleh tekanan udara yang besar dilaut dengan durasi yang cukup lama, dapat menyebabkan



air pasang yang jauh lebih tinggi dari biasa. Gelombang pasang ini dapat merusak menghanyutkan pohon, melongsorkan tebing dan tanggul, serta merusak struktur sipil dan juga dapat merusak perlindungan pantai seperti pemecah gelombang (dalam hal ini breakwater) tipe *rubblemound*.

### **2.1.2. Perlindungan Pantai dan Kebutuhan Pemecah Gelombang**

Hilangnya tumbuhan pelindung pantai, kerusakan pantai akibat campur tangan manusia, kerusakan pantai akibat gelombang dan lain-lain, perlu mendapat perhatian sesuai dengan prioritasnya. Pelindung pantai yang hilang atau rusak diganti dengan pelindung pantai alami maupun buatan. Kerusakan pantai perlu ditangani dengan cermat.

Beberapa macam bangunan yang dapat digunakan untuk pelindung pantai misalnya pemecah gelombang (breakwater), *groyne*, atau *jetty*, *revetment* dan *sea wall*. Walaupun nama bangunan tersebut berbeda beda tetapi sebenarnya bentuk fisik mereka mirip. Pemecah gelombang merupakan nama umum untuk bangunan yang mereduksi tinggi gelombang. Kalau pemecah gelombang ini agak jauh dari daratan dan sejajar pantai pemecah gelombang ini sering disebut sea wall. Kalau pemecah gelombang tersebut langsung berhubungan dengan pantai, maka disebut sebagai *revetment*. Dengan demikian *revetment* hanya terkena serangan gelombang dari satu sisi saja. Pemecah gelombang yang tegak lurus pantai dan biasanya relatif pendek disebut *groyne*. Jadi beberapa bangunan diatas dibedakan namanya karena tata

letaknya dipantai. Dalam penulisan ini pemecah gelombang yang dimaksud adalah breakwater.

## 2.2. PEMBANGKITAN GELOMBANG

Pembangkitan gelombang umumnya dilakukan dengan menggunakan sarana angin sebagai tenaga penggerak utama. Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air laut. Apabila kecepatan angin bertambah maka riak tersebut akan menjadi lebih besar, dan apabila angin berhembus terus menerus maka riak tersebut akan menjadi besar, dan apabila hal ini terjadi maka akan timbul yang namanya gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar pula gelombang yang terbentuk.

Tinggi dan peroda gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh angin yang meliputi kecepatan angin  $U$ , lama hembus angin, dan *fetch*  $F$ . *fetch* adalah daerah dimana kecepatan dan arah angin adalah konstan. Arah angin masih bisa dianggap konstan apabila perubahannya tidak lebih besar dari 15 derajat. Sedangkan kecepatan angin masih dianggap konstan apabila tidak melebihi 5 knot (2,5 meter/detik) terhadap kecepatan rerata. Panjang *fetch* membatasi waktu yang diperlukan gelombang untuk terbentuk karena pengaruh angin, jadi mempengaruhi waktu untuk mentransfer energi angin ke gelombang. *Fetch* ini berpengaruh pada periode dan tinggi gelombang yang

dibangkitkan. Gelombang di lautan bisa mempunyai periode 20 detik atau lebih, tetapi pada umumnya berkisar antara 10 dan 15 detik.

### 2.2.1. Angin

Distribusi kecepatan angin laut terbagi menjadi 3 daerah sesuai dengan elevasi di atas permukaan. Di daerah geostropik yang berada di atas 1000 m, kecepatan angin adalah konstan. Di bawah elevasi 100 sampai 1000 m dan daerah di mana tegangan yang konstan berda pada elevasi 10 sampai 100 m. di kedua daerah tersebut kecepatan angin dan arahnya sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperatur antara air dan udara.

Di daerah tegangan konstan, profil vertikal dari kecepatan angin mempunyai bentuk berikut :

$$U_{(y)} = \frac{U^*}{k} \left\{ \ln \left( \frac{y}{y_0} \right) - \psi \left( \frac{y}{y_0} \right) \right\} \quad (2.1)$$

Dengan

$U^*$  : kecepatan geser

$K$  : koefisien von karman (=0,4)

$Y$  : elevasi terhadap permukaan air

$Y_0$  : tinggi kekasaran permukaan

$\psi$  : fungsi yang tergantung pada perbedaan temperatur antara air dan udara

Di Indonesia  $\psi$  sangat kecil sehingga dapat di abaikan.

Untuk memperkirakan pengaruh kecepatan angin terhadap pembangkitan gelombang, parameter delta  $T_{as}$ ,  $U^*$  dan  $y_0$  harus diketahui. Beberapa rumus atau grafik untuk memprediksi gelombang didasarkan pada kecepatan angin yang diukur pada  $y = 10$  m. apabila angin tidak diukur pada elevasi 10 m, maka kecepatan angin harus dikonversi pada elevasi tersebut. Untuk itu digunakan persamaan diatas, tetapi pemakaian persamaan tersebut agak sulit karena terlebih dahulu ditentukan parameter  $U^*$ ,  $y_0$  dan  $\psi(y/L)$ . untuk memudahkan hitungan dapat digunakan persamaan yang lebih sederhana berikut :

$$U(10) = U(y) \left( \frac{10}{y} \right)^{1/7} \quad (2.2)$$

yang berlaku untuk  $y$  lebih kecil dari 20 m.

### 2.2.2 Data angin

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut atau pengukuran di darat di dekat lokasi peramalan yang kemudian dikonversi menjadi data angin di laut. Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan biasanya dinyatakan dalam knot. 1 knot adalah panjang 1 menit garis bujur melalui katulistiwa yang ditempuh dalam waktu 1 jam, atau  $1 \text{ knot} = 1,852 \text{ km/jam} = 0,5 \text{ m/det}$ .

### 2.2.3. Konversi kecepatan angin

Setelah dilakukan koreksi terhadap kecepatan angin dari ketinggian pengukuran data angin, maka perlu dilakukan juga *Stability Correction* terhadap perbedaan temperatur udara dan air dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Trihatmojo , Bambang 1996) :

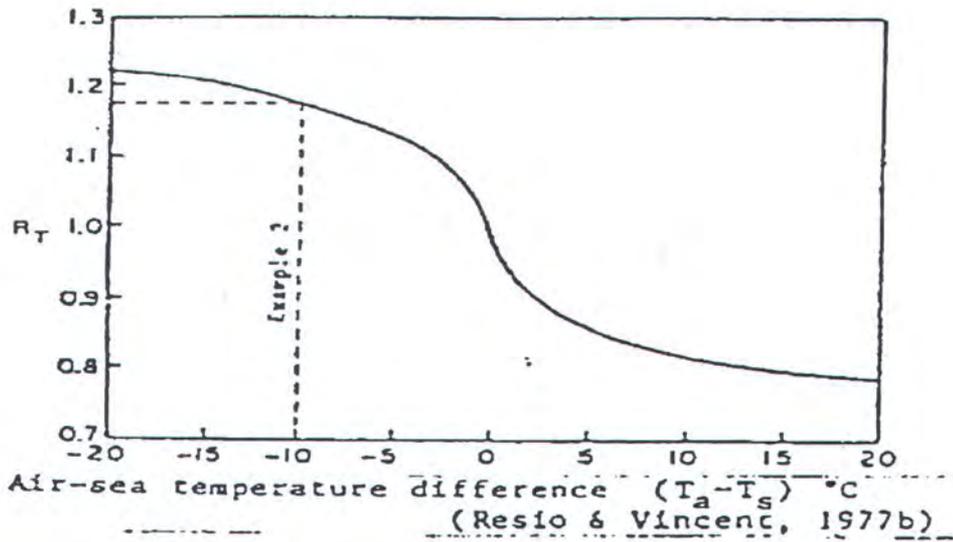
$$U = R_T R_L (U_{awal}) \quad (2.3)$$

Dimana :  $U$  = Kecepatan setelah dikoreksi

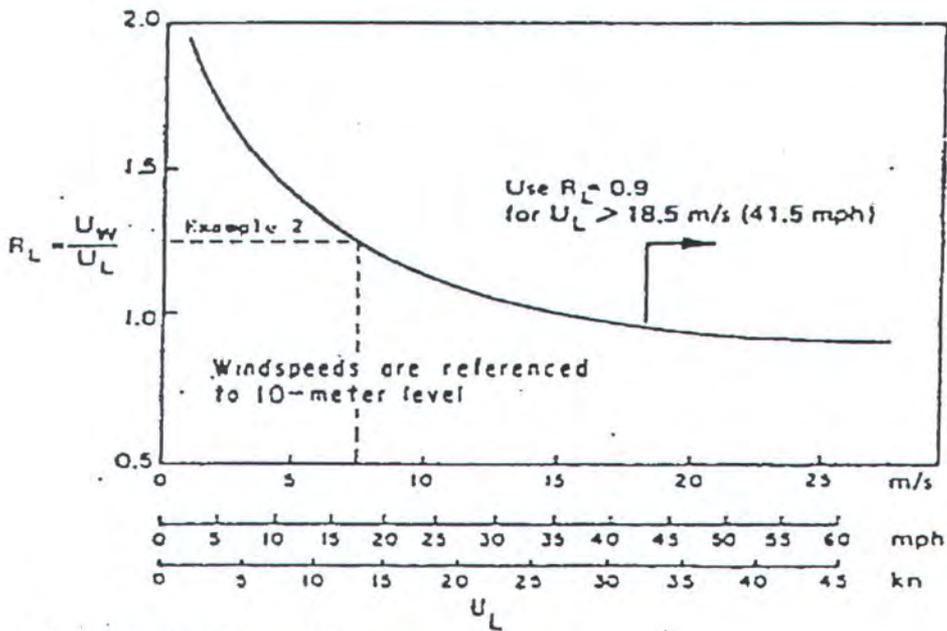
$R_T$  = Perbedaan suhu didarat dan laut nilai didapat dari grafik  
(gbr 2.1)

$R_L$  = Perbedaan kecepatan angin didarat dan laut nilai  
didapat dari grafik (gbr 2.2)

$U_{awal}$  = Kecepatan awal



Gambar 2.1. Grafik Koefisien koreksi kecepatan angin terhadap perbedaan temperatur (US Army Cerc, 1984 in Pratikto, W.A., et al, 1999)



Gambar 2.2. Grafik Koefisien koreksi terhadap pencatatan kecepatan angin didarat (US Army Cerc, 1984 in Pratikto, W.A., et al, 1999)

Rumus dan grafik pembangkitan gelombang mempunyai variabel  $U_A$ , yaitu faktor tegangan angin yang dapat dihitung dari kecepatan angin. Setelah dilakukan konversi kecepatan angin seperti yang telah dijelaskan, kecepatan angin di konversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan rumus berikut (Trihatmojo, Bambang 1996) :

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \quad (\text{pers.2.4})$$

Dimana :  $U$  = kecepatan angin dalam m/det.

$$U_A = \text{Tegangan Angin (m/s)}$$

#### 2.2.4. Fetch

Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Rumus *fetch* rerata efektif diberikan sebagai berikut :

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (2.5)$$

Dengan :

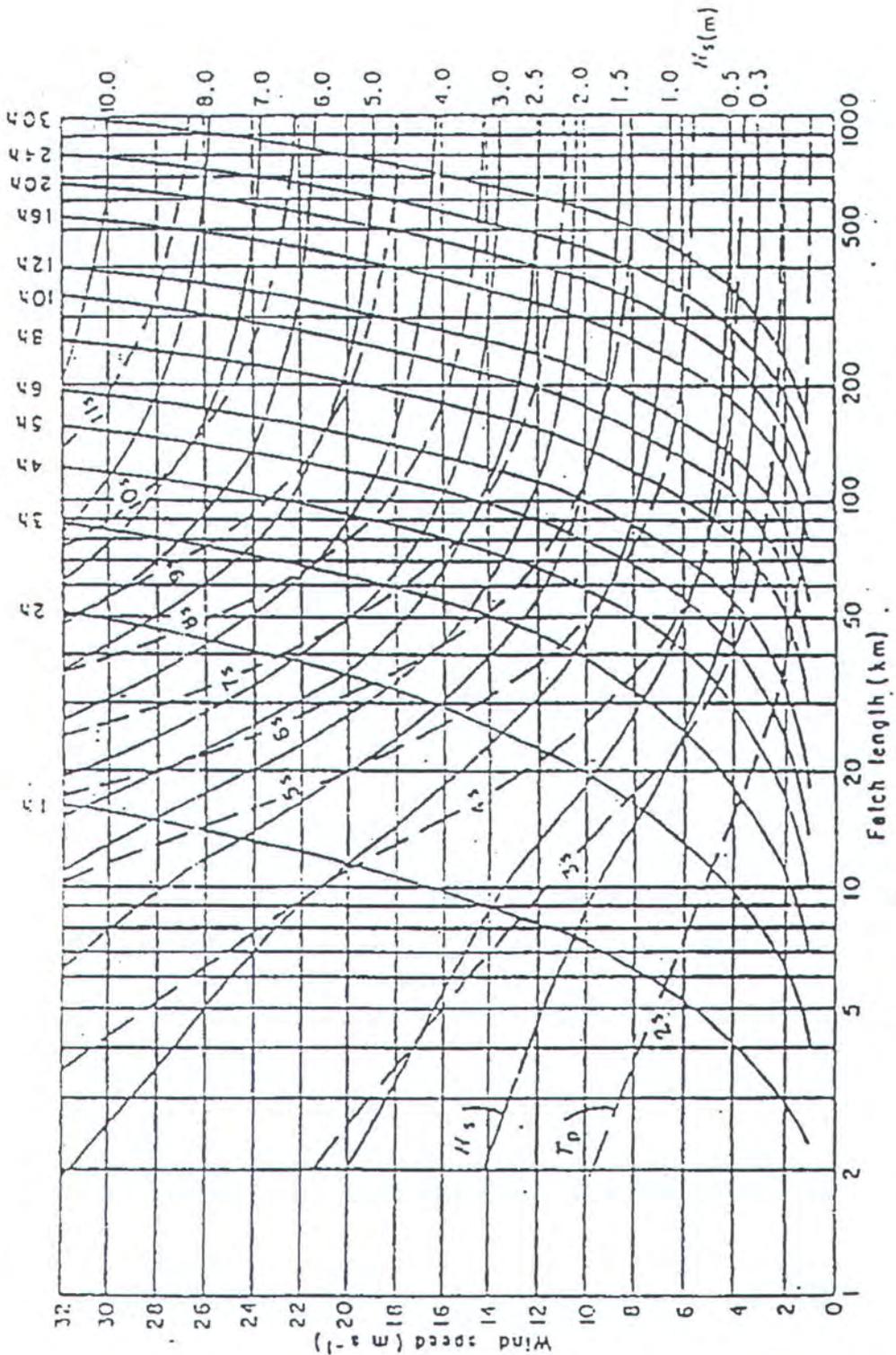
$F_{\text{eff}}$  : *fetch* rerata efektif

$X_i$  : panjang *fetch* dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*

$\alpha$  : deviasi kedua sisi arah angin, dengan pertambahan 5 – 10 derajat

Peramalan gelombang di perairan pantai :

Berdasarkan kecepatan angin, lama hembus angin dan fetch dilakukan peramalan gelombang dengan menggunakan grafik di bawah ini :



Gambar 2.3. Kurva peramalan gelombang di perairan pantai  
 (Darbyshire-Draper, 1963 in Nur Yuwono,1992)



Tinggi gelombang yang diperoleh dari peramalan gelombang adalah tinggi gelombang signifikan  $H_s$ , dengan menganggap tinggi gelombang mengikuti distribusi Rayleigh.

### 2.3. DISTRIBUSI RAYLEIGH

Dari penelitian yang dilakukan oleh *Longuet-Higgins* juga menunjukkan bahwa fungsi distribusi yang sesuai dengan gelombang laut adalah distribusi Rayleigh.

*Probability distribution function* dari distribusi Rayleigh ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$P(H > H_i) = e^{-\left(\frac{H_i}{H_{rms}}\right)^2} \quad (2.6)$$

Dengan  $H_i$  adalah tinggi gelombang yang ditentukan,  $H_{rms}$  adalah tinggi gelombang root mean square (akar rerata kuadrat) dan  $n$  adalah jumlah total data sesuai dengan persamaan dibawah ini :

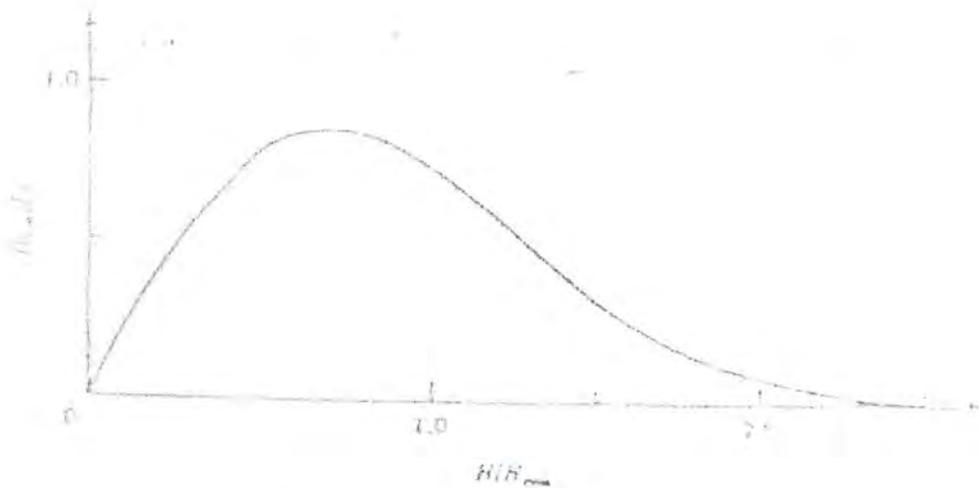
$$H_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n H^2}{n}} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7. menyatakan bahwa probabilitas terjadinya gelombang  $H$  yang lebih besar dari gelombang  $H_i$  adalah seperti ditunjukkan pada ruas kanan persamaan (2.6). Dengan demikian kurva *Probability distribution function* merupakan integrasi dari *probability density function* distribusi Rayleigh yang ditulis pada persamaan berikut :

$$P(H_i) = \frac{2H_i}{H_{rms}} e^{-\left(\frac{H_i}{H_{rms}}\right)^2} \quad (2.8)$$

Fungsi ini digambarkan dalam gambar 2.2. Fungsi ini menyatakan bahwa densitas atau kepadatan kemungkinan terjadinya gelombang  $H_i$  adalah seperti disebutkan pada ruas kanan. Satuan kepadatan probabilitas adalah %/m. semakin tinggi harga kepadatan probabilitas berarti semakin banyak probabilitas kejadian gelombang disekitar harga tersebut. Kepadatan probabilitas maksimum diperoleh dari diferensi persamaan diatas sama dengan nol dan diperoleh :

$H_i = \frac{1}{2}\sqrt{2H_{rms}}$  . Ini berarti bahwa probabilitas kejadian terbesar adalah sekitar tinggi gelombang  $H_i = \frac{1}{2}\sqrt{2H_{rms}}$  . Atau gelombang yang paling sering adalah  $H_i = 0.707 H_{rms}$ .



Gambar 2.4. Probabilitas Rayleigh fungsi densitas

Jika diyakini bahwa tinggi gelombang mengikuti distribusi Rayleigh, maka dengan menentukan salah satu rerata tinggi gelombang untuk kisaran

tertentu (misalnya  $H_{33}$ ), maka tinggi gelombang yang lain dapat ditentukan dengan mudah. Sesuai dengan distribusi Rayleigh harga tinggi gelombang rerata pada kisaran tertentu dapat dihitung dengan integrasi persamaan dibawah untuk kisaran tertentu dan direratakan, dapat ditulis sebagai :

$$H_n = \frac{\int_{H_p}^{\infty} H_i P(H_i) d(H_i)}{\int_{H_p}^{\infty} P(H_i) d(H_i)} \quad (2.9)$$

dengan  $H_p$  adalah tinggi gelombang dengan prosentase jumlah gelombang yang tingginya melebihi  $H_p$  sebesar p. Integrasi analitis persamaan 2.9. dapat dilihat pada *Dean dan Dalrympel(1984)*. Hitungan secara numerik juga dapat dilakukan dengan hasil yang cepat karena fasilitas komputer yang sudah sangat terjangkau. Dari hasil perhitungan ini dapat diketahui bahwa  $H_s$  atau ( $H_{33}$  atau  $H_{1/3}$ ) =  $H_{rms} \sqrt{2}$  (Triatmadja. R, 2001).

## 2.4. BREAKWATER (PEMECAH GELOMBANG)

### 2.4.1. UMUM

Struktur pemecah gelombang sudah dikenal sejak 2000 tahun sebelum Masehi untuk pelabuhan phonos di Mesir (Delf Hydraulic Lab, 1983). Pemecah gelombang tersebut jenis tumpukan batu dengan panjang sekitar 2800 meter. Pemecah gelombang dibuat dengan menumpuk batu-batu besar dan sela-selanya diisi dengan batu kecil. Idenya pada waktu itu mungkin sudah agak jelas. Batu besar relatif lebih stabil dibanding batu-batu kecil jika terkena serangan gelombang sedang batu kecil diperlukan untuk menutup

lubang antar batu besar sehingga gelombang dapat tertahan (transmisi gelombang kecil). Sebuah pemecah gelombang kuno juga ditemukan di Plymouth dan Cherbourg (Delf Hydraulic Lab, 1983) yang berumur lebih dari 1000 tahun. Jenis pemecah gelombangnya juga tumpukan batu.

Pada awalnya mungkin pemecah gelombang direncanakan hanya untuk perlindungan suatu daerah perairan dari serangan gelombang untuk kebutuhan pelabuhan. Namun dengan semakin tingginya perhatian manusia terhadap lingkungan, pemecah gelombang dibangun dengan maksud-maksud lain. Beberapa tujuan pembangunan pemecah gelombang diantaranya adalah : perlindungan kolam pelabuhan, perlindungan pantai, perlindungan bangunan dari serangan gelombang, pengatur arus pantai, pariwisata dermaga atau gabungan antara tujuan-tujuan tersebut. Di lokasi pariwisata misalnya pemecah gelombang dibuat sedemikian rupa sehingga selain untuk pengaman pantai berfungsi pula untuk tempat rekreasi seperti mengail, tempat duduk menikmati alam dan sebagainya.

Pada dasarnya tugas pemecah gelombang adalah :

1. Memecah energi gelombang yang datang menjadi energi lain dalam bentuk turbulensi, gesekan dan panas pada pemecah gelombang,
2. Memantulkan gelombang yang datang serta
3. Meneruskan energi gelombang yang tersisa ke belakang bangunan.

Karena sifatnya yang mereduksi energi gelombang (tinggi gelombang) tersebut, maka pemecah gelombang pemecah gelombang dapat dimanfaatkan dalam berbagai hal.

Dalam perencanaannya, pemecah gelombang yang disesuaikan dengan: fungsinya, lokasinya, ketersediaan material, kondisi lingkungan (tanah dasar dsb). Oleh karenanya pemecah gelombang dibuat beberapa macam sehingga hasilnya dirasakan optimal.

#### **2.4.2. DEFINISI BREAKWATER**

Breakwater adalah suatu bangunan pantai yang bertujuan untuk mematahkan atau menahan energi gelombang yang datang menuju pantai sehingga karakteristik gelombang yang datang sesuai dengan yang direncanakan atau disyaratkan. Jadi Breakwater merupakan bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah pelabuhan dari gangguan gelombang. Bangunan ini memisahkan daerah perairan dari laut bebas, sehingga perairan pelabuhan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar di laut. daerah perairan dihubungkan dengan laut oleh mulut pelabuhan dengan lebar tertentu, dan kapal dapat keluar masuk pelabuhan melalui celah tersebut. Dengan adanya breakwater ini daerah perairan pelabuhan menjadi tenang sehingga kapal bisa melakukan bongkar muat barang dengan mudah dan juga dapat berlabuh pada kolam labuh.

#### **2.4.3. Rubble mound Breakwater**

Adalah pemecah gelombang yang terbuat dari tumpukan batu alam atau batu buatan dengan ukuran tertentu yang disusun berlapis, dimana lapisan paling luar (utama) berukuran paling besar dan lapisan dibawahnya (lapisan

sekunder dan lapisan inti) memakai ukuran batu yang lebih kecil. Bangunan ini biasanya dibuat untuk melindungi suatu daerah tertentu, misalnya pelabuhan ataupun daerah wisata bahari (“*beach resort*”).

Dalam merencanakan breakwater data-data yang diperlukan antara lain :

- Data gelombang (minimal satu tahun terakhir).
- Pengumpulan data angin yang aktual untuk mengkalibrasi model dari angin ke gelombang.
- Pengumpulan data pasang surut.
- Pencatatan data arus.
- Survey topografi dan hidrografi.
- Studi Sedimentasi agar didapat arah gerak dan laju sedimentasi.
- Studi lingkungan.

#### **2.4.4. Jenis Breakwater (dilihat dari Sudut Pandang Elevasi Puncak).**

Breakwater dibedakan menjadi :

1. Breakwater tak terlampaui / *non overtopping*
2. Breakwater terlampaui *overtopping*
3. Breakwater bawah air.

Dalam penulisan ini jenis/tipe pemecah gelombang yang dimaksud adalah breakwater *rubble mound* dengan tipe tak terlampaui atau *rubble mound breakwater* tipe *non overtopping*.

Breakwater *non overtopping* yaitu pemecah gelombang yang direncanakan dengan tidak memperkenankan/mengijinkan air melimpas diatas pemecah gelombang tersebut.

Breakwater dapat dibuat sehingga dalam kondisi apapun tidak boleh terlampaui oleh gelombang. Hal ini menuntut elevasi yang jauh lebih tinggi dari elevasi muka air tertinggi akibat pasang surut dan tergantung pada tinggi gelombang yang menyerang. Biasanya Breakwater ini diserang oleh gelombang pada salah satu sisinya. Sisi yang lain mungkin pula terserang gelombang tetapi umumnya relatif kecil dibanding dengan gelombang yang menyerang di sisi lain yang langsung menghadap gelombang yang akan dikurangi energinya.

Breakwater tak terlampaui adalah jenis Breakwater yang paling efektif menahan gelombang sehingga sisa energi yang dilewatkan sangat sedikit. Pemecah gelombang jenis ini cocok untuk perlindungan pelabuhan yang membutuhkan perairan yang sangat tenang.

Karena demikian efektifnya menghalangi gelombang, pemecah gelombang jenis ini harus diperhitungkan efeknya pada perubahan garis pantai.

Kekurangan Breakwater tak terlampaui dipandang dari sudut ekonomi adalah biaya pembangunan yang relatif tinggi, karena puncak puncak pemecah gelombang harus dibuat tinggi. Penentuan elevasi puncak pemecah gelombang sangat tergantung pada tinggi muka air maksimum, tinggi gelombang rencana pada lokasi breakwater, *wave run-up* dan *overtopping*.

*Run up*, yaitu gelombang yang merayap naik pada lereng bangunan dapat mencapai elevasi yang tinggi atau dengan kata lain *wave run-up* adalah peristiwa merayap/melompatnya gelombang sepanjang tepi struktur tersebut.

Melihat tingginya elevasi puncak Breakwater tak terlampaui, tentu terpikirkan pula bahwa pada pantai yang indah, tempat pariwisata, pemecah gelombang jenis ini tidak akan disukai. Pemandangan alam lautan akan terhalang dinding pemecah gelombang yang menjulang tinggi. Ini adalah kelemahan jenis Breakwater tak terlampaui dilihat dari sudut pandang estetika.

Breakwater tak terlampaui dapat dibuat dengan tumpukan batu maupun dari beton masip. Secara alami, kalau dibuat dengan tumpukan batu, dinding pemecah gelombang harus dibuat miring agar stabil. Dinding beton sebaliknya dapat miring maupun tegak sesuai dengan kebutuhan.

#### **2.4.5. Prinsip Dasar Perencanaan Konstruksi Tumpukan Batu**

Breakwater tumpukan batu dibangun berlapis dengan lapisan paling luar terdiri dari batu lindung yang paling besar/berat, sedangkan makin ke dalam ukuran batunya makin kecil. Dasar perencanaan konstruksi ini adalah lapis luar akan menerima beban gaya (dari gelombang) yang paling besar, sehingga ukurannya harus direncanakan sedemikian berat hingga masih cukup stabil. Mengingat batu ukuran besar harganya lebih mahal maka bagian dalam dari pemecah gelombang dapat diisi dengan batu yang ukurannya lebih kecil. Syarat utama ukuran bahan yang dipakai lapisan dalam adalah tidak boleh tercuci lewat pori-pori/rongga lapisan luar.

Bentuk pemecah gelombang biasanya sangat ditentukan oleh bahan bangunan yang tersedia di lokasi pekerjaan. Disamping itu perlu pula ukuran batu pemecah gelombang disesuaikan dengan peralatan yang akan dipergunakan untuk membangun.

## **2.5. TEORI KEANDALAN**

### **2.5.1. Falsafah dan Urgensi Analisis Keandalan**

Didalam suatu sistem rekayasa, sesungguhnya tidak ada parameter perancangan dan kinerja operasi yang dapat diketahui dengan pasti. Hal ini karena tidak seorangpun mampu memprediksi kepastian atau ketidak pastian atas suatu kejadian tertentu. Ketidak pastian merupakan faktor yang sangat mempengaruhi keandalan. Secara garis besar, ketidak pastian dapat dikelompokkan menjadi tiga: a) variabilitas fisik, yaitu fenomena alami yang sifatnya acak atau bervariasi, b) ketidak pastian statistik didalam perkiraan nilai suatu parameter atau pemilihan distribusi, dan c) ketidak pastian didalam pemodelan yang didasarkan pada idealisasi atau pengambilan asumsi (Ang dan Tang 1975). Oleh karena itu, perancangan atau analisis atas suatu sistem rekayasa selalu mengandung ketidak pastian, yang pada gilirannya, menyebabkan ketidakandalan dalam tingkat tertentu.

Variabilitas semacam rentang (*range*), harga rata-rata (*mean*), simpangan baku (*standard deviasi*), menunjukkan ketidakpastian fisik pada besaran-besaran yang berkaitan. Pada beberapa kasus, ketidakpastian fisik dapat dikurangi dengan penerapan teknik-teknik pengendalian mutu (*Quality*

*control*) maupun pengendalian operasi. Akan tetapi pada umumnya, ketidakpastian fisik tidak dapat dikurangi dengan cara apapun. Metode statistik sering dipakai didalam menyatakan nilai suatu besaran fisik. Parameter statistik yang berupa, antara lain, rentang nilai (maximum – minimum), harga rata-rata dan simpangan baku memberi informasi yang lebih lengkap daripada hanya sebuah harga deterministik tertentu, misalnya harga rata-rata besaran tersebut. Meskipun demikian, taksiran harga statistik, misalnya nilai rata-rata dari sebuah besaran fisik, dipengaruhi oleh jumlah *sample*, atau jumlah data yang diperoleh dari pengamatan. Semakin banyak jumlah sampel, semakin dekat nilai taksiran tersebut dengan nilai sesungguhnya. Kenyataan ini menyebabkan adanya *ketidakpastian statistik* yang hanya dapat dikurangi dengan memperbesar jumlah sampel besaran tadi. Ketika jumlah sampel yang diamati sama dengan jumlah seluruh sampel dalam suatu populasi, maka ketidakpastian statistik secara definisi adalah nol, atau kepastian statistiknya adalah 100%.

*Keandalan* berarti sebuah pernyataan tentang besarnya peluang sebuah peralatan atau sistem untuk bekerja tanpa mengalami kegagalan dalam suatu kurun waktu dan lingkungan tertentu. Besarnya peluang ini dinyatakan dalam prosentase atau angka numerik antara 0 dan 1 (Rosyid, 1996).

Perlu dicatat bahwa teknik-teknik analisis keandalan tidak dapat menyelesaikan persoalan-persoalan keandalan ataupun *availability* (ketersediaan) yang rendah. Teknik-teknik analisis tersebut hanya memberikan informasi untuk menyusun sebuah kerangka bagi telaah rekayasa yang lebih

jauh atau pengambilan keputusan yang rasional dalam rangka mengubah atau mengganti komponen-komponen, merancang bangun sistem, atau meningkatkan keandalan komponen-komponen tersebut.

### 2.5.2. Definisi Keandalan

Umumnya dipahami bahwa sebuah produk yang dapat diandalkan adalah produk yang “baik”, sementara produk yang tidak dapat diandalkan disebut produk yang “jelek”. Penilaian-penilaian subyektif seperti ini tidak membantu banyak dalam perbincangan ilmiah sekalipun penilaian-penilaian tersebut dapat dipakai, dalam arti “main-main”, dalam kegiatan promosi ataupun iklan. Untuk meningkatkan kewaspadaan dan pemahaman yang lebih mendalam tentang keandalan, kita memerlukan sebuah definisi keandalan yang lebih jelas, dan lugas, namun sekaligus mudah untuk dikembangkan untuk keperluan analisis keandalan.

Terdapat beberapa definisi keandalan yang diajukan oleh lembaga, ataupun peneliti, dan kebanyakan dari definisi tersebut memakai kata-kata yang serupa dan secara afektif mempunyai arti yang sama. Dalam risalah ini, keandalan didefinisikan sebagai berikut :

“ Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah *peluang komponen* atau *sistem* tersebut untuk memenuhi *tugas* yang telah ditetapkan tanpa mengalami *kegagalan* selama kurun waktu tertentu apabila *dioperasikan dengan benar* dalam *lingkungan* tertentu” (Rosyid,1996).

- *Peluang*



Peluang merupakan konsep yang agak asing bagi kebanyakan orang, namun tampaknya lebih mudah dipahami dalam konteks arti “kesempatan”. Makna khusus peluang dalam perbincangan keandalan adalah bahwa sebuah kejadian (*event*), tidak dapat diramalkan dengan pasti.

Peluang sebuah kejadian dapat dipandang sebagai besarnya kesempatan kejadian tersebut terjadi. Dalam kerangka teori himpunan, maka seluruh luasan dalam semesta  $S$  mencerminkan peluang semua kejadian-kejadian yang mungkin terjadi dalam konteks tertentu. Peluang sebuah kejadian tunggal atau majemuk dalam keseluruhan sample space di  $S$ , dicerminkan oleh luasan himpunan yang beranggotakan kejadian-kejadian yang dimaksud dalam semesta  $S$ .

- *Komponen, perangkat, Sistem*

Sebuah komponen dipahami sebagai bagian terkecil dari sebuah perangkat, atau sistem, yang apabila mengalami kegagalan biasanya diganti dengan komponen yang baru, namun kadang-kadang direparasi pada saat rusak.

Teknik analisis keandalan bagi komponen, perangkat, dan system dapat berbeda-beda. Oleh karena itu, penting sekali sebelum analisis dimulai, obyek analisis didefinisikan secara lugas. Ini disebabkan karena persepsi hirarki obyek dapat berbeda untuk pengambil keputusan dengan hirarki tanggung jawab yang berbeda tingkatnya.

- *Tugas*

Dalam lingkungan yang lebih ganas, peluang kegagalan sebuah komponen atau system pada awal masa kerjanya akan bertambah besar.

Tugas yang diharapkan dari sebuah komponen atau system harus didefinisikan secara lugas dalam spesifikasi komponen atau system tersebut. Ini disebabkan karena spesifikasi ini menentukan tingkat pembebanan yang akan terjadi selama operasi normalnya.

- *Kegagalan*

Untuk melakukan penggolongan macam kegagalan, dapat dipermudah menghubungkannya dengan cara atau moda (*modes*), sebab (*causes*), dan akibatnya (*effect*). Suatu moda kegagalan adalah cara bagaimana sebuah kegagalan mewujud.

- *Waktu*

Sampai disini harus ditekankan bahwa secara ideal perubah-perubah yang secara langsung mempengaruhi terjadinya sebuah kegagalan komponen harus dipergunakan untuk mendefinisikan keandalan komponen tersebut. Seringkali, jumlah siklus kerja (atau pembebanan) yang dilakukan oleh sebuah komponen merupakan factor yang menentukan kegagalannya; jadi, bukan waktu kalender.

- *Dioperasikan dengan benar*

Tentu mudah dipahami bahwa penyalahgunaan (*misuse*), atau penggunaan berlebihan (*abuse*) atas sebuah komponen, perangkat, atau system dapat menimbulkan pengaruh yang merugikan pada keandalannya. Oleh

karena itulah penting sekali bagi seorang perancang dan manajer jaminan produk untuk menspesifikasikan harga-harga batas (pembebanan) yang dapat diterima oleh produk. Ini mensyaratkan pemahaman yang memadai atas kualifikasi dan tingkat ketrampilan pembeli, dan memerlukan standard yang tinggi dalam perencanaan manual (buku petunjuk) operasi dan pemeliharaan produk tersebut.

- *Lingkungan*

Semakin besar beban yang dikenakan oleh lingkungan pada sebuah komponen, maka peluang kegagalannya semakin bertambah besar. Sebuah perangkat yang dirancang untuk kondisi tropis tentu akan semakin mudah mengalami kegagalan bila dipakai dalam kondisi kutub

### 2.5.3. Konsep KetidakPastian

Adanya ketidakpastian mempunyai peluang terjadinya kejadian tersebut yang dapat dimasukkan ke dalam range 0 sampai 1 (O'Connor, 1991). Jika peluang terjadinya suatu kejadian sama dengan 0, artinya kejadian tersebut tidak akan pernah terjadi. Sebaliknya peluang terjadinya sama dengan 1, kejadian tersebut pasti terjadi. Jika  $N$  kali percobaan terjadi  $n$  kali mengalami kerusakan, maka peluang terjadinya kerusakan dapat ditulis dalam persamaan sebagai berikut (Ramakumar, 1993) :

$$P_g = \frac{n}{N} \quad (2.10)$$

Dimana  $P_g$  adalah peluang terjadinya kegagalan yang merupakan nilai estimasi dan bukan merupakan nilai yang benar (*Exact*). Nilai exact dari peluang tersebut adalah sebagai berikut :

$$P_g = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N} \quad (2.11)$$

#### 2.5.4. Hubungan Keandalan dan Ketidakandalan

Adanya ketidakpastian menimbulkan persoalan-persoalan keandalan, atau ketidakandalan. Karena terjadinya kegagalan mengakibatkan berbagai konsekuensi teknis dan ekonomis, maka ini selanjutnya menimbulkan resiko (*risk*). Hubungan antara keandalan  $K$ , ketidakandalan  $P_g$  – peluang terjadinya kegagalan-, resiko  $R$  dan konsekuensi kegagalan  $C$  dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$K = 1 - P_g \quad (2.12)$$

$$R = P_g \times C \quad (2.13)$$

#### 2.5.5. Metode Analisis Keandalan

Untuk melakukan analisis kegagalan dan keandalan atas sebuah system rekayasa, pertama-tama yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi *input* (masukan) dan *output* (keluaran) system tersebut. Sebagaimana telah didefinisikan diatas, *Keandalan* adalah sebuah pernyataan tentang besarnya peluang sebuah peralatan atau sistem untuk bekerja tanpa mengalami kegagalan /sukses menjalankan tugasnya dalam suatu kurun waktu tertentu dan lingkungan tertentu pula yang besarnya peluang ini dinyatakan dalam

prosentase atau angka numerik antara 0 dan 1. kemampuan suatu system untuk bekerja dengan persyaratan tertentu dapat didefinisikan menggunakan beberapa istilah, misalnya kapasitas dan kebutuhan (*capacity and demand*), beban dan kekuatan (*load and strength*) atau gaya dan tahanan (*force and resistance*). System rekayasa disini meliputi system yang sedang dirancang dimana sebagian besaran berubah (variabel) masih berupa skenario, maupun system yang sedang dianalisis dimana konfigurasi (layout, bahan, ukuran, dan sebagainya) sudah diketahui. Hasil analisis ini kemudian dapat dipakai sebagai pijakan untuk mengambil keputusan atas kelaikan system tersebut dilihat dari sudut keandalannya. Misalnya, bila ternyata skenario sistem yang sedang ditinjau memiliki karakteristik keandalan yang tidak memadai, maka rancang bangunnya (tataletak, bahan, ukuran dan sebagainya) perlu diubah sampai diperoleh konfigurasi yang memadai, atau optimum menurut arti tertentu.

Beberapa metode analisis keandalan antara lain : (1) analisis Diagram Blok Keandalan (*Reliability Blok Diagram RBD Analysis*), (2) *Fault Tree Analysis* (FTA), (3) Metode *Mean Value First Order Second Moment* (MVFOSM), (4) Metode *Advanced First Order Second Moment* (AFOSM), dan (5) Metode Simulasi Monte Carlo.

Metode RBD dan FTA dapat dipakai untuk analisis system secara umum, terutama untuk system-sistem mekanik dan elektronik. RBD dipakai untuk system dengan isu keandalan dominan (system persenjataan atau alat-alat elektronik, semetara FTA dipakai untuk system dengan isu ketidakandalan dominan (reactor nuklir, instalasi produk kimia beracun, dan sebagainya).

Metode MVFOSM maupun AFOSM umumnya dipakai untuk analisis keandalan system rekayasa, terutama banyak dijumpai penerapannya untuk analisis komponen struktur. Simulasi Monte Carlo dapat dipakai untuk analisa keandalan secara umum, misalnya untuk bidang rekayasa, sains murni, ekonomi dan sebagainya.

Dalam penyelesaian Tugas akhir ini metode analisis keandalan yang digunakan adalah metode simulasi MonteCarlo, yang akan di bahas di bagian bawah.

## **2.6. Keandalan Pada Rubble Mound Breakwater**

Untuk mengetahui faktor keandalan struktur dan keandalan stabilitas dari rubble mound breakwater, dalam hal kekuatan struktur dalam menerima beban gelombang perlu dilakukan analisa keandalan breakwater dengan menggunakan konsep angka keamanan (*safety factor*) dengan mengalikan faktor kekuatan perancangan struktur dan faktor kekuatan stabilitas dari daya dukung tanah.

Dasar pemikiran dari konsep diatas sebenarnya bersumber dari adanya ketidaktentuan baik dari efek beban maupun kekuatan struktur serta kekuatan stabilitas, Thoft-Christensen and Baker (1982) membagi ketentuan ini menjadi tiga beban :

1. Ketidaktentuan fisik yang berkaitan dengan variabilitas baik dari efek beban maupun dari dimensi suatu alat tersebut.

2. Ketidaktentuan statistik yang berhubungan erat dengan pengolahan data yang dipakai untuk membua model probabilistic dari berbagai keanekaragaman fisik diatas, seperti rentangan harga-harga maupun simpangan baku dari besaran tertentu.
3. Ketidak tentuan model yang berhubungan dengan respon alat yang dimodelkan secara sistematis, yaitu adanya asumsi dan kondisi batas.

Pada desain konvensional dari struktur, nilai karakteristik dari parameter tekanan dan parameter beban digunakan sebagai rekomendasi dalam praktek desain pada umumnya, tapi variasi acak tidak dipertimbangkan secara eksplisit pada evaluasi dari keamanan struktur. Bagaimanapun juga desain dari struktur pantai berwujudkan derajat yang besar dari ketidak pastian dan dari sifat yang berubah-ubah pada kapasitas struktur serta intensitas beban potensial. Oleh karena itu, penting kiranya untuk mengevaluasi keamanan dari struktur pantai dengan menggunakan metode probabilistik dimana parameter desain dimodelkan sebagai variabel acak (Ergin and Balas, 1998 in Balas, et al, 1999). Dalam metode ini, Keamanan dan kemampuan pelayanan dari struktur laut dievaluasi dengan memodelkan variabel acak dengan menggunakan distribusi probabilitas pada kondisi batas. Karena itu, tingkatan keandalan dimana kelangsungan hidup dari struktur pantai selama periode dari buku keterangan dan kondisi lingkungan yang diijinkan, dapat ditentukan pada fase desain (Ergin and Balas, 1997 in Balas, et al, 1999).

### 2.6.1. Distribusi Normal yang Ekuivalen

Parameter beban yang paling penting pada desain Breakwater adalah tinggi gelombang yang mana digambarkan dengan distribusi non-normal. Probabilitas kegagalannya mungkin dievaluasikan dengan mempergunakan distribusi normal yang ekuivalen dari variabel non normal dimana bebas secara statistik. Distribusi normal yang ekuivalen dapat dihasilkan dengan mengaplikasikan algoritma Rackwitz (1976) dimana densitas probabilitas dan ordinat probabilitas kumulatif dari distribusi normal yang ekuivalen adalah diberikan sama dengan seperti pada ditribusu non-normal pada *point* desain. Distribusi probabilitas kumulatif pada point kegagalan diberikan sbb:

$$F_{x_j}(x_j) = \Phi\left(\frac{x_j^* - \mu_{x_j}^N}{\sigma_{x_j}^N}\right) = \Phi(z_j^*) \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (2.14)$$

Dimana :

$X_j$  = Variabel acak dalam fungsi kegagalan dimana tidak dimodelkan menggunakan distribusi normal.

$X_j^*$  = Harga *point* desain dari variabel non-normal  $X_j$ .

$\mu_{x_j}^N$  = Nilai rata-rata distribusi normal yang ekuivalen untuk variabel acak  $X_j$ .

$\sigma_{x_j}^N$  = Nilai standard deviasi dari distribusi normal yang ekuivalen untuk  $X_j$ .

$F_{x_j}(x_j^*)$  = Fungsi distribusi kumulatif non-normal asal dari  $X_j$ , yang dievaluasikan ke *point* desain.

- $\Phi$  = Fungsi distribusi normal standard kumulatif.
- $Z_j^*$  = Nilai *Point* desain dari perubah normal standard.
- M = Angka variabel non normal dalam fungsi kondisi batas.

Dari persamaan(4) nilai rata-rata dari distribusi normal yang ekuivalen adalah :

$$\mu_{x_j}^N = x_j^* - \sigma_{x_j}^N \Phi^{-1} [F_{x_j}(x_j^*)] \quad (2.15)$$

ordinat densitas probability dari distribusi disajikan pada point kegagalan sbb:

$$f_{x_j}(x_j^*) = \frac{1}{\sigma_{x_j}^N} \Phi \left( \frac{x_j^* - \mu_{x_j}^N}{\sigma_{x_j}^N} \right) = \frac{\varphi(z_j^*)}{\sigma_{x_j}^N} \quad (2.16)$$

dimana,  $\varphi$  = fungsi densitas probability dari distribusi normal standard dan  $f$  = distribusi non-normal asal. Kemudian, nilai standard deviasi dari distribusi normal yang ekuivalen didapat :

$$\sigma_{x_j}^N = \frac{\varphi\{\Phi^{-1}[F_{x_j}(x_j^*)]\}}{f_{x_j}(x_j^*)} \quad (2.17)$$

Hasilnya, perubahan adalah dasar dari penggantian distribusi non-normal dari variabel dasar  $X_j$  dengan menggunakan distribusi normal yang ekuivalen seperti disebutkan, fungsi distribusi kumulatif dan densitas tidak berubah pada desain utama. Dengan mengikuti perubahan ini, index keandalan dan probabilitas kegagalan tahunan dari struktur pantai, yang di pengaruhi oleh distribusi ekstrim tinggi gelombang dengan waktu yang lama, dapat ditentukan dengan cara yang sama dengan menggunakan turunan algoritma

variabel distribusi normal dari fungsi kinerja yang dilinierkan. Untuk contoh, perubah normal standard dan koordinat utama dari desain ditentukan sbb:

$$Z_j = \frac{X_j - \mu_{x_j}^N}{\sigma_{x_j}^N} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (2.18)$$

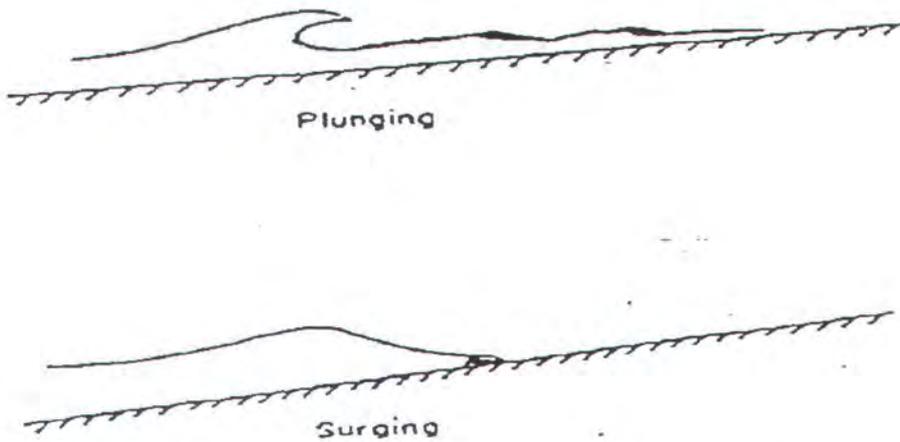
$$x_j^* = \mu_{x_j}^N - \alpha_j^* \sigma_{x_j}^N \beta_{III} \quad (2.19)$$

### 2.6.2. Persamaan Kondisi Batas Untuk Lapisan Armor

Untuk model keandalan diperlukan fungsi kegagalan yang dihasilkan dari persamaan Van der Meer. Fungsi kegagalan tersebut adalah untuk gelombang *plunging* dan gelombang *surging*.

Gelombang *plunging* dan gelombang *surging* merupakan dua dari empat kategori klasifikasi dari gelombang pecah, dimana gelombang pecah digambarkan sebagai berikut, panjang gelombang akan berangsur-angsur kurang, sementara tinggi gelombang akan bertambah tinggi pada saat gelombang menuju perairan dangkal, kemiringan gelombang akan bertambah besar karenanya, dan pada akhirnya gelombang akan pecah pada kedalaman tertentu. Pecahnya gelombang ini dikarenakan dalam penjarannya kecepatan partikel air,  $u$  menjadi lebih besar dari *celerity* gelombang, sehingga partikel akan keluar dari profil gelombang. Gelombang pecah berarti juga terjadi dissipasi energi, dimana energi kinetik ditransformasikan kedalam panas dengan derajat tinggi turbulensi. Parameter nondimensional yang sangat penting dan banyak digunakan untuk mengatasi berbagai macam jenis

permasalahan perlindungan pantai disebut sebagai angka Iribaren (Schiereck, 1998 in Pratikto, et al, 1999).



Gambar 2.5. Gelombang *plunging* dan gelombang *surging*  
(Pratikto, W.A., et al ,1999)

Gelombang *Plunging* : Terjadi apabila kemiringan gelombang dan dasar laut tidak terlalu besar sehingga gelombang pecah dgn puncak gelombang memutar yang berbentuk runcing dan melengkung dan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan jadi bentuk puncaknya runcing dan melengkung sehingga akhirnya jatuh pada dasar dari bagian muka gelombang. Energi gelombang pecah dihancurkan dalam turbulensi, sebagian kecil dipantulkan pantai ke laut, & tidak banyak gelombang baru terjadi pada air yg

lebih dangkal. Gelombang *Plunging* terjadi di perairan dangkal dan perairan dalam.

Gelombang *Surging* : Terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti yg terjadi pada pantai berkarang. Daerah Gelombang pecah sangat sempit, dan sebagian besar energi dipantulkan kembali ke laut dalam. Puncak dan muka gelombang mempunyai bentuk yang hampir stabil, bentuknya bergelombang tergantung dari kemiringan pantai. Gelombang ini bergerak ke depan sebagai gelombang berdiri atau gelombang yang terpantulkan. Gelombang *Surging* hanya terjadi di perairan dangkal saja.

Dalam tampilan model keandalan, fungsi kegagalan yang dihasilkan dari persamaan Van der Meer merupakan fungsi dari variabel dasar :  
 $g=f(H_s, \Delta, D_n, \xi_z, \cot \alpha, S, N, P, Y)$ .

Fungsi kegagalan gelombang *plunging* ( $g_1$ ) adalah :

$$g_1 = Y_1 S^{0.2} P^{0.18} \cot \alpha^{0.5} \Delta D_n - H_s \left( \frac{H_s}{L_z} \right)^{-0.25} N^{0.1} \quad (2.20)$$

dan fungsi kegagalan untuk gelombang *surging* ( $g_2$ ) :

$$g_2 = Y_2 S^{0.2} P^{-0.13} \cot \alpha^{(0.5-P)} \Delta D_n - H_s \left( \frac{H_s}{L_z} \right)^{0.5P} N^{0.1} \quad (2.21)$$

Dimana :

$H_s$  = Rencana Tinggi gelombang significant.

$L_z$  = Panjang gelombang dikedalaman air,

$$= \frac{g T_z}{2\pi} \quad (2.22)$$

$\Delta$  = densitas masa relatif batu

- $D_n$  = Diameter nominal batu
- $P$  = Permeabilitas struktur.
- $S$  = Tingkat kerusakan, dimana untuk awal dari level kerusakan nilai  $S=2$  dengan menggunakan metode perencanaan umum. Pada analisa berdasar keandalan, probabilitas kejadian dari level kerusakan ( $S=2$ ) di evaluasikan untuk jarak dari nilai diameter nominal yang probable/mungkin dan alternatif variasi umur (Balas, et al, 1999).
- $N$  = Jumlah gelombang (durasi badai)
- $Y_i$  = Tanda variabel *stochastic* ketidak pastian dari persamaan, terkumpul dalam masa resistensi.
- Untuk gelombang *plunging*, nilai rata-rata  $Y_1$  adalah 6.2 dan gelombang *surgin* nilai rata-rata  $Y_2$  adalah 1.

## 2.7. Simulasi Monte Carlo

Suatu sistem rekayasa dapat dipelajari dengan membuat serangkaian percobaan secara fisik menggunakan model yang merefleksikan karakter-karakter pokok dari system itu. Percobaan menggunakan model dimaksudkan untuk mensimulasikan kenyataan riil dengan cara mereproduksi karakteristik *prototype* (kenyataan). Proses simulasi memperkirakan respon atau kinerja suatu system menggunakan serangkaian nilai dari parameter atau variable dari system tersebut. Pemodelan dapat dilakukan menggunakan model matematik ataupun numerik menggunakan fasilitas komputer. Dengan demikian, simulasi secara umum dapat didefinisikan sebagai proses replikasi dunia nyata

berdasarkan serangkaian asumsi dan model atas kenyataan tersebut (Rosyid dan Mukhtasor,2002).

Dalam penerapannya, disamping simulasi fisik, simulasi teoritik banyak juga dilakukan. Dan saat ini, percobaan atau simulasi numeric merupakan metode yang semakin populer untuk analisa system, terutama dipengaruhi oleh kemajuan teknologi komputer. Pada beberapa bidang, simulasi numeric lebih banyak dilakukan daripada percobaan fisik. Hal ini disebabkan karena percobaan numerik dapat dilakukan lebih fisibel untuk memberikan representasi lebih detail mengenai sistem yang sedang dipelajari, disamping membutuhkan biaya yang lebih murah. Idealnya, dua pendekatan percobaan ini dapat dilakukan, dimana hasil percobaan fisik dapat dipakai untuk mengkalibrasi hasil percobaan numerik.

Metode simulasi Monte Carlo merupakan salah teknik analisa yang dipakai untuk memperkirakan (menghitung, menganalisa) keandalan suatu sistem rekayasa. Ini berarti, bahwa konfigurasi (lay out, bahan, dsb) dari sistem-sistem tersebut sudah diketahui. Hasil analisa ini dapat dipakai sebagai pijakan untuk mengambil keputusan atas kelaikan sistem tersebut dilihat dari sudut keandalannya. Bila ternyata sistem tersebut memiliki karakteristik keandalan yang tidak memadai, maka rancang bangunnya perlu diubah sampai diperoleh konfigurasi yang memadai, atau optimum menurut arti tertentu (Rosyid dan Mukhtasor,2002).

Ketika suatu system yang sedang dipelajari mengandung variable atau parameter yang memiliki nilai random, atau mengandung perubah acak, maka



metode simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk memecahkan masalah ini. Karakteristik pokok simulasi Monte Carlo adalah bahwa pada simulasi ini, suatu set nilai dari tiap-tiap variable (satu nilai untuk setiap variable) dari suatu system disimulasikan berdasarkan distribusi peluangnya, misalnya berdasarkan fungsi kerapatan peluang tiap-tiap variable tersebut. Untuk setiap set ini, respon atau kinerja system dihitung berdasarkan fungsi kinerja dari system tersebut. Perhitungan respon atau kinerja system ini bersifat deterministic untuk suatu set nilai dari setiap variable. Prosedur ini diulang-ulang sampai diperoleh sekumpulan nilai dari respon atau kinerja system tersebut, sehingga pada akhir simulasi akan diperoleh sekumpulan data respon atau kinerja system. Sekumpulan data ini dapat dianggap sebagai sample data, dengan mana analisa statistik dapat dilakukan untuk menentukan nilai rata-rata, simpangan baku, bahkan distribusi dari respon atau kinerja system tersebut.

Dengan bantuan komputer yang semakin besar kemampuannya dalam mengolah data, simulasi Monte Carlo dapat merupakan alternatif metode yang lebih bermanfaat, bahkan untuk analisis system-sistem yang kompleks. Simulasi dapat dilakukan tanpa harus melakukan penurunan parsial dan menyelesaikan suatu system persamaan simultan sebagaimana pada metode MFOSM dan AFOSM. Simulasi Monte Carlo ini dapat dipakai untuk analisis sistem maupun komponen. Bila persoalan fungsi kinerja ( $F_k(x)$ ) sangat non-linier, maka metode simulasi Monte Carlo ini merupakan metode yang bermanfaat. Dalam menyelesaikan persoalan metode ini menggunakan system

persamaan simultan yang memerlukan sebuah Random Number Generator (RNG). Unsur pokok yang diperlukan didalam simulasi Monte Carlo adalah sebuah *Random Number Generator*. Hal ini karena, secara teknis prinsip dasar metode simultan Monte Carlo sebenarnya adalah sampling numeric dengan bantuan Random Number Generator (RNG), dimana simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sample dari perubah acak berdasarkan distribusi peluang perubah acak tersebut. Ini berarti, simulasi Monte Carlo mensyaratkan bahwa distribusi peluang dari perubah acak yang terlibat didalam system yang sedang dipelajari telah diketahui atau dapat diasumsikan. Sample yang telah diambil tersebut dipakai sebagai masukan kedalam persamaan fungsi kinerja  $FK(X)$ , dan harga  $FK(X)$  kemudian dihitung. Untuk suatu fungsi kinerja tertentu, misalnya, setiap kali  $FK(X) < 0$ , maka system/komponen yang ditinjau dianggap gagal. Jika jumlah sample tersebut adalah  $N$  (atau replikasi sejumlah  $N$ ), maka dapat dicatat kejadian  $FK(X) < 0$  sejumlah  $n$  kali. Dengan demikian, peluang kegagalan system/komponen yang sedang ditinjau adalah rasio antara jumlah kejadian gagal dengan jumlah sample atau replikasi,  $P_g = n / N$ .

Persoalan utama didalam simulasi Monte Carlo adalah bagaimana mentransformasikan angka acak yang dikeluarkan oleh randomnumber generator (RNG) menjadi besaran fisis yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluangnya ( $f_{kp}$ )-nya. Ini disebabkan karena angka acak yang dikeluarkan oleh RNG memiliki *f<sub>kp</sub> uniform*, sedangkan perubah dasar dalam  $FK(X)$  seringkali tidak demikian (missal terdistribusi secara normal, lognormal, dan

sebagainya). RNG yang disediakan ini hampir selalu berbentuk linier congruential generator yang mengeluarkan suatu deretan bilangan cacah (integer)  $I_1, I_2, I_3, \dots$  masing-masing antara 0 dan  $m+1$  dengan menggunakan sebuah relasi rekurens sebagai berikut :

$$I_{j+1} = a \cdot I_j + c \pmod{m}$$

Dimana :

$m$  = modulasi

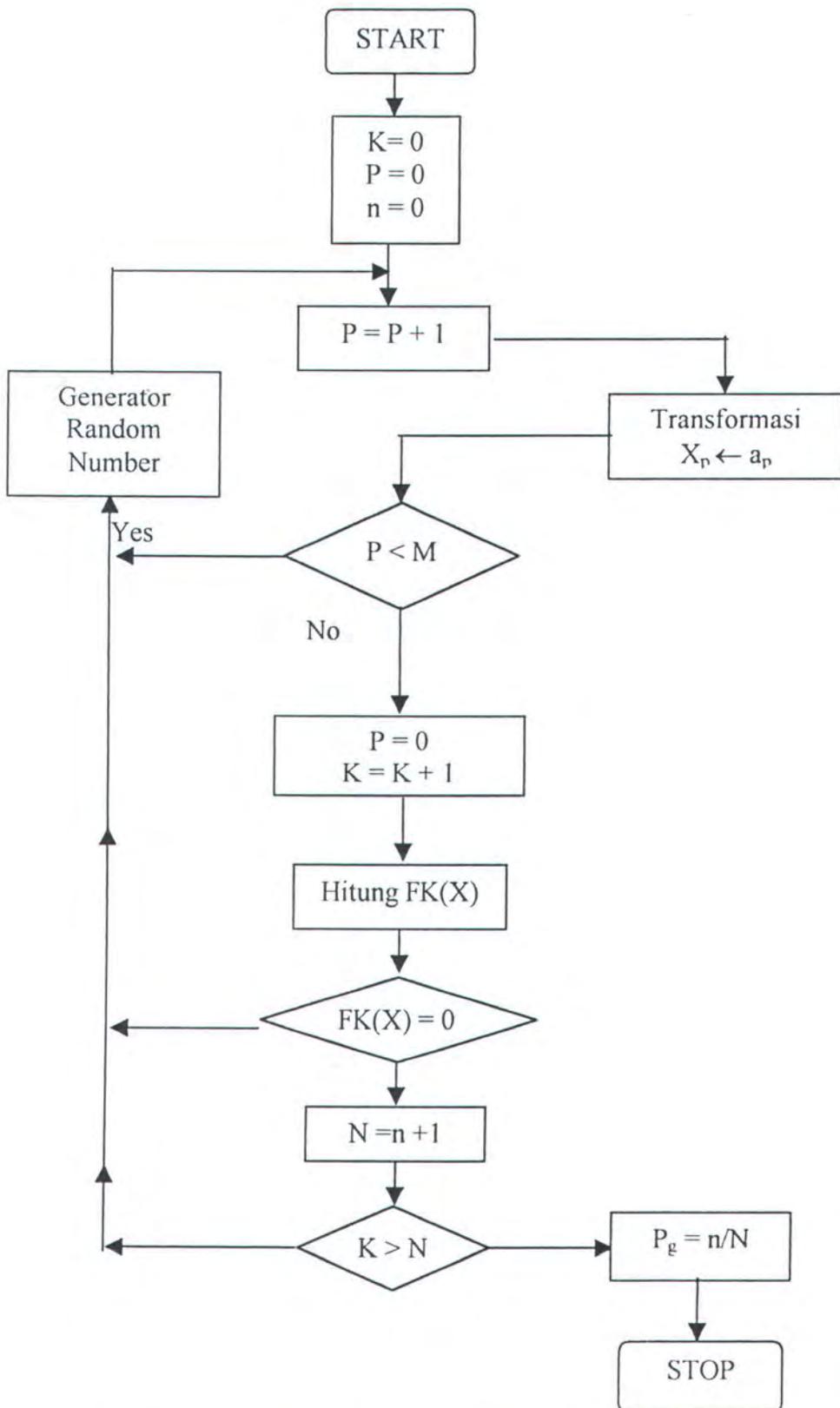
$a$  dan  $c$  = bilangan cacah (integer) yang berturut-turut disebut sebagai pengganda dan inkremen.

Relasi rekurensi tersebut akan berulang dengan periode yang lebih kecil dari  $m$ . Jika  $m, a, c$  dipilih secara seksama, maka periode ulang yang terjadi akan memiliki panjang maksimum yaitu  $m$ . Dalam hal ini, semua bilangan cacah (integer) antara 0 dan  $m-1$  akan muncul, sehingga setiap pilihan "bijih  $I_0$ " akan menghasilkan deret yang sama baiknya.

Sebuah algoritma simulasi Monte Carlo diperlihatkan dalam **Gambar 2.4**. Didalam algoritma tersebut,  $K$  adalah penghitung (*counter*) jumlah eksperimen atau sampling, sedang  $M$  adalah jumlah perubah dasar ke  $X_p$ , sedang  $n$  adalah penghitung kondisi gagal (untuk  $FK(X) < 0$ );  $N$  adalah jumlah eksperimen maksimum (replikasi) yang akan dilakukan.

Semua angka acak  $a_p, p = 1, 2, \dots, M$ , dengan *fkp* uniform akan dikeluarkan oleh RNG untuk kemudian ditransformasikan menjadi  $X_p, p = 1, 2, \dots, M$ . ini ditunjukkan loop paling atas pada gambar 2.1. transformasi  $a_p$  (bilangan acak) menjadi nilai  $X_p$  (perubah acak ke  $p$ ) dapat dilakukan dengan

menggunakan persamaan distribusi kumulatif dari masing-masing perubah acak. Ini berarti bahwa pada loop paling atas pada gambar tersebut terdapat prosedur transformasi ini, dan untuk setiap perubah acak dihitung sendiri-sendiri sesuai dengan distribusi peluangnya (atau  $f_{kp}$ -nya). Jika bilangan acak telah ditransformasikan menjadi nilai dari perubah acak,  $FK(X)$  kemudian dihitung, dan perhitungan nomor eksperimen dimasukkan dalam  $K$ . apabila  $FK(X) \geq 0$ , maka ini adalah kondisi sukses (tidak gagal) dan eksperimen dilanjutkan; sedang apabila  $FK(X) < 0$ , maka ini dicatat dan disimpan dalam  $n$ . eksperimen ke  $k$  dilanjutkan sampai  $K = N$ , sesudah itu peluang kegagalan system/komponen dihitung sebagai  $n/N$  (Rosyid dan Mukhtasor,2002).



Gambar 2.6. Algoritma tipikal untuk Simulasi Monte Carlo

Keterangan :

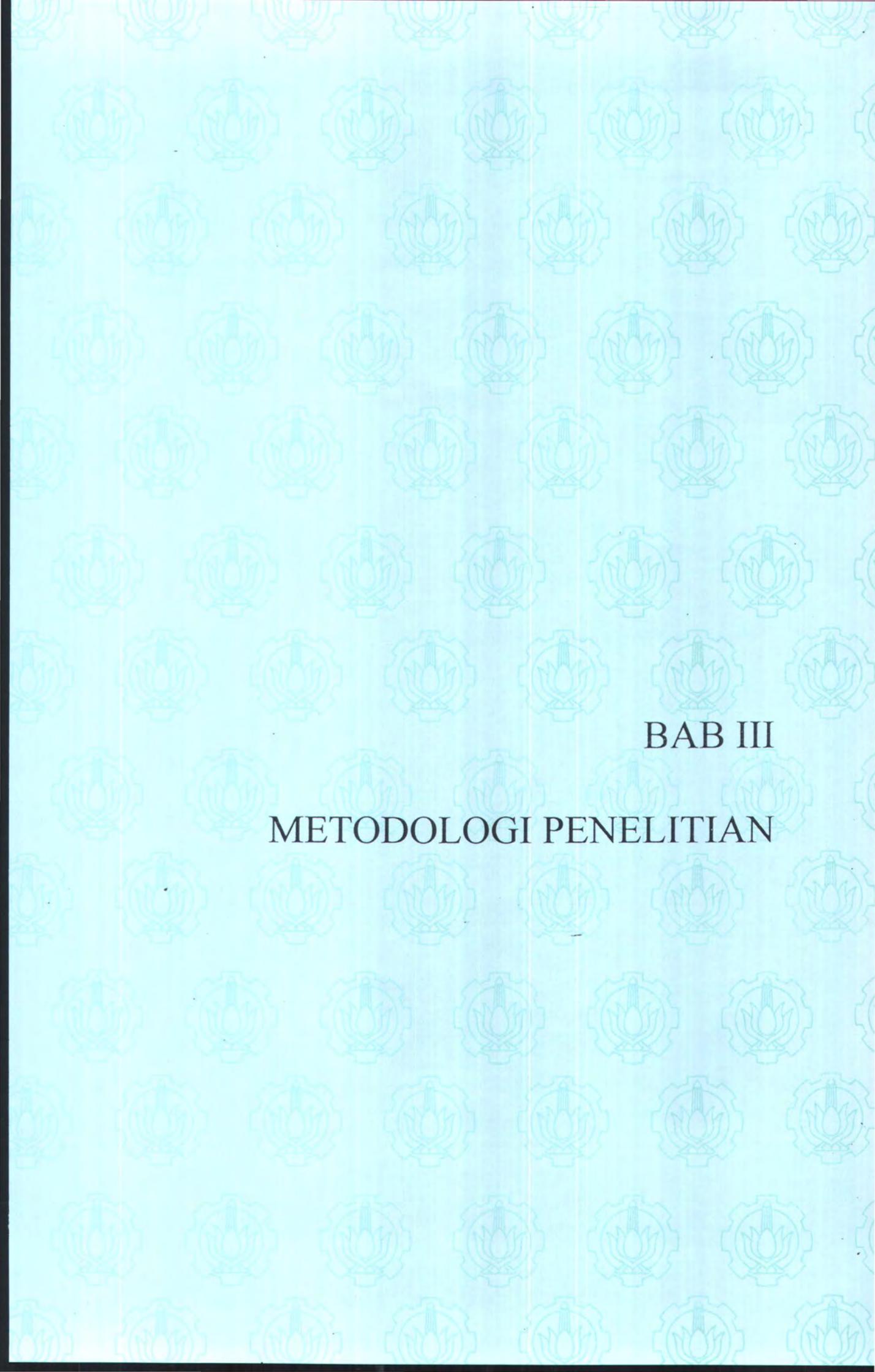
K = Penghitung (counter) jumlah eksperimen atau sampling

m = jumlah perubah dasar dalam  $FK(X)$

P = Indeks untuk perubah dasar ke  $X_p$

n = Penghitung untuk  $FK(X) < 0$

N = Jumlah eksperimen maksimum yang akan digunakan.



BAB III  
METODOLOGI PENELITIAN

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Studi Literatur

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan, langkah pertama yang dikerjakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah studi literatur, terutama teori-teori yang berhubungan dengan struktur breakwater termasuk didalamnya variable-variabel beban yang bekerja pada struktur tersebut dan teori-teori tentang analisa keandalan beserta metode yang digunakan untuk analisa.

#### 3.2. Penentuan Moda kegagalan

Sebagaimana telah dijelaskan pada bab II sub-bab 2.5.6.2., maka moda kegagalan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Fungsi kegagalan gelombang plunging( $g_1$ ) adalah :

$$g_1 = Y_1 S^{0.2} P^{0.18} \cot \alpha^{0.5} \Delta D_n - H_s \left( \frac{H_s}{Lz} \right)^{-0.25} N^{0.1}$$

dan fungsi kegagalan untuk gelombang surging( $g_2$ ) :

$$g_2 = Y_2 S^{0.2} P^{-0.13} \cot \alpha^{(0.5-P)} \Delta D_n - H_s \left( \frac{H_s}{Lz} \right)^{0.5P} N^{0.1}$$

### 3.3. Perubah Dasar

Sesuai dengan analisa keandalan rubble mound breakwater dan moda kegagalan yang telah ditentukan pada persamaan moda kegagalan (pers. 2.20 dan 2.21), parameter-parameter yang berpengaruh besar terhadap dimensi material dan struktur ditentukan sebagai perubah dasar. Dan dinyatakan dalam bentuk acak  $X_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ . Perubah-perubah dasar yang digunakan dalam analisa ini adalah :

$X_1$  = Tanda variabel stochastic ketidakpastian dari persamaan, terkumpul dalam masa resistensi. Dimana diketahui untuk gelombang plunging, nilai rata-rata  $Y_1=6.2$  dan gelombang surging nilai rata-rata  $Y_2 = 1$ .

$X_2$  = Koefisien Permeabilitas struktur (P)

$X_3$  =  $\cot \alpha$

$X_4$  = Densitas masa relatif batu ( $\Delta$ )

$X_5$  = Diameter nominal batu (Dn)

$X_6$  = Tinggi gelombang significant (Hs)

$X_7$  = nilai  $H_s / L_z$

Dimana  $L_z$  = Panjang gelombang dikedalaman air,  $gT_z^2/2\pi$ .

$T_z$  = periode gelombang

Semua perubah dasar tersebut diasumsikan tidak terkorelasi dan independen secara statistik.

### **3.4. Analisa Data**

Data yang digunakan dalam analisa ini merupakan data primer untuk mencari beban gelombang yang berasal dari data angin dan data sekunder gambar lay out breakwater yang didapat dari PT ADYA GRAHA. Data sekunder struktur yang didapat dari laboratorium Operasi dan Riset. Analisa dilakukan berdasarkan konsep-konsep yang digali dari referensi dan literatur. Berdasarkan data yang diperoleh, maka dapat dimulai dengan menentukan beban gelombang pada lokasi sebagai parameter beban dalam moda kegagalan. Karena data yang didapat merupakan data angin maka dilakukan peramalan gelombang dengan mengkonversi kecepatan angin, kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan fetch untuk mendapatkan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) beserta periode gelombangnya ( $T_s$ ) sebagaimana telah dijelaskan dalam bab II sub-bab 2.2.. Dari periode gelombang kemudian didapat panjang gelombang ( $L_z$ ). Untuk parameter kekuatan dalam moda kegagalan, terdiri dari yang diperlukan adalah data struktur, seperti diameter nominal batu, densitas masa relatif batu, Koef. permeabilitas struktur, kemiringan struktur, dan tanda variabel stochastic ketidakpastian dari persamaan.

### **3.5. Perhitungan Perubah Dasar**

Setelah didapat data-data dan perubah dasar yang akan digunakan dalam analisa keandalan langkah selanjutnya ialah:

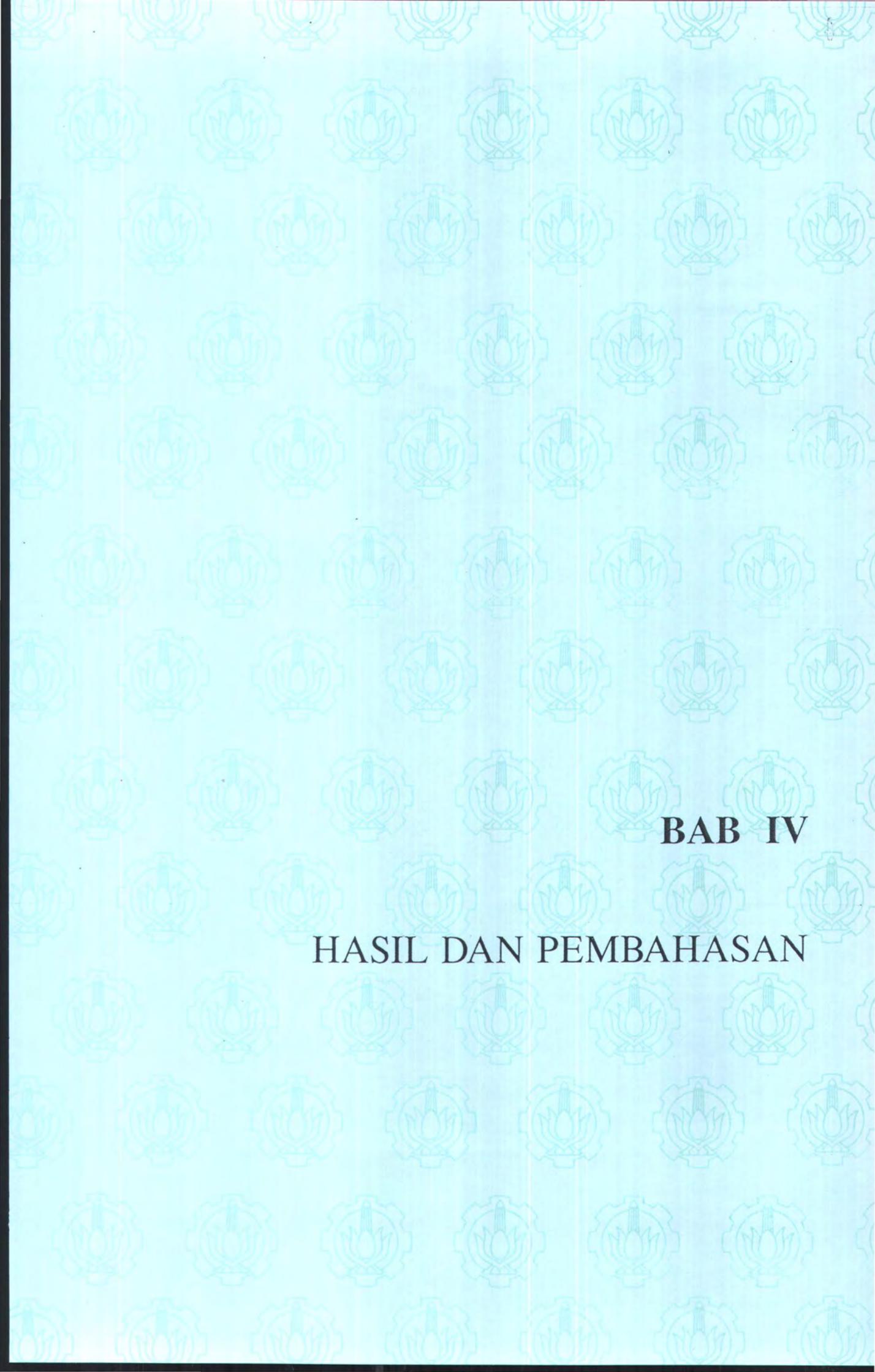
1. Mencari distribusi apa yang digunakan dalam setiap perubah dasar tersebut.
2. Mencari parameter yang akan digunakan dalam analisa keandalan seperti nilai rata-rata, koefisien variant, dan simpangan baku untuk distribusi normal dari setiap perubah dasar tersebut.

### 3.6. Metode Analisa

Metode yang digunakan dalam analisa ini adalah metode Simulasi Monte Carlo seperti telah dijelaskan pada bab II sub-bab 2.7., dengan langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut (Gambar 2.4) :

1. Menentukan beberapa sample untuk setiap  $X_i$  dari sebuah populasi  $x_i$ .
2. Memasukkan sample tersebut kedalam persamaan fungsi kerja  $FK(X)$  dan menghitung harga  $FK(X)$ .
3. Mencatat setiap kejadian yang memenuhi  $FK(X) < 0$ , yaitu system/komponen yang ditinjau mengalami kegagalan.
4. Menentukan peluang kegagalan dengan menggunakan persamaan berikut (Rosyid, 1996) :

$$Pg = \frac{n}{N}$$



**BAB IV**

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. DATA LAPANGAN

Data struktur rubblemound breakwater yang ditinjau didapat dari PT.Soka Dharma Widya Engineering dan juga didapat dari laboratorium operasi & riset, Teknik Kelautan- FTK-ITS Surabaya. Data-data tersebut adalah sebagai berikut :

- berat dan dimensi armour masing-masing lapisan dapat dilihat pada tabel.1.1, tabel tersebut adalah sebagai berikut :

Jenis Lapisan	Breakwater		
	Berat (Kg)	Diameter (m)	Tebal lapisan / ketinggian (m)
Primary Layer	300 – 350	0,65	1,20
Secound Layer	150 – 200	0,5	0,95
Berm	40 – 50	0,35	0,65
Core	10 – 23	0,20	3,6

- harga parameter desain adalah sebagai berikut:
  - sudut kemiringan/*slope*( $\alpha$ ) = 2 : 1;
  - berat jenis *armour* = 2,50 t/m<sup>3</sup>
  - berat jenis relatif(*relative density*),  $\Delta = 1,44/m^3$



- untuk beban gelombang, karena tempat struktur yang ditinjau adalah pangkalan pendaratan ikan, maka data gelombang yang diperlukan dihitung dari bangkitnya gelombang akibat hembusan angin (data gelombang diramalkan dengan data kecepatan angin dan *fetch*). Data angin yang digunakan (terlampir) untuk peramalan gelombang tersebut didapat dari PT.Soka Dharma Widya Engineering.

#### 4.2. PERHITUNGAN BEBAN GELOMBANG

Perhitungan beban gelombang diramalkan dengan menggunakan kecepatan angin dan *fetch*. Berikut hasil data kecepatan angin untuk tahun 1997 (hasil data kecepatan angin selengkapnya terlampir).

Tabel 4.2. data kecepatan angin tahun 1997

Uraian	Rata-rata kec. (Knots)	Arah angin rata-rata (derajat ° )
Januari	7.0	300
Februari	6.0	280
Maret	6.0	300
April	6.0	90
Mei	5.0	100
Juni	6.0	100
Juli	5.5	73
Agustus	6.0	73
September	7.0	78
Oktober	6.5	68
Nopember	5.5	38
Desember	3.9	158

Dari data kecepatan angin kemudian dilakukan konversi kecepatan angin dengan melakukan *stability correction* terhadap perbedaan temperatur udara dan air (dengan asumsi temperatur udara = 30<sup>0</sup> dan laut = 35<sup>0</sup> jadi perbedaan temperatur adalah 5<sup>0</sup>) serta terhadap perbedaan kecepatan angin didarat dan laut dengan menggunakan persamaan.2.3.

$$U = R_T R_L (U_{awal})$$

Langkah selanjutnya adalah dengan menghitung peramalan gelombang dari kecepatan angin ke dalam *wind stress factor* ( $U_A$ ) dengan menggunakan pers.2.4. :

$$U_A = 0,71 U^{1,23}$$

Berikut hasil perhitungan *stability correction* dan perhitungan ramalan gelombang untuk tahun 1997 (hasil selengkapnya terlampir).

Tabel 4.3. Koreksi kecepatan angin tahun 1997

Bln	Kec. Awal (knot)	Kec. awal (m/s)	R <sub>T</sub>	R <sub>L</sub>	U <sub>Rata2</sub> (m/s)	U <sub>A (Rata2)</sub> (m/s)
Jan	7	3.60	0.85	1.4	4.28	4.25
Feb	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Mar	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Apr	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Mei	5	2.57	0.85	1.58	3.45	3.26
Jun	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Jul	5.5	2.83	0.85	1.55	3.72	3.58
Ags	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Sep	7	3.60	0.85	1.4	4.28	4.25
Okt	6.5	3.34	0.85	1.45	4.12	4.05
Nop	5.5	2.83	0.85	1.55	3.72	3.58
Des	3.9	2.00	0.85	1.63	2.78	2.49

Dari hasil pengukuran fetch di daerah Paiton Probolinggo, maka dapat diperoleh hasil peramalan gelombang dari dengan grafik(gbr2.3)sebagai berikut (hasil selengkapnya terlampir), sekaligus pengukuran fetch efektif dengan menggunakan pers 2.5.

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

Berikut disajikan hasil pencarian tinggi dan periode gelombang tahun 1997 (hasil selengkapnya terlampir dengan menggunakan grafik  $U_A$  (m/s) Vs *Fetch Length* (km) pada gambar 2.3.

Tabel 4.4. Hasil pencarian tinggi dan periode gelombang tahun 1997

Bulan	$U_A$ rata2 (m/s)	Arah angin rata-rata(°)	$F_{\text{eff}}$ (km)	Hs (meter)	Ts (detik)
Jan	4.25	300	58.807	0.35	3.5
Feb	3.83	280	29.596	0.23	2.8
Mar	3.83	300	58.807	0.33	3.3
Apr	3.83	90	156.861	0.42	3.8
Mei	3.26	100	-	-	-
Juni	3.83	100	-	-	-
Juli	3.58	73	157.121	0.33	3.4
Agt	3.83	73	157.121	0.33	3.4
Sept	4.25	78	145.592	0.41	3.9
Okt	4.05	68	163.919	0.41	3.9
Nop	3.58	38	82.166	0.36	3.7
Des	2.49	158	-	-	-

Dari hasil yang didapat diatas maka rata-rata nilai ( $\mu$ ) untuk tahun 1997 adalah sebagai berikut :

- untuk tahun 1997 di dapat nilai rata-rata :

$$H_s = 0.352 \text{ m}$$

$$T = 3.522 \text{ dt}$$

Maka untuk menghitung panjang gelombang di kedalaman air digunakan persamaan 2.22

$$\begin{aligned} L_z &= gT/2\pi. \quad \approx 1,56 ( T^2 ) \\ &= 19.526 \text{ m} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan yang didapat untuk tahun 1998 dan 1999 adalah sebagai berikut (Hasil selengkapnya terlampir):

- untuk tahun 1998 di dapat nilai rata-rata :

$$H_s = 0.325 \text{ m}$$

$$T = 3.433 \text{ dt}$$

Maka untuk menghitung panjang gelombang di kedalaman air digunakan persamaan 2.22

$$\begin{aligned} L_z &= gT/2\pi. \quad \approx 1,56 ( T^2 ) \\ &= 18.437 \text{ m} \end{aligned}$$

- untuk tahun 1999 di dapat nilai rata-rata :

$$H_s = 0.381 \text{ m}$$

$$T = 3.471 \text{ dt}$$

Maka untuk menghitung panjang gelombang di kedalaman air digunakan persamaan 2.22

$$\begin{aligned} L_z &= gT/2\pi. \quad \approx 1,56 ( T^2 ) \\ &= 19.413 \text{ m} \end{aligned}$$

#### 4.3. MODA KEGAGALAN STRUKTUR RUBBLEMOUND BREAKWATER AKIBAT BEBAN GELOMBANG

Dalam pemodelan, pergerakan dan kerusakan armor pada bagian depan lapisan armor struktur *rubblemound* breakwater dipertimbangkan sebagai prinsip mekanisme kegagalan dan ketidak pastian yang melekat dalam karakteristik gelombang rencana, statistik gelombang dan dan karakteristik fisik dari batu , dimana perubahan mengarah ke degradasi dalam pola gelombang dan cuaca dalam perencanaan umur dari Breakwater, yang kesemuanya tergabung dalam pers. Desain(Balas and Ergin, 1997 in Balas, et al, 1999).

Hasil dari keandalan model dasar, dimana kegunaan fungsi kegagalan Van der Meer, dibandingkan dengan pendekatan desain deterministik dan uji model hidraulik(Balas, et al, 1999). Fungsi kegagalan tersebut adalah untuk gelombang *plunging* dan gelombang *surging*. Fungsi kegagalan yang dihasilkan dari persamaan Van der Meer merupakan fungsi dari variabel dasar :  $g=f(H_s, \Delta, D_n, \xi_z, \cot\alpha, S, N, P, Y)$  (Balas, et al, 1999).

Fungsi kegagalan gelombang *plunging* ( $g_1$ ) adalah :

$$\begin{aligned} g_1 &= Y_1 S^{0.2} P^{0.18} \cot \alpha^{0.5} \Delta D_n - H_s \left( \frac{H_s}{Lz} \right)^{-0.25} N^{0.1} \\ &= Y_1 1,1487 P^{0.18} \cot \alpha^{0.5} \Delta D_n - H_s \left( \frac{H_s}{Lz} \right)^{-0.25} N^{0.1} \end{aligned} \quad (4.1)$$

dan fungsi kegagalan untuk gelombang *surgung* ( $g_2$ ) :

$$\begin{aligned} g_2 &= Y_2 S^{0.2} P^{-0.13} \cot \alpha^{(0.5-P)} \Delta D_n - H_s \left( \frac{H_s}{Lz} \right)^{0.5P} N^{0.1} \\ &= Y_2 1,1487 P^{-0.13} \cot \alpha^{(0.5-P)} \Delta D_n - H_s \left( \frac{H_s}{Lz} \right)^{0.5P} N^{0.1} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Dimana :

$H_s$  = Rencana Tinggi gelombang significant.

$Lz$  = Panjang gelombang dikedalaman air,

$$= \frac{gT}{2\pi}.$$

$\Delta$  = densitas masa relatif batu

$D_n$  = Diameter nominal batu

$P$  = Koefisien Permeabilitas struktur.

$S$  = Tingkat kerusakan, dimana untuk awal dari level kerusakan nilai  $S=2$  dengan menggunakan metode perencanaan umum. Pada analisa berdasar keandalan, probabilitas kejadian dari level kerusakan ( $S=2$ ) di evaluasikan untuk jarak dari nilai diameter nominal yang probable/mungkin dan alternatif variasi umur (Balas, et al, 1999).

$N$  = Angka gelombang (durasi badai)

$Y_i$  = Tanda variabel stochastic ketidak pastian dari persamaan, terkumpul dalam masa resistensi.

Untuk gelombang plunging, nilai rata-rata  $Y_1$  adalah 6.2 dan gelombang surging nilai rata-rata  $Y_2$  adalah 1.

#### 4.4. ANALISA KEANDALAN STRUKUR

Sebelum dilakukan analisa, terlebih dahulu dilakukan penentuan komponen-komponen yang diperlukan.

➤ Penentuan  $\sigma$  untuk perubah dasar dengan menggunakan persamaan :

$$\sigma = \mu \cdot \text{Covarians} \quad (4.1)$$

dimana :  $\sigma$  = Simpangan baku (*Standard Deviasi*)

$\mu$  = Nilai Rata-rata

Covarians = nilai variasi ketidakpastian.

Nilai covarians berbeda-beda untuk setiap perubah dasar, tergantung dari nilai sebarannya. Begitu juga halnya dengan nilai  $\sigma$  dan  $\mu$ .

Berikut Tabel Nilai  $\mu$ , covarian,  $\sigma$  dan parameter yang digunakan dalam desain dasar keandalan.

Tabel 4.5. Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang *Plunging* (pers. 4.1) dengan kondisi gelombang Tahun 1997

Parameter	Distribusi	Rata-rata ( $\mu$ )	Variasi Koefisien $\delta_T(\%)$	Simpangan baku ( $\sigma$ )
$Y_1$	Normal	6.2	6.5	0.403
P	Normal	0.37	23	0.085
Cot $\alpha$	Normal	2	11	0.22
$\Delta$	Normal	1.44	3	0.0432
$D_n(m)$	Normal	0.65	4	0.026
Hs	Rayleigh	$\eta = 0.352$		
Hs/Lz	Normal	0.018	25	0.0045

Tabel 4.6. Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang *Plunging* (pers. 4.1) dengan kondisi gelombang Tahun 1998

Parameter	Distribusi	Rata-rata ( $\mu$ )	Variasi Koefisien $\delta_T(\%)$	Simpangan baku ( $\sigma$ )
$Y_1$	Normal	6.2	6.5	0.403
P	Normal	0.37	23	0.085
Cot $\alpha$	Normal	2	11	0.22
$\Delta$	Normal	1.44	3	0.0432
$D_n(m)$	Normal	0.65	4	0.026
Hs	Rayleigh	$\eta = 0.325$		
Hs/Lz	Normal	0.0176	25	0.0044

Tabel 4.7. Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang *Plunging* (pers. 4.1) dengan kondisi gelombang Tahun 1999

Parameter	Distribusi	Rata-rata ( $\mu$ )	Variasi Koefisien $\delta_T(\%)$	Simpangan baku ( $\sigma$ )
$Y_1$	Normal	6.2	6.5	0.403
P	Normal	0.37	23	0.085
Cot $\alpha$	Normal	2	11	0.22
$\Delta$	Normal	1.44	3	0.0432
$D_n(m)$	Normal	0.65	4	0.026
Hs	Rayleigh	$\eta = 0.381$		
Hs/Lz	Normal	0.0196	25	0.0049

Tabel 4.8. Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang *Surging* (pers. 4.2) dengan kondisi gelombang Tahun 1997

Parameter	Distribusi	Rata-rata ( $\mu$ )	Variasi Koefisien $\delta_T(\%)$	Simpangan baku ( $\sigma$ )
$Y_2$	Normal	1	6.5	0.065
P	Normal	0.37	23	0.085
Cot $\alpha$	Normal	2	11	0.22
$\Delta$	Normal	1.44	3	0.0432
$D_n(m)$	Normal	0.65	4	0.026
Hs	Rayleigh	$\eta = 0.352$		
Hs/Lz	Normal	0.018	25	0.0045

Tabel 4.9. Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang *Surging* (pers. 4.2) dengan kondisi gelombang Tahun 1997

Parameter	Distribusi	Rata-rata ( $\mu$ )	Variasi Koefisien $\delta_T(\%)$	Simpangan baku ( $\sigma$ )
$Y_2$	Normal	1	6.5	0.065
P	Normal	0.37	23	0.085
Cot $\alpha$	Normal	2	11	0.22
$\Delta$	Normal	1.44	3	0.0432
$D_n(m)$	Normal	0.65	4	0.026
Hs	Rayleigh	$\eta = 0.325$		
Hs/Lz	Normal	0.0176	25	0.0044

Tabel 4.10. Parameter Keandalan untuk fungsi moda kegagalan Gelombang *Surging* (pers. 4.2) dengan kondisi gelombang Tahun 1999

Parameter	Distribusi	Rata-rata ( $\mu$ )	Variasi Koefisien $\delta_T(\%)$	Simpangan baku ( $\sigma$ )
$Y_2$	Normal	1	6.5	0.065
P	Normal	0.37	23	0.085
Cot $\alpha$	Normal	2	11	0.22
$\Delta$	Normal	1.44	3	0.0432
$D_n(m)$	Normal	0.65	4	0.026
Hs	Rayleigh	$\eta = 0.381$		
Hs/Lz	Normal	0.0196	25	0.0049



#### 4.5. ANALISA HASIL PERHITUNGAN

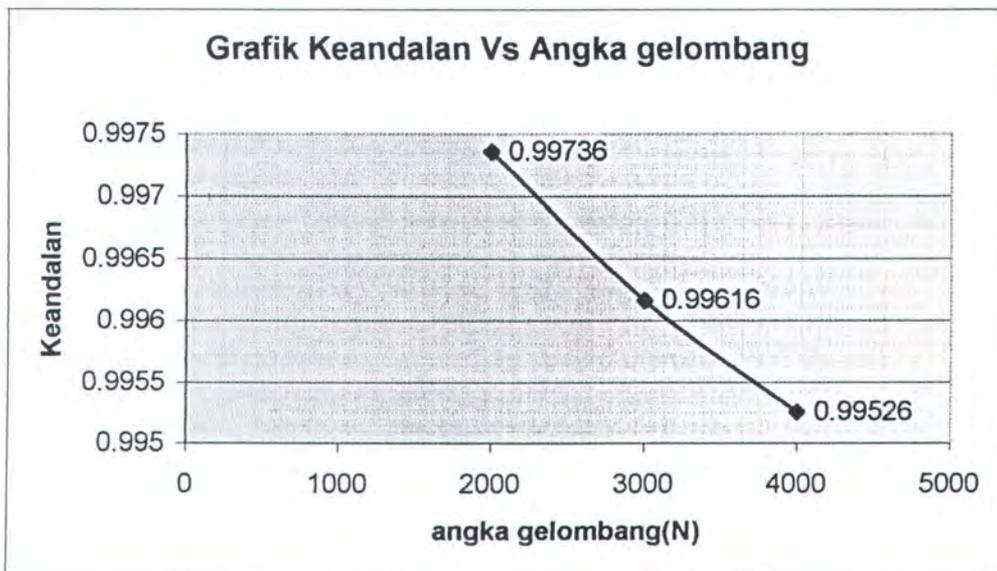
Analisa dilakukan dengan metode simulasi Monte Carlo. Dengan nilai-nilai dan parameter keandalan pada tabel 4.5 sampai dengan table 4.10. diatas, untuk mengetahui kecenderungan hubungan antara keandalan dengan nilai angka gelombang ( $N$ ) yang menjadi salah satu beban dari stuktur, maka nilai dari angka gelombang ( $N$ ) tersebut divariasikan dengan nilai variasi 2000; 3000; 4000.

Perhitungan dengan metode Monte Carlo ini menggunakan perangkat lunak Monte Carlo Simulation yang dikembangkan oleh Wasis (tugas akhir tahun 1999 dengan judul : Pengembangan Perangkat Lunak Analisa Keandalan Sistem Dengan Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo ). Pada dasarnya dalam simulasi Monte Carlo, nilai yang digunakan adalah nilai sample dari suatu populasi. Nilai sample dimasukkan dalam moda kegagalan. Bila bernilai negatif atau nol, dihitung sejumlah  $n$ , dan  $N$  adalah banyaknya percobaan. Kegagalan merupakan perbandingan  $n$  dan  $N$ .

Dengan fungsi moda kegagalan pada persamaan 4.1. dan 4.2. beserta nilai dan parameter keandalan pada tabel 4.5 sampai dengan table 4.10, hasil *running* program simulasi Monte Carlo (dengan menggunakan 100.000 sampling simulasi) dan grafik hubungan antara keandalan Vs angka gelombang ( $N$ ) adalah sebagai berikut :

➤ Tabel 4.11. nilai keandalan untuk fungsi moda kegagalan gelombang *plunging* (pers. 4.1.) dengan kondisi gelombang tahun 1997 (tabel 4.5)

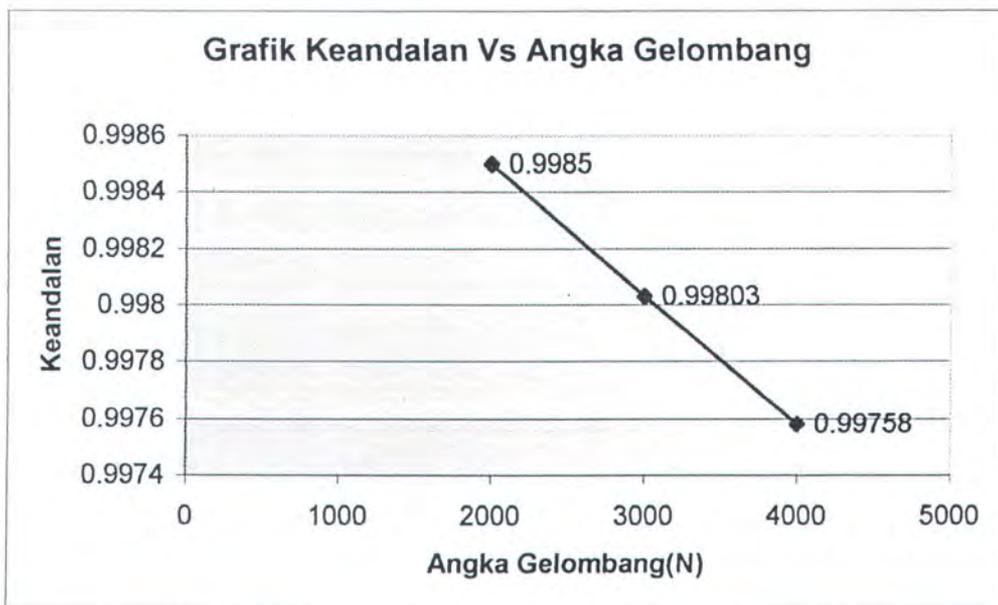
$N$	Simulasi Monte Carlo	
	Pg	Keandalan
2000	0.00264	0.99736
3000	0.00384	0.99616
4000	0.00474	0.99526



Gambar 4.1. Grafik hubungan antara keandalan (untuk gelombang *plunging*) Vs angka gelombang ( $N$ ), pada tahun 1997.

➤ Tabel 4.12. nilai keandalan untuk fungsi moda kegagalan gelombang *plunging* (pers. 4.1.) dengan kondisi gelombang tahun 1998 (tabel 4.6)

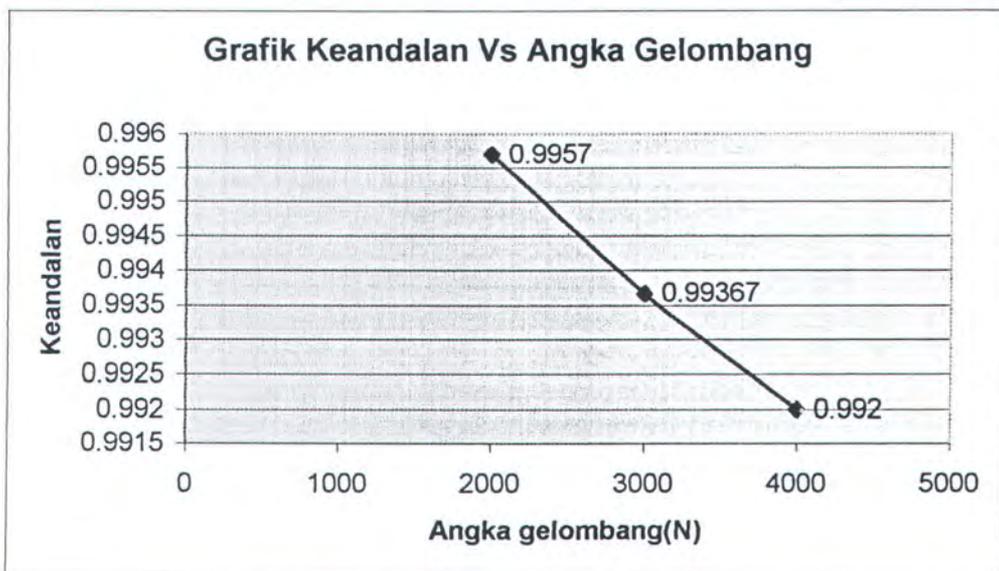
$N$	Simulasi Monte Carlo	
	Pg	Keandalan
2000	0.0015	0.9985
3000	0.00197	0.99803
4000	0.00242	0.99758



Gambar 4.2. Grafik hubungan antara keandalan (untuk gelombang *plunging*) Vs angka gelombang ( $N$ ), pada tahun 1998.

➤ Tabel 4.13. nilai keandalan untuk fungsi moda kegagalan gelombang *plunging* (pers. 4.1.) dengan kondisi gelombang tahun 1999 (tabel 4.7)

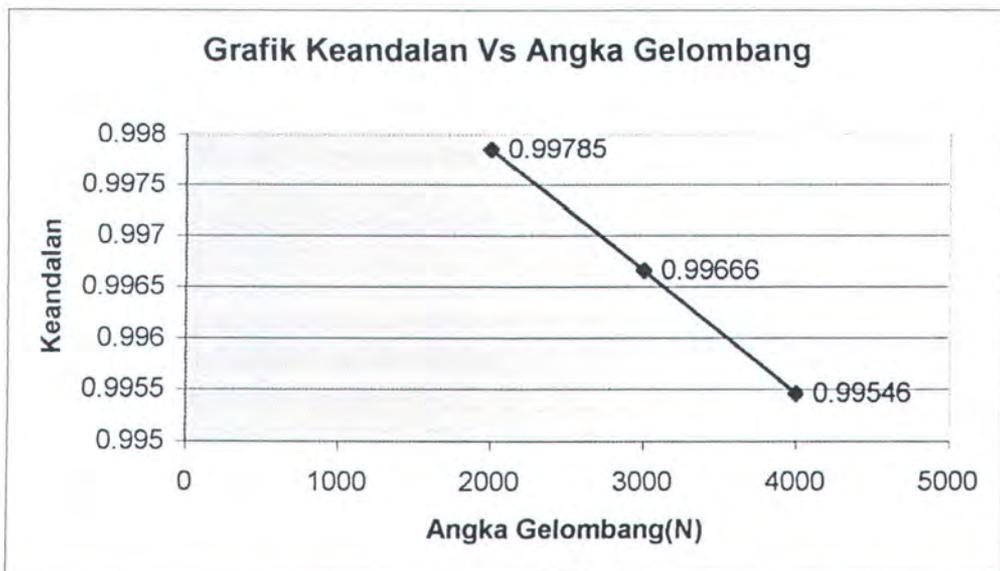
$N$	Simulasi Monte Carlo	
	Pg	Keandalan
2000	0.0043	0.9957
3000	0.00633	0.99367
4000	0.008	0.992



Gambar 4.3. Grafik hubungan antara keandalan (untuk gelombang *plunging*) Vs angka gelombang ( $N$ ), pada tahun 1999.

➤ Tabel 4.14. nilai keandalan untuk fungsi moda kegagalan gelombang *surging* (pers. 4.2.) dengan kondisi gelombang tahun 1997 (tabel 4.8)

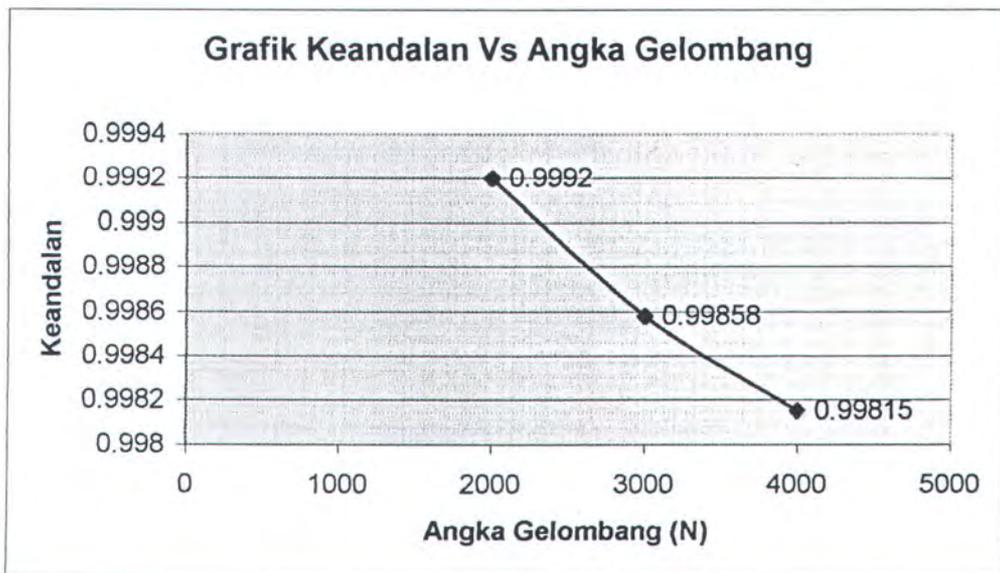
$N$	Simulasi Monte Carlo	
	Pg	Keandalan
2000	0.00215	0.99785
3000	0.00334	0.99666
4000	0.00454	0.99546



Gambar 4.4. Grafik hubungan antara keandalan (untuk gelombang *surging*) Vs angka gelombang ( $N$ ), pada tahun 1997.

➤ Tabel 4.15. nilai keandalan untuk fungsi moda kegagalan gelombang *surging* (pers. 4.2.) dengan kondisi gelombang tahun 1998 (tabel 4.9)

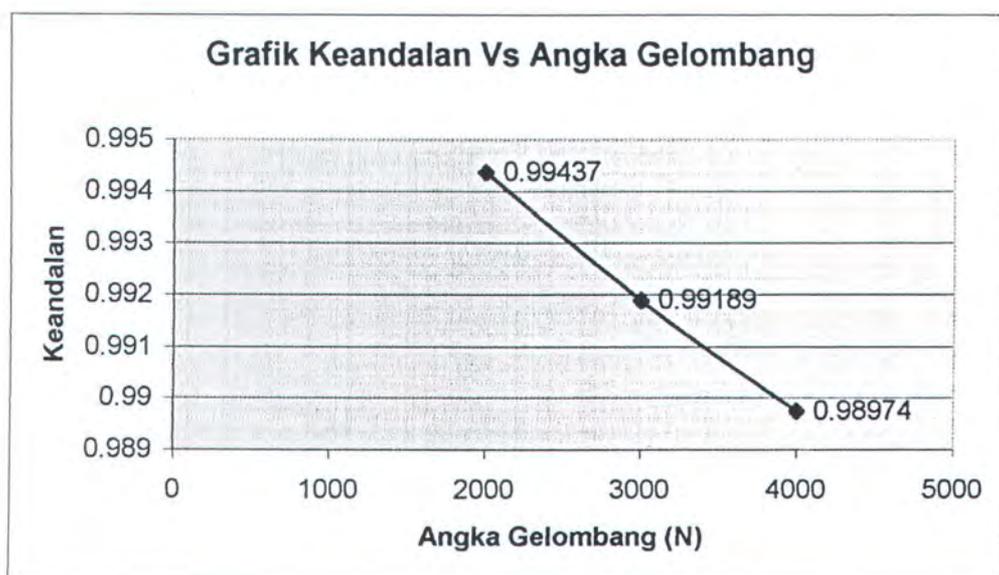
$N$	Simulasi Monte Carlo	
	$P_g$	Keandalan
2000	0.0008	0.9992
3000	0.00142	0.99858
4000	0.00185	0.99815



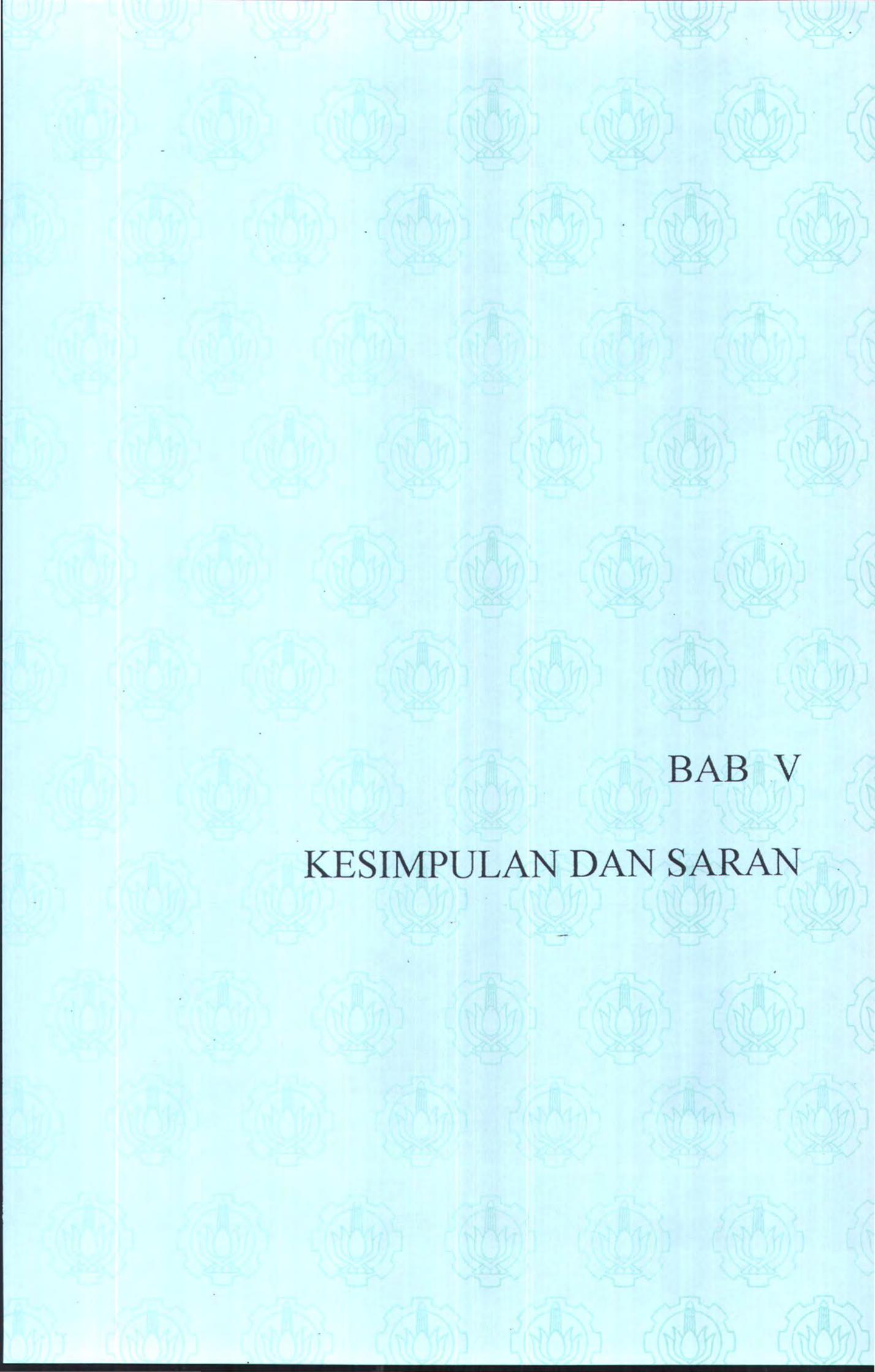
Gambar 4.5. Grafik hubungan antara keandalan (untuk gelombang *surging*) Vs angka gelombang ( $N$ ), pada tahun 1998.

➤ Tabel 4.16. nilai keandalan untuk fungsi moda kegagalan gelombang *surging* (pers. 4.2.) dengan kondisi gelombang tahun 1998 (tabel 4.9)

$N$	Simulasi Monte Carlo	
	Pg	Keandalan
2000	0.00563	0.99437
3000	0.00811	0.99189
4000	0.01026	0.98974



Gambar 4.6. Grafik hubungan antara keandalan (untuk gelombang *surging*) Vs angka gelombang ( $N$ ), pada tahun 1999.



BAB V  
KESIMPULAN DAN SARAN

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. KESIMPULAN

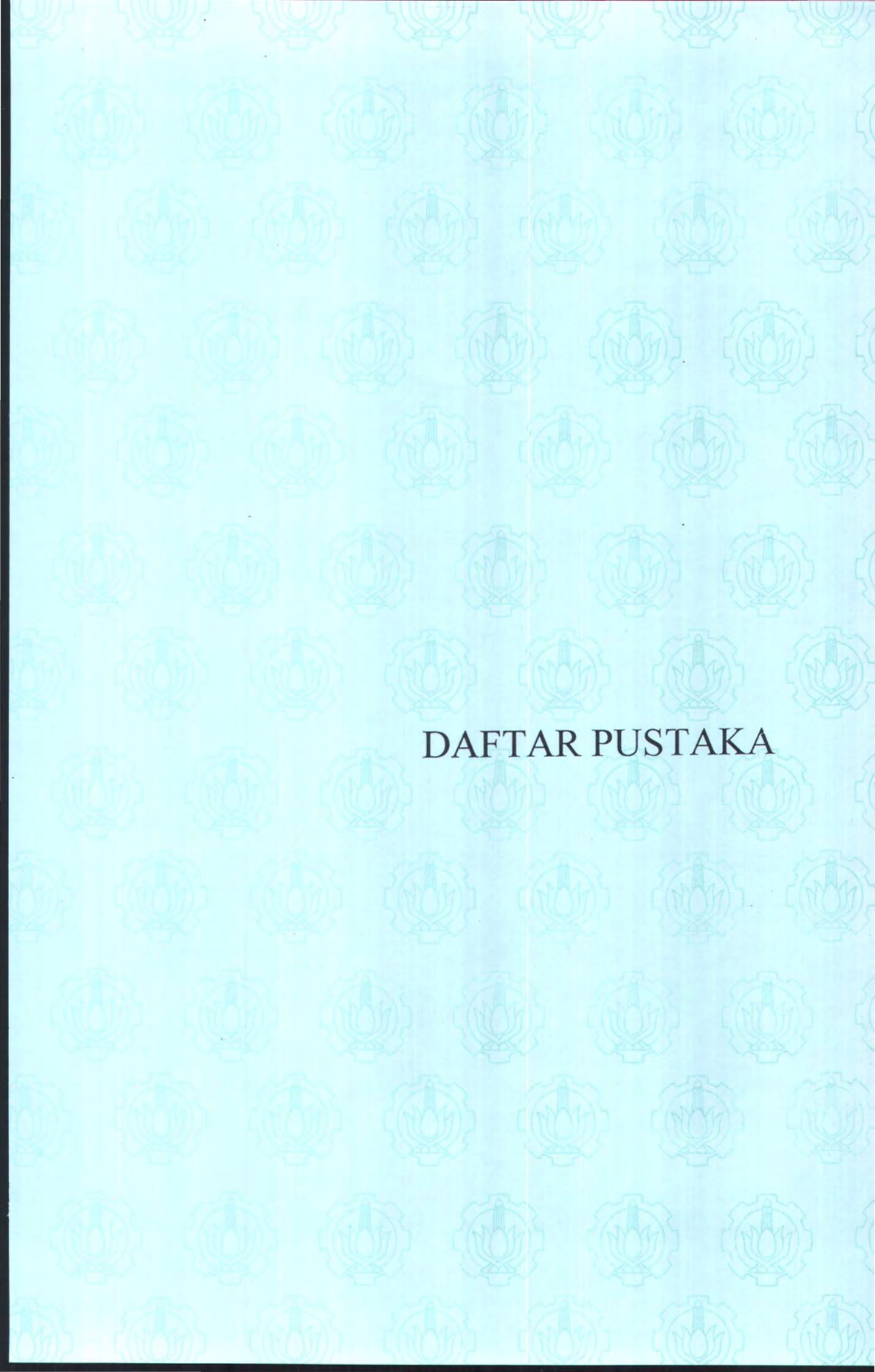
Dari hasil analisa perhitungan pada bab sebelumnya dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Hasil perhitungan menunjukkan semakin besar / tinggi gelombang dan semakin banyak jumlah gelombang ( $N$ ) yang mengenai struktur, semakin turun keandalan yang dimiliki oleh struktur. Itu berarti semakin besar faktor beban (dalam moda kegagalan) yang mengenai struktur atau sistem maka semakin turun keandalan dari struktur atau sistem tersebut.
2. Untuk tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) sebesar 0.381 m (pada tahun 1999) dengan Jumlah gelombang ( $N$ ) sebesar 4000, diperoleh keandalan yang minimum sebesar 0.992 (untuk gelombang *plunging*) dan 0.98974 (untuk gelombang *surging*). Sedangkan pada tinggi gelombang signifikan yang mengenai struktur sebesar 0.325 (pada tahun 1998) dengan jumlah gelombang ( $N$ ) sebesar 2000 diperoleh keandalan maksimum sebesar 0.99803 (untuk gelombang *plunging*) dan 0.9992 (untuk gelombang *surging*).

## 5.2. SARAN

Dalam analisa ini, data gelombang didapat dari perhitungan peramalan gelombang dengan cara mengkonversi kecepatan angin dan fetch. Perhitungan untuk mendapatkan data gelombang dengan cara tersebut dilakukan karena data gelombang sesungguhnya di lapangan tidak tersedia, namun jika data sesungguhnya di lapangan tersedia, maka dalam proses analisa akan diperoleh hasil yang lebih teliti dan maksimal

Selain itu akan lebih baik juga jika dilakukan analisa lebih lanjut mengenai tingkat kerusakan pada lapisan *armour* yang berhubungan dengan diameter *armour* tersebut.



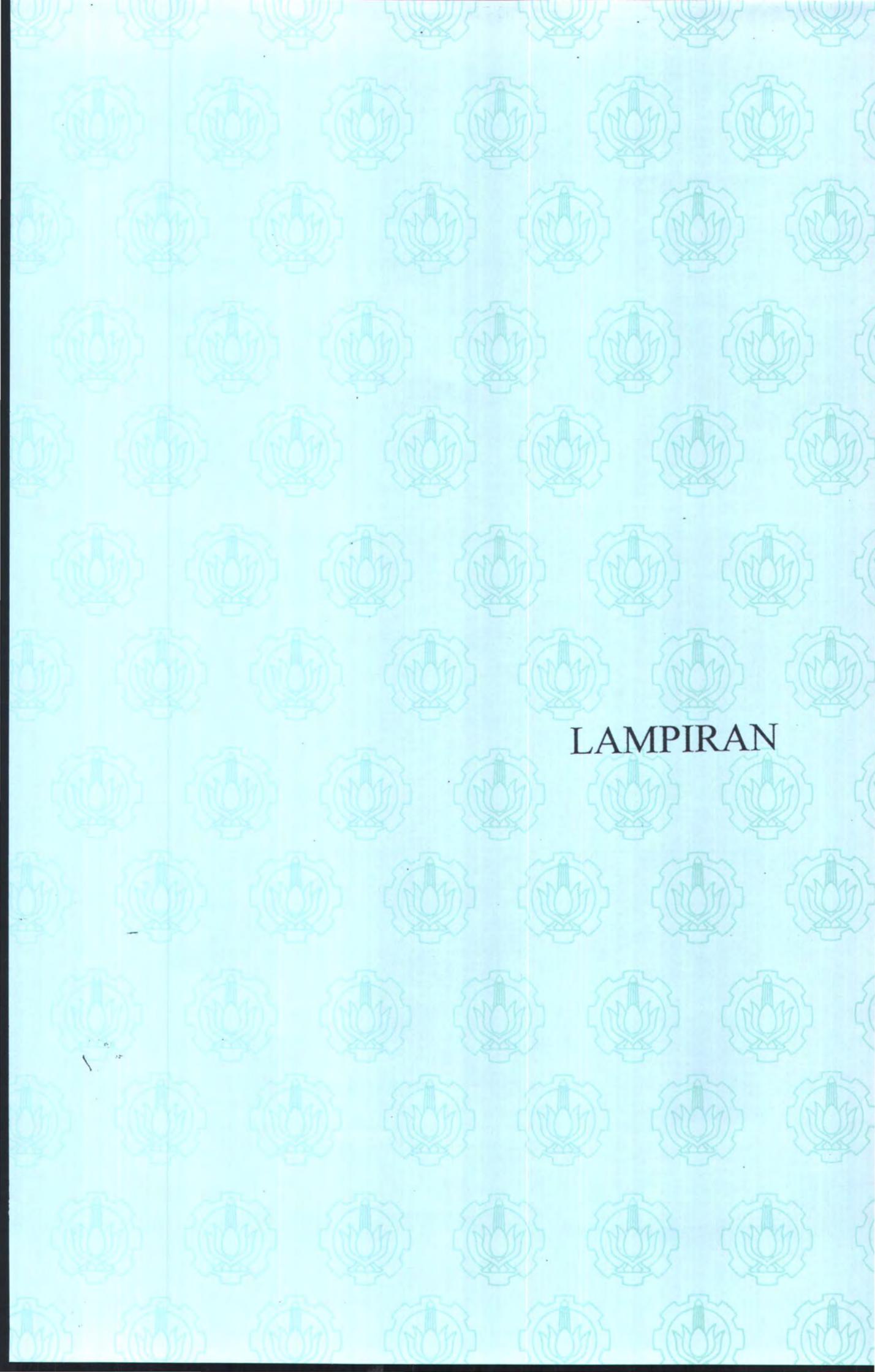
DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR PUSTAKA

- Balas, C. E., Ergi, A., Williams, A.T., 1999, **A Reliability-Based Breakwater Design Model : A Case Study In Turkey**, Copedec V, Cape Town SA.
- Lewis, E.E., 1994, **Introduction To Reliability Engineering**, Second Edition, Department Of Mechanical Engineering North Western University, Evanston, Illinois.
- Nur Yuwono, 1992, **Teknik Pantai, Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai volume II**, Yogyakarta.
- Pratikto, W.A., Et Al., 1999, **Struktur Pelindung Pantai**, Buku Pegangan Kuliah, Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Rosyid, D. M., 1996, **Analisis Keandalan dan Resiko**, Buku Pegangan Kuliah, Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Rosyid, D. M. dan Mukhtasor , 2002, **Rekayasa Keandalan**, Buku Pegangan Kuliah, Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Triatmadja, R., 2001, **Pengamanan Dan Perlindungan Pantai**, Makalah Kursus Singkat Pengelolaan Daerah Pantai, Pusat Studi Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Thoft-Christensen and Murotsu, 1986, **Application of Structural Systems Reliability Theory**, Spinger-Verlag Berlin, Heidelberg.

Wawan, W.P., 1999, **Pengembangan Perangkat Lunak Analisa Keandalan system Dengan Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo**, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan – FTK – ITS, Surabaya.

Working Group 12 of The Permanent Technical Committee II, 1997, **Analysis of Rubblemound Breakwater**, Report of Working Group 12 of The Permanent Technical Committee II, PIANC, Belgium.



LAMPIRAN

## ANALISA DATA PENGHITUNGAN FETCH

Untuk analisa terhadap kecepatan angin yang telah dicatat, dengan telah diketahui arah angin rata-rata, rata-rata kecepatan, dan juga kecepatan maksimum daerah Paiton Probolinggo selama tahun 1997, 1998 dan 1999 dalam jangka waktu 1 tahun dari bulan januari hingga bulan desember beserta penggambaran diagram wind rose-nya. Berikut tabel data kecepatan angin.

### ARAH DAN KECEPATAN ANGIN DAERAH PAITON PROBOLINGGO

#### Tahun 1997

Uraian	Rata-rata kec. (Knots)	Arah angin rata-rata (derajat °)	Kec, maximum (Knots)
Januari	7.0	300	15.0
Februari	6.0	280	17.0
Maret	6.0	300	20.0
April	6.0	90	13.0
Mei	5.0	100	10.0
Juni	6.0	100	13.0
Juli	5.5	73	14.5
Agustus	6.0	73	17.5
September	7.0	78	22.0
Oktober	6.5	68	19.0
Nopember	5.5	38	17.5
Desember	3.9	158	18.5

#### Tahun 1998

Uraian	Rata-rata kec. (Knots)	Arah angin rata-rata (derajat °)	Kec, maximum (Knots)
Januari	4.8	58	18.5
Februari	4.2	148	23.5
Maret	4.0	58	21.0
April	5.0	53	16.5
Mei	4.0	68	17.0
Juni	4.5	68	17.5
Juli	4.5	68	18.5
Agustus	5.5	63	19.5
September	4.5	68	17.0
Oktober	5.0	63	17.0
Nopember	4.0	163	11.0
Desember	4.5	266	26.0

### Tahun 1999

Uraian	Rata-rata kec. (Knots)	Arah angin rata-rata (derajat °)	Kec, maximum (Knots)
Januari	4.5	245	20.0
Februari	7.5	265	27.5
Maret	6.0	280	27.5
April	6.0	203	19.5
Mei	6.0	43	20.0
Juni	5.6	68	20.0
Juli	5.8	63	18.0
Agustus	6.9	90	20.5
September	8.5	63	20.0
Oktober	4.0	45	7.5
Nopember	6.0	106	14.5
Desember	6.0	240	21.5

Langkah selanjutnya dilakukan perhitungan koreksi kecepatan angin dengan menyajikan tabel perhitungan koreksi stabilitas terhadap perbedaan temperatur udara dan air dengan menggunakan pers :

$$U = R_T R_L (U_{awal})$$

Karena data yang didapatkan hanya berupa data arah angin rata-rata, rata-rata kecepatan, dan juga kecepatan maksimum daerah Paiton Probolinggo selama tahun 1997, 1998 dan 1999 dalam jangka waktu 1 tahun dari bulan januari hingga bulan desember beserta penggambaran diagram wind rose-nya, maka di sini asumsi pengukuran ketinggian dianggap sama dengan data yang telah diperoleh pada pengerjaan Tugas Rancang Besar II yaitu

- Perbedaan temperatur di atas permukaan air laut dengan daratan terdekat rata-rata sebesar  $5^\circ$  sehingga diketahui  $R_T$  sebesar 0,85
- Pengukuran ketinggian dilakukan pada ketinggian 20 meter, sehingga tidak perlu dilakukan penghitungan terhadap koreksi ketinggian ( $U_{10}$ ) dengan kecepatan dominan dari tiap-tiap arah yang akan digunakan dalam perhitungan.

Langkah selanjutnya adalah dengan menghitung peramalan gelombang dari kecepatan angin ke dalam wind stress factor ( $U_A$ ) dengan menggunakan pers :

$$U_A = 0,71 U^{1,23}$$

Dimana :  $U$  = kecepatan angin dalam knots.

$U_A$  = Tegangan Angin dalam knots.

TABEL KOREKSI KECEPATAN ANGIN TAHUN 1997

Bln	Kec. Awal (knot)	Kec. awal (m/s)	$R_T$	$R_L$	$U_{Rata2}$ (m/s)	$U_A (Rata2)$ (m/s)
Jan	7	3.60	0.85	1.4	4.28	4.25
Feb	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Mar	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Apr	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Mei	5	2.57	0.85	1.58	3.45	3.26
Jun	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Jul	5.5	2.83	0.85	1.55	3.72	3.58
Ags	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Sep	7	3.60	0.85	1.4	4.28	4.25
Okt	6.5	3.34	0.85	1.45	4.12	4.05
Nop	5.5	2.83	0.85	1.55	3.72	3.58
Des	3.9	2.00	0.85	1.63	2.78	2.49

TABEL KOREKSI KECEPATAN ANGIN TAHUN 1998

Bln	Kec. Awal (knot)	Kec. awal (m/s)	$R_T$	$R_L$	$U_{Rata2}$ (m/s)	$U_A (Rata2)$ (m/s)
Jan	4.8	2.47	0.85	1.57	3.29	3.07
Feb	4.2	2.16	0.85	1.6	2.94	2.67
Mar	4	2.06	0.85	1.62	2.83	2.55
Apr	5	2.57	0.85	1.58	3.45	3.26
Mei	4	2.06	0.85	1.62	2.83	2.55
Jun	4.5	2.31	0.85	1.6	3.15	2.91
Jul	4.5	2.31	0.85	1.6	3.15	2.91
Ags	5.5	2.83	0.85	1.55	3.72	3.58
Sep	4.5	2.31	0.85	1.6	3.15	2.91
Okt	5	2.57	0.85	1.58	3.45	3.26
Nop	4	2.06	0.85	1.62	2.83	2.55
Des	4.5	2.31	0.85	1.6	3.15	2.91

TABEL KOREKSI KECEPATAN ANGIN TAHUN 1999

Bln	Kec. Awal (knot)	Kec. awal (m/s)	$R_T$	$R_L$	$U_{Rata2}$ (m/s)	$U_A (Rata2)$ (m/s)
Jan	4.5	2.31	0.85	1.6	3.15	2.91
Feb	7.5	3.86	0.85	1.35	4.42	4.42
Mar	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Apr	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Mei	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Jun	5.6	2.88	0.85	1.55	3.79	3.66
Jul	5.8	2.98	0.85	1.5	3.80	3.67
Ags	6.9	3.55	0.85	1.4	4.22	4.17
Sep	8.5	4.37	0.85	1.3	4.83	4.92
Okt	4	2.06	0.85	1.62	2.83	2.55
Nop	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83
Des	6	3.08	0.85	1.5	3.93	3.83



Dari hasil pengukuran fetch dari titik C di daerah Paiton Probolinggo, maka dapat diperoleh hasil sebagai berikut dengan gambar pengukuran terlampir, sekaligus pengukuran fetch efektif dengan menggunakan pers :

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

Dengan :

$F_{\text{eff}}$  : fetch rerata efektif

$X_i$  : panjang fetch dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch

$\alpha$  : deviasi kedua sisi arah angin, dengan penambahan 5 – 10 derajat

**TABEL PERHITUNGAN FETCH**

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$	fetch eff (meter)
300	25	58.4	0.906	52.928	
	20	65.6	0.940	61.644	
	15	75.6	0.966	73.024	
	10	90	0.985	88.638	
	5	97.4	0.996	97.029	
	0	85.8	1.000	85.800	
	5	84.6	0.996	84.278	
	10	80.4	0.985	79.184	
	15	0	0.966	0.000	
	20	0	0.940	0.000	
	25	0	0.906	0.000	58.807

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$	fetch eff (meter)
280	25	88.4	0.9063	80.117	
	20	79.6	0.93969	74.799	
	15	82.2	0.96592	79.399	
	10	80.2	0.98487	78.987	
	5	0	0.99619	0.000	
	0	0	1	0.000	
	5	0	0.99619	0.000	
	10	0	0.98487	0.000	
	15	0	0.96592	0.000	
	20	0	0.93969	0.000	
	25	0	0.9063	0.000	29.596

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$Xi \cos \alpha$	fetch eff (meter)
90	25	172.5	0.9063	156.33675	
	20	183	0.93969	171.96327	
	15	247.5	0.96592	239.0652	
	10	600	0.98487	590.922	
	5	465	0.99619	463.22835	
	0	39	1	39	
	5	0	0.99619	0	
	10	0	0.98487	0	
	15	0	0.96592	0	
	20	0	0.93969	0	
	25	0	0.9063	0	156.86047

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$Xi \cos \alpha$	fetch eff (meter)
73	25	93	0.9063	84.286	
	20	112.5	0.93969	105.715	
	15	129	0.96592	124.604	
	10	117	0.98487	115.230	
	5	192	0.99619	191.268	
	0	210	1	210.000	
	5	240	0.99619	239.086	
	10	561	0.98487	552.512	
	15	42	0.96592	40.569	
	20	0	0.93969	0.000	
	25	0	0.9063	0.000	157.121

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$	fetch eff (meter)
78	25	108	0.9063	97.880	
	20	96	0.93969	90.210	
	15	114	0.96592	110.115	
	10	190.5	0.98487	187.618	
	5	210	0.99619	209.200	
	0	240	1	240.000	
	5	567	0.99619	564.840	
	10	42	0.98487	41.365	
	15	0	0.96592	0.000	
	20	0	0.93969	0.000	
	25	0	0.9063	0.000	145.592

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$	fetch eff (meter)
68	25	99	0.9063	89.724	
	20	96	0.93969	90.210	
	15	114	0.96592	110.115	
	10	129	0.98487	127.048	
	5	120	0.99619	119.543	
	0	192	1	192.000	
	5	210	0.99619	209.200	
	10	234	0.98487	230.460	
	15	549	0.96592	530.290	
	20	39	0.93969	36.648	
	25	0	0.9063	0.000	163.919

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$	fetch eff (meter)
38	25	108	0.9063	97.880	
	20	96	0.93969	90.210	
	15	117	0.96592	113.013	
	10	102	0.98487	100.457	
	5	108	0.99619	107.589	
	0	63	1	63.000	
	5	81	0.99619	80.691	
	10	63	0.98487	62.047	
	15	60	0.96592	57.955	
	20	54	0.93969	50.743	
	25	51	0.9063	46.221	82.166

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$	fetch eff (meter)
58	25	70.5	0.9063	63.894	
	20	55.5	0.93969	52.153	
	15	108	0.96592	104.319	
	10	100.5	0.98487	98.979	
	5	117	0.99619	116.554	
	0	102	1	102.000	
	5	123	0.99619	122.531	
	10	192	0.98487	189.095	
	15	207	0.96592	199.945	
	20	228	0.93969	214.249	
	25	519	0.9063	470.370	163.811

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$	fetch eff (meter)
53	25	60	0.9063	54.378	
	20	75	0.93969	70.477	
	15	78	0.96592	75.342	
	10	108	0.98487	106.366	
	5	102	0.99619	101.611	
	0	117	1	117.000	
	5	99	0.99619	98.623	
	10	117	0.98487	115.230	
	15	187	0.96592	180.627	
	20	199	0.93969	186.998	
	25	219	0.9063	198.480	123.289

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$	fetch eff (meter)
63	25	93	0.9063	84.286	
	20	102	0.93969	95.848	
	15	97.5	0.96592	94.177	
	10	118.5	0.98487	116.707	
	5	132	0.99619	131.497	
	0	120	1	120.000	
	5	192	0.99619	191.268	
	10	210	0.98487	206.823	
	15	232.2	0.96592	224.287	
	20	534	0.93969	501.794	
	25	37.5	0.9063	33.986	170.101

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$	fetch eff (meter)
43	25	51	0.9063	46.221	
	20	55.5	0.93969	52.153	
	15	63	0.96592	60.853	
	10	78	0.98487	76.820	
	5	103.5	0.99619	103.106	
	0	108	1	108.000	
	5	102	0.99619	101.611	
	10	117	0.98487	115.230	
	15	99	0.96592	95.626	
	20	112.5	0.93969	105.715	
	25	177	0.9063	160.415	96.897

ARAH	simpangan terhadap arah	panjang fetch (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$	fetch eff (meter)
45	25	48	0.9063	43.502	
	20	51	0.93969	47.924	
	15	81	0.96592	78.240	
	10	60	0.98487	59.092	
	5	93	0.99619	92.646	
	0	114	1	114.000	
	5	117	0.99619	116.554	
	10	99	0.98487	97.502	
	15	96	0.96592	92.728	
	20	111	0.93969	104.306	
	25	204	0.9063	184.885	97.429

Berikut disajikan pencarian tinggi dan periode gelombang dengan menggunakan grafik  $U_A$  (m/s) Vs Fetch Length (km)

TAHUN 1997

Bulan	$U_A$ rata2 (m/s)	Arah angin rata-rata(°)	$F_{eff}$ (km)	Hs (meter)	Ts (detik)
Jan	4.25	300	58.807	0.35	3.5
Feb	3.83	280	29.596	0.23	2.8
Mar	3.83	300	58.807	0.33	3.3
Apr	3.83	90	156.861	0.42	3.8
Mei	3.26	100	-		
Juni	3.83	100	-		
Juli	3.58	73	157.121	0.33	3.4
Agt	3.83	73	157.121	0.33	3.4
Sept	4.25	78	145.592	0.41	3.9
Okt	4.05	68	163.919	0.41	3.9
Nop	3.58	38	82.166	0.36	3.7
Des	2.49	158	-		

Dari hasil yang didapat diatas maka rata-rata nilai ( $\mu$ ) untuk tiap tahunnya adalah sebagai berikut :

$$H_s = 0.352 \text{ m}$$

$$T = 3.522 \text{ dt}$$

TAHUN 1998

Bulan	$U_{\Delta}$ rata <sup>2</sup> (m/s)	Arah angin rata <sup>2</sup> (°)	$F_{\text{eff}}$ (km)	Hs (meter)	Ts (detik)
Jan	3.07	58	163.811	0.33	3.6
Feb	2.67	148	-		
Mar	2.55	58	163.811	0.3	3.4
Apr	3.26	53	123.289	0.33	3.4
Mei	2.55	68	163.919	0.3	3.1
Juni	2.91	68	163.919	0.325	3.4
Juli	2.91	68	163.919	0.325	3.4
Agt	3.58	63	170.101	0.35	3.8
Sept	2.91	68	163.919	0.325	3.4
Okt	3.26	63	170.101	0.34	3.4
Nop	2.55	163	-		
Des	2.91	260	-		

Dari hasil yang didapat diatas maka rata-rata nilai ( $\mu$ ) untuk tiap tahunnya adalah sebagai berikut :

$$H_s = 0.325 \text{ m}$$

$$T = 3.433 \text{ dt}$$

TAHUN 1999

Bulan	$U_A$ rata <sup>2</sup> (m/s)	Arah angin rata <sup>2</sup> (°)	$F_{eff}$ (km)	Hs (meter)	Ts (detik)
Jan	2.91	245	-		
Feb	4.42	265	-		
Mar	3.83	280	29.596	0.27	2.7
Apr	3.83	203	-		
Mei	3.83	43	96.897	0.35	3.7
Juni	3.66	68	163.919	0.32	3.2
Juli	3.67	63	170.101	0.33	3.3
Agt	4.17	90	156.861	0.48	4
Sept	4.92	63	170.101	0.67	4.6
Okt	2.55	45	97.429	0.25	2.8
Nop	3.83	106	-		
Des	3.83	240	-		

Dari hasil yang didapat diatas maka rata-rata nilai ( $\mu$ ) untuk tiap tahunnya adalah sebagai berikut :

$$H_s = 0.381m$$

$$T = 3.471 dt$$

```
unit f_mk;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
    math;
```

```
procedure mk;
```

```
const
```

```
    jum_var = 7;
```

```
var
```

```
    x: array [1..100] of real;
```

```
    nilai_mk: real;
```

```
implementation
```

```
procedure mk;
```

```
begin
```

```
    nilai_mk := x[1]*1.15*pangkat(x[2],0.18)*pangkat(x[3],0.5)*x[4]*x[5]-x[6]*pangkat(x[7],-0.25)*2.1384 ;
```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit f_mk;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
    math;
```

```
procedure mk;
```

```
const
```

```
    jum_var = 7;
```

```
var
```

```
    x: array [1..100] of real;
```

```
    nilai_mk: real;
```

```
implementation
```

```
procedure mk;
```

```
begin
```

```
    nilai_mk := x[1]*1.15*pangkat(x[2],0.18)*pangkat(x[3],0.5)*x[4]*x[5]-x[6]*pangkat(x[7],-0.25)*2.22696 ;
```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit f_mk;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
    math;
```

```
procedure mk;
```

```
const
```

```
    jum_var = 7;
```

```
var
```

```
    x: array [1..100] of real;
```

```
    nilai_mk: real;
```

```
implementation
```

```
procedure mk;
```

```
begin
```

```
    nilai_mk := x[1]*1.15*pangkat(x[2],0.18)*pangkat(x[3],0.5)*x[4]*x[5]-x[6]*pangkat(x[7],-0.25)*2.29196 ;
```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit f_mk;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
    math;
```

```
procedure mk;
```

```
const
```

```
    jum_var=7;
```

```
var
```

```
    x: array [1..100] of real;
```

```
    nilai_mk: real;
```

```
implementation
```

```
procedure mk;
```

```
begin
```

```
    nilai_mk :=x[1]*1.149*pangkat(x[2],-0.13)*pangkat(x[3],0.5-x[2])*x[4]*x[5]-x[6]*pangkat(x[7],0.5*x[2])*2.13847;
```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit f_mk;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
    math;
```

```
procedure mk;
```

```
const
```

```
    jum_var=7;
```

```
var
```

```
    x: array [1..100] of real;
```

```
    nilai_mk: real;
```

```
implementation
```

```
procedure mk;
```

```
begin
```

```
    nilai_mk :=x[1]*1.149*pangkat(x[2],-0.13)*pangkat(x[3],0.5-x[2])*x[4]*x[5]-x[6]*pangkat(x[7],0.5*x[2])*2.22696;
```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit f_mk;

interface
uses
  math;
procedure mk;
const
  jum_var=7;
var
  x: array [1..100] of real;
  nilai_mk: real;

implementation
procedure mk;
begin
  nilai_mk :=x[1]*1.149*pangkat(x[2],-0.13)*pangkat(x[3],0.5-x[2])*x[4]*x[5]-x[6]*pangkat(x[7],0.5*x[2])*2.29196;
end;

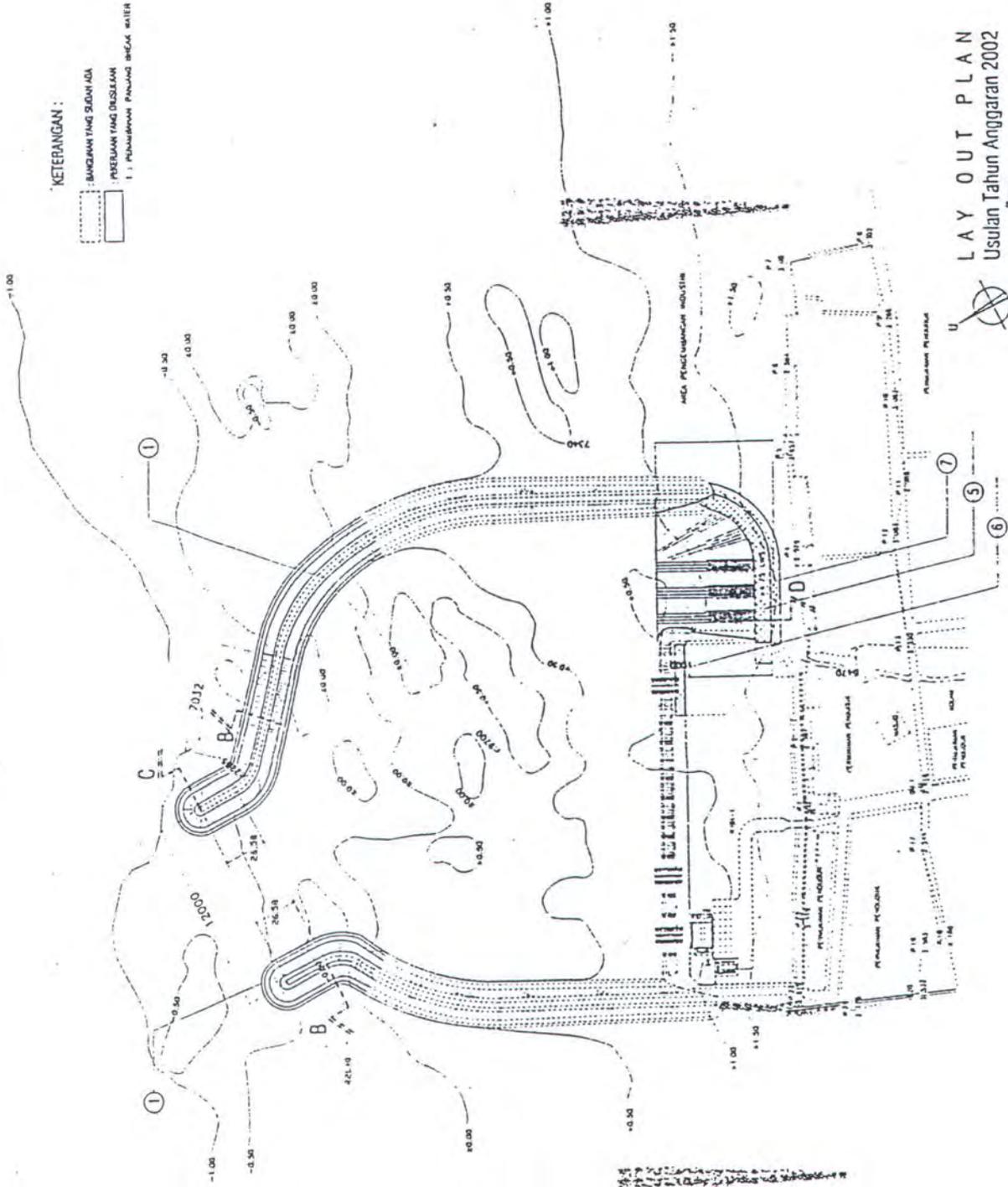
end.
```

KETERANGAN :

□ BANGUNAN YANG SUDAH ADA

□ PERSEKUTUAN YANG DIBESUKAN

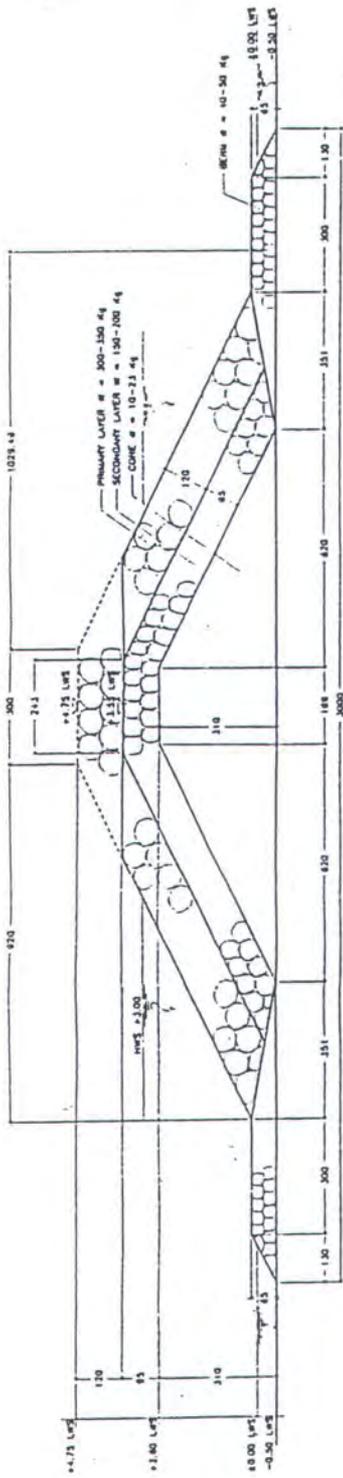
① PERUBAHAN RENCANA BENDANG AIR



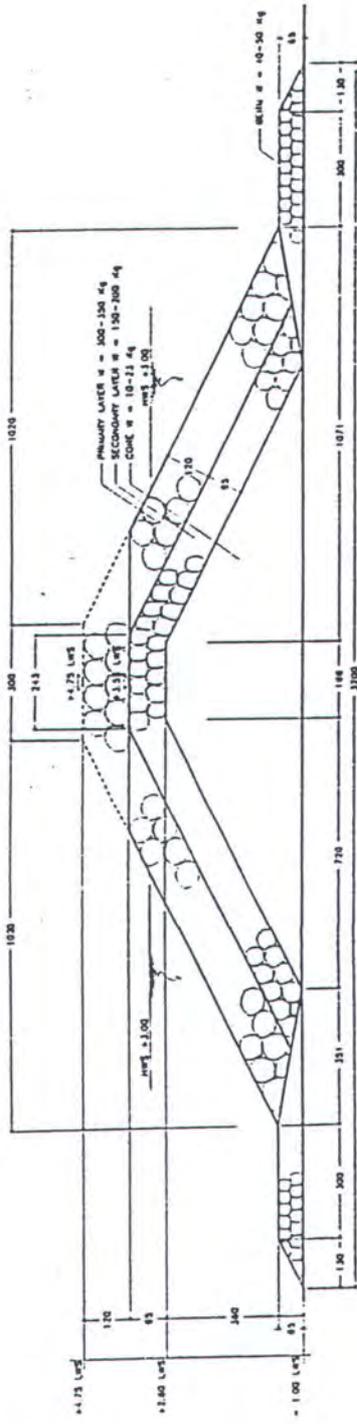
LAY OUT PLAN  
Usulan Tahun Anggaran 2002

Scale 1:10000





POTONGAN - B  
SKALA 1:200



POTONGAN - C