

15.237 / H / 02



**TUGAS AKHIR**  
**(KL. 1702)**

**ANALISA KEANDALAN SISTIM KABEL BAWAH LAUT  
AKIBAT JANGKAR KAPAL MENGGUNAKAN METODE  
SIMULASI MONTE CARLO**

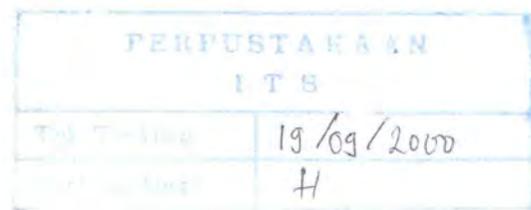


RSke  
621.319.34  
Feb  
21-1  
2000

Oleh :

**PAULUS FEBRIYANTO**  
NRP. 4394 100 048

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**  
**2000**



**ANALISA KEANDALAN SISTIM KABEL BAWAH LAUT  
AKIBAT JANGKAR KAPAL MENGGUNAKAN METODE  
SIMULASI MONTE CARLO**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Untuk Menyelesaikan Studi Program Sarjana  
Pada  
Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

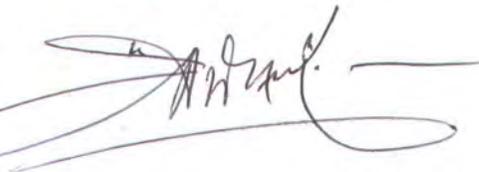
**Surabaya, Mei 2000  
Mengetahui / Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing I,**



**Ir. Daniel M. Rosyid, PhD.**  
NIP. 131 782 038

**Dosen Pembimbing II,**



**Ir. Hasan Ikhwani, MSc.**  
NIP. 132 048 145



## ABSTRAK

Tugas akhir ini membahas tentang analisis keandalan sistim kabel bawah laut akibat bahaya jangkar kapal. Hal ini dilakukan karena kabel penyalur aliran listrik untuk keperluan seluruh Pulau Madura berada pada alur pelayaran ramai dimana peluang terkena jangkar tinggi.

Analisis keandalan dengan metode simulasi Monte Carlo menggunakan perangkat lunak *Monte Carlo Simulation* terhadap daerah larangan jangkar (tercatat pada peta) dengan moda kegagalan seretan dan penetrasi jangkar tidak melebihi harga rata-rata 12 m dan 5 m telah dilakukan dan menghasilkan angka keandalan yang tinggi yaitu 0.9966, namun tidak cukup efektif mengamankan kabel disebabkan pengawasan terhadap daerah yang luas ( $2207435 \text{ m}^2$ ) sulit dilakukan. Sehingga pembuatan daerah konsentrasi pengawasan (daerah bahaya jangkar–disediakan untuk seretan jangkar–) selebar 12 m pada kedua sisi kabel perlu dilakukan dan menghasilkan angka keandalan 0.781614.

Hasil analisis kepekaan menunjukkan bahwa kecepatan arus, panjang daerah bahaya jangkar dan panjang kapal adalah tiga peubah dasar yang paling mempengaruhi peluang kegagalan daerah bahaya jangkar dimaksud, sehingga menaikkan lebar daerah menjadi sekitar sepertiga panjang kapal (33 m) merupakan langkah terbaik yang dapat dilakukan, terbukti menghasilkan angka keandalan yang cukup tinggi 0.999978.

Hasil di atas menunjukkan bahwa angka keandalan sistim yang tinggi tidak selalu dapat menjamin keselamatan sistim di lapangan bila tinjauan terhadap sistim dimaksud tidak cukup memperhatikan hal-hal lain yang ada di lapangan.

*...Untuk Bapak, Ibu dan Adik-adikku;  
Yuli, Ani, Ana dan Endra*



## KATA PENGANTAR

Terima kasih Tuhan atas KasihMu yang besar sehingga Tugas Akhir dengan judul *Analisis Keandalan Sistim Kabel Bawah Laut Akibat Jangkar Kapal Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo* ini dapat penulis selesaikan. Tugas Akhir ini penulis selesaikan guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Studi Program Sarjana pada Jurusan Teknik Kelautan, FTK ITS.

Penulis ingin menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah ikut ambil bagian sehingga Tugas Akhir ini dapat penulis selesaikan, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Daniel M. Rosyid selaku dosen wali sekaligus dosen pembimbing yang telah sangat banyak membantu, membimbing dan memotivasi penulis selama studi di ITS dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Hasan Ikhwani, MSc. selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. I Made Kartika beserta Ibu yang telah membantu dan mendidik penulis sehingga penulis sampai di jenjang pendidikan ini, serta kepada Mas Ari dan Dik Ratih yang dengan sukarela telah menerima penulis di rumah.
4. Bapak Dr. Ir. Paulus Indiono MSc. dan Dr. Ir. Wahyudi selaku ketua dan wakil ketua Jurusan Teknik Kelautan beserta seluruh staf pengajar dan karyawan.
5. Special thank's to; rekan "Tiga Anak Kecil" yang lain Pungu Silaban dan Anggun Dewara; Masih perlukah kita dipinggiran? dan teman-teman L'94 terutama Daryono, Anton, Agus, Fernas, Darwin dan Sayang.
6. Rekan-rekan di UK OR AIR; *pak tua* Hardi P'91, Baron L'90, Ambon P'92, Hendro dan Bayu L'93, Ali -Unair, Joko -D3 Sipil, Ani, Havri dan L'94; Bagus Singo, Agus *komting* dan Eko, dimana penulis menemukan diri.

7. Konco-konco masyarakat lantai papat: Sukma/*Gering* L'91 *–for the first time joining* dan L'92; Jefrit/Jo –untuk ilmu komputernya–, bang Hasbi –motivator P2, dan pengunjung setia lt. 4 yang ikut “menggoyang” suasana; Willy –teman mancing saat stress–, pak guru Dwik atas ilmu dan pinjaman bukunya, mas Wasis untuk MCSnya *thank's a lot*, mbak Vera L'91, Dayak, Van Demid Kamid and my junior Uton, Ristia dan Jenik.
8. Bapak-bapak di Paska Kelautan; Bapak Dr. Ir. Wisnu Wardhana MSc, SE selaku ketua, Ir. Yoyok, Ir. Semin, Ir. Bakti, Ir. Donny, Mas Hasan dan Ir. Irfan Syarif *-the nightman friend*.
9. Mahasiswa paska atas diskusi dan wawasannya: Pak Budi, Pak Iwan, Pak Fari, Pak Kole, Pak Arifin dan Pak Taufik.
10. Kepada seorang teman yang atas permintaan penulis mau memberikan doanya, menguatkan penulis disaat bimbang dan yang sampai sekarang masih menjadi sumber air inspirasi bagi penulis.
11. Siapa saja dengan tanpa mengurangi rasa hormat tidak dapat penulis sebutkan di sini.

Atas semua ini, penulis berdoa semoga Allah berkenan membalas segala kebaikan yang telah penulis terima dengan rahmatNya yang besar.

Penulis menyadari betapapun penulis telah berusaha untuk menghindari kesalahan dan mempertimbangkan banyak hal, namun seperti halnya ilmu keandalan muncul dari ketidaktentuan maka kritik dan saran pembaca yang membangun penulis harapkan demi meningkatkan keandalan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Mai 2000



Penulis

## DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	i
Abstrak	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	ix
Daftar Notasi	x
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	I - 1
I.2 Perumusan Masalah	I - 6
I.3 Tujuan	I - 7
I.4 Batasan Masalah	I - 7
I.5 Manfaat	I - 8
I.6 Sistematika Penulisan	I - 9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Analisa Keandalan Pada Sistim Rekayasa	II- 1
II.1.1 Latar Belakang	II- 1
II.1.2 Konsep Peluang	II- 2
II.1.3 Karakteristik Masalah Peluang	II- 3
II.1.4 Peubah Acak dan Fungsi Kerapatan Peluang	II- 5
II.1.5 Distribusi Peluang	II- 8
II.1.6 Teori Analisa Keandalan	II- 10

II.1.7.1 Simulasi	II-11
II.1.7.2. Metode Simulasi Monte Carlo	II-13
II.2 Sistim Tambat	II-14
II.2.1 Umum	II-14
II.2.2 Komponen Sistim Tambat	II-15
II.2.3 Perancangan Sistim Tambat	II-16
II.2.4 Klasifikasi Jangkar	II-16
II.2.5 Jangkar Seret	II-17
II.2.6 Penentuan Jarak Jangkar Seret	II-18
II.2.7 Beban Kapal Akibat Gaya-gaya Lingkungan.	II-21
II.2.7.1 Beban kapal akibat angin	II-22
II.2.7.2 Beban kapal akibat arus air	II-25
II.2.8 Persamaan Catenary	II-28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Sistim yang ditinjau	III- 2
III.2 Pengumpulan data lapangan	III- 3
III.3 Penyederhanaan masalah	III- 7
III.4 Moda kegagalan	III- 8
III.5 Penetapan peubah dasar dan distribusinya	III- 8
III.6 Simulasi Monte Carlo	III- 9
III.7 Analisa kepekaan	III- 9
III.8 Analisa hasil dan menarik kesimpulan	III- 10
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Kegagalan Kabel	IV- 1
IV.2 Keandalan Daerah Bahaya Jangkar	IV- 2
IV.2.1 Penentuan Moda Kegagalan	IV- 2
IV.2.2 Penentuan Peubah Dasar	IV- 7

IV.2.3 Hasil Perhitungan Keandalan Daerah Bahaya Jangkar	IV- 8
IV.3 Analisa Kepekaan	IV- 9
IV.4 Analisa Hasil dan Pembahasan	IV-13

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan	V-1
V.2 Saran	V-2

Daftar Pustaka

Lampiran A. Data Lapangan

Lampiran B. Tentang Program “Monte Carlo Simulation”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I -1	Lintasan Kabel Bawah Laut PLN di Selat Madura	I -5
Gambar II -1	Pemetaan Peristiwa-peristiwa ke Garis Real melalui Variabel Acak X	II -5
Gambar II -2	Macam-Macam Distribusi	II -8
Gambar II -3	Distribusi Peluang Normal	II -9
Gambar II -4	Grafik Interferensi Distribusi Peluang Kekuatan dan Beban	II -11
Gambar II -5	Klasifikasi Jangkar Secara Umum	II -16
Gambar II -6	Bagian-bagian Jangkar Seret	II -17
Gambar II -7	Diagram Alur Perancangan Jangkar	II -19
Gambar II -8a	Grafik untuk Menentukan Berat Jangkar Seret di Udara	II -20
Gambar II -8b	Grafik untuk Menentukan Jarak Seret Jangkar	II -21
Gambar II -9	Beban Statis Penambatan	II -22
Gambar II -10	Grafik $C_{yc}$ - Batas Laut Dalam	II -27
Gambar II -11	Grafik $C_{yc}$ - Batas Laut Dangkal	II -28
Gambar II -12	Koefisien Arus, K	II -28
Gambar II -13	Aplikasi Persamaan Catenary	II -29
Gambar III-1	Diagram Alur Metode Penelitian	III- 1
Gambar IV-1	Peluang Kegagalan pada Kenaikan 10% tiap Peubah Dasar	IV-12
Gambar IV-2	Grafik Perubahan Peluang Kegagalan pada Kenaikan 10 % tiap Peubah Dasar	IV-12



## DAFTAR TABEL

Tabel I -1	Daftar Gangguan Kerusakan Kabel Laut Jawa-Madura Akibar Jangkar Kapal	I - 5
Tabel II -1	Prosentase Penggunaan Simulasi Pada Bidang Fungsional Tertentu	II -12
Tabel II -2	Perkiraan Kedalaman Penetrasi Ujung Fluke Jangkar	II -21
Tabel II -3	Pemilihan Harga $\theta_{wz}$	II -24
Tabel IV-1	Karakteristik Perubah Dasar	IV- 8
Tabel IV-2	Masukan dan Hasil Analisa Kepekaan Untuk MK <sub>1</sub>	IV- 10
Tabel IV-3	Masukan Dan Hasil Analisa Kepekaan Untuk MK <sub>2</sub>	IV-11

## DAFTAR NOTASI

- $A_D$  : luas daerah bahaya kabel
- $A_{NA}$  : luas daerah larangan jangkar
- $A_x$  : luas proyeksi longitudinal kapal terhadap arus
- $A_H$  : luas proyeksi lateral lambung kapal
- $A_S$  : luas proyeksi lateral bangunan atas kapal
- $B$  : lebar kapal
- $C_{xcb}$  : koefisien drag gaya arus longitudinal
- $D_A$  : dalam penetrasi jangkar
- $D_C$  : dalam timbun kabel di dasar laut
- $f$  : faktor pengurang
- $FS$  : angka keamanan perancangan jangkar
- $H$  : beban horisontal kapal
- $H_{max}$  : beban horisontal maksimum kapal
- $Hn$  : normalisasi beban horisontal kapal
- $k$  : koefisien arus
- $L_A$  : panjang seretan jangkar
- $L_{DA}$  : lebar daerah bahaya jangkar
- $L_{fa}$  : panjang fluke jangkar
- $L_{wL}$  : panjang garis air kapal
- $MK_1$  : moda kegagalan terhadap seretan jangkar
- $MK_2$  : moda kegagalan terhadap dalam penetrasi jangkar
- $P_{g1}$  : peluang kegagalan untuk moda kegagalan 1
- $P_{g2}$  : peluang kegagalan untuk moda kegagalan 2
- $p(F)$  : peluang kegagalan sistim secara keseluruhan
- $p(X)$  : peluang kapal melakukan penjangkaran di daerah larangan jangkar

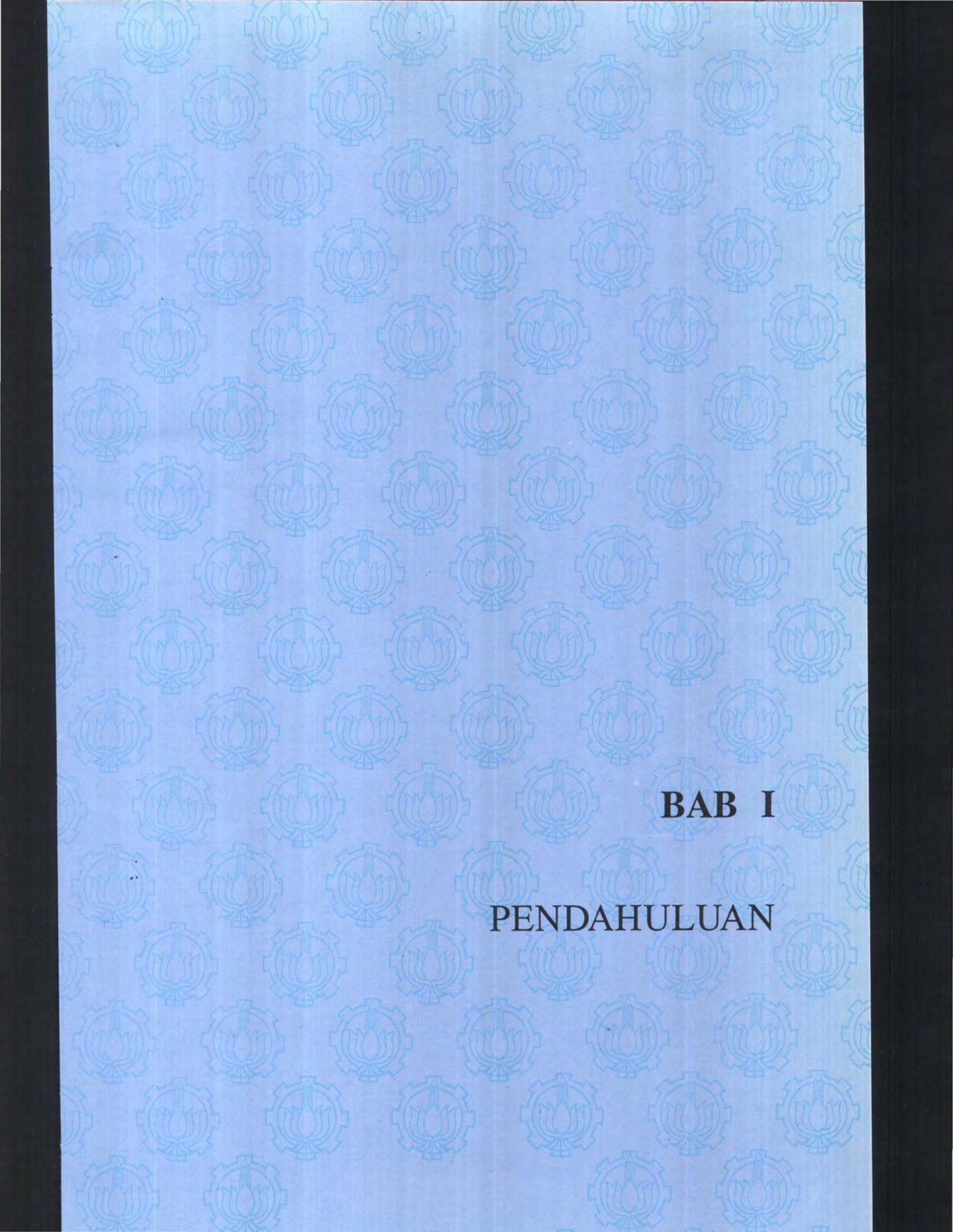
- $p(Y)$  : peluang jangkar jatuh di daerah bahaya kabel  
 $p(Z)$  : peluang jangkar mencapai kabel dalam daerah bahaya kabel  
 $R$  : keandalan daerah bahaya jangkar  
 $s$  : panjang rantai jangkar  
 $T$  : sarat kapal  
 $V_c$  : Kecepatan arus  
 $V_w$  : kecepatan angin  
 $w$  : berat persatuan panjang rantai jangkar  
 $W_A$  : berat jangkar di udara  
 $wd$  : kedalaman air  
 $\Delta$  : perubahan peluang kegagalan  
 $\mu$  : rata-rata  
 $\sigma$  : covarian  
 $\theta_c$  : sudut datang arus menuju kapal  
 $\theta_w$  : sudut datang angin menuju kapal  
 $\phi_D$  : sudut seret jangkar terhadap tegak lurus kabel



# BAB I

---

---



**BAB I**

**PENDAHULUAN**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk yang tidak seimbang dengan peningkatan sumber daya alam di darat meningkatkan perhatian dan ketertarikan pada laut sebagai sumber daya alam alternatif yang potensial. Aktivitas kelautan yang semakin tinggi memperpadat lalu lintas laut sebagai salah satu alat transportasi. Di pihak lain kebutuhan akan distribusi suatu produk juga ikut ambil bagian dalam peningkatan aktivitas kelautan ini. Distribusi beberapa produk seperti minyak, gas, listrik, data dan produk sejenis dilakukan juga lewat laut melalui pipa atau kabel dengan pertimbangan efisiensi sekaligus alternatif untuk menghindari kepadatan ini dibandingkan bila dilakukan secara konvensional melalui kapal laut.



Kabel bawah laut (*submarine cable*) telah dikenal sejak sekitar tahun 1850 ketika kabel telegraph pertama dipakai untuk menghubungkan dua tempat berbeda yang terpisah oleh laut. Kemudian ketika listrik berhasil ditemukan oleh Thomas A. Edison, kabel laut mulai dipikirkan untuk dimanfaatkan sebagai penyalur arus listrik. Pada tahun 1929-1931 sistem transmisi kelistrikan kabel laut mulai dibangun menghubungkan Swedia dengan Denmark sepanjang 5,5 km di

kedalaman 12 m bertegangan 50 kV AC, kemudian pada tahun 1958, juga antara Swedia dan Denmark berturut-turut meningkat sampai sepanjang 5,3 km (250 kV AC) pada kedalaman 35 m dan sepanjang 65 km di kedalaman 85 m, terakhir pada tahun 1973 dibangun sepanjang 7,35 km (420 kV AC). Perkembangan pesat kabel bawah laut ini didorong oleh peningkatan kebutuhan akan distribusi listrik dan efisiensi yang ditawarkan dari sistem tersebut (Doyle, 1997). Bersamaan dengan perkembangan penggunaan kabel laut sebagai penghantar listrik, penggunaan kabel laut sebagai media transportasi data juga berkembang. Bahkan presiden organisasi *Submarine System International* -SSI, William B. Carter meramalkan bahwa di masa datang seutas kabel bawah laut akan dapat membawa lebih dari sejuta *bit* informasi perdetik (Doyle, 1997). Hal-hal di atas menyebabkan peran kabel laut dan keselamatannya menjadi sangat penting.

Kabel laut yang secara umum dirancang untuk dapat beroperasi selama kurun waktu 25-30 tahun, cukup rentan terhadap kerusakan. Sumber bahaya kabel bawah laut ini dapat dikelompokkan dalam dua bagian besar. **Pertama** berasal dari kegiatan manusia, antara dari aktivitas penangkapan ikan, akibat penjangkaran kapal, kapal kandas/karam, kesalahan rekayasa kabel dan sebagainya, **kedua** dari faktor alam; densitas air laut yang bersifat korosif, penggerusan, gempa bumi, gangguan binatang dan sebagainya. Data statistik menunjukkan bahwa 70 % kerusakan kabel laut berada di perairan laut dangkal diakibatkan oleh aktivitas penangkapan ikan, dimana bahaya penjangkaran kapal ikan menjadi faktor utama (Foster, 1981).

Melihat Indonesia sebagai negara kepulauan yang mempunyai sekitar 17.000 buah pulau dengan distribusi penduduk dan sumberdaya alamnya yang tidak merata, maka aspek kabel laut sebagai sarana distribusi kelistrikan maupun informasi menjadi sangat penting. Hal ini dapat dilihat pada prospek penggunaan kabel laut interkoneksi sistim kelistrikan antara Sumatera dan sistim kelistrikan Jawa Bali lewat Selat Sunda sepanjang 26 km dan interkoneksi sistim kelistrikan Sumatera dengan sistim kelistrikan di Semenanjung Malaysia menyeberang Selat Malaka, dengan jalur utama; titik I (Cerenti) menuju titik II (Kepulauan Riau) sepanjang sekitar 150 km dan titik II menuju titik III (Johor) sepanjang sekitar 20 km (Mahmudsyah, 1999). Selain hal di atas, jenis sistim interkoneksi kelistrikan antar pulau yang digunakan di Indonesia saat ini adalah jaringan kabel bawah laut, menurut Mashud dan Situmeang(1999), cara ini dilakukan atas pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut;

- Peningkatan kebutuhan akan energi listrik terutama pada pulau-pulau yang terpisah dari sistim kelistrikan yang telah ada.
- Kecenderungan melakukan efisiensi dengan membangun pembangkit listrik berskala besar dan sistim interkoneksi yang mendorong peningkatan kebutuhan transmisi udara atau kabel bawah laut.
- Dampak lingkungan menimbulkan kecenderungan untuk membangun pembangkit listrik berskala besar jauh dari pusat keramaian.
- Pertumbuhan kebutuhan listrik di pulau-pulau kecil yang berdekatan dengan pembangkit listrik yang telah ada.

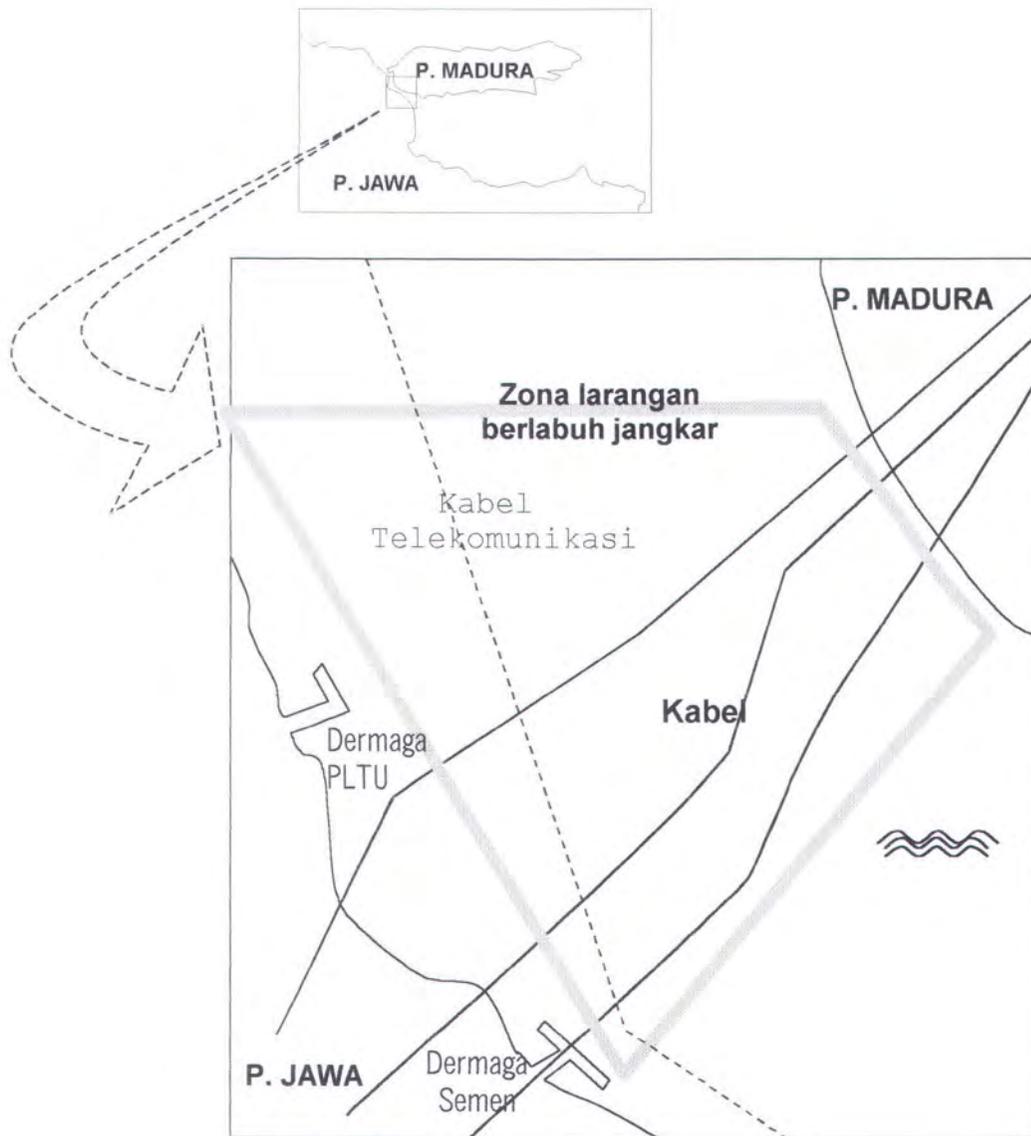
Kecelakaan kabel listrik bawah laut PLN di Selat Madura pada 19 Pebruari 1999 membawa kerugian serius bagi kehidupan masyarakat Madura secara umum; sosial, ekonomi, budaya maupun politik (Kompas, 21 Pebruari 1999). Kecelakaan ini disebabkan oleh jangkar kapal peti kemas *M.V Kota Indah* berbobot mati 10.000 ton milik perusahaan *Pacific International Line (PIL)* Singapura yang lego jangkar di daerah lintasan kabel tersebut. Meskipun tindakan pengamanan kabel telah dilakukan yaitu dengan memasang rambu-rambu laut di jalur kabel dan telah didaftarkan pada hubungan laut (Hubla) Departemen Perhubungan dan disesuaikan dengan Standar Internasional serta mencatatkannya di peta pelayaran dunia (Surabaya Post, 21 Pebruari 1999), ternyata kecelakaan serupa tercatat telah terjadi empat kali. Lokasi sistim kelistrikan kabel laut di Selat Madura dapat dilihat pada gambar I-1 berikut, dimana terdapat zona larangan berlabuh jangkar untuk melindungi kabel dari bahaya jangkar. Kemudian tabel I-1 memperlihatkan sejarah kecelakaan kabel laut tersebut.

- Lokasi kabel

Perairan Gersik - Tajungan Kamal Madura yang juga merupakan alur lalu lintas kapal ke- dan dari Pelabuhan Tanjung Perak.

- Spesifikasi dan kondisi kabel

- berisi minyak sebagai pendingin dan media isolasi
- 3 sirkit kabel masing-masing berdiameter 15 cm.
- Daya listrik kabel 150.000 volt, 50 Hz.
- berada 5 m di bawah tanah lumpur.
- panjang bentang pada Selat Madura 4000 m.



**Gambar I-1.** Lintasan Kabel Bawah Laut PLN di Selat Madura.  
(Mahmudsyah, 1999)

**Tabel I -1** Daftar Gangguan Kerusakan Kabel Laut  
Jawa- Madura Akibat Jangkar Kapal

Tanggal	Nama Kapal	Kabel (Merk)
6 Okt. 1994	MV Ocean Competence	SIRKIT - 2
7 Okt. 1996	MV Festivity	SIRKIT - 3
16 Okt. 1997	MV Bali Sea	SIRKIT - 3
19 Feb. 1999	MV Kota Indah	SIRKIT - 1 & 2

(Mahmudsyah, 1999)

Dari uraian di atas dapat dipahami bahwa peranan penting kabel bawah laut menyebabkan keselamatan kabel menjadi sangat penting untuk diperhatikan, dimana kegagalan sistim kabel bawah laut membawa konsekuensi yang sangat tinggi, sehingga keandalan sistim kabel menjadi salah satu titik perhatian yang penting apalagi bagi Indonesia sebagai negara kepulauan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Daerah sistim kabel listrik bawah laut Jawa-Madura di Selat Madura merupakan Jalur Navigasi Lintas Barat yang cukup sibuk karena merupakan alur pintu masuk terdekat bagi kapal-kapal samudera yang datang dari pelabuhan-pelabuhan di sebelah Utara Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya (FTSP ITS, 1989), dimana potensi bahaya penjangkaran yang tinggi akan mempengaruhi keselamatan kabel. Kerusakan kabel akibat jangkar kapal dapat terjadi jika dan hanya jika terjadi pelanggaran terhadap daerah larangan jangkar (*No Anchoring Zone*). Analisa keandalan sistim kabel listrik bawah laut dengan menggunakan metode simulasi Monte Carlo dilakukan untuk memberi jawaban yang timbul atas permasalahan di bawah ini:

- Bagaimana model keandalan sistim kabel listrik bawah laut terhadap bahaya jangkar kapal di Selat Madura?
- Tindakan apa yang paling efektif dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistim kabel listrik bawah laut ?

### 1.3 Tujuan

- Mengetahui bagaimana model keandalan sistim kabel listrik bawah laut terhadap jangkar kapal.
- Mengetahui tindakan paling efektif yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistim kabel listrik bawah laut di Selat Madura.

### 1.4 Batasan Masalah

- Penambatan kapal diasumsikan menggunakan sistim penambatan satu titik tambat (*single point mooring*).
- Jenis jangkar kapal yang dianalisa yaitu kelompok jangkar seret (*drag anchore*) dengan nama **STATO** karena jangkar ini paling banyak digunakan (Tsinker, 1995).
- Beban arus pada tali tambat yang disalurkan ke jangkar diabaikan mengingat pengaruhnya yang relatif kecil dibandingkan dengan kontribusi beban-beban kapal yang lain.
- Dimensi jangkar kapal diperoleh dari kapasitas tahan jangkar (*anchor holding power capacity*) menggunakan metode yang dianjurkan oleh U.S Navy (1985).

- Teknik analisa keandalan yang dipakai yaitu Metode Simulasi Monte Carlo menggunakan perangkat lunak yang telah ada yaitu *Monte Carlo Simulation* (Wawan, 1999).

## **1.5 Manfaat**

Dengan mengetahui model keandalan sistim kabel listrik bawah laut di Selat Madura diharapkan dapat memberikan pertimbangan dalam mengambil keputusan preventif dan antisipatif yang tepat yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistim kabel listrik bawah laut pada tingkat yang diinginkan.

Dapat dijadikan salah satu bahan pertimbangan di masa datang dalam perancangan dan operasional kabel bawah laut maupun kegiatan lalu lintas kapal bila kabel berada pada alur pelayaran yang ramai dimana peluang terjadi penjangkaran tinggi.

Sumbangan pemikiran untuk memperkaya khasanah keilmuan secara umum dan secara khusus di Jurusan Teknik Kalautan ITS Surabaya untuk permasalahan yang masih berhubungan.

## **I.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang mengapa penelitian ini dilakukan, identifikasi masalah yang ditinjau untuk memperjelas sistim yang akan dianalisa, batasan masalah untuk menyederhanakan sistim dengan tanpa mengabaikan kesahihan secara signifikan, perumusan masalah sebagai pernyataan eksplisit tentang apa yang akan dilakukan, tujuan yang hendak dicapai, manfaat yang akan diperoleh, dan metode penulisan laporan penelitian.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Tinjauan pustaka menampilkan beberapa teori yang akan digunakan sebagai pijakan dan *justifikasi* dalam penelitian ini, antara lain bahasan tentang analisa keandalan pada sistim rekayasa; latar belakang, konsep dan karakteristik masalah peluang, peubah acak dan distribusinya, teori analisa keandalan dan Teknik Simulasi Monte Carlo dan bahasan tentang sistim penambatan, yang secara khusus tentang rumusan untuk mendapatkan dimensi dan jarak seretan jangkar.

### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini merupakan kerangka pemikiran dari keseluruhan penelitian dalam tugas akhir ini karena membahas semua tahapan secara umum yang dilakukan dari awal penelitian sampai pada penarikan kesimpulan.

#### BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah pembahasan terdahulu; pendahuluan, tinjauan pustaka dan metodologi di kemukakan, maka pada bab ini mulai dilakukan pensimulasian atas keandalan sistim kabel listrik bawah laut yang dimaksud. Perhitungan dalam bab ini akan menghasilkan keluaran beserta analisa permasalahan dari sistim yang ditinjau. Dapat dikatakan bahwa keluaran dari bab ini akan menentukan bagaimana kesimpulan yang akan dapat ditarik dari penelitian ini.

#### BAB IV. PENUTUP

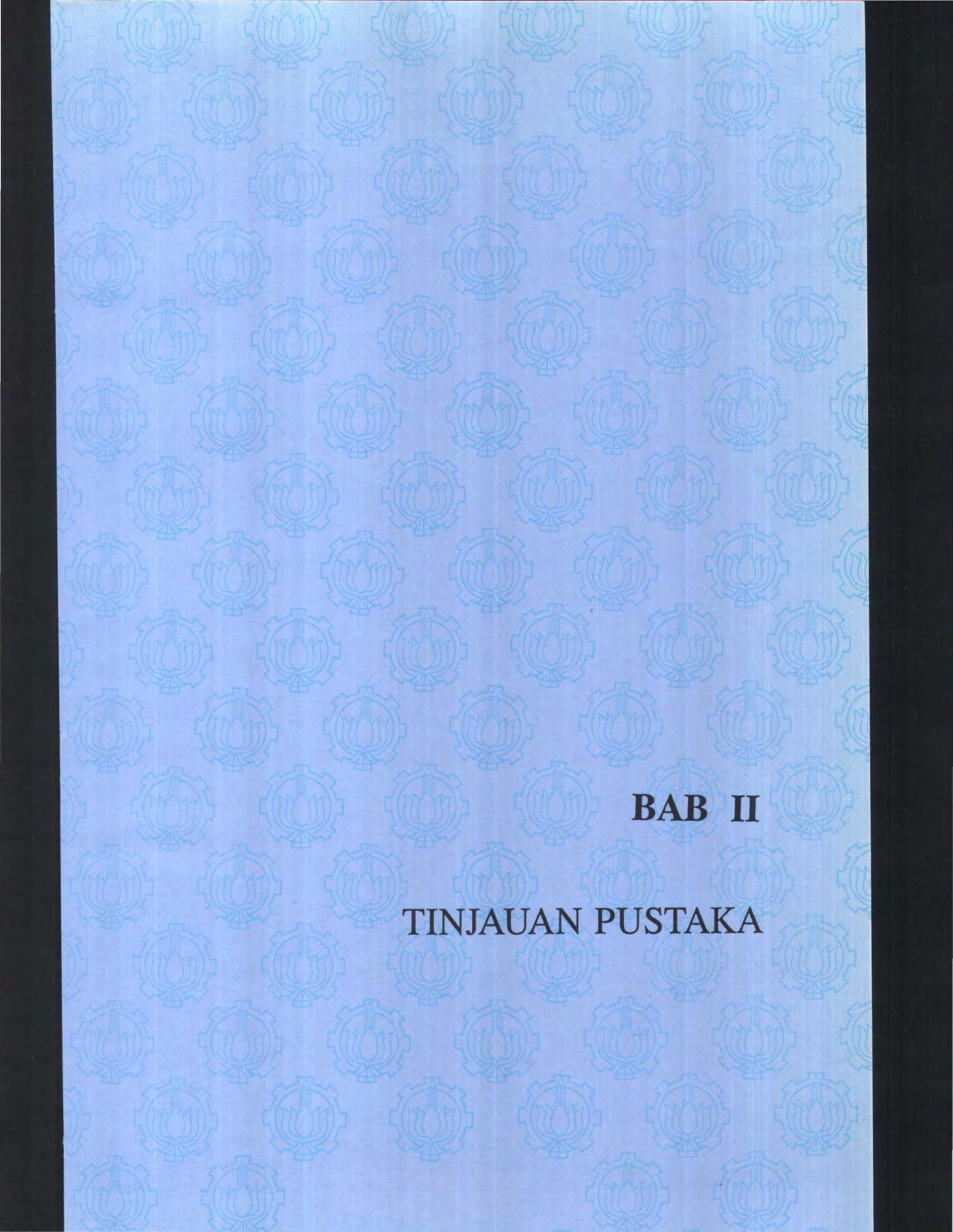
Berisi kesimpulan-kesimpulan yang telah didapat dari bab sebelumnya beserta saran atau rekomendasi yang dapat dilakukan sebagai tindak lanjut penelitian untuk permasalahan yang relevan.



## BAB II

---

---



**BAB II**

**TINJAUAN PUSTAKA**



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 ANALISA KEANDALAN PADA SISTIM REKAYASA

##### II.1.1 Latar Belakang

Lingkungan laut yang tidak dipahami benar menyebabkan perilaku dan beban-beban akibat lingkungan laut pada sistim-sistim maritim belum dapat ditentukan dengan kepastian dan keakuratan tinggi. Keberadaan ketidakpastian juga terjadi pada semua sistim rekayasa yang pernah dirancang manusia sebagai akibat dari keterbatasan pengetahuan manusia. Ketidakpastian yang melekat pada setiap kegiatan rekayasa diketahui terbagi atas tiga macam (Rosyid, 1999):

1. *Ketidakpastian Fisik*, adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan keragaman (*variability*) besaran-besaran fisik seperti: beban, sifat material, ukuran material dan sebagainya. Keragaman fisik ini hanya bisa dinyatakan dalam contoh data dengan pertimbangan praktis dan ekonomis.
2. *Ketidakpastian Statistik*, berhubungan dengan data-data untuk membuat model secara probabilistik dari bermacam keragaman fisik di atas. Data-data ini harus ditentukan jenis distribusi peluangnya serta harga parameter-nya. Parameter-parameter itu dianggap sebagai peubah acak,

sedang ketidakpastian yang tergantung pada data itu disebut ketidakpastian statistik.

3. *Ketidakpastian Model*, adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan anggapan suatu sistem yang dimodelkan secara matematis dalam bentuk deterministik atau probabilistik. Ketidakpastian ini merupakan hasil penyederhanaan dengan bermacam-macam asumsi, kondisi batas yang tidak diketahui, dan diketahuinya pengaruh peubah yang lain serta hubungan peubah-peubah yang tidak tercakup dalam model.

Keberadaan ketidakpastian dalam persoalan rekayasa dapat disertakan dalam menganalisis suatu masalah dengan menggunakan analisa keandalan yang menitikberatkan pada perlakuan dan pemilihan ketidakpastian secara rasional dan menyangkut pengambilan keputusan yang rasional (Thoft-Christensen & Baker, 1982). Dalam analisa keandalan besaran-besaran dalam perhitungan teknik tidak lagi dinyatakan secara deterministik tetapi menyertakan harga rata-rata, simpangan baku, dan fungsi peluang yang menunjukkan keberadaan ketidakpastian.

### **II.1.2 Konsep Peluang**

Prinsip-prinsip peluang memberikan dasar matematis untuk memodelkan ketidakpastian dan menganalisis pengaruhnya pada suatu sistem rekayasa. Teori

keputusan peluang dan statistik mempunyai peranan yang sangat penting dalam semua aspek perencanaan dan perancangan rekayasa, termasuk :

1. Pemodelan masalah-masalah rekayasa dan penilaian prestasi sistim yang berada pada kondisi ketidaktentuan.
2. Penentuan kriteria perancangan dengan sistematik, yang khusus penting memperhitungkan ketaktentuan.
3. Kerangka logis untuk penaksiran resiko dan analisi perimbangan resiko keuntungan relatif terhadap pengambilan keputusan (Ang, 1987).

Penerapan konsep peluang dibedakan dalam 3 dasar pemikiran, yaitu:

1. Peluang yang diperoleh dari hasil observasi kejadian serupa atau percobaan sebelumnya.
2. Peluang yang memenuhi aksioma-aksioma tertentu dan dengan alasan deduktif dari peluang suatu kejadian untuk menentukan peluang kejadian lain.
3. Prediksi fisis berdasarkan bilangan-bilangan peluang berdasarkan kejadian sampel untuk menentukan kemungkinan suatu kejadian (O'Connor, 1991).

### **II.1.3 Karakteristik Masalah Peluang**

Masalah peluang menunjuk pada kejadian suatu peristiwa (*event*) relatif terhadap peristiwa-peristiwa yang lain. Dengan kata lain ada lebih dari satu kemungkinan - jika tidak akan menjadi masalah tertentu/*deterministic*. Untuk tujuan kualitatif,

peluang dapat dipandang sebagai ukuran numerik dari kecenderungan kejadian suatu peristiwa relatif terhadap sehimpunan peristiwa yang lain, dengan demikian peluang berkaitan dengan peristiwa yang spesifik dalam suatu ruang kemungkinan. Peluang suatu peristiwa tergantung pada kemungkinan dari hasil-hasil individu dalam suatu ruang kemungkinan dan dapat diturunkan dari peluang hasil-hasil dasar ini.

Peluang terjadinya (*probability of occurrence*) dinyatakan dalam jangkauan harga 0 – 1 dimana jika peluang 0 berarti suatu kejadian tertentu tidak pernah terjadi, sebaliknya jika peluang sama dengan 1 maka kejadian tersebut pasti akan terjadi.

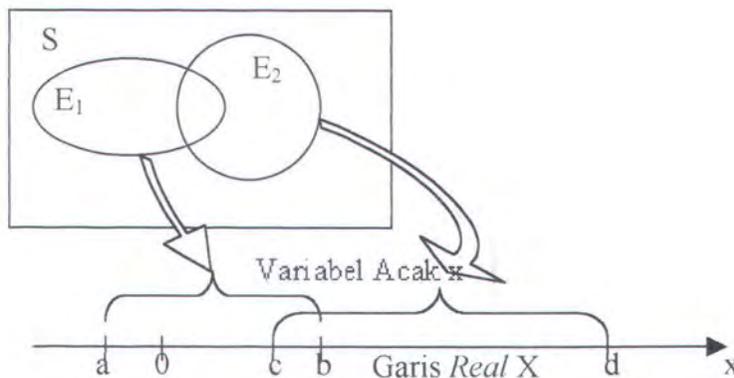
Peluang dapat diterangkan dengan dua cara (O'Connor, 1991):

- Bila suatu kejadian dapat terjadi N kali dengan suatu cara dan bila suatu kejadian dengan atribut A dapat terjadi dengan cara itu, maka peluang terjadinya A adalah  $P(A) = n/N$ .
- Bila dalam sebuah percobaan terjadi suatu kejadian dengan atribut A sebanyak n kali dari N kali percobaan, dengan N sangat besar maka peluang kejadian A adalah  $P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{n}{N} \right)$ .

Dua kejadian disebut s-independent secara statistik apabila peluang yang satu tidak dipengaruhi oleh terjadinya kejadian lain.

## II.1.4 Peubah Acak dan Fungsi Kerapatan Peluang

Untuk menghitung ketidakpastian pada suatu sistim yang ditinjau dengan memakai metode analisa keandalan perlu didefinisikan suatu peubah acak. Peubah acak (*random variabel*) merupakan suatu alat -yang diolah jika perlu- untuk menyatakan hasil atau peristiwa yang mungkin dari suatu penomena acak dalam besaran numerik (nilai atau nilai-nilai suatu fungsi  $\approx$  harga atau jangkauan harga) baik sebenarnya maupun buatan. Secara lebih formal, peubah acak dapat dipandang sebagai aturan yang memetakan (-satu lawan satu) peristiwa-peristiwa dalam ruang sampel ke suatu garis *real* seperti dapat dilihat pada gambar II-1. Peristiwa-peristiwa yang saling eksklusif dipetakan ke selang yang saling tidak tumpang tindih pada garis itu. Hal ini memungkinkan pernyataan analitik yang mudah dengan menampilkan peristiwa serta peluangnya secara grafis.



**Gambar II-1.** Pemetaan peristiwa-peristiwa ke garis real melalui variabel acak  $X$  (Ang, 1987)

Peristiwa  $E_1, E_2$  dan seterusnya pada gambar II-1 dari ruang sampel  $S$  dipetakan ke garis *real* melalui peubah acak  $X$ ; dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$E_1 = (a < X \leq b),$$

$$E_2 = (c < X \leq d)$$

$$\overline{E_1 \cup E_2} = (X \leq a) \cup (X > d)$$

$$E_1 E_2 = (c < X \leq b)$$

Distribusi peluang peubah acak adalah aturan untuk menyatakan ukuran peluang yang berkaitan dengan semua harga suatu peubah acak yang selalu dapat dinyatakan dengan fungsi distribusi kumulatif (*Cumulative distribution function*, CDF), yaitu :

$$F_X(x) \equiv P(X \leq x) \text{ untuk semua } X$$

Fungsi distribusi peluang,  $F_X$ , harus memenuhi aksioma-aksioma (sifat khusus dengan aturan operasi tertentu) peluang yaitu tidak boleh negatif dan peluang yang berkaitan dengan jumlah semua hasil dari peubah acak yang mungkin :

- a. Untuk setiap peristiwa  $E$  dalam ruang sampel  $S$ , terdapat peluang yang tidak negatif;  $F_X(x) \geq 0$ .
- b. Peluang peristiwa yang pasti,  $S$ , adalah 1;  $P(S)=1,0$ .
- c. Untuk dua peristiwa yang saling eksklusif, berlaku ;

$$P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + P(E_2)$$

**Jenis Peubah acak X:**

a. Peubah Acak Diskrit

Yaitu jika hanya beberapa harga diskrit  $x$  bernilai peluang yang positif. Distribusi peluang suatu peubah acak diskrit  $X$  dapat dinyatakan dalam fungsi massa peluang (*probability mass distribution*, PMF) yaitu fungsi yang menyatakan  $P(X = x)$  untuk semua  $x$ . Jadi bila  $X$  peubah acak diskrit dengan PMF  $p_X(x_i) \equiv P(X = x_i)$ , maka fungsi distribusinya:

$$F_X(X) = P(X \leq x) = \sum_{\text{semua } x_i \leq x} P(X = x_i) = \sum_{\text{semua } x_i \leq x} p_X(x_i) \dots\dots\dots(2-1)$$

b. Peubah Acak Kontinyu

Yaitu jika ukuran peluang terdefinisi untuk setiap harga  $x$ . Distribusi peluang peubah acak kontinyu juga dapat dinyatakan dalam fungsi kerapatan peluang(PDF), sehingga bila  $f_X(x)$  adalah PDF dari  $X$ , maka peluang dari  $X$  dalam selang  $(a,b)$  adalah:

$$P(a < X \leq b) = \int_a^b f_X(x) dx, \dots\dots\dots(2-2)$$

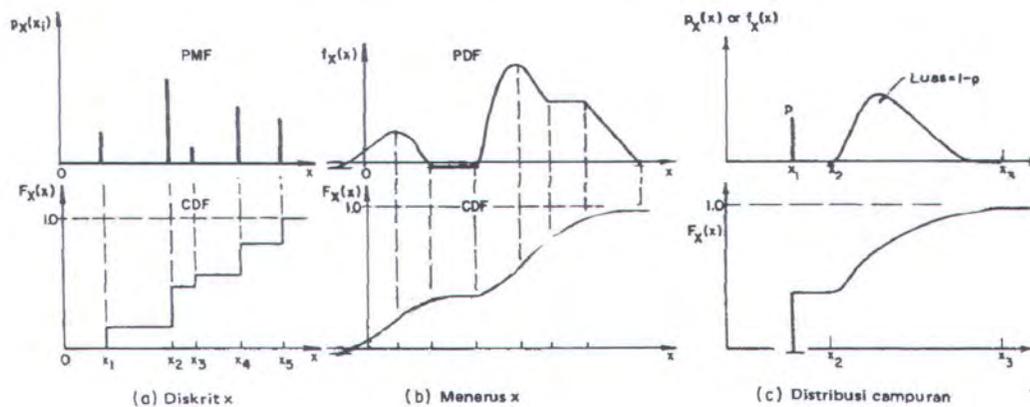
Dengan PMF:  $F_X(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f_X(\xi) d\xi \dots\dots\dots(2-3)$

Jika  $F_X(X)$  memiliki turunan pertama, diperoleh :

$$f_X(x) = \frac{dF_X(x)}{dx} \dots\dots\dots(2-4)$$

### c. Peubah Acak Campuran

Yaitu jika suatu peubah acak terdistribusi secara diskrit dan kontinyu sekaligus. Gambar II-2 di bawah ini memperlihatkan ketiga macam distribusi peluang yang pasti.



**Gambar II-2.** Macam-macam Distribusi  
(Ang, 1987)

PMF dan PDF adalah fungsi  $x$  yang tidak negatif, sedang jumlah peluang suatu PMF adalah 1, sama dengan luas total di bawah kurva PDF.

### II.1.5 Distribusi Peluang

Dalam tugas akhir ini hanya disajikan distribusi peluang kontinyu yaitu distribusi normal (*normal distribution*) karena hanya distribusi ini yang akan digunakan dalam pembahasan nanti. Distribusi peluang untuk peubah dasar normal disebut

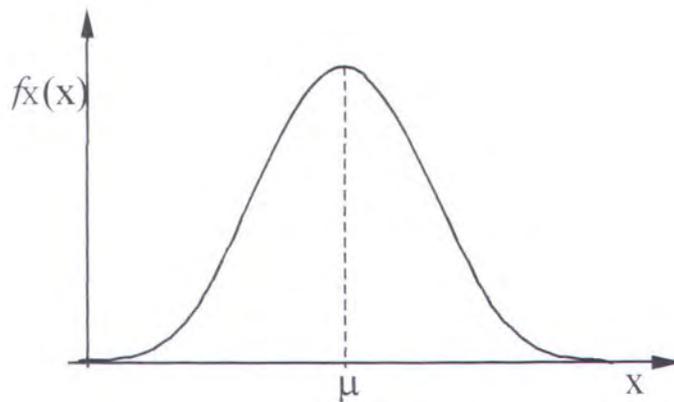
juga distribusi Gauss (*Gaussian Distribution*) mempunyai bentuk persamaan sebagai berikut:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad -\infty < x < \infty \quad \dots\dots\dots(2-5)$$

Disingkat X-N ( $\mu, \sigma$ ) dimana  $\mu$ , adalah rata-rata dan  $\sigma$  simpangan baku. Gambar II-3 mengilustrasikan grafik dari distribusi normal.

Sifat penting distribusi normal adalah :

- $\int_{-\infty}^{\infty} f_X(x) dx = 1$
- $f_X(x) \geq 0$  untuk seluruh X dan  $\lim_{x \rightarrow \pm\infty} f_X(x) = 0$
- $f_X[(x+\mu)] = f_X[-(x+\mu)]$ , merupakan kerapatan simetris di sekitar  $\mu$
- nilai maksimum  $f_X$  terjadi pada  $x = \mu$
- titik peubah dari  $f_X$  adalah pada  $x = \mu \pm \sigma$



**Gambar II-3.** Distribusi Peluang Normal  
(Rosyid, 1999)

### II.1.6 Teori Analisa Keandalan

Keandalan sebuah komponen atau sistim didefinisikan sebagai peluang komponen atau sistim tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa gagal dalam kurun waktu dan lingkungan tertentu bila dioperasikan dengan benar.

Hubungan antara keandalan, K, ketidakandalan,  $P_g$  -peluang terjadinya kegagalan-resiko, R dan konsekuensi kegagalan, C, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$K = 1 - P_g \quad \dots\dots\dots(2-6)$$

$$R = P_g \times C \quad \dots\dots\dots(2-7)$$

Hasil perhitungan keandalan hanya memberikan suatu nilai peluang sistim/struktur yang ditinjau, dimana penentuan kelaikan dengan angka keandalan ini sangat bersifat subjektif, tergantung dari perancanganya, konsultan, *owner*, biro klasifikasi atau pihak yang berkepentingan dan merupakan tahap yang paling menentukan.

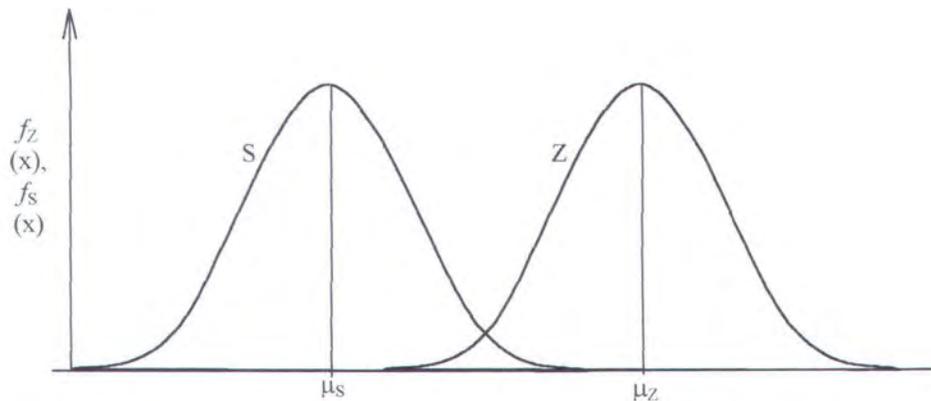
Sebagai contoh gambar II-4 memperlihatkan fungsi distribusi kerapatan peluang peubah acak variabel beban (Z) dan kekuatan (S) suatu struktur dan fungsi  $g(s,z)$  adalah keadaan batasnya, yang menerangkan batas aman kekuatan dengan beban yang bekerja ditulis;

$$SM = g(s,z) = S - Z$$

Maka keadaan yang mungkin dapat terjadi pada struktur ini:

1.  $SM = g(s,z) \leq 0$  ; struktur akan gagal, karena beban Z melebihi kekuatan S.
2.  $SM = g(s,z) > 0$  ; struktur aman, karena beban Z lebih kecil dari kekuatan S.
3.  $SM = g(s,z) = 0$  ; batas antara keadaan aman dan gagal.

Diagram interferensi ini beranggapan bahwa kedua distribusi tidak akan mengalami perubahan walaupun kemungkinan itu sangat besar atau dapat dipastikan akan terjadi.



**Gambar II-4.** Grafik Interferensi Distribusi Peluang Kekuatan dan Beban (Rosyid, 1999)



### II.1.7.1 Simulasi

Teknik simulasi sebagai salah satu alat bantu yang digunakan untuk mendapatkan berbagai informasi dari suatu sistem nyata melalui suatu model simulasi. Model simulasi yang merupakan duplikasi (“pura-pura”) perilaku sistem nyata dibangun atas interaksi antar komponen dan antar kejadian (dalam waktu) dalam sistem dengan ekspresi matematis. Secara umum simulasi akan menghasilkan ukuran terpilih yang menggambarkan kinerja sistem, dimana dalam melakukan percobaan statistik sering dipakai alat bantu berupa komputer (Law & Kelton, 1991).

Sebagai contoh, dalam simulasi sistim antrian dapat diperkirakan jumlah rata-rata waktu tunggu, panjang antrian dan prosentase waktu kosong dari fasilitas layanan. Walaupun teknik simulasi relatif mahal untuk dilakukan karena membutuhkan banyak proses dari sejumlah besar data, namun simulasi lebih fleksibel dalam mengekspresikan sistim nyata. Hal ini karena dalam simulasi, sistim nyata yang mempunyai kompleksitas yang tinggi –yang sulit untuk dimodelkan dan diselesaikan secara analitis model matematikanya- dipecah-pecah sampai elemen terkecil dengan variabilitas yang dapat dikendalikan.

Hasil pengamatan tentang penggunaan simulasi pada beberapa perusahaan besar di Amerika yang telah dilakukan oleh David Christie dan Hugh Watson (Hillier & Lieberman, 1995) sampai dengan awal tahun 1980-an, ditemukan bahwa simulasi telah banyak dipakai pada berbagai bidang seperti yang terlihat pada tabel II-1. Perkembangan penggunaan simulasi banyak ditunjang oleh perkembangan bahasa program simulasi untuk tujuan yang lebih dikhususkan pada suatu masalah tertentu, di samping karena perkembangan grafis komputer yang mampu memvisualkan simulasi secara interaktif.

**Tabel II-1.** Prosentase penggunaan simulasi pada bidang fungsional tertentu (Hillier & Lieberman, 1995).

Bidang Fungsional	Prosentase
Produksi	59 %
Perencanaan	53 %
Rekayasa	46 %
Finansial	41 %
Reset dan pengemangan	37 %
Penjualan	24 %
Data prosesseing	16 %
Perorangan	10 %

### II.1.7.2 Metode Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo yang biasa dipakai pada sistem telah diketahui peubah acaknya atau diasumsikan distribusi peluangnya merupakan metode analisis keandalan untuk sistem dengan fungsi kinerja  $FK(X)$  sangat tidak linier. Simulasi Monte Carlo dilakukan melalui sampling numerik dari *Random Number Generator* -RNG,  $X_i$  sebuah populasi  $x_i$  dimasukkan ke dalam fungsi kinerja,  $FK(X)$ . Fungsi kinerja ini kemudian dihitung dan sistem/komponen dinyatakan gagal bila  $FK(X) < 0$ . Peluang kegagalan sistem/komponen yang ditinjau untuk  $N$  sampel dengan terjadi  $n$  kali  $FK(X) < 0$  adalah  $P_g = n/N$ . Karena angka acak  $a_p$ , yang dikeluarkan oleh RNG mempunyai fungsi kerapatan peluang-fkp seragam, maka  $a_p$  perlu ditransformasikan secara numerik menjadi besaran fisis peubah acak  $X_p$ , yang sesuai dengan fkp-nya (Rosyid, 1996).

Langkah-langkah menggunakan metode simulasi Monte Carlo adalah sebagai berikut:

- Ambil beberapa angka acak  $x_i$  (sebanyak jumlah perubah dasar pada persamaan moda kegagalan yang pada kasus ditinjau) dari random number generator dengan  $0 < x_i < 1$ .
- Transformasikan distribusi peluang  $x_i$  (uniform) menjadi  $z$  sesuai dengan peluangnya menurut fungsi kerapatan peluangnya.
- Masukkan  $z$  pada persamaan  $M$
- Hitung  $M$

- Bila  $M < 0$  tetapkan  $N_{FAIL} = FAIL + 1$
- Ulangi percobaan hingga NEXP yang diminta.
- Untuk percobaan sebanyak NEXP bila kejadian ( $M < 0$ ), maka peluang terjadinya kegagalan  $P_f = N_{FAIL}/N_{EXP}$ .
- Keandalan sistim adalah  $R = 1 - N_{FAIL}/N_{EXP}$

## II.2 SISTIM TAMBAT

### II.2.1 Umum

Sistim tambat digunakan untuk menjaga kapal/struktur apung lain untuk tetap pada suatu tempat tertentu di laut, baik sementara atau permanen. Beban tambat berasal dari beban lingkungan yang diderita kapal dan disalurkan melalui tali tambat ke jangkar. Dalam banyak kasus pengaruh gelombang yang mengakibatkan gerak setempat/lokal kapal sering diabaikan (Gaythwaite, 1990).

Sistim tambat secara umum dikelompokkan atas dua macam dan disesuaikan dengan kondisi lingkungan setempat :

#### ◆ Satu titik tambat ( *Single Point Mooring - SPM* )

Penambatan ini memungkinkan kapal akan berayun bebas pada bidang horisontal dan cenderung untuk menjadi sejajar dengan kombinasi semua

arah beban lingkungan yang bekerja padanya sehingga beban yang diterima sistim tambat menjadi minimum. Dapat dikatakan bahwa sistim tambat ini merupakan sistim tambat yang paling ekonomis. Namun karena gerak ayun kapal ini maka dibutuhkan daerah yang cukup luas.

♦ **Banyak titik tambat (*Multiple-Point Mooring - MPM*)**

Sistim ini dipakai jika kapal membutuhkan toleransi gerakan yang kecil atau pada daerah yang relatif sempit.

## II.2.2 Komponen Sistim Tambat

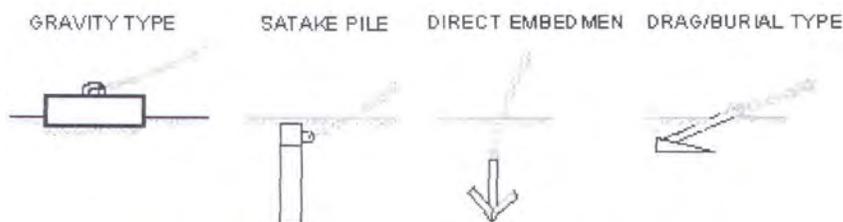
Komponen sistim tambat terdiri atas jangkar (*anchor*), tali tambat(*mooring line*), perlengkapan penghubung, pemberat (*sinker*) dan struktur ujung penghubung. Tali tambat dapat berupa tali komposit, kawat atau rantai. Ukuran, kekuatan dan panjang tali tergantung pada beban tambat, kedalaman air, kondisi lingkungan, dan *offset* kapal yang diperbolehkan. *Sinker* adalah struktur yang sangat berat dari beton/baja pada tali tambat untuk membuat beban pada jangkar menjadi horisontal sehingga penetrasi jangkar meningkat dan hentakan pada jangkar berkurang. Pelampung (*buoy*) biasanya digunakan untuk terminal kapal tanker yang akan mengadakan bongkar muat.

### II.2.3 Perancangan Sistim Tambat

Perancangan penambatan terdiri atas 3 langkah dasar (Gaythwaite, 1990): yaitu menentukan susunan tata letak sistim tambat, mengevaluasi kondisi lingkungan dan beban-beban dapat terjadi dan merancang komponen-komponen sistim tambat. Lokasi, konfigurasi dan jenis penambatan serta kapal ditentukan dahulu dimana dalam beberapa kasus perlu menilik kembali beberapa konfigurasi penambatan di tempat rencana untuk menentukan susunan tambatan yang paling tepat di daerah itu. Kondisi lingkungan seperti karakteristik tanah dasar, kedalaman air, angin, arus dan gelombang harus dievaluasi dengan baik.

### II.2.4 Klasifikasi Jangkar

Jenis jangkar dibedakan berdasarkan bagaimana jangkar menciptakan tahanan lateral pada tanah dasar. Gambar II-5 memperlihatkan representasi dari macam-macam jenis jangkar.



Gambar II-5 Klasifikasi Jangkar Secara Umum  
(Gaythwaite, 1985)

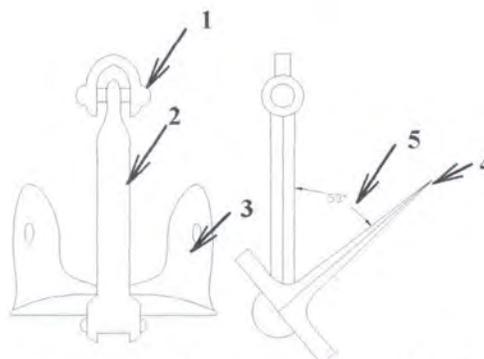
Jangkar grafitasi merupakan blok beton/baja yang sangat berat sebagai penahan beban kapal baik vertikal maupun horisontal. Kemampuan jangkar ini tergantung pada berat jangkar dan koefisien gesek dengan permukaan dasar. Jangkar ini cenderung tidak ekonomis digunakan. Jangkar tiang juga dapat menahan beban horisontal dan verikal. Jangkar tiang digunakan bila karakteristik tanah dasar tidak cocok dengan jangkar geser. *Direct embedment anchor* merupakan jangkar yang di kendalikan, digetarkan dan diputar secara vertikal ke dasar laut kemudian fluke jangkar dikembangkan dan diganti arah untuk gaya tahan.

### II.2.5 Jangkar Seret

Jenis jangkar seret (*drag/burial type*) adalah jangkar yang hanya dapat menahan beban horisontal. Jangkar jenis ini sering dipakai pada sistim tambat kapal karena kemudahan operasional, beratnya yang relatif ringan dan kemampuan menahan beban yang cukup baik. Bagian-bagian penting jangkar jenis ini dapat dilihat pada gambar II-6 berikut:

Bagian-bagian jangkar :

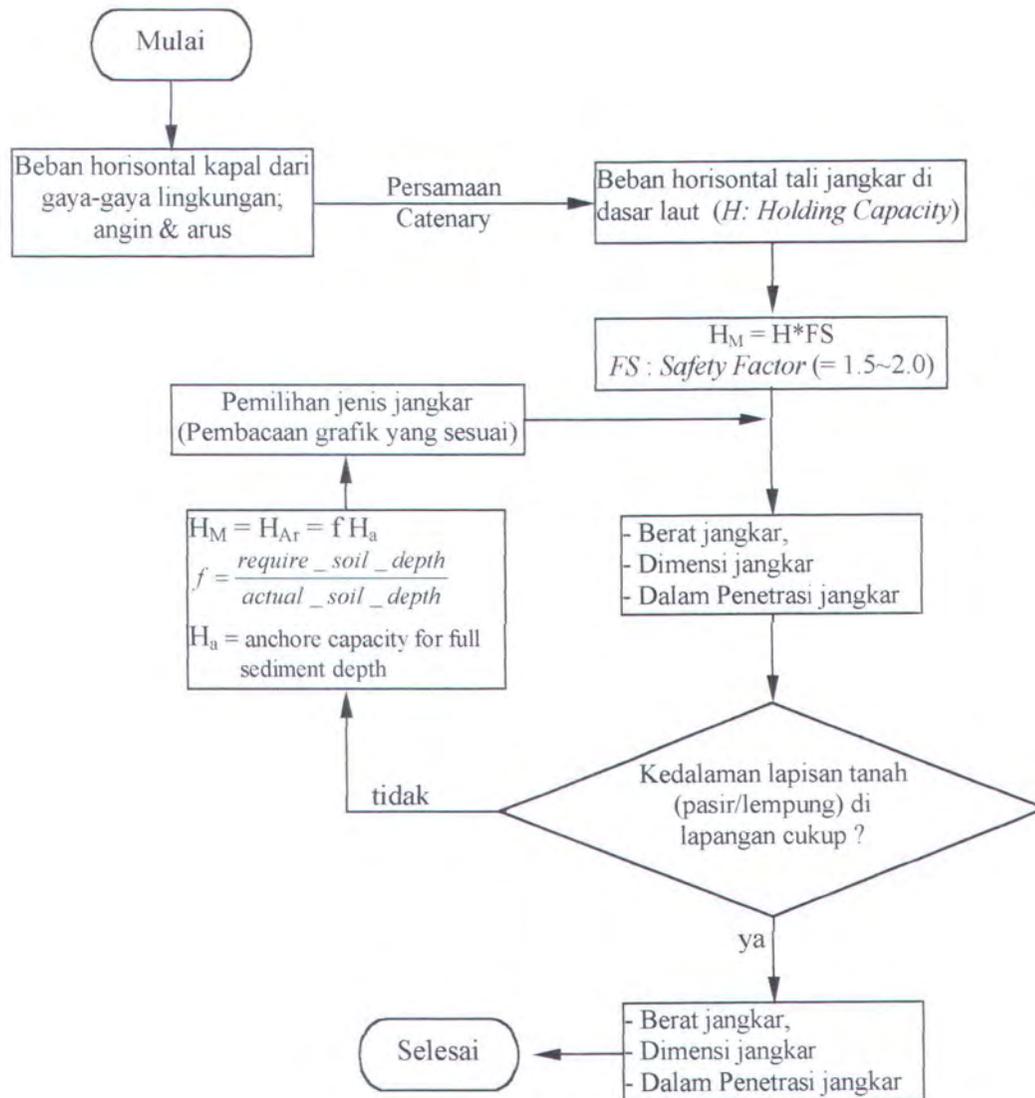
1. *Shackle*
2. *Sank*
3. *Fluke*
4. *Fluke tip*
5. *Fluke angle*



**Gambar II-6.** Bagian-bagian Jangkar Seret  
(U.S. Navy, 1985 dalam Tsinker, 1995)

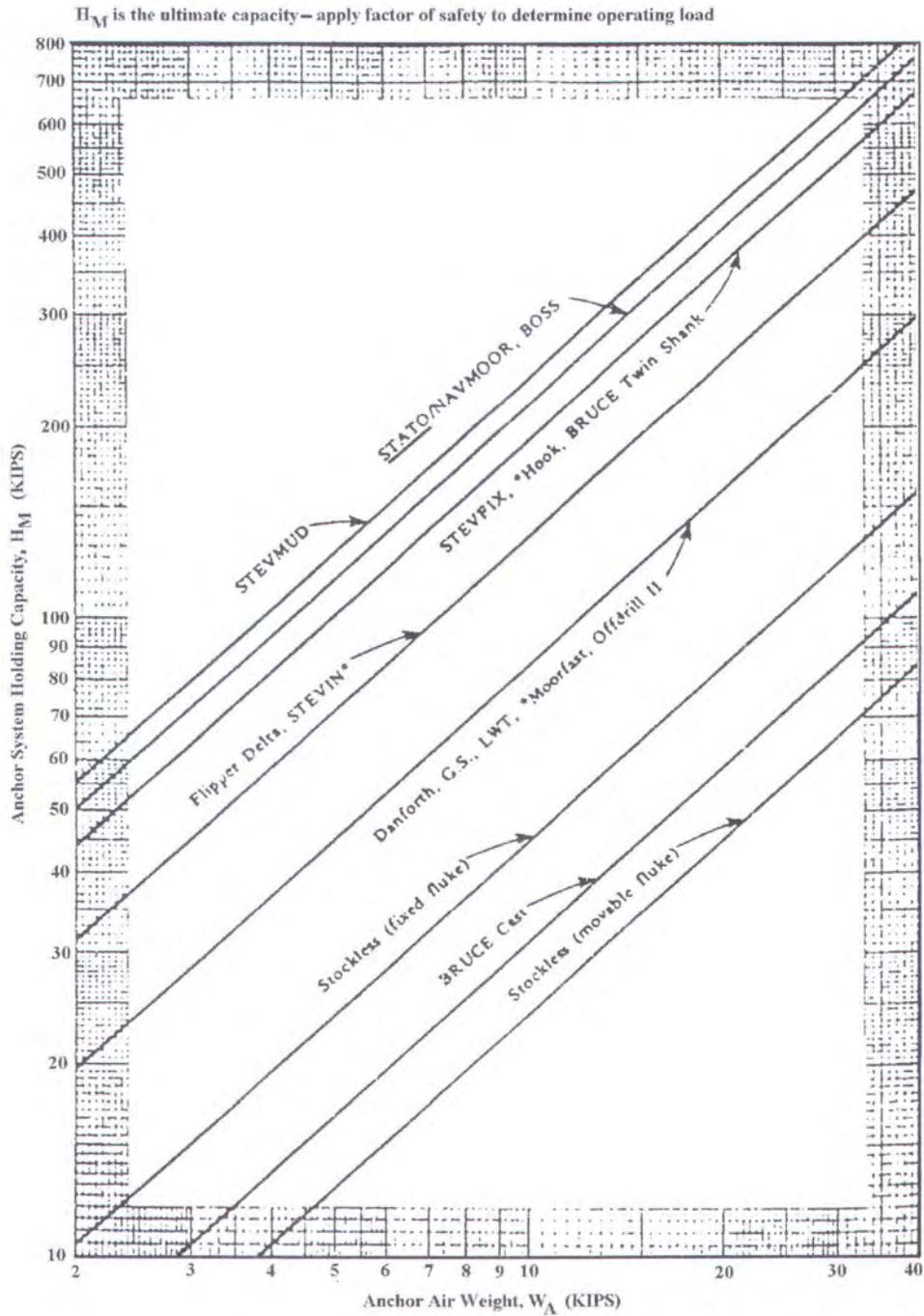
## II.2.6 Penentuan Jarak Seret Jangkar

Dalam perancangan jangkar, setelah menentukan jenis jangkar (dalam hal ini kelompok jangkar seret) yang sesuai maka penentuan ukuran mengacu pada informasi spesifik yang dikeluarkan pabriknya. Ukuran jangkar oleh U.S. Navy (1985) ditentukan dari kapasitas tahanan jangkar maksimum (*maximum holding capacity*)  $H_M$ , dengan asumsi kedalaman penetrasi *flukanya* cukup. Bila pada daerah rencana operasi jangkar terdapat lapisan keras sehingga kedalaman tanah yang dapat ditembus tidak cukup, maka kapasitas jangkar perlu dikurangi dengan faktor pengurang (*reduction faktor*)  $f$ , menjadi  $H_{AR} = f * H_M$ . Selanjutnya kapasitas jangkar akan bertambah dengan terseretnya jangkar di dasar laut, namun jarak seret ini harus dibatasi. Diagram alur penentuan jarak seret jangkar dapat dilihat pada gambar II-7. Gambar II-8 adalah grafik-grafik yang digunakan dalam perancangan jangkar. Kedalaman tanah dasar yang dibutuhkan agar penetrasi jangkar dapat terjadi dimana kapasitas holding tercapai dengan baik diperkirakan dari tabel II-2 berdasarkan panjang *fluke* jangkar yang bersangkutan.

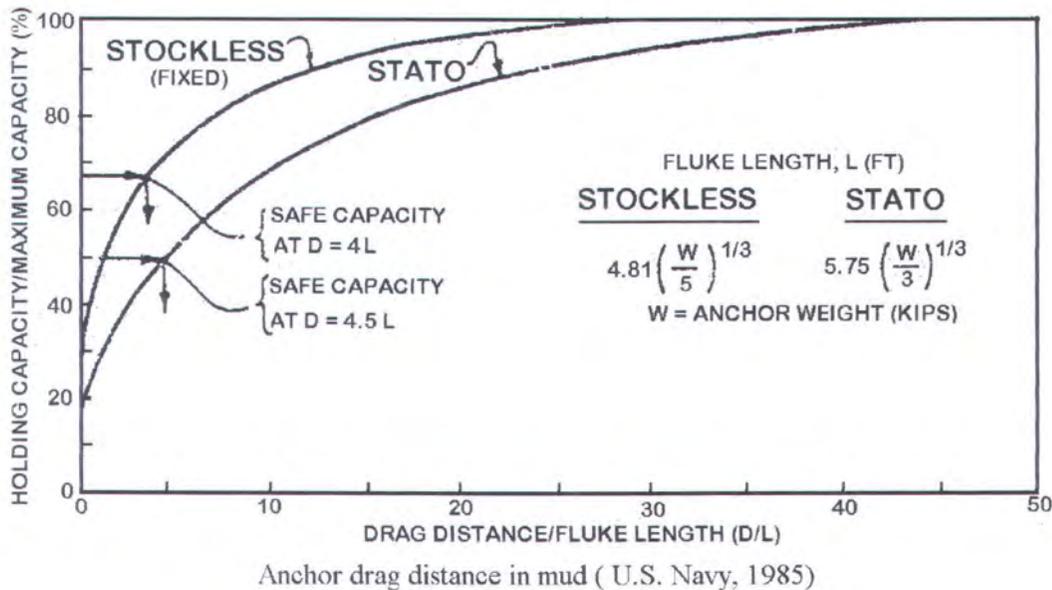


Gambar II-7. Diagram Alur Perancangan Jangkar

Drag anchor holding capacity - Mud button (U.S. Navy, 1985)



**Gambar II-8a.** Grafik untuk menentukan berat jangkar seret di udara (U.S. Navy, 1985 dalam Tsinker, 1995)



**Gambar II-8b.** Grafik untuk menentukan jarak seret jangkar (U.S. Navy, 1985 dalam Tsinker, 1995)

**Tabel II-2.** Perkiraan kedalaman penetrasi ujung *fluke* jangkar. (U.S. Navy, 1985 dalam Tsinker, 1995)

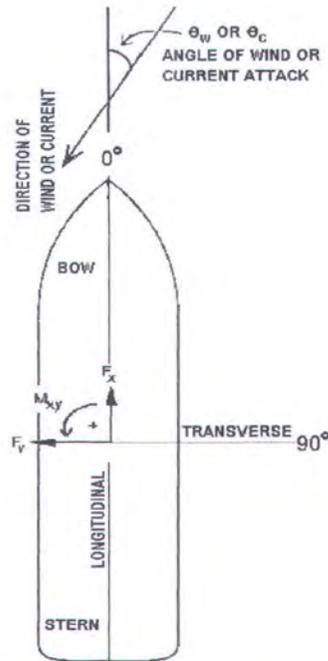
**Estimate Anchor Fluke Tip Penetration**

Anchor Type	Fluke-Tip Penetration/Fluke Length	
	Sand (Stiff Clay)	Mud (soft silts and clays)
Stocless	1	3
Moorfast	1	3
Offdrill II	1	4
Stato	1	4,5
Stevmud	1	5,5
Hook	1	6

**II.2.7 Beban Kapal Akibat Gaya-gaya Lingkungan**

Beban lingkungan yang diderita kapal mempunyai karakter tertentu pada suatu daerah perairan. Beban statis dari gaya-gaya lingkungan yang bekerja pada kapal

dapat dibedakan menjadi beban longitudinal, beban lateral dan momen yaw seperti yang terlihat pada gambar II-9 berikut:



Gambar II-9. Beban Statis Penambataan.  
(U.S. Navy, 1985 dalam Tsinker, 1995)

### II.2.7.1 Beban Kapal Akibat Angin

Beragam metode dapat dipakai untuk mengetahui beban akibat angin pada kapal. Prosedur berikut diambil dari Owens dan Palo (1982) seperti yang terdapat pada U.S. Navy (1985) dalam Tsinker (1995).

Beban statis angin dihitung dengan menggunakan formulasi-formulasi berikut:

◇ Beban angin lateral : 
$$F_{yw} = \frac{1}{2} \rho_a V_w^2 A_y C_{yw} f_{yw}(\theta) \dots\dots\dots(2-8)$$

◇ Beban angin longitudinal : 
$$F_{xw} = \frac{1}{2} \rho_a V_w^2 A_x C_{xw} f_{xw}(\theta_w) \dots\dots\dots(2-9)$$

$\rho_a$  : massa jenis udara

$\theta_w$  : sudut angin

$V_w$  : kecepatan angin

$A_y, A_x$  : luas proyeksi lateral dan longitudinal kapal

$C_{yw}, C_{xw}$  : koefisien gaya *drag* angin arah lateral dan longitudinal

$f_{yw}(\theta_w), f_{xw}(\theta_w)$  : fungsi bentuk untuk beban angin lateral & longitudinal.

Koefisien gaya *drag* angin arah lateral,  $C_{yw}$ , tergantung pada luas lambung dan luas bangunan atas kapal:

$$C_{yw} = 0.92 \frac{\left[ \left( \frac{V_S}{V_R} \right)^2 A_S + \left( \frac{V_H}{V_R} \right)^2 A_H \right]}{A_y} = 0.92 \frac{\left[ \left( \frac{h_S}{h_R} \right)^{\frac{2}{7}} A_S + \left( \frac{h_H}{h_R} \right)^{\frac{2}{7}} \right]}{A_S + A_H} \dots (2-10)$$

dengan:  $h_S$  : tinggi rata-rata bangunan atas

$h_H$  : tinggi rata-rata lambung kapal

$h_R$  : ketinggian 10 m di atas permukaan laut

$A_S$  : luas proyeksi lateral bangunan atas

$A_H$  : luas proyeksi lateral lambung timbul

Koefisien gaya drag angin arah longitudinal,  $C_{xw}$ , bervariasi menurut jenis dan karakteristik kapal. Koefisien ini tidak sama untuk angin yang berasal dari depan (*head wind / Over the bow* :  $\theta_w = 0^\circ$ ) disebut  $C_{xwB}$  maupun dari belakang kapal (*tail wind / over the stern*:  $\theta_w = 180^\circ$ ) disebut  $C_{xwS}$ . Namun untuk semua tipe kapal, kecuali ketentuan khusus, direkomendasikan harga  $C_{xwB} = C_{xwS} = 0,4$ .

Fungsi bentuk untuk beban angin lateral,  $f_{yw}(\theta_w)$ , diberikan menurut persamaan :

$$f_{yw}(\theta_w) = \frac{\left[ \sin(\theta_w) - \frac{\sin(5\theta_w)}{20} \right]}{\left(1 - \frac{1}{20}\right)} = \frac{\sin \theta_w - 0,05 \sin 5\theta_w}{0,95} \dots\dots\dots(2-11)$$

Sedangkan fungsi bentuk untuk beban angin longitudinal,  $f_{xw}(\theta_w)$ , berbeda untuk daerah *head wind* dan *tail wind*, koefisien ini tergantung sudut angin yang tidak menghasilkan gaya longitudinal disebut sudut *zero crossing*,  $\theta_{wz}$ , yang ditentukan menurut lokasi rata-rata bangunan atas terhadap tengah kapal (*midship*) seperti pada tabel II-2 berikut :



**Tabel II-2** Pemilihan Harga,  $\theta_{wz}$   
(U.S. Navy, 1985 dalam Tsinker, 1995)

<i>Location of Superstructure</i>	$\theta_{wz}$ ( <i>degrees</i> )
<i>Just forward of midships</i>	80
<i>On midships</i>	90
<i>Aft of midships</i>	100
<i>Hull-dominated</i>	120

Untuk kebanyakan kapal, termasuk kapal tanker harga  $\theta_{wz}$  direkomendasikan  $\approx 100^\circ$ . Untuk jenis kapal seperti kapal barang, harga  $f_{xw}(\theta_w)$  dinyatakan sebagai berikut:

$$f_{xw}(\theta_w) = \cos \phi = \cos \left( \frac{90^\circ}{\theta_{wz}} \theta_w \right) = \cos(0,9\theta_w) \dots\dots\dots(2-12)$$

### II.2.7.2 Beban Kapal Akibat Arus Air

Metode untuk menghitung beban angin berikut diambil dari U.S. Navy, 1985 (Tsinker, 1995) yang dihitung dengan menggunakan formulasi berikut ini:

◇ Beban lateral kapal akibat arus:  $F_{yc} = \frac{1}{2} \rho_w V_c^2 L_{wl} T C_{yc}(\theta_c)$  .....(2-13)

◇ Beban longitudinal kapal akibat arus disebabkan oleh tahanan bentuk, geser dan tahanan baling-baling arus air yang bekerja pada kapal. Sehingga beban longitudinal kapal akibat arus ini merupakan jumlahan dari ketiga komponen gaya tersebut :

$$F_{xc} = F_{xform} + F_{xfriktion} + F_{xprop} \quad \dots\dots\dots(2-14)$$

dengan :  $F_{xform} = \frac{1}{2} \rho_w V_c^2 B T C_{xcb} \cos(\theta_c)$  .....(2-15)

$$F_{xfriktion} = -\frac{1}{2} \rho_w V_c^2 S C_{xca} \cos(\theta_c) \quad \dots\dots\dots(2-16)$$

$$F_{xprop} = -\frac{1}{2} \rho_w V_c^2 A_p \cos(\theta_c) \quad \dots\dots\dots(2-17)$$

Dimana :

$\rho_a$  : rapat massa air

$V_c$  : kecepatan arus

$\theta_c$  : arah arus

$L_{wl}$  : panjang garis air kapal

$T$  : sarat kapal

$C_{yc}$  : koefisien gaya drag arus lateral dihitung dengan persamaan;

$$C_{yc} = C_{yc|_{\infty}} + (C_{yc|_1} - C_{yc|_{\infty}}) e^{-k(\frac{nd}{T}-1)} \quad \dots\dots\dots(2-18)$$

dengan :  $C_{yc}|_{\infty}$  : nilai batas dari  $C_{yc}$  untuk  $wd/T$  (kedalaman air/sarat kapal) yang besar. Nilai ini ditentukan dari grafik pada gambar II-10 sebagai fungsi dari  $L_{wl}/B$  & koefisien blok,  $\phi$ .

$C_{yc}|_1$  : nilai batas dari  $C_{yc}$  untuk  $wd/T = 1$ , diberikan dalam grafik pada gambar II-11 sebagai fungsi  $C_p L_{wl} / \sqrt{T}$ , dengan

$$C_p = \frac{\phi}{C_m} \text{ adalah koefisien prismatic.}$$

k : koefisien, diberikan seperti pada gambar II-12 sebagai fungsi  $\phi$  dan bentuk lambung kapal (bentuk blok atau bentuk kapal normal).

S : luas permukaan lambung basah =  $1,7 L_{wl} + 35 D/T$

$C_{xcb}$  : koefisien gaya arus tahanan bentuk arah longitudinal .

$C_{xca}$  : koefisien gaya gesek arus longitudinal, dihitung dengan rumus

berikut :

$$C_{xca} = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} \dots\dots\dots(2-19)$$

Angka Reynolds  $R_n = V_c L_{wl} \cos(\theta_c) / \nu \dots\dots\dots(2-20)$

$\nu$  = viskositas kinematik air = 0,00000028.

$A_p$  : luas daun baling-baling;

$$A_p = \frac{A_{Tpp}}{0.838} = \frac{L_{wl} B}{A_R} \dots\dots\dots(2-21)$$

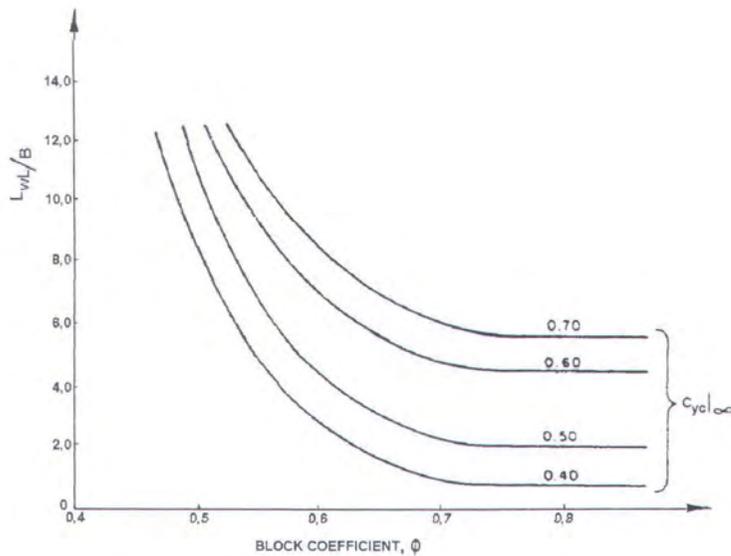
dimana nilai perbandingan luas,  $A_R$ , untuk enam macam kelompok utama kapal diperlihatkan pada tabel II-3 berikut:

**Tabel II-3.**  $A_R$  Untuk Tahanan Propeler  
(U.S. Navy, 1985 dalam Tsinker, 1995)

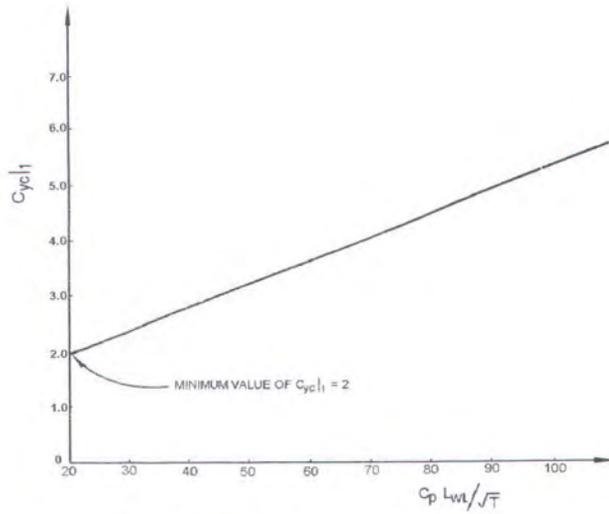
Vessel Type	$A_R$
Destroyer	100
Cruiser	160
Carrier	125
Cargo	240
Tanker	270
Submarine	125

Dengan demikian nilai  $A_R$  yang sesuai = 240 sehingga persamaan (2.21) menjadi :

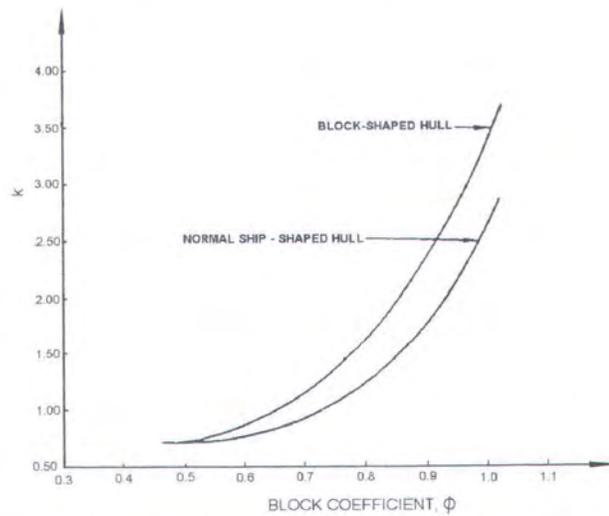
$$A_p = \frac{L_{WL} B}{201,12} \dots\dots\dots(2-22)$$



**Gambar II-10** Grafik  $C_{ycl}$  – Batas Laut Dalam  
(U.S. Navy, 1985 dalam Tsinker, 1995)



**Gambar II-11** Grafik  $C_{yc}$  – Batas Laut Dangkal (U.S. Navy, 1985 dalam Tsinker, 1995)



**Gambar II-12.** Koefisien Arus,  $k$  (U.S. Navy, 1985) (U.S. Navy, 1985 dalam Tsinker, 1995)

### II.2.8 Persamaan Catenary

*Catenary* adalah suatu kurva yang dibentuk oleh tali atau sejenis tali yang lentur, berberat seragam sepanjang tali tersebut dan kedua ujungnya terikat sama tinggi

(Korkut & Hebert, 1970). Konsep catenary dimanfaatkan untuk menghitung gaya yang disalurkan dari gerak kapal ke jangkar. Pada kenyataan di lapangan untuk mengetahui tegangan dan panjang rantai/tali tambat tidak mungkin dapat dilakukan, karena alat ukur tegangan tidak dapat membaca tegangan dengan tepat karena adanya gesekan pada pipa *hawser*. Persamaan catenary berikut dapat digunakan untuk menghitung tegangan dengan cukup akurat (Korkut & Hebert, 1970):

$$x = \frac{H}{w} \cosh^{-1} \left( \frac{H + zw}{H} \right) \dots\dots\dots(2-23)$$

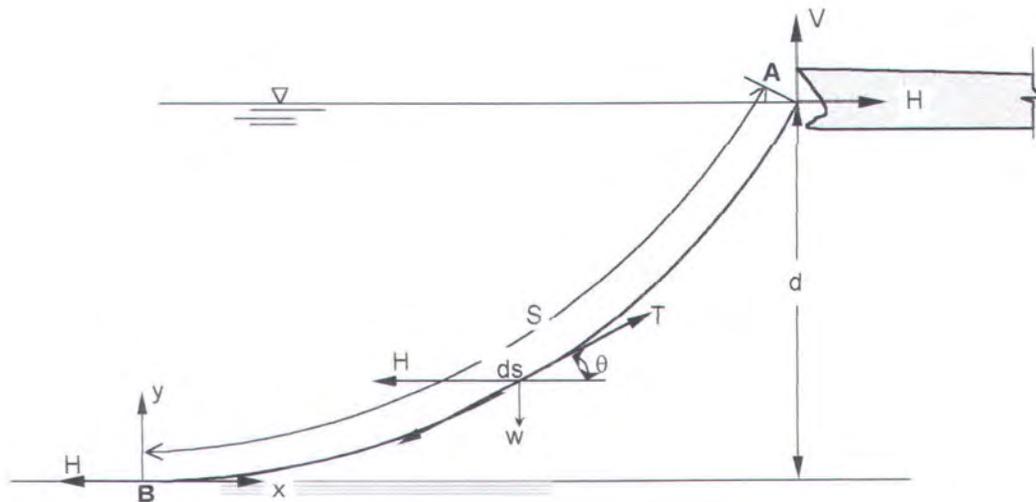
$$T = H + zw \dots\dots\dots(2-24)$$

Dimana  $x,y$  : koordinat jangkar

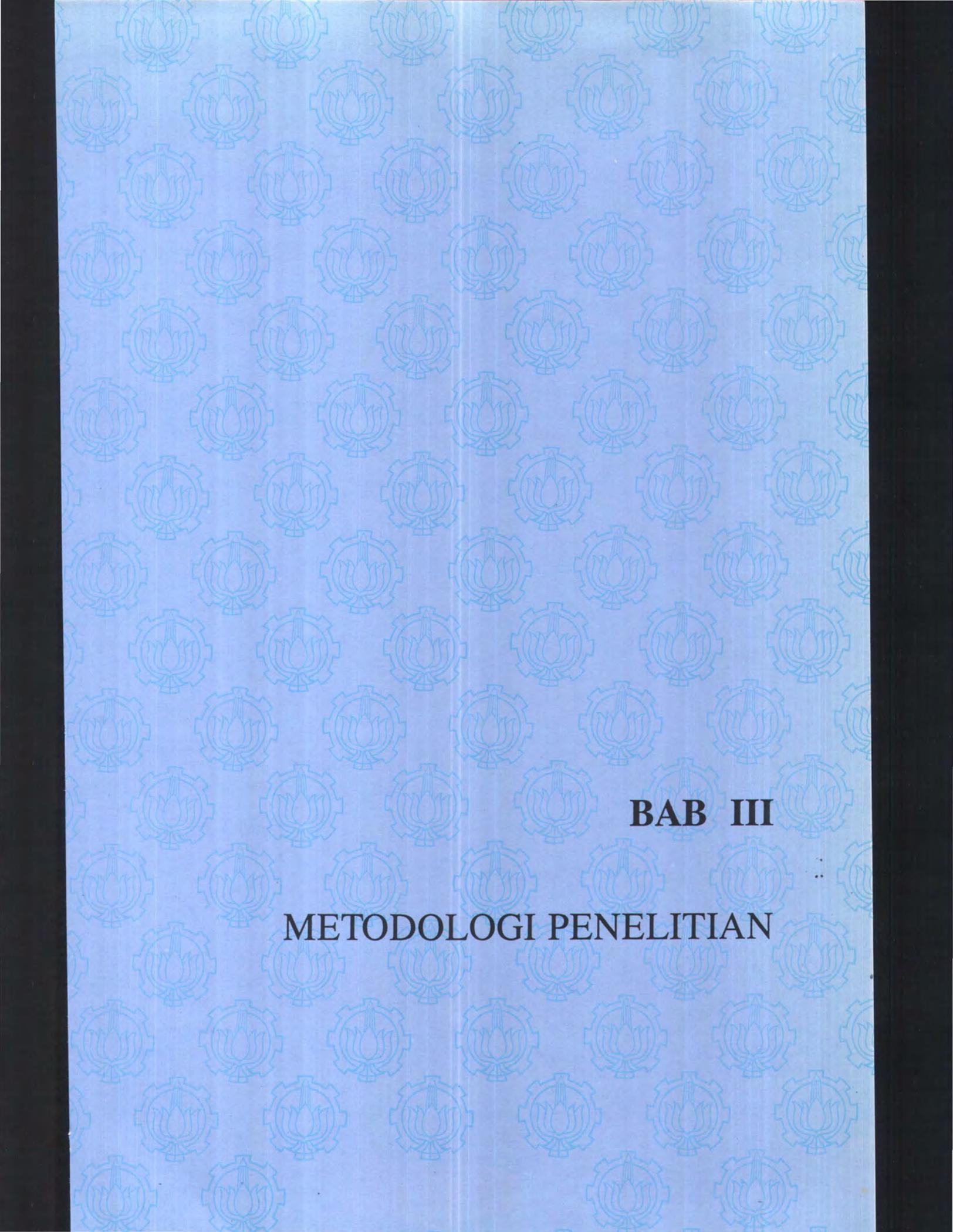
$s,w$  : panjang dan berat rantai persatuan panjang

$T,H$  : tegangan tali jangkar di permukaan dan dasar laut

$d,\theta$  : kedalaman dan sudut tali dipermukaan air.



**Gambar II-13.** Aplikasi Persamaan Catenary  
(Korkut & Hebert, 1970)



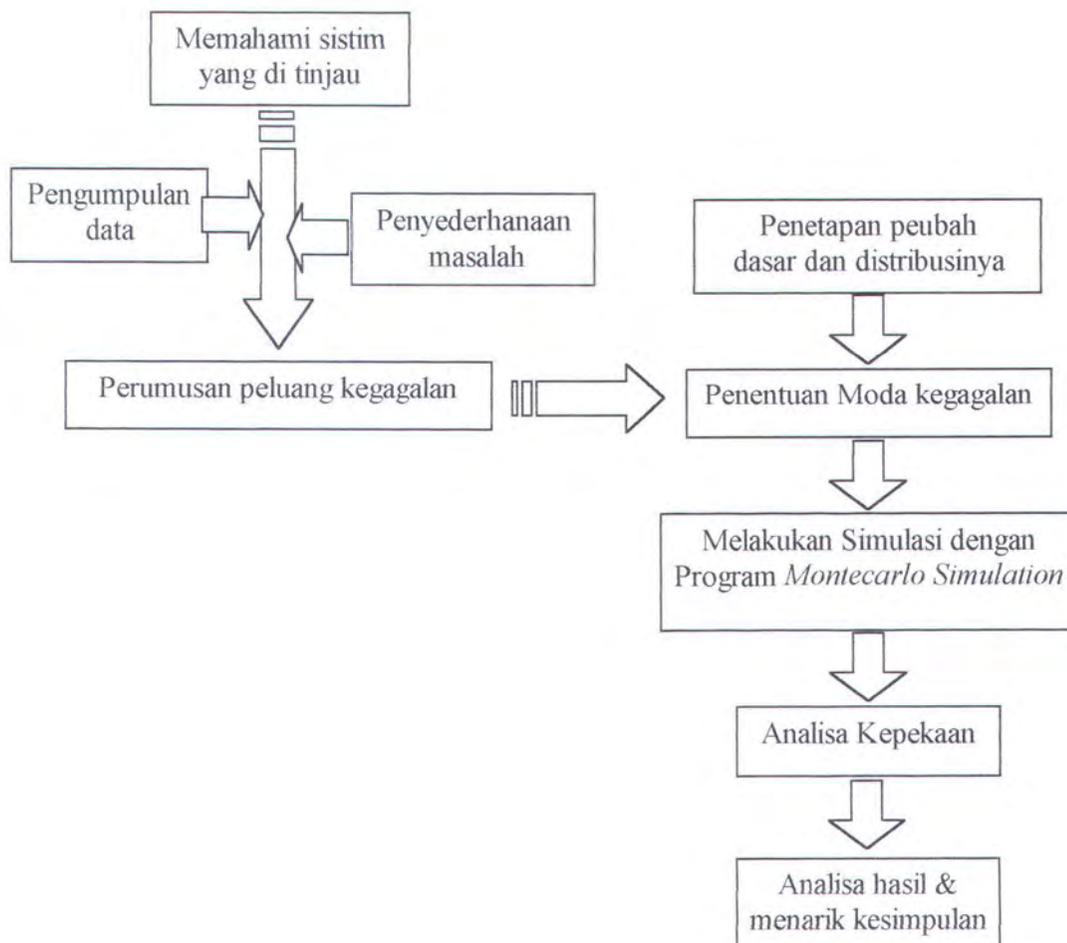
**BAB III**

**METODOLOGI PENELITIAN**

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Sebagai salah satu bentuk karya tulis ilmiah, maka tugas akhir ini juga menyertakan langkah-langkah, tahapan, metode dan cara pengerjaan yang secara khusus disajikan dalam bab ini. Secara garis besar langkah-langkah itu dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar III-1. Diagram Alur Metode Penelitian

Langkah-langkah pada gambar diagram alur metode penelitian di atas dapat dijelaskan sebagai berikut ;

### III.1 Sistim yang ditinjau

Sistim yang dimaksud adalah sistim kabel listrik bawah laut di Selat Madura yang merupakan alur pelayaran kapal yang menuju- dan berasal dari- pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dimana bahaya terhadap penjangkaran kapal cukup besar. Di daerah tersebut telah dinyatakan sebagai daerah larangan jangkar yang ditandai dengan rambu-rambu laut sehingga bahaya penjangkaran di sini hanya akan terjadi jika dan hanya jika kesalahan manusia (*human error*) terjadi atau awak kapal secara sengaja mengabaikan rambu-rambu laut yang ada.

Mengingat daerah larangan jangkar yang relatif luas dibandingkan dengan sistim kabel listrik bawah laut (gambar I-1), maka diperlukan suatu daerah konsentrasi dalam daerah larangan jangkar tersebut, yang dalam tugas akhir ini akan disebut sebagai “*daerah bahaya jangkar*”. Daerah bahaya jangkar dimaksud dibuat dalam jarak seretan jangkar (berdistribusi normal) ke arah tegak lurus lintasan kabel dari kedua sisi kabel.

### III.2 Pengumpulan data lapangan

Data lapangan yang digunakan dalam tugas akhir ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber antara lain:

1. PT. Pelabuhan Indonesia III (PT. PELINDO III) Cabang Tanjung Perak sebagai perusahaan yang menyediakan jasa kepelabuhan berupa data lalu lintas kapal yaitu jumlah kapal yang melewati daerah kabel dalam jangka waktu tertentu baik yang menuju maupun yang meninggalkan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Data ini dapat dilihat pada tabel A-1 lampiran A. Data ini dipakai untuk menentukan pemilihan ukuran kapal yang akan dianalisa.

2. Peta Alur Pelayaran Barat dan Timur Selat Madura (Dinas Oseanografi, 1995). Dari sumber ini dapat diperoleh data yang diperlukan berupa: posisi astronomis lokasi kabel; 7°9' LS dan 112°40' BT (PLTU Gresik) sampai 7°9' LS dan 112°41' BT (Tanjungan), luas daerah larangan jangkar pada alur pelayaran, panjang bentangan kabel pada alur pelayaran dan kedalaman perairan.

3. *Report on The Hydro-Oceanographic Survey of The Construction of Surabaya-Madura Bridge Plan* (BPP Teknologi, 1992) berupa;

⇐ Kondisi perairan

Dari hasil pengamatan keadaan perairan terlihat bahwa fluktuasi permukaan air di Selat Madura tidak begitu besar atau dapat dikatakan tidak berfluktuasi dan kedalaman saat air pasang relatif sama dengan saat surut, sehingga pengaruh pasang surut diabaikan.

⇨ Kecepatan dan arah angin dominan

Data ini berasal dari pengukuran kecepatan dan arah angin oleh Badan Meteorologi dan Geofisika di Stasiun Cabang Tanjung Perak Surabaya selama 18 tahun. Data kecepatan dan arah angin dominan dapat dilihat pada gambar A-1 dan tabel A-2 pada lampiran A.

4. *Final Report* Pengukuran Kedalaman dan Penyelidikan Masalah Pendangkalan di Pelabuhan P.T. Petrokimia Gresik (FTSP ITS, 1989).

⇨ Hasil pengukuran arus di posisi 7°8' LS dan 112°39' BT.

Pengukuran kecepatan arus murni (*undisturbed current velocity*), dalam hal ini adalah kecepatan arus akibat pasang surut dilakukan dengan metode 3 titik kedalaman yaitu pada 0.2, 0.6, 0.8 dari kedalaman air, dimana dari tiap titik tersebut kemudian ditentukan besarnya kecepatan dan arah arus rata-rata dengan persamaan berikut:

$$V_{avg} = (V_{0.2d} + V_{0.6d} + V_{0.8d})/3 ; \text{kecepatan arus.}$$

$$N_{avg} = (N_{0.2d} + N_{0.6d} + N_{0.8d})/3 ; \text{arah arus.}$$

Dari hasil perhitungan di atas, maka diputuskan data yang dipakai adalah kecepatan arus maksimum untuk mengakomodasi keadaan-keadaan ekstrim yaitu: 1,8 m/detik pada arah Barat – Timur.

- ⇒ Keadaan tanah dasar (dengan posisi astronomis  $7^{\circ}8'$  LS dan  $112^{\circ}39'$  BT)

Dari analisa diameter butiran tanah dasar pada ayakan no. 50 maka tanah dasar dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung.

#### 5. P.T. PLN sebagai operator kabel bawah laut.

- ⇒ Kedalaman timbun kabel di dasar laut.

Kedalaman timbun kabel di dasar laut tentu saja tidak sama sepanjang kabel, namun bervariasi akibat perbedaan kontur dasar laut dan kecepatan pengendapan maupun penggerusan partikel tanah sepanjang kabel. Data kedalaman kabel dari dasar laut diperoleh dari PT. PLN seperti terlihat pada gambar A-2 lampiran A.

#### 6. Studi literatur.

- ⇒ Dimensi kapal

Dimensi kapal yang dipakai dalam perhitungan merupakan dimensi kapal dengan frekuensi lewat terbesar dan dalam konteks peluang ukuran ini merupakan harga rata-rata dengan sebaran dan karakteristik tertentu.

Ukuran-ukuran lain (seperti koefisien-koefisien kapal dan sebagainya) yang tidak terdapat pada data kapal diambil dari tabel karakteristik kapal (Triatmodjo,1996) seperti yang terlihat pada tabel C-1 pada lampiran C. Dan dilengkapi dengan data dari buku *Ship Resistant and Propulsion* (Harvald, 1983).

⇒ Kecepatan arus akibat gelombang

Gelombang dapat menyebabkan arus, hasil perhitungan kecepatan arus akibat tinggi gelombang maksimum ( $H_{\text{mak}}=0.52$  m) dengan periode 4,18 detik didapat kecepatan arus = 0.02337 m/s (Palkar, 2000).

## 7. Kapal yang melakukan penjangkaran

Jumlah kapal yang melakukan penjangkaran pada daerah larangan jangkar diasumsikan rata-rata terjadi sebanyak N kali tiap 1000 kapal ( $p(X) = \frac{N}{1000}$ ).

Asumsi ini dibuat karena tidak ada data yang cukup, di samping tidak semua jangkar mengenai kabel bila kapal melakukan penjangkaran di daerah larangan jangkar. Pengaruh perubahan  $p(X)$  pada keandalan kabel secara umum dapat diamati kemudian (-bila diinginkan), dalam arti data tersebut sudah ada dan cukup sah.

### III.3 Penyederhanaan masalah

Penyederhanaan masalah (telah dijelaskan pada batasan masalah) terpaksa dilakukan karena keterbatasan data dan kompleksitas sistem di lapangan. Dalam konteks peluang penyederhanaan masalah karena ketidakcukupan data diakomodasikan dengan memperbesar sebaran dari suatu variabel, kemudian distribusi normal dapat dipakai dengan cukup baik untuk suatu variabel yang tidak diketahui distribusinya (Rosyid, 1996).

Kapal yang melakukan penjangkaran di Selat Madura dianggap menggunakan sistem satu titik tambat disebabkan oleh adanya daerah larangan jangkar mengakibatkan kapal yang melanggar rambu-rambu akan cenderung melakukan penjangkaran secara sementara dalam hal ini kapal tentu akan menggunakan sistem penambatan dengan sistem satu titik tambat.

Perhitungan seretan jangkar disesuaikan dengan perhitungan perancangan jangkar dimana kinerja jangkar di lapangan dianggap sesuai dengan data spesifik jangkar yang dikeluarkan oleh fabrikasinya. Dalam tugas akhir ini akan dipilih tipe jangkar yang sering dipakai oleh kapal yaitu jangkar seret dengan jenis STATO dan kondisi tanah dasar hanya dibedakan atas tanah pasir dan lumpur saja.

### **III.4 Moda kegagalan**

Moda kegagalan -yang juga dapat disebut model simulasi bila menggunakan metode simulasi-, merupakan suatu fungsi yang akan diselesaikan dan dianalisa hasilnya. Moda kegagalan di sini dimaksudkan untuk mencari peluang kegagalan parsial kabel dalam suatu zona buatan (konsentrasi) dalam daerah larangan jangkar kapal. Moda kegagalan kabel dimaksud akan dibahas lebih lanjut pada bab IV.

### **III.5 Penetapan peubah dasar dan distribusinya**

Tidak semua peubah acak dalam tugas akhir ini dijadikan peubah dasar, tetapi hanya beberapa peubah acak yang mempunyai hubungan secara langsung saja yang akan dijadikan peubah dasar. Distribusi peubah dasar yang digunakan dalam simulasi adalah berdistribusi secara normal. Karakteristik tiap peubah dasar ditentukan dengan suatu nilai rata-rata dan sebaran tertentu yang dinyatakan dengan nilai simpangan terhadap rata-ratanya (*covariance*).

### III.6 Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo dilakukan dengan bantuan perangkat lunak yang telah ada yaitu *Monte Carlo Simulation* (Wawan, 1999) dimana tahap dalam simulasi ini dapat diringkas sebagai berikut:

- membangkitkan bilangan acak (*random number*) diperoleh dari bilangan yang dibangkitkan oleh Central Processing Unit-CPU komputer. Bilangan random yang berdistribusi seragam dalam interval 0-1 dan bebas secara statistik serta tidak berkorelasi satu sama lain diperlakukan sebagai himpunan semesta yang bermungkinan akan terjadi pada sistim yang ditinjau.
- Transformasi bilangan acak ke distribusi tiap peubah dasar penyusun moda kegagalan.
- Memasukkan angka acak yang telah ditransformasi tadi ke dalam moda kegagalan, dan dicatat jumlah  $n$  gagal ( $FK(X) < 0$ ) dalam  $N$  kali percobaan, sehingga peluang kegagalan adalah  $n/N$ .

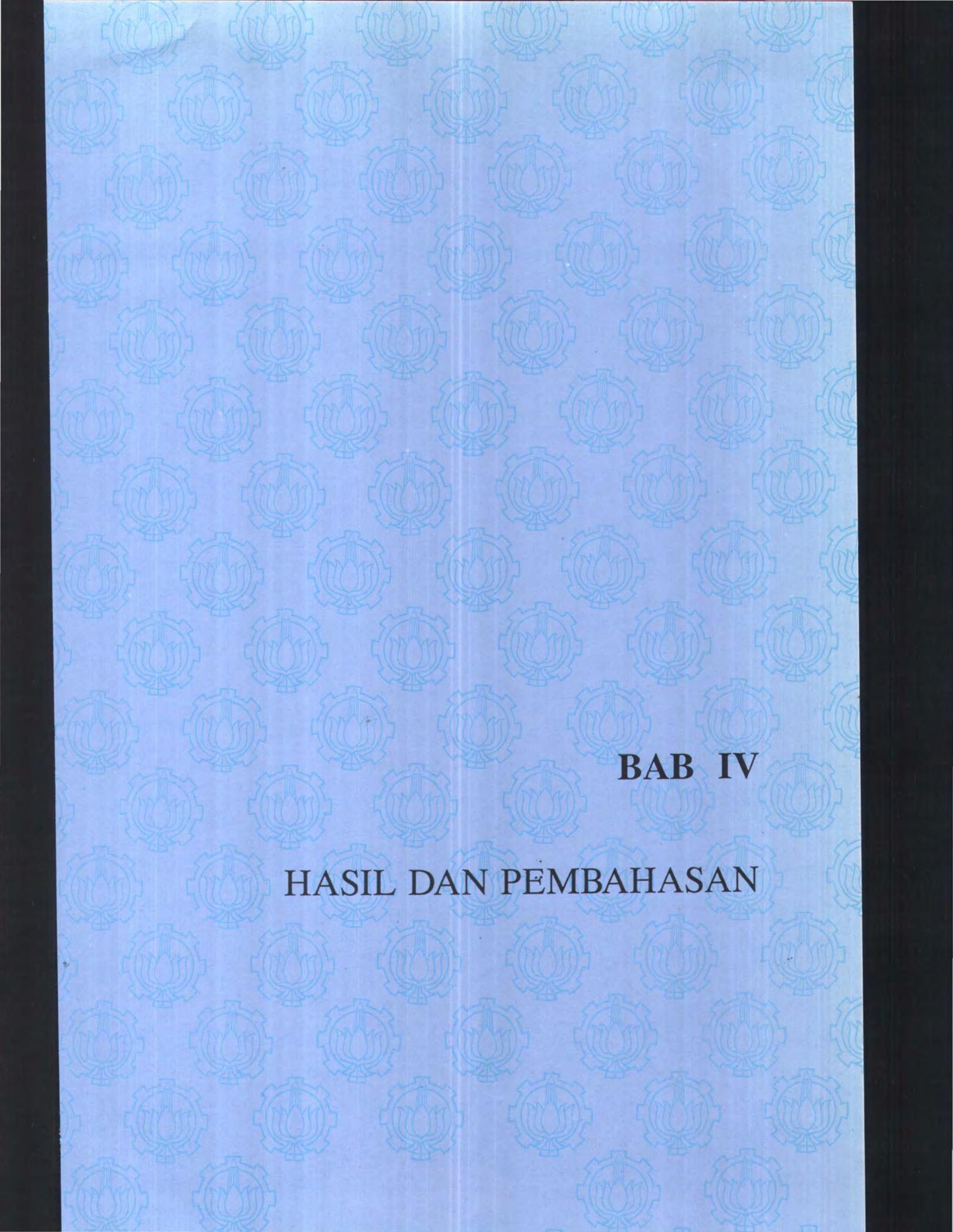
### III.7 Analisa kepekaan

Analisa kepekaan dilakukan untuk menentukan peubah dasar yang paling peka/ mempengaruhi keandalan sistim secara keseluruhan. Analisa kepekaan dilakukan dengan cara menaikkan nilai rata-rata tiap peubah dasar dalam kondisi sistim

yang sama (peubah lain tetap), hal ini dilakukan terhadap semua peubah dasar penyusun moda kegagalan.

### **III.8 Analisa hasil dan menarik kesimpulan**

Hasil proses simulasi dan analisa kepekanan pada langkah di atas dicatat kemudian ditampilkan secara grafis untuk mempermudah pengamatan dan analisa. Kemudian sebagai langkah akhir adalah menarik kesimpulan.



**BAB IV**

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 Kegagalan Kabel

Dapat dikatakan bahwa kegagalan pada sistem kabel listrik bawah laut terjadi jika ada kapal yang melewati daerah lintasan kabel –yang telah ditetapkan sebagai daerah larangan jangkar- melakukan penjangkaran dan jangkar tersebut mengenai kabel. Dalam hal ini jangkar dapat jatuh tepat di atas kabel, atau dekat lintasan kabel dan kemudian karena gerak kapal akibat beban lingkungan yang diterimanya jangkar terseret melintasi kabel dan mencapai kedalaman kabel di dasar laut. Asumsi dasar dalam penentuan moda kegagalan ini adalah bahwa setiap jangkar yang mengenai kabel sudah cukup untuk dapat merusak kabel mengingat berat jangkar yang besar dan jangkar dapat mengait kabel apabila ditarik kembali ke kapal. Jadi dalam tugas akhir ini tidak membahas mekanisme kerusakan kabel lebih lanjut setelah jangkar mengenai kabel.

Dari pernyataan di atas dapat dijelaskan bagaimana kabel mengalami kegagalan ;

1. Jumlah kapal yang melewati lintasan kabel selama 1 tahun adalah 12273 kapal, dan bila diketahui jumlah kapal yang melakukan penjangkaran di daerah larangan jangkar akibat kesalahan manusia adalah 613 kapal dalam kurun

waktu tersebut, maka peluang kapal melakukan penjangkaran di daerah larangan jangkar tersebut (event -X) adalah:

$$p(X) = \frac{613}{12273} = 0,04977 \dots\dots\dots(4-1)$$

2. Peluang jangkar jatuh di daerah bahaya kabel –yang telah dijelaskan pada bab III di muka dalam daerah larangan jangkar (event -Y) adalah:

$$p(Y) = \frac{A_D}{A_{NA}} \dots\dots\dots(4-2)$$

dimana:  $A_D$  : luas daerah bahaya kabel .

$A_{NA}$  : luas daerah larangan jangkar.

3. Peluang jangkar mencapai kabel dalam daerah bahaya kabel (event -Z):  $p(Z)$ .

Sehingga peluang kegagalan kabel ;

$$p(F) = p(X) \times p(Y) \times p(Z) \dots\dots\dots(4-3)$$

## IV.2 Keandalan Daerah Bahaya Jangkar

### IV.2.1 Penentuan Moda Kegagalan

Keandalan daerah bahaya jangkar dihitung dengan menggunakan Simulasi Monte Carlo dengan moda kegagalan yaitu jangkar mencapai kabel;

1. Panjang seretan jangkar,  $L_A$ , melebihi lebar daerah bahaya jangkar,  $L_{DA}$ ;

$$MK_1 = L_{DA} - L_A = 0 \quad \dots\dots\dots(4-4)$$

Panjang seretan jangkar dapat ditentukan dengan persamaan yang didapat dari analisa regresi grafik pada gambar II-18b. Untuk kelompok jangkar seret dengan nama STATO di tanah lumpur -sesuai dengan kondisi tanah di lapangan (BPPT, 1992)- panjang seretan jangkar diketahui sebagai berikut:

$$L_A = (1,5076e^{0,0205H_n}) \times L_{fa} \times \sin \phi_D \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

dimana:  $\phi_D$  : sudut simpangan seretan jangkar terhadap  $\perp$  kabel

$H_n$  : normalisasi beban horisontal kapal

$$L_{fa} = 5,75 \left( \frac{W_A}{3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{: panjang fluke jangkar}$$

$W_A = 0,0535H_M - 0,6761$  : berat jangkar di udara, merupakan persamaan hasil analisa regresi dari grafik gambar II-.8a.

$H_M = H \cdot FS$  :beban horisontal maksimal saat perancangan jangkar yang telah dikalikan dengan angka keamanan, FS (=1,5~2).

$H$  : beban horisontal kapal di lapangan

Sehingga persamaan (4-5) dapat ditulis menjadi;

$$L_A = (11,617H \cdot FS - 146,809)^{\frac{1}{3}} \text{Exp}(0,0205H_n) \sin \phi_D \quad \dots\dots\dots(4-6)$$

Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2 bahwa angin dan arus akan mengakibatkan beban horisontal pada kapal yang menyebabkan kapal bergerak dan menggeser jangkar. Beban horisontal total kapal terdiri atas beban

longitudinal dan lateral yang sama dengan besar kapasitas jangkar (*holding capacity*):

$$H = \sqrt{F_{xT}^2 + F_{yT}^2} = \sqrt{(F_{xw} + F_{xc})^2 + (F_{yw} + F_{yc})^2} \dots\dots\dots(4-7)$$

**1. Beban Akibat Angin**

Beban angin lateral,  $F_{yw}$ , dihitung dengan persamaan (2-8), dimana;  $\rho_a=1.29$  kg/m<sup>3</sup>, harga  $C_{yw}$  dihitung dari persamaan (2-10) dengan memasukkan nilai ketinggian bangunan atas - $h_s$ , tinggi lambung - $h_H$  dan tinggi rata-rata - $h_R$ , berturut-turut adalah 6.25, 1.5 dan 2.25 m didapat:

$$C_{yw} = \frac{[1,146A_S + 0,762A_H]}{A_S + A_H} \dots\dots\dots(4-8)$$

dan  $f_{yw}(\theta_w)$  disubtitusi dari persamaan (2-11). Sehingga beban angin lateral dapat ditulis;

$$F_{yw} = V_w^2 (0,645A_S + 0,434A_H) (\sin \theta_w - 0.05 \sin 5\theta_w) \dots\dots\dots(4-9)$$

Kemudian  $F_{xw}$  dihitung dari persamaan (2-9) dengan mensubtisisikan  $\rho_a = 1.29$  kg/m<sup>3</sup>, persamaan (2-12) dan untuk jenis kapal Cargo harga  $C_{xw}$  diambil 0.4 didapat:

$$F_{xw} = 0,4028V_w^2 A_x \cos(0,9\theta_w) \dots\dots\dots(4-10)$$

## 2. Beban Akibat Arus Air

Beban lateral kapal akibat arus,  $F_{yc}$ , dihitung dari persamaan (2-13) dengan nilai  $\rho_w = 1.025 \text{ kg/m}^3$ ,  $C_{yc}$  dari persamaan (2-18) dimana untuk nilai  $C_{yc}|_{\infty}$ ,  $C_{yc}|_1$  dan  $k$  dianggap tertentu (deterministic) diperoleh dari pembacaan grafik pada gambar II-10, II-11 dan II-12 dengan nilai absis dan ordinat yang sesuai,

didapat:  $C_{yc}|_{\infty} = 0,7$  untuk  $C_b = 0,7$  dan  $\frac{L_{WL}}{B} = 95/15 = 6,34$ ,  $C_{yc}|_1 = 1,9$  untuk

$\frac{C_p L_{WL}}{\sqrt{T}} = \frac{0,72 \cdot 95}{\sqrt{4,5}} = 32,244$ , dan  $k = 1,2$  untuk bentuk kapal secara umum.

Maka  $C_{yc}$  dapat ditulis:

$$C_{yc} = 0.7 + 1.6e^{-1.2\left(\frac{wd}{T}-1\right)} \dots\dots\dots(4-11)$$

Sehingga beban lateral kapal  $F_{yc}$  dapat dinyatakan dengan:

$$F_{yc} = 0,5125V_c^2 L_{wL} T \left( 0.7 + 1.6e^{-1.2\left(\frac{wd}{T}-1\right)} \right) \sin \theta_w \dots\dots\dots(4-12)$$

Beban longitudinal akibat arus,  $F_{xc}$ , dihitung dengan mensubstitusi harga-harga dalam persamaan (2-15), (2-16), dan (2-17) ke persamaan (2-14) didapat :

$$F_{xc} = \left( 0,5125BTC_{xcb} + 0,03844 \left( 1,77L_{wL} + 35\frac{L}{T} \right) \right. \\ \left. \left( \log(V_c L_{wL} \cos \theta_c) - 8,07572 \right)^{-2} + 0,002548L_{wL} B V_c^2 \cos \theta_c \right) \dots\dots\dots(4-13)$$

Dari persamaan (4-9), (4-10), (4-12) dan (4-13) di atas, dapat ditentukan beban total arah longitudinal (-y) dan lateral kapal (-x) sebagai penyusun beban horisontal kapal (persamaan 4-7) sebagai berikut:

$$F_{yT} = V_w^2 (0,645A_S + 0,434A_H) (\sin \theta_w - 0,05 \sin 5\theta_w) + V_c^2 L_{wL} T \left( 0,359 + 0,82e^{-1,2\left(\frac{wd}{T}-1\right)} \right) \sin \theta_w \dots\dots\dots(4-14)$$

$$F_{xT} = 0,2014V_w^2 A_x \cos(0,9\theta_w) + \left( 0,5125BTC_{xcb} + 0,038438 \left( 1,7TL_{wL} + 35\frac{L}{T} \right) (\log(V_c L_{wL} \cos \theta_c) - 8,07572)^{-2} + 0,002548L_{wL} B \right) V_c^2 \cos \theta_c \dots(4-15)$$

Dari penjelasan di atas moda kegagalan 1 akibat seretan jangkar mencapai lintasan kabel dapat ditulis kembali sebagai berikut ;

$$MK_1 = L_{DA} - (11,617 \cdot FS \cdot H - 146,809)^{0,33} \cdot Exp(0,0205H_n) \cdot \sin \phi_D \dots(4-16)$$

dimana;

$$\left\{ \left( 0,4876V_w^2 (1,146A_S + 0,7621A_H) (\sin \theta_w - 0,05 \sin \theta_w) + 0,5125V_c^2 L_{wL} T \sin \theta_w \left[ 0,7 + 1,8 \exp\left(\frac{-1,125wd}{T} + 1,125\right) \right] \right)^2 \right. \\ \left. + \left( 0,2014 V_w^2 A_x \cos(0,9\theta_w) + 0,5125 V_c^2 \cos \theta_c \left( BTC_{xcb} + \frac{0,075 (1,7 \cdot T \cdot L_{wL} + 35 \frac{L}{T})}{(\log(V_c L_{wL} \cos \theta_c) - 4,075721)^2} + 0,0497 L_{wL} B \right) \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(4-17)$$

2. Kedalaman penetrasi jangkar,  $D_A$ , melebihi kedalaman timbun kabel,  $D_C$ ;

$$MK_2 = D_C - D_A = 0 \quad \dots\dots\dots(4-18)$$

Kedalaman penetrasi jangkar ditentukan dari tabel II-2, yaitu untuk jangkar STATO penetrasi jangkar 4,5 kali panjang *fluke* jangkar;

$$D_A = 4,5L_{fa} = 4,5 \left( 5,75 \left( \frac{W_A}{3} \right)^{\frac{1}{3}} \right) = 25,875 \left( \frac{0,0535H_M - 0,6761}{3} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= (308,9396 \cdot FS \cdot H - 3904,1883)^{\frac{1}{3}} \quad \dots\dots\dots(4-19)$$

Sehingga moda kegagalan ke-2 (persamaan 4-18 ) dalam daerah bahaya jangkar dapat dinyatakan sebagai berikut;

$$MK_2 = D_C - (308,9396 \cdot FS \cdot H - 3904,1883)^{\frac{1}{3}} \quad \dots\dots\dots(4-20)$$

dimana H ditentukan menurut persamaan 4-17 di atas.

#### IV.2.2 Penentuan Peubah Dasar

Semua komponen penyusun moda kegagalan (persamaan 4-16, 4-17 dan 4-20) di atas dianggap sebagai peubah dasar dan fungsi distribusi peluang seluruh peubah dasar adalah normal. Karakteristik seluruh peubah dasar dapat dilihat pada tabel IV-1, dimana untuk *point* a, b, dan c hanya digunakan untuk moda kegagalan pertama sedang pada *point* d hanya untuk moda kegagalan kedua.

**Tabel IV-1** Karakteristik Perubahan Dasar

Peubah Dasar		Mean	COV	Tipe
Deskripsi	Notasi Satuan	( $\mu$ )	( $\sigma$ )	Distribusi
1. Angka keamanan perancangan jangkar	FS	1,75	10%	Normal
2. Kedalaman air	wd (m)	20	40%	Normal
3. Kecepatan angin	$V_w$ (m/s)	5	20%	Normal
4. Kecepatan arus	$V_c$ (m/s)	1,8	20%	Normal
5. Sudut datang arus thd. kapal	$\theta_c$ ( $^\circ$ )	5	20%	Normal
6. Sudut datang angin tdp. kapal	$\theta_w$ ( $^\circ$ )	5	20%	Normal
7. Panjang garis air	$L_{wL}$ (m)	95	10%	Normal
8. Lebar kapal	B (m)	15	10%	Normal
9. Sarat kapal	T (m)	5	10%	Normal
10. Luas proyeksi lateral bangunan atas kapal	$A_S$ ( $m^2$ )	240	20%	Normal
11. Luas proyeksi lateral lambung timbul kapal	$A_H$ ( $m^2$ )	300	20%	Normal
12. Koefisien drag gaya arus longitudinal	$C_{xcb}$	1	10%	Normal
13. Luas proyeksi longitudinal kapal thd. Arus	$A_x$ ( $m^2$ )	110	40%	Normal
(* khusus untuk MK <sub>1</sub> )				
a. Lebar daerah bahaya jangkar	$L_A$ (m)	12	20%	Normal
b. Normalisasi beban horisontal kapal	$H_n$	0,8	20%	Normal
c. Sudut seret jangkar $\perp$ lintasan kabel	$\phi_D$ ( $^\circ$ )	30	15%	Normal
(** khusus untuk MK <sub>2</sub> )				
d. Kedalaman kabel	$D_A$ (m)	5	40%	Normal

### IV.2.3 Hasil Perhitungan Keandalan Daerah Bahaya Jangkar

Setelah mendefinisikan dengan jelas moda kegagalan dan karakteristik semua peubah dasar penyusun moda kegagalan seperti pada tabel IV-1 di atas, maka dilakukan pensimulasian dengan menggunakan perangkat lunak *Monte Carlo Simulation*. Untuk mengoperasikan program tersebut, persamaan moda kegagalan di atas terlebih dahulu ditulis ke format persamaan yang dapat dibaca oleh bahasa program tersebut dimana peubah dasar dinyatakan dalam peubah berindek.

Keabsahan hasil perhitungan tergantung pada jumlah *sampling* angka acak yang dipakai, dalam hal ini karena peubah dasar penyusun moda kegagalan dinilai cukup banyak maka jumlah *sampling* angka acak yang *digenerate* dilakukan sebanyak 100.000 “biji”, dengan hasil simulasi sebagai berikut:

Peluang kegagalan,  $P_g$ , untuk moda kegagalan pertama,  $MK_1 = 0,47667$

Peluang kegagalan,  $P_g$ , untuk moda kegagalan pertama,  $MK_2 = 0,45815$

### IV.3 Analisa Kepekaan

Analisa kepekaan dimaksudkan untuk mencari peubah dasar yang paling berpengaruh terhadap peluang kegagalan sistim. Analisa kepekaan dilakukan dengan cara menaikkan nilai rata-rata suatu peubah dasar, dengan nilai peubah dasar lain tidak berubah, dalam hal ini penambahan nilai tersebut dilakukan sebesar sepuluh persen. Sehingga masukan pada program Monte Carlo Simulation menjadi seperti yang diperlihatkan pada tabel IV-2 untuk moda kegagalan yang pertama dan tabel IV-3 untuk moda kegagalan yang kedua, kemudian pada bagian bawah masing-masing tabel memperlihatkan peluang kegagalan -yang merupakan hasil dari *running program*- dan persentase perubahan peluang kegagalan terhadap peluang kegagalan awal (saat tidak dilakukan perubahan). Hasil dari analisa kepekaan untuk kedua moda kegagalan di atas ditampilkan secara grafis pada gambar VI-1 dan gambar VI- 2 untuk mempermudah pengamatan.

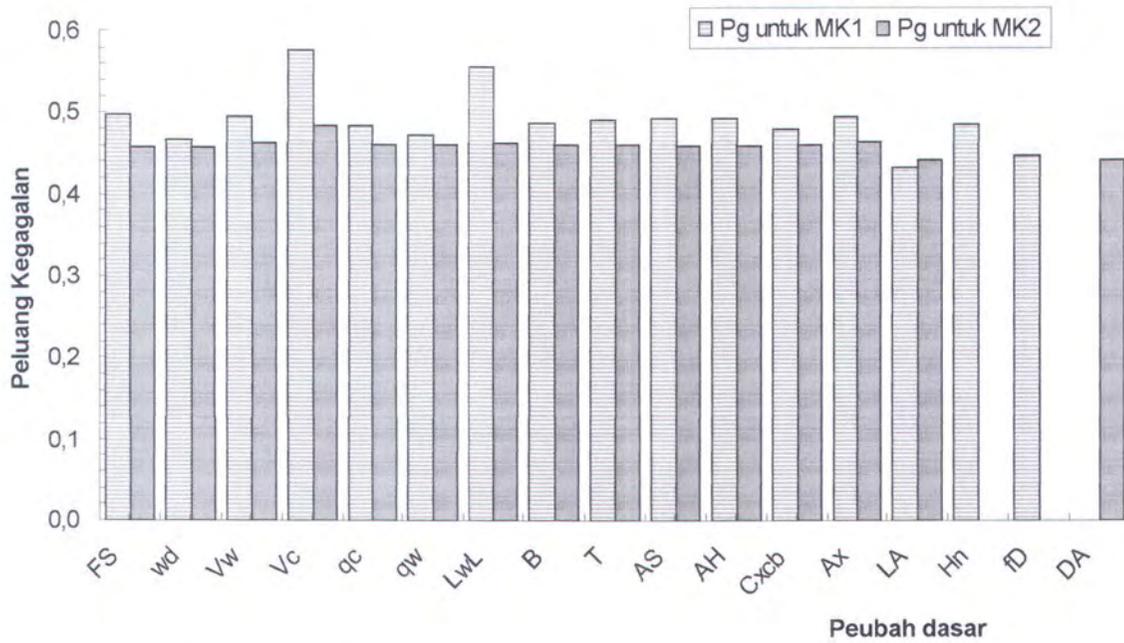
Tabel IV-2. Masukan dan Hasil Analisa Kepekaan untuk MK<sub>1</sub>

PEUBAH DASAR	MASUKAN RATA-RATA ( $\mu$ ) UNTUK NOMOR SIMULASI KE-																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	a	b	c
1. FS	1,75	<b>1,93</b>	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
2. wd	20,00	20,00	<b>22,00</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
3. V <sub>w</sub>	5,00	5,00	5,00	<b>5,50</b>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
4. V <sub>c</sub>	1,80	1,80	1,80	1,80	<b>1,98</b>	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
5. $\theta_c$	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	<b>5,50</b>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
6. $\theta_w$	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	<b>5,50</b>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
7. L <sub>wL</sub>	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	<b>104,50</b>	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00
8. B	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	<b>16,50</b>	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
9. T	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	<b>5,50</b>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
10. A <sub>S</sub>	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	<b>264,00</b>	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00
11. A <sub>H</sub>	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	<b>330,00</b>	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
12. C <sub>xcb</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	<b>1,10</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
13. A <sub>x</sub>	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	<b>121,00</b>	121,00	121,00	121,00
a. L <sub>A</sub>	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	<b>13,20</b>	12,00	12,00
b. H <sub>n</sub>	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	<b>0,88</b>	0,80
c. $\phi_D$	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	<b>33,00</b>
P <sub>g</sub> =	0,47667	0,49732	0,46624	0,49543	0,57677	0,48458	0,47343	0,55770	0,48814	0,49134	0,49237	0,49345	0,48064	0,49574	0,43335	0,48567	0,44737
$\Delta$ =	0,00000	4,33214	2,18810	3,93564	21,00000	1,65943	0,67972	17,00000	2,40628	3,07739	3,29368	3,52026	0,83286	4,00000	9,08805	1,88810	6,14681

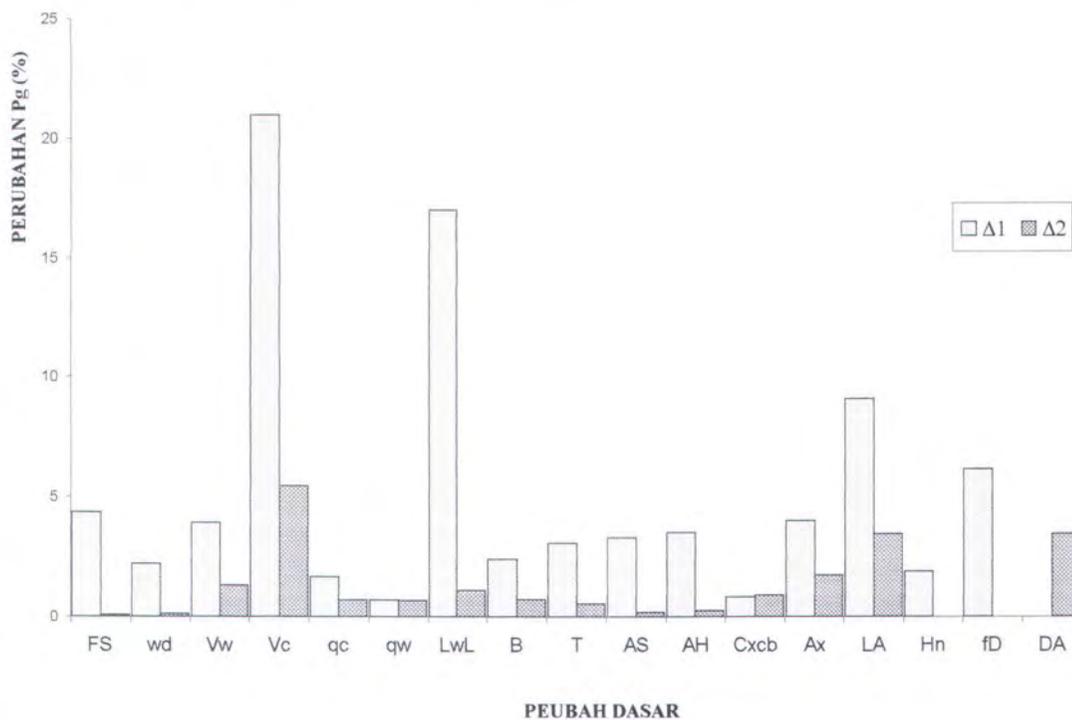
**Tabel IV-3.** Masukan dan Hasil Analisa Kepekaan untuk MK<sub>2</sub>

PEUBAH DASAR	MASUKAN RATA-RATA ( $\mu$ ) UNTUK NOMOR SIMULASI KE-														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	a
1. FS	1,75	<b>1,93</b>	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
2. wd	20,00	20,00	<b>22,00</b>	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
3. V <sub>w</sub>	5,00	5,00	5,00	<b>5,50</b>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
4. V <sub>c</sub>	1,80	1,80	1,80	1,80	<b>1,98</b>	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
5. $\theta_c$	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	<b>5,50</b>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
6. $\theta_w$	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	<b>5,50</b>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
7. L <sub>wL</sub>	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	<b>104,50</b>	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00
8. B	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	<b>16,50</b>	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
9. T	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	<b>5,50</b>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
10. A <sub>S</sub>	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	<b>264,00</b>	240,00	240,00	240,00	240,00
11. A <sub>H</sub>	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	<b>330,00</b>	300,00	300,00	300,00
12. C <sub>xcb</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	<b>1,10</b>	1,00	1,00
13. A <sub>x</sub>	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	<b>121,00</b>	121,00
d. D <sub>A</sub>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	<b>5,50</b>
P <sub>g</sub> =	0,45800	0,45820	0,45753	0,46400	0,48300	0,46120	0,46100	0,46310	0,46125	0,46040	0,45870	0,45910	0,46200	0,46580	0,44220
$\Delta$ =	0,00000	0,04367	0,10371	1,31004	5,45852	0,69869	0,65502	1,11354	0,70961	0,52402	0,15284	0,24017	0,87336	1,70306	3,44978





**Gambar IV-1.** Peluang kegagalan pada kenaikan 10 % tiap peubah dasar



**Gambar IV-2** Grafik Perubahan Peluang Kegagalan pada kenaikan 10 % tiap peubah dasar

### IV.3 Analisa Hasil dan Pembahasan

Dari hasil simulasi keandalan daerah bahaya jangkar dapat diketahui peluang kegagalan untuk moda kegagalan pertama = 0,47667 dan untuk moda kegagalan kedua = 0,45815 sehingga peluang kegagalan daerah bahaya jangkar :

$$p(Z) = P_{g1} \times P_{g2} = 0,45815 \times 0,47667 = 0.218386$$

Kembali pada persamaan (4-3), peluang kegagalan sistim secara keseluruhan :

$$p(F) = p(X) \times p(Y) \times p(Z)$$

$$\text{dengan: } p(Y) = \frac{A_D}{A_{NA}} = \frac{2(1800 \times (12 + 150 + 25))}{2207435} = \frac{673200}{2207435} = 0.305$$

Luas daerah bahaya kabel,  $A_D$ , di atas merupakan luas daerah dengan panjang adalah bentangan kabel (1800 m) dan lebar yang merupakan gabungan seretan jangkar (12 m), jangkauan tali jangkar (25 m) dan jarak antar kabel (150 m, ada tiga kabel interkoneksi) pada kedua sisi kabel laut. Sedangkan  $A_{NA}$  merupakan luas daerah larangan jangkar yang diberi tanda suar atau terbaca pada peta.  $A_{NA}$  ini dicari dengan bantuan program aplikasi; *AUTOCAD* dengan menggambar *region* pada gambar peta untuk kemudian dibaca luasannya (*area command*) dan dikalikan sesuai dengan skala *grid* gambar.

$$p(F) = p(X) \times p(Y) \times p(Z) = 0.05 \times 0.305 \times 0.218 = 0.0033$$

Sehingga keandalan sistim menjadi;

$$K = 1 - p(F) = 1 - 0.0033 = 0.9966$$

Di sini terlihat bahwa keandalan sistim cukup tinggi jika assumsi bahwa seluruh titik pada daerah larangan jangkar berpeluang sama untuk mengalami penjangkaran yaitu : 0.305 dan dalam seratus kapal yang berada pada seluruh titik tersebut hanya kurang lebih 5 kapal saja yang melakukan penjangkaran. Namun karena belum ada data yang cukup untuk dapat membenarkan anggapan tersebut maka hasil itu belum dapat dikatakan sah.

Kemudian bila hanya memperhatikan daerah bahaya jangkar yang telah dinyatakan di depan, maka akan didapatkan keandalan daerah tersebut sebagai berikut;

$$R = 1 - p(Z) = 1 - 0.2183 = 0.781614$$

Dari analisa kepekaan dapat diketahui bahwa peubah kecepatan arus,  $V_c$ , panjang kapal,  $L_{wL}$  dan lebar daerah bahaya jangkar,  $L_A$  adalah yang paling berpengaruh terhadap keandalan daerah tersebut. Karena kecepatan arus dan panjang kapal tidak dapat dikendalikan, sehingga tindakan memperbesar lebar daerah bahaya jangkar untuk menaikkan keandalan daerah dimaksud adalah cukup beralasan. Dengan melakukan simulasi untuk peubah seperti yang terdapat pada tabel IV-1 namun dengan lebar daerah bahaya jangkar lebih kurang sepertiga panjang kapal

( $\approx 33$  m) didapat hasil peluang kegagalan untuk moda kegagalan 1,  $P_{g1}$ ; 0,00001.

Sehingga keandalan daerah bahaya jangkar menjadi;

$$\begin{aligned} R &= 1 - p(Z) = 1 - P_{g1} \times P_{g2} \\ &= 1 - (0,00001 \times 0,47667) = 0.9999978 \end{aligned}$$

Hasil tersebut menunjukkan keandalan daerah bahaya jangkar akan cukup tinggi bila ketersediaan daerah seretan jangkar ditambah sepanjang sepertiga panjang kapal tanpa merubah kedalaman timbun kabel dari permukaan dasar laut, atau secara lebih formal dapat dikatakan bahwa kekuatan daerah larangan jangkar akan cukup kuat terhadap beban seretan jangkar dan kedalaman penetrasi jangkar.



**BAB V**

**KESIMPULAN DAN SARAN**

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### IV.1 Kesimpulan

Hasil analisa keandalan yang telah dilakukan terhadap sistim kabel listrik bawah laut akibat bahaya jangkar kapal di daerah larangan jangkar, sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dan hasil pembahasan yang telah dilakukan, menunjukkan hal-hal sebagai berikut sebagai kesimpulan;

1. Model keandalan kabel listrik bawah laut terhadap bahaya jangkar kapal adalah bahwa panjang seretan jangkar kapal harus tidak lebih dari lebar daerah seretan jangkar yang disediakan dan kedalaman penetrasi jangkar harus tidak lebih dari kedalaman timbun kabel di dasar laut. Model keandalan ini benar jika kejadian kapal lewat dan melakukan penjangkaran di daerah larangan jangkar terjadi.

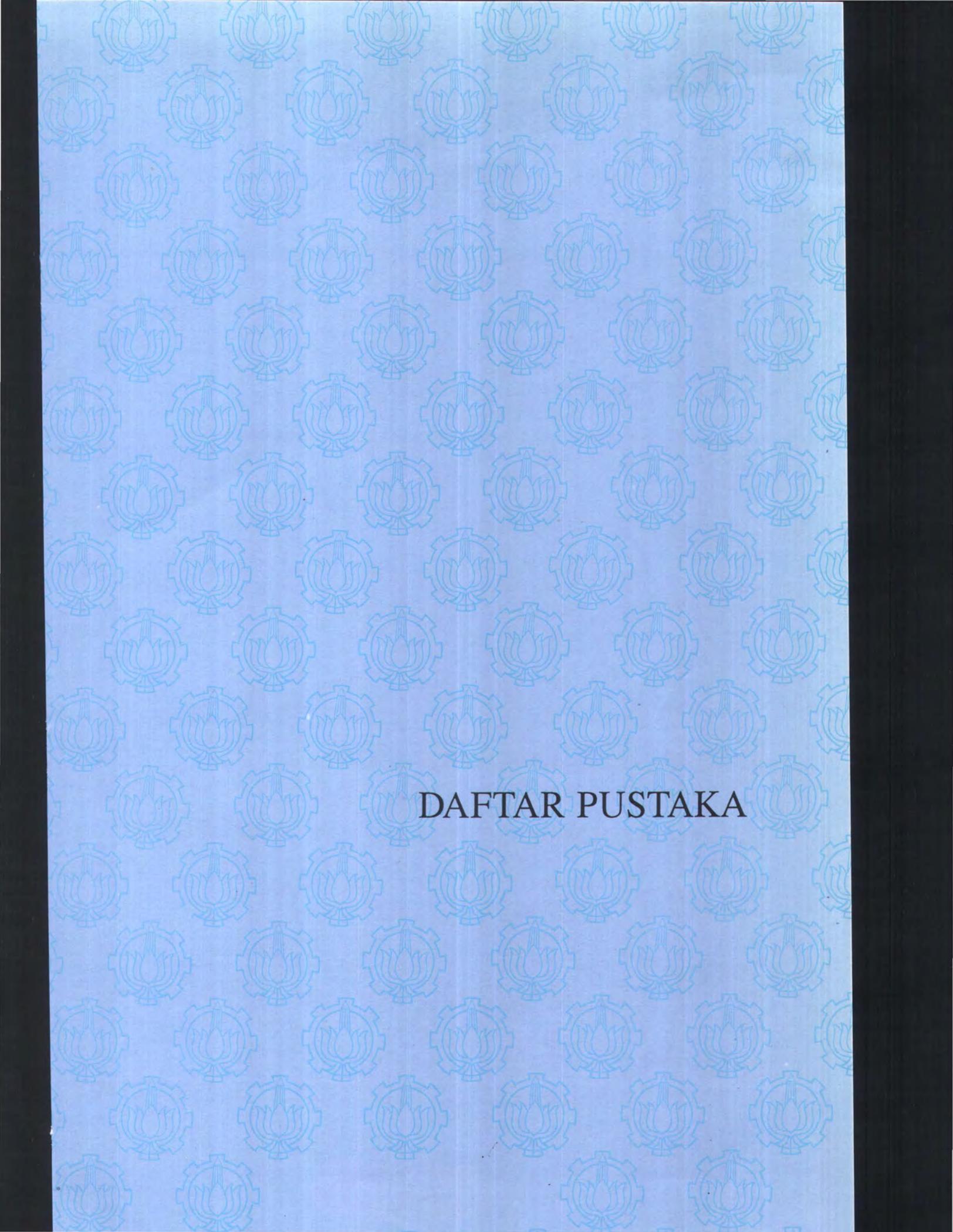


2. Tindakan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistim kabel listrik bawah laut di Selat Madura adalah dengan membuat suatu daerah konsentrasi pengawasan, dimana memperlebar daerah ini akan sangat menaikkan keandalan kabel.

## IV.2 Saran

Setelah menyelesaikan segala sesuatu menyangkut materi dalam tugas akhir ini dan melakukan evaluasi, maka dapat disampaikan beberapa hal sebagai rekomendasi ataupun saran atas hasil yang diperoleh;

- Dalam menentukan peluang kegagalan daerah bahaya jangkar beranggapan bahwa setiap titik dalam daerah itu mempunyai peluang yang sama untuk menerima “jatuhan” jangkar, namun di lapangan dimungkinkan terjadi beberapa daerah mempunyai kerapatan berbeda sebagai akibat dari adanya alur kapal di daerah selat dan kapal menggunakan lebih dari satu jangkar.
- Panjang tali tambat (*mooring line*) dalam tugas akhir ini masih diperhitungkan secara deterministik sehingga pengaruhnya masih belum teridentifikasi dengan baik terhadap keandalan daerah bahaya jangkar. Sangat dianjurkan untuk memasukkan panjang tali tambat ke dalam moda kegagalan.
- Karena keterbatasan alat, yaitu jumlah komponen moda kegagalan yang dapat dibaca oleh Monte Carlo Simulation terbatas, mengakibatkan perumusan moda kegagalan tidak dapat dilakukan secara lebih lengkap. Penulisan program spesifik untuk masalah spesifik sangat dianjurkan.

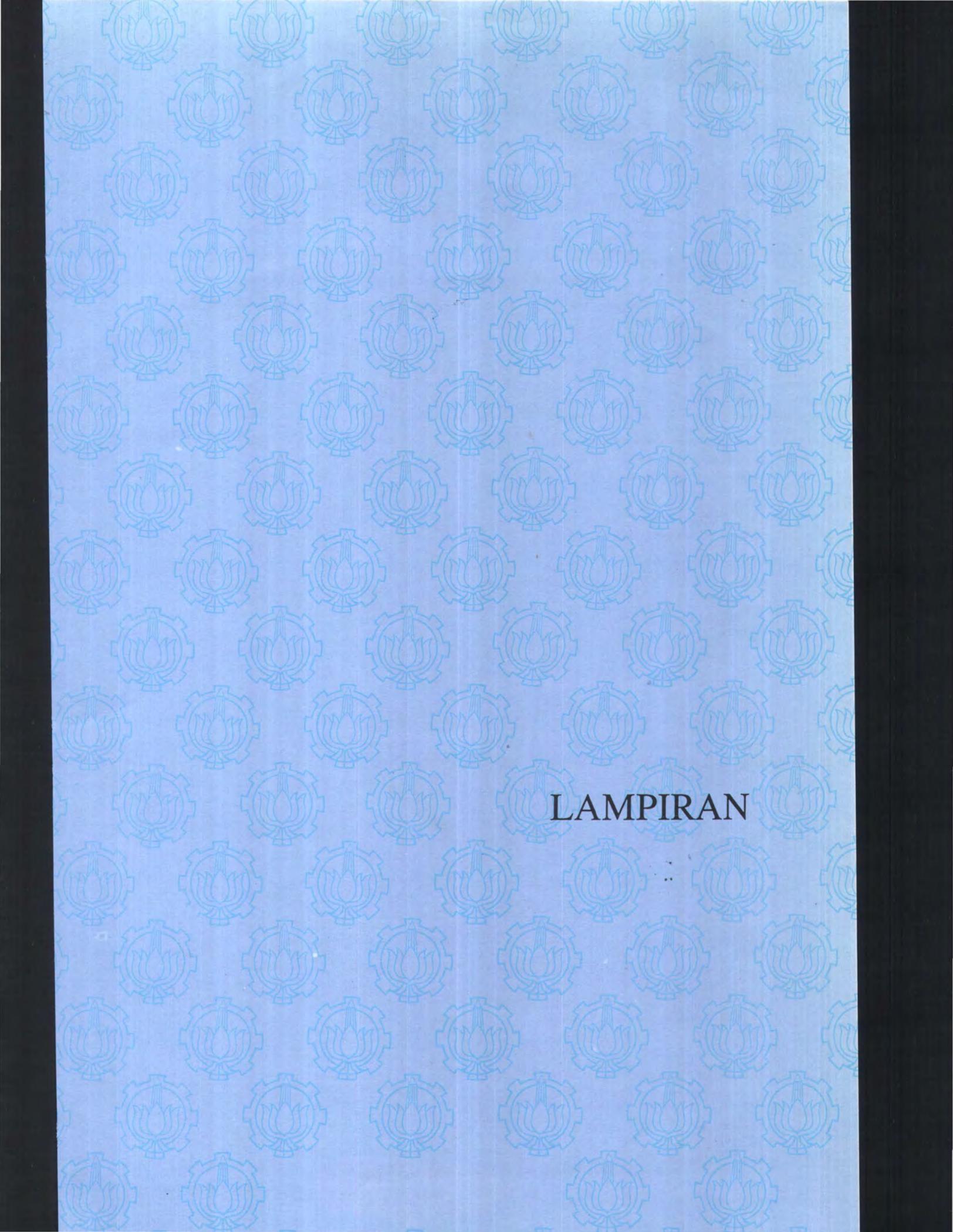


DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR PUSTAKA

- Ang, A. H-S., and W.H. Tang. 1987. *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*. John Wiley & Sons, New York.
- BPPT. 1992. *Report on The Hydro-Oceanographic Survey of The Construction of Surabaya-Madura Bridge Plan*. Surabaya.
- Dinas Hidro-Oceanografi TNI-AL. 1998. *Peta Alur Pelayaran Barat dan Timur Selat Madura*. Jakarta.
- Doyle, H. 1997. "Submarine Power and Telecommunications Cables". *Under Water Magazine*, Houston, Texas.
- Foster, W. 1981. "Undersea Cable Maintenance and Repair- A Review". *Proc., 9<sup>th</sup> Annual Offshore Technology Conference –OTC*. Houston, Texas 3031:503-510.
- FTSP-ITS. 1989. *Laporan Akhir Pengukuran Kedalaman dan Penyelidikan Masalah Pendangkalan di Pelabuhan P.T. Petrokimia Gresik*. ITS, Surabaya.
- Gaythwaite, J.W. 1990. *Design of Marine Facilities for Berthing, Mooring and Repair of Vessel*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Hillier, F.S., and G.J. Lieberman. 1995. *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill, Singapore.
- Kompas* (Jakarta), 21 Pebruari 1999.
- Korkut, D. M., dan J.E. Hebert. 1970. "Some Notes on Static Anchor Chain Curve". *Proc., 2<sup>nd</sup> Annual Offshore Technology Conference –OTC*. Houston, Texas 1160:147-160.
- Law, A.M., and W.D. Kelton. 1991. *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill, Singapore.
- Mahmudsyah, S. 1999. "Kabel Laut sebagai Transmisi Daya Listrik Interkoneksi Sistim Kelistrikan antar Pulau". *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*. Surabaya, 27 Maret 1999.

- O'Connor, P.D.T. 1991. *Practical Reliability Engineering*. John Wiley & Sons, Chicester.
- P.T. PLN. 1996. *Java-Madura Circuit 3 Proposed Route Cable Route Key Plan*.
- Rosyid, D.M. 1996. *Analisa Keandalan dan Resiko : Buku Pegangan Kuliah*. FTK-ITS, Surabaya.
- Rosyid, D.M., dan D. Setyawan. 1999. *Kekuatan Struktur Kapal*. FTK-ITS, Surabaya.
- Surabaya Pos* (Surabaya), 21 Pebruari 1999.
- Thoft-Christesen, P., and M.J. Baker. 1982. *Structural Reliability Theory and Its Applications*. Springer Verlag, Berlin.
- Triatmodjo, B. 1996. *Pelabuhan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Tsinker, G.P. 1995. *Marine Structures Engineering - Specialized Applications*. An International Thomson Publishing, New York.
- Wawan W.P. 1999. "Pengembangan Perangkat Lunak Analisa Keandalan Sistim dengan Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo". *Tugas Akhir*. T.Kelautan FTK-ITS, Surabaya.



LAMPIRAN



Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

### Lembar Presentasi Konsultasi Tugas Akhir

NAMA MAHASISWA : PAULUS FEBRIYANTO  
NOMOR POKOK : 4394100048  
NAMA DOSEN PEMBIMBING : DR. IR. D.M. ROSYID  
: IR. HASAN IKHWANI, MSc.  
TUGAS DIMULAI : 5 SEPT. 1999  
TUGAS DISELESAIKAN :  
JUDUL TUGAS AKHIR : SIMULASI ANALISA KEANDALAN SISTIM  
KABEL BAWAH LAUT TERHADAP BAHAYA  
JANGKAR KAPAL

No.	Tanggal	Subjek Konsultasi	Tanda Tangan Dosen
1.	10 Jan 2000	Koreksi tujuan & masalah.	Dr. Rosyid
2.	24 Jan 2000	Pertimbangan data.	Dr. Rosyid
3.	14 Feb 2000	Methodology yang digunakan.	Dr. Rosyid
4.	13 Mar 2000	Methodologi penelitian.	Dr. Rosyid
5.	27/3/2000	Langkah awal simulasi Monte Carlo	Dr. Rosyid
6.	5/4/2000	→ J ditanyakan apakah tolak atau tidak → run MC → sense of truth	Dr. Rosyid
7.	28/4/2000	→ Kesimpulannya. TA	Dr. Rosyid
8.	1/5/2000	- Agar bisa pulih.	Dr. Rosyid
9.		- penyempurnaan presentasi UTA	Dr. Rosyid
10.			



**Jurusan Teknik Kelautan**  
**Fakultas Teknologi Kelautan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

### **Lembar Presentasi Konsultasi Tugas Akhir**

NAMA MAHASISWA : PAULUS FEBRIYANTO  
NOMOR POKOK : 4394100048  
NAMA DOSEN PEMBIMBING : IR. HASAN IKHWANI, MSc.  
TUGAS DIMULAI : 5 SEPTEMBER 1999  
TUGAS DISELESAIKAN :  
JUDUL TUGAS AKHIR : SIMULASI ANALISA KEANDALAN SISTIM  
KABEL BAWAH LAUT TERHADAP BAHAYA  
JANGKAR KAPAL

No.	Tanggal	Subjek Konsultasi	Tanda Tangan Dosen
1.	3/4-2000		
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

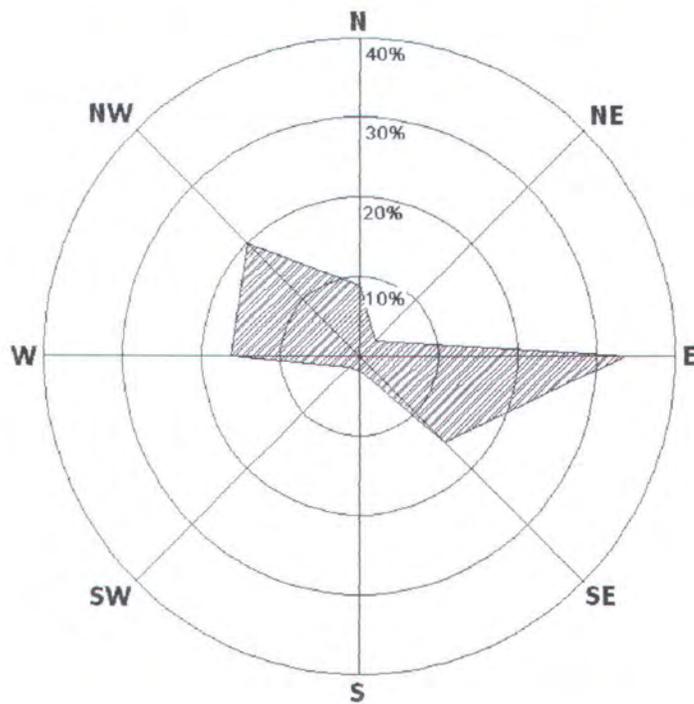
## LAMPIRAN A

**Tabel A-1 Rata-rata Jumlah Tunda Kapal Keluar Masuk Pelabuhan  
Menurut Panjang Kapal (Januari ~ Desember)  
(PT. Pelindo III, 1999)**

	71 ~ 100 (m)			101~ 150 (m)			> 150 (m)			Kumulatif		
	Masuk	Keluar	Jumlah	Masuk	Keluar	Jumlah	Masuk	Keluar	Jumlah	Masuk	Keluar	Jumlah
Januari	190	189	379	140	141	281	118	118	236	448	448	896
Pebruari	174	173	347	155	155	310	101	100	201	430	428	858
Maret	212	213	425	167	167	334	114	114	228	493	494	987
April	214	209	423	157	159	316	96	97	193	467	465	932
Mai	207	210	417	168	171	339	90	90	180	465	471	936
Juni	239	241	480	162	161	323	98	97	195	499	499	998
Juli	237	238	475	135	133	268	98	98	196	470	469	939
Agustus	247	251	498	188	188	376	131	131	262	566	570	1136
September	244	244	488	199	198	397	123	123	246	566	565	1131
Oktober	260	257	517	163	162	325	120	120	240	543	539	1082
Nopember	268	267	535	192	193	385	137	137	274	597	597	1194
Des	276	278	554	188	190	378	127	125	252	591	593	1184
Jumlah	2768	2770	5538	2014	2018	4032	1353	1350	2703	6135	6138	12273

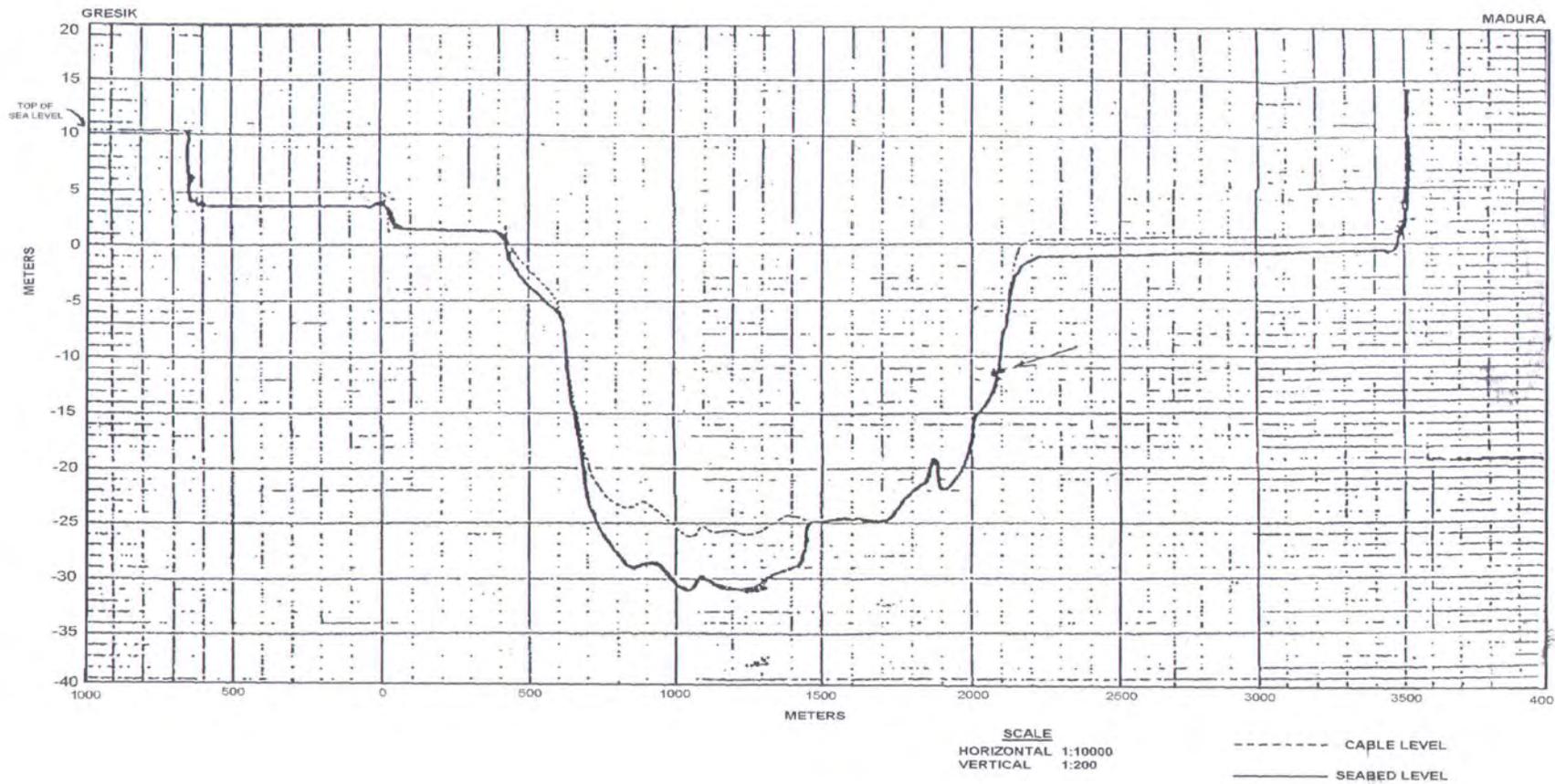
TABEL A-2 Data Angin  
(BPP Teknologi, 1992)

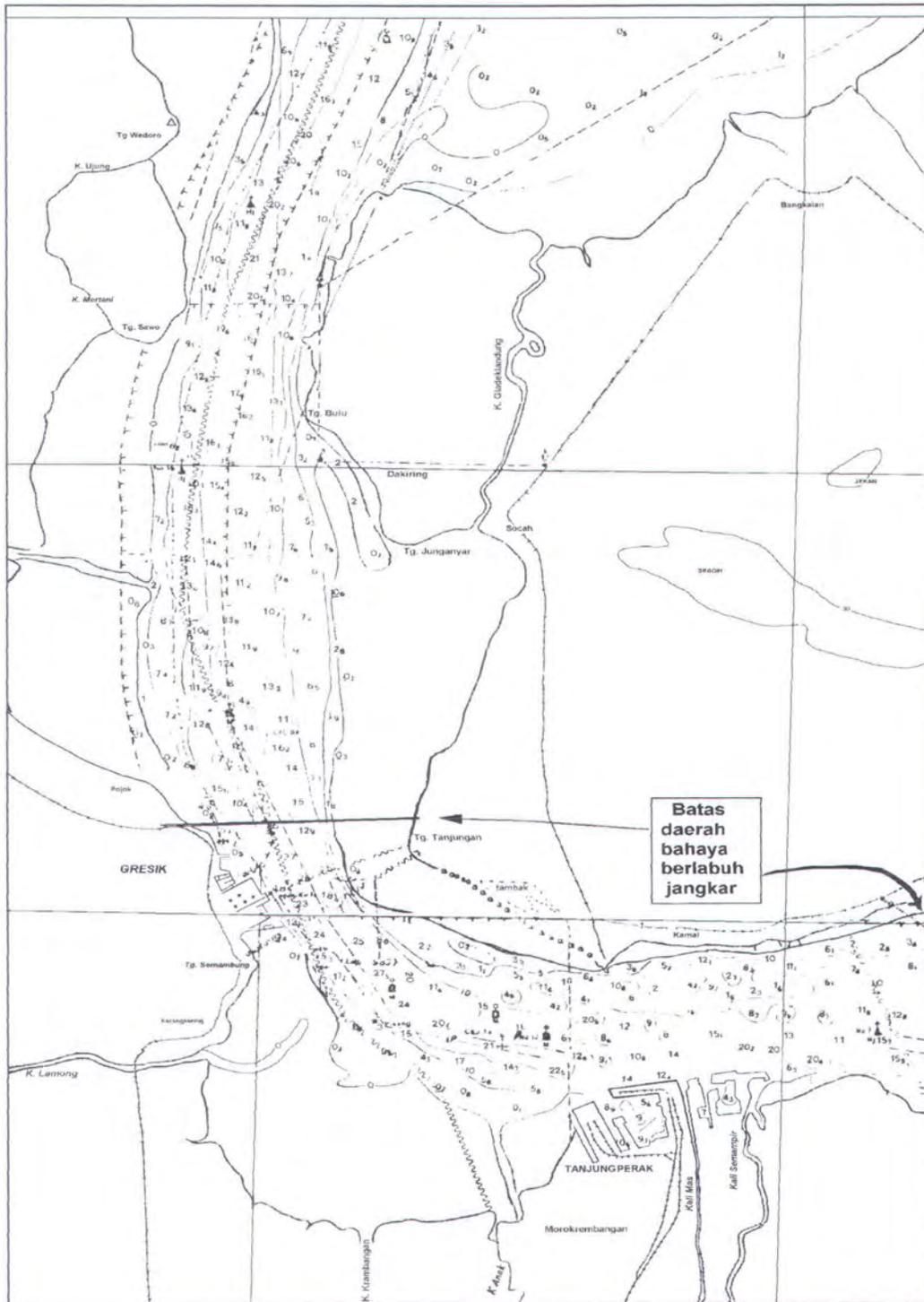
Direction	Number of wind ( >10 knot )	Wind Freq. Percentages
North	9,10	8,96
North East	2,75	2,71
East	34,22	33,73
South East	15,48	15,25
South	1,81	1,78
South West	1,86	1,83
West	16,50	16,24
North East	19,73	13,94



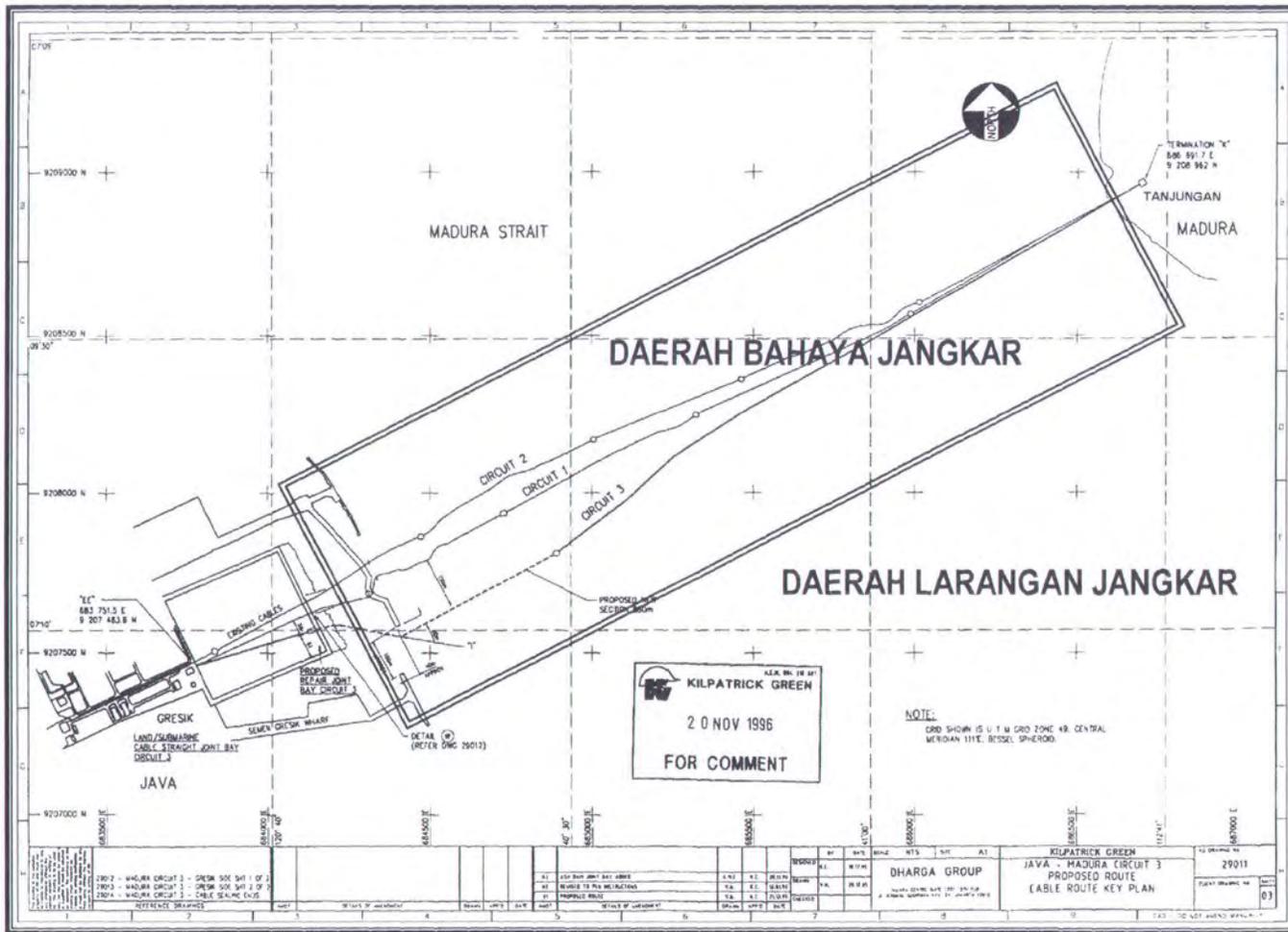
GAMBAR A-1 Diagram Mawar Angin  
(BPP Teknologi, 1992)

GAMBAR A-2 Penampang Melintang Kabel Listrik Bawah Laut di Selat Madura  
(PT. PLN, 1996)





GAMBAR A-3. Peta Alur Pelayaran di Selat Madura  
(Dinas Oseanografi, 1995)

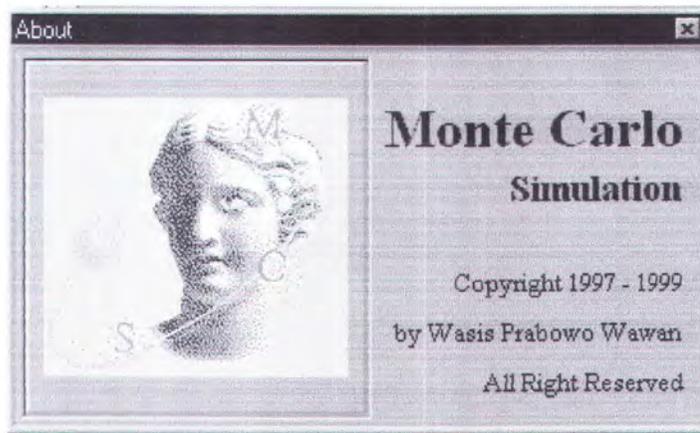


GAMBAR A-4. Daerah Bahaya dan Larangan Jangkar (PLN, 1996)

## LAMPIRAN B

## TENTANG PROGRAM “MONTE CARLO SIMULATION”

Program *Monte Carlo Simulation* adalah suatu perangkat lunak yang dibuat oleh Wasis Prabowo Wawan, 1999, dalam tugas akhirnya berjudul; *Pengembangan Perangkat Lunak Analisa Keandalan Sistim dengan Menggunakan Metode Simulasi Monte Carlo* guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan Studi Program Sarjana pada Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.



**Gambar B.1.** Tentang Program *Monte Carlo Simulation* (Wawan, 1999)

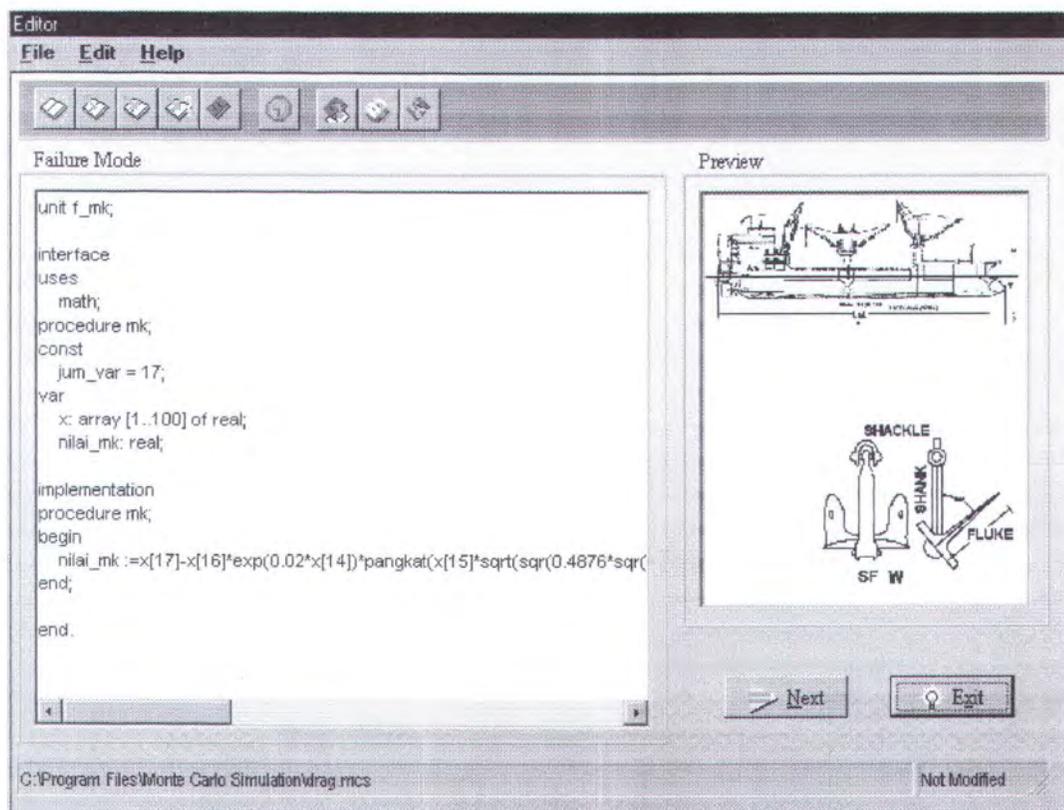
Program ini dibuat dengan pemrograman *Borland Delphi 2* yang berbasis pada bahasa pemrograman *Pascal*. Konfigurasi minimum yang dibutuhkan untuk menggunakan program ini antara lain; *Operasi Sistim Windows 95*, komputer (CPU) 386 dan *hard-disk* dengan *free-space* 15 megabytes.

Program ini membutuhkan masukan-masukan:

1. Persamaan fungsi kinerja sistim.
2. Jenis distribusi tiap peubah acak beserta parameternya.

Program *Monte Carlo Simulation* terdiri atas 3 bagian;

### 1. *Form Editor*



**Gambar B.2.** Tampilan *Form Editor*  
(Wawan, 1999)

Untuk menerima masukan persamaan fungsi kinerja sistim, disusun atas peubah acak-peubah acak berupa larik yang berurutan ( $x[1]$ ,  $x[2]$ ,  $x[3]$ ...) dan ditulis dalam format *Borland Delphi* pada baris ke 16 antara tanda '=' dan ';'.

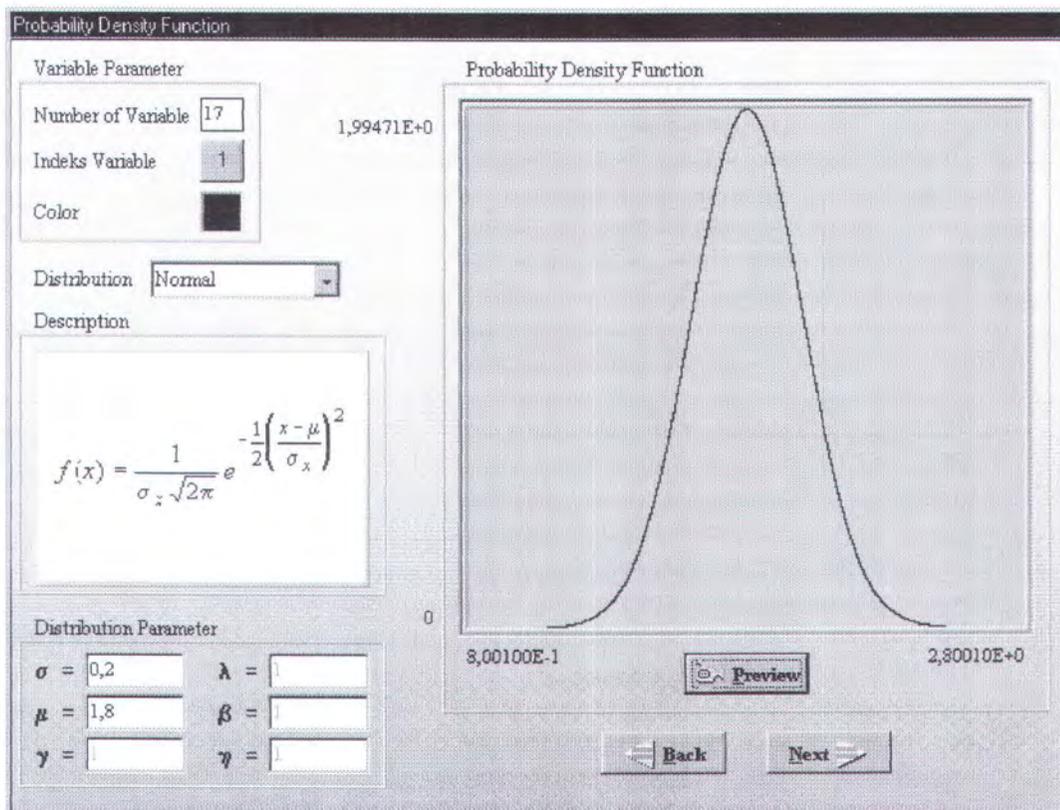
Dalam Form Editor terdapat :

1. Menu utama;

- *File*; untuk menangani operasi *file* (*new, open, save, save as, close* dan *exit*).
- *Edit*; merupakan fasilitas editing (*undo, copy, paste* dan *delete*).
- *Help*; adalah petunjuk tentang program ini.

2. Tombol untuk melanjutkan (*Next*) dan keluar (*Exit*).

## 2. Form Probability Distribution Function



**Gambar B.3.** Tampilan *Form Probability Distribution Function* (Wawan, 1999)

Form ini menyediakan masukan bagi jenis distribusi tiap peubah acak penyusun fungsi kinerja beserta parameter-parameternya. Untuk memvisualisasikan distribusi tiap peubah acak tersebut tersedia fasilitas preview.

### 3. Form Interferensi Diagram

*Form Interferensi Diagram* menyediakan fasilitas pengecekan terhadap semua masukan yang telah dilakukan untuk memastikan kebenaran tiap masukan yang telah dilakukan. *Form* ini juga menyediakan fasilitas untuk mem-*preview* *Interferensi Diagram* secara keseluruhan. Untuk mendapatkan hasil akhir berupa peluang kegagalan sistim yang ditinjau, maka masukan jumlah perulangan perlu ditulis pada editor *Number of looping* sebelum perintah *execute* di jalankan dan memperoleh hasil.

**Gambar B.4.** Tampilan *Form Interferensi Diagram* (Wawan, 1999)

