

17.549/H/03

**TUGAS AKHIR**  
**KL 1702**

**PERENCANAAN ALUR PELABUHAN DENGAN  
PENDEKATAN PROBABILISTIK**



RSKe  
627.23  
Ari  
P-1  
2002

**OLEH :**

**HENRI ARIYANTO**

**NRP. 4397 100 048**

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2002**

REVISI	KAN
Tgl. Terima	29 / 08 / 02
Tgl. Pengantar	7
No. Agenda Psp.	21. 6118

**PERENCANAAN ALUR PELABUHAN DENGAN  
PENDEKATAN PROBABILISTIK**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Menyelesaikan Studi Program Sarjana**

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

**Surabaya, Agustus 2002**

**Mengetahui/Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. Murdjito, M. eng**

**NIP. 132 149 376**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Wisnu Wardhana**

**NIP. 68 001 934**

## **ABSTRAK**

*Tugas akhir ini mengkaji ukuran alur di APBS (Alur Pelayaran Barat Surabaya). Daerah alur yang dikaji dibagi dalam lima section yaitu section 1 berlokasi di Tanjung Sawo, section 2 berlokasi di Kali Mertani, section 3 berlokasi di Kali Mireng, section 4 berlokasi di Pelabuhan Gresik, dan section 5 berlokasi di Kali Lamong. Dimana pada lokasi tersebut dianggap kritis terhadap kemungkinan terjadi kecelakaan kapal antara lain tubrukan berhadapan (collision), kapal kandas (grounding), kapal terdampar(stranding). Tujuan dari tugas akhir ini untuk mengetahui besaran kedalaman minimum dengan pendekatan probabilistik yang mempertimbangkan gerakan vertikal kapal dan memperoleh angka resiko kecelakaan kapal sebagai fungsi dari kecepatan layar kapal di APBS seperti yang direkomendasikan PIANC,1997. Dari hasil penelitian diperoleh di beberapa ruas alur di APBS sudah tidak memenuhi kriteria perencanaan alur pelabuhan untuk ukuran kapal 54000 DWT. Tingkat resiko kecelakaan di APBS sudah mencapai 70%,sedangkan maksimal resiko yang diajukan PIANC(1997) sebesar10 % selama umur alur rencana. Dengan demikian indeks kecelakaan yang diijinkan di alur APBS sudah terlampaui. Dari hasil perhitungan dengan metode probabilistik didapatkan ukuran kedalaman rencana alur minimum sebesar 16.5 meter dengan kecepatan layar kapal 15 knot untuk ukuran kapal 54000 DWT dan memberikan resiko kecelakaan sebesar 10 %.*

## *Abstract*

*This research report evaluated of west side channel waterway of Tanjung Perak port Surabaya (APBS) . This channel is divided in five sections where section 1 located in Tanjung Sawo, section 2 in Kali Mertani, section 3 in Kali Mireng, section 4 in Gresik Port and section 5 in Kali Lamong. The important types of ship accidents at channel are collision, grounding, stranding. The goal of this research was to calculate the minimum depth of channel waterway, approaching probability aspect of heave motion of ship and ship sailing speed at channel, as recommended by PIANC (1997). As a result of this research was that there are some critical sections of the channel where the risk of accidents are very high for ship with 54000 DWT. The risk of accident in the channel at this moment is projected over 70 % , however PIANC (1997) has recommended that the risk of ship accident at channel is less than 10 % of channel design life. With this probabilistic method is found that the minimum depth dimension of the channel for minimum risk of 10 % is 16.5 m for 54000 DWT ship with 15 knot sailing speed.*

## KATA PENGANTAR

Syukur kepada Tuhan YME atas Rahmat yang diberikan kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul : Perencanaan Alur Pelabuhan Dengan Pendekatan Probabilistik. Tugas Akhir ini bertujuan mengkaji perkembangan ilmu rancang bangun dalam dunia kepelabuhan.

Analisis yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah mengidentifikasi kondisi teknis Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) dengan pendekatan probabilistik dan resiko.

Banyak manfaat yang kami peroleh baik berupa bimbingan, saran, perhatian serta fasilitas yang diberikan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan ini kami mengucapkan terima kasih sebesar besarnya kepada :

1. Bapak Ir.Murdjito.M.sc.Eng selaku dosen pembimbing pertama.
2. Bapak Dr.Ir.Wisnu Wardhana.M.sc selaku dosen pembimbing kedua.
3. Bapak Dr. Ir. Paulus Indiyono. M.sc selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan ITS Surabaya.
4. Bapak Dr. Ir. Wahyudi. M.sc selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan ITS Surabaya.
5. Dosen-dosen Jurusan Teknik Kelautan yang telah memberikan dukungannya.
6. Teman-teman angkatan 97 dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Akhirnya kami berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat, Kami menyadari banyak kekurangan dalam penulisan ini, sehingga kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat kami harapkan.

Surabaya, Agustus 2002.

# DARTAR ISI

ABSTRAKS	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
<b>BABI    PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-2
1.3 Tujuan	I-2
1.4 Batasan Masalah	I-2
1.5 Manfaat	I-3
1.6 Metodologi penelian	I-3
1.7 Sistematika Penulisan	I-4
1.8 Lokasi penelitian	I-6
<b>BAB II    TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka	II-1
2.2 Kriteria Perencanaan Alur	II-4
2.2.1 Dimensi Kapal	II-4
2.2.2 Frekuensi Kapal	II-4
2.3 Kriteria Lingkungan	II-10
2.3.1 Angin, Gelombang, dan Arus	II-10
2.3.1 Pasang Surut	II-13
2.4 Squat	II-14
2.5 Gerakan Coupel Heaving Dan Pitching	II-17
2.5 Probabilitas Dan Resiko Pada Perencanaan Alur	II-30

### **BAB III    METODOLOGI**

3.1	Diagram Alir	III-1
3.2	Penjelasan	III-2
3.2.1	Pengumpulan Data	III-2
3.2.2	Model Kapal Rencana dan Section Rencana	III-3
3.2.3	Perhitungan faktor ukuran alur dan probabilitasnya	III-3
3.2.4	Kedalaman, lebar, dan resiko	III-3

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

4.1	Kriteria Ukuran Kapal	IV-1
4.2	Penentuan Ukuran Alur	IV-1
4.3	Probabilitas, Resiko, keamanan, dan Downtime	IV-8

### **BAB V    KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Ukuran Alur Dengan Kecepatan 5 Knot	IV-7
Tabel 4.2	Ukuran Alur Dengan Kecepatan 10 Knot	IV-7
Tabel 4.3	Ukuran Alur Dengan Kecepatan 15 Knot	IV-8
Tabel 4.4	Perhitungan Besarnya Probabilitas p	IV-10
Tabel 4.5	Perhitungan Amplitudo maksimum pada p	IV-11
Tabel 4.6	Perhitungan Resiko Pada Section	IV-13
Tabel 4.7	Resiko Yang Direncanakan	IV-18



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penampang melintang alur metode Schijf	II-16
Gambar 2.2 Squat dan trim kapal	II-17
Gambar 3.1 Diagram alir	III-1
Gambar 4.1 Grafik tinggi gelombang probabilitas dan probabilitas	IV-2
Gambar 4.2 Grafik RAO heave	IV-3
Gambar 4.3 Grafik RAO pitch	IV-4
Gambar 4.4 Grafik hubungan amplitudo gerakan vertikal kapal heave dan tinggi gelombang	IV-5
Gambar 4.5 Grafik hubungan amplitudo gerakan vertikal kapal pitch dan tinggi gelombang	IV-6
Gambar 4.6 Grafik hubungan kecepatan kapal dengan $A_{maks,p}$	IV-12
Gambar 4.7 Grafik hubungan kecepatan kapal dan resiko pada section 2	IV-13
Gambar 4.8 Grafik hubungan kecepatan kapal dan resiko pada section 3	IV-14
Gambar 4.9 Grafik hubungan kecepatan kapal dan resiko pada section 5	IV-14
Gambar 4.10 Grafik hubungan antara kedalaman alur dengan kecepatan kapal	IV-15

## DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN A : Perhitungan gelombang angin
- LAMPIRAN B : Perhitungan persamaan gerak heave dan pitch
- LAMPIRAN C : Perhitungan standart deviasi, probabilitas, amplitudo maksimal, resiko dan ukuran rencana alur .



**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

---

# BAB I

## PENDAHULUAN



### 1.1 LATAR BELAKANG

Alur pelabuhan merupakan sarana penting bagi setiap kapal yang berkunjung ke pelabuhan. Kondisi alur pelabuhan merupakan hal vital dan sekaligus menjadi daya tarik pengguna jasa pelabuhan. Kondisi alur pelabuhan yang tidak nyaman misalnya alur yang sempit, dangkal dan rawan kecelakaan menjadikan pengguna jasa pelabuhan enggan mengoperasikan kapalnya ke pelabuhan tersebut, karena untuk menghindari kerugian yang harus dihadapi. Oleh karena itu alur dapat menjadi permasalahan yang penting bagi operator pelabuhan untuk meningkatkan pelayanan kapal.

Pelabuhan di Indonesia rata-rata terletak di daerah muara sungai atau teluk yang terlindung seperti pelabuhan Tanjung Perak. Kapal yang akan menuju pelabuhan tersebut diwajibkan menggunakan jasa pandu dan tunda sebelum masuk dan akan keluar pelabuhan untuk menghindari resiko kecelakaan karena berlayar di alur.

Pada perencanaan alur pelabuhan sekarang ini PIANC.1985 merekomendasikan penggunaan pendekatan probabilistik untuk mendapatkan dimensi alur yang optimal yaitu kedalaman dan lebar alur, dan pertimbangan resiko yang terjadi. Untuk itu studi ini mencoba menggunakan pendekatan probabilistik dalam mengevaluasi dimensi alur di Alur Pelayaran Barat Surabaya

(APBS). APBS merupakan alur utama untuk masuk pelabuhan Tanjung Perak dan pelabuhan Gresik.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Masalah yang ditinjau pada tugas akhir ini secara singkat difokuskan pada :

1. Bagaimanakah menentukan kedalaman alur minimum dengan menggunakan pendekatan probabilistik dan memasukan faktor gerakan vertikal kapal.
2. Berapakah ukuran kedalaman alur minimum dan resiko kecelakaan di APBS (Alur Pelayaran Barat Surabaya) sebagai fungsi kecepatan layar kapal di alur.

## 1.3 TUJUAN

Sesuai dengan permasalahan yang ada maka tujuan dirumuskan sebagai berikut :

1. Memperoleh besaran kedalaman minimum di APBS dengan pendekatan probabilistik serta pertimbangan gerakan vertikal kapal.
2. Memperoleh angka resiko kecelakaan kapal sebagai fungsi kecepatan layar di APBS.

## 1.4 BATASAN MASALAH

Batasan-batasan masalah pada studi ini meliputi

1. Potongan yang dianalisa adalah bagian-bagian yang kritis .

2. Gerakan vertikal kapal difokuskan pada gerakan heave dan pitch
3. Penampang alur hanya variabel kedalaman dan lebar saja ,sehingga bentuk detail batimetri alur tidak digambarkan .
4. Sedimentasi pada alur pelabuhan yang ditinjau diabaikan.

### 1.5 MANFAAT

Dari studi ini manfaat yang dapat di peroleh

1. Sebagai tambahan pemahaman materi untuk suatu perencanaan alur yang optimal.
2. Pertimbangan dalam mengidentifikasi kelayakan alur ABPS

### 1.6 METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan studi literatur yang meliputi seleksi paper-paper,journal dan buku-buku yang berkaitan dengan alur pelabuhan yang dititik beratkan pada perencanaan kelayakan ukuran alur pelabuhan.
2. Pencarian data di pelabuhan tanjung perak meliputi data lingkungan yang meliputi data angin, data batimetry, data pasang surut, peta alur pelabuhan yang telah ada. Data ukuran kapal sebagai acuan untuk memprediksi kapal rencana.
3. Melakukan analisa dari data yang diperoleh yaitu data lingkungan dan data kapal untuk dilakukan perhitungan gerakan kapal berdasarkan section yang direncanakan.

4. Langkah selanjutnya kemudian melakukan perhitungan probabilitas dari unsur yang diprobabilitaskan meliputi gerakan kapal, tinggi rendahnya muka air, dan ketidakrataan dasar laut.
5. Hasil akhir yang diharapkan adalah memperoleh besarnya kedalaman dan lebar alur pelabuhan menurut PIANC 1997 kemudian dibandingkan dengan hasil secara deterministik
6. Kesimpulan

## 1.7. SISTEMATIKA PENULISAN

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

### BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diterangkan mengenai latar belakang studi yang dilakukan, permasalahan yang akan dipecahkan, tujuan yang akan dicapai, manfaat yang diinginkan penulis, batasan masalah, metodologi penelitian yang dilakukan, sistematika penulisan, dan lokasi penelitian.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Studi ini penulis menggunakan beberapa dasar teori yang sesuai dengan permasalahan yang akan dipecahkan. Dasar teori yang digunakan antara lain perhitungan mengenai gelombang angin, gerakan vertikal kapal yang difokuskan pada heave dan pitch, squat, perencanaan alur dan resiko yang sesuai dengan "PIANC,1997".

### BAB III METODOLOGI

Bab ini menguraikan mengenai rencana-rencana dalam menyelesaikan masalah yang akan dipecahkan. Hal-hal yang diterangkan meliputi perencanaan awal, pengumpulan data, pemodelan kapal rencana dan model section, perhitungan ukuran alur dan unsur probabilitasnya, kedalaman dan lebar alur serta resiko tiap section.

### BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA HASIL

Bab ini menjelaskan mengenai kapal rencana digunakan sebagai acuan dalam perencanaan alur, penentuan ukuran alur yang meliputi perhitungan tinggi gelombang probabilitas untuk menentukan gerakan heave dan pitch kapal, squat, perencanaan alur menurut "Report On Channel Design". Kemudian dijelaskan juga mengenai perencanaan alur dengan menggunakan pendekatan probabilitas yang direkomendasikan oleh PIANC, 1997 meliputi perhitungan amplitudo maksimal kapal, downtime, resiko dan keamanan.

### BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi hasil dari analisa perhitungan yang berupa besaran kedalaman sebagai fungsi dari gerakan vertikal kapal dan resiko yang terjadi sebagai fungsi dari kecepatan layar kapal di APBS.



## 1.8 LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian yang digunakan adalah di APBS. Lokasi penelitian dibagi dalam lima section yaitu

1. Section 1 : Lokasi Tanjung Sawo
2. Section 2 : Lokasi Kali Mertani
3. Section 3 : Lokasi Kali Mireng
4. Section 4 : Lokasi Pelabuhan Gresik
5. Section 5 : Lokasi Kali Lamong

Untuk Lebih jelasnya lihat peta alur APBS ini.

9.244.000 -

9.242.000 -

9.240.000 -

9.238.000 -

9.236.000 -

9.234.000 -

9.232.000 -

9.230.000 +

9.228.000 +

9.226.000 +

9.224.000 +

9.222.000 +

9.220.000 +

9.218.000 +

9.216.000 +

9.214.000 +

9.212.000 +

9.210.000 +

9.208.000 +

9.206.000 +

9.204.000 +

9.202.000 +

9.200.000 +

9.198.000 +

9.196.000 +

9.194.000 +



**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

---

**BAB II****TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI****2.1. TINJAUAN PUSTAKA**

Alur pelayaran dikelompokkan dalam empat klasifikasi menurut Thorensen(1988), yaitu :

1. Group A : alur pelayaran utama dimana terdapat alat navigasi yang diperlukan untuk siang dan malam hari dan juga tersedianya jaminan informasi kedalaman secara akurat.
2. Group B : alur pelayaran dimana tersedianya alat navigasi hanya pada siang hari dan juga tersedianya informasi kedalaman secara akurat.
3. Group C : pada alur penting tersedia rambu –rambu navigasi dan kedalaman alur dilakukan survey secara teratur.
4. Group D : alur pelayaran lokal tidak memiliki rambu navigasi dan kedalaman berdasarkan estimasi.

Selain itu Thorensen(1988) mengolongkan alur pelayaran berdasarkan kondisi fisik lingkungan , yaitu :

- a. *Unrestricted Channels* : alur di perairan dangkal dengan lebar alur minimum 10 sampai dengan 15 kali lebar kapal terbesar tanpa perlu dilakukan pengerukan pada alur.
- b. *Semi restricted channls* : alur diperairan dangkal pendalaman dengan lebar yang cukup besar , tetapi untuk pendalaman diperlukan pengerukan.

- c. *Fully restricted channels* : alur perairan sepenuhnya dilakukn dengan pengerukan.

Alur pelayaran dibuat sedemikian rupa agar kapal dapat berlayar dengan aman terhadap lingkungan seperti pasang surut, angin, perubahan fluktuasi muka air laut, dan pengaruh gelombang. Jiga dimungkinkan sudut resultan antara arah angin dan arus dibuat sekecil mungkin . Demikian juga dengan jumlah belokan alur dan sudut defleksi alur dibuat sesedikit mungkin untuk memudahkan kapal melakukan navigasi dan manuvering. Selain itu alur pelayaran dipilih pada lingkungan pada kondisi alami cukup dalam dan pengaruh sediment transport dan erosi pada alur direduksi sekecil mungkin, sehingga biaya pengerukan dapat diminimalkan . (PIANC,1985)

Keberadaan alur pelayaran dan kolam labuh yang memadai sangat penting perannanya bagi suatu pelabuhan . Alur dan kolam labuh merupakan suatu bagian fasilitas utama pelabuhan . Ukuran kapal sangat menentukan ukuran alur dan kolam labuh pada suatu pelabuhan, maka proyeksi dimensi kapal yang memungkinkan singgah di suatu pelabuhan sangat besar peranannya dalam menentukan perencanaan alur. (Groenveld. 1997).

PIANC merekomendasikan kedalaman minimum alur adalah sarat kapal pada musim panas ditambah 5 sampai dengan 8 ft. Walaupun kriteria diatas ini dipakaisebagai acuan dalam perencanaan alur, PIANC, juga merekomendasikan agar perhitungan kedalaman alur secara detailjuga dilakukan dengan mempertimbangkan aspek sarat kapal , pasang surut, perubahan berat jenis air , gerakan kapal ( *squat, pitching, rolling*)faktor pendangkalan. (PIANC.1985)

Perencanaan yang optimum ukuran alur pelabuhan menuntut adanya penataan struktur fasilitas pelabuhan dan ukurannya secara *cost efective*. Hal ini harus ada keseimbangan ekonomis antara biaya konstruksi, perawatan, operasional, dan resiko operasi pelabuhan. Biaya konstruksi dan perawatan alur pelabuhan merupakan bagian penting dalam struktur biaya keseluruhan pembangunan dan operasinal pelabuhan. ( Hans Moes. 2000)

Dari sisi lain biaya yang ditimbulkan akibat kapal kandas sebagai akibat dari ukuran alur yang tidak memadai juga cukup besar baik biaya sebagai akibat langsung hilangnya nilai investasi maupun biaya dampak akibat kecelakaan tersebut . Hal ini menuntut ukuran alur yang minimum aman untuk operasional kapal segala kondisi. Dalam pertimbangan perencanaan ukuran alur yang optimum , aspek waktu tunggu kapal sebagai terbatasnya ukuran alur perlu dipertimbangkan. Hal ini tidak hanya berdampak langsung pada biaya operasional kapal karena waktu tunggu , juga perlu dipertimbangkan biaya utilitas fasilitas pelabuhan karena tingkat utilitas tambatan dan infrastruktur pelabuhan yang rendah.

Dari pertibangan diatas menjadi jelas bahwa tuntutan perencanaan alur yang optimal menjadi harapan semua pihak pengguna jasa kepelabuhan seperti perusahaan pelayaran, port operator, pengirim barang dan lain lain. Kebutuhan optimasi perencanaan kedalaman alur sudah pernah tercetus tahun 70-an oleh Massie dan Bijker (Hans Moes,2000). PIANC menyarankan dalam perencanaan ukuran alur yang optimum merekomendasikan memakai pendekatan probabilistik.(PIANC,1997)

## 2.2 KRITERIA PERENCANAAN UKURAN ALUR

### 2.2.1. Dimensi kapal

Sebelum menentukan ukuran alur pelabuhan, dibutuhkan klasifikasi kapal beserta ukurannya. The European Conference of Ministers of Transport (1953, 1986) merekomendasikan untuk mengklasifikasi kapal dalam lima kelas seperti berikut :

Tabel 2.1. Standart ukuran kapal di alur

Kelas	Kapasitas GT (ton)	Panjang Loa (m)	Lebar B (m)	Sarat air di alur (m)
I	350	39	5.1	2.4
II	600	55	6.6	2.5
III	1000	67-80	8.2	2.6
IV	1500	85	9.5	2.8
V	2500	110	11.5	3.2
Va	5000	185	11.5	3.2-4.0
Vb	10000	193	22.8	4

### 2.2.2 Frekuensi kapal

Frekuensi kedatangan kapal dan ukuran kapal merupakan dua faktor utama yang menentukan ukuran penampang alur. Beberapa aspek lain yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan alur pelabuhan antara lain perkembangan arus barang beserta perkembangan ukuran kapal baru.

Arus lalu lintas kapal dalam hubungannya dengan perencanaan alur dikelompokkan dalam dua kelompok yaitu : intensitas tinggi (high intensity) untuk arus kapal lebih dari 15.000 kapal pertahun, dan intensitas rendah untuk arus kapal kurang dari 5.000 kapal pertahun. Jika intensitas kapal sangat rendah, maka

alur untuk satu jalur (one way traffic) sudah memenuhi syarat (acceptable), selama untuk jalur pendek dan aturan pelayaran dipenuhi.

Hasil studi dari CVB (Commissie Vaarweg Beheerder) yang telah diadopsi oleh The European Conference of Ministers of Transport mengklasifikasikan ukuran penampang melintang alur dalam hubungannya dengan arus kapal dalam tiga kategori, yaitu :

a) Penampang alur standart (Preferred cross section)

Pada kondisi alur demikian, maka kapal dengan system navigasi dua arah baik itu dengan pola bersimpangan (incounter) maupun menyalip (overtake) dengan kondisi bermuatan (laden) diijinkan dengan kecepatan maksimum di alur hingga reduksi 30% dari kecepatan maksimumnya. Penampang alur ini merupakan ukuran standart dengan tingkat intensitas kapal sebesar 15.000 kapal pertahun atau 50 kapal perhari.

b) Penampang alur reduksi (reduction cross section)

Pada kondisi alur ini hanya mengijinkan kaplbemuatan bersipanh dengan kapal bermuatan lain tapi dengan haati-hati dan mengijinkan kapal tak bermuatan menyalip kapal yang bermuatan di depannya dngan hati-hati, yakni dengan mengurangi kecepatan sekitar 50 – 70% Vs. kondisi alur ini hanya mengijinkan untuk lalu lintas kapal dengan intensitas per tahun sekitar 5.000 kapal atau 20 kapal perhari.

c) Alur satu arah (one way cross section)



Pada kondisi ini, hanya satu kapal bermuatan yang diijinkan melintasi alur. Kondisi alur ini hanya memproyeksikan intensitas kapal maksimal 1.000 kapal pertahun atau 5 kapal perhari. Alur ini harus jug dilengkapi dengan rambu navigasi dan kolam cadangan di beberapa tempat tertentu untuk kapal dapat bersimpangan atau menyalip.

### 2.2.3 Profil penampang alur dan parameter perencanaan

Tiga parameter utama yang digunakan untuk menentukan ukuran penampang alur adalah :

#### a. Parameter kedalaman atau $h_0/d_n$

Parameter tak berdimensi ini menentukan kemampuan pengendalian kapal dan kecepatan kapal. Dimana  $d_n$  adalah sarat kapal tenang. Sehingga parameter ini menentukan kemampuan maneuver kapal. Minimum kedalaman alur ditentukan oleh sarat dan kecepatan layer kapal yang diijinkan, dan juga jarak bebas dibawah lunas kapal hingga permukaan dasar.

Brun (1981) memberikan nilai ruang kebebasan bruto secar umum untuk berbagai daerah berikut ini :

- ❖ Di daerah terbuka dengan gelombang besar, dan kecepatan kapal masih besar, ruang kebebasan bruto sebesar 20% arat kapal maksimum.
- ❖ Didaerah kapal melempar sauh dimana gelombang besar ruang kebebasan bruto adalah 15% sarat kapal.
- ❖ Alur diluar kolam pelabuhan dimana gelombang besar, ruang kebebasan bruto adalah 15% sarat kapal.

- ❖ Alur tidak terbuka terhadap gelombang, ruang kebebasannya bruto adalah 10% sarat kapal.
- ❖ Kolam pelabuhan yang tidak terlindung dari gelombang, ruang kebebasan bruto adalah 10 – 15% sarat kapal.
- ❖ Kolam pelabuhan yang terlindung dari gelombang, ruang kebebasan bruto adalah 7% sarat kapal.

OCDI (1991) (Triadmodo, 1996) juga memberikan cara penentuan kelonggaran (ruang kebebasan bruto) dengan mempertimbangkan gerak kapal karena pengaruh gelombang, squat, dan kondisi dasar laut.

Ukuran diatas untuk menentukan elevasi dasar alur nominal. Untuk menentukan kedalaman alur pelayaran perlu diperhitungkan ruang untuk pengendapan, toleransi pengukuran dan toleransi pengerukan.

Secara umum kriteria kedalaman alur pelayaran adalah sebagai berikut (Groenveld, 1997) :

- $h_0/d_n > 1.4$  : alur panjang, intensitas tinggi, kapal kelas IV atau lebih.
- $h_0/d_n = 1,3$  : alur terbuka dan pendek, dengan intensitas arus kapal rendah, kapal kelas III atau kurang.
- $h_0/d_n > 1,5$  : alur untuk tongkang yang mendorong.

#### **b. Parameter lebar atau $B_0/b$**

Parameter  $B_0/b$  menentukan intensitas arus lalu lintas kapal yang diijinkan, yang juga berhubungan dengan pola navigasi kapal di alur (encountering atau

overtaking). Dimana  $B_o$  ukuran lebar alur pada sisi lunas kapal (keel) dan  $b$  lebar kapal.

Triadmodjo (1996) mensyaratkan bahwa lebar alur tergantung pada beberapa factor yaitu : lebar, kecepatan dan gerakan kapal, trafik kapal atau pola navigasi, kedalaman alur, kondisi alur (lebar/sempit), stabilitas tebing alur, dan kondisi lingkungan (angina, gelombang, arus dan arusmelintang kapal)CVB merekomendasikan sehubungan dengan parameter  $B_o/b$  adalah sebagai berikut :

- Kelas I s/d IV :
  - a.  $B_o/b = 2.0$  : satu jalur.
  - b.  $B_o/b = 3.0$  : dua jalur, reduce profile
  - c.  $B_o/b = 4.0$  : dua jalur, profile standart/ preferred.
- Kelas V atau lebih dengan dua jalur  $B_o/b > 4.0$

Sedangkan menurut OCDI (1991) ukuran lebar alur untuk dua jalur direkomendasikan sebagai berikut :

Panjang alur	Kondisi pelayaran	lebar
Relative panjang	Kapal sering bersimpangan	2 Loa
	Tidak sering bersimpangan	1,5 Loa
Selain diatas	Kapal sering bersimpangan	1,5 Loa
	Tidak sering bersimpangan	Loa

### c. Parameter penampang atau $A_s/A_c$ atau $1/k$

Parameter penampang alur sangat berpengaruh pada kecepatan layer kapal di alur, karena hal ini terkait dengan tahanan yang timbul di kapal karena berlaar

di alur. Untuk itu, besarnya parameter penampang alur sangat tergantung pada lay-out penampang alur. Lay-out penampang alur dibedakan atas tiga jenis, yaitu : profil tegak (rectangular profile), profil trapezium (trapezoidal profil) dan profil kombinasi.

Untuk profil penampang alur bertipe trapezium atau tipe kombinasi berlaku rumus sebagai berikut :

$$\frac{h_o}{d_n} \times \frac{Bo}{b} < \frac{1}{As/Ac} \dots\dots\dots(1)$$

#### d. Belokan alur

Untuk mengurangi kesulitan dalam pelayaran, sedapat mungkin alur pelayaran merupakan garis lurus. Apabila hal ini tidak dimungkinkan, maka sumbu alur dibuat dengan beberapa bagian lurus yang dihubungkan dengan busur lingkaran. Jari-jari busur pada belokan tergantung pada sudut belokan terhadap sumbu alur. Lebar alur dibelokan tergantung dengan sudut belokan, panjang kapal, sudut maksimum maneuver kemudi, dan eksentrisitas gerakan kapal dialur.

Penambahan lebar alur ( $\Delta B$ ) dibelokan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta B = \alpha \cdot \frac{L^2}{R} \dots\dots\dots (2)$$

dimana untuk :

$L/R > 10$  : tidak perlu penambahan lebar.

$L/R < 10$  dan  $\beta > 30^\circ$  : perlu penambahan lebar alur, yaitu :

- Kapal kelas I – IV tak bermuatan :  $\alpha = 0,5$
- Kapal kelas IVb tak bermuatan :  $\alpha = 0,35$

- Kapal kelas Va tak bermuatan :  $\alpha = 0,30$
  - Kapal kelas I – Va bermuatan :  $\alpha = 0,25$
  - Kapal kelas Vb bermuatan :  $\alpha = 0,10$
- $L/R < 10$  dan  $\beta < 30^0$  : sama dengan diatas dikalikan  $\beta/30$
- $L/R < 10$  dan  $\beta < 20^0$  : tidak perlu penambahan lebar alur.

## 2.3 KRITERIA LINGKUNGAN

### 2.3.1 Angin, gelombang dan arus

Data angin disini diperlukan untuk membangkitkan gelombang. Data angin yang digunakan disini adalah data angin yang dicatat oleh Badan Meteorologi dan Geofisika stasiun Tanjung Perak Surabaya.

Metode yang digunakan untuk memprediksi gelombang sangat banyak, biasanya formulasi yang digunakan dikembangkan berdasar data hasil pengamatan langsung tinggi gelombang terhadap kecepatan angin, fetch dan lama bertiupnya angin. Fetch disini merupakan daerah diatas laut dimana angin bertiup dan membangkitkan gelombang, panjang fetch ini membatasi waktu yang diperlukan gelombang untuk dibawah pengaruh angin. Jadi apabila fetchnya pendek maka energi yang ditransfer angin ke air belum besar, sehingga gelombang yang terjadi tidak cukup tinggi. Gelombang dengan periode lama akan terjadi bila fetchnya panjang.

Pada pengukuran tinggi gelombang angin metode yang digunakan adalah metode Shore Protection Manual (SPM, 1984). Untuk memprediksi gelombang SPM memberikan monograph dari aplikasi formulasi Svedrup-Munk-Bretschneider. Kecepatan angin yang digunakan dalam prediksi gelombang ini adalah berupa kecepatan angin permukaan rata-rata. Perhitungan fetch efektif didasarkan pada Saville (1954) yang merekomendasikan batasan fetch yang didasarkan pada asumsi pokok yaitu :

- i. Gelombang dibangkitkan pada jarak  $45^\circ$  terhadap sisi lain arah angin sebagai transfer energi dari angin ke gelombang yang proporsional terhadap cosinus dari sudut antara angin dan gelombang
- ii. pertumbuhan gelombang proporsional terhadap panjang fetch, 15 radial dibentangkan dengan interfal  $6^\circ$  pada sudut  $45^\circ$  kesamping kiri dan kanan dari arah mata angin.

Dalam perkembangannya selanjutnya panjang fetch efektif diberikan dengan menarik garis-garis fetch setiap interfal sudut  $5^\circ$  yang mempunyai daerah pengaruh selebar  $22.5^\circ$  ke sebelah kiri dan kanan dari arah angin. (SPM, 1984)

Formulasi perhitungan fetch efektif ini di berikan pada persamaan berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum F_i \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

$F_{eff}$  = panjang fetch efektif (m)

$F_i$  = panjang jalur fetch yang ditinjau (m)

$\theta$  = sudut antara jalur fetch yang ditinjau  $F_i$  dengan arah angin

Untuk peramalan gelombang biasanya dipergunakan kecepatan angin pada ketinggian 10 m . Apabila kecepatan tidak diukur pada ketinggian tersebut maka kecepatan angin perlu dikoreksi terhadap ketinggian dengan formulasi berikut :

$$U_{10} = U_z \left[ \frac{10}{z} \right]^{\frac{1}{7}} \dots\dots\dots z < 20m \dots\dots\dots(4).$$

disamping itu perlu dilakukan koreksi stabilitas terhadap perbedaan temperatur udara dan air dengan menggunakan formulasi

$$U = R_T R_L (U_{10})_L \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

$R_T$  = koreksi akibat adanya perbedaan temperatur antara udara dan air

$R_L$  = koreksi terhadap pencatat angin yang dilakukan di darat

$(U_{10})_L$  = kecepatan angin pada ketinggian 10 m di atas daratan.

Dalam peramalan gelombang ini, kecepatan angin yang telah dikoreksi harus diubah ke dalam bentuk wind stress factor ,  $U_A$  dengan menggunakan formulasi

$$U_A = 0.71U^{1.23} \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

$U$  = kecepatan angin (m/det)

$U_a$  = wind stress factor

Persamaan di bawah ini merupakan persamaan yang digunakan untuk peramalan gelombang yang dibatasi fetch pada perairan dalam :

$$H_s = 5.112 \times 10^{-4} U_A F^{1/2} \dots\dots\dots(7)$$

$$T_s = 6.238 \times 10^{-2} (U_A F)^{1/3} \dots\dots\dots(8)$$

$$t = 3.2115 (F^2 / U_A)^{1/3} \dots\dots\dots(9)$$

dimana :  $H_s$  = tinggi gelombang significant

$T_s$  = periode significant

$F_{eff}$  = fetch efektif

### 2.3.2. Pasang-surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut akibat fungsi waktu karena adanya tarik menarik benda benda di langit, terutama bulan dan matahari terhadap bumi. Tipe pasang surut dapat ditentukan dengan menghitung nisbah antara amplitudo unsur unsur pasut tunggal utama dengan amplitudo unsur pasut ganda utama. Indeks ini dikenal sebagai bilangan Formzahl(F) yang mempunyai rumus sebagai berikut

$$F = \frac{(O_1 + K_1)}{(M_2 + S_2)} \dots\dots\dots(10)$$

dimana:

F : 0-0.25 Pasut ganda (semi diurnal)

F : 0.26-1.5 Pasut campuran dengan tipe ganda yang menonjol(mixed,mainly semidiurnal)

F : 1.51-3.0 pasut campuran dengan tipe tunggal yang menonjol(mixed ,mainly diurnal)

F : >3.00 Pasut tunggal(diurnal)

$O_1$  : unsur pasut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

$K_1$  : unsur pasut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

$M_1$  : unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

$S_2$  : Unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari



Berdasarkan data pasut tahunan dari Dinas Hidro Oseanografi Jakarta , pada stasiun terdekat dapat dihitung besarnya indeks F. Untuk kasus ini diambil data pasut dari lokasi Tanjung Perak Surabaya.

Penentuan elevasi muka air karena pasang surut ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Mean High Water Spring (MHWS)} : Z_0 + (A_{M2} + A_{S2})$$

$$\text{Mean Low Water Spring (MLWS)} : Z_0 - (A_{M2} + A_{S2})$$

$$\text{Highest High Water Spring (HHWS)} : Z_0 + (A_{M2} + A_{S2}) + (A_{K1} + A_{01})$$

$$\text{Lowest Low Water Spring (LLWS)} : Z_0 - (A_{M2} + A_{S2}) + (A_{K1} + A_{01})$$

$$\text{Higest Astronomical Tide (HAT)} : Z_0 + \Sigma A_i$$

$$\text{Lowest astronomical tide (LAT)} : Z_0 - \Sigma A_i$$

Dimana :

$Z_0$  = muka air rata rata diukur dari datum

$A_i$  = amplitudo masing masing

## 2.4 SQUAT

Displacement kapal akan menimbulkan aliran fluida ( arus air ) sepanjang sisi dan bagian bawah kapal dengan arah berlawanan dengan arah arah kecepatan gerak kapal. Hal ini sebagai akibat depresi permukaan air yang ditimbulkan oleh displacement dan kecepatan kapal . Fenomena ini dikenal sebagai gerakan air utama akibat kecepatan kapal atau gelombang bangkitan primer akibat kecepatan kapal.

Dalam studi fenomena gelombang bangkitan primer dianalisis dengan pendekatan kekekalan energi atau metode schiff (1949). Dalam metode Schiff ini

perhitungan dilakukan terhadap penurunan muka air (water level depression) dan arus balik (return current)

Akibat depresi permukaan air menimbulkan penurunan elevasi pada kapal (sinkage) Penurunan elevasi ini berbeda untuk bagian buritan dan haluan kapal, sehingga kapal menjadi trim. Kombinasi dari sinkage dengan trim ini sering disebut squat. Dengan timbulnya squat maka permukaan air menjadi turun sehingga kedalaman alur menjadi berkurang. Hal ini dapat menimbulkan kapal kandas karena kedalaman alur yang terbatas.

Perhitungan squat diterangkan sebagai berikut :

Dengan hukum kekekalan energi yang diturunkan oleh persamaan bernouli untuk aliran fluida maka didapat hubungan antara parameter parameter untuk persamaan tak berdimensi sebagai berikut (Groenveld,1997) :

$$1 - \frac{As}{Ac} - \frac{Z}{h} - \left( 1 + \frac{4Z/h}{Vs^2/gh} \right)^{-1/2} = 0 \dots\dots\dots(11)$$

Kondisi maksimum debit didapat jika

$$Z = \frac{(Vs + U)^2}{2g} - \frac{Vs^2}{2g} \dots\dots\dots(12)$$

sehingga persamaan debit kondisi maksimum ( $Q_{maks}$ ) adalah sebagai berikut :

$$Q_{maks} = V_{lim} \cdot Ac = (V_{lim} + U) \cdot (Ac - As - B_o \cdot Z) \dots\dots\dots(13)$$

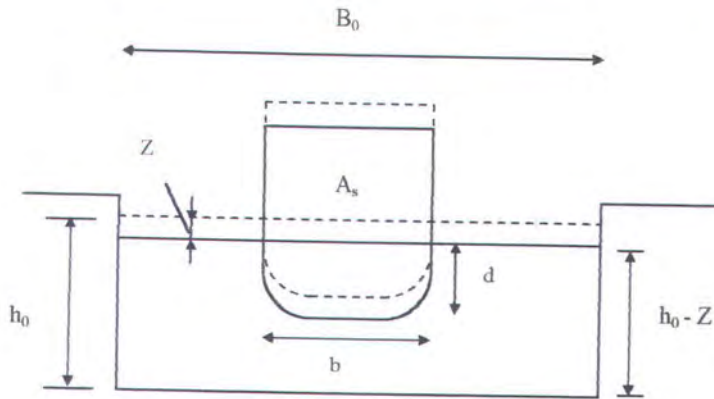
Dimana :  $h$  : rata rata kedalaman alur

$V_{lim}$  : Kecepatan batas layar kapal pada kondisi debit maksimal.

$U_{lim}$  : Kecepatan arus maksimal

$Z_{lim}$  : depresi permukaan air maksimal

- Ac : penampang basah alur
- As : penampang basah kapal
- Bo : lebar alur
- Z : depresi maksimum permukaan air (tinggi squat )
- U : arus balik maksimum sepanjang kapal pada midship



Gambar 2.1 Penampang melintang alur metode Schijf

Jika Fr angka Froude untuk kondisi berikut :

$$Fr = \frac{V \lim}{\sqrt{gh}} \dots \dots \dots (14)$$

Maka persamaan di atas dapat diturunkan menjadi

$$1 - \frac{As}{Ac} + 0.5Fr^2 - 1.5Fr^{3/2} = 0 \dots \dots \dots (15)$$

pada kondisi kapal berlayar dengan kecepatan batas di dapat :

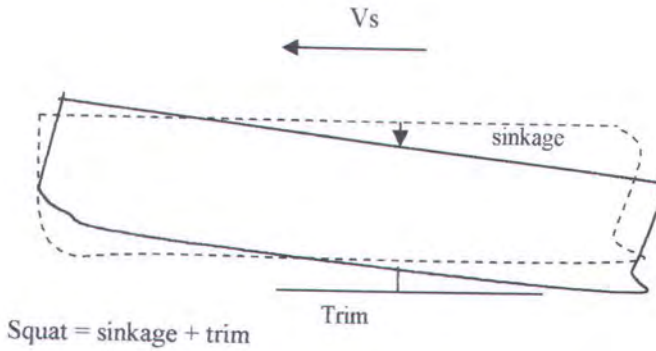
$$\frac{Z \lim}{h} = \frac{1}{3} \left( 1 - \frac{As}{Ac} \cdot \frac{V \lim^2}{gh} \right) \dots \dots \dots (16)$$

dan

$$\frac{U \lim}{\sqrt{gh}} = \left( \frac{2}{3} \left( 1 - \frac{As}{Ac} + 0.5 \frac{V \lim^2}{gh} \right) \right)^{1/3} \dots \dots \dots (17)$$

Koreksi terhadap bentuk badan kapal dengan memasukan nilai  $\alpha=1-1.2$  sehingga persamaan diatas menjadi :

$$Z = \alpha \frac{(Vs + U)^2}{2g} - \frac{Vs^2}{2g} \dots\dots\dots(18)$$



Gambar 2.2 Gerakan squat dan trim kapal

**2.5 GERAKAN COUPLE HEAVING DAN PITCHING**

Untuk menghitung elevasi bangunan apung terhadap MWL alkibat kopel heaving dan pitching maka digunakan teori strip dimana sebuah benda terapung dibagi secara transversal menjadi beberapa bagian yang selanjutnya disebut sebagai strip. Berdasarkan hukum Newton II maka semua gaya yang bekerja pada sebuah benda (strip) adalah sama dengan perkalian antara massa strip terhadap percepatannya.

Persamaan untuk heaving :  $m \cdot \ddot{z} = \sum F \dots\dots\dots(19)$

Persamaan untuk pitching :  $I \cdot \ddot{\theta} = \sum M \dots\dots\dots(20)$

Dimana :

$\Sigma F$  = jumlah gaya fluida

$\Sigma M$  = jumlah momen gaya yang bekerja pada strip akibat gerak relatif terhadap gelombang.

Adanya massa tambah pada suatu benda yang bergerak relatif terhadap fluida maka persamaan (15) diatas dapat ditulis kembali menjadi :

$$\Sigma F = (m + ma) \cdot \ddot{z} \quad \dots\dots\dots(21)$$

dimana :  $m$  = massa strip

$ma$  = massa tambah strip untuk gerakan heaving.

Pergerakan suatu benda didalam fluida akan mengalami gaya reaksi akibat tahanan hidrodinamik yang dikenal sebagai gaya damping atau gaya redaman :

$$cz = (m + ma) \cdot \ddot{z} + b \dot{z} \quad \dots\dots\dots(22)$$

dimana :  $b$  = koefisien gaya redaman

$c$  = koefisien gaya pengembali.

Jika diasumsikan bahwa strip mendapat beban gelombang dengan amplitudo  $\zeta_a$  maka akan terjadi perubahan gaya inersia karena adanya perubahan

sarat. Perubahan sarat tersebut berlangsung secara kontinyu dan mengakibatkan adanya exciting force, sehingga persamaan heaving menjadi :

$$m\ddot{z} = F = ma(-\ddot{z} + \ddot{\zeta}) + b(-\dot{z} + \dot{\zeta}) + c(-z + \zeta) \dots\dots\dots(23)$$

atau

$$(m + ma)\ddot{z} + b\dot{z} + cz = ma\ddot{\zeta} + b\dot{\zeta} + c\zeta \dots\dots\dots(24)$$

dimana :  $\ddot{\zeta}$  = percepatan fluida

$\dot{\zeta}$  = kecepatan fluida

$\zeta$  = displacemen fluida

Ruas kanan pada persamaan (20) diatas disebut sebagai exciting force.

Posisi absolute setiap titik sepanjang benda yang dinyatakan dalam  $z-\zeta\theta$  dan posisi relative strip terhadap gelombang dinyatakan pada :  $zr = z - \zeta\theta - \zeta$ . untuk mendapatkan kecepatan relative persamaan diatas dpat diturunkan menjadi :

$$w_r = \dot{z}r = \dot{z} - (\dot{\zeta}\theta + \zeta\dot{\theta}) - \dot{\zeta} \dots\dots\dots(25)$$

apabila strip tersebut memiliki kecepatan  $u$  maka :

$$d\zeta / dt = \dot{\zeta} = -u \dots\dots\dots(26)$$

sehingga percepatan relatifnya menjadi :

$$\dot{w}_r = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} - \dot{\theta}(-u) + u \dot{\theta} - \ddot{\zeta} \dots\dots\dots(27)$$

$$= \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta} - \ddot{\zeta} \dots\dots\dots(28)$$

Berdasarkan persamaan-persamaan dasar diatas maka akan terdapat gaya geser diantara masing-masing strip. Besar gaya geser tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :

$$\frac{\delta f_n}{\delta \xi} = -m_n \ddot{z}_n - \left( a_n w_r + b_n \dot{w}_r \right) - c_n z_r \dots\dots\dots(29)$$

dimana :  $m_n \ddot{z}_n$  = gaya inersia akibat percepatan massa strip.

$a_n w_r$  = gaya hidrodinamika akibat percepatan massa tambah.

$b_n \dot{w}_r$  = gaya damping akibat kecepatan relative.

$c_n z_r$  = gaya hidrostatis akibat perubahan posisi.

Jika : 
$$\frac{d(a_n w_r)}{dt} = w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \frac{dw_r}{dt}$$

$$= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \dot{w}_r \dots\dots\dots(30)$$

maka persamaan (25) dapat ditulis kembali menjadi :

$$\frac{\delta f_n}{\delta \xi} = -m_n \ddot{z}_n - a_n \dot{w} - \left( b_n + \frac{da_n}{dt} \right) w_r - c_n z_r \dots\dots\dots(31)$$

Agar diperoleh gaya sepanjang benda, diperlukan penjumlahan gaya pada setiap strip yang dinyatakan dalam bentuk :

$$\frac{\delta f_n}{dt} dx = 0 \dots\dots\dots(32)$$

displacement horizontal yang terjadi adalah :

$$x = \xi + ut \dots\dots\dots(33)$$

dimana ut adalah displacement antara sumbu utama dengan titik pangkal benda.

Untuk waktu t tertentu, ut akan konstan sehingga :

$$dx = d\xi + d(ut) = d\xi \dots\dots\dots(34)$$

untuk mendapatkan penjumlahan gaya, persamaan (27) diintegrasikan menjadi :

$$-\int \frac{\delta f_n}{\delta \xi} d\xi = \int m_n \ddot{z}_n d\xi + \int a_n \dot{w}_r d\xi + \left( \int b_n w_r d\xi - u \int \frac{da_n}{d\xi} w_r d\xi \right) + \int c_n z_r d\xi \dots\dots(35)$$

dimana :

$$\ddot{z}_n = z - \xi \theta \dots\dots\dots(36a)$$

$$z_r = z - \xi \theta - \zeta l^{-kz} \dots\dots\dots(36b)$$



$e^{-kz}$  = factor penurunan tekanan.

Sehingga diperoleh persamaan kecepatan relative dan percepatan relative baru sebagai berikut :

$$w_r = \frac{dz_r}{dt} = \dot{z} - \xi \dot{\theta} + u\theta - \zeta \ell^{-kz} \dots\dots\dots(37)$$

$$\dot{w}_r = dw_r / dt = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u\dot{\theta} - \zeta \ell^{-kz} \dots\dots\dots(38)$$

Untuk penyederhanaan, suku-suku gerakan absolute kapal

(  $\dot{z}, \ddot{z}, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$  )

Dipisahkan dari suku-suku gerakan gelombang ( $\xi, \dot{\xi}, \ddot{\xi}$ ). Ruas kiri persamaan menyatakan respon natural pada displacement awal dalam still water dan ruas kanan menyatakan kondisi gelombang yang disebut force function. Substitusi  $z_r, \dot{w}_r$ , dan  $\ddot{z}_n$  dari persamaan (31a) diperoleh :

$$m_n(\ddot{z} - \xi \ddot{\theta}) + a_n(\ddot{z} - \xi \ddot{\theta} + 2u\dot{\theta}) + b_n(\dot{z} - \xi \dot{\theta} + u\theta) - \frac{da_n}{d\xi}(\dot{z} - \xi \dot{\theta} + u\theta) + c_n(\dot{z} - \xi \dot{\theta})$$

$$= \zeta \ell^{-kz} a_n - \zeta \ell^{-kz} b_n - u \frac{da_n}{dt} \xi \ell^{-kz} + \xi \ell^{-kz} c_n \dots\dots\dots(39)$$

Pada persamaan (36) diatas, ruas kanan menyatakan exciting force untuk masing-masing strip yang disebabkan oleh gelombang  $df/dx$ . Dengan

mengasumsikan gelombang reguler dan harmonik maka dengan mensubstitusikan formulasi  $x = \xi + ut$  kedalam persamaan diatas maka :

$$\zeta = \zeta a \cdot \sin.k(\xi + (u + Vw)t) \dots\dots\dots(40)$$

Jika  $-k(u-Vw) = \omega_e$  dan  $\omega_e$  merupakan frekuensi encounter maka kecepatan dan percepatan elevasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\zeta = \zeta a \cdot \sin(k\xi - \omega \cdot lt) \dots\dots\dots(41)$$

$$\dot{\zeta} = -\zeta \cdot a \cdot \omega \cdot l \cdot \cos(k\xi - \omega \cdot lt) \dots\dots\dots(42)$$

$$\ddot{\zeta} = -\zeta \cdot a \cdot \omega \cdot l^2 \cdot \sin(k\xi - \omega \cdot lt) \dots\dots\dots(43)$$

Dengan mensubstitusikan ke dalam persamaan (21) dan kemudian hasilnya diintegrasikan terhadap panjang benda, diperoleh persamaan dasar I untuk gerakan translasi pada couple heaving dan pitching, yaitu :

$$(m + ma)\ddot{z} + b\dot{z} + cz + d\ddot{\theta} + l\dot{\theta} + h\theta = F(t) \dots\dots\dots(44)$$

dimana :  $m = \int m_n d\xi \dots\dots\dots(45)$

$$ma = \int a_n d\xi$$

$$b = \int b_n d\xi$$

karena diasumsikan  $\int (da_n / d\xi) d\xi = 0$  maka :

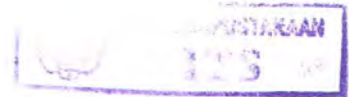
$$c = \int c_n d\xi \dots\dots\dots(46)$$

yang dapat juga dinyatakan sebagai  $\rho.g \int B_n d\xi$  , dimana  $B_n$  merupakan lebar masing-masing seksi.

$$d = -\int a_n \xi . d\xi \dots\dots\dots(47)$$

karena  $\int m_n \xi . d\xi = 0$  , yaitu momen dari massa total disekitar titik beratnya harus sama dengan nol maka :

$$e = -\int b_n \xi . d\xi + 2u \int a_n d\xi + u \int (da_n / dt) \xi . d\xi$$



$$e = -\int b_n \xi . d\xi + uma \dots\dots\dots(48)$$

jika  $\int \xi (da_n / d\xi) d\xi = \int \xi$  dan  $= -ma$ , maka :

$$\begin{aligned} h &= -\int c_n \xi . d\xi + u \int b_n d\xi \\ &= -\int c_n \xi . d\xi + ub \dots\dots\dots(49) \end{aligned}$$

dan karena  $u^2 \int (da_n / d\xi) d\xi = 0$  maka :

$$F(t) = \int \frac{dF}{dx} dx =$$

$$\zeta . a e^{-kz} \int (-\omega . e^2 a_n + c_n) \sin(k\xi - \omega . et) d\xi - \zeta . a e^{-kz} \omega . e \int \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \cos(k\xi - \omega et) d\xi$$

Exciting force (f) yang timbul sebagai akibat gerakan heaving merupakan kurva sinusoidal dan secara umum dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_o &= F_1 \cos \omega t + F_2 \sin \omega \\
 &= F_o \cos (\omega t - \sigma) \dots\dots\dots(50)
 \end{aligned}$$

dimana  $F_o$  merupakan simpangan dari exciting force yang dinyatakan sbagai berikut :

$$F_o = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

sedangkan  $\sigma$  merupakan sudut phase yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\sigma = -\tan^{-1}(F_1 / F_2)$$

$F_1$  dan  $F_2$  dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$F_1 = \int \frac{dF_1}{dx} dx$$

$$\frac{dF_1}{dx} = \zeta . a e^{-kz} \left( -\omega . e^2 a_n + c_n \right) \sin k\xi + \zeta . a e^{-kz} \omega . e \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \cos k\xi \dots\dots\dots(51)$$

$$F_2 = \int \frac{dF_2}{dx} dx$$

$$\frac{dF_2}{dx} = \zeta . a e^{-kz} \left( -\omega . e^2 a_n + c_n \right) \cos k\xi + \zeta . a e^{-kz} \omega . e \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \sin k\xi \dots\dots\dots(52)$$

Hal yang perlu diperhatikan dari persamaan diatas adalah bahwa z diukur dari garis sarat rata-rata. Persamaan dasar II merupakan persamaan yang menggambarkan perilaku gerakan pitching akibat gerakan couple heaving dan pitching, yaitu :

$$(I_{yy} + A_{yy})\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta + D\ddot{z} + E\dot{z} + Hz = M(t) \dots\dots\dots(53)$$

dimana :

$$A_{yy} = \text{massa tambah momen inersia} = \int a_n \xi^2 d\xi$$

$$B = \text{momen peredam} = \int b_n \xi^2 d\xi$$

$$C = \text{momen pengembali} = \int c_n \xi^2 d\xi$$

$$M = \text{momen eksitasi} = M_o \cos(\omega.e + \tau) = \int \frac{dF}{d\xi} \xi.d\xi$$

Sedangkan D,E dan H merupakan bentuk kopel yang dinyatakan sebagai berikut :

$$D = d$$

$$E = -\int b_n \xi.d\xi - uma$$

$$H = -\int c_n \xi.d\xi$$

Amplitudo momen eksitasi  $M_o$  dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$M_0 = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \dots\dots\dots(54)$$

Sudut phase  $\tau$  akibat momen eksitasi terhadap gerakan gelombang adalah :

$$\tau = -\tan^{-1}(M_2 / M_1) \dots\dots\dots(55)$$

dimana :

$$M_1 = \int \frac{dM_1}{dx} d\xi \quad M_2 = \int \frac{dM_2}{dx} d\xi$$

$$\frac{dM_1}{dx} = \xi \cdot \left( \frac{dF_1}{dx} \right) \quad \frac{dM_2}{dx} = \xi \cdot \left( \frac{dF_2}{dx} \right)$$

Koefisien-koefisien pada persamaan dasar I dan II dapat diperoleh dengan mengasumsikan pendekatan gerak kopel untuk calm water sehingga ruas kanan pada masing-masing persamaan sama dengan nol. Dimana koefisien-koefisien tersebut adalah sebagai berikut :

$$P = -(m + ma)\omega^2 + iB\omega + c \dots\dots\dots(56)$$

$$Q = -d\omega^2 + ie\omega + h \dots\dots\dots(57)$$

$$S = -(I_{yy} + A_{yy})\omega^2 + iB\omega + c \dots\dots\dots(58)$$

$$R = -D\omega^2 + ie\omega + H \dots\dots\dots(59)$$

Sedangkan untuk memudahkan penyelesaian, gaya dan momen eksitasi pada persamaan dasar I dan II dapat diperoleh dengan metode bilangan kompleks, yaitu :

$$\bar{F} = F_o e^{i\sigma} \quad \text{dan} \quad \bar{M} = M_o e^{i\tau}$$

Jika  $\bar{z}$  menyatakan seluruh komponen  $z$  dan  $\bar{\theta}$  menyatakan seluruh komponen  $\theta$  maka persamaan dasar I dan II dapat ditulis kembali :

$$P\bar{z} + Q\bar{\theta} = \bar{F} \quad \text{dan} \quad S\bar{\theta} + R\bar{z} = \bar{M}$$

sehingga untuk persamaan heaving adalah :

$$\bar{z} = \frac{\bar{F} - Q\bar{\theta}}{P} \quad \text{dan} \quad \bar{\theta} = \frac{\bar{F} - P\bar{z}}{Q} \quad \dots\dots\dots(60)$$

sedangkan untuk persamaan pitching adalah :

$$\bar{z} = \frac{\bar{M} - S\bar{\theta}}{R} \quad \text{dan} \quad \bar{\theta} = \frac{\bar{M} - R\bar{z}}{S} \quad \dots\dots\dots(61)$$

Jika persamaan diatas disubstitusikan akan diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{\bar{F} - Q\bar{\theta}}{P} = \frac{\bar{M} - S\bar{\theta}}{R} \quad \text{dan} \quad \frac{\bar{F} - P\bar{z}}{Q} = \frac{\bar{M} - R\bar{z}}{S} \quad \dots\dots\dots(62)$$

$$\bar{z} = \frac{\bar{M}Q - \bar{F}S}{QR - PS} \quad \dots\dots\dots(63)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{F}R - \bar{M}P}{QR - PS} \quad \dots\dots\dots(64)$$

Dari persamaan (44) dan (46) diatas dipeoleh solusi akhir untuk persamaan gerak kopel heaving-pitching. Simpangan dan sudut phase untuk  $\bar{z}$  dan  $\bar{\theta}$  dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$\bar{z} = z_a e^{i\delta} = z_a (\cos \delta + i \sin \delta) \dots\dots\dots(65)$$

$$\bar{\theta} = \theta_a e^{i\varepsilon} = \theta_a (\cos \varepsilon + i \sin \varepsilon.) \dots\dots\dots(66)$$

## 2.6 PROBABILITAS DAN RESIKO PADA PERENCANAAN ALUR

Secara umum kriteria yang digunakan untuk menentukan kemungkinan kecelakaan yang terjadi selama umur perencanaan alur kurang dari 10% seperti kriteria yang digunakan dalam Europort/Rotterdam (Savenije.1996)

- a. Peramalan amplitudo gerakan kapal pengaruh gelombang

Amplitudo gerakan kapal karena pengaruh gelombang terutama gerakan vertikal (heave) merupakan faktor penting dalam penentuan kebebasan kotor (gross underkeel clearance).

Hubungan antara tinggi gelombang significant dengan tinggi gelombang yang berkaitan dengan probablistik kejadian dinyatakan dengan rumus sebagai berikut



$$H_p = H_s \sqrt{-0.5 \ln(p)} \dots \dots \dots (67)$$

dimana :  $H_p$  = tinggi gelombang yang berkaitan dengan probabilitistik kejadian

$p$

$H_s$  = tinggi gelombang significant

$P$  = probabilitas kejadian gelombang  $p$

Amplitudo gerakan vertikal kapal akibat gelombang selanjutnya dapat dirumuskan dengan pendekatan

$$A_p = RAO.1/2.H_s.\sqrt{-0.5 \ln(p)} \dots \dots \dots (68)$$

dimana :  $A_p$  = amplitudo gerakan vertikal kapal terhadap kejadian  $p$

Nilai maksimum ruang bebas dibawah kapal yang diharuskan dirumuskan sebagai berikut

$$A_{max,p} = A_{mo}.\sqrt{-0.5 \ln(p)} \dots \dots \dots (69)$$

dimana  $A_{mo} = 3\sigma_c$

$\sigma_c$  = total standart deviasi ruang bebas bawah kapal

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_b^2 + \sigma_w^2}$$

$\sigma_s$  = standart deviasi ship motion

$\sigma_b$  = standart deviasi dasar alur

$\sigma_w$  = standart deviasi muka air

$p$  = probabilitistik rasio UKC/  $\sigma_c$

$$p = \exp\{-0.5(UKC/\sigma_c)^2\} \dots \dots \dots (70)$$

Kapal dinyatakan downtime jika mengalami

$$A_{max} > A_{max,p}$$

Kemungkinan nilai diatas terlampaui selama umur alur dirumuskan sebagai berikut

$$P = 1 - \exp(-p \cdot N) \dots \dots \dots (71)$$

Dimana : N = jumlah kapal per hari

$$P = \text{probabilitas rasio UKC} / \sigma_c$$



**BAB III**  
**METODOLOGI**

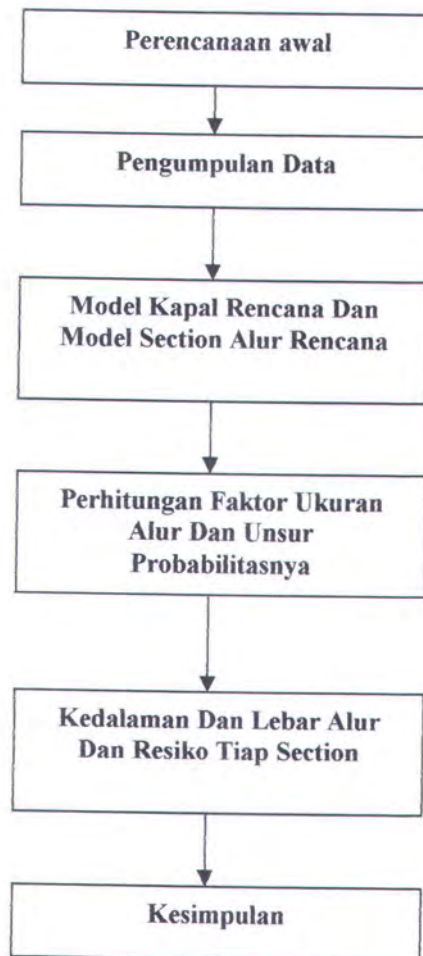
---

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 DIAGRAM ALIR

Untuk memudahkan dalam melakukan penelitian, maka semua bentuk kegiatan yang dilakukan harus tersusun secara teratur sehingga mendapatkan hasil yang memuaskan . Adapun urutan kegiatan dari penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir

### 3.2 PENJELASAN

Berikut ini akan diuraikan secara ringkas dari masing masing urutan kerja yang dilakukan dalam kegiatan penelitian.

#### 3.2.1 Pengumpulan data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data yang berkaitan dengan alur pelabuhan. Tempat yang dipilih untuk melakukan studi kasus adalah Alur Pelayaran Barat Surabaya . Adapun data-data yang dikumpulkan untuk penelitian ini meliputi : gambar peta Alur Pelayaran Barat Surabaya, data lingkungan meliputi kecepatan angin tahunan, pasang surut, data batimetri alur yang ada, data ukuran kapal dan arus kunjuangan kapal.

#### 3.2.2 Model Kapal Rencana Dan Model Section Alur Rencana

Sebelum melakukan perhitungan faktor ukuran alur, hal yang perlu dilakukan adalah merencanakan ukuran kapal yang akan melewati alur tersebut. Ukuran kapal ini dihitung berdasar dari ukuran kapal yang berkunjung ke Tanjung Perak sekarang kemudian dari data yang diperoleh dilakukan prediksi untuk suatu ukuran kapal rencana untuk suatu tahun kedepan. Ukuran kapal rencana ini penting karena sebagai unsur pokok dalam merencanakan alur.

Selanjutnya untuk memudahkan perhitungan pada alur rencana ini dilakukan penentuan potongan section pada peta alur yang telah ada. Penentuan potongan alur ini berdasar pada tempat tempat yang kritis pada sepanjang alur.

### 3.2.3 Perhitungan Faktor Ukuran Alur Dan Unsur Probabilitas

Langkah-langkah yang dilakukan pada tahapan ini adalah menghitung unsur-unsur ukuran alur yang diprobabilitaskan . Hal hal yang diprobabilitaskan meliputi pertama gerakan kapal. Gerakan kapal ini meliputi gerakan vertikal kapal dan nilai squat akibat kedalaman dan kecepatan layar kapal. Pada gerakan vertikal kapal dihitung besarnya amplitudo yang terjadi pada kapal akibat gelombang . Gerakan vertikal ini adalah heave dan pitch couple dihitung menggunakan strip teory berdasar dari ukuran kapal rencana. Langkah kedua adalah menghitung besarnya pasang surut yang terjadi pada tiap section untuk menentukan kedalaman minimal yang ada . Langkah ketiga adalah menghitung ketidakrataan dari dasar alur. Hal hal diatas merupakan unsur pokok mempunyai probabilitas yang kemudian dihitung berapa standard deviasi yang terjadi.

### 3.2.4 Kedalaman, lebar dan resiko

Setelah semua faktor ukuran alur diperoleh kemudian dijumlahkan maka didapat suatu kedalaman dan lebar alur tiap section .Kemudian untuk membandingkan kedalaman, dengan cara lain dihitung amplitudo kapal kapal yang terjadi dari probabilitas yang ada. Amplitudo maksimum ini digunakan sebagai pedoman down time dari alur ini. Kemudian dilakukan analisa resiko pada tiap section untuk berbagai kecepatan untuk melihat tingkat keamanan yang terjadi.



**BAB IV**  
**ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

---

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Kriteria Ukuran Kapal

Ukuran kapal yang terbesar yang akan digunakan untuk perencanaan alur pelayaran ini sebagai berikut:

- Bobot mati/DWT : 54000 ton
- Panjang kapal (Loa) : 210 m
- Lebar (B) : 27 m
- Sarat kapal maks (T) : 12 m

Sebagai asumsi bahwa kapal dengan ukuran yang melebihi ukuran kapal di atas tidak diperkenankan labuh di pelabuhan Tanjung Perak Surabaya tanpa adanya penanganan muatan secara khusus terlebih dahulu seperti mengurangi muatan kapal sehingga memenuhi sarat.

#### 4.2. Penentuan Ukuran Alur

Penentuan ukuran alur minimum ini menggunakan pendekatan probabilistik seperti yang direkomendasikan PIANC(1988,1997) dengan mempertimbangkan tingkat keselamatan atau resiko kecelakaan.

Kondisi alur yang ada di APBS sekarang memiliki kedalaman terkecil 10 m LWS. Pertimbangan penentuan ukuran minimum kedalaman alur ini adalah kedalaman air yang diperlukan oleh kapal rencana untuk dapat berlayar dengan aman . Perhitungan kedalaman minimum alur ini berdasarkan probabilitas tinggi



gelombang yang berpengaruh pada amplitudo gerakan vertikal kapal, squat sebagai pengaruh kecepatan kapal. Squat merupakan penurunan muka air sewaktu kapal berlayar.

Tinggi gelombang probabilitas diasumsikan merupakan distribusi Rayleigh yang dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$H_p = H_{mo} \sqrt{[-0.5 \ln p]} \dots\dots\dots(4.1)$$

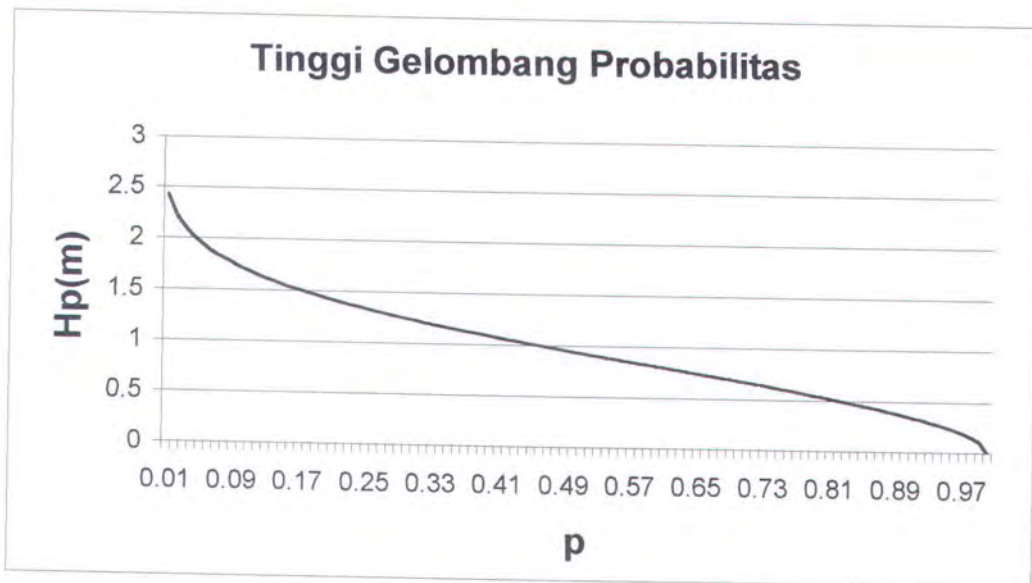
Dimana,  $H_p$  = tinggi gelombang pada kejadian  $p$

$H_{mo}$  = tinggi gelombang significant

$p$  = probabilitas

Pada alur pelabuhan APBS diperoleh suatu besaran tinggi gelombang significant menggunakan perhitungan gelombang angin yakni  $H_{mo}$ (significant) sebesar 1.6 m. Untuk perhitungan detilnya lihat lampiran.

Menggunakan persamaan 4.1 maka dapat diperoleh grafik hubungan tinggi gelombang probabilitas  $H_p$  dengan probabilitas  $p$  ( $0 < p < 1$ )



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Tinggi Gelombang Probabilitas Dan Probabilitas

Untuk perencanaan alur APBS digunakan besarnya tinggi gelombang probabilitas sama dengan tinggi gelombang significant yaitu sebesar 1.6 meter.

Tinggi gelombang probabilitas diatas merupakan sebagai masukan untuk mendapatkan besarnya gerakan vertikal kapal probabilitas . Persamaan ini diformulasikan sebagai :

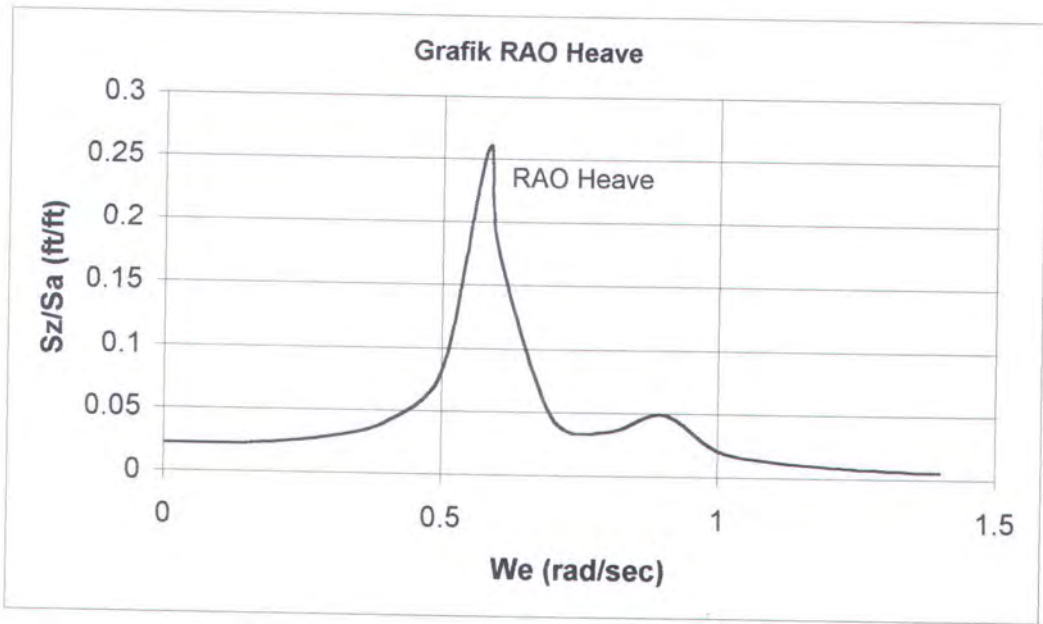
$$A_p = 0.5.RAO.H_p \dots\dots\dots(4.2)$$

dimana : RAO = Respon Amplitudo Operator

$A_p$  = Amplitudo Gerakan Vertikal Kapal Probabilitas

RAO adalah respon yang diterima kapal akibat pengaruh tinggi gelombang

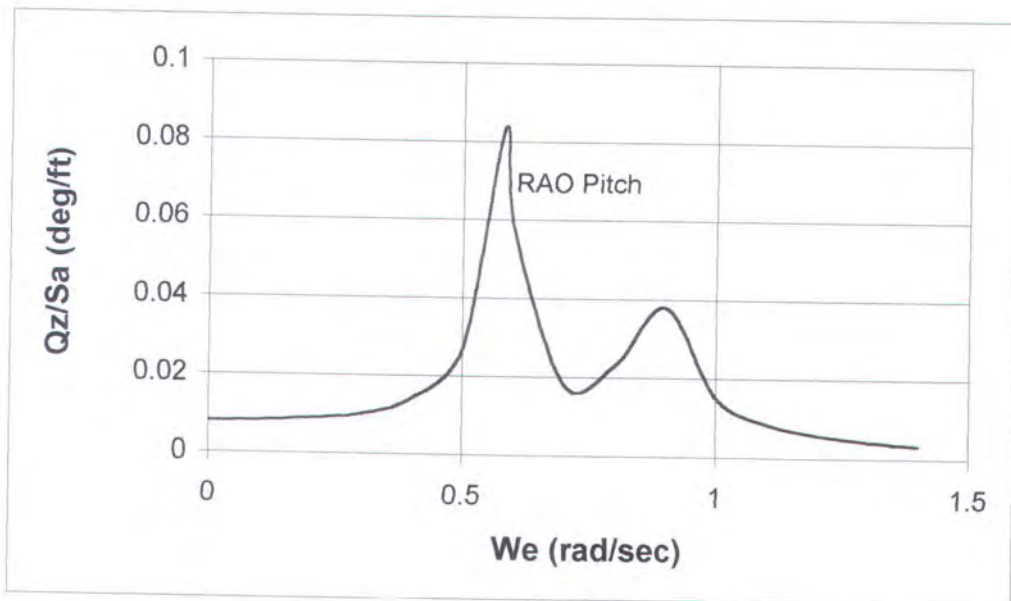
Pada kapal rencana terbesar disini diperoleh besarnya RAO yang dihitung sebagai fungsi gerakan *heave* dan *pitch couple* didapat grafik dibawah ini



Gambar 4.2. Grafik RAO heave

Dari gambar 4.2 grafik RAO heave mempunyai dua puncak. Kedua puncak ini berada pada frekuensi 0.5 – 1 (rad/sec).Puncak tertinggi/maksimum adalah

sebesar 0.258 (ft/ft) (0.258 (m/m)) pada frekuensi 0.58 (rad/sec). Pada puncak tertinggi ini dipakai sebagai masukan perhitungan gerakan heave karena pada puncak tertinggi kapal mengalami gerakan heave maksimum akibat resonansi frekuensi natural kapal dan frekuensi gelombang..

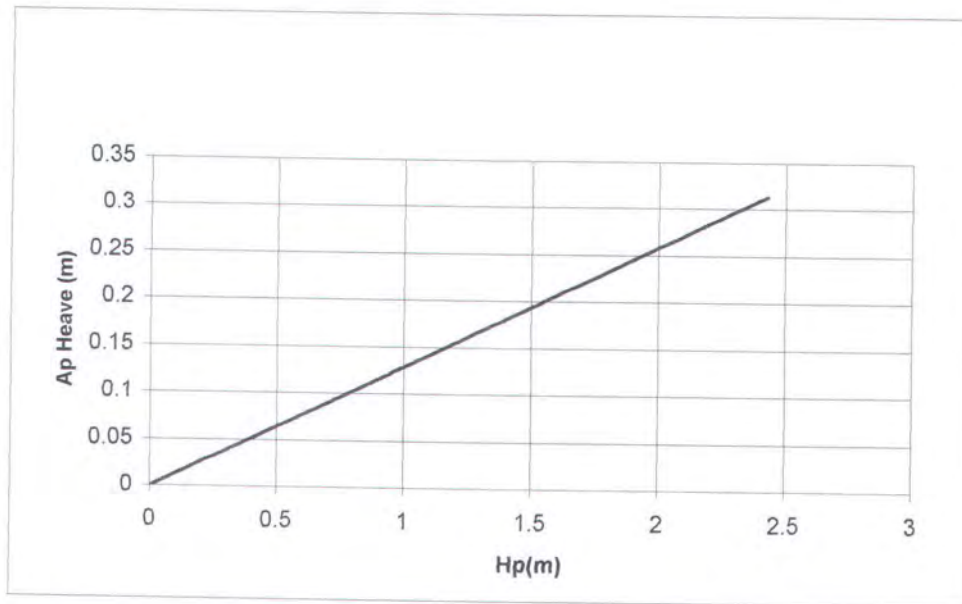


Gambar 4.3 Grafik RAO pitch

Dari gambar 4.3 grafik RAO pitch mempunyai dua puncak. Kedua puncak ini berada pada frekuensi 0.5 – 1 (rad/sec). Puncak tertinggi sebesar 0.083 deg/ft (0.27deg/m) pada frekuensi 0.58 (rad/sec). Puncak tertinggi ini dipakai sebagai masukan perhitungan gerakan pitch karena pada puncak ini kapal mengalami pitch terbesar akibat resonansi frekuensi natural kapal dengan frekuensi gelombang.

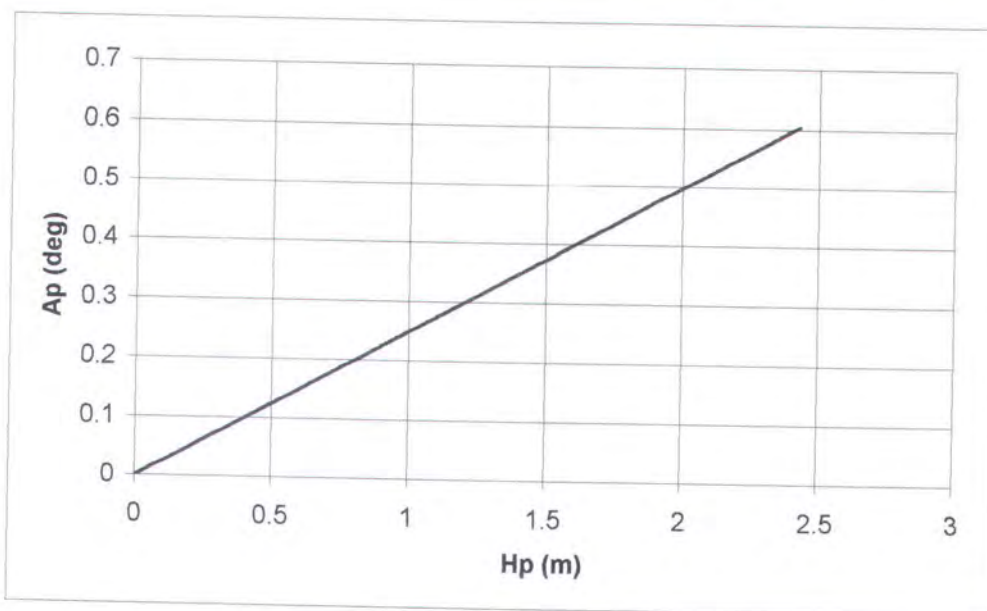
Sehingga dari persamaan 4.2 diperoleh besarnya amplitudo gerakan vertikal kapal probabilitas  $A_p$  untuk heave dan pitch yang di gambarkan pada gambar 4.4 dan 4.5.

Pada gambar 4.4 besarnya amplitudo heave linear terhadap kenaikan tinggi gelombang probabilitas. Mengacu pada persamaan 4.2 untuk kriteria kapal rencana besarnya amplitudo heave pada tinggi gelombang 1.6 meter sebesar 0.19 meter untuk kriteria kapal rencana di APBS.



Gambar 4.4 Grafik hubungan amplitudo gerakan vertikal kapal heave dan tinggi gelombang

Pada gambar 4.5 besarnya amplitudo pitch linear terhadap tinggi gelombang probabilitas. Besarnya amplitudo pitch digambarkan dalam degre. Sehingga untuk memperoleh amplitudo pitch dalam meter diperoleh dari perkalian tangen simpangan pitch dan setengah panjang kapal. Amplitudo pitch terbesar adalah 0.75 m pada tinggi gelombang 1.6 meter untuk kriteria kapal rencana di APBS.



Gambar 4.5 Grafik hubungan amplitudo gerakan vertikal kapal pitch dan tinggi gelombang

Untuk perencanaan ukuran alur APBS besarnya squat kapal merupakan variabel yang penting. Squat adalah penurunan muka air pada midship akibat kecepatan kapal. Besarnya squat sangat tergantung dari kedalaman alur dan kecepatan layar kapal. Perhitungan squat detilnya pada lampiran *squat*.

Pada perencanaan alur APBS ini diambil angka keamanan yang diberikan sebagai net UKC sebesar 1 meter dengan pertimbangan keamanan dan ekonomis dan berdasar dari '*Report on ship chanel design*' yang merekomendasikan minimum net UKC 3 ft pada *entrance chanel*.

Dari perhitungan dari berbagai parameter (heave, pitch dan squat detilnya dilampiran) diperoleh ukuran alur dengan berbagai kecepatan pada tabel 4.1 – 4.3.

Tabel 4.1 Ukuran alur dengan kecepatan kapal 5 knot

( Ukuran dalam meter )	section 1	section 2	section 3	section 4	section 5
1	2	3	4	5	6
Design ship draft	12	12	12	12	12
Minimum safe clearance(net UKC)	1	1	1	1	1
Squat	0.051	0.07	0.07	0.051	0.07
Ship motion karena heave	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Ship motion karena pitch	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Kedalaman alur	<b>13.891</b>	<b>13.91</b>	<b>13.91</b>	<b>13.891</b>	<b>13.91</b>
Kedalaman alur sekarang (LWS)	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>15</b>
Kedalaman alur sekarang (HWS)	<b>21.76</b>	<b>16.76</b>	<b>11.76</b>	<b>16.76</b>	<b>16.76</b>
kedalaman yang direkomendasikan	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>
Design lebar kapal	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
Lebar alur minimum sekarang (min)	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>
Lebar alur yang direkomendasikan	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>

Dari tabel 4.1 section 1 dan 4 sangat aman untuk dilalui kapal . Pada section 2 dan 5 masih bisa dikatakan aman pada kecepatan layar 5 knot pada kriteria kapal rencana ini. Pada section 3 kedalaman alur lebih kecil dari draft kapal sehingga tidak bisa dilewati kapal rencana ini.

Tabel 4.2 Ukuran alur dengan kecepatan kapal 10 knot

(Ukuran dalam meter)	section 1	section 2	section 3	section 4	section 5
1	2	3	4	5	6
Design ship draft	12	12	12	12	12
Minimum safe clearance	1	1	1	1	1
Ship motion karena pitch	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Squat	0.24	0.36	0.36	0.24	0.36
Ship motion karena heave	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Total kedalaman alur	<b>14.14</b>	<b>14.26</b>	<b>14.26</b>	<b>14.14</b>	<b>14.26</b>
Kedalaman alur sekarang (LWS)	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>15</b>
Kedalaman alur sekarang (HWS)	<b>21.76</b>	<b>16.76</b>	<b>11.76</b>	<b>16.76</b>	<b>16.76</b>
kedalaman yang direkomendasikan	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>
Design lebar kapal	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
Lebar alur minimum sekarang (min)	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>
Lebar alur yang direkomendasikan	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>

Pada tabel 4.2 section 1 dan 4 sangat aman untuk dilalui kapal. Pada section 2 dan 4 kedalaman alur kritis terhadap draft kapal pada kecepatan layar 10 knot. Section 3 tidak bisa dilewati kapal

Tabel 4.3 Ukuran alur dengan kecepatan kapal 15 knot

(Ukuran dalam meter)	section 1	section 2	section 3	section 4	section 5
1	2	3	4	5	6
Design ship draft	12	12	12	12	12
Minimum safe clearance	1	1	1	1	1
Ship motion karena pitch	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Squat	0.74	1.787	1.787	0.74	1.787
Ship motion karena heave	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Total kedalaman alur	<b>14.72</b>	<b>15.767</b>	<b>15.767</b>	<b>14.72</b>	<b>15.767</b>
Kedalaman alur sekarang (LWS)	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>15</b>
Kedalaman alur sekarang (HWS)	<b>21.76</b>	<b>16.76</b>	<b>11.76</b>	<b>16.76</b>	<b>16.76</b>
kedalaman yang direkomendasikan	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>
Design lebar kapal	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
Lebar alur minimum sekarang (min)	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>
Lebar alur yang direkomendasikan	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>

Pada tabel 4.3 section 1 dan 4 sangat aman untuk dilalui kapal. Pada section 2 dan 5 tidak bisa dilalui kapal untuk kecepatan layar 15 knot. Section 3 tidak bisa dilalui kapal karena draft kapal lebih besar dari kedalaman alur.

Dari semua section lebar alur yang ada sangat aman dilalui kapal dengan asumsi digunakan dua jalur pelayaran.

#### 4.3. Probabilitas ,Resiko, Keamanan Dan Downtime

Untuk menentukan kelayakan alur pelabuhan yang meliputi keamanan dan resiko, downtime sangat tergantung dengan berapa besarnya gross underkeel clearance (UKC).

Komponen probabilitas yang terdapat dalam underkeel clearance yang mana di ekspresikan sebagai standart deviasi meliputi :

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_s^2 + \sigma_b^2 + \sigma_w^2 + \dots)} \dots\dots\dots 4.3$$

dimana :  $\sigma_c$  = standart deviasi gabungan

$\sigma_s$  = standart deviasi gerakan kapal

$\sigma_b$  = standart deviasi ketidakrataan dasar alur pelabuhan

$\sigma_w$  = standart deviasi muka air

Standart Deviasi merupakan besarnya penyimpangan dari suatu harga rata-rata, dengan asumsi besarnya standart deviasi untuk gerakan vertikal kapal sebesar 10%,15%,20%,25%,30%dan35% untuk kecepatan kapal 5,7,9,11,13,15 knot maka probabilitas dari besarnya  $UKC/\sigma_c$  dapat diperoleh. Probabilitas ini diformulasikan sebagai berikut

$$p = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{UKC}{\sigma_c}\right)^2\right\} \dots\dots\dots 4.4$$

dimana : p = probabilitas

UKC = Underkeel Clearance

Besarnya probabilitas p diberikan pada tabel 4.4 dibawah ini



Tabel 4.4 Perhitungan besarnya probabilitas p

Section	Vs(knot)	$\sigma_b$	$\sigma_w$	$\sigma_{heave}$	$\sigma_{squat}$	$\sigma_{pitch}$	UKC	p
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	5	0.75	0.72	0.018	0.0051	0.065	8	1.57E-13
2	5	0.71	0.8	0.018	0.007	0.065	3	0.019606
3	5	0.64	0.85	0.018	0.007	0.065	0	1
4	5	1.01	0.6	0.018	0.0051	0.065	8	8.56E-11
5	5	0.64	0.92	0.018	0.007	0.065	3	0.027827
1	7	0.75	0.72	0.0285	0.01605	0.1005	8	1.88E-13
2	7	0.71	0.8	0.0285	0.0228	0.1005	3	0.01967
3	7	0.64	0.85	0.0285	0.0228	0.1005	0	1
4	7	1.01	0.6	0.0285	0.01605	0.1005	8	8.67E-11
5	7	0.64	0.92	0.0285	0.0228	0.1005	3	0.027903
1	9	0.75	0.72	0.04	0.038	0.138	8	2.51E-13
2	9	0.71	0.8	0.04	0.0548	0.138	3	0.019892
3	9	0.64	0.85	0.04	0.0548	0.138	0	1
4	9	1.01	0.6	0.04	0.038	0.138	8	8.96E-11
5	9	0.64	0.92	0.04	0.0548	0.138	3	0.028164
1	11	0.75	0.72	0.0525	0.075	0.1775	8	3.98E-13
2	11	0.71	0.8	0.0525	0.1175	0.1775	3	0.020711
3	11	0.64	0.85	0.0525	0.1175	0.1775	0	1
4	11	1.01	0.6	0.0525	0.075	0.1775	8	9.79E-11
5	11	0.64	0.92	0.0525	0.1175	0.1775	3	0.029125
1	13	0.75	0.72	0.066	0.138	0.219	8	8.69E-13
2	13	0.71	0.8	0.066	0.2457	0.219	3	0.02417
3	13	0.64	0.85	0.066	0.2457	0.219	0	1
4	13	1.01	0.6	0.066	0.138	0.219	8	1.25E-10
5	13	0.64	0.92	0.066	0.2457	0.219	3	0.033133
1	15	0.75	0.72	0.0805	0.259	0.2625	8	4.37E-12
2	15	0.71	0.8	0.0805	0.625	0.2625	3	0.053945
3	15	0.64	0.85	0.0805	0.625	0.2625	0	1
4	15	1.01	0.6	0.0805	0.259	0.2625	8	2.75E-10
5	15	0.64	0.92	0.0805	0.625	0.2625	3	0.065733

Dari probabilitas p dihitung besarnya amplitudo gerakan vertikal maksimum pada p, dengan formulasi:

$$A_{maks,p} = A_{mo} \sqrt{-0.5 \ln p} \dots\dots\dots 4.5$$

dimana:  $A_{max,p}$  = amplitudo gerakan vertikal kapal maksimum pada p

$A_{mo}$  = jumlah besarnya heave, pitch dan squat

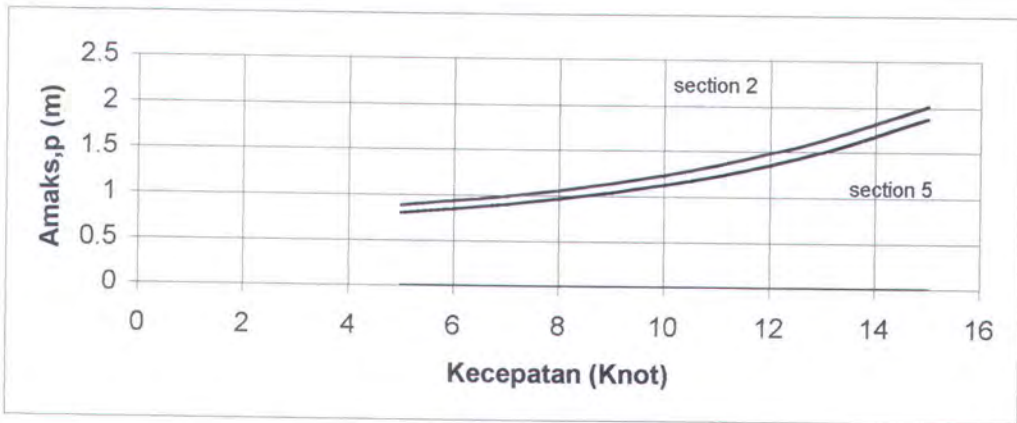
Alur dinyatakan downtime apabila besarnya  $A_{max} > A_{max,p}$  untuk kriteria kapal tersebut. Downtime adalah kapal tidak dapat berlayar dialur karena draft kapal menyentuh dasar alur atau kritis terhadap dasar alur menurut yang direkomendasikan yaitu 0.5 m.

Besarnya  $A_{max,p}$  diberikan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Perhitungan amplitudo maksimum pada p

Section	Vs(knot)	Amo(m)	p(probabilitas)	$A_{max,p}(m)$
1	5	0.881	1.57369E-13	<b>6.49301</b>
2	5	0.9	0.019605587	<b>0.884687</b>
3	5	0.9	1	<b>0</b>
4	5	0.881	8.56419E-11	<b>5.105581</b>
5	5	0.9	0.027827268	<b>0.805891</b>
1	7	0.967	1.88035E-13	<b>7.083794</b>
2	7	1.012	0.01967024	<b>0.993948</b>
3	7	1.012	1	<b>0</b>
4	7	0.967	8.66828E-11	<b>5.601049</b>
5	7	1.012	0.0279034	<b>0.905489</b>
1	9	1.08	2.51307E-13	<b>7.833267</b>
2	9	1.164	0.019891524	<b>1.139981</b>
3	9	1.164	1	<b>0</b>
4	9	1.04	8.95972E-11	<b>6.015281</b>
5	9	1.164	0.028163736	<b>1.038789</b>
1	11	1.22	3.98387E-13	<b>8.708163</b>
2	11	1.39	0.020710881	<b>1.347291</b>
3	11	1.39	1	<b>0</b>
4	11	1.22	9.79304E-11	<b>7.029263</b>
5	11	1.39	0.0291246	<b>1.22882</b>
1	13	1.41	8.68954E-13	<b>9.789449</b>
2	13	1.76	0.024170442	<b>1.637955</b>
3	13	1.76	1	<b>0</b>
4	13	1.41	1.25321E-10	<b>8.03705</b>
5	13	1.76	0.033133155	<b>1.499177</b>
1	15	1.72	4.36542E-12	<b>11.24764</b>
2	15	2.76	0.053944863	<b>2.014657</b>
3	15	2.76	1	<b>0</b>
4	15	1.72	2.75239E-10	<b>9.465754</b>
5	15	2.76	0.065733294	<b>1.878283</b>

Dari hasil tabel 4.5 amplitudo maksimal kapal makin besar dengan makin besarnya UKC. Pada section 1 dan 4 amplitudo maksimumnya dapat mencapai lebih dari 7 meter tetapi dengan probabilitas mendekati nol artinya amplitudo maksimal ini sangat kecil dicapai atau draft kapal menyentuh dasar alur kemungkinannya sangat kecil. Pada section 2 dan 5 amplitudo maksimal kapal antara 0.8 – 2.0 meter dengan probabilitas antara 0.02 – 0.06 artinya amplitudo maksimal kapal ini dicapai dengan probabilitas 0.02 – 0.06 atau draft kapal menyentuh dasar alur dengan probabilitas 0.02 – 0.06 yang dapat dikatakan sebagai besaran yang significant.



Gambar 4.6 Grafik hubungan kecepatan kapal dengan Amaks,p

Selanjutnya untuk menentukan besarnya resiko yang terjadi dari probabilitas yang diperoleh, diformulasikan dengan

$$P = 1 - \exp(-p.N) \dots\dots\dots 4.6$$

dimana ; P = resiko

N = passagess

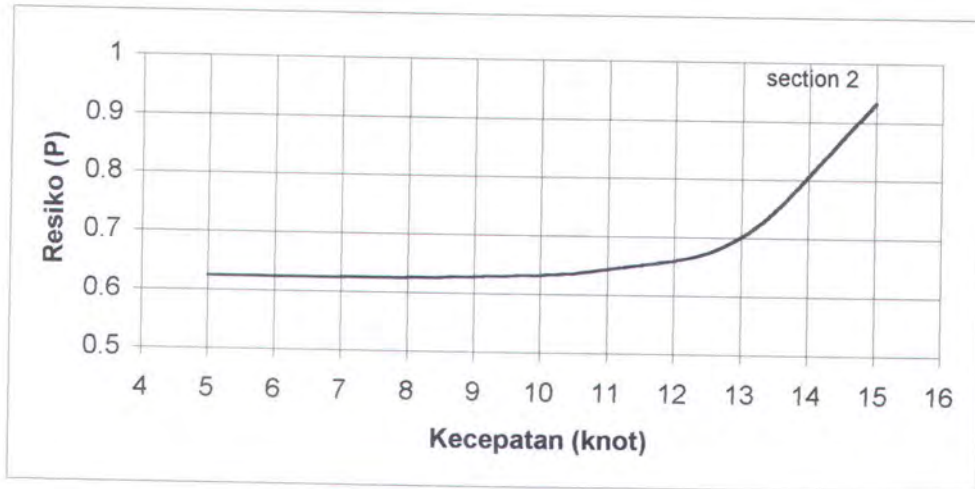
Resiko adalah menunjukkan aman tidaknya kapal berlayar di APBS terhadap dasar alur pelabuhan yang mempunyai besar paling aman adalah 0 dan 1 untuk paling tidak aman. Pada tabel 4.6 menunjukkan besarnya resiko yang terjadi.

Passagess N adalah besarnya jumlah kapal yang melalui alur dalam satu hari.

Tabel 4.6 Perhitungan resiko yang terjadi pada section

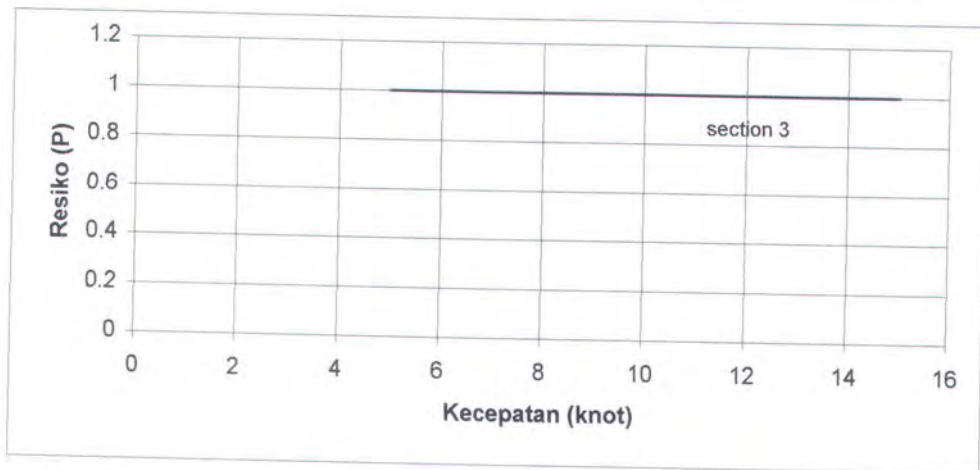
section	V ship	p	N	exp(-p.N)	P(resiko)
1	5	<b>1.574E-13</b>	50	1	<b>7.87E-12</b>
2	5	<b>0.0196056</b>	50	0.375206	<b>0.624794</b>
3	5	<b>1</b>	50	1.93E-22	<b>1</b>
4	5	<b>8.564E-11</b>	50	1	<b>4.28E-09</b>
5	5	<b>0.0278273</b>	50	0.248736	<b>0.751264</b>
1	7	<b>1.88E-13</b>	50	1	<b>9.4E-12</b>
2	7	<b>0.0196702</b>	50	0.373995	<b>0.626005</b>
3	7	<b>1</b>	50	1.93E-22	<b>1</b>
4	7	<b>8.668E-11</b>	50	1	<b>4.33E-09</b>
5	7	<b>0.0279034</b>	50	0.247791	<b>0.752209</b>
1	9	<b>2.513E-13</b>	50	1	<b>1.26E-11</b>
2	9	<b>0.0198915</b>	50	0.36988	<b>0.63012</b>
3	9	<b>1</b>	50	1.93E-22	<b>1</b>
4	9	<b>8.96E-11</b>	50	1	<b>4.48E-09</b>
5	9	<b>0.0281637</b>	50	0.244586	<b>0.755414</b>
1	11	<b>3.984E-13</b>	50	1	<b>1.99E-11</b>
2	11	<b>0.0207109</b>	50	0.355033	<b>0.644967</b>
3	11	<b>1</b>	50	1.93E-22	<b>1</b>
4	11	<b>9.793E-11</b>	50	1	<b>4.9E-09</b>
5	11	<b>0.0291246</b>	50	0.233113	<b>0.766887</b>
1	13	<b>8.69E-13</b>	50	1	<b>4.34E-11</b>
2	13	<b>0.0241704</b>	50	0.298638	<b>0.701362</b>
3	13	<b>1</b>	50	1.93E-22	<b>1</b>
4	13	<b>1.253E-10</b>	50	1	<b>6.27E-09</b>
5	13	<b>0.0331332</b>	50	0.190776	<b>0.809224</b>
1	15	<b>4.365E-12</b>	50	1	<b>2.18E-10</b>
2	15	<b>0.0539449</b>	50	0.067391	<b>0.932609</b>
3	15	<b>1</b>	50	1.93E-22	<b>1</b>
4	15	<b>2.752E-10</b>	50	1	<b>1.38E-08</b>
5	15	<b>0.0657333</b>	50	0.037378	<b>0.962622</b>

Berdasar dari tabel 4.6 diperoleh grafik resiko terhadap kecepatan kapal di alur untuk section dengan kedalaman LWS 10 dan 15 m untuk kecepatan 5, 7, 9, 11, 13, dan 15 knot.



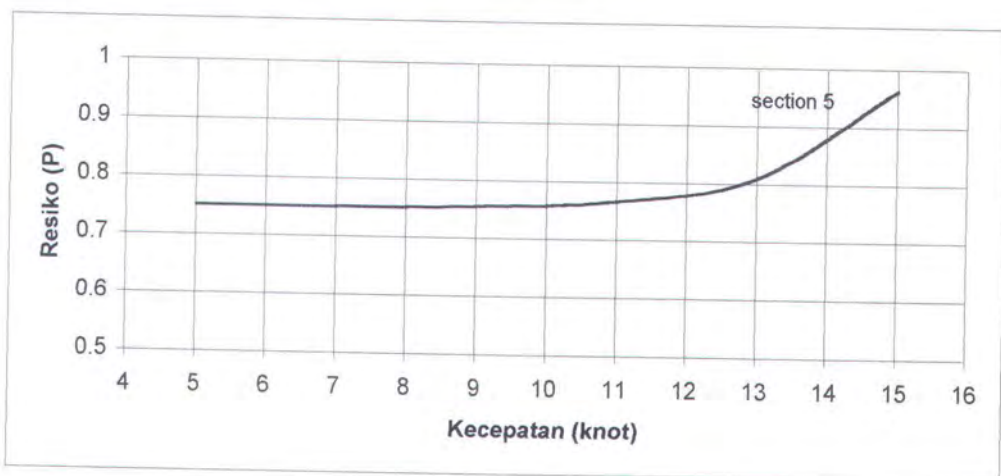
Gambar 4.7 Grafik hubungan kecepatan kapal dan resiko pada section 2

Dari gambar 4.7. pada kecepatan kapal 5 – 11 knot grafik resiko naik secara perlahan dari 0.62 – 0.65 sedangkan pada kecepatan kapal 11 – 15 knot grafik resiko naik secara tajam dari 0.65 – 0.93 artinya kapal berlayar pada kecepatan 5 – 11 knot perubahan besarnya resiko yang terjadi masih aman sedangkan jika kapal berlayar melebihi 11 knot merupakan daerah yang kritis.



Gambar 4.8 Grafik hubungan kecepatan kapal dan resiko pada section 3

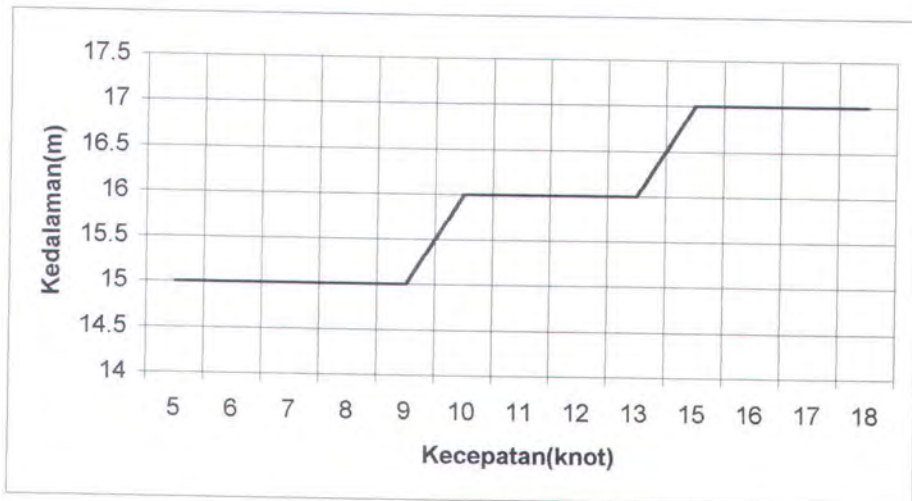
Dari gambar 4.8 resiko yang terjadi adalah sebesar 1 artinya pada daerah ini kapal tidak diperbolehkan berlayar untuk semua kecepatan.



Gambar 4.9 Grafik hubungan kecepatan kapal dan resiko pada section 5

Dari gambar 4.9. pada kecepatan kapal 5 – 11 knot grafik resiko naik secara perlahan dari 0.75 – 0.78 sedangkan pada kecepatan kapal 11 – 15 knot grafik resiko naik secara tajam dari 0.8 – 0.98 artinya kapal berlayar pada kecepatan 5 – 11 knot perubahan besarnya resiko yang terjadi masih aman sedangkan jika kapal berlayar melebihi 11 knot merupakan daerah yang kritis.

Untuk pelayaran di alur yang aman maka direkomendasikan kedalaman yang aman untuk kecepatan pelayaran tertentu untuk suatu kriteria kapal dan lingkungan yang ada, digambarkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik hubungan antara kedalaman alur dengan kecepatan kapal

#### Dari perhitungan diatas maka kondisi di APBS :

- Kapal dengan ukuran rencana ini dapat berlayar dengan:
  - Kecepatan maksimum 10 knot berada pada section 2 dan 5 .
  - Kecepatan maksimum 15 knot berada pada section 1 dan 4 .
  - Section 3 tidak bisa dilalui karena draft kapal lebih besar .
- Resiko kecelakaan yang terjadi tanpa adanya perawatan di APBS kondisi sekarang :
  - Section 2
    - Kecepatan 5 knot = 0.62
    - Kecepatan 10 knot = 0.63

Kecepatan 15 knot = 0.93

- Section 5

Kecepatan 5 knot = 0.75

Kecepatan 10 knot = 0.76

Kecepatan 15 knot = 0.96

- Section 1 dan 4

Kecepatan 15 knot kurang dari 0.0005

3. Kedalaman minimum yang diajukan agar resiko downtime tidak lebih dari resiko yang dinyatakan yakni 0.1 yaitu :

- Section 2 dan 3 adalah 15.75 meter untuk kecepatan maksimum kapal 10 knot
- Section 5 adalah 16 meter untuk kecepatan maksimum kapal 10 knot.
- Section 2, 3, 5 adalah 16.5 m untuk kecepatan maksimum kapal 15 knot.
- Section 1 dan 4 telah memenuhi syarat minimum yang ditentukan.
- Lebih detilnya lihat tabel dibawah



Tabel 4.7 Tabel resiko yang direncanakan

V ship	section	UKC	A maks,p	p (probabilitas)	P(resiko)
5	1	8	6.49301	1.57369E-13	7.8685E-12
7	1	8	7.083794	1.88035E-13	9.4017E-12
9	1	8	7.833267	2.51307E-13	1.2565E-11
11	1	8	8.708163	3.98387E-13	1.9919E-11
13	1	8	9.789449	8.68954E-13	4.3448E-11
15	1	8	11.24764	4.36542E-12	2.1827E-10
5	2	3.75	1.382323	0.002147057	0.1017913
7	2	3.75	1.553044	0.00215813	0.10228847
9	2	3.75	1.781221	0.002196185	0.10399495
11	2	3.75	2.105142	0.002339162	0.11037753
13	2	4	2.91192	0.001336101	0.06462246
15	2	4.5	4.532978	0.001402451	0.06772044
5	3	3.75	1.39697	0.002011736	0.09569338
7	3	3.75	1.569486	0.002022333	0.0961724
9	3	3.75	1.800025	0.002058758	0.09781699
11	3	3.75	2.127134	0.00219571	0.1039737
13	3	4	2.941116	0.001250321	0.060602
15	3	4.5	4.56855	0.001331983	0.06442986
5	4	8	5.105581	8.56419E-11	4.2821E-09
7	4	8	5.601049	8.66828E-11	4.3341E-09
9	4	8	6.015281	8.95972E-11	4.4799E-09
11	4	8	7.029263	9.79304E-11	4.8965E-09
13	4	8	8.03705	1.25321E-10	6.2661E-09
15	4	8	9.465754	2.75239E-10	1.3762E-08
5	5	4	1.432696	0.001716384	0.08223983
7	5	4	1.609758	0.001724741	0.08262324
9	5	4	1.846735	0.001753452	0.08393924
11	5	4	2.184569	0.001861211	0.08886165
13	5	4.25	3.008765	0.001072135	0.05219526
15	5	4.5	4.226137	0.002187848	0.10362139



**BAB V**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

---

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian mengenai perencanaan alur pelabuhan dengan pendekatan probabilistik di Tanjung Perak Surabaya adalah

1. Ukuran kedalaman minimal alur untuk ukuran kapal 54000 DWT dengan sarat 12 meter berlayar di APBS sebesar 15.65 m untuk kecepatan layar 5 knot, 15.75 meter untuk kecepatan layar 10 knot dan 16.5 meter untuk kecepatan layar 15 knot.
2. Resiko kecelakaan sebagai fungsi dari kecepatan layar kapal terhadap kondisi eksisting(sekarang) sebesar :
  - Section 1 (Tanjung Sawo)  
Pada kecepatan layar kapal sebesar 15 knot memberikan resiko 0.005 artinya kapal dapat berlayar dengan sangat aman.
  - Section 2 (Kali Mertani)  
Pada kecepatan layar kapal 5 – 11 knot resiko naik secara perlahan dari 0.62 – 0.65 sedangkan pada kecepatan kapal 11 – 15 knot grafik resiko naik secara tajam dari 0.65 – 0.93 .
  - Section 3 (Kali Mireng)  
Pada section 3 draft kapal lebih besar dari kedalaman alur sehingga kapal tidak dapat berlayar dan memberikan resiko kecelakaan sebesar 1.

- Section 4 (Pelabuhan Gresik)

Pada kecepatan layar kapal sebesar 15 knot memberikan resiko 0.005 artinya kapal dapat berlayar dengan sangat aman.

- Section 5 (Kali Lamong)

Pada kecepatan kapal 5 – 11 knot resiko naik secara perlahan dari 0.75 – 0.78 sedangkan pada kecepatan kapal 11 – 15 knot grafik resiko naik secara tajam dari 0.8 – 0.98

3. Untuk resiko kecelakaan di APBS sebesar 10 % maka kedalaman minimum alur yang disyaratkan sebesar 16.5 meter untuk ukuran kapal 54000 DWT

## 5.2 Saran

Penelitian ini masih membutuhkan penyempurnaan-peyempurnaan yang meliputi:

1. Data gelombang yang seharusnya diukur secara langsung dengan pengukuran minimal 10 tahunan dan data bathimetri diukur di sepanjang alur yang ditinjau.
2. Jenis dan ukuran kapal yang dipakai seharusnya lebih dari satu kapal sehingga dapat memberikan pertimbangan ukuran alur yang lebih baik.
3. Penyempurnaan analisa resiko diperlukan suatu simulasi terhadap gerakan kapal di sepanjang alur yang ditinjau sehingga keamanan yang diperoleh lebih maksimal.
4. Pola layar kapal di alur yaitu berpapasan (encountering) dan menyalip (overtaking) diperhitungkan dalam analisis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyya. 1978. **Dynamic of Marine Vehicles**. John Willey & Sons. New York.
- Bruun, P. 1989. **Port Engineering Vol I**. Fourth Edition. Gulf Publishing Company.
- Groenveld, R . 1996. **Service System In Ports And Inland Waterways**,  
f12/f13. TU Delft, Netherlands
- Groenveld, R 1997. **Inland Waterways**, f12/f13. TU Delft. The Netherlands.
- Hans Moes. 1999. **Probability Aspects of the Optimal Design of Port Entrance Channels**. 5<sup>th</sup> International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries. Cape Town South Africa.
- Herman, Frank a. Jr, and Hopman, Robert J. (1993). **Report on Ship Channel Design**. ASCE. Ney York.
- PIANC. 1998. **29<sup>TH</sup> Navigation Conggres**. Den Hag. Netherlands.
- Thorensen. 1988. **Port Design : Guidelines and Recommendation** . Trondim.  
Norway.
- Anonim. 1984. **Shore Protection Manual Vol I & II**. Coastal Enggineering Research  
centre. Departement of The Army. USA.

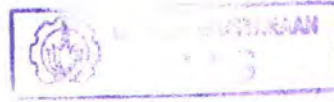


LAMPIRAN A

---

## PERHITUNGAN GELOMBANG ANGIN

### A . Panjang Fech Efektif



#### Section 5

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
Timur Laut	20	0.93	3	3000	8370
	15	0.96	2.8	3000	8064
	10	0.98	2.5	3000	7350
	5	0.99	2.3	3000	6831
	0	1	2	3000	6000
	-5	0.99	1.8	3000	5346
	-10	0.98	1.6	3000	4704
	-15	0.96	1.4	3000	4032
	-20	0.93	1.2	3000	3348
		11.72			54045
				fetch eff =	4611.3481

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
Utara	20	0.93	1.2	3000	3348
	15	0.96	1.2	3000	3456
	10	0.98	1.2	3000	3528
	5	0.99	1.2	3000	3564
	0	1	1.2	3000	3600
	-5	0.99	1.2	3000	3564
	-10	0.98	1.2	3000	3528
	-15	0.96	1.2	3000	3456
	-20	0.93	1.2	3000	3348
		11.72			31392
				fetch eff =	2678.4983

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
barat laut	20	0.93	1	3000	2790
	15	0.96	1	3000	2880
	10	0.98	1	3000	2940
	5	0.99	1	3000	2970
	0	1	1.4	3000	4200
	-5	0.99	2	3000	5940
	-10	0.98	6	3000	17640



	-15	0.96	4	3000	11520
	-20	0.93	3.5	3000	9765
		11.72			60645
				fetch eff =	5174.4881

## Section 4

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
timur	20	0.93	4	3000	11160
	15	0.96	1.8	3000	5184
	10	0.98	2	3000	5880
	5	0.99	3	3000	8910
	0	1	1.3	3000	3900
	-5	0.99	1	3000	2970
	-10	0.98	1	3000	2940
	-15	0.96	1	3000	2880
	-20	0.93	1	3000	2790
		11.72			46614
				fetch eff =	3977.3038

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
utara	20	0.93	5	3000	13950
	15	0.96	27	3000	77760
	10	0.98	27	3000	79380
	5	0.99	20	3000	59400
	0	1	3.5	3000	10500
	-5	0.99	2	3000	5940
	-10	0.98	1	3000	2940
	-15	0.96	0.5	3000	1440
	-20	0.93	0	3000	0
		11.72			251310
				fetch eff =	21442.833

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
timur laut	20	0.93	1	3000	2790
	15	0.96	1.2	3000	3456
	10	0.98	1.4	3000	4116
	5	0.99	1.6	3000	4752
	0	1	1.8	3000	5400
	-5	0.99	3	3000	8910
	-10	0.98	3	3000	8820

	-15	0.96	3.8	3000	10944
	-20	0.93	3	3000	8370
		11.72			57558
				fetch eff =	4911.0922

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
T. tenggara	20	0.93	0	3000	0
	15	0.96	0	3000	0
	10	0.98	0	3000	0
	5	0.99	0	3000	0
	0	1	2.5	3000	7500
	-5	0.99	3	3000	8910
	-10	0.98	3	3000	8820
	-15	0.96	3	3000	8640
	-20	0.93	3	3000	8370
		11.72			42240
				fetch eff =	3604.0956

## Section 3

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
timur	20	0.93	2.7	3000	7533
	15	0.96	2.7	3000	7776
	10	0.98	2.7	3000	7938
	5	0.99	2.7	3000	8019
	0	1	2.7	3000	8100
	-5	0.99	2.7	3000	8019
	-10	0.98	2.7	3000	7938
	-15	0.96	2.7	3000	7776
	-20	0.93	2.7	3000	7533
		11.72			70632
				fetch eff =	6026.6212

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
timur laut	20	0.93	3.5	3000	9765
	15	0.96	3	3000	8640
	10	0.98	3	3000	8820
	5	0.99	3	3000	8910
	0	1	3	3000	9000
	-5	0.99	3	3000	8910
	-10	0.98	3	3000	8820
	-15	0.96	3	3000	8640

	-20	0.93	3	3000	8370
		11.72			79875
				fetch eff =	6815.273

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
utara	20	0.93	27	3000	75330
	15	0.96	27	3000	77760
	10	0.98	27	3000	79380
	5	0.99	27	3000	80190
	0	1	27	3000	81000
	-5	0.99	0	3000	0
	-10	0.98	0	3000	0
	-15	0.96	0	3000	0
	-20	0.93	0	3000	0
		11.72			393660
				fetch eff =	33588.737

## Section 2

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
timur	20	0.93	3	3000	8370
	15	0.96	3	3000	8640
	10	0.98	3	3000	8820
	5	0.99	3	3000	8910
	0	1	3	3000	9000
	-5	0.99	3	3000	8910
	-10	0.98	3	3000	8820
	-15	0.96	3	3000	8640
	-20	0.93	3	3000	8370
		11.72			78480
				fetch eff =	6696.2457

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
timur tenggara	20	0.93	4	3000	11160
	15	0.96	4	3000	11520
	10	0.98	4	3000	11760
	5	0.99	3.7	3000	10989
	0	1	3	3000	9000
	-5	0.99	3	3000	8910

	-10	0.98	2.5	3000	7350
	-15	0.96	2	3000	5760
	-20	0.93	2	3000	5580
		11.72			82029
				fetch eff =	6999.0614

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
timur laut	20	0.93	27	3000	75330
	15	0.96	27	3000	77760
	10	0.98	27	3000	79380
	5	0.99	27	3000	80190
	0	1	27	3000	81000
	-5	0.99	0	3000	0
	-10	0.98	0	3000	0
	-15	0.96	0	3000	0
	-20	0.93	0	3000	0
		11.72			393660
				fetch eff =	33588.737

## Section 1

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
timur	20	0.93	1.2	3000	3348
	15	0.96	1.2	3000	3456
	10	0.98	1	3000	2940
	5	0.99	1	3000	2970
	0	1	1	3000	3000
	-5	0.99	1	3000	2970
	-10	0.98	1	3000	2940
	-15	0.96	1	3000	2880
	-20	0.93	1	3000	2790
		11.72			27294
				fetch eff =	2328.8396

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
timur tenggara	20	0.93	4	3000	11160
	15	0.96	3	3000	8640
	10	0.98	2	3000	5880

	5	0.99	1	3000	2970
	0	1	1	3000	3000
	-5	0.99	1	3000	2970
	-10	0.98	1	3000	2940
	-15	0.96	1	3000	2880
	-20	0.93	1	3000	2790
		11.72			43230
				fetch eff =	3688.5666

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
timur laut	20	0.93	3	3000	8370
	15	0.96	5	3000	14400
	10	0.98	7	3000	20580
	5	0.99	9	3000	26730
	0	1	10	3000	30000
	-5	0.99	27	3000	80190
	-10	0.98	27	3000	79380
	-15	0.96	27	3000	77760
	-20	0.93	27	3000	75330
		11.72			412740
				fetch eff =	35216.724

Arah angin	Sudut a	cos a	Fetch(cm)	skala 1:3000m	Fetch(m)
1	2	3	4	5	6
utara	20	0.93	0	3000	0
	15	0.96	0	3000	0
	10	0.98	0	3000	0
	5	0.99	0	3000	0
	0	1	27	3000	81000
	-5	0.99	27	3000	80190
	-10	0.98	27	3000	79380
	-15	0.96	27	3000	77760
	-20	0.93	27	3000	75330
		11.72			393660
				fetch eff =	33588.737

## B. Perhitungan Tinggi Gelombang Significant Dan Periode Significant

### Section 5

Angin dari arah timur laut								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	4611	0.167229	1.73616
2	10	5.15	6.11	7.95	9	4611	0.312903	2.138938
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	4611	0.438065	2.392538
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	4611	0.577133	2.622596

Angin dari arah utara								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	2678	0.127245	1.455805
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	2678	0.238089	1.799495
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	2678	0.333324	2.006191
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	2678	0.439141	2.1991

Angin dari arah barat laut								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	5174	0.176868	1.812786
2	10	5.15	6.11	8	9.09	5174	0.334247	2.240753
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	5174	0.463313	2.498133
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	5174	0.610397	2.738345

### Section 4

Angin dari arah timur								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	3977	0.155308	1.660712
2	10	5.15	6.11	7.97	9.09	3977	0.293502	2.052777
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	3977	0.406835	2.288566
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	3977	0.535989	2.508627

Angin dari arah timur laut								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.814	4911	0.172727	1.782059
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	4911	0.326151	2.202163
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	4911	0.452091	2.45511
4	20	10.3	12.23	12.96	16.59	4911	0.595253	2.690645

Angin dari arah timur tenggara								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	3604	0.147845	1.607133
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	3604	0.2794	1.986548
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	3604	0.387287	2.21473
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	3604	0.510235	2.427691

Angin dari arah utara								
-----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	21442	0.360618	2.910407
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	21442	0.681501	3.597503
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	21442	0.944655	4.010724
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	21442	1.244545	4.396382

## Section 3

Angin dari arah timur								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	6026	0.191174	1.907182
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	6026	0.361284	2.357434
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	6026	0.500789	2.628217
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	6026	0.65977	2.880937

Angin dari arah timur laut								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	6815	0.203305	1.986948
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	6815	0.384208	2.456032
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	6815	0.532566	2.738139
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	6815	0.701635	3.00143

Angin dari arah utara								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	33588	0.451343	3.379572
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	33588	0.852955	4.17743
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	33588	1.182313	4.657263
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	33588	1.557651	5.105089

## Section 2

Angin dari arah timur								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	6696	0.201522	1.975327
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	6696	0.380839	2.441667
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	6696	0.527896	2.722124
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	6696	0.695482	2.983875

Angin dari arah timur tenggara								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.814	6999	0.206203	2.005209
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	6999	0.38936	2.477917
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	6999	0.539708	2.762539
4	20	10.3	12.23	12.96	16.59	6999	0.710615	3.027568

Angin dari arah timur laut								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	33588	0.451343	3.379572

2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	33588	0.852955	4.17743
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	33588	1.182313	4.657263
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	33588	1.557651	5.105089

## Section 1

Angin dari arah timur								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.814	2328	0.118923	1.38985
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	2328	0.224556	1.717494
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	2328	0.311266	1.914771
4	20	10.3	12.23	12.96	16.59	2328	0.409834	2.098467

Angin dari arah timur tenggara								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	3688	0.149558	1.61951
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	3688	0.282637	2.001848
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	3688	0.391774	2.231787
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	3688	0.516147	2.446388

Angin dari arah timur laut								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	35216	0.462152	3.433261
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	35216	0.873381	4.243794
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	35216	1.210627	4.73125
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	35216	1.594954	5.186191

Angin dari arah utara								
No	U (knot)	U (m/s)	U10 (m/s)	U (m/s)	Ua	Feff (m)	Hs (m)	T (s)
1	5	2.57	3.05	4.74	4.81	29237	0.421096	3.226993
2	10	5.15	6.11	7.95	9.09	29237	0.795793	3.988829
3	15	7.72	9.17	10.36	12.6	29237	1.10308	4.446999
4	20	10.3	12.23	12.96	16.6	29237	1.453264	4.874608





**LAMPIRAN B**

---

---

**PERHITUNGAN PERSAMAAN GERAK HEAVE DAN PITCH MENGGUNAKAN STRIP TEORI**

Diketahui :

Panjang kapal	$L = 656 \text{ ft}$
Lebar kapal	$B = 88 \text{ ft}$
Draft kapal	$T = 39 \text{ ft}$
Coeff. Blok	$C_b = 0.75$
Longitudinal center of gravity	$LCG = 16.4 \text{ ft}$ (depan midship)
Longitudinal center of bouyancy	$LCB = 16.4 \text{ ft}$ (depan midship)
Kecepatan kapal	$U = 9 \text{ ft/s}$ (5 knot)
Panjang gelombang	$L_w = 137 \text{ ft}$
Amplitudo gelombang	$S_a = 2.375 \text{ ft}$
Massa jenis air laut	$\rho = 64 \text{ lb/ft}^3$
Frekuensi encounter	$W_e = 1.62 \text{ rad/s}$
Gravitasi	$G = 32.17 \text{ ft/s}^2$

Tabel 1. Kalkulasi an dan Ayy

station no	B	T	Sn	s	(We <sup>2</sup> /2g)B	B/T	B*T	Bn	C
						2/3	2x3	4/8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	39	0	311.6	0.00	0.00	0	0	0
1	13	39	509.65	278.8	0.66	0.33	507	1.005226824	1.55
2	28	39	1359	246	1.43	0.72	1092	1.244505495	1.45
3	43	39	1868	213.2	2.19	1.10	1677	1.113893858	1.45
4	58	39	2548	180.4	2.95	1.49	2262	1.126436782	1.36
5	73	39	3058	147.6	3.72	1.87	2847	1.074113102	1.17
6	88	39	3397.68	114.8	4.48	2.26	3432	0.99	1.05
7	88	39	3397.68	82	4.48	2.26	3432	0.99	1.05
8	88	39	3397.68	49.2	4.48	2.26	3432	0.99	1.05
9	88	39	3397.68	16.4	4.48	2.26	3432	0.99	1.05
10	88	39	3397.68	-16.4	4.48	2.26	3432	0.99	1.05
11	88	39	3397.68	-49.2	4.48	2.26	3432	0.99	1.05
12	88	39	3397.68	-82	4.48	2.26	3432	0.99	1.05
13	88	39	3397.68	-114.8	4.48	2.26	3432	0.99	1.05
14	88	39	3397.68	-147.6	4.48	2.26	3432	0.99	1.05
15	88	39	3397.68	-180.4	4.48	2.26	3432	0.99	1.05
16	68	39	3058	-213.2	3.46	1.74	2652	1.153092006	1.15
17	48	39	2548	-246	2.44	1.23	1872	1.361111111	1.45
18	28	39	1699	-278.6	1.43	0.72	1092	1.555860806	1.55
19	8	39	679	-311.4	0.41	0.21	312	2.176282051	1.75
20	0	39	0	-344.4	0.00	0.00	0	0	0

LAMPIRAN

B2	(rho.pi/8)*B2	an	S M	prd	s2	an.s2	SM	prd	
2x2		12x10		13x14	5x5	13x16		17x18	
11	12	13	14	15	16	17	18	19	
0	0	0	1	0	97094.56	0	1	0	
169	4247.308	6583.327	4	26333.31	77729.44	5.12E+08	4	2046873409	
784	19703.488	28570.06	2	57140.12	60516	1.73E+09	2	3457891211	
1849	46469.068	67380.15	4	269520.6	45454.24	3.06E+09	4	12250853783	
3364	84544.048	114979.9	2	229959.8	32544.16	3.74E+09	2	7483848868	
5329	133928.428	156696.3	4	626785	21785.76	3.41E+09	4	13654988519	
7744	194622.208	204353.3	2	408706.6	13179.04	2.69E+09	2	5386361115	
7744	194622.208	204353.3	4	817413.3	6724	1.37E+09	4	5496286852	
7744	194622.208	204353.3	2	408706.6	2420.64	4.95E+08	2	989331633.3	
7744	194622.208	204353.3	4	817413.3	268.96	54962869	4	219851474.1	
7744	194622.208	204353.3	2	408706.6	268.96	54962869	2	109925737	
7744	194622.208	204353.3	4	817413.3	2420.64	4.95E+08	4	1978663267	
7744	194622.208	204353.3	2	408706.6	6724	1.37E+09	2	2748143426	
7744	194622.208	204353.3	4	817413.3	13179.04	2.69E+09	4	10772722229	
7744	194622.208	204353.3	2	408706.6	21785.76	4.45E+09	2	8903984700	
7744	194622.208	204353.3	4	817413.3	32544.16	6.65E+09	4	26602028362	
4624	116210.368	133641.9	2	267283.8	45454.24	6.07E+09	2	12149184102	
2304	57904.128	83960.99	4	335843.9	60516	5.08E+09	4	20323932018	
784	19703.488	30540.41	2	61080.81	77617.96	2.37E+09	2	4740968085	
64	1608.448	2814.784	4	11259.14	96969.96	2.73E+08	4	1091797968	
0	0	0	1	0	118611.4	0	1	0	
				sum1=	8015806			sum2=	1.40408E+11



LAMPIRAN

Tabel 2 Kalkulasi b dan B

station no	We2/2g(B)	B/T	Bn	A	A2	bn	SM	prod	s2	bn.s2	SM	prd	
					5x5			7x8		7x10		11x12	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	0.00	0.00	0	0	0	0	1	0	97094.56	0	1	0	
1	0.66	0.33	1.005227	0.054	0.002916	37.9563327	4	151.8253308	77729.44	2950324.5	4	11801298	
2	1.43	0.72	1.244505	0.084	0.007056	91.8449532	2	183.6899064	60516	5558089.2	2	11116178	
3	2.19	1.10	1.113894	0.104	0.010816	140.787275	4	563.1491008	45454.24	6399378.6	4	25597514	
4	2.95	1.49	1.126437	0.184	0.033856	440.689163	2	881.3783264	32544.16	14341859	2	28683717	
5	3.72	1.87	1.074113	0.204	0.041616	541.697785	4	2166.791141	21785.76	11801298	4	47205192	
6	4.48	2.26	0.99	0.234	0.054756	712.735581	2	1425.471161	13179.04	9393170.7	2	18786341	
7	4.48	2.26	0.99	0.234	0.054756	712.735581	4	2850.942323	6724	4792434	4	19169736	
8	4.48	2.26	0.99	0.234	0.054756	712.735581	2	1425.471161	2420.64	1725276.3	2	3450553	
9	4.48	2.26	0.99	0.234	0.054756	712.735581	4	2850.942323	268.96	191697.36	4	766789.4	
10	4.48	2.26	0.99	0.234	0.054756	712.735581	2	1425.471161	268.96	191697.36	2	383394.7	
11	4.48	2.26	0.99	0.234	0.054756	712.735581	4	2850.942323	2420.64	1725276.3	4	6901105	
12	4.48	2.26	0.99	0.234	0.054756	712.735581	2	1425.471161	6724	4792434	2	9584868	
13	4.48	2.26	0.99	0.234	0.054756	712.735581	4	2850.942323	13179.04	9393170.7	4	37572683	
14	4.48	2.26	0.99	0.234	0.054756	712.735581	2	1425.471161	21785.76	15527486	2	31054973	
15	4.48	2.26	0.99	0.234	0.054756	712.735581	4	2850.942323	32544.16	23195381	4	92781523	
16	3.46	1.74	1.153092	0.204	0.041616	541.697785	2	1083.39557	45454.24	24622461	2	49244922	
17	2.44	1.23	1.361111	0.114	0.012996	169.163409	4	676.6536348	60516	10237093	4	40948371	
18	1.43	0.72	1.555861	0.094	0.008836	115.014457	2	230.0289134	77617.96	8927187.5	2	17854375	
19	0.41	0.21	2.176282	0.024	0.000576	7.4975472	4	29.9901888	96969.96	727036.85	4	2908147	
20	0.00	0.00	0	0	0	0	1	0	118611.36	0	1	0	
								sum3				sum	
								=	27348.96953			4=	4.56E+08

Tabel 3. Kalkulasi c dan C

station no	B	cn	SM	prod	s2	cn.s2	SM	prd	
				3x4		3x6		7x8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	0	0	1	0	97094.56	0	1	0	
1	13	26624	4	106496	77729.44	2069468611	4	8277874442	
2	28	57344	2	114688	60516	3470229504	2	6940459008	
3	43	88064	4	352256	45454.24	4002882191	4	16011528765	
4	58	118784	2	237568	32544.16	3865725501	2	7731451003	
5	73	149504	4	598016	21785.76	3257058263	4	13028233052	
6	88	180224	2	360448	13179.04	2375179305	2	4750358610	
7	88	180224	4	720896	6724	1211826176	4	4847304704	
8	88	180224	2	360448	2420.64	436257423	2	872514846.7	
9	88	180224	4	720896	268.96	48473047	4	193892188.2	
10	88	180224	2	360448	268.96	48473047	2	96946094.08	
11	88	180224	4	720896	2420.64	436257423	4	1745029693	
12	88	180224	2	360448	6724	1211826176	2	2423652352	
13	88	180224	4	720896	13179.04	2375179305	4	9500717220	
14	88	180224	2	360448	21785.76	3926316810	2	7852633620	
15	88	180224	4	720896	32544.16	5865238692	4	23460954767	
16	68	139264	2	278528	45454.24	6330139279	2	12660278559	
17	48	98304	4	393216	60516	5948964864	4	23795859456	
18	28	57344	2	114688	77617.96	4450924298	2	8901848596	
19	8	16384	4	65536	96969.96	1588755825	4	6355023299	
20	0	0	1	0	118611.36	0	1	0	
				sum5=	7667712			sum6=	1.59447E+11

Tabel 4. Kalkulasi d, e, h, D, E, H

station no	s	an	an.s	SM	prod	bn	bn.s	SM	prod	
					4.5		2.7		8.9	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	311.6	0	0	1	0	0	0	1	0	
1	278.8	6583.3274	1835432	4	7341726.72	37.9563327	10582.226	4	42328.902	
2	246	28570.058	7028234	2	14056468.3	91.8449532	22593.858	2	45187.717	
3	213.2	67380.149	14365448	4	57461790.7	140.787275	30015.847	4	120063.39	
4	180.4	114979.91	20742375	2	41484749.8	440.689163	79500.325	2	159000.65	
5	147.6	156696.26	23128368	4	92513472.4	541.697785	79954.593	4	319818.37	
6	114.8	204353.32	23459761	2	46919521.9	712.735581	81822.045	2	163644.09	
7	82	204353.32	16756972	4	67027888.4	712.735581	58444.318	4	233777.27	
8	49.2	204353.32	10054183	2	20108366.5	712.735581	35066.591	2	70133.181	
9	16.4	204353.32	3351394	4	13405577.7	712.735581	11688.864	4	46755.454	
10	-16.4	204353.32	-3351394	2	-6702788.84	712.735581	-11688.86	2	-23377.727	
11	-49.2	204353.32	-1E+07	4	-40216733.1	712.735581	-35066.59	4	-140266.36	
12	-82	204353.32	-1.7E+07	2	-33513944.2	712.735581	-58444.32	2	-116888.64	
13	-114.8	204353.32	-2.3E+07	4	-93839043.8	712.735581	-81822.04	4	-327288.18	
14	-147.6	204353.32	-3E+07	2	-60325099.6	712.735581	-105199.8	2	-210399.54	
15	-180.4	204353.32	-3.7E+07	4	-147461355	712.735581	-128577.5	4	-514310	
16	-213.2	133641.92	-2.8E+07	2	-56984916.1	541.697785	-115490	2	-230979.94	
17	-246	83960.986	-2.1E+07	4	-82617609.8	169.163409	-41614.2	4	-166456.79	
18	-278.6	30540.406	-8508557	2	-17017114.4	115.014457	-32043.03	2	-64086.055	
19	-311.4	2814.784	-876524	4	-3506094.95	7.4975472	-2334.736	4	-9338.9448	
20	-344.4	0	0	1	0	0	0	1	0	
					sum7=	-1.82E+08			sum8=	-6.027E+05

LAMPIRAN

cn	cn.s	SM	prod
	2.11		12.13
11	12	13	14
0	0	1	0
26624	7422771.2	4	29691084.8
57344	14106624	2	28213248
88064	18775244.8	4	75100979.2
118784	21428633.6	2	42857267.2
149504	22066790.4	4	88267161.6
180224	20689715.2	2	41379430.4
180224	14778368	4	59113472
180224	8867020.8	2	17734041.6
180224	2955673.6	4	11822694.4
180224	-2955673.6	2	-5911347.2
180224	-8867020.8	4	-35468083.2
180224	-14778368	2	-29556736
180224	-20689715.2	4	-82758860.8
180224	-26601062.4	2	-53202124.8
180224	-32512409.6	4	-130049638.4
139264	-29691084.8	2	-59382169.6
98304	-24182784	4	-96731136
57344	-15976038.4	2	-31952076.8
16384	-5101977.6	4	-20407910.4
0	0	1	0
		sum9=	-1.51241E+08



Tabel 5.Kalkulasi m dan Iyy

Station no	weigh/foot	mn	SM	prd	s2	mn.s2	SM	prd	
				3x4		3.6		7.8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	94000	2921.977	1	2921.977	97094.56	283708071	1	283708070.9	
1	140000	4351.8806	4	17407.5225	77729.44	338269245	4	1353076979	
2	140000	4351.8806	2	8703.76127	60516	263358408	2	526716816.9	
3	1770000	55020.205	4	220080.821	45454.24	2500901610	4	10003606441	
4	5440000	169101.65	2	338203.295	32544.16	5503271072	2	11006542145	
5	7400000	230027.98	4	920111.906	21785.76	5011334287	4	20045337146	
6	7400000	230027.98	2	460055.953	13179.04	3031547902	2	6063095804	
7	7400000	230027.98	4	920111.906	6724	1546708113	4	6186832453	
8	6400000	198943.11	2	397886.229	2420.64	481569661	2	963139322.4	
9	6400000	198943.11	4	795772.459	268.96	53507740.1	4	214030960.5	
10	6400000	198943.11	2	397886.229	268.96	53507740.1	2	107015480.3	
11	6400000	198943.11	4	795772.459	2420.64	481569661	4	1926278645	
12	6400000	198943.11	2	397886.229	6724	1337693503	2	2675387007	
13	6400000	198943.11	4	795772.459	13179.04	2621879266	4	10487517066	
14	6400000	198943.11	2	397886.229	21785.76	4334126951	2	8668253901	
15	6400000	198943.11	4	795772.459	32544.16	6474436556	4	25897746223	
16	4400000	136773.39	2	273546.783	45454.24	6216930556	2	12433861113	
17	740000	23002.798	4	92011.1906	60516	1392037302	4	5568149207	
18	540000	16785.825	2	33571.6506	77617.96	1302881517	2	2605763034	
19	380000	11812.247	4	47248.9897	96969.96	1145433161	4	4581732645	
20	24000	746.03668	1	746.03668	118611.36	88488425.2	1	88488425.24	
				sum10=	8106434.57			sum11=	1.31403E+11

Tabel 6. Kalkulasi M dan F

Station no	s	ks	sin ks (rad)	cos ks (rad)	Tm	2.pi.Tm/Lw	e -exp 2piTm/Lw	cn	cn.sa
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	311.6	14.27128	0.99102032	-0.13371139	0	0	1	0	0
1	278.8	12.76904	0.2012848	0.97953276	39.2038462	1.7955362	0.166038406	26624	126464
2	246	11.2668	-0.96344324	0.26791254	48.5357143	2.2229357	0.108290731	57344	272384
3	213.2	9.76456	-0.3332816	-0.94282733	43.4418605	1.9896372	0.136745026	88064	418304
4	180.4	8.26232	0.9177819	-0.39708486	43.9310345	2.0120414	0.133715432	118784	564224
5	147.6	6.76008	0.45902256	0.88842461	41.890411	1.9185808	0.146815171	149504	710144
6	114.8	5.25784	-0.85489339	0.51880372	38.61	1.768338	0.170616318	180224	856064
7	82	3.7556	-0.57614747	-0.81734576	38.61	1.768338	0.170616318	180224	856064
8	49.2	2.25336	0.77595815	-0.6307844	38.61	1.768338	0.170616318	180224	856064
9	16.4	0.75112	0.68245782	0.73092497	38.61	1.768338	0.170616318	180224	856064
10	-16.4	-0.75112	-0.68245782	0.73092497	38.61	1.768338	0.170616318	180224	856064
11	-49.2	-2.25336	-0.77595815	-0.6307844	38.61	1.768338	0.170616318	180224	856064
12	-82	-3.7556	0.57614747	-0.81734576	38.61	1.768338	0.170616318	180224	856064
13	-114.8	-5.25784	0.85489339	0.51880372	38.61	1.768338	0.170616318	180224	856064
14	-147.6	-6.76008	-0.45902256	0.88842461	38.61	1.768338	0.170616318	180224	856064
15	-180.4	-8.26232	-0.9177819	-0.39708486	38.61	1.768338	0.170616318	180224	856064
16	-213.2	-9.76456	0.3332816	-0.94282733	44.9705882	2.0596529	0.127498212	139264	661504
17	-246	-11.2668	0.96344324	0.26791254	53.0833333	2.4312167	0.087929786	98304	466944
18	-278.6	-12.75988	-0.19230396	0.98133541	60.6785714	2.7790786	0.062095698	57344	272384
19	-311.4	-14.26212	-0.99220352	-0.12462816	84.875	3.887275	0.020501136	16384	77824
20	-344.4	-15.77352	0.06550979	-0.99785193	0	0	1	0	0

## LAMPIRAN

an	an(-sa.We2)			(u.sa.We).14	bn.sa.We				
		12+10				16-15	13x4	17x5	18+19
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	0	10.5637474	823.1272	0	-823.1272	0	110.0614796	110.06148
6583.3274	-56070.2	70393.8	-435.519171	-33935.6538	155.051619	34090.705	14169.20175	33392.96281	47562.1646
28570.0576	-243331.2	29052.82	-926.780811	-72214.7608	375.186634	72589.947	-27990.7424	19447.75734	-8542.985
67380.1486	-573876.7	-155572.7	-1317.22329	-102638.039	575.116019	103213.15	51849.52702	-97312.183	-45462.656
114979.905	-979283.9	-415059.9	-1361.5261	-106090.114	1800.21523	107890.33	-380934.42	-42841.61609	-423776.04
156696.261	-1334582	-624438.1	-1362.39959	-106158.176	2212.83545	108371.01	-286631.155	96279.47365	-190351.68
204353.318	-1740477	-884413.2	-726.479537	-56607.2855	2911.52485	59518.81	756079.0071	30878.58006	786957.587
204353.318	-1740477	-884413.2	0	0	2911.52485	2911.5248	509552.4306	-2379.722502	507172.708
204353.318	-1740477	-884413.2	0	0	2911.52485	2911.5248	-686267.636	-1836.544447	-688104.18
204353.318	-1740477	-884413.2	0	0	2911.52485	2911.5248	-603574.717	2128.106225	-601446.61
204353.318	-1740477	-884413.2	0	0	2911.52485	2911.5248	603574.7166	2128.106225	605702.823
204353.318	-1740477	-884413.2	0	0	2911.52485	2911.5248	686267.6364	-1836.544447	684431.092
204353.318	-1740477	-884413.2	0	0	2911.52485	2911.5248	-509552.431	-2379.722502	-511932.15
204353.318	-1740477	-884413.2	0	0	2911.52485	2911.5248	-756079.007	1510.509913	-754568.5
204353.318	-1740477	-884413.2	0	0	2911.52485	2911.5248	405965.6186	2586.670327	408552.289
204353.318	-1740477	-884413.2	1077.91761	83991.3402	2911.52485	-81079.82	811698.4381	32195.56705	843894.005
133641.923	-1138228	-476724.3	1835.24898	143002.6	2212.83545	-140789.8	-158883.424	132740.438	-26142.986
83960.9856	-715095.7	-248151.7	1571.66946	122464.485	691.032525	-121773.5	-239080.091	-32624.63509	-271704.73
30540.4064	-260112.6	12271.36	1244.57364	96977.1784	469.834056	-96507.34	-2359.83083	-94706.07435	-97065.905
2814.784	-23973.52	53850.48	465.554976	36276.0437	30.6274803	-36245.42	-53430.6404	4517.199472	-48913.441
0	0	0	42.6482424	3323.15105	0	-3323.151	0	3316.012678	3316.01268

LAMPIRAN

				SM	prd		SM	prd	24x2
13x5	17x4	21-22	20x8		24x25	23x8		27.28	
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	-815.7358	815.7358	110.06148	1	110.06148	815.73578	1	815.7357771	34295.157
68953.0338	6861.9407	62091.09	7897.14601	4	31588.584	10309.506	4	41238.02463	2201724.31
7783.6147	-69936.29	77719.91	-925.126095	2	-1850.2522	8416.3457	2	16832.69144	-227581.02
146678.218	-34399.05	181077.3	-6216.79209	4	-24867.168	24761.415	4	99045.66031	-1325420.1
164813.983	99019.791	65794.19	-56665.3958	2	-113330.79	8797.6989	2	17595.39772	-10222437
-554766.134	49744.739	-604510.9	-27946.5147	4	-111786.06	-88751.37	4	-355005.4693	-4124905.6
-458836.862	-50882.24	-407954.6	134267.806	2	268535.611	-69603.72	2	-139207.4317	15413944.1
722871.393	-1677.468	724548.9	86531.9399	4	346127.759	123619.86	4	494479.4345	7095619.07
557874.056	2259.2214	555614.8	-117401.801	2	-234803.6	94796.957	2	189593.9142	-5776168.6
-646439.705	1986.9929	-648426.7	-102616.606	4	-410466.42	-110632.2	4	-442528.702	-1682912.3
-646439.705	-1986.993	-644452.7	103342.785	2	206685.57	-109954.1	2	-219908.2973	-1694821.7
557874.056	-2259.221	560133.3	116775.113	4	467100.45	95567.877	4	382271.5086	-5745335.5
722871.393	1677.4677	721193.9	-87343.9788	2	-174687.96	123047.45	2	246094.9038	7162206.27
-458836.862	2489.0433	-461325.9	-128741.698	4	-514966.79	-78709.73	4	-314838.9089	14779547
-785734.464	-1336.456	-784398	69705.6871	2	139411.374	-133831.1	2	-267662.1994	-10288559
351187.096	74413.587	276773.5	143982.088	4	575928.351	47222.077	4	188888.3079	-25974369
449468.661	-46922.64	496391.3	-3333.18401	2	-6666.368	63289.003	2	126578.0058	710634.832
-66482.9566	-117321.8	50838.85	-23890.9385	4	-95563.754	4470.2494	4	17880.99762	5877170.86
12042.3188	18558.744	-6516.425	-6027.37511	2	-12054.75	-404.642	2	-809.2839542	1679226.71
-6711.28673	35962.83	-42674.12	-1002.78108	4	-4011.1243	-874.8678	4	-3499.471371	312266.029
0	-217.6989	217.6989	3316.01268	1	3316.01268	217.69891	1	217.6989111	-1142034.8
				sum12	333638.668			sum13	78072.5174

LAMPIRAN

SM			SM	prd
	30X31	27X2		33x34
31	32	33	34	35
1	34295.157	254183.3	1	254183.268
4	8806897.2	2874290	4	11497161.3
2	-455162	2070421	2	4140842.09
4	-5301680	5279134	4	21116534.8
2	-20444875	1587105	2	3174209.75
4	-16499622	-13099702	4	-52398807.3
2	30827888	-7990507	2	-15981013.2
4	28382476	10136828	4	40547313.6
2	-11552337	4664010	2	9328020.58
4	-6731649	-1814368	4	-7257470.71
2	-3389643	1803248	2	3606496.08
4	-22981342	-4701940	4	-18807758.2
2	14324413	-10089891	2	-20179782.1
4	59118188	9035877	4	36143506.7
2	-20577119	19753470	2	39506940.6
4	-1.04E+08	-8518863	4	-34075450.7
2	1421269.7	-13493215	2	-26986430.8
4	23508683	-1099681	4	-4398725.41
2	3358453.4	112733.3	2	225466.51
4	1249064.1	272433.8	4	1089735.39
1	-1142035	-74975.5	1	-74975.505
sum14=	-41975607		sum15=	-9784186.54

## Perhitungan Parameter dari Tabel

Didapatkan :

$$\text{SUM1} := 8015806$$

$$\text{SUM2} := 1.404 \cdot 10^{11}$$

$$\text{SUM3} := 27348$$

$$\text{SUM4} := 4.56 \cdot 10^8$$

$$\text{SUM5} := 7667712$$

$$\text{SUM6} := 1.594 \cdot 10^{11}$$

$$\text{SUM7} := -1.82 \cdot 10^8$$

$$\text{SUM8} := -6.027 \cdot 10^8$$

$$\text{SUM9} := -1.512 \cdot 10^8$$

$$\text{SUM10} := 8106434$$

$$\text{SUM11} := 1.3104 \cdot 10^{11}$$

$$\text{SUM12} := 333638$$

$$\text{SUM13} := 78072$$

$$\text{SUM14} := -41975607$$

$$\text{SUM15} := -9784186$$

$$S := 32.8 \text{ ft} \quad (\text{jarak antar station})$$

$$X := \frac{1}{3}$$

$$u := 18.5 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \quad (\text{kecepatan kapal})$$

**added mass for heaving**

$$a := X \cdot S \cdot \text{SUM1}$$

$$a = 8.764 \times 10^7 \text{ lb-sec}^2/\text{ft}$$

**added mass moment of inertia for pitching**

$$A_{yy} := X \cdot S \cdot \text{SUM2}$$

$$A_{yy} = 1.535 \times 10^{12} \text{ lb-sec}^2\text{-ft}$$

**damping coefficient for heaving**

$$b := X \cdot S \cdot \text{SUM3}$$

$$b = 2.99 \times 10^5 \text{ lb-sec}/\text{ft}$$

**damping coefficient for pitching**

$$B := X \cdot S \cdot \text{SUM4}$$

$$B = 4.986 \times 10^9 \text{ ft-lb-sec}/\text{rad}$$

**restoring coefficient for heaving**

$$c := X \cdot S \cdot \text{SUM5}$$

$$c = 8.383 \times 10^7 \text{ lb}/\text{ft}$$

**coupling term**

$$d := X \cdot S \cdot \text{SUM7}$$

$$d = -1.99 \times 10^9 \text{ lb-sec}^2$$

$$D := d$$

$$D = -1.99 \times 10^9 \text{ lb-sec}^2$$

$$e := X \cdot S \cdot \text{SUM8} + u \cdot a$$

$$e = -4.968 \times 10^9 \text{ lb-sec}^2/\text{sec}$$

$$E := -X \cdot S \cdot \text{SUM8} + u \cdot a$$

$$E = 8.211 \times 10^9 \text{ lb-sec}^2/\text{sec}$$

$$h := -X \cdot S \cdot \text{SUM9} + u \cdot b$$

$$h = 1.659 \times 10^9 \text{ lb}$$

$$H := -X \cdot S \cdot \text{SUM9}$$

$$H = 1.653 \times 10^9 \text{ lb}$$

#### restoring moment coefficient for pitching

$$C := X \cdot S \cdot \text{SUM6} - u \cdot E$$

$$C = 1.591 \times 10^{12} \text{ ft-lb/rad}$$

#### ship's mass

$$m := X \cdot S \cdot \text{SUM10}$$

$$m = 8.863 \times 10^7 \text{ lb-sec}^2/\text{ft}$$

#### ship's mass moment of inertia

$$I_{yy} := X \cdot S \cdot \text{SUM11}$$

$$I_{yy} = 1.433 \times 10^{12} \text{ lb-sec}^2\text{-ft}$$

#### exiting force component

$$F1 := X \cdot S \cdot \text{SUM12}$$

$$F1 = 3.648 \times 10^6 \text{ lb}$$

#### exiting force component

$$F2 := X \cdot S \cdot \text{SUM13}$$

$$F2 = 8.536 \times 10^5 \text{ lb}$$

#### exiting moment component

$$M1 := X \cdot S \cdot \text{SUM14}$$

$$M1 = -4.589 \times 10^8 \text{ ft-lb}$$

#### exiting moment component

$$M2 := X \cdot S \cdot \text{SUM15}$$

$$M2 = -1.07 \times 10^8 \text{ ft-lb}$$

## Perhitungan penyelesaian persamaan gerak Heave dan Pitch menggunakan Strip Theory

### Parameter yang diketahui:

$m := 8.863 \times 10^7$	ship's mass, m
$a := 8.764 \times 10^7$	added mass, a
$\omega_{en} := 0.58$	frequency encounter, $\omega_{en}$
$c := 8.383 \times 10^7$	restoring force coefficient, c
$C := 1.676 \times 10^{12}$	restoring moment coefficient, C
$b := 2.99 \times 10^5$	damping coefficient heave, b
$B := 4.986 \times 10^9$	damping coefficient pitch, B
$d := -1.99 \times 10^9$	coupling terms
$D := -1.99 \times 10^9$	coupling terms
$e := -5.801 \times 10^9$	coupling terms
$E := 7.378 \times 10^9$	coupling terms
$h := 1.656 \times 10^9$	coupling terms
$H := 1.653 \times 10^9$	coupling terms
$M1 := -4.589 \times 10^8$	exiting moment 1
$M2 := -1.07 \times 10^8$	exiting moment 2
$F1 := 3.648 \times 10^6$	exiting force componen 1
$F2 := 8.536 \times 10^5$	exiting force componen 2
$I_{yy} := 1.433 \times 10^{12}$	ship's mass moment inertia , $I_{yy}$
$A_{yy} := 1.535 \times 10^{12}$	added mass moment inertia, $A_{yy}$
$i := \sqrt{-1}$	imaginary

### **Parameter yang dimasukan:**

$t := 0$       secon

### Penyelesaian persamaan

$$P := -(m + a)\omega_{en}^2 + b \cdot \omega_{en} \cdot i + c$$

$$-(m + a)\omega_{en}^2 + b \cdot \omega_{en} \cdot i + c = 2.453 \times 10^7 + 1.734i \times 10^5$$



$$S := -(I_{yy} + A_{yy}) \cdot \omega e n^2 + B \cdot \omega e n \cdot i + C$$

$$-(I_{yy} + A_{yy}) \cdot \omega e n^2 + B \cdot \omega e n \cdot i + C = 6.776 \times 10^{11} + 2.892i \times 10^9$$

$$Q := -d \cdot \omega e n^2 + e \cdot \omega e n \cdot i + h$$

$$-d \cdot \omega e n^2 + e \cdot \omega e n \cdot i + h = 2.325 \times 10^9 - 3.365i \times 10^9$$

$$R := D \cdot \omega e n^2 + E \cdot \omega e n \cdot i + H$$

$$D \cdot \omega e n^2 + E \cdot \omega e n \cdot i + H = 9.836 \times 10^8 + 4.279i \times 10^9$$

$$F := F1 + F2 \cdot i$$

$$F1 + F2 \cdot i = 3.648 \times 10^6 + 8.536i \times 10^5$$

$$M := M1 + M2 \cdot i$$

$$M1 + M2 \cdot i = -4.589 \times 10^8 - 1.07i \times 10^8$$

$$P \cdot S = 1.662 \times 10^{19} + 1.884i \times 10^{17}$$

$$Q \cdot R = 1.669 \times 10^{19} + 6.642i \times 10^{18}$$

$$(P \cdot S - Q \cdot R) = -6.302 \times 10^{16} - 6.453i \times 10^{18}$$

$$\overline{(P \cdot S - Q \cdot R)} = -6.302 \times 10^{16} + 6.453i \times 10^{18}$$

$$Z1 := (P \cdot S - Q \cdot R) \cdot \overline{(P \cdot S - Q \cdot R)}$$

$$(P \cdot S - Q \cdot R) \cdot \overline{(P \cdot S - Q \cdot R)} = 4.165 \times 10^{37} \quad \dots\dots\dots \text{pers. 1}$$

$$F \cdot S = 2.469 \times 10^{18} + 5.889i \times 10^{17}$$

$$M \cdot Q = -1.427 \times 10^{18} + 1.295i \times 10^{18}$$

$$(F \cdot S - M \cdot Q) = 3.896 \times 10^{18} - 7.063i \times 10^{17}$$

$$Z2 := (F \cdot S - M \cdot Q) \cdot \overline{(F \cdot S - M \cdot Q)}$$

$$(F \cdot S - M \cdot Q) \cdot \overline{(F \cdot S - M \cdot Q)} = 4.312 \times 10^{36} + 2.519i \times 10^{37} \quad \dots\dots \text{pers.2}$$

$$M \cdot P = -1.124 \times 10^{16} - 2.705i \times 10^{15}$$

$$F \cdot R = -6.472 \times 10^{13} + 1.645i \times 10^{16}$$

$$(M \cdot P - F \cdot R) = -1.117 \times 10^{16} - 1.915i \times 10^{16}$$

$$Z3 := (M \cdot P - F \cdot R) \cdot (P \cdot S - Q \cdot R)$$

$$(M \cdot P - F \cdot R) \cdot (P \cdot S - Q \cdot R) = -1.229 \times 10^{35} + 7.332i \times 10^{34} \quad \text{..... pers.3}$$

$$z := \frac{Z2}{Z1}$$

$$\frac{Z2}{Z1} = 0.104 + 0.605i$$

$$z_a := \left( \overline{z \cdot z} \right)^{0.5}$$

$$\left( \overline{z \cdot z} \right)^{0.5} = 0.614 \quad \text{..... amplitudo heave, } z_a$$

$$\theta_{a1} := \frac{Z3}{Z1}$$

$$\frac{Z3}{Z1} = -2.951 \times 10^{-3} + 1.76i \times 10^{-3} \quad \text{feet}$$

$$\theta_a := \left( \overline{\theta_{a1} \cdot \theta_{a1}} \right)^{0.5}$$

$$\left( \overline{\theta_{a1} \cdot \theta_{a1}} \right)^{0.5} = 3.436 \times 10^{-3} \quad \text{rad ..... amplitudo pitch, } \theta_a$$

$$\delta := \text{acot} \left( \frac{-5.233}{2.888} \right)$$

$$\text{acot} \left( \frac{-5.233}{2.88} \right) = 151.174 \text{ deg} \quad \text{..... phase angle, } \delta$$

$$\epsilon := \text{acot} \left( \frac{-0.055}{-0.079} \right)$$

$$\text{acot} \left( \frac{-0.055}{-0.079} \right) = 55.154 \text{ deg} \quad \text{..... phase angle, } \epsilon$$

$$z := z_a \cdot \cos(\omega_n \cdot t + \delta \cdot \text{rad})$$

$$z_a \cdot \cos(\omega_n \cdot t + \delta \cdot \text{rad}) = -0.537 \quad \text{feet} \quad \dots \text{pers.gerak heave}$$

$$\theta := \theta_a \cdot \cos(\omega_n \cdot t + \varepsilon \cdot \text{rad})$$

$$\theta_a \cdot \cos(\omega_n \cdot t + \varepsilon \cdot \text{rad}) = 1.963 \times 10^{-3} \quad \text{rad} \quad \dots \text{pers.gerak pitch}$$

Perhitungan Respon Amplitudo Operator

Diketahui

$$\zeta_a := 2.375 \quad \text{amplitudo gelombang, feet}$$

RAO heave

$$\text{RAO} := \left( \frac{z_a}{\zeta_a} \right)$$

$$\left( \frac{z_a}{\zeta_a} \right) = 0.258 \quad \left( \frac{\text{ft}}{\text{ft}} \right)$$

$$\text{RAO} = 0.258$$

RAO pitch

$$\text{RAO} := \left( \frac{\theta_a}{\zeta_a} \right)$$

$$\left( \frac{\theta_a}{\zeta_a} \right) = 1.447 \times 10^{-3} \quad \text{rad} \quad \left( \frac{\text{rad}}{\text{ft}} \right)$$

$$\text{RAO} = 0.083 \text{ deg} \quad \frac{\text{deg}}{\text{feet}}$$



**LAMPIRAN C**

---

## PERHITUNGAN STANDART DEVIASI

### Section 1

#### 1. Water level

No	Elevasi (cm)	X rata	(Xi - Xrata)	(Xi - Xrata) <sup>2</sup>
1	224	106	118	13924
2	200	106	94	8836
3	183	106	77	5929
4	162	106	56	3136
5	142	106	36	1296
6	126	106	20	400
7	103	106	-3	9
8	82	106	-24	576
9	63	106	-43	1849
10	46	106	-60	3600
11	28	106	-78	6084
12	15	106	-91	8281
13	7	106	-99	9801
1381				63721

$$\text{SD water level} = ((Xi - Xrata)^2/n-1)^{0.5}$$

$$= 72.870319 \quad \text{m}$$

#### 2. Bed irregularities

No	Kedalaman (m)	kedalaman rata (m)	(Hi - Hrata)	(Hi - Hrata) <sup>2</sup>
1	21.76	20.64	1.12	1.2544
2	21.5	20.64	0.86	0.7396
3	21.26	20.64	0.62	0.3844
4	21.01	20.64	0.37	0.1369
5	20.86	20.64	0.22	0.0484
6	20.51	20.64	-0.13	0.0169
7	20.24	20.64	-0.4	0.16
8	20	20.64	-0.64	0.4096
9	19.85	20.64	-0.79	0.6241
10	19.48	20.64	-1.16	1.3456
206.47				5.1199

$$\text{SD bed irregularities} = ((Xi - Xrata)^2/n-1)^{0.5}$$

$$= 0.7542399 \quad \text{m}$$

## Section 2

## 1. Water level

No	Elevasi (cm)	X rata	(Xi - Xrata)	(Xi - Xrata) <sup>2</sup>
1	198	94	104	10816
2	190	94	96	9216
3	183	94	89	7921
4	162	94	68	4624
5	142	94	48	2304
6	126	94	32	1024
7	103	94	9	81
8	82	94	-12	144
9	53	94	-41	1681
10	25	94	-69	4761
11	5	94	-89	7921
12	-15	94	-109	11881
13	-29.92	94	-123.92	15356.1664
	1224.08			77730.1664

$$\text{SD water level} = ((Xi - Xrata)^2/n)^{0.5}$$

$$= 80.483004 \text{ cm}$$

## 2. Bed irregularities

No	Kedalaman (m)	kedalaman rata (m)	(Hi - Hrata)	(Hi - Hrata) <sup>2</sup>
1	16.76	15.444	1.316	1.731856
2	16.5	15.444	1.056	1.115136
3	16.25	15.444	0.806	0.649636
4	16.05	15.444	0.606	0.367236
5	15.89	15.444	0.446	0.198916
6	15.6	15.444	0.156	0.024336
7	15.24	15.444	-0.204	0.041616
8	15.1	15.444	-0.344	0.118336
9	15.05	15.444	-0.394	0.155236
10	15	15.444	-0.444	0.197136
	157.44			4.59944

$$\text{SD bed irregularities} = ((Xi - Xrata)^2/n-1)^{0.5}$$

$$= 0.7148768 \text{ m}$$

## Section 3

## 1. Water level

No	Elevasi (cm)	X rata	(Xi - Xrata)	(Xi - Xrata) <sup>2</sup>
1	313	194	119	14161
2	300	194	106	11236
3	283	194	89	7921
4	262	194	68	4624
5	243	194	49	2401
6	222	194	28	784
7	201	194	7	49
8	180	194	-14	196
9	155	194	-39	1521
10	125	194	-69	4761
11	100	194	-94	8836
12	74	194	-120	14400
13	65	194	-129	16641
	2523			87531

$$\text{SD water level} = ((\text{Xi} - \text{Xrata})^2 / n - 1)^{0.5}$$

$$= 85.406381 \text{ cm}$$

## 2. Bed irregularities

No	Kedalaman (m)	kedalaman rata (m)	(Hi - Hrata)	(Hi - Hrata) <sup>2</sup>
1	16.76	15.744	1.016	1.032256
2	16.5	15.744	0.756	0.571536
3	16.25	15.744	0.506	0.256036
4	16.05	15.744	0.306	0.093636
5	15.89	15.744	0.146	0.021316
6	15.6	15.744	-0.144	0.020736
7	15.24	15.744	-0.504	0.254016
8	15.1	15.744	-0.644	0.414736
9	15.05	15.744	-0.694	0.481636
10	15	15.744	-0.744	0.553536
	157.44			3.69944

$$\text{SD bed irregularities} = ((\text{Xi} - \text{Xrata})^2 / n - 1)^{0.5}$$

$$= 0.6411309 \text{ m}$$

## Section 4

## 1. Bed irregularities

No	Elevasi (cm)	X rata	(Xi - Xrata)	(Xi - Xrata) <sup>2</sup>
1	231	77	154	23716
2	212	77	135	18225
3	180	77	103	10609
4	155	77	78	6084
5	125	77	48	2304
6	102	77	25	625
7	75	77	-2	4
8	55	77	-22	484
9	28	77	-49	2401
10	5	77	-72	5184
11	-26	77	-103	10609
12	-55	77	-132	17424
13	-87.33	77	-164.33	27004.3489
	999.67			124673.3489

$$\text{SD water level} = ((\text{Xi} - \text{Xrata})^2/n-1)^{0.5}$$

$$= 101.92863 \text{ cm}$$

## 2. Bed irregularities

No	Kedalaman (m)	kedalaman rata (m)	(Hi - Hrata)	(Hi - Hrata) <sup>2</sup>
1	21.76	20.86	0.9	0.81
2	21.5	20.86	0.64	0.4096
3	21.32	20.86	0.46	0.2116
4	21.22	20.86	0.36	0.1296
5	21.01	20.86	0.15	0.0225
6	20.86	20.86	0	0
7	20.59	20.86	-0.27	0.0729
8	20.25	20.86	-0.61	0.3721
9	20.1	20.86	-0.76	0.5776
10	20	20.86	-0.86	0.7396
	208.61			3.3455

$$\text{SD bed irregularities} = ((\text{Xi} - \text{Xrata})^2/n-1)^{0.5}$$

$$= 0.6096903 \text{ m}$$



## Section 5

## 1. Water level

No	Elevasi (cm)	X rata	(Xi - Xrata)	(Xi - Xrata)^2
1	212	73.53	138.47	19173.9409
2	180	73.53	106.47	11335.8609
3	163	73.53	89.47	8004.8809
4	140	73.53	66.47	4418.2609
5	122	73.53	48.47	2349.3409
6	105	73.53	31.47	990.3609
7	84	73.53	10.47	109.6209
8	65	73.53	-8.53	72.7609
9	41	73.53	-32.53	1058.2009
10	11	73.53	-62.53	3910.0009
11	-24	73.53	-97.53	9512.1009
12	-60	73.53	-133.53	17830.2609
13	-82.3	73.53	-155.83	24282.9889
	956.7			103048.5797

$$\text{SD water level} = ((Xi - Xrata)^2/n-1)^{0.5}$$

$$= 92.668126 \text{ Cm}$$

## 2. Bed irregularities

No	Kedalaman (m)	kedalaman rata (m)	(Hi - Hrata)	(Hi - Hrata)^2
1	16.76	15.744	1.016	1.032256
2	16.5	15.744	0.756	0.571536
3	16.25	15.744	0.506	0.256036
4	16.05	15.744	0.306	0.093636
5	15.89	15.744	0.146	0.021316
6	15.6	15.744	-0.144	0.020736
7	15.24	15.744	-0.504	0.254016
8	15.1	15.744	-0.644	0.414736
9	15.05	15.744	-0.694	0.481636
10	15	15.744	-0.744	0.553536
	157.44			3.69944

$$\text{SD bed irregularities} = ((Xi - Xrata)^2/n-1)^{0.5}$$

$$= 0.6411309 \text{ m}$$

## Perhitungan Probabilitas

Perhitungan probabilitas diformulasikan dengan :

$$p = \exp \left[ -0.5 \left( \frac{UKC}{\sigma} \right)^2 \right]$$

dimana : UKC = Underkeel Clearance

$\sigma$  = Standart Deviasi Gabungan

p = Probabilitas

Tabel 1. Perhitungan Probabilitas kondisi sekarang

Section	Vs(knot)	$\sigma$ b	$\sigma$ w	$\sigma$ heave	$\sigma$ squat	$\sigma$ pitch	1 <sup>2</sup>	2 <sup>2</sup>	3 <sup>2</sup>	4 <sup>2</sup>	5 <sup>2</sup>	(5+6+7+8) <sup>0.5</sup>	UKC	13/14	p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	5	0.75	0.72	0.018	0.0051	0.065	0.563	0.52	3.24E-04	2.6E-05	0.00423	1.04186132	8	7.68E+00	1.6E-13
2	5	0.71	0.8	0.018	0.007	0.065	0.504	0.64	3.24E-04	0.000049	0.00423	1.06980045	3	2.80E+00	0.01961
3	5	0.64	0.85	0.018	0.007	0.065	0.41	0.72	3.24E-04	0.000049	0.00423	1.06417715	0	0.00E+00	1
4	5	1.01	0.6	0.018	0.0051	0.065	1.02	0.36	3.24E-04	2.6E-05	0.00423	1.17492553	8	6.81E+00	8.6E-11
5	5	0.64	0.92	0.018	0.007	0.065	0.41	0.85	3.24E-04	0.000049	0.00423	1.12088046	3	2.68E+00	0.02783
1	7	0.75	0.72	0.0285	0.01605	0.1005	0.563	0.52	8.12E-04	0.000258	0.0101	1.04502158	8	7.66E+00	1.9E-13
2	7	0.71	0.8	0.0285	0.0228	0.1005	0.504	0.64	8.12E-04	0.00052	0.0101	1.07024861	3	2.80E+00	0.01967
3	7	0.64	0.85	0.0285	0.0228	0.1005	0.41	0.72	8.12E-04	0.00052	0.0101	1.06462768	0	0.00E+00	1
4	7	1.01	0.6	0.0285	0.01605	0.1005	1.02	0.36	8.12E-04	0.000258	0.0101	1.17523183	8	6.81E+00	8.7E-11
5	7	0.64	0.92	0.0285	0.0228	0.1005	0.41	0.85	8.12E-04	0.00052	0.0101	1.1213082	3	2.68E+00	0.0279
1	9	0.75	0.72	0.04	0.038	0.138	0.563	0.52	1.60E-03	0.001444	0.01904	1.05023236	8	7.62E+00	2.5E-13
2	9	0.71	0.8	0.04	0.0548	0.138	0.504	0.64	1.60E-03	0.003003	0.01904	1.07177565	3	2.80E+00	0.01989
3	9	0.64	0.85	0.04	0.0548	0.138	0.41	0.72	1.60E-03	0.003003	0.01904	1.06616276	0	0.00E+00	1
4	9	1.01	0.6	0.04	0.038	0.138	1.02	0.36	1.60E-03	0.001444	0.01904	1.17607143	8	6.80E+00	9E-11
5	9	0.64	0.92	0.04	0.0548	0.138	0.41	0.85	1.60E-03	0.003003	0.01904	1.1227658	3	2.67E+00	0.02816

LAMPIRAN

1	11	0.75	0.72	0.0525	0.075	0.1775	0.563	0.52	2.76E-03	0.005625	0.03151	1.05867252	8	7.56E+00	4E-13
2	11	0.71	0.8	0.0525	0.1175	0.1775	0.504	0.64	2.76E-03	0.013806	0.03151	1.07734048	3	2.78E+00	0.02071
3	11	0.64	0.85	0.0525	0.1175	0.1775	0.41	0.72	2.76E-03	0.013806	0.03151	1.07175674	0	0.00E+00	1
4	11	1.01	0.6	0.0525	0.075	0.1775	1.02	0.36	2.76E-03	0.005625	0.03151	1.17833834	8	6.79E+00	9.8E-11
5	11	0.64	0.92	0.0525	0.1175	0.1775	0.41	0.85	2.76E-03	0.013806	0.03151	1.12807912	3	2.66E+00	0.02912
1	13	0.75	0.72	0.066	0.138	0.219	0.563	0.52	4.36E-03	0.019044	0.04796	1.07343421	8	7.45E+00	8.7E-13
2	13	0.71	0.8	0.066	0.2457	0.219	0.504	0.64	4.36E-03	0.060368	0.04796	1.09946555	3	2.73E+00	0.02417
3	13	0.64	0.85	0.066	0.2457	0.219	0.41	0.72	4.36E-03	0.060368	0.04796	1.09399474	0	0.00E+00	1
4	13	1.01	0.6	0.066	0.138	0.219	1.02	0.36	4.36E-03	0.019044	0.04796	1.18469405	8	6.75E+00	1.3E-10
5	13	0.64	0.92	0.066	0.2457	0.219	0.41	0.85	4.36E-03	0.060368	0.04796	1.14922778	3	2.61E+00	0.03313
1	15	0.75	0.72	0.0805	0.259	0.2625	0.563	0.52	6.48E-03	0.067081	0.06891	1.10605945	8	7.23E+00	4.4E-12
2	15	0.71	0.8	0.0805	0.625	0.2625	0.504	0.64	6.48E-03	0.390625	0.06891	1.24145288	3	2.42E+00	0.05394
3	15	0.64	0.85	0.0805	0.625	0.2625	0.41	0.72	6.48E-03	0.390625	0.06891	1.23661039	0	0.00E+00	1
4	15	1.01	0.6	0.0805	0.259	0.2625	1.02	0.36	6.48E-03	0.067081	0.06891	1.20567875	8	6.64E+00	2.8E-10
5	15	0.64	0.92	0.0805	0.625	0.2625	0.41	0.85	6.48E-03	0.390625	0.06891	1.28573141	3	2.33E+00	0.06573

Tabel 2. Perhitungan Probabilitas kondisi Rencana

Section	Vs(knot)	$\sigma_b$	$\sigma_w$	$\sigma_{heave}$	$\sigma_{squat}$	$\sigma_{pitch}$	1 <sup>2</sup>	2 <sup>2</sup>	3 <sup>2</sup>	4 <sup>2</sup>	5 <sup>2</sup>	(5+6+7+8) <sup>0.5</sup>	UKC	UKC/13	p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	5	0.75	0.72	0.018	0.0051	0.065	0.5625	0.5184	3.24E-04	2.6E-05	0.0042	1.04186132	8	7.68E+00	1.57E-13
2	5	0.71	0.8	0.018	0.007	0.065	0.5041	0.64	3.24E-04	4.9E-05	0.0042	1.06980045	3.75	3.51E+00	0.002147
3	5	0.64	0.85	0.018	0.007	0.065	0.4096	0.7225	3.24E-04	4.9E-05	0.0042	1.06417715	3.75	3.52E+00	0.002012
4	5	1.01	0.6	0.018	0.0051	0.065	1.0201	0.36	3.24E-04	2.6E-05	0.0042	1.17492553	8	6.81E+00	8.56E-11
5	5	0.64	0.92	0.018	0.007	0.065	0.4096	0.8464	3.24E-04	4.9E-05	0.0042	1.12088046	4	3.57E+00	0.001716
1	7	0.75	0.72	0.0285	0.01605	0.1005	0.5625	0.5184	8.12E-04	0.00026	0.0101	1.04502158	8	7.66E+00	1.88E-13
2	7	0.71	0.8	0.0285	0.0228	0.1005	0.5041	0.64	8.12E-04	0.00052	0.0101	1.07024861	3.75	3.50E+00	0.002158
3	7	0.64	0.85	0.0285	0.0228	0.1005	0.4096	0.7225	8.12E-04	0.00052	0.0101	1.06462768	3.75	3.52E+00	0.002022
4	7	1.01	0.6	0.0285	0.01605	0.1005	1.0201	0.36	8.12E-04	0.00026	0.0101	1.17523183	8	6.81E+00	8.67E-11

## LAMPIRAN

5	7	0.64	0.92	0.0285	0.0228	0.1005	0.4096	0.8464	8.12E-04	0.00052	0.0101	1.1213082	4	3.57E+00	0.001725
1	9	0.75	0.72	0.04	0.038	0.138	0.5625	0.5184	1.60E-03	0.00144	0.019	1.05023236	8	7.62E+00	2.51E-13
2	9	0.71	0.8	0.04	0.0548	0.138	0.5041	0.64	1.60E-03	0.003	0.019	1.07177565	3.75	3.50E+00	0.002196
3	9	0.64	0.85	0.04	0.0548	0.138	0.4096	0.7225	1.60E-03	0.003	0.019	1.06616276	3.75	3.52E+00	0.002059
4	9	1.01	0.6	0.04	0.038	0.138	1.0201	0.36	1.60E-03	0.00144	0.019	1.17607143	8	6.80E+00	8.96E-11
5	9	0.64	0.92	0.04	0.0548	0.138	0.4096	0.8464	1.60E-03	0.003	0.019	1.1227658	4	3.56E+00	0.001753
1	11	0.75	0.72	0.0525	0.075	0.1775	0.5625	0.5184	2.76E-03	0.00563	0.0315	1.05867252	8	7.56E+00	3.98E-13
2	11	0.71	0.8	0.0525	0.1175	0.1775	0.5041	0.64	2.76E-03	0.01381	0.0315	1.07734048	3.75	3.48E+00	0.002339
3	11	0.64	0.85	0.0525	0.1175	0.1775	0.4096	0.7225	2.76E-03	0.01381	0.0315	1.07175674	3.75	3.50E+00	0.002196
4	11	1.01	0.6	0.0525	0.075	0.1775	1.0201	0.36	2.76E-03	0.00563	0.0315	1.17833834	8	6.79E+00	9.79E-11
5	11	0.64	0.92	0.0525	0.1175	0.1775	0.4096	0.8464	2.76E-03	0.01381	0.0315	1.12807912	4	3.55E+00	0.001861
1	13	0.75	0.72	0.066	0.138	0.219	0.5625	0.5184	4.36E-03	0.01904	0.048	1.07343421	8	7.45E+00	8.69E-13
2	13	0.71	0.8	0.066	0.2457	0.219	0.5041	0.64	4.36E-03	0.06037	0.048	1.09946555	4	3.64E+00	0.001336
3	13	0.64	0.85	0.066	0.2457	0.219	0.4096	0.7225	4.36E-03	0.06037	0.048	1.09399474	4	3.66E+00	0.00125
4	13	1.01	0.6	0.066	0.138	0.219	1.0201	0.36	4.36E-03	0.01904	0.048	1.18469405	8	6.75E+00	1.25E-10
5	13	0.64	0.92	0.066	0.2457	0.219	0.4096	0.8464	4.36E-03	0.06037	0.048	1.14922778	4.25	3.70E+00	0.001072
1	15	0.75	0.72	0.0805	0.259	0.2625	0.5625	0.5184	6.48E-03	0.06708	0.0689	1.10605945	8	7.23E+00	4.37E-12
2	15	0.71	0.8	0.0805	0.625	0.2625	0.5041	0.64	6.48E-03	0.39063	0.0689	1.24145288	4.5	3.62E+00	0.001402
3	15	0.64	0.85	0.0805	0.625	0.2625	0.4096	0.7225	6.48E-03	0.39063	0.0689	1.23661039	4.5	3.64E+00	0.001332
4	15	1.01	0.6	0.0805	0.259	0.2625	1.0201	0.36	6.48E-03	0.06708	0.0689	1.20567875	8	6.64E+00	2.75E-10
5	15	0.64	0.92	0.0805	0.625	0.2625	0.4096	0.8464	6.48E-03	0.39063	0.0689	1.28573141	4.5	3.50E+00	0.002188

Tabel Perhitungan Amplitudo Maksimum Pada Probabilitas p Kondisi Rencana

Section	Vs(knot)	Amo(m)	p(probabilitas)	ln p	Amax,p(m)
1	5	0.881	1.57369E-13	-29.480181	6.4930099
2	5	0.9	0.002147057	-6.1436574	1.3823229
3	5	0.9	0.002011736	-6.2087573	1.3969704
4	5	0.881	8.56419E-11	-23.180847	5.1055815
5	5	0.9	0.001716384	-6.3675358	1.4326955
1	7	0.967	1.88035E-13	-29.302148	7.0837943
2	7	1.012	0.00215813	-6.1385132	1.5530438
3	7	1.012	0.002022333	-6.2035036	1.5694864
4	7	0.967	8.66828E-11	-23.168765	5.601049
5	7	1.012	0.001724741	-6.3626786	1.6097577
1	9	1.08	2.51307E-13	-29.012102	7.8332675
2	9	1.164	0.002196185	-6.1210337	1.7812208
3	9	1.164	0.002058758	-6.1856525	1.8000249
4	9	1.04	8.95972E-11	-23.135697	6.0152811
5	9	1.164	0.001753452	-6.3461691	1.8467352
1	11	1.22	3.98387E-13	-28.551353	8.7081628
2	11	1.39	0.002339162	-6.0579626	2.105142
3	11	1.39	0.00219571	-6.1212497	2.1271343
4	11	1.22	9.79304E-11	-23.046764	7.0292631
5	11	1.39	0.001861211	-6.2865282	2.1845685
1	13	1.41	8.68954E-13	-27.771486	9.7894487
2	13	1.76	0.001336101	-6.6179996	2.9119198
3	13	1.76	0.001250321	-6.6843552	2.9411163
4	13	1.41	1.25321E-10	-22.800143	8.0370502
5	13	1.76	0.001072135	-6.8381029	3.0087653
1	15	1.72	4.36542E-12	-26.157308	11.247642
2	15	2.76	0.001402451	-6.5695338	4.5329783
3	15	2.76	0.001331983	-6.6210863	4.5685496
4	15	1.72	2.75239E-10	-22.013382	9.4657541
5	15	2.76	0.002187848	-6.1248369	4.2261374

Tabel Perhitungan Resiko Pada Kondisi Rencana

section	V ship	p	N	exp(-p.N)	P
1	5	1.57E-13	50	1	7.868E-12
2	5	0.002147	50	0.8982087	0.1017913
3	5	0.002012	50	0.90430662	0.0956934
4	5	8.56E-11	50	1	4.282E-09
5	5	0.001716	50	0.91776017	0.0822398
1	7	1.88E-13	50	1	9.402E-12
2	7	0.002158	50	0.89771153	0.1022885
3	7	0.002022	50	0.9038276	0.0961724
4	7	8.67E-11	50	1	4.334E-09
5	7	0.001725	50	0.91737676	0.0826232
1	9	2.51E-13	50	1	1.257E-11
2	9	0.002196	50	0.89600505	0.103995
3	9	0.002059	50	0.90218301	0.097817
4	9	8.96E-11	50	1	4.48E-09
5	9	0.001753	50	0.91606076	0.0839392
1	11	3.98E-13	50	1	1.992E-11
2	11	0.002339	50	0.88962247	0.1103775
3	11	0.002196	50	0.8960263	0.1039737
4	11	9.79E-11	50	1	4.897E-09
5	11	0.001861	50	0.91113835	0.0888617
1	13	8.69E-13	50	1	4.345E-11
2	13	0.001336	50	0.93537754	0.0646225
3	13	0.00125	50	0.939398	0.060602
4	13	1.25E-10	50	0.99999999	6.266E-09
5	13	0.001072	50	0.94780474	0.0521953
1	15	4.37E-12	50	1	2.183E-10
2	15	0.001402	50	0.93227956	0.0677204
3	15	0.001332	50	0.93557014	0.0644299
4	15	2.75E-10	50	0.99999999	1.376E-08
5	15	0.002188	50	0.89637861	0.1036214

## Analisa Teknis Daerah Studi

### 1. Prediksi ukuran terbesar kapal sandar menurut jenis kapal di pelabuhan Tanjung Perak

Jenis kapal	GRT	DWT	Loa	Lpp	B	T
	(ton)	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)
Barang(general cargo)	325200	52370	210	200	27.8	12
Petikemas antar pulau	4030	6710	106	100	25.9	6.6
Tanker	12160	20600	149	142	20.7	10
Curah kering(bulk carrier)	15400	25656	157	150	27.5	9.3
Ferry	3635	6059	82	78.7	15.2	5.5
Kapal penumpang	8700	14500	149	143	18.5	10
Tongkang	3000	5000	95	91	13	7.5
Petikemas	36200	51150	279	267	37.8	12

### 2. Ukuran alur dimasing-masing section

Uraian	Lambang	Satuan	Section1	Section2	Section3	Section4	Section5
Kedalaman max	DHWL	m	21.59	16.76	16.76	21.76	16.76
Kedalaman rata-rata	DMWL	m	21.13	16.27	16.27	21.27	16.27
Kedalaman rendah	DLWL	m	20.717	15.824	15.824	20.824	15.824
Elevasi terendah	DLWS	m	20	15	15	20	15
Lebar alur utama	B	m	516	1140	2005	919	1100
Sudut belokan alur	a	deg	0	0	79	78	59
Tinggi gel.10 tahun							

### 3. Ukuran elevasi pasang surut di Selat Madura

Elevasi Penting	Elevasi(cm)					
	TWR	SBL	GRS	TJG	KJR	KSK
HWS	224	198	313	203	231	212
MHWS	200	173	285	175	196	181
MHWL	166	135	241	122	140	128
MSL	120	90	193	73	76	67
MLWL	78	48	147	27	13	9
MLWS	37.72	-2.66	94	-26	-51	-52
LWS	7	-29	65	-56	-87	-83

## PERHITUNGAN KEDALAMAN ALUR DENGAN BERBAGAI KECEPATAN

Tabel 1. Ukuran alur dengan kecepatan kapal 5 knot

( Ukuran dalam meter )	<b>section 1</b>	<b>section 2</b>	<b>section 3</b>	<b>section 4</b>	<b>section 5</b>
1	2	3	4	5	6
Design ship draft	12	12	12	12	12
Minimum safe clearance(net UKC)	1	1	1	1	1
Squat	0.051	0.07	0.07	0.051	0.07
Ship motion karena heave	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Ship motion karena pitch	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Kedalaman alur	<b>13.891</b>	<b>13.91</b>	<b>13.91</b>	<b>13.891</b>	<b>13.91</b>
Kedalaman alur sekarang (LWS)	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>15</b>
Kedalaman alur sekarang (HWS)	<b>21.76</b>	<b>16.76</b>	<b>11.76</b>	<b>16.76</b>	<b>16.76</b>
kedalaman yang direkomendasikan	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>
Design lebar kapal	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
Lebar alur minimum sekarang (min)	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>
Lebar alur yang direkomendasikan	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>

Tabel 2. Ukuran alur dengan kecepatan kapal 7 knot

(Ukuran dalam meter)	<b>Section 1</b>	<b>Section 2</b>	<b>section 3</b>	<b>section 4</b>	<b>section 5</b>
1	2	3	4	5	6
Design ship draft	12	12	12	12	12
Minimum safe clearance(net UKC)	1	1	1	1	1
Squat	0.107	0.152	0.152	0.107	0.152
Ship motion karena heave	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Ship motion karena pitch	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Total kedalaman alur	<b>13.967</b>	<b>14.012</b>	<b>14.012</b>	<b>13.967</b>	<b>14.012</b>
Kedalaman alur sekarang (LWS)	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>15</b>
Kedalaman alur sekarang (HWS)	<b>21.76</b>	<b>16.76</b>	<b>11.76</b>	<b>16.76</b>	<b>16.76</b>
kedalaman yang direkomendasikan	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>
Design lebar kapal	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
Lebar alur minimum sekarang (min)	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>
Lebar alur yang direkomendasikan	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>



Tabel 3. Ukuran alur dengan kecepatan kapal 9 knot

(Ukuran dalam meter)	Section 1	Section 2	section 3	section 4	section 5
1	2	3	4	5	6
Design ship draft	12	12	12	12	12
Minimum safe clearance(net UKC)	1	1	1	1	1
Squat	0.19	0.274	0.274	0.19	0.274
Ship motion karena heave	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Ship motion karena pitch	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
Total kedalaman alur	<b>14.08</b>	<b>14.164</b>	<b>14.164</b>	<b>14.08</b>	<b>14.164</b>
Kedalaman alur sekarang (LWS)	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>15</b>
Kedalaman alur sekarang (HWS)	<b>21.76</b>	<b>16.76</b>	<b>11.76</b>	<b>16.76</b>	<b>16.76</b>
kedalaman yang direkomendasikan	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>
Design lebar kapal	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
Lebar alur minimum sekarang (min)	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>
Lebar alur yang direkomendasikan	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>

Tabel 4. Ukuran alur dengan kecepatan kapal 11 knot

(Ukuran dalam meter)	Section 1	Section 2	section 3	section 4	section 5
1	2	3	4	5	6
Design ship draft	12	12	12	12	12
Minimum safe clearance(net UKC)	1	1	1	1	1
Squat	0.3	0.47	0.47	0.3	0.47
Ship motion karena heave	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Ship motion karena pitch	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
Total kedalaman alur	<b>14.22</b>	<b>14.39</b>	<b>14.39</b>	<b>14.22</b>	<b>14.39</b>
Kedalaman alur sekarang (LWS)	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>15</b>
Kedalaman alur sekarang (HWS)	<b>21.76</b>	<b>16.76</b>	<b>11.76</b>	<b>16.76</b>	<b>16.76</b>
kedalaman yang direkomendasikan	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>
Design lebar kapal	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
Lebar alur minimum sekarang (min)	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>
Lebar alur yang direkomendasikan	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>

Tabel 5. Ukuran alur dengan kecepatan kapal 13 knot

(Ukuran dalam meter)	Section 1	Section 2	section 3	section 4	section 5
1	2	3	4	5	6
Design ship draft	12	12	12	12	12
Minimum safe clearance(net UKC)	1	1	1	1	1
Squat	0.46	0.819	0.819	0.46	0.819
Ship motion karena heave	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
Ship motion karena pitch	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
Total kedalaman alur	<b>14.41</b>	<b>14.769</b>	<b>14.769</b>	<b>14.41</b>	<b>14.769</b>
Kedalaman alur sekarang (LWS)	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>15</b>
Kedalaman alur sekarang (HWS)	<b>21.76</b>	<b>16.76</b>	<b>11.76</b>	<b>16.76</b>	<b>16.76</b>
kedalaman yang direkomendasikan	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>
Design lebar kapal	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
Lebar alur minimum sekarang (min)	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>
Lebar alur yang direkomendasikan	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>

Tabel 6. Ukuran alur dengan kecepatan kapal 15 knot

(Ukuran dalam meter)	section 1	section 2	section 3	section 4	section 5
1	2	3	4	5	6
Design ship draft	12	12	12	12	12
Minimum safe clearance	1	1	1	1	1
Ship motion karena pitch	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Squat	0.74	1.787	1.787	0.74	1.787
Ship motion karena heave	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Total kedalaman alur	<b>14.72</b>	<b>15.767</b>	<b>15.767</b>	<b>14.72</b>	<b>15.767</b>
Kedalaman alur sekarang (LWS)	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>15</b>
Kedalaman alur sekarang (HWS)	<b>21.76</b>	<b>16.76</b>	<b>11.76</b>	<b>16.76</b>	<b>16.76</b>
kedalaman yang direkomendasikan	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>	<b>17.5</b>
Design lebar kapal	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
Lebar alur minimum sekarang (min)	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>	<b>245</b>
Lebar alur yang direkomendasikan	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>	<b>190</b>

## LAMPIRAN D

---

**Perhitungan Squat**

## Menghitung nilai squat

Parameter yang diketahui :

$b := 27$	lebar kapal,m
$d := 12$	draft kapal,m
$Bo := 245$	lebar alur minimum,m
$h := 15$	kedalaman alur minimum,m
$g := 9.8$	gravitasi,m/s <sup>2</sup>

$$As := b \cdot d$$

$$As = 324$$

$$Ac := Bo \cdot h$$

$$Ac = 3.675 \times 10^3$$

### Menghitung Vlim

Dengan iterasi diperoleh nilai Fr

$$Fr := 0.64509$$

$$1 - \frac{As}{Ac} + 0.5Fr^2 - 1.5Fr^3 = 2.735 \times 10^{-5}$$

$$Fr = 0.645$$

$$Vlim := Fr \cdot \sqrt{g \cdot h}$$

$$Vlim = 7.821$$

Kecepatan maksimum kapal,m/s

### Menghitung Zlim

$$Zlim := \frac{h}{3} \cdot \left( 1 - \frac{As}{Ac} - \frac{Vlim^2}{g \cdot h} \right)$$

$$Zlim = 2.478$$

Penurunan muka air maks karena kecepatan kapal maks,m

**Menghitung Ulim**

$$U_{lim} := \left[ \left[ \frac{2}{3} \cdot \left( 1 - \frac{A_s}{A_c} + 0.5 \cdot \frac{V_{lim}^2}{g \cdot h} \right) \right]^{0.5} - \frac{V_{lim}}{\sqrt{g \cdot h}} \right] \cdot \sqrt{g \cdot h}$$

$$U_{lim} = 2.655$$

Kecepatan arus pengembali maks. sepanjang kapal, m/s

**Perhitungan U dan Z untuk Kecepatan Tertentu**

Menghitung nilai u dengan iterasi

$$V_s := 7.71$$

Kecepatan kapal, m/s

$$U := 2.01$$

Arus balik sepanjang kapal pada midship, m/s

$$\frac{(V_s + U)^2 - V_s^2}{2 \cdot g \cdot h} - \frac{U}{V_s + U} + \frac{A_s}{A_c} = 5.374 \times 10^{-4}$$

$$U = 2.01$$

Arus balik sepanjang kapal pada midship, m/s

**Menghitung nilai Z**

$$\alpha := 1$$

$$Z := \alpha \cdot \frac{(V_s + U)^2}{2 \cdot g} - \frac{V_s^2}{2 \cdot g}$$

$$Z = 1.787$$

Penurunan muka air karena kecepatan kapal, m

## Menghitung nilai squat

Parameter yang diketahui :

$b := 27$	lebar kapal,m
$d := 12$	draft kapal,m
$B_o := 245$	lebar alur minimum,m
$h := 20$	kedalaman alur minimum,m
$g := 9.8$	gravitasi,m/s <sup>2</sup>

$$A_s := b \cdot d$$

$$A_s = 324$$

$$A_c := B_o \cdot h$$

$$A_c = 4.9 \times 10^3$$

### Menghitung Vlim

Dengan iterasi diperoleh nilai Fr

$$Fr := 0.69$$

$$1 - \frac{A_s}{A_c} + 0.5Fr^2 - 1.5Fr^{\frac{2}{3}} = 6.567 \times 10^{-4}$$

$$Fr = 0.69$$

$$V_{lim} := Fr \cdot \sqrt{g \cdot h}$$

$$V_{lim} = 9.66$$

Kecepatan maksimum kapal,m/s

### Menghitung Zlim

$$Z_{lim} := \frac{h}{3} \cdot \left( 1 - \frac{A_s}{A_c} - \frac{V_{lim}^2}{g \cdot h} \right)$$

$$Z_{lim} = 3.052$$

Penurunan muka air maks karena kecepatan kapal maks,m

### Menghitung Ulim

$$U_{lim} := \left[ \left[ \frac{2}{3} \cdot \left( 1 - \frac{A_s}{A_c} + 0.5 \cdot \frac{V_{lim}^2}{g \cdot h} \right) \right]^{0.5} - \frac{V_{lim}}{\sqrt{g \cdot h}} \right] \cdot \sqrt{g \cdot h}$$

$$U_{lim} = 2.715$$

Kecepatan arus pengembali maks. sepanjang kapal, m/s

### Perhitungan U dan Z untuk Kecepatan Tertentu

Menghitung nilai u dengan iterasi

$$V_s := 7.7 \quad \text{Kecepatan kapal, m/s}$$

$$U := 0.8845 \quad \text{Arus balik sepanjang kapal pada midship, m/s}$$

$$\frac{(V_s + U)^2 - V_s^2}{2 \cdot g \cdot h} - \frac{U}{V_s + U} + \frac{A_s}{A_c} = -1.681 \times 10^{-4}$$

$$U = 0.884 \quad \text{Arus balik sepanjang kapal pada midship, m/s}$$

### Menghitung nilai Z

$$\alpha := 1$$

$$Z := \alpha \cdot \frac{(V_s + U)^2}{2 \cdot g} - \frac{V_s^2}{2 \cdot g}$$

$$Z = 0.735 \quad \text{Penurunan muka air karena kecepatan kapal, m}$$