

19.637/ITS 14/2004



**TUGAS AKHIR
(KL 1702)**

**ANALISA KEANDALAN ALUR BARITO,
BANJARMASIN**



Rtke
627.12
Chr
2-1
2003

Oleh :

BRAHMANTYA CHRISWARDHANA

NRP : 4397.100.029

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

2003

PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	8-4-2003
Terima Dari	H1
No. Agenda Prp.	216905

ANALISA KEANDALAN ALUR BARITO, BANJARMASIN

TUGAS AKHIR

Diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Pada

Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Mengetahui/ menyetujui

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Paulus Indiyono, MSc
NIP. 131 453 680



Dosen Pembimbing I,



Ir. Murdjito, Msc. Eng
NIP. 132 149 376

SURABAYA
Pebruari, 2003

ABSTRAK

Tugas akhir ini menganalisa keandalan alur Barito, Banjarmasin dimana pada alur tersebut sering terjadi kecelakaan kapal dengan prosentase terbesar adalah kandas. Dengan melakukan analisa keandalan dapat diketahui berapa nilai keandalan dari alur pelayaran Barito sehingga dapat ditentukan berapa kedalaman yang harus ditambahkan pada masing-masing section. Hal ini penting dilakukan guna menunjang perkembangan arus transportasi kapal dimasa mendatang. Tujuan Tugas akhir ini adalah untuk mengetahui faktor-faktor penting yang mempengaruhi keselamatan berlayar dialur barito serta mengetahui berapa nilai keandalan di tiap-tiap section. Dalam analisa keandalan ini digunakan metode simulasi Montecarlo. Dari hasil perhitungan yang dilakukan dapat diketahui ternyata nilai keandalan alur existing di tiap-tiap section adalah 0 % atau 100 % gagal. Untuk itu perlu ditambahkan kedalaman di tiap-tiap section untuk memenuhi kriteria perancangan yang membatasi hanya 10 % tingkat kegagalan selama umur desain. Untuk section 1 kedalaman yang perlu ditambahkan adalah 2.00 m untuk mencapai nilai keandalan 91.4 %, section 2 adalah 6.00 m untuk mencapai keandalan 91.42 %, sedangkan pada section 3 kedalaman yang perlu ditambahkan adalah 3.50 m untuk mendapatkan nilai keandalan sebesar 91.8 %, dan untuk section 4 adalah 3.25 m untuk keandalan 91.7 %. Pada section 5 kedalaman yang perlu ditambahkan adalah 2.40 m untuk memperoleh keandalan 92.4 % dan terakhir untuk section 6 kedalaman yang perlu ditambah sebesar 2.50 m untuk mendapatkan hasil keandalan 91.3 %.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil Alamin segala puji syukur kehadiran Allah yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ANALISA KEANDALAN ALUR BARITO, BANJARMASIN”.

Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat bagi setiap mahasiswa Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan – ITS untuk menyelesaikan studinya.

Penulis menyadari akan kelemahan dan keterbatasan diri, karenanya penulis ingin menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada semua pihak yang ikut berperan dan membantu penyelesaian tugas akhir ini, terutama kepada:

1. Mama tercinta yang mau dengan sabar dan pengertiannya menanti penyelesaian tugas akhir ini serta dukungan yang tiada hentinya baik berupa dorongan moral, material dan doanya. I Love you Mama.
2. Timbul, yang mau dengan sabar dan pengertiannya mengajari montecarlo sampai sejelas-jelasnya, thanks mbul.
3. Diah '98 yang membantu perhitungan Heaving-Pitching, meskipun tidak gratis, but anyway thanks ya, kalau enggak kamu Bantu bias-bisa enggak selesai TA-ku ini.
4. Pihak-pihak pemberi data : Pak Hariyono di PT Pelindo III, LetKol Joko M di Sat. Armada Lala Indonesia Timur, Mas Fieri di BMG Pusat Jakarta.

5. Bapak Murdjito dan Bapak Paulus Indiyono selaku dosen pembimbing yang dengan keikhlasannya membimbing, mengarahkan dan memberikan waktu, pikiran serta tenaganya untuk penyelesaian tugas akhir ini
6. Anak Laut'97 khususnya
7. Inggar, thanks atas dukungan, cinta dan kasih sayang yang diberikan.
8. Saudara-saudaraku,Dodi, dicky dan Mas fiki yang selalu siap mentraktirku kapan saja.

Penulis menyadari, bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan dimasa mendatang.

Akhir kata semoga tugas akhir ini memberikan manfaat bagi para pembaca sekalian.

Surabaya, Pebruari 2003

Brahmantya C

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR NOTASI	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan & Manfaat	I-3
1.4 Batasan Masalah	I-3
1.5 Sistematika Penulisan	I-4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Kondisi Umum Alur Pelabuhan	II-1
2.2 Kriteria Perencanaan Alur Pelabuhan	II-2
2.3 Kriteria Lingkungan	II-5
2.3.1 Angin	II-5
2.3.2 Transformasi Gelombang	II-6
2.3.3 Pasang Surut	II-6
2.4 Squat	II-8
2.5 Gerakan Kopel Heaving-Pitching	II-11
2.6 Konsep Keandalan	II-20
2.6.1 Fungsi Kinerja Sistem	II-22
2.6.2 Fungsi Kerapatan Peluang	II-23
2.7 Simulasi Montecarlo	II-27

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data	III-2
3.1.1 Data Lingkungan	III-2
3.1.2 Data Kapal	III-2
3.2 Analisa Data	III-3
3.2.1 Peramalan Tinggi Gel. Menggunakan Kec Angin	III-3
3.2.2 Perhitungan Nilai Amplitudo Heaving-Pitching	III-5
3.2.3 Pengujian Untuk Pemilihan Parameter Distribusi	III-6
3.3 Pemilihan Variabel Acak	III-7
3.4 Penentuan Moda Kegagalan	III-7
3.5 Simulasi Montecarlo	III-8

BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data	IV-1
4.1.1 Data Kedalaman Alur	IV-1
4.1.2 Data Pasang Surut	IV-2
4.1.3 Data Angin	IV-3
4.1.4 Data Kapal	IV-5
4.1.5 Hasil Perhitungan Kopel Heaving-Pitching	IV-5
4.1.6 Pengujian Pemilihan Parameter Distribusi	IV-6
4.2 Pembahasan	IV-8

BAB V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-2

DAFTAR PUSTAKA	xi
----------------	----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 : Penampang melintang alur metode schiff	II-10
2. Gambar 2.2 : Gerakan squat dan trim kapal	II-11
3. Gambar 2.3 : Diagram interfensi : kedua fkp terpisah	II-20
4. Gambar 2.4 : Diagram interfensi : kedua fkp mempunyai interfensi	II-21
5. Gambar 2.5 : Histogram : Kelompok kejadian	II-23
6. Gambar 2.6 : Fungsi kerapatan peluang	II-24
7. Gambar 2.7 : Flowchart transformasi $X_p \rightarrow a_p$	II-28
8. Gambar 2.8 : Diagram Alir untuk simulasi montecarlo	II-29
9. Gambar 3.1 : Diagram alir metodologi	III-1

DAFTAR TABEL

1. Tabel 4.1 : Tetapan Pasang-Surut	IV-2
2. Tabel 4.2 : Prosentase kejadian angin di wilayah Banjarmasin	IV-3
3. Tabel 4.3 : Hasil perhitungan Heaving-pitching utk H berbeda	IV-6
4. Tabel 4.4 : Kedalaman rata-rata Alur existing	IV-8
5. Tabel 4.5 : Tabel Analisa Keandalan	IV-9
6. Tabel 4.6 : Analisa Keandalan Alur setelah ditambah kedalaman x	IV-9
7. Tabel 4.7 : Tabel Hmin rata-rata dan Vlim untuk $P \geq 90 \%$	IV-10

DAFTAR NOTASI

Pada perhitungan Squat (Z) :

- A_c : penampang basah alur
 A_s : penampang basah kapal
 b : lebar tengah kapal
 B_o : lebar alur
 d : sarat kapal pada midship
 h_o : kedalaman awal alur sebelum pengaruh gerakan kapal
 V_s : kecepatan service kapal
 V_{lim} : kecepatan batas layar kapal pada kondisi debit maksimal
 U : arus balik pada kapal sepanjang midship
 U_{lim} : arus balik maksimal
 Z : depresi permukaan air
 Z_{lim} : depresi permukaan air maksimal

Pada perhitungan gerak Heaving-pitching kapal

- a : massa tambah
 A_{yy} : massa tambah momen inersia gerakan pitching
 b : koefisien damping untuk gerakan heaving
 B : Koefisien damping untuk gerakan pitching
 B_n : lebar kapal
 β_n : koefisien luasan strip
 c : koefisien gaya pengembali untuk gerakan heaving

C	: koefisien pengembali untk gerakan pitching
F	: gaya eksitasi
g	: percepatan gravitasi
I_{yy}	: massa inersia kapal
m	: massa kapal
S_n	: luasan melintang strip
T_n	: sarat kapal
z	: simpangan heaving struktur
λ	: panjang gelombang
α	: sudut beda phase
θ	: simpangan angular akibat gerakan pitching
ω_e	: frekuensi encountering
ω_n	: frekuensi natural

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Kontur kedalaman tiap Section

Lampiran 2 : Grafik pasang-surut

Lampiran 3 : Tabel perhitungan fetch, penentuan H_s

Lampiran 4 : Tabel perhitungan mencari nilai amplitudo Heaving-pitching

Lampiran 5 : Listing matlab untuk mencari nilai heaving-pitching

Lampiran 6 : Listing macro minitab

Lampiran 7 : Hasil Analisa Montecarlo

Lampiran 8 : Hasil Uji Coba Kecocokan Distribusi

BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minimnya derajat keselamatan di alur barito yang menyebabkan banyaknya terjadi kecelakaan kapal terutama kandas mendorong untuk dilakukannya studi analisa keandalan di alur tersebut sehingga dapat diketahui apakah kondisi alur yang sudah ada masih relevan untuk menerima arus kunjungan kapal untuk tahun-tahun mendatang yang diperkirakan jumlahnya akan terus meningkat.

Besarnya angka kecelakaan (berdasarkan data terakhir pada tahun 2001 tercatat 148 kapal kandas, 8 kapal tubrukan, 1 kapal kebakaran serta 3 kapal tenggelam) menunjukkan bahwa tingkat keselamatan berlayar di alur barito sangatlah rendah. Prosentase kecelakaan karena kandas yang paling besar (92,5 %) diakibatkan oleh kurangnya sarat minimal alur yang direkomendasikan sebesar ± 5 LWS oleh pihak Administratur Pelabuhan (ADPEL) disamping banyak faktor-faktor lain yang tidak kalah pentingnya seperti tidak optimalnya Sarana Bantu Navigasi yang tersedia (hilang, rusak, tidak bergungsi, bergeser dari posisi mula) sehingga menyulitkan nahkoda kapal untuk masuk terutama nahkoda yang tidak mengenal daerah tersebut. Disamping juga tingginya frekuensi lalu lintas kapal yang melewati alur muara sungai barito sejumlah ± 25 kapal masuk dan ± 25 kapal keluar yang kondisi ini tidak ditunjang oleh ukuran alur yang memadai baik itu dari segi kedalaman, lebar maupun kemiringannya.

Tingginya tingkat sedimentasi yang terjadi pada alur untuk mencapai kedalaman minimal 5 LWS sulit dicapai, bahkan diperlukan usaha perawatan pengerukan secara rutin yang tentu saja dari segi biaya ini tidak ekonomis dan efektif. Memang perlu dipikirkan penyelesaian jangka panjangnya yang mungkin saja adalah pembuatan alur baru yang mengikuti *streamline* arus sehingga terjadi *self dredging*, yang untuk jangka panjang tentu dapat mengurangi biaya perawatan. Biaya pembuatan alur baru memang tidaklah murah (+/- US \$ 30.5 juta dengan *cost maintenance dredging* sebesar 2,5 juta m³/th) tapi jika dibanding dengan biaya investasi untuk perbaikan alur lama yang besarnya mencapai US\$ 27 juta dengan *cost maintenance dredging* nya yang mencapai 4,5 juta m³/th (Pelindo, 2000), biaya yang mahal tadi tidak sebanding dengan manfaat yang dicapai.

Studi ini hanya memfokuskan diri pada studi keandalan dari kondisi alur yang sudah ada. Disini kita mencoba mengkaji apakah kondisi yang ada sekarang masih relevan terhadap lalu lintas kapal yang ada dengan hanya meninjau tiga kondisi yang berpengaruh pada kondisi alur, yaitu olah gerak kapal (*Heaving-pitching*), *squat* dan pasang surut.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam studi ini adalah :

1. Apakah faktor-faktor utama yang menyebabkan terjadinya kecelakaan kapal di alur barito, terutama alur yang menuju kawasan pelabuhan Trisakti, Banjarmasin
2. Berapa nilai keandalan dari alur pelabuhan barito saat ini yang kita tinjau berdasarkan variable acak kontur/ kedalaman alur, gerakan kapal serta pengaruh pasang surut.

1.3 Tujuan & Manfaat

Studi ini bertujuan untuk :

1. Mengidentifikasi parameter-parameter utama apa saja penyebab kecekaan kapal di alur barito
2. Mengetahui berapa nilai keandalan alur barito yang ada saat ini hanya berdasarkan variable acak kontur alur, gerakan kapal dan pasang surut yang terjadi sehingga dapat diketahui langkah-langkah apa saja yang perlu dilakukan untuk penanganan lebih lanjut.

1.4 Batasan Masalah

Agar lebih memudahkan analisa yang kami lakukan dan dapat dicapai tujuan yang diharapkan, maka batasan masalah dalam tugas akhir ini ialah :

1. Variabel acak yang digunakan hanya dibatasi pada kontur alur, olah gerak kapal (*Heaving-Pitching*), *squat* serta pasang surut yang terjadi.

2. Variabel-variabel lain seperti tingkat sedimentasi, besarnya arus , dan pola navigasi kapal tidak diikut sertakan dalam analisa ini.
3. Analisa keandalan yang digunakan menggunakan Simulasi Montecarlo dengan menggunakan software Minitab, sedang perhitungan Heaving-Pitching menggunakan bantuan software Mathlab.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam studi ini sebagai berikut :

Dalam Bab I (pendahuluan) diuraikan mengenai latar belakang mengapa diambil judul ini, perumusan masalah yang akan mengemukakan masalah-masalah yang akan diangkat, batasan masalah yang membatasi penyelesaian masalah agar tidak terlalu meluas, tujuan dan manfaat yang ingin daicapai dari studi ini serta sistematika penulisan.

Dalam Bab II (Dasar Teori) akan diuraikan tentang kondisi alur secara umum, kriteria / hal-hal apa saja yang mempengaruhi derajat keselamatan berlayar di alur, lalu teori/ metoda apa yang digunakan untuk menganalisa keandalan dari alur tersebut, serta mengetahui distribusi apa yang cocok untuk menggambarkan hasil dari analisa tersebut

Dalam Bab III (Metodelogi penelitian) akan diuraikan mengenai langkah-langkah dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini, mulai dari studi literatur, pengambilan/ pemanfaatan data, perhitungan gelombang signifikan dan pasang surut yang terjadi pada alur barito, penentuan moda kegagalan dan perubah dasarnya.

Dalam Bab IV (Hasil dan Pembahasan) akan diuraikan mengenai perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan moda kegagalan yang ada dan dapat diketahui berapa nilai keandalan dari alur barito saat ini (*section per section*).

Dalam Bab V (Kesimpulan dan Saran) berisi kesimpulan dari hasil analisa yang dilakukan yang akan menjawab semua permasalahan serta berisi saran-saran apa saja yang perlu dilakukan untuk penanganan lebih lanjut.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kondisi Umum Alur Pelabuhan

Secara umum kondisi alur pelabuhan sangat menentukan daya tarik para pengguna jasa pelabuhan dalam memilih pelabuhan. Kondisi alur yang sempit, dangkal serta rawan terhadap kecelakaan menjadikan perusahaan pelayaran enggan mengoperasikan kapal-kapalnya di pelabuhan tersebut, demi menghindari resiko kerugian operasional yang harus dhadapi. Untuk itu kondisi alur juga akan menjadi permasalahan penting bagi pihak operator pelabuhan untuk meningkatkan kemampuan pelayanan kapal.

Sebagian besar pelabuhan penting di Indonesia berada di muara sungai atau teluk yang terlindung, seperti pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Pontianak, Banjarmasin, dan pelabuhan lainnya. Kapal-kapal yang akan menuju atau dari pelabuhan tersebut diwajibkan menggunakan jasa pandu dan penundaan sebelum menuju ke laut lepas untuk menghindari terjadinya kecelakaan karena berlayar di alur.

Thorensen mengelompokkan alur pelayaran (*Channels/ water ways*) didalam empat klasifikasi, yakni :

- a. Group A : Alur pelayaran utama dimana tersedia alat navigasi siang dan malam juga tersedia jaminan informasi kedalaman secara akurat.
- b. Group B : Sama seperti group A, tetapi hanya tersedia rambu navigasi untuk siang hari.

- c. Group C : Pada alur-alur penting tersedia rambu navigasi dan kedalaman alur dilakukan survei secara teratur.
- d. Group D : Alur pelayaran lokal yang tidak mempunyai rambu navigasi dan kedalaman hanya berdasarkan estimasi.

Selanjutnya Thorensen juga menggolongkan alur pelayaran berdasar kondisi fisik lingkungan, yang terbagi atas tiga kelompok, yakni :

1. *Unrestricted Channels* : Alur di perairan dangkal dengan lebar alur minimum 10 s/d 15 kali lebar kapal terbesar tanpa perlu dilakukan pengerukan.
2. *Semi restricted channels* : Alur di perairan dangkal pendalam dengan lebar yang cukup besar, tapi untuk pendalam diperlukan pengerukan.
3. *Fully restricted channels* : Alur perairan yang sepenuhnya dilakukan dengan pengerukan.

2.2 Kriteria Perencanaan Alur Pelabuhan

Lay-out umum dari alur pelayaran dirancang sedemikian rupa sehingga kapal dapat melakukan pelayaran hingga tingkat derajat keselamatan tertentu terhadap pengaruh lingkungan seperti pasang surut, hembusan angin, perubahan fluktuasi muka air laut dan pengaruh hempasan gelombang.

Jika dimungkinkan sudut resultan antara arah angin dan arus dengan orientasi alur dibuat sekecil mungkin. Demikian juga dengan jumlah belokan alur dan sudut defleksi alur supaya dibuat seminim mungkin untuk memudahkan kapal melakukan navigasi dan manuver. Selain itu, alur lebih baik berada pada

lingkungan dengan kondisi perairan secara alami cukup dalam, sehingga kebutuhan biaya pengerukan untuk perawatan alur dapat diminimalkan.

Demikian juga pengaruh dari transport sedimen serta erosi pada alur bila mungkin pengaruhnya di reduksi sekecil mungkin. (Murdjito, 2001). Atau juga alur berada pada *mainstream* arus sungai sehingga terjadi *self dredging*, sehingga terjadi pengerukan dengan sendirinya yang pada akhirnya juga dapat mengurangi biaya perawatan.

Menurut JICA, 1995 (Murdjito, 2001) dalam “*Technical Standart for Port and Harbour facilities*” suatu alur yang aman sangat tergantung oleh beberapa faktor, antara lain : SBN (Sarana Bantu Navigasi) yang aman, kemudahan operasi kapal, topografi, fenomena cuaca dan laut, dan koordinasi dengan sarana-sarana lainnya.

Disamping ukuran kapal sebagai faktor penting dalam penentuan ukuran alur, gerakan kapal seperti *pitching* dan *rolling* juga berperan penting dalam menentukan ukuran alur yang memenuhi kriteria (Groenveld, 1997). Untuk itu sering ukuran kedalaman alur dibedakan antara kedalaman alur di luar kolam labuh dengan kedalaman alur di dalam kolam labuh. Kedalaman alur di luar kolam labuh umumnya lebih besar dibandingkan dengan kedalaman alur di dalam kolam labuh (Bruun, 1981). Hal ini dikarenakan di luar kolam labuh amplitudo gerakan *pitching* kapal sebagai akibat gelombang atau gerakan air lebih besar dibandingkan dengan amplitudo pitching kapal di kolam labuh yang terlindung dari gelombang dan pengaruh angin.

Permanent International Association of Navigational Congresses (PIANC, 1985) merekomendasikan bahwa minimum kedalaman alur adalah sarat air kapal pada musim panas ditambah dengan 5 s/d 8 feet (1,5 s/d 2,5 meter). Walaupun kriteria diatas ini dipakai sebagai acuan dalam perencanaan alur, PIANC juga merekomendasikan agar perhitungan kedalaman alur secara detail juga dilakukan, dengan mempertimbangkan aspek sarat kapal, pasut, perubahan densitas air, *squat*, *pitching*, dan *rolling* kapal, trim, dan faktor empiris karena tingkat pendangkalan (*shoaling rate*).

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

Di sisi lain, biaya yang ditimbulkan akibat kapal kandas atau kecelakaan sebagai akibat dari ukuran alur yang tidak memadai juga cukup besar baik biaya sebagai akibat langsung hilangnya investasi maupun biaya dari dampak akibat kecelakaan tersebut. Hal ini menuntut ukuran alur minimum yang aman untuk operasional kapal dalam segala kondisi. Dalam pertimbangan perencanaan ukuran alur yang optimum, juga aspek waktu tunggu kapal sebagai akibat 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 pertimbangan diatas menjadi jelas bahwa tuntutan perencanaan alur yang optimal menjadi harapan semua pihak pengguna jasa pelabuhan, seperti : Perusahaan pelayaran, port operator, pengirim barang, dan lain-lain. Kebutuhan optimasi perencanaan kedalaman alur sudah pernah tercetus di tahun 70-an oleh Massie dan Bijker (Hans Moes, 2000). Dalam perencanaan alur pelabuhan dewasa ini PIANC, 1985 menyarankan menggunakan pendekatan Probabilistik untuk mendapatkan dimensi alur yang optimal (kedalaman dan lebar alur), juga mempertimbangkan tingkat resiko yang mungkin terjadi.

2.3 Kriteria Lingkungan

2.3.1 Angin

Data angin disini dibutuhkan untuk membangkitkan gelombang. Data angin yang digunakan disini adalah data angin yang dimiliki oleh Kantor Badan Metreologi dan Geofisika Pusat Jakarta untuk daerah Banjarmasin dan sekitarnya.

Di dalam tinjauan pembangkit gelombang dilaut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang , gelombang dibangkitkan dari berbagai sudut terhadap arah angin. Fetch efektif diberikan oleh persamaan berikut :

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan :

F_{eff} : Fetch efektif

X_i : Panjang segmen fetch
: Deviasi arah mata angin

2.3.2 Transformasi Gelombang

Dari data gelombang yang telah didapatkan nantinya kemudian dilakukan perhitungan transformasi gelombang karena pada saat gelombang merambat ke arah pantai akan mengalami perubahan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman laut. (CERC, SPM 1984).

Suatu hal yang dapat diamati di tepi pantai adalah perubahan tinggi gelombang (*shoals*). Selain itu gelombang juga akan mengalami perubahan arah akibat variasi kedalaman laut. Peristiwa berubahnya arah perambatan dan tinggi gelombang di sebut *refraksi*.

Sedangkan jika gelombang yang merambat tersebut terhalangi oleh suatu bangunan laut maka akan terjadi penyebaran energi gelombang ke arah samping (*lateral*) dari arah perambatan gelombang dan peristiwa semacam ini yang disebut dengan *defraksi*.

2.3.3 Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut sebagai akibat fungsi waktu karena adanya tarik-menarik benda-benda di langit, terutama bulan dan matahari terhadap bumi.

Tipe pasang surut (pasut) dapat ditentukan dengan menghitung misbah antara amplitudo unsur-unsur pasut tunggal utama dengan

amplitudo unsur pasut ganda utamanya. Indeks ini dikenal sebagai bilangan Formzahl (F) yang mempunyai rumus-rumus sebagai berikut :

$$F = \frac{(O_1 + K_1)}{(M_2 + S_2)} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan :

F : 0,00 – 0,25 : Pasut ganda (*semi diurnal*)

F : 0,26 – 1,50 : Pasut campuran, dengan tipe ganda yang menonjol (*mixed, mainly semi diurnal*).

F : 1,51 – 3,00 : 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 gaya tarik matahari.

M_2 : Unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan.

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

Penentuan elevasi muka air karena pasut ditentukan dengan rumus sebagai berikut (Murdjito, 2001) :

Mean high Water Spring (MHWS) : $Z_o + (A_{M2} + A_{S2})$

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

Highest High Water Spring (HHWS) : $MHWS + (A_{K1} + A_{O1})$

Lowest Low Water Spring (LLWS) : $MLWS - (A_{K1} + A_{O1})$

Highest Astronomical Tide (HAT) : $Z_o + \sum A_i$

Lowest Astronomical Tide (LAT) : $Z_o - \sum A_i$

Dimana : Z_o = muka air rerata diukur dari datum

A_i = amplitudo masing-masing konstituen

2.4. Squat

Displacement kapal akan menimbulkan aliran fluida (arus air) sepanjang sisi dan bagian bawah kapal dengan arah berlawanan dengan arah kecepatan gerak kapal. Hal ini akibat deperesi 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 dianalisa dengan pendekatan kekelan energi atau metode schiff (1949). Dalam metode schiff ini perhitungan dilakukan terhadap penurunan muka air (water level depression) dan arus balik (return current).

Akibat deperesi 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.

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) :

$$1 - \frac{As}{Ac} - \frac{Z}{h} - \left[1 + \frac{4Z/h}{Vs^2/gh} \right]^{1/2} = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

Kondisi maksimum debit didapat jika

$$Z = \frac{(Vs + U)^2}{2g} - \frac{Vs^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(4)$$

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

$$Q_{maks} = V_{lim} \cdot Ac = (V_{lim} + U) \cdot (Ac - As - Bo \cdot Z) \quad \dots\dots\dots(5)$$

dengan : 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

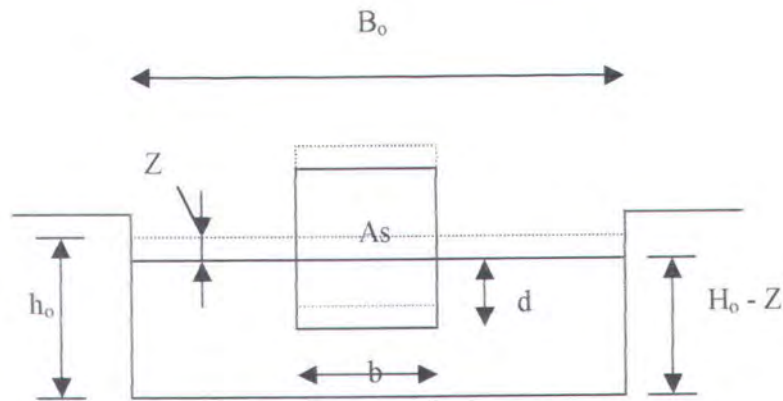
Ac : penampang basah alur

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 schijt

Jika Fr angka Froude untuk kondisi berikut :

$$Fr = \frac{V \lim}{\sqrt{gh}} \dots\dots\dots (6)$$

Maka persamaan diatas dapat diturunkan menjadi

$$1 - \frac{A_s}{Ac} + 0.5Fr^2 - 1.5Fr^{3/2} = 0 \dots\dots\dots (7)$$

Pada kondisi kapal berlayar dengan kecepatan batas didapat :

$$\frac{Z \lim}{h} = \frac{1}{3} \left[1 - \frac{A_s}{Ac} \cdot \frac{V \lim^2}{gh} \right] \dots\dots\dots (8)$$

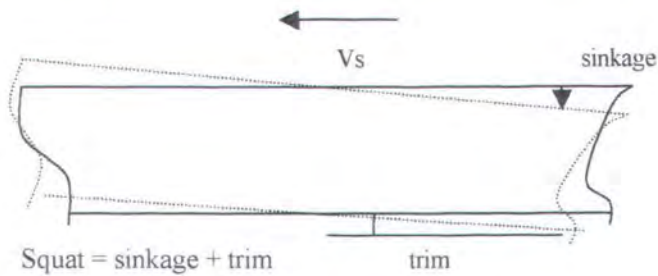
dan

$$\frac{U \lim}{\sqrt{gh}} = \left[\frac{2}{3} \left(1 - \frac{A_s}{Ac} + 0.5 \frac{V \lim^2}{gh} \right) \right]^{1/3} \dots\dots\dots (9)$$

Koreksi terhadap bentuk badan kapal dengan memasukan nilai $\alpha = 1-1,2$ sehingga persamaan diatas menjadi :

Pers (10) :

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



Gambar 2.2 : Gerakan Squat dan Trim Kapal

2.5 Gerakan kopel Heaving-Pitching

Untuk menghitung elevasi bangunan apung terhadap MWL akibat kopel heaving dan pitching maka digunakan teori strip dimana sebuah benda terapung dibagi secara transversal menjadi beberapa bagian yang selanjutnya disebut sebagi 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 : $m.\ddot{z} = \Sigma F$ (11)

Persamaan untuk pitching : $I.\ddot{\theta} = \Sigma M$ (12)

dengan :

ΣF = jumlah fluida gaya

ΣM = jumlah momen gaya yang bekerja pada strip akibat gerak relatif

terhadap fluida maka persamaan diatas dapat ditulis kembali menjadi :

$\Sigma F = (m + ma).\ddot{z}$ (13)

dengan :

m = massa strip

ma = massa tambah strip untuk gerakan heaving.

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

$$cz = (m + ma)\ddot{z} + b\dot{z} \dots\dots\dots(14)$$

dengan : b = koefisien gaya redaman

C = koefisien gaya pengembali

Jika diasumsikan bahwa strip mendapat beban gelombang dengan ξa amplitudo 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 :

$$m\ddot{z} = F = ma(-\ddot{z} + \ddot{\zeta}) + b(-\dot{z} + \dot{\zeta}) + c(-z + \zeta) \dots\dots\dots(15)$$

atau

$$(m + ma)\ddot{z} + b\dot{z} + cz = ma\ddot{\zeta} + b\dot{\zeta} + c\zeta \dots\dots\dots(16)$$

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

$\dot{\zeta}$ = kecepatan fluida

ζ = displacemen fliuda

Ruas kanan pada persamaan (12) diatas disebut sebagai exciting force.

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

$$wr = \ddot{z}r = \dot{z} - (\zeta\dot{\theta} + \theta\dot{\zeta}) - \dot{\zeta} \dots\dots\dots(17)$$

Apabila strip tersebut memiliki percepatan u maka :

$$d\zeta / dt = \dot{\zeta} = -u \dots\dots\dots(18)$$

Sehingga percepatan relatifnya menjadi :

$$\dot{w}_r = \ddot{z} - \xi \dots\dots\dots(19)$$

$$= Z - \xi\theta + 2u\theta - \xi \dots\dots\dots(20)$$

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

$$\frac{\delta f_n}{\delta \theta} = -m_n \ddot{z}_n - [a_n w_r + b_n \dot{w}_r] - c_n Z_r \dots\dots\dots(21)$$

- dengan: $\ddot{z}_n$ = gaya inersia akibat percepatan massa strip
- $a_n \dot{w}_r$ = gaya hidrodinamika akibat percepatan massa tambah
- $b_n w_r$ = gaya damping akibat kecepatan relatif
- $c_n Z_r$ = gaya hidrostatik akibat perubahan posisi

jika :

$$\begin{aligned} \frac{d(a_n w_r)}{dt} &= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \frac{dw_r}{dt} \\ &= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \dot{w}_r \dots\dots\dots(22) \end{aligned}$$

maka persamaan (17) dapat ditulis kembali menjadi :

$$\frac{\delta f_n}{\delta \xi} = -m_n \ddot{z}_n - a_n \dot{w}_r - \left(b_n + \frac{da_n}{dt} \right) w_r - c_n Z_r \dots\dots\dots(23)$$

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

$$\frac{\delta f_n}{dt} dx = 0 \dots\dots\dots(24)$$

Displacement horizontal yang terjadi adalah :

$$X = \xi + ut \dots\dots\dots(25)$$

Dimana ut adalah displacemen antara sumbu utama dengan titik pangkal benda. Untuk waktu tertentu, ut akan konstan sehingga :

$$dx = d\xi + d(ut) = d\xi \dots\dots\dots(26)$$

Untuk mendapatkan penjumlahan gaya, persamaan (19) di integrasi menjadi :

Pers (27) :

$$-\int \frac{\delta f n}{\delta \xi} d\xi = \int m_n \ddot{Z}_n d\xi + \int a_n \dot{w}_r d\xi + \left(\int b_n w_r d\xi - u \int \frac{da_n}{d\xi} w_r d\xi \right) + \int c_n Z_r d\xi$$

dengan :

$$\ddot{Z}_n = \ddot{Z} - \xi \ddot{\theta} \dots\dots\dots(28a)$$

$$Z_r = Z - \xi \theta - \zeta e^{-kz} \dots\dots\dots(28b)$$

e^{-kz} = faktor penurunan tekanan

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

$$w_r = \frac{dz_r}{dt} = \dot{Z} - \xi \dot{\theta} + u \theta - \zeta e^{-kz} \dots\dots\dots(29)$$

$$\dot{w}_r = \frac{dw_r}{dt} = \ddot{Z} - \xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta} - \zeta e^{-kz} \dots\dots\dots(30)$$

Untuk penyederhanaan, suku-suku gerakan absolut kapal

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

dipisahkan dari suku-suku gerakan gelombang $(\xi, \dot{\xi}, \ddot{\xi})$. Ruas kiri persamaan menyatakan respon natural pada displacemen awal dalam still water dan ruas

kanan menyatakan kondisi gelombang yang disebut force function, subsitusi Z_r, w_r, W_r dan Z_n dari persamaan (23) diperoleh :

$$\begin{aligned} m_n(\ddot{Z}-\ddot{\xi}\dot{\theta})+a_n(\dot{Z}-\dot{\xi}\dot{\theta}+2u\dot{\theta})+b_n(\dot{Z}-\dot{\xi}\dot{\theta}+u\dot{\theta})-\frac{da_n}{d\xi}(\dot{Z}-\dot{\xi}\dot{\theta}+u\dot{\theta})+c_n(Z-\xi\theta) \\ = \ddot{\xi}e^{-kz}a_n-\ddot{\xi}e^{-kz}-u\frac{da_n}{dt}\dot{\xi}e^{-kz}+\xi e^{-kz}c_n \end{aligned} \tag{31}$$

Pada persamaan (28) diatas, ruas kanan menyatakan exciting force untuk masing-masing strip yang disebabkan oleh gelombang df/dx . Dengan mengansumsikan gelombang reguler dan harmonik maka dengan mensubsitusikan formulasi $x = \xi + ut$ kedalam persamaan diatas maka :

$$\zeta = \zeta a.\sin k(\xi + (u + V_w)t) \tag{32}$$

Jika $-k(u-vW) = \omega e$ dan ωe merupakan frekuensi encounter maka kecepatan dan percepatan elevasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\zeta = \zeta a.\sin (k\zeta - \omega.e.t) \tag{33}$$

$$\dot{\zeta} = -\zeta a.\omega e \cos (k\zeta - \omega.e.t) \tag{34}$$

$$\ddot{\zeta} = -\zeta a.\omega e^2 \sin (k\zeta - \omega.e.t) \tag{35}$$

Dengan mensubsitusikan ke dalam persamaan (13) dan kemudian hasilnya diintegrasikan terhadap panjang benda, diperoleh persamaan dasar I untuk gerakan translasi pada kopel heaving dan pitching, yaitu :

$$(m + ma) \ddot{z} + b\dot{z} + cz + d\ddot{\theta} + e\dot{\theta} + h\theta = F(t) \tag{36}$$

dengan :

$$m = \int m_n d\xi \tag{37}$$

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

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

Karena diasumsikan $u \int (da_n / d\xi) d\xi = 0$, maka :

$$c = \int c_n d\xi \quad \dots\dots\dots(38)$$

Yang dapat juga dinyatakan sebagai $\rho \cdot g \int B_n d\xi$, dengan B_n merupakan lebar masing-masing seksi.

$$d = -\int a_n \xi d\xi \quad \dots\dots\dots(39)$$

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

$$\begin{aligned} e &= -\int b_n \xi d\xi + 2u \int a_n d\xi + u \int (da_n/d\xi) \xi d\xi \\ e &= -\int b_n \xi d\xi + u ma \quad \dots\dots\dots(40) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} h &= -\int c_n \xi d\xi + u \int b_n d\xi \\ &= -\int c_n \xi d\xi + ub \quad \dots\dots\dots(41) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} F(t) &= \int \frac{dF}{dx} dx = \\ &= \zeta \cdot a e^{-kz} \int \left(-\omega e^2 a_n + c_n \right) \sin(k\xi - \omega \cdot et) d\xi - \zeta \cdot a e^{-kz} \omega \cdot e \int \left(b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \cos(k\xi - \omega \cdot et) d\xi \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} F_o &= F_1 \cos \omega et + F_2 \sin \omega \\ &= F_o \cos (\omega et - \sigma) \quad \dots\dots\dots(42) \end{aligned}$$

Dengan F_o merupakan simpangan dari exciting force yang dinyatakan sebagai berikut :

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

Sedangkan σ merupakan sudut phase yang dinyatakan sebagai berikut :

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

F_1 dan F_2 dapat diperoleh dari persamaan berikut :

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

$$\frac{dF_1}{dx} = \zeta . a e^{-kz} \left(-\omega . e^{-2} a_n + c_n \right) \sin k\xi + \zeta . a e^{-kz} \omega . e \left(b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \cos k\xi \dots (43)$$

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

$$\frac{dF_2}{dx} = \zeta . a e^{-kz} \left(-\omega . e^{-2} a_n + c_n \right) \cos k\xi + \zeta . a e^{-kz} \omega . e \left(b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \sin k\xi \dots (44)$$

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

$$(I_{yy} + A_{yy}) \ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta + D\ddot{z} + E\dot{z} + Hz = M(t) \dots \dots \dots (45)$$

dengan :

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

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

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

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

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

$$D = d$$

$$E = -\int b_n \xi d\xi - u m a$$

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

Amplitudo momen eksitasi M_0 dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$M_0 = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \dots\dots\dots(46)$$

Sudut phase τ akibat momen eksitasi terhadap gerakan gelombang adalah :

$$\sigma = -\tan^{-1}(M_2 / M_1) \dots\dots\dots(47)$$

dengan :

$$M_1 = \int \frac{dM_1}{d\xi} d\xi$$

$$\frac{dM_1}{dx} = \xi \left(\frac{dF_1}{dx} \right)$$

$$M_2 = \int \frac{dM_2}{d\xi} d\xi$$

$$\frac{dM_2}{dx} = \xi \left(\frac{dF_2}{dx} \right)$$

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

$$P = -(m + ma) \omega^2 + iB\omega + c \dots\dots\dots(48)$$

$$Q = -d\omega^2 + ie\omega + h \dots\dots\dots(49)$$

$$S = -(I_{yy} + A_{yy})\omega^2 + iB\omega + c \dots\dots\dots(50)$$

$$R = -D\omega^2 + ie\omega + H \dots\dots\dots(51)$$

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

$$F = F_0 e^{i\sigma} \text{ dan } M = M_0 e^{i\sigma}$$

Jika Z menyatakan seluruh komponen z dan θ menyatakan seluruh komponen θ maka persamaan dasar I dan II dapat ditulis kembali :

$$Pz + Q\theta = F \text{ dan } S\theta + Rz = M$$

Sehingga untuk persamaan heaving adalah :

$$\bar{z} = \frac{\bar{F} - Q\bar{\theta}}{P} \quad \text{dan} \quad \bar{\theta} = \frac{\bar{F} - P\bar{z}}{Q} \quad \dots\dots\dots(52)$$

Sedangkan untuk persamaan pitching adalah :

$$\bar{z} = \frac{\bar{M} - S\bar{\theta}}{R} \quad \text{dan} \quad \bar{\theta} = \frac{\bar{M} - R\bar{z}}{S} \quad \dots\dots\dots(53)$$

Jika persamaan diatas disubsitusikan akan diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{\bar{F} - Q\bar{\theta}}{P} = \frac{\bar{M} - S\bar{\theta}}{R} \quad \text{dan} \quad \frac{\bar{F} - P\bar{\theta}}{Q} = \frac{\bar{M} - R\bar{\theta}}{S} \quad \dots\dots\dots(54)$$

Dari persamaan (36) dan (38) diatas diperoleh solusi akhir untuk persamaan gerak kopel heaving-pitching. Simpangan dan sudut phase untuk Z dan θ dapat diperoleh dari persamaan berikut :

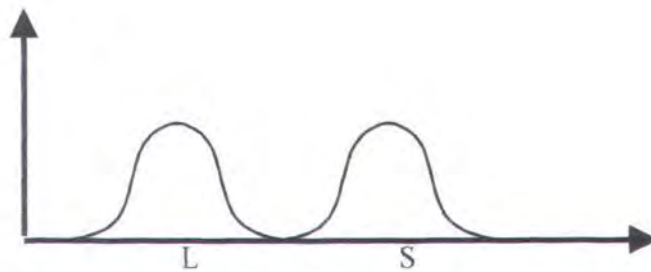
$$\bar{z} = z_a e^{i\delta} = z_a (\cos \delta + i \sin \delta) \quad \dots\dots\dots(55)$$

$$\bar{\theta} = \theta_a e^{i\varepsilon} = \theta_a (\cos \varepsilon + i \sin \varepsilon) \quad \dots\dots\dots(56)$$

2.6 Konsep Keandalan

Definisi keandalan sebuah sistem yaitu peluang sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu [Rosyid, D. M (1996)]. Untuk mengembangkan pemahaman atas persoalan keandalan, perlu dibahas lebih dahulu tentang konsep Diagram Interfensi.

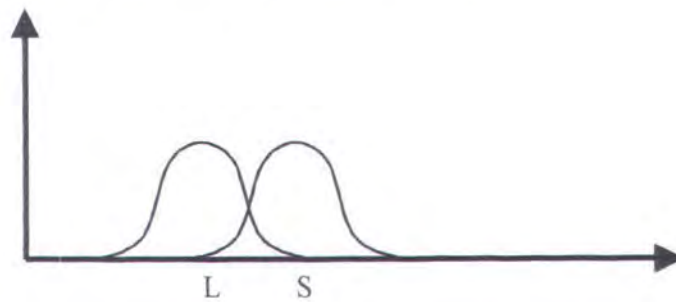
Apabila diasumsikan bahwa sebuah komponen memiliki kekuatan yang terdistribusi mengikuti suatu fungsi kerapatan peluang f_{kp_s} , dan efek pembebanan yang juga terdistribusi menurut f_{kp_l} , maka mudah dipahami bahwa apabila f_{kp_s} terpisah sama sekali dengan f_{kp_l} , secara teoritis komponen tersebut memiliki keandalan $K = 1$, dengan kata lain komponen tersebut tidak akan pernah gagal. Hal ini dapat dilihat pada gambar tersebut :



Gambar 2.3 : Diagram Interfensi : kedua f_{kp} terpisah sama sekali

Pada gambar di atas, S adalah harga rata-rata kekuatan komponen S , L adalah harga rata-rata efek beban L , σ_S adalah simpangan baku kekuatan komponen S , σ_L adalah simpangan baku efek L . Simpangan baku adalah suatu ukuran penyebaran yang sederhana dari sebuah besaran harga rata-ratanya.

Apabila kedua fkp memiliki bagian yang berhimpitan, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut, maka peluang terjadinya kegagalan pada komponen tidak lagi nol. Ini ditunjukkan pada daerah yang diarsir, sebagai suatu indikasi bahwa suatu ketika akan terjadi sebuah kejadian dimana efek beban L melebihi kekuatan komponen S , sehingga terjadi kegagalan.



Gambar 2.4 : Diagram Interfensi : kedua fkp mempunyai interfensi yang cukup berarti

Dalam konsep Diagram Interfensi seperti diatas terdapat sebuah parameter baru yang disebut Margin Keselamatan (*Safety Margin*) MK. Margin Keselamatan yaitu suatu batas antara kondisi dimana suatu sistem rekayasa dinyatakan masih dapat beroperasi dan gagal beroperasi.

Ini dinyatakan sebagai berikut :

$$MK = \frac{S - L}{\sqrt{\sigma^2_S + \sigma^2_L}} \dots\dots\dots(57)$$

Dalam persamaan diatas untuk menentukan MK harus memperhitungkan variasi kekuatan sekaligus beban. Variasi pada kekuatan komponen dapat berasal dari gabungan berbagai variasi proses-proses metalurgis dan fabrikasi yang terjadi pada saat pembuatan komponen tersebut, sementara variasi pada

efek beban disebabkan karena variasi pada tugas dan lingkungan kerja komponen tersebut.

Asumsi yang dipakai pada Diagram Interfensi adalah bahwa untuk masalah pembebanan berulang fkp yang terbaik adalah tidak berubah. Asumsi ini sah untuk sistem atau komponen elektronika, sedangkan untuk sistem atau komponen mekanika, dimana kekuatannya menurun akibat pengausan, korosi dan kelelahan, asumsi ini tidak sepenuhnya sah. Dengan demikian pada kondisi sebenarnya fkp, untuk komponen mekanik akan bergerak ke kiri dalam Diagram Interfensi, sehingga akan menurunkan keandalannya.

2.6.1 Fungsi Kinerja Sistem

Fungsi Kinerja sistem (FK) adalah sebuah fungsi yang menyatakan Moda kegagalan yang akan diperkirakan peluang terjadinya dalam perubah-perubah (x) yang mengatur moda kegagalan tersebut [Rosyid, D.M. (1996)]. Dari sekian perubah ini, sebagian tidak dapat disebut sebagai perubah acak. Hanya beberapa saja dari perubah-perubah tersebut yang memiliki ketidakpastian yang cukup besar sehingga wajar jika diperlakukan sebagian perubah acak dengan fkp tertentu. Perubah-perubah ini selanjutnya disebut perubah dasar (*basic variable*) dalam fungsi kinerja sistem. Secara matematis, fungsi kinerja yang mempunyai sejumlah basic variable dapat dituliskan :

$$FK(x) = FK(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \dots\dots\dots (58)$$

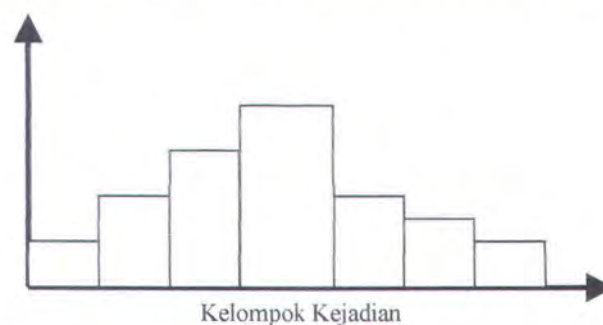
Bentuk paling sederhana yaitu apabila FK (x) merupakan fungsi linear (x), yaitu :

$$FK(x) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad \dots\dots\dots(59)$$

Dengan a_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$ adalah konstanta, dan x_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$ adalah perubah-perubah dasar dengan fkp yang diketahui.

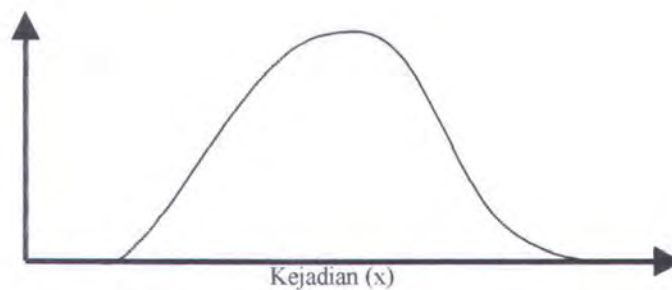
2.6.2 Fungsi Kerapatan Peluang

Konsep peluang adalah suatu konsep yang sangat penting dalam rekayasa keandalan. Peluang, secara mudah dapat diartikan sebagai kesempatan . Makna khusus peluang adalah bahwa sebuah kejadian tidak dapat diramalkan dengan pasti [Rosyid, D.M. (1996)]. Peluang sebuah kejadian dapat dianggap sebagai besarnya kesempatan kejadian tersebut timbul. Dalam Kerangka Teori Himpunan, seluruh luasan dalam semesta S mencerminkan peluang semua kejadian-kejadian yang mungkin terjadi dalam konteks tertentu. Peluang sebuah kejadian tunggal atau majemuk dalam keseluruhan sample space di S , dicerminkan oleh luasan himpunan yang beranggotakan kejadian-kejadian yang dimaksud dalam semesta S . Hal ini dapat digambarkan secara jelas dengan menggunakan sebuah histogram.



Gambar 2.5 Histogram : Kelompok kejadian terhadap jumlah kejadian

Sumbu absis histogram tersebut menunjukkan kelompok kejadian tertentu, dan sumbu ordinat menunjukkan jumlah terjadinya kejadian yang dimaksud pada sumbu absis. Selanjutnya histogram jumlah kejadian dapat diubah menjadi histogram frekuensi relatif dengan cara membagi jumlah kejadian pada tiap-tiap kelompok kejadian dengan jumlah kejadian total. Jika Interfal kelompok kejadian pada sumbu absis diperkecil hingga menjadi sangat kecil, maka akan didapat sebuah kurva yang halus. Kurva inilah yang biasa disebut sebagai *Fungsi Kerapatan Peluang (fkp)* atau *Probability density Function (pdf)*, seperti yang terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.6 Fungsi Kerapatan Peluang : Kejadian terhadap Peluang Kejadian

Pada pengamatan di lapangan, terdapat banyak fkp yang mengikuti bentuk suatu jenis distribusi. Beberapa jenis distribusi yang umum dijumpai di lapangan antara lain:

- Distribusi normal

Dalam bidang rekayasa bentuk distribusi normal merupakan bentuk distribusi yang paling umum dijumpai. Bila x adalah variable yang ditinjau, maka dalam mengidentifikasi perilaku

distribusi variable suatu sistem dapat ditunjukkan dengan persamaan :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma_x} \right)^2} \dots\dots\dots (60)$$

dengan : $f(x) \geq 0, -\infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma_x > 0,$
 μ = rata-rata x ,
 σ_x = standart deviasi x

- Distribusi Rayleigh

Distribusi Rayleigh merupakan suatu kasus khusus dari distribusi Weibull, yaitu apabila $\beta = 2$ dan $\eta' = 2\eta$, dimana η' adalah skala parameter distribusi Weibull dan η adalah parameter distribusi Rayleigh. Distribusi ini mempunyai bentuk persamaan :

$$f(x) = \frac{x}{\eta^2} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x}{\eta} \right)^2} \dots\dots\dots (61)$$

dengan : $x \geq 0, \eta \geq 0,$
 η = scale parameter

- Distribusi Exponential

Distribusi exponential sering digunakan untuk menggambarkan laju kegagalan suatu sistem. Distribusi ini menggambarkan bahwa semakin lama waktu yang ditinjau semakin sedikit pula sistem mengalami kegagalan. Distribusi ini mempunyai bentuk persamaan

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda(x-\gamma)} \dots\dots\dots (62)$$

dengan : λ = scale parameter

γ = location parameter

- Distribusi Weibull

Distribusi weibull juga merupakan salah satu distribusi yang sering dijumpai dalam bidang rekayasa. Distribusi ini mempunyai bentuk persamaan :

$$f(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \dots\dots\dots(63)$$

dengan : $f(x) \geq 0, x \geq \gamma, \beta \geq 0, \eta \geq 0, -\infty < \gamma < \infty,$

β = Shape parameter

η = scale parameter

γ = location parameter

- Distribusi Log-Normal

Pada hal-hal tertentu distribusi Log-Normal juga dapat dijumpai.

Distribusi ini mempunyai bentuk persamaan :

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_x\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x'-\mu_{x'}}{\sigma_{x'}}\right)^2} \dots\dots\dots(64)$$

dengan : $f(t) \geq 0, t \geq 0, -\infty < \mu_{x'} < \infty, \sigma_{x'} > 0, x = \log e^x,$

$\mu_{x'}$ = rata-rata dari logaritma natural x

$\sigma_{x'}$ = standar deviasi dari logaritma natural x

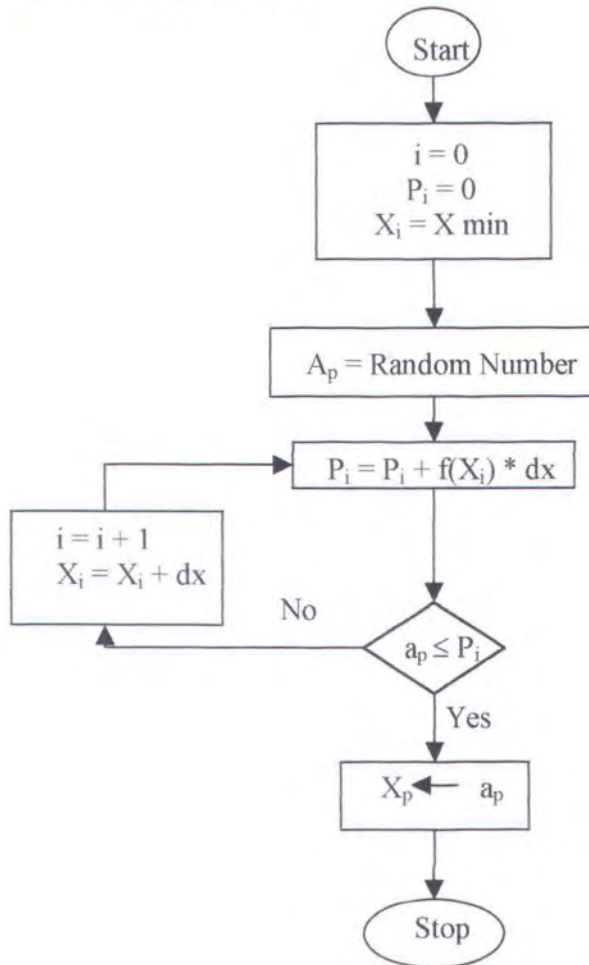
2.7 Simulasi Montecarlo

Gagasan Dasar metode simulasi montecarlo yaitu sampling numerik dengan bantuan Random Number Generator. Diambil beberapa sampel untuk setiap x_i dari sebuah populasi X_i , kemudian dimasukan kedalam persamaan fungsi kinerja $FK(x)$, dan harga $FK(x)$ kemudian dihitung. Setiap kali $FK(x) < 0$, dianggap sistem/ komponen yang ditinjau gagal [Thoft & Murotsu (1986)]. Misalnya untuk sampel sebesar N , didapat hasil $FK(x) < 0$ sebanyak n kali, maka peluang kegagalan sistem/ komponen yang ditinjau adalah $P_g = n/N$. Persoalan utama yaitu bagaimana men-*transformasi*-kan angka acak yang dikeluarkan oleh Random Number Generator (RNG) menjadi besaran fisis yang sesuai dengan fkp perubah dasar tersebut. Ini disebabkan karena angka acak yang dikeluarkan RNG memiliki fkp uniform, sdangkan perubah dasar dalam $FK(x)$ seringkali tidak demikian (misalkan terdistribusi secara normal, weilbull, rayleigh dan sebagainya).

Transformasi a_p menjadi x_p dilakukan secara numerik dengan prosedur sebagai berikut :

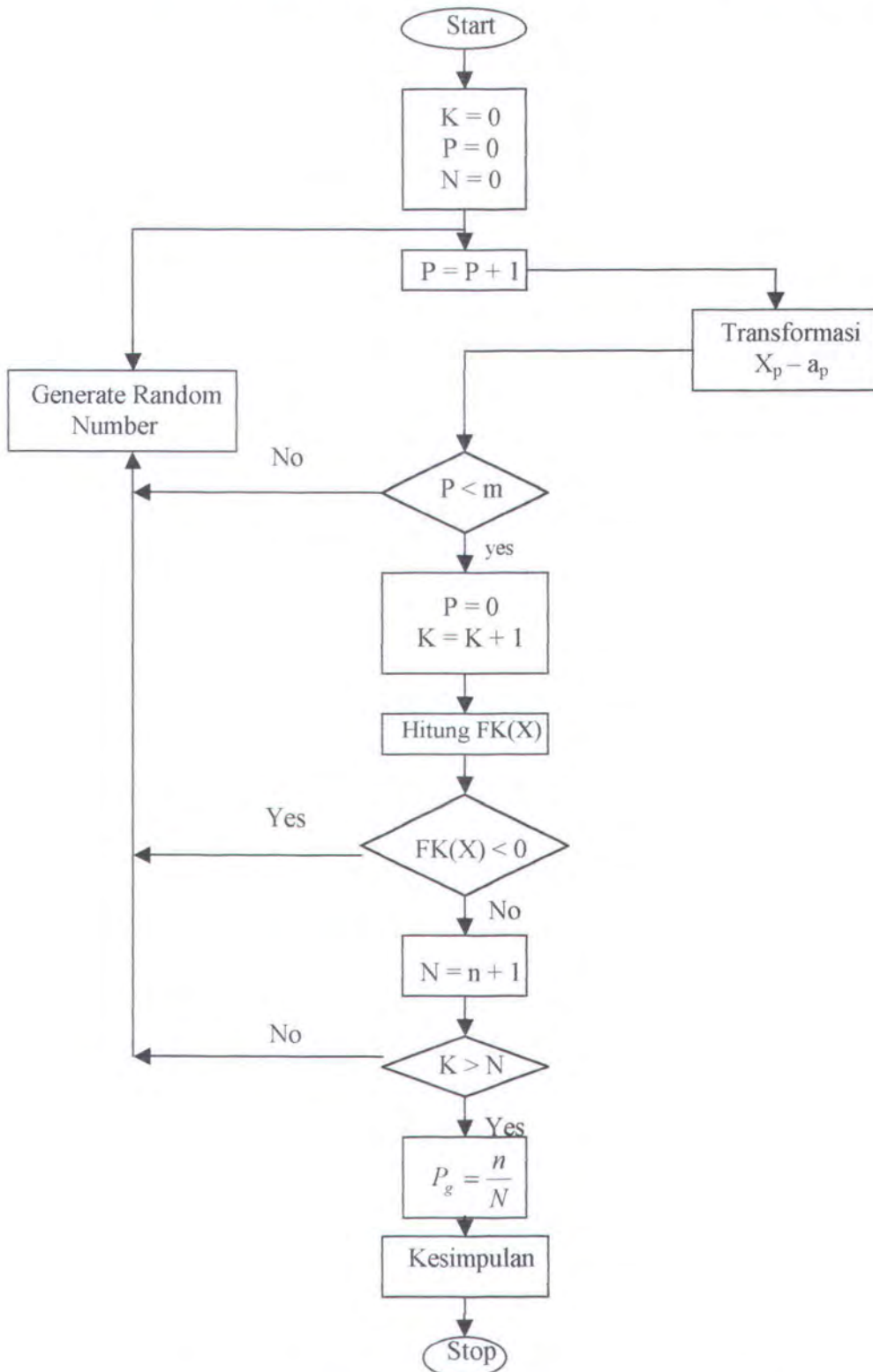
1. Untuk x_p dengan fkp yang diketahui, bagi rentang x_p menjadi i interval yang sama sepanjang dx .
2. Hitung luas tiap pias (ini akan mengasilkan peluang x_p memiliki harga dalam interval I , yaitu sebesar P_i) dengan mengalikan interval dx dengan tinggi fkp pada x_i . Untuk setiap a_p yang keluar dari RNG, maka a diperbandingkan dengan batas interval yang sesuai. Apabila $P_i < a_p < P_{i+1}$, maka a_p ditransformasikan sebagai x_p .

Untuk lebih jelasnya , transformasi a_p menjadi x_p dapat dilihat pada *flowchart* berikut ini :



Gambar 2.7 : Flowchart Transformasi $X_p \leftarrow a_p$

Flowchart simulasi montecarlo dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.8 : Diagram Alir untuk simulasi Montecarlo

K dalam flowchart tersebut adalah *counter* jumlah eksperimen atau sampling, M adalah jumlah perubah dasar dalam $FK(x)$, dan P adalah indeks untuk perubah dasar ke x_p , sedang n adalah penghitung untuk $FK(x) < 0$, dan N adalah jumlah eksperimen maksimum yang akan dilakukan. RNG yang digunakan pada program ini adalah RNG yang telah disediakan oleh Delphi, dimana RNG tersebut akan menghasilkan suatu angka acak a_p antara 0 dan 1 dengan fkp yang mendekati uniform. Pada Uji statistik yang telah dilakukan, munculnya angka acak yang sama terjadi pada perulangan ke 10^{13} sampai 10^{14} , sehingga dapat dikatakan bahwa angka acak yang dihasilkan oleh RNG Delphi sudah mendekati Uniform.

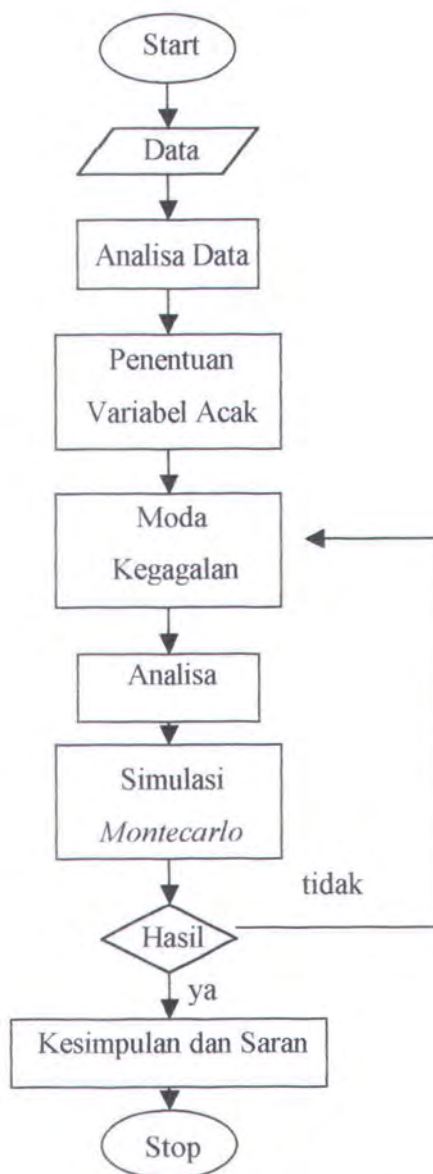
Angka acak a_p ini sekanjutnya ditranformasikan menjadi x_p , dengan $p = 1, 2, 3, \dots, m$. $FK(x)$ kemudian dihitung, dan perhitungan nomer eksperimen dimasukkan dalam K. Apabila $FK(x) \geq 0$, maka eksperimen dilanjutkan sedang apabila $FK(x) < 0$, maka ini dicatat dan disimpan dalam n. eksperimen ke K dilanjutkan sampai $K = N$, sesudah itu peluang kegagalan sistem/ komponen dihitung sebagai n/N .

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam menganalisa keandalan alur akibat pengaruh kontur alur, olah gerak kapal, dan pengaruh pasang surut, akan dilalui tahap-tahap sebagai berikut :



Gambar 3.1 : Diagram Alir Metodologi

3.1 Data

3.1.1 Data Lingkungan

Data lingkungan yang diperlukan dalam analisa ini antara lain :

1. Data kedalaman Alur

Data alur yang dipakai diperoleh dari PT. Pelabuhan Indonesia III berdasarkan pengukuran tahun 2001. Kedalaman alur yang dianalisa dibagi bagian perbagian / section persection berdasarkan daerah yang dianggap kritis.

2. Data Pasang-surut

Data pasang-surut yang dipakai diperoleh dari Armada Timur Angkatan Laut (AL) untuk tahun 2002 dan digunakan sebagai variable acak dalam perhitungan moda kegagalan

3. Data Angin

Data angin diperoleh dari BMG Pusat Jakarta, berdasarkan pengukuran antara tahun 2000 hingga September 2002. Data angin ini nantinya digunakan untuk mencari tinggi gelombang (H_s) dan periode (T) dengan menggunakan panjang fetch efektif.

3.1.2 Data Kapal

Data kapal yang digunakan berdasarkan prakiraan kapal dengan sarat terbesar yang melalui alur barito yaitu KM Kumala. Data ini diperoleh dari PT Dharma Lautan Utama selaku pemilik dari kapal tersebut. Dalam analisa keandalan ini data kapal diperlukan untuk mencari berapa nilai Squat serta nilai Heaving-pitchingnya.

3.2 Analisa Data

Dalam proses analisa data ini dilakukan perhitungan tinggi gelombang dan periode gelombang dari data angin yang ada dengan menggunakan panjang fetch efektif. Adapun nantinya tinggi gelombang dan periodenya ini akan dipakai dalam perhitungan heaving-pitching. Untuk komponen-komponen variable acak dari analisa keandalan ini antara lain kedalaman alur dan pasang surut sebagai efek kekuatan dan gerakan heaving-pitching serta nilai squat sebagai efek beban.

3.2.1 Peramalan tinggi gelombang dengan menggunakan kecepatan angin dan fetch

Distribusi kecepatan angin diatas permukaan laut terbagi dalam tiga elevasi diatas permukaan laut, yaitu : daerah geotrospik yang berada diatas 1000 m dengan kecepatan angin konstan, daerah eakman yang berada antara 100-1000 m, dan daerah dimana tegangan konstan yang berada pada elevasi 10-100 m. Di kedua daerah tersebut kecepatan dan arah angin berubah sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperatur antara air dan udara.

1. Konversi kecepatan angin

Dalam melakukan perhitungan untuk memperkirakan pengaruh kecepatan angin, maka diperlukan konversi terhadap kecepatan angin untuk elevasi 10 m, hal ini dilakukan karna beberapa rumus atau grafik yang digunakan untuk meramalkan gelombang didasarkan pada

kecepatan angin pada elevasi 10m. Konversi kecepatan angin dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (3.1) :

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

Persamaan diatas hanya berlaku untuk besar y kurang dari 20 m.

Selanjutnya untuk pengukuran angin yang dilakukan didaratan, harus dilakukan transformasi dari data angin diatas daratan terdekat dengan lokasi studi ke data angin diatas permukaan laut. Hubungan antara angin diatas laut dan angin diatas daratan terdekat dirumuskan seperti persamaan berikut (3.2) :

$$R_L = U_W / U_L$$

Yang dinyatakan dalam grafik hubungan antara kecepatan angin di laut (U_W) dan di darat (U_L).

Disamping itu karena adanya perbedaan suhu antara suhu dipermukaan air laut dan di udara, maka kecepatan angin juga harus dikonversikan dengan menggunakan persamaan (3.3) :

$$U_T = U(10) R_T$$

Apabila besar suhu dipermukaan laut tidak diketahui maka besarnya harga R_T dapat diasumsikan sebesar 1,1. Untuk melakukan peramalan gelombang maka harus diketahui besarnya factor tegangan angin, U_A , yang dapat dihitung dengan menggunakan kecepatan angin yang telah dikonversi dengan menggunakan persamaan (3.4) :

$$U_A = 0.71 U^{1.23}$$



2. Fetch

Di daerah pembentukan gelombang. Gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin (Triatdmojo, 1996). Fetch rerata efektif dihitung dengan menggunakan persamaan (3.5):

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

dengan : F_{eff} = Fetch rerata efektif

X_i = Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang keujung fetch, km.

α =deviasi kedua sisi arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai 42° pada kedua sisi dariarah mata angin.

Dari besar tegangan permukaan angin, U_A , dan fetch rerata efektif, F_{eff} , maka dapat diketahui tinggi dan periode gelombang signifikan dengan menggunakan grafik peramalan gelombang (triatdmojo, 1999).

3.2.2 Perhitungan Nilai Amplitudo Heaving-Pitching

Perhitungan nilai amplitudo Heaving-pitching didasarkan pada tinggi gelombang dan periode yang diketahui dari perhitungan peramalan tinggi gelombang dengan menggunakan kecepatan angin dan fetch

sebelumnya serta ditambah data kapal terbesar (saratnya) yang melewati alur barito, sehingga didapat inputan sebagai berikut :

Panjang Kapal	$L = 104.2 \text{ m}$
Lebar Kapal	$B = 19.2 \text{ m}$
Draft Kapal	$T = 6.3 \text{ m}$
Koef. Blok (C_b)	$C_b = 0.8$
Kecepatan Kapal	$U = 15 \text{ Knot}$
Massa Jenis Air Laut	$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$
Frequensi Encounter	$W_e = 1.236 \text{ rad/s}$
Gravitasi	$g = 32.2 \text{ ft/s}$

Dari data-data diatas kemudian dilakukan perhitungan nilai amplitudo heaving-pitching dengan beberapa nilai H_s yang berbeda menggunakan bantuan software Mathlab, yang kemudian nanti hasilnya dijadikan komponen variable acak dalam fungsi kinerja.

3.2.3 Pengujian Untuk Kecocokan Pemilihan Parameter Distribusi (*Goodness-of-Fit Test*)

Dari data kedalaman alur, pasang-surut, Amplitudo Heaving-Pitching dan nilai squat, dapat dilakukan pengujian untuk pemilihan parameter distribusi yang memenuhi, untuk masing-masing variable acak tersebut. Untuk mempermudah pemilihan peluang distribusi, untuk masing-masing variable acak, dilakukan dengan menggunakan bantuan software

arena. Fasilitas dari software arena yang digunakan adalah fasilitas *input analyzer*, dimana fasilitas ini dapat secara otomatis melakukan proses *Goodness-of-Fit Test* pada data masukan dari variable acak. Pemilihan terhadap jenis distribusi peluang yang terbaik dan paling sesuai didasarkan pada besarnya *P-value* / tingkat penerimaan dari masing-masing hipotesa distribusi peluang (*chi-squared Goodness-of-Fit Test*).

3.3 Penentuan Variabel Acak

Dari data-data yang diperoleh dapat dilihat ada beberapa variable yang mempunyai besar yang tidak pasti/acak, dimana selanjutnya variable ini dijadikan sebagai variable acak dalam analisa keandalan alur. Variabel acak yang digunakan adalah :

1. Kedalaman Alur
2. Pasang-surut
3. Besar amplitudo Heaving-pitching
4. Nilai Squat (berdasarkan variable kedalaman alur)

Selanjutnya dalam analisa besar sarat (T) di gunakan sebagai tetapan

3.4 Penentuan Moda Kegagalan

Moda kegagalan yang akan digunakan untuk menganalisa keandalan alur terhadap olah gerak kapal dan pengaruh pasang surut, adalah sebagai berikut:

$$MK(Z) = (d + F) - (T + Z + Z_a)$$

dengan : d = kedalaman alur

F	= pasang-surut
T	= sarat kapal
Za	= nilai heaving-pitching
Z	= nilai squat.

3.5 Simulasi Montecarlo

Langkah-langkah yang dilakukan dalam metode ini:

1. Menentukan beberapa sample untuk setiap X_i dari sebuah populasi X_i .
2. Melakukan transformasi x_i ke harga a_p , melalui transformasi *pdf* dan *cdf*.
3. Memasukan populasi tersebut kedalam fungsi kinerja $FK(X)$ dan menghitung harga $FK(X)$.
4. Mencatat setiap kejadian yang memenuhi $FK(X) > 0$, yaitu system tidak mengalami kegagalan.
5. Menentukan prosentase keandalan dengan menggunakan persamaan :

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

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Kedalaman Alur

Section 1 :

Panjang +/- 1 km terletak diantara spot 13.500-12.500, mempunyai belokan pada spot 12.800. Kedalaman alur antara 4.8-5.7 m. Kedalaman terendah terjadi di sekitar spot 12.500 dan kedalaman tertinggi ada diantara spot 13.500 sampai 13.000.

Section 2 :

Merupakan daerah alur kritis, karena ada salah satu bagiannya (terletak disekitar spot 10.500) yang memiliki kedalaman hanya berkisar 0.6 m. Di daerah ini pulalah kapal kandas biasanya sering terjadi. Section ini memiliki panjang +/- 2.5 km dengan kedalaman alur antara 0.5-5.3 m. Daerah dengan kedalaman terendah (antara 0.5-2 m) terletak antara spot 11.000 sampai spot 10.300 sedangkan daerah dengan kedalaman lebih dari 2 m tersebar di spot 12.500 sampai 11.500.

Section 3 :

Merupakan daerah dengan kedalaman yang menyebar rata. Memiliki panjang sekitar 2.5 km terletak antara spot 10.000-7.500. Kedalaman berkisar antara 3 sampai 5 m. Titik terendah terjadi di sekitar spot 10.000 hingga spot 9675, sedangkan spot 9500 hingga 7500 kedalamannya rata-rata berkisar 4.5-5 m.

Section 4 :

Terletak antara spot 7.500 sampai spot 5.000 dengan panjang 2.5 km. Kedalaman berkisar antara 3.8 m hingga 5.1 m dengan penyebaran yang merata.

Section 5 :

Merupakan daerah yang agak memiliki 'range' kedalaman cukup besar meskipun bisa dikatakan penyebarannya cukup merata. Terletak diantara spot 5.000 sampai 2.500 daerah ini memiliki kedalaman antara 4.4 m hingga 5.7 m

Section 6 :

Merupakan daerah 'akhir' dari alur barito yang dianalisa, memiliki bentang antara spot 2.500 sampai 1.000 (+/- 1.5 km) dengan kedalaman rata-rata berkisar 4.2 m sampai 5.3 m. Kedalaman tertinggi ada pada daerah sekitar spot 1350. Dengan 'range' kedalaman yang kecil bisa dikatakan di daerah ini jarang sekali terjadi musibah kapal kandas.

Gambar kontur tiap section ini dapat dilihat dalam lampiran 1.

4.1.2 Data Pasang-surut

Gerakan Pasang-surut diramalkan terhadap suatu Muka Surutan yang letaknya 16 dm di bawah DT. Dengan memasukan nilai tetapan :

Tabel 4.1 : Tetapan Pasang-Surut

M2	S2	N2	K2	K1	O1	P4	M4	MS4	Z _o
34	5	9	5	64	33	20	-	-	160

pada persamaan $F = (O_1 + K_1) : (M_2 + S_2)$, didapat nilai $F = 2.48$. Dengan nilai tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa tipe pasang surut alur barito adalah Pasang-surut campuran tipe tunggal yang menonjol (*mixed, mainly diurnal*) yang artinya pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. (untuk grafik pasang-surut dapat dilihat pada lampiran 2)

Sedangkan penentuan elevasi muka air sebagai berikut :

- Mean high Water Spring (MHWS) : $Z_o + (A_{M2} + A_{S2}) = 199 \text{ cm}$
- Mean Low Water Spring (MLWS) : $Z_o - (A_{M2} + A_{S2}) = 121 \text{ cm}$
- Highest High Water Spring (HHWS): $MHWS + (A_{K1} + A_{O1}) = 296 \text{ cm}$
- Lowest Low Water Spring (LLWS) : $MLWS - (A_{K1} + A_{O1}) = 24 \text{ cm}$

4.1.3 Data Angin

Data angin yang digunakan diperoleh dari BMG Pusat Jakarta untuk wilayah pengukuran Banjarmasin dan sekitarnya pada tahun 2002 per September.

Tabel 4.2 : Prosentase kejadian angin di Wilayah Banjarmasin bulan September tahun 2002

Kecepatan (knot)	U	TL	T	Tg	S	BD	B	BL	Total
0-4	0.93	0.18	0.04	1.41	7.98	3.28	5.16	-	21.1
5-8	6.57	9.38	8.45	7.98	19.72	3.76	8.92	0.94	62.4
9-12	0.04	0.04	0.04	2.34	4.69	1.88	1.41	-	10.8
13-16	0.08	-	-	-	4.8	-	-	-	5.6

Dari proses perhitungan fetch (lampiran 3) didapat panjang fetch efektif sebesar 461.1 km, sedangkan ramalan tinggi gelombang H_s berkisar antara 0.25-1.65 m

Sedangkan untuk perhitungan transformasi gelombang yang menuju pantai akibat refraksi dan shoaling, dengan mengambil $H_s = 1.65$ m, $T = 6.5$ s (grafik peramalan gelombang, triatmojo, 1996) dan $d = 5$ m (kedalaman pada section 6 -laut lepas-), didapat :

$$\begin{aligned} L_o &= 1.56 (T)^2 \\ &= 1.56 (6.5)^2 \\ &= 65.91 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_o &= L_o/T \\ &= 65.91 : 6.5 \\ &= 10.14 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d/L_o &= 5 : 65.91 \\ &= 0.076 \end{aligned}$$

untuk nilai d/L_o diatas, dengan table A-1 yang ada pada buku “Pelabuhan” (Triatmojo, 1996) didapat :

$$\begin{aligned} d/L &= 0.119 \\ L &= 42.01 \text{ m} \\ C &= L/T \\ &= 6.46 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$\sin \alpha_1 = (C/C_o) \sin \alpha_o$, dgn memasukan nilai $\alpha_o = 45^\circ$, didapat nilai $\alpha_1 = 26.7^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Mencari nilai Koefisien Refraksi } Kr &= \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} \\ &= 0.89. \end{aligned}$$

Mencari nilai Koefisien Shoaling $K_s = \sqrt{\frac{n_o L_o}{n_1 L_1}}$ untuk nilai n_1 dicari dari tabel A-1 berdasar nilai d/L_o diatas, didapat nilai $n_1 = 0.8519$. Di Laut dalam nilai $n_o = 0.5$; sehingga koefisien pendangkalannya = **0.96**

Sehingga tinggi gelombang di kedalaman 5 m adalah :

$$H = K_s \times K_r \times H_o = 0.96 \times 0.89 \times 1.65 = \mathbf{1.4 \text{ m}}$$

4.1.4 Data Kapal

Data Kapal yang dipakai dalam analisa ini didasarkan pada ukuran kapal KM Kumala yang dimiliki oleh PT Dharma Lautan Utama. Adapun ukuran utamanya sebagai berikut :

$$L_{pp} = 104.2 \text{ m}$$

$$B = 19.2 \text{ m}$$

$$T = 6,3 \text{ m}$$

$$D.W.T = 5764 \text{ ton}$$

$$\text{Type Kapal} = \text{F E R R Y}$$

Dilihat dari ukuran sarat yang cukup besar (6.3 m) bisa dipastikan kapal ini akan mengalami kandas apabila memasuki alur barito yang memiliki kedalaman rata-rata kurang dari 6 m.

4.1.5 Hasil Perhitungan Kopel Heaving-Pitching

Hasil perhitungan gerakan kopel heaving-pitching dapat dilihat dalam lampiran 4 dan 5. Sedangkan ringkasan hasil perhitungan amplitudo kapal untuk H yang bervariasi dapat dilihat dalam table berikut :

Tabel 4.3 : Hasil Perhitungan Heaving-Pitching untuk H yang berbeda

H (m)	Ua (sudut phase gerakan Pitching)	X sin Ua (m)	Za (m) (amplitudo Heaving)	Kopel (m)
1.10	0.0212	0.0189	0.0008	0.0275
1.20	0.0229	0.0207	0.0095	0.0302
1.35	0.0258	0.0235	0.0105	0.0338
1.40	0.0267	0.0241	0.0113	0.0354
1.50	0.0287	0.0259	0.0119	0.0378
1.60	0.0306	0.0278	0.0124	0.0402
1.65	0.0315	0.0284	0.0130	0.0414

Untuk ukuran kapal ferry, nilai kopel heaving-pitching yang berkisar 3.0-4.0 cm dianggap cukup, karena pada kapal ferry dibutuhkan gerakan kapal relatif kecil untuk kenyamanan awak kapal dan penumpang.

4.1.6 Pengujian Untuk Kecocokan Pemilihan Parameter Distribusi

Dari data kedalaman alur, pasang-surut, Amplitudo Heaving-Pitching dan nilai squat, dilakukan pengujian untuk pemilihan parameter distribusi apa yang memenuhi, untuk masing-masing variable acak tersebut (untuk hasil *running* kecocokan distribusi selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 8).

Berikut beberapa macam distribusi yang diperoleh dari data masukan :

1. Data Kedalaman Alur :

a. Section 1 :

- Distribution : Beta
- Expression : $4.71 + 1.08 * h$ (1.58, 0.912)
- Square error : 0.016210

b. Section 2 :

- Distribution : Weibull
- Expression : $0.12 + h(2.92, 2.22)$
- Square error : 0.012556

c. Section 3 :

- Distribution : Erlang
- Expression : $3 + h(0.145, 7)$
- Square error : 0.066682

d. Section 4 :

- Distribution : Beta
- Expression : $3.44 + 1.92 * h(2.9, 5.35)$
- Square error : 0.018951

e. Section 5 :

- Distribution : Triangular
- Expression : $h(4.16, 4.81, 5.84)$
- Square error : 0.021221

f. Section 6 :

- Distribution : Triangular
- Expression : $h(4.07, 4.4, 5.63)$
- Square error : 0.036095

2. Data Pasang-surut :

- Distribution : Triangular
- Expression : $h(0, 0.265, 0.3)$
- Square error : 0.082551

3. Nilai Amplitudo Heaving-Pitching :

- Distribution : Beta
- Expression : h (2.79 , 2.70653)
- Square error : 0.008259

4.2 Pembahasan

Berikut adalah data kedalaman rata-rata alur existing :

Tabel 4.4 : Kedalaman rata-rata Alur existing

	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6
h _{average} (m)	5.394	2.704	4.0125	4.115	4.895	4.753

Dari data-data tersebut setelah dilakukan running terhadap fungsi kinerja dari Moda Kegagalan (*listing* program selengkapnya dan hasil running dapat dilihat pada lampirab 6 dan 7) :

$MK(Z) = (h + F) - (T + Z + Za)$

- dengan :
- h = kedalaman alur
 - F = pasang-surut
 - T = sarat kapal
 - Za = nilai heaving-pitching
 - Z = nilai squat.

diketahui nilai keandalan dari masing-masing section ternyata adalah 0 % atau gagal 100 %, angka ini menunjukkan bahwa kedalaman seluruh section tidak memenuhi kedalaman minimal yang disyaratkan.

Hal tersebut dapat kita lihat dari tabel berikut :

Tabel 4.5 : Tabel analisa Keandalan

	h	Pasut	T	Z	Za	MK	Sks=1, ggl = 0
Section 1	5.394	0.236007	6.3	0.39367	0.02890	-1.0925	0
Section 2	2.704	0.232766	6.3	0.44130	0.02843	-3.8329	0
Section 3	4.0125	0.197041	6.3	0.22420	0.03578	-2.3504	0
Section 4	4.115	0.209306	6.3	0.24268	0.04152	-2.2599	0
Section 5	4.995	0.045576	6.3	0.30494	0.03439	-1.5988	0
Section 6	4.903	0.259151	6.3	0.25858	0.04085	-1.4373	0

Untuk memenuhi kriteria perancangan berbasis keandalan yang membatasi kegagalan hanya 10 % maka perlu ditambahkan suatu tambahan kedalaman yang berlaku acak disetiap titik, misal kita sebut tambahan kedalaman itu adalah ‘x’, sehingga Moda Kegagalannya menjadi :

$$MK(Z) = (h + x + F) - (T + Z + Za)$$

Setelah dilakukan running ulang sebanyak 10.000 kali dengan memasukan variable acak ‘x’ kedalam fungsi kinerja moda kegagalan secara *trial and error* maka didapat nilai ‘x’ yang memenuhi nilai keandalan ≥ 90 % yang di-syaratkan untuk masing-masing section sebagai berikut :

Tabel 4.6 : Tabel analisa Keandalan Alur setelah ditambahkan variabel Kedalaman ‘x’ di setiap titik

	h	X	Pasut	T	Z	Za	MK	Hasil
Section 1	5.394	2.00	0.236007	6.3	0.39367	0.02890	0.9075	1
Section 2	2.704	6.00	0.232766	6.3	0.44130	0.02843	2.1671	1
Section 3	4.012	3.50	0.197041	6.3	0.22420	0.03578	1.1496	1
Section 4	4.115	3.25	0.209306	6.3	0.24268	0.04152	0.9901	1
Section 5	4.995	2.40	0.045576	6.3	0.30494	0.03439	0.8012	1
Section 6	4.903	2.50	0.259151	6.3	0.25858	0.04085	1.0627	1

Sehingga dapat di disimpulkan kedalaman minimum rata-rata beserta kecepatan maksimum (Vlim) yang diijinkan pada Alur Barito untuk mencapai Nilai Keandalan $P \geq 90 \%$ sebagai berikut :

Tabel 4.7: Tabel $H_{\text{min rata-rata}}$ dan Vlim untuk $P \geq 90 \%$

Section	$H_{\text{min rata-rata}}$ (m)	Vlim	P (%)
Section 1	7.394	3.43702	91.4
Section 2	8.704	3.19388	91.4
Section 3	7.512	3.30214	91.8
Section 4	7.365	3.37558	91.7
Section 5	7.395	3.17328	92.4
Section 6	7.403	3.42589	91.3

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan yang dilakukan di bab sebelumnya maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Beberapa faktor yang mempengaruhi keandalan sebuah alur antara lain :
kondisi kedalaman alur, pasang-surut, olah gerak kapal seperti kopel heaving-pitching dan squat serta dimensi kapal yang berlayar di alur tersebut.
2. Nilai keandalan di seluruh section Alur Barito (section 1-6) adalah 0 % atau seluruh section gagal 100 % terhadap fungsi kedalaman yang ditetapkan untuk ukuran kapal dengan DWT = 5764 ton
3. Untuk mendapatkan nilai keandalan ≥ 90 % seperti yang disyaratkan dalam perancangan maka kedalaman yang perlu ditambahkan di tiap-tiap section sebagai berikut :

Section 1 = 2.00 m , Section 2 : = 6.00 m. Section 3 = 3.50 m , Section 4 = 3.25 m , Section 5 = 2.40 m , Section 6 = 2.50 m
4. Sehingga kedalaman minimal rata-rata di tiap-tiap section menjadi :

Section 1 : 7.394 m

Section 2 : 8.704 m

Section 3 : 7.512 m

Section 4 : 7.365 m

Section 5 : 7.395 m

Section 6 : 7.403 m

Sedangkan untuk kedalaman umum di Alur Barito adalah **8.704 m**

5.2 Saran

Dalam penulisan tugas akhir ini masih ada beberapa kelemahan yang perlu diperbaiki untuk penelitian selanjutnya. Karena itu penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Analisa Keandalan akan lebih valid apabila komponen kopel Heaving-Pitching dapat dibuatkan fungsi kinerja dalam Moda Kegagalan.
2. Perlu adanya perhatian khusus mengenai tingkat sedimentasi dalam analisa ini mengingat besarnya tingkat sedimentasi yang terjadi disana.
3. Untuk alur pelayaran yang padat dengan dua jalur perlu dipertimbangkan pola gerak kapal ketika berpapasan dan ketika sejajar dalam evaluasi ukuran alur.
4. Variabel arus akan lebih menyempurnakan analisis apabila juga ikut diperhitungkan, mengingat arus juga mempengaruhi pola pergerakan kapal di alur.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

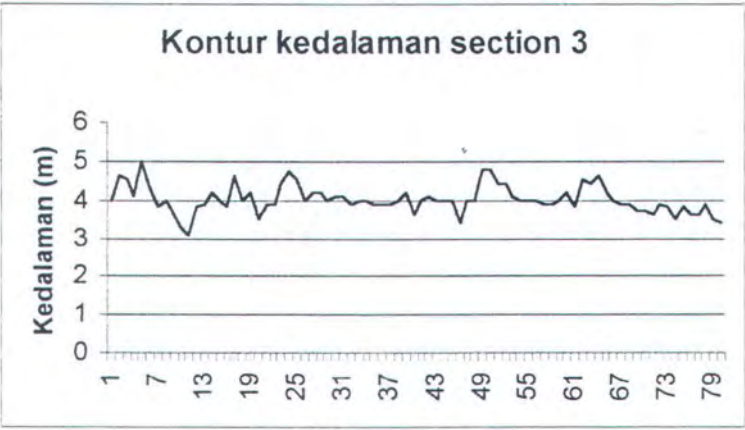
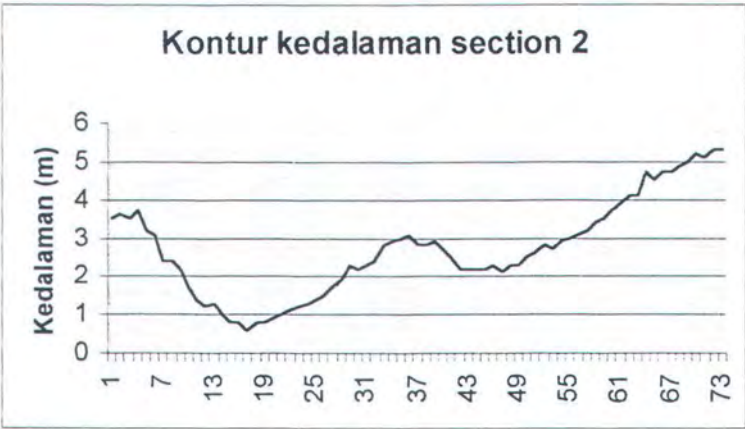
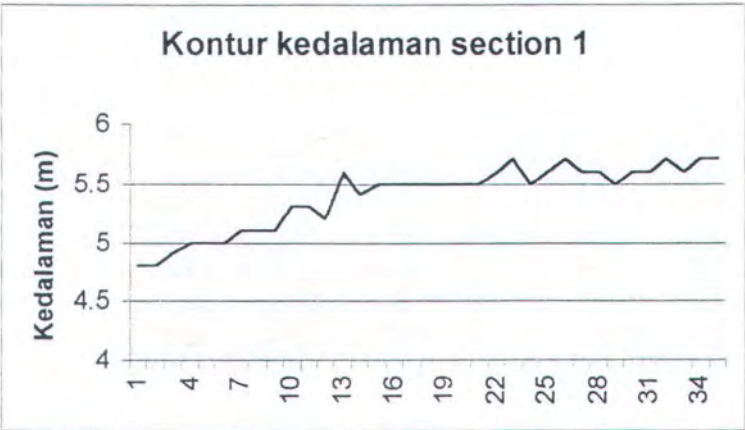
1. Bhattacharya, R., "*Dynamics of Marine Vehicles*", John Wiley & Sons, New York, 1978.
2. Bruun, P., "*Port Engineering*", Gulf Publishing Company, Houston, 1981.
3. Groenveld, R., "*Inland Waterways*", TU Delft, The Netherlands, 1997.
4. Murdjito, Laporan Penelitian "*Model Perencanaan Alur Pelabuhan Berdasarkan Pertimbangan Keselamatan dan Resiko*", ITS, Surabaya, 2001.
5. Thorensen, Carl., "*Port Design : Gidelines and Recommendation*", Trondheim, Norway, 1988.
6. Triadmojo, B., "*Pelabuhan*", Beta Offset, Yogyakarta, 1996.
7. Wawan, W.P., Laporan Tugas Akhir "*Pengembangan Perangkat Lunak Analisa Keandalan Sistem Dengan Menggunakan Metode Simulasi Montecarlo*", ITS, Surabaya, 2000.
8. Rosyid, D.M., "*Keandalan dan Resiko*", ITS, Surabaya, 1996.
9. Moes, Hans. "*Probability Aspect of The Optimal Design of Port Entrance Channels*", 5th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, Cape Town South Africa, 2000.
10. Anonim, "*Shore Protection Manual Vol I & II*", Coastal engineering Research Center, Department of The Army, USA, 1984.

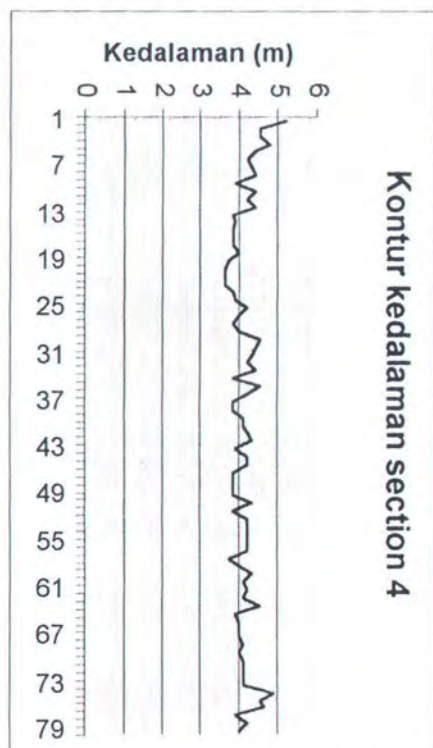
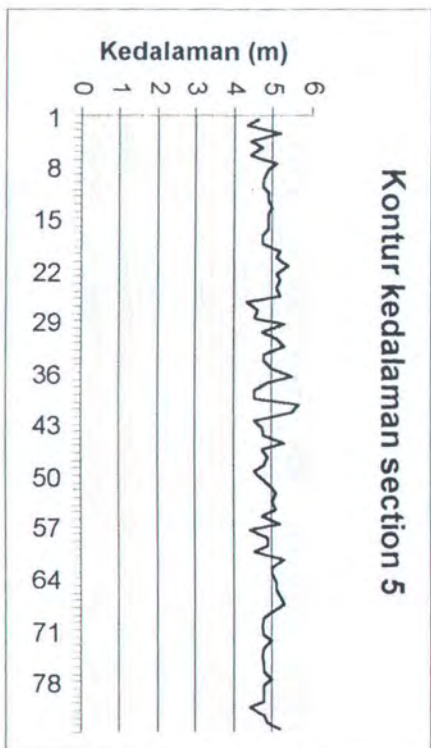
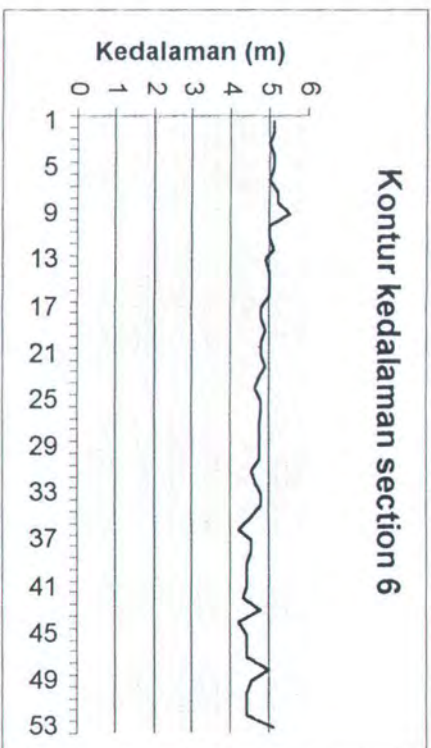
LAMPIRAN

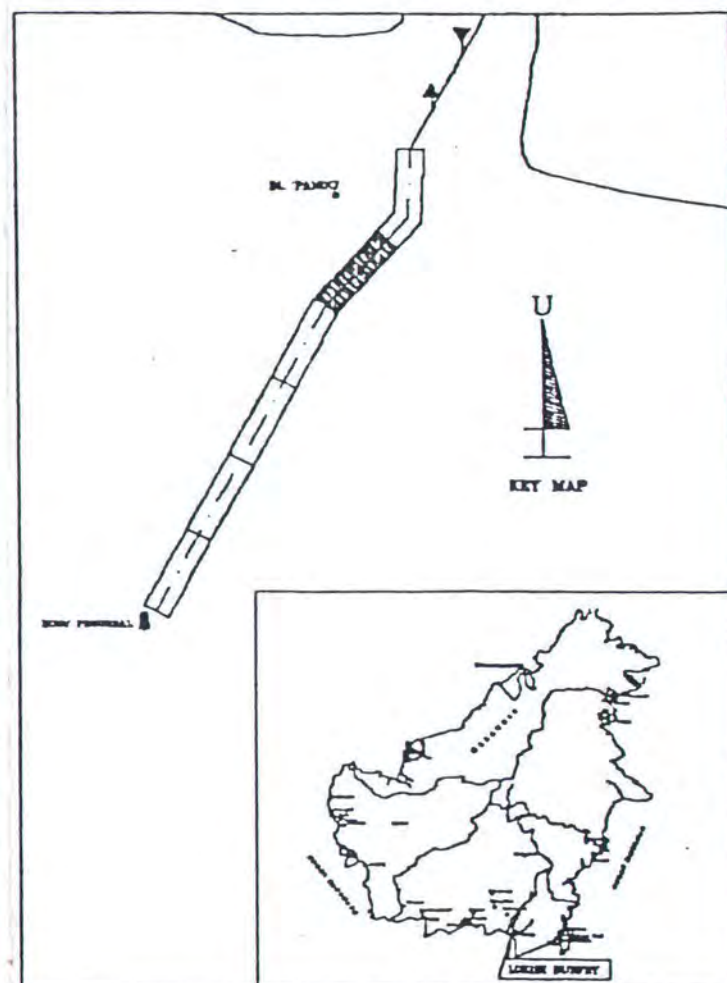
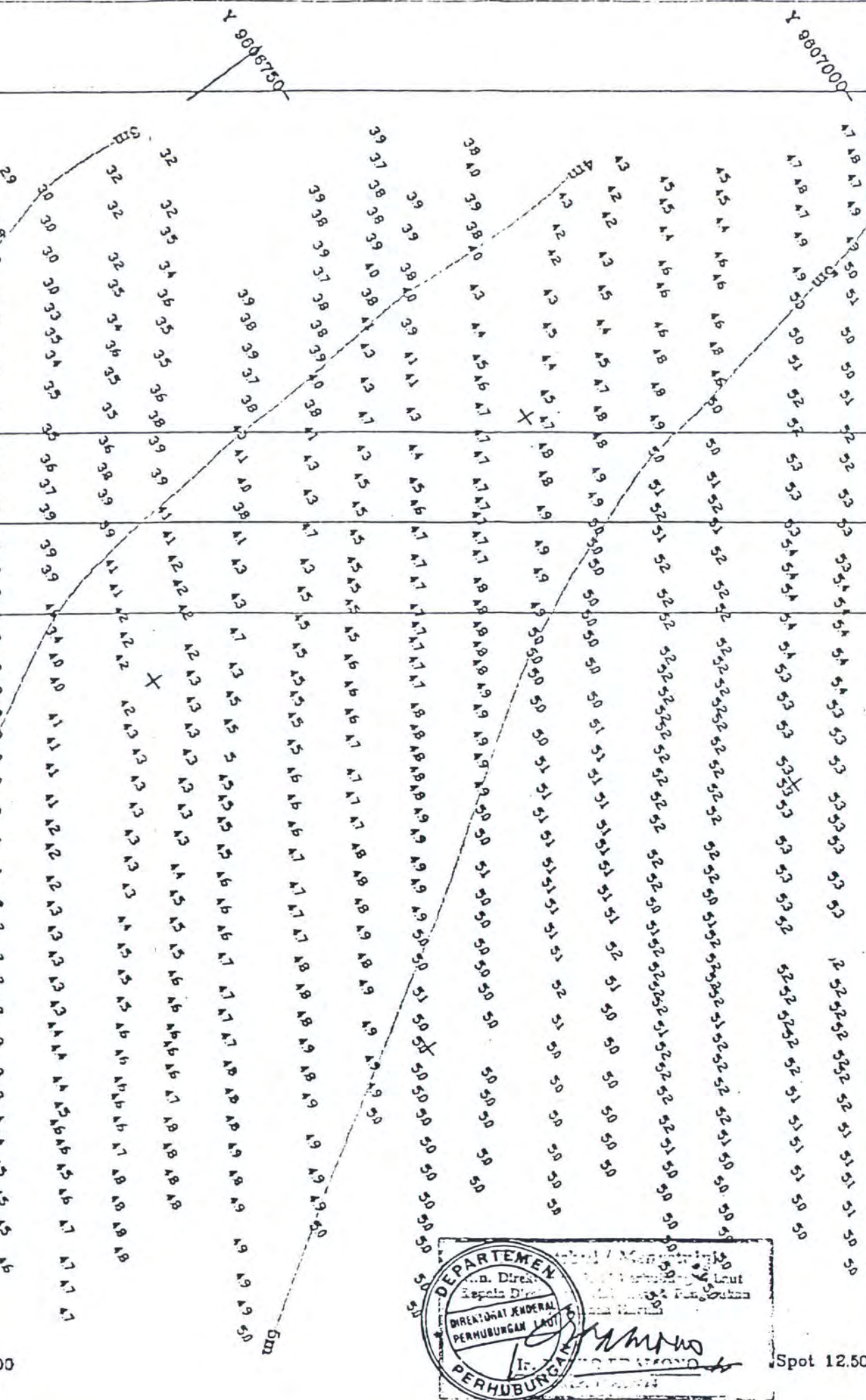
LAMPIRAN 1

Kontur kedalaman tiap section

Lampiran kontur kedalaman tiap section :







DEPARTEMEN PERHUBUNGAN
DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN LAUT
DIREKTORAT PELABUHAN DAN Pengerukan

HASIL PENGUKURAN KEDALAMAN
LOKASI ALUR PELAYARAN SUNGAI BARITO
DALAM RANGKA
CHECK SOUNDING

KETERANGAN :

1. Angka kedalaman dinyatakan dalam Dm yang disurutkan dibawah 0,00 m.LWS, 0,00 m.LWS = MSL-180 Cm
2. Sounding dilaksanakan dengan DGPS System
3. Alat duga Echounder ATLAS Deso 15 Frq 210 KHz

Diukur/digambar tanggal
04 - 07 MEI 2001

Nomor Gambar :

Jumlah gambar : 8 gambar
Lembar ke : 5

Skala : 1 : 2.500

KASUBDIT BINA Pengerukan
DAN REKLAMASI
DITPELPENG

KASI SURVEY
SUEBIT BINA Pengerukan
DAN REKLAMASI

Drs. A. CHOLIK KIRIM

Ir. CHANDRA IRAWAN

DISURVEY
DITPELPENG DITJEN HUBLA

DIGAMBAR
DITPELPENG DITJEN HUBLA

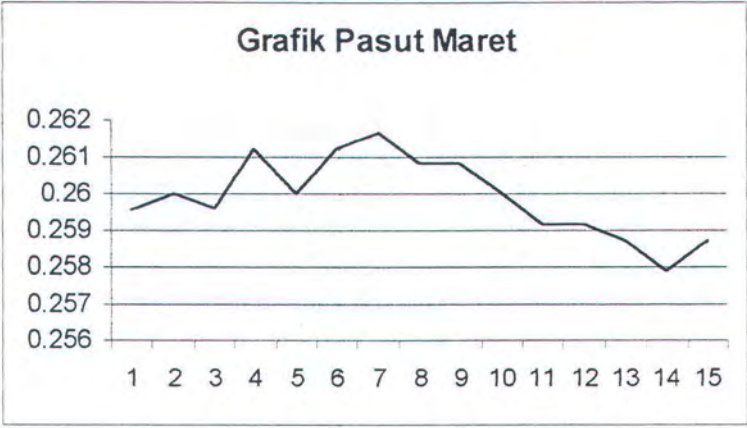
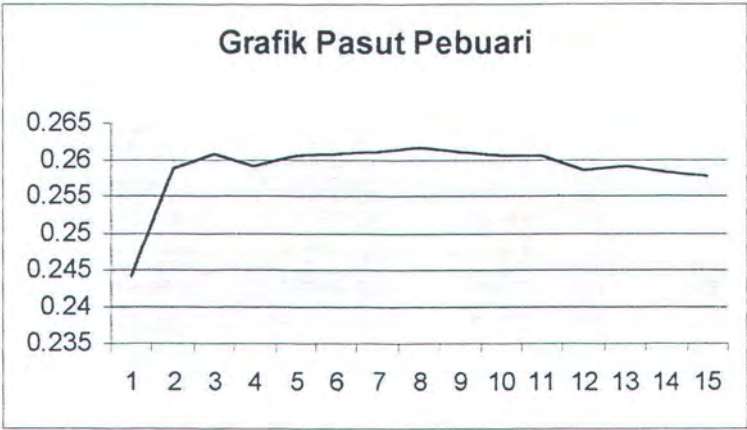
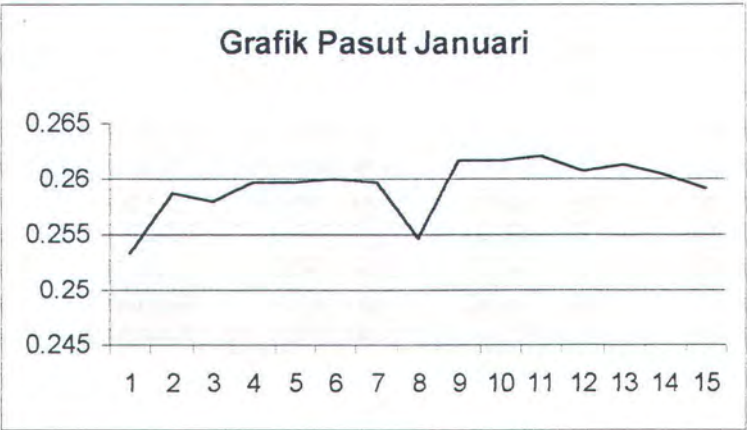
KESDIYARNO

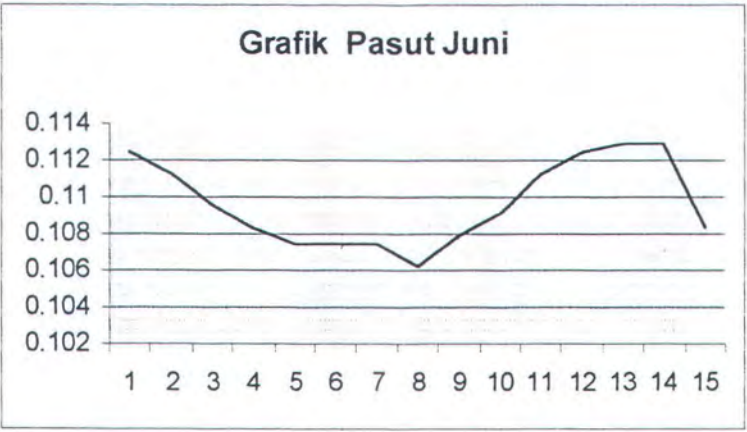
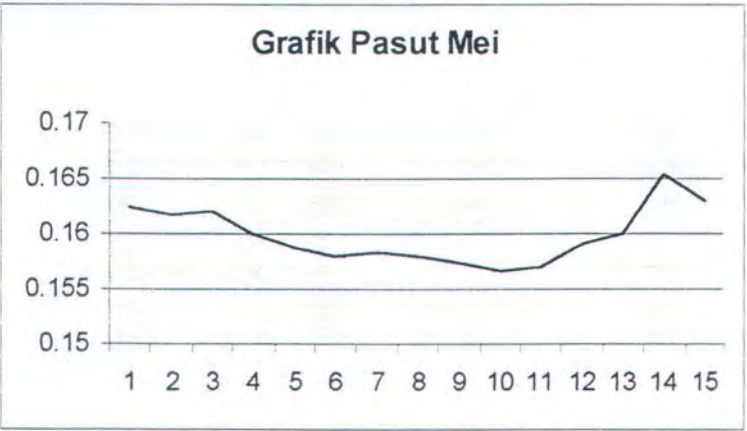
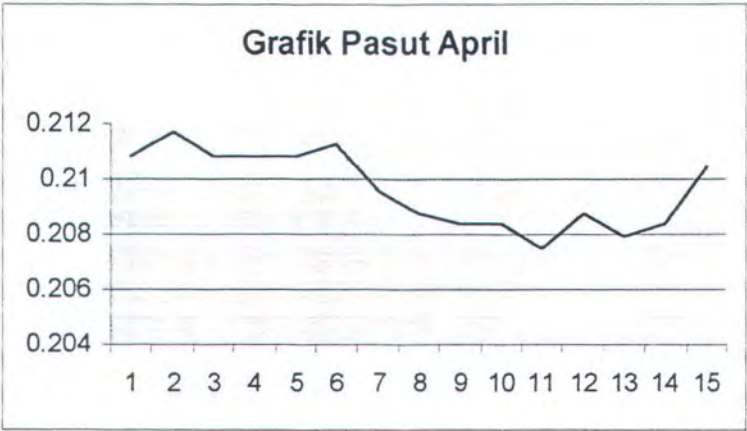
ARIF KURNIAWAN

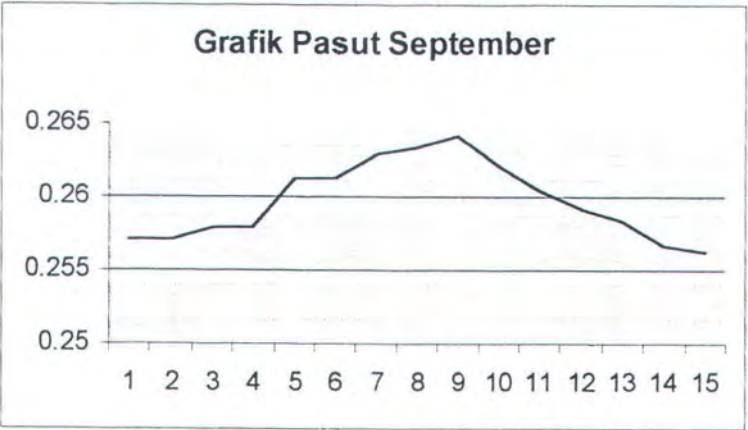
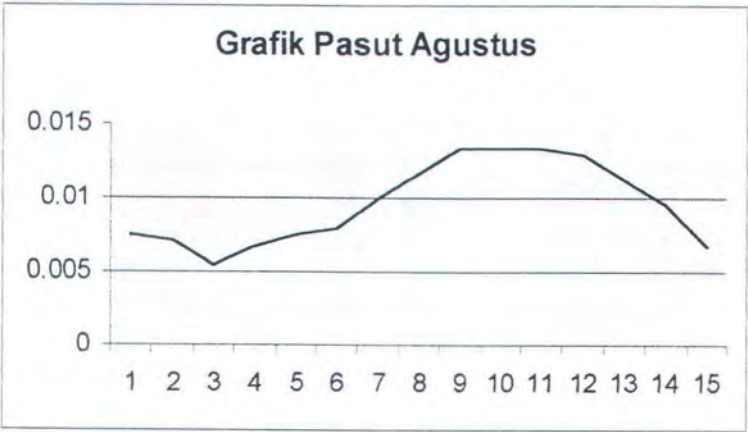
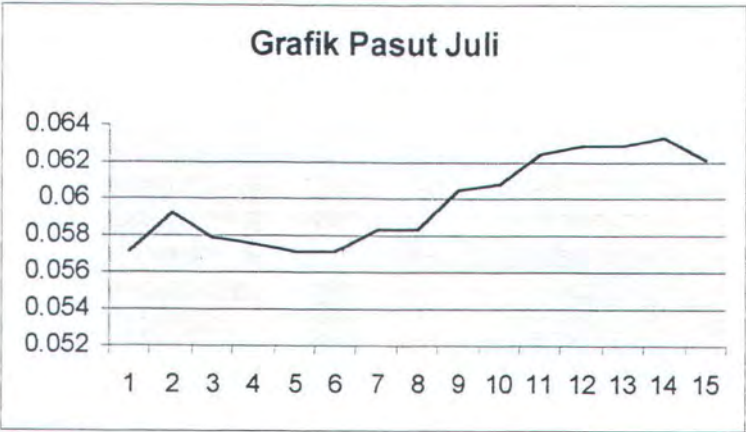


Spot 12.500

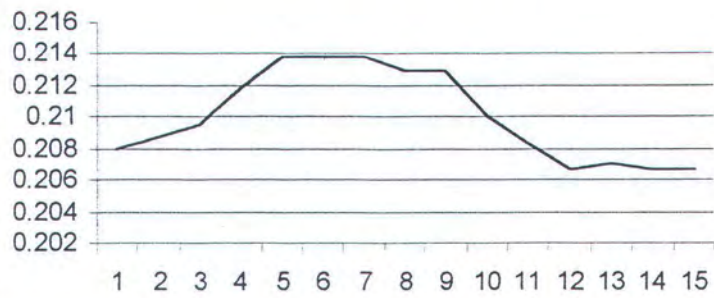
Lampiran Grafik Pasang-surut tiap bulannya :



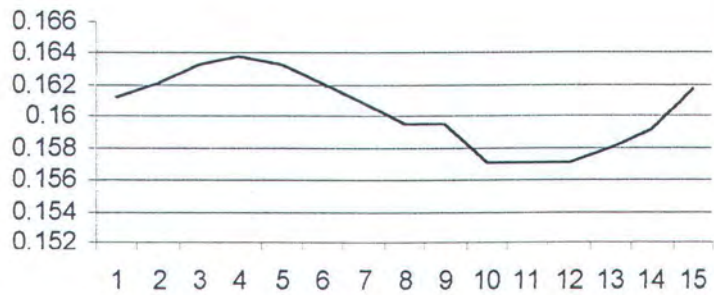




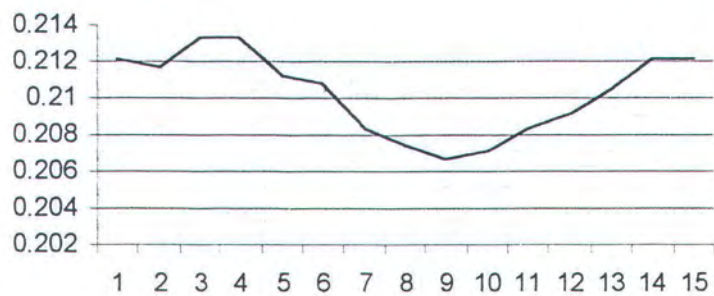
Grafik Pasut Oktober



Grafik Pasut Nopember



Grafik Pasut Desember



LAMPIRAN 3

Tabel perhitungan fetch dan penentuan H_s

[illegible]

PERHITUNGAN FETCH

U	COSa	x (km)	x cos a
42	0.7431	481.5	357.80265
36	0.809	468	378.612
30	0.866	441	381.906
24	0.9135	405	369.9675
18	0.9511	391.5	372.35565
12	0.9781	382.5	374.12325
6	0.9945	391.5	389.34675
0	0	409.5	409.5
6	0.9945	508.5	505.70325
12	0.9781	382.5	374.12325
18	0.9511	405	385.1955
24	0.9135	607.5	554.95125
30	0.866	594	514.404
36	0.809	549	444.141
42	0.7431	562.5	417.99375
Total	13.5106		6230.1258

$$F_{eff} = 6230,126/13,5106$$

$$= 461,1 \text{ km}$$

Perhitungan Hs dan Ts untuk periode September 2002

Tgl	RL	UL (m/dt)	Uw (m/dt)	UA (m/dt)	Hs (m)	Ts (dt)
			RL *UL	0,71*uw ^1,23	grafik	grafik
1	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
2	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< .06	< 4.2
3	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
4	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
5	1.1		0	0.0000	0	
6	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
7	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
8	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
9	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
10	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
11	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
12	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	< 0.6	< 4.2
13	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
14	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
15	1.1		0	0.0000	< 0.6	< 4.2
16	1.1		0	0.0000	< 0.6	< 4.2
17	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
18	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
19	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
20	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
21	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
22	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
23	1.1	6.1728	6.79008	7.4897	1.15	6
24	1.1	6.1728	6.79008	7.4897	1.15	6
25	1.1	6.1728	6.79008	7.4897	1.15	6
26	1.1	6.6872	7.35592	8.2646	1.65	6.5
27	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.63	< 4.2
28	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
29	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
30	1.1	6.1728	6.79008	7.4897	1.15	6
31	1.1		0	0.0000	0	

Perhitungan Hs dan Ts untuk periode Januari 2002						
Tgl	RL	UL (m/dt)	Uw (m/dt)	UA (m/dt)	Hs	Ts
			RL *UL	0,71*uw ^1,23	grafik	grafik
1	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
2	1.1	5.144	5.6584	5.9851	0.9	5
3	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
4	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
5	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
6	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
7	1.1	5.144	5.6584	5.9851	0.9	5
8	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
9	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
10	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
11	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
12	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
13	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
14	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
15	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
16	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
17	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
18	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
19	1.1	5.144	5.6584	5.9851	0.9	5
20	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
21	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
22	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
23	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
24	1.1	2.0576	2.26336	1.9391	< 0.6	< 4.2
25	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
26	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
27	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
28	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
29	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
30	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
31	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	0	0

Perhitungan Hs dan Ts untuk periode Februari 2002						
Tgl	RL	UL (m/dt)	Uw (m/dt)	UA (m/dt)	Hs	Ts
			RL *UL	0,71*uw ^1,23	grafik	grafik
1	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
2	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
3	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
4	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
5	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
6	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
7	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
8	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
9	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
10	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
11	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
12	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
13	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
14	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
15	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
16	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
17	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
18	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
19	1.1	5.144	5.6584	5.9851	0.9	5
20	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
21	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
22	1.1	6.1728	6.79008	7.4897	1.4	6.3
23	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
24	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
25	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
26	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
27	1.1	10.8024	11.88264	14.9074	6.1	13
28	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
29	1.1	0	0	0.0000	0	0
30	1.1	0	0	0.0000	0	0
31	1.1	0	0	0.0000	0	0

Perhitungan Hs dan Ts untuk periode Maret 2002						
Tgl	RL	UL (m/dt)	Uw (m/dt)	UA (m/dt)	Hs	Ts
			RL *UL	$0,71*uw^{1,23}$	grafik	grafik
1	1.1	5.144	5.6584	5.9851	0.9	5
2	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
3	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
4	1.1	2.0576	2.26336	1.9391	< 0.6	< 4.2
5	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
6	1.1	6.6872	7.35592	8.2646	1.6	6.4
7	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
8	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
9	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
10	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
11	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
12	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
13	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
14	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
15	1.1	0	0	0.0000	0	0
16	1.1	0	0	0.0000	0	0
17	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
18	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
19	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
20	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
21	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
22	1.1	0	0	0.0000	0	0
23	1.1	0	0	0.0000	0	0
24	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
25	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
26	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
27	1.1	0	0	0.0000	0	0
28	1.1	6.1728	6.79008	7.4897	1.4	6.3
29	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
30	1.1	6.6872	7.35592	8.2646	1.6	6.4
31	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2

Perhitungan Hs dan Ts untuk periode April 2002						
Tgl	RL	UL (m/dt)	Uw (m/dt)	UA (m/dt)	Hs	Ts
			RL *UL	$0,71*uw^{1,23}$	grafik	grafik
1	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
2	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
3	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
4	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
5	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
6	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
7	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
8	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
9	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
10	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
11	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
12	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
13	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
14	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
15	1.1	0	0	0.0000	0	0
16	1.1	0	0	0.0000	0	0
17	1.1	0	0	0.0000	0	0
18	1.1	1.0288	1.13168	0.8267	< 0.6	< 4.2
19	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
20	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
21	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
22	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
23	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
24	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
25	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
26	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
27	1.1	0	0	0.0000	0	0
28	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
29	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
30	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
31	1.1	0	0	0.0000	0	0

Perhitungan Hs dan Ts untuk periode Mei 2002						
Tgl	RL	UL (m/dt)	Uw (m/dt)	UA (m/dt)	Hs	Ts
			RL *UL	$0,71*uw^{1,23}$	grafik	grafik
1	1.1	9.7736	10.75096	13.1807	4	10.5
2	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
3	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
4	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
5	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
6	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
7	1.1	5.144	5.6584	5.9851	0.9	5
8	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
9	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
10	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
11	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
12	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
13	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
14	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
15	1.1	0	0	0.0000	0	0
16	1.1	0	0	0.0000	0	0
17	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
18	1.1	5.144	5.6584	5.9851	0.9	5
19	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
20	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
21	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
22	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
23	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
24	1.1	0	0	0.0000	0	0
25	1.1	0	0	0.0000	0	0
26	1.1	0	0	0.0000	0	0
27	1.1	0	0	0.0000	0	0
28	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
29	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
30	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
31	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2

Perhitungan Hs dan Ts untuk periode Juni 2002						
Tgl	RL	UL (m/dt)	Uw (m/dt)	UA (m/dt)	Hs	Ts
			RL *UL	$0,71*uw^{1,23}$	grafik	grafik
1	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
2	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
3	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
4	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
5	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
6	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
7	1.1	0	0	0.0000	0	0
8	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
9	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
10	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
11	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
12	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
13	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
14	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
15	1.1	0	0	0.0000	0	0
16	1.1	0	0	0.0000	0	0
17	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
18	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
19	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
20	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
21	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
22	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
23	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
24	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
25	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
26	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
27	1.1	0	0	0.0000	0	0
28	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
29	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
30	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
31	1.1	0	0	0.0000	0	0

Perhitungan Hs dan Ts untuk periode Juli 2002						
Tgl	RL	UL (m/dt)	Uw (m/dt)	UA (m/dt)	Hs	Ts
			RL *UL	$0,71*uw^{1,23}$	grafik	grafik
1	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
2	1.1	1.0288	1.13168	0.8267	< 0.6	< 4.2
3	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
4	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
5	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
6	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
7	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
8	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
9	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
10	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
11	1.1	2.0576	2.26336	1.9391	< 0.6	< 4.2
12	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
13	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
14	1.1	0	0	0.0000	0	0
15	1.1	0	0	0.0000	0	0
16	1.1	0	0	0.0000	0	0
17	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
18	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
19	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
20	1.1	6.1728	6.79008	7.4897	1.4	6.3
21	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
22	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
23	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
24	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
25	1.1	0	0	0.0000	0	0
26	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
27	1.1	0	0	0.0000	0	0
28	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	0.65	4.3
29	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
30	1.1	4.1152	4.52672	4.5485	< 0.6	< 4.2
31	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2

Perhitungan Hs dan Ts untuk periode Agustus 2002						
Tgl	RL	UL (m/dt)	Uw (m/dt)	UA (m/dt)	Hs	Ts
			RL *UL	$0,71*uw^{1,23}$	grafik	grafik
1	1.1	0	0	0.0000	0	0
2	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
3	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
4	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
5	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
6	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
7	1.1	0	0	0.0000	< 0.6	< 4.2
8	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
9	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
10	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
11	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
12	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
13	1.1	6.6872	7.35592	8.2646	1.25	6.2
14	1.1	3.0864	3.39504	3.1930	< 0.6	< 4.2
15	1.1	0	0	0.0000	0	0
16	1.1	0	0	0.0000	0	0
17	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2
18	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
19	1.1	8.2304	9.05344	10.6694	2.5	8.3
20	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
21	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	< 0.6	< 4.2
22	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
23	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
24	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	< 0.6	< 4.2
25	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
26	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
27	1.1	0	0	0.0000	0	0
28	1.1	2.572	2.8292	2.5516	< 0.6	< 4.2
29	1.1	3.6008	3.96088	3.8596	< 0.6	< 4.2
30	1.1	4.6296	5.09256	5.2576	< 0.6	< 4.2
31	1.1	0.5144	0.56584	0.3524	< 0.6	< 4.2

LAMPIRAN 4

Tabel perhitungan mencari amplitudo

Heaving-pitching

TABEL PERHITUNGAN UNTUK MENCARI NILAI AMPLITUDO HEAVING-
PITCHING PADA H= 1.15 M

Diketahui:

Panjang	L	341.86 ft
Lebar	B	63 ft
Draft	T	20.67 ft
Coeff.blok	Cb	0.8
Longitudinal center of gravity	LCG	8.55 ft depan midship
Longitudinal center of buoyancy	LCB	8.55 ft depan midship
Kecepatan kapal	U	25.34 ft/s
Panjang gelombang	Lw	216.18 ft
Amplitudo gelombang	sa	1.886 ft
freq.encounter	We	1.236 rad/sec
gravitasi	g	32.2 ft/sec ²

Tabel 1. Kalkulasi untuk an & Ayy

Station no	Bn	Tn	Sn	ε	(We2/2g)Br	Bn/Tn	Bn*Tn	βn	C	Bn2	rho.pl/8)*B	an	S M	prd	ε2	an.ε2	SM	prd
						2/3	2x3	4/8		2x2		12x10		13x14	5x5	13x16		17x18
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	0	20.67	0	162.35	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	1	0	26357.52	0	1	0
1	13	20.67	268.71	145.26	0.31	0.63	268.71	1	1.3	169	131.82	171.366	4	685.464	21100.47	3615903	4	1446361
2	28	20.67	578.76	128.17	0.67	1.35	578.76	1	1.12	784	611.52	684.9024	2	1369.805	16427.55	11251268	2	22502535
3	58	20.67	1198.86	111.08	1.39	2.81	1198.86	1	1.02	3364	2623.92	2676.398	4	10705.59	12338.77	33023455	4	132093819
4	63	20.67	1302.21	93.99	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	2	5820.142	8834.12	25707915	2	51415830
5	63	20.67	1302.21	76.9	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	4	11640.28	5913.61	17209024	4	68836095
6	63	20.67	1302.21	59.81	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	2	5820.142	3577.236	10410010	2	20820021
7	63	20.67	1302.21	42.72	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	4	11640.28	1824.998	5310875	4	21243498
8	63	20.67	1302.21	25.63	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	2	5820.142	656.8969	1911616	2	3823233
9	63	20.67	1302.21	8.54	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	4	11640.28	72.9316	212236.1	4	848944.48
10	63	20.67	1302.21	-8.55	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	2	5820.142	73.1025	212733.5	2	425466.9
11	63	20.67	1302.21	-25.64	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	4	11640.28	657.4096	1913108	4	7652433.9
12	63	20.67	1302.21	-42.73	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	2	5820.142	1825.853	5313361	2	10626722
13	63	20.67	1302.21	-59.82	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	4	11640.28	3578.432	10413492	4	41653967
14	63	20.67	1302.21	-76.91	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	2	5820.142	5915.148	17213500	2	34427000
15	63	20.67	1302.21	-94	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	4	11640.28	8836	25713386	4	102853542
16	63	20.67	1302.21	-111.09	1.51	3.05	1302.21	1	0.94	3969	3095.82	2910.071	2	5820.142	12340.99	35913149	2	71826298
17	58	20.67	1198.86	-128.18	1.39	2.81	1198.86	1	1.02	3364	2623.92	2676.398	4	10705.59	16430.11	43973527	4	175894106
18	28	20.67	578.76	-145.27	0.67	1.35	578.76	1	1.12	784	611.52	684.9024	2	1369.805	21103.37	14453751	2	28907501
19	13	20.67	268.71	-162.36	0.31	0.63	268.71	1	1.3	169	131.82	171.366	4	685.464	26360.77	4517340	4	18069359
20	0	20.67	0	-179.45	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	1	0	32202.3	0	1	0
sum1=													136104.4	sum2=				8.284E+08

Tabel 2. kalkulasi b&B

station no	We2/2g(B)	Bn/T	βn	A	A^2	bn	SM	prod	ε2	bn.ε2	SM	prd	
								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	26357.5225	0	1	0	
1	0.31	0.63	1	0.18	0.0324	35.404128	4	141.6165	21100.4676	747043.7	4	2988175	
2	0.67	1.35	1	0.38	0.1444	157.78877	2	315.5775	16427.5489	2592083	2	5184165	
3	1.39	2.81	1	0.62	0.3844	420.04157	4	1680.166	12338.7664	5182795	4	20731179	
4	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	2	923.3484	8834.1201	4078485	2	8156971	
5	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	4	1846.697	5913.61	2730161	4	10920645	
6	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	2	923.3484	3577.2361	1651518	2	3303035	
7	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	4	1846.697	1824.9984	842554.7	4	3370219	
8	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	2	923.3484	656.8969	303272.4	2	606544.7	
9	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	4	1846.697	72.9316	33670.64	4	134682.6	
10	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	2	923.3484	73.1025	33749.54	2	67499.08	
11	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	4	1846.697	657.4096	303509.1	4	1214036	
12	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	2	923.3484	1825.8529	842949.2	2	1685898	
13	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	4	1846.697	3578.4324	1652070	4	6608280	
14	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	2	923.3484	5915.1481	2730871	2	5461743	
15	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	4	1846.697	8836	4079353	4	16317413	
16	1.51	3.05	1	0.65	0.4225	461.6742	2	923.3484	12340.9881	5697516	2	11395032	
17	1.39	2.81	1	0.62	0.3844	420.04157	4	1680.166	16430.1124	6901330	4	27605321	
18	0.67	1.35	1	0.38	0.1444	157.78877	2	315.5775	21103.3729	3329875	2	6659750	
19	0.31	0.63	1	0.18	0.0324	35.404128	4	141.6165	26360.7696	933280.1	4	3733120	
20	0.00	0.00	0	0	0	0	1	0	32202.3025	0	1	0	
							sum3=	21818.34				sum4=	1.36E+08

Tabel 3 kalkulasi&C

station no	Bn	cn	SM	prod	ε2	cn.ε2	SM	prd	
				3x4		3x6		7x8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	0	0	1	0	26357.523	0	1	0	
1	13	833.04	4	3332.16	21100.468	17577534	4	70310134	
2	28	1794.24	2	3588.48	16427.549	29474965	2	58949931	
3	58	3716.64	4	14866.56	12338.766	45858753	4	1.83E+08	
4	63	4037.04	2	8074.08	8834.1201	35663696	2	71327392	
5	63	4037.04	4	16148.16	5913.61	23873480	4	95493920	
6	63	4037.04	2	8074.08	3577.2361	14441445	2	28882890	
7	63	4037.04	4	16148.16	1824.9984	7367591.5	4	29470366	
8	63	4037.04	2	8074.08	656.8969	2651919.1	2	5303838	
9	63	4037.04	4	16148.16	72.9316	294427.79	4	1177711	
10	63	4037.04	2	8074.08	73.1025	295117.72	2	590235.4	
11	63	4037.04	4	16148.16	657.4096	2653988.9	4	10615955	
12	63	4037.04	2	8074.08	1825.8529	7371041.2	2	14742082	
13	63	4037.04	4	16148.16	3578.4324	14446275	4	57785099	
14	63	4037.04	2	8074.08	5915.1481	23879689	2	47759379	
15	63	4037.04	4	16148.16	8836	35671285	4	1.43E+08	
16	63	4037.04	2	8074.08	12340.988	49821063	2	99642125	
17	58	3716.64	4	14866.56	16430.112	61064813	4	2.44E+08	
18	28	1794.24	2	3588.48	21103.373	37864516	2	75729032	
19	13	833.04	4	3332.16	26360.77	21959576	4	87838302	
20	0	0	1	0	32202.303	0	1	0	
			sum5=	196981.92				sum6=	1.33E+09

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

station no	ε	an	an. ε	SM	prod	bn	bn. ε	SM	prod	cn	cn. ε	SM	prod			
					4.5		2.7		8.9		2.11		12.13			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
0	162.35	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0			
1	145.26	171.366	24892.6	4	99570.501	35.404128	5142.804	4	20571.21453	833.04	121007.4	4	484029.5616			
2	128.17	684.9024	87783.9	2	175567.88	157.78877	20223.79	2	40447.57279	1794.24	229967.7	2	459935.4816			
3	111.08	2676.398	297294	4	1189177.3	420.04157	46658.22	4	186632.8695	3716.64	412844.4	4	1651377.485			
4	93.99	2910.071	273518	2	547035.11	461.6742	43392.76	2	86785.51612	4037.04	379441.4	2	758882.7792			
5	76.9	2910.071	223784	4	895137.78	461.6742	35502.75	4	142010.9839	4037.04	310448.4	4	1241793.504			
6	59.81	2910.071	174051	2	348102.67	461.6742	27612.73	2	55225.4678	4037.04	241455.4	2	482910.7248			
7	42.72	2910.071	124318	4	497272.9	461.6742	19722.72	4	78890.8873	4037.04	172462.3	4	689849.3952			
8	25.63	2910.071	74585.1	2	149170.23	461.6742	11832.71	2	23665.41949	4037.04	103469.3	2	206938.6704			
9	8.54	2910.071	24852	4	99408.019	461.6742	3942.698	4	15770.79067	4037.04	34476.32	4	137905.2864			
10	-8.55	2910.071	-24881.1	2	-49762.21	461.6742	-3947.314	2	-7894.62882	4037.04	-34516.69	2	-69033.384			
11	-25.64	2910.071	-74614.2	4	-298456.9	461.6742	-11837.33	4	-47349.306	4037.04	-103509.7	4	-414038.822			
12	-42.73	2910.071	-124347	2	-248694.7	461.6742	-19727.34	2	-39454.6771	4037.04	-172502.7	2	-345005.438			
13	-59.82	2910.071	-174080	4	-696321.7	461.6742	-27617.35	4	-110469.403	4037.04	-241495.7	4	-965982.931			
14	-76.91	2910.071	-223814	2	-447627.1	461.6742	-35507.36	2	-71014.7254	4037.04	-310488.7	2	-620977.493			
15	-94	2910.071	-273547	4	-1094187	461.6742	-43397.37	4	-173589.499	4037.04	-379481.8	4	-1517927.04			
16	-111.09	2910.071	-323280	2	-646559.5	461.6742	-51287.39	2	-102574.774	4037.04	-448474.8	2	-896949.547			
17	-128.18	2676.398	-343061	4	-1372243	420.04157	-53840.93	4	-215363.713	3716.64	-476398.9	4	-1905595.66			
18	-145.27	684.9024	-99495.8	2	-198991.5	157.78877	-22921.97	2	-45843.9487	1794.24	-260649.2	2	-521298.49			
19	-162.36	171.366	-27823	4	-111291.9	35.404128	-5748.214	4	-22992.8569	833.04	-135252.4	4	-541009.498			
20	-179.45	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0			
				sum7=	-1.16E+06				sum8=	-1.8655E+05				sum9=	-1.6842E+06	

Tabel 5. kalkulasi m, lyy

Station no	weigh/foot	mn	SM	prd	ε2	mn.ε2	SM	prd
				3x4		3.6		7.8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	225000	6987.578	1	6987.57764	26357.523	184175235	1	1.84E+08
1	319000	9906.832	4	39627.3292	21100.468	209038794	4	8.36E+08
2	499000	15496.89	2	30993.7888	16427.549	254575991	2	5.09E+08
3	528000	16397.52	4	65590.0621	12338.766	202325114	4	8.09E+08
4	645000	20031.06	2	40062.1118	8834.1201	176956754	2	3.54E+08
5	645000	20031.06	4	80124.2236	5913.61	118455852	4	4.74E+08
6	645000	20031.06	2	40062.1118	3577.2361	71655816	2	1.43E+08
7	645000	20031.06	4	80124.2236	1824.9984	36556645	4	1.46E+08
8	645000	20031.06	2	40062.1118	656.8969	13158339	2	26316677
9	645000	20031.06	4	80124.2236	72.9316	1460897	4	5843588
10	645000	20031.06	2	40062.1118	73.1025	1464320.3	2	2928641
11	645000	20031.06	4	80124.2236	657.4096	13168608	4	52674434
12	645000	20031.06	2	40062.1118	1825.8529	36573762	2	73147523
13	645000	20031.06	4	80124.2236	3578.4324	71679779	4	2.87E+08
14	645000	20031.06	2	40062.1118	5915.1481	118486662	2	2.37E+08
15	645000	20031.06	4	80124.2236	8836	176994410	4	7.08E+08
16	645000	20031.06	2	40062.1118	12340.988	247203023	2	4.94E+08
17	528000	16397.52	4	65590.0621	16430.112	269413023	4	1.08E+09
18	499000	15496.89	2	30993.7888	21103.373	327036742	2	6.54E+08
19	320000	9937.888	4	39751.5528	26360.77	261970381	4	1.05E+09
20	225000	6987.578	1	6987.57764	32202.303	225016089	1	2.25E+08
			sum10=	1047701.86			sum11=	8.35E+09

Tabel 6. kalkulasi untuk exiting force dan moments (F &M)

Station no	ε	$k\varepsilon$	$\sin k\varepsilon$	$\cos k\varepsilon$	T_m	$2\pi T_m/Lw$	$e^{-\exp}$	cn	$cn.sa$
			(rad)	(rad)			$2\pi T_m/Lw$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	162.35	2.9223	0.21754	-0.97605157	0	0	1	0	0
1	145.26	2.61468	0.50287	-0.86436371	20.67	0.37206	0.689313	833.04	1571.11344
2	128.17	2.30706	0.74098	-0.67152405	20.67	0.37206	0.689313	1794.24	3383.93664
3	111.08	1.99944	0.90953	-0.41563756	20.67	0.37206	0.689313	3716.64	7009.58304
4	93.99	1.69182	0.99269	-0.12072846	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
5	76.9	1.3842	0.98264	0.18551539	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
6	59.81	1.07658	0.88034	0.4743419	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
7	42.72	0.76896	0.69539	0.71863426	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
8	25.63	0.46134	0.44515	0.8954568	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
9	8.54	0.15372	0.15312	0.98820833	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
10	-8.55	-0.1539	-0.15329	0.98818075	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
11	-25.64	-0.46152	-0.44531	0.89537666	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
12	-42.73	-0.76914	-0.69552	0.71850908	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
13	-59.82	-1.07676	-0.88043	0.47418343	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
14	-76.91	-1.38438	-0.98267	0.18533851	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
15	-94	-1.692	-0.99266	-0.12090714	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
16	-111.09	-1.99962	-0.90946	-0.41580127	20.67	0.37206	0.689313	4037.04	7613.85744
17	-128.18	-2.30724	-0.74086	-0.67165742	20.67	0.37206	0.689313	3716.64	7009.58304
18	-145.27	-2.61486	-0.50271	-0.86445421	20.67	0.37206	0.689313	1794.24	3383.93664
19	-162.36	-2.92248	-0.21736	-0.97609071	20.67	0.37206	0.689313	833.04	1571.11344
20	-179.45	-3.2301	0.08839	-0.99608578	0	0	1	0	0

an	an(-sa.We2)		dan/ds	(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	-5.01363	-296.150329	0	296.15033	0	-289.058	-289.057994
171.366	-493.70545	1077.408	-20.0381	-1183.63077	82.527022	1266.1578	541.7931	-1094.421	-552.627765
684.902	-1973.2038	1410.733	-73.2894	-4329.13279	367.80562	4696.9384	1045.329	-3154.107	-2108.77841
2676.4	-7710.7038	-701.1208	-65.1015	-3845.479	979.1169	4824.5959	-637.6906	-2005.283	-2642.97387
2910.07	-8383.914	-770.0565	-6.83652	-403.826653	1076.1626	1479.9892	-764.424	-178.6768	-943.100822
2910.07	-8383.914	-770.0565	0	0	1076.1626	1076.1626	-756.6894	199.6447	-557.044688
2910.07	-8383.914	-770.0565	0	0	1076.1626	1076.1626	-677.9121	510.469	-167.443125
2910.07	-8383.914	-770.0565	0	0	1076.1626	1076.1626	-535.4883	773.3673	237.8790324
2910.07	-8383.914	-770.0565	0	0	1076.1626	1076.1626	-342.7894	963.6571	620.8676369
2910.07	-8383.914	-770.0565	0	0	1076.1626	1076.1626	-117.9075	1063.473	945.5653526
2910.07	-8383.914	-770.0565	0	0	1076.1626	1076.1626	118.0444	1063.443	1181.487552
2910.07	-8383.914	-770.0565	0	0	1076.1626	1076.1626	342.9136	963.5708	1306.484403
2910.07	-8383.914	-770.0565	0	0	1076.1626	1076.1626	535.5879	773.2326	1308.820428
2910.07	-8383.914	-770.0565	0	0	1076.1626	1076.1626	677.9779	510.2985	1188.276306
2910.07	-8383.914	-770.0565	0	0	1076.1626	1076.1626	756.7151	199.4544	956.1694651
2910.07	-8383.914	-770.0565	0	0	1076.1626	1076.1626	764.4073	-130.1157	634.2915287
2910.07	-8383.914	-770.0565	6.83652	403.826653	1076.1626	672.33591	700.3321	-279.5581	420.7740221
2676.4	-7710.7038	-701.1208	65.1015	3845.479	979.1169	-2866.3621	519.4336	1925.213	2444.647001
684.902	-1973.2038	1410.733	73.2894	4329.13279	367.80562	-3961.3272	-709.1917	3424.386	2715.194274
171.366	-493.70545	1077.408	20.0381	1183.63077	82.527022	-1101.1038	-234.1893	1074.777	840.5878867
0	0	0	5.01363	296.150329	0	-296.15033	0	294.9911	294.991132

				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	64.4243267	-64.42433	-289.058	1	-289.058	-64.424327	1	-64.42433	-46928.5653
-931.27	636.709165	-1567.982	-380.933	4	-1523.734	-1080.8299	4	-4323.319	-55334.3911
-947.34	3480.35038	-4427.691	-1453.61	2	-2907.216	-3052.0647	2	-6104.129	-186308.953
291.412	4388.11628	-4096.704	-1821.84	4	-7287.344	-2823.911	4	-11295.64	-202369.536
92.9677	1469.16393	-1376.196	-650.092	2	-1300.183	-948.62977	2	-1897.26	-61102.1044
-142.86	1057.48184	-1200.339	-383.978	4	-1535.912	-827.40926	4	-3309.637	-29527.9143
-365.27	947.389711	-1312.66	-115.421	2	-230.8414	-904.8333	2	-1809.667	-6903.31226
-553.39	748.350784	-1301.74	163.973	4	655.89233	-897.30601	4	-3589.224	7004.930042
-689.55	479.052062	-1168.604	427.972	2	855.94412	-805.53408	2	-1611.068	10968.92391
-760.98	164.776973	-925.7533	651.79	4	2607.1615	-638.13364	4	-2552.535	5566.289835
-760.96	-164.9684	-595.9866	814.415	2	1628.8292	-410.82128	2	-821.6426	-6963.24475
-689.49	-479.22551	-210.2651	900.577	4	3602.3061	-144.93847	4	-579.7539	-23090.7822
-553.29	-748.48998	195.1974	902.187	2	1804.3736	134.55206	2	269.1041	-38550.4412
-365.15	-947.48158	582.3335	819.094	4	3276.3767	401.41001	4	1605.64	-48998.213
-142.72	-1057.5178	914.7966	659.1	2	1318.1999	630.5811	2	1261.162	-50691.3756
93.1053	-1068.2676	1161.373	437.225	4	1748.9013	800.54935	4	3202.197	-41099.1803
320.19	-611.45959	931.6501	290.045	2	580.08991	642.1984	2	1284.397	-32221.0939
470.913	2123.57839	-1652.665	1685.13	4	6740.5067	-1139.2036	4	-4556.814	-215999.537
-1219.5	1991.40496	-3210.919	1871.62	2	3743.2368	-2213.3278	2	-4426.656	-271890.004
-1051.6	239.339851	-1290.988	579.428	4	2317.7122	-889.89451	4	-3559.578	-94075.9397
0	-26.177272	26.17727	294.991	1	294.99113	26.177272	1	26.17727	-52936.1586
				sum12	16100.233				
						sum13	-42852.67		

SM			SM	prd
	30X31	27X2		33x34
31	32	33	34	35
1	-46928.565	-10459.29	1	-10459.2894
4	-221337.56	-157001.3	4	-628005.39
2	-372617.91	-391183.1	2	-782366.271
4	-809478.14	-313680	4	-1254720.11
2	-122204.21	-89161.71	2	-178323.424
4	-118111.66	-63627.77	4	-254511.088
2	-13806.625	-54118.08	2	-108236.16
4	28019.7202	-38332.91	4	-153331.651
2	21937.8478	-20645.84	2	-41291.6772
4	22265.1593	-5449.661	4	-21798.6453
2	-13926.489	3512.522	2	7025.04381
4	-92363.129	3716.222	4	14864.8893
2	-77100.882	-5749.409	2	-11498.8189
4	-195992.85	-24012.35	4	-96049.3862
2	-101382.75	-48497.99	2	-96995.9852
4	-164396.72	-75251.64	4	-301006.556
2	-64442.188	-71341.82	2	-142683.64
4	-863998.15	146023.1	4	584092.459
2	-543780.01	321530.1	2	643060.247
4	-376303.76	144483.3	4	577933.092
1	-52936.159	-4697.511	1	-4697.5114
sum14=	-4178885		sum15=	-2258999.88

Added Mass

$$\begin{aligned} az &= 1/3 \times S \times \text{SUM1} \\ &= 1/3 \times 17.093 \times 136104.4 \\ &= 775477.5897 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ayy &= 1/3 \times S \times \text{SUM2} \\ &4.71986\text{E}+09 \end{aligned}$$

Damping Coefisient

$$\begin{aligned} b &= 1/3 \times S \times \text{SUM3} \\ &124313.6299 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= 1/3 \times S \times \text{SUM4} \\ &775701463.6 \end{aligned}$$

Restoring Force Coefisient For Heaving :

$$\begin{aligned} c &= 1/3 \times S \times \text{SUM5} \\ &1122337.32 \end{aligned}$$

Restoring Moment Coefisient For Pitching

$$\begin{aligned} C &= 1/3 \times S \times \text{SUM6} \\ &7555093454 \end{aligned}$$

Coupling Term

$$\begin{aligned} d &= (-)1/3 \times S \times \text{SUM7} \\ &6.63\text{E}+06 \end{aligned}$$

$$D = d$$

$$\begin{aligned} e &= ((-)1/3 \times S \times \text{SUM8}) + ua \\ &2.071\text{E}+07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= ((-)1/3 \times S \times \text{SUM8}) - ua \\ &-1.85877\text{E}+07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= ((-)1/3 \times S \times \text{SUM9}) + ub \\ &12746091.46 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= (-)1/3 \times S \times \text{SUM9} \\ &9.59598\text{E}+06 \end{aligned}$$

Ship Mass

$$\begin{aligned} m &= 1/3 \times S \times \text{SUM10} \\ &5969455.983 \end{aligned}$$

Ship Mass Moment Of Inersia

$$\begin{aligned} Iyy &= 1/3 \times S \times \text{SUM11} \\ &47562230588 \end{aligned}$$

Exciting Force Component

$$\begin{aligned} F1 &= 1/3 \times S \times \text{SUM12} \\ &91733.75983 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F2 &= 1/3 \times S \times \text{SUM13} \\ &-244160.2495 \end{aligned}$$

Exciting Moment Component

$$\begin{aligned} M1 &= 1/3 \times S \times \text{SUM14} \\ &-23809893.93 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= 1/3 \times S \times \text{SUM15} \\ &-12871028.29 \end{aligned}$$

LAMPIRAN 5

Listing matlab untuk mencari nilai
amplitudo heaving-pitching

Listing Matlab untuk perhitungan Amplitudo Heaving-Pitching
pada $H = 1.15$ m

%%
% data dibawah adalah data contoh untuk mencari besarnya amplitudo yang
% disebabkan oleh gerakan couple heaving dan pitching %
%%

```
m = 775477.589      % massa tambah heaving
a = 5969455.983     % massa kapal
b = 124313.63       % koefisien damping untuk heaving
w = 1.236           % frekuensi encountering
c = 1122337.32      % koefisien gaya pengembali untuk heaving
Iyy = 47562230588   % moment inersia massa kapal
Ayy = 4.71986E+09    % moment inersia massa tambah untuk pitching
B = 775701463.6     % koefisien damping untuk pitching
C = 7555093454      % koefisien moment pengembali untuk pitching
d = 6.63E+06
e = 2.071E+07
h = 12746091.46
D = 6.63E+06
E = -1.8587E+07
H = 9.5959E+06      % d,e,h,D,E,H adalah istilah-istilah couple
F1 = 91733.75893    % komponen gaya luar, F1
F2 = -244160.2495   % komponen gaya luar, F2
M1 = -23809893.93   % komponen moment luar, M1
M2 = -12871028.29   % komponen moment luar, M2
```

%%%

% perhitungan dengan rumus-rumus yang ada %

%%%

$P = -(m+a)*(w^2) + (i*b*w) + c$ % huruf i menunjukan bagian imajiner

$S = -(l_{yy}+A_{yy})*(w^2) + (i*B*w) + C$

$Q = -(d*(w^2)) + (i*e*w) + h$

$R = -(D*(w^2)) + (i*E*w) + H$

%%%

% hasil perhitungan kemudian dipakai untuk mencari nilai 1 %

%%%

$A = P*S$

$F = Q*R$

$G = (A-F)$

$J = \text{conj}(G)$

$K = G * J$

%%%

% mencari nilai 2 %

%%%

$F_a = F_1 + i*F_2$

$M_a = M_1 + i*M_2$

$L_1 = F_a*S$

$N_1 = M_a*Q$

$T_1 = L_1-N_1$

$T_a = T_1*J$

%%%

% mencari nilai 3 %

%%%

$$L2 = Ma * P$$

$$N2 = Fa * R$$

$$T2 = L2 - N2$$

$$Tb = T2 * J$$

%%%

% mencari nilai amplitudo heaving (Za) %

%%%

$$Z = Ta / K$$

$$Z1 = \text{real}(Z)$$

$$Z2 = \text{imag}(Z)$$

$$Za = (((Z1^2) + (Z2^2))^{(1/2)})$$

%%%

% mencari nilai amplitudo pitching (Ua) %

%%%

$$U = Tb / K$$

$$U1 = \text{real}(U)$$

$$U2 = \text{imag}(U)$$

$$Ua = (((U1^2) + (U2^2))^{(1/2)})$$

%%%

% sudut phase gerakan pitching v %

%%%

$$x = U1 / Ua$$

$$v = \text{acos}(x)$$

$$v_deg = \text{rad2deg}(v) \quad \% \text{ nilai konversi dari sudut ke derajat}$$

LAMPIRAN 6

Listing macro minitab

Lampiran Listing Macro Minitab :

```
gmacro  
mcs
```

```
#Zonal:  
do k13=1:1  
let k1=0  
let k12=1  
let k11=0.05  
let c16(1)=0  
#while k12>k11  
let k1=k1+1
```

```
#Jumlah Sampling  
name k2 'Jumlah Sampling'  
let k2=10000
```

```
#Lebar Midship Kapal k3:  
name k3 'L'  
let k3=19.2
```

```
#Draft Kapal k4:  
name k4 'T'  
let k4=6.3
```

```
#Luas Penampang melintang kapal k5:  
name k5 'As'  
let k5=L*T
```

```
#Lebar Alur k6:  
name k6 'B'  
let k6=100
```

```
#Percepatan Gravitasi k7:  
name k7 'g'  
let k7=9.81
```

```
#Kedalaman yang ditambahkan k14 :  
name k14 'x'  
let k14=1.7
```

```
#Random Kedalaman Perairan Section c1 :  
name c1 'h'  
rand k2 c1;  
beta 1.58 0.912.  
let c1 = 4.71+(1.08*h)
```

#Luas Penampang Melintang Alur c2 :

name c2 'Ac'

let c2=h*B

#Hitung m c3 :

name c3 'm'

let c3=As/Ac

#Hitung Fr c4 :

name c4 'Fr'

let c4=0.78*((1-m)**2.25)

#Hitung Batas Kecepatan Maksimum Kapal c5:

name c5 'Vlim'

let c5=Fr*((g*h)**0.5)

#hitung Depresi Permukaan Air Maksimum c6:

name c6 'Zlim'

let c6=(h/3)*(1-m-((Vlim**2)/(g*h)))

#Hitung Ulim c7:

name c7 'Ulim'

let c7=(((2/3)*(1-m+(1/2)*(Vlim**2)/(g*h)))**((1/2))*(g*h)**(1/2))-Vlim

#Hitung c c8:

name c8 'c'

let c8=2*g*h

#Hitung Vs c9:

name c9 'Vs'

let c9= Vlim

#Hitung a c10:

name c10 'a'

let c10=(1.4-(0.4*(Vs/Vlim)))

#Hitung d c11:

name c11 'd'

let c11=Ac*c

#Hitung e c12:

name c12 'e'

let c12=(3*a*Ac*Vs)*k1

#Hitung f c13:

name c13 'f'

let c13=((3*a-1)*Ac*(Vs**2))-(T+(As*c))*(k1**2)


```
#Hitung i c14:
name c14 'i'
let c14=((a-1)*Ac*(Vs**3)+(As*c*Vs))*(k1**3)
```

```
#Hitung j c15:
name c15 'j'
let c15=a*Ac
#endwhile
```

```
#Hitung k c16 atau  $k = f/i(a)$  :
name c16 'koefisien_a'
let c16 = c13/c14
```

```
#Hitung l c17 atau  $l = e/i(b)$  :
name c17 'koefisien_b'
let c17 = c12/c14
```

```
#Hitung m c18 atau  $m = j/i(c)$  :
name c18 'koefisien_c'
let c18 = c15/c14
```

```
#potongan rumus1 :
name c19 'formula1'
let c19 = ((9*c18)-(c16*c17)+sqrt((81*(c18**2))-
(54*c16*c17*c18)+(12*(c16**3)*c18)+(12*(c17**3))-(3*(c16**2)*(c17**2))))
```

```
#potongan rumus2 :
name c20 'formula2'
let c20 = 2*((c16**2)-3*c17)
```

```
#gabung ke 2 rumus (z):
name c21 'fUnion'
let c21 = c19/c20
```

```
#Hitung konstanta (e) :
name c22 'Konstanta_e'
let c22 = (3*(c21**2)) + (2*c16*c21) + c17
```

```
#Hitung konstanta (f) :
name c23 'Konstanta_f'
let c23 = (c21**3) + (c16*c21*c21) + (c17*c21) + c18
```

```
#Hitung U :
name c24 'U'
let c24 = c21 + (3*c23)/((((c22*3)-(27*c23*c23))**0.333)*((-1+sqrt(3))/2) -c22)
```

```
#Hitung besarnya Nilai Squat Z:
name c25 'Z'
```

```
let c25=(a*(((Vs+c24)**2)/(2*g)))-((Vs**2)/(2*g))
```

```
#Random Pasang surut c27:
```

```
name c27 'Pasang Surut'
```

```
name c26 'Uniform'
```

```
name c27 'triangular'
```

```
rand k2 c26;
```

```
uniform 0.00542 0.264.
```

```
let k8 = 0.10471
```

```
do k9=1:k2
```

```
if c26(k9)<k8
```

```
let c27(k9) = sqrt(k8*c26(k9))
```

```
else
```

```
let c27(k9) = 1 -sqrt((1-k8)*(1-c26(k9)))
```

```
endif
```

```
enddo
```

```
#Random Heaving-pitching c28 :
```

```
name c28 'Za'
```

```
rand k2 c28;
```

```
beta 2.79 2.70653.
```

```
let c28 = Za
```

```
#Perhitungan Moda Kegagalan MK(Z) c29:
```

```
name c29 'MK(Z)'
```

```
let c29=(c1+c26)-(c25+c28+k4)
```

```
enddo
```

```
#Perhitungan Kegagalan dan Sukses c30:
```

```
name c30 'sukses=1;gagal=0'
```

```
do k10=1:k2
```

```
if c29(k10)>0
```

```
let c30(k10) = 1
```

```
else
```

```
let c30(k10) = 0
```

```
endif
```

```
enddo
```

```
Tally C30;
```

```
Counts;
```

```
Percents.
```

```
endmacro
```

LAMPIRAN 7

Analisa Keandalan Montecarlo

TABEL HASIL ANALISA KEANDALAN PADA SECTION 1

h	Ac	m	Fr	Vlim	Zlim	Ulim	c	Vs	U	Z	Pasut	triangular	Za	MK(Z)	sukses=1;gagal=0
5.43808	543.808	0.222432	0.44285	3.23455	1.05399	2.34592	106.695	3.23455	0.95803	0.362663	0.185984	0.146314	0.489937	-1.52854	0
5.3323	533.23	0.226844	0.437216	3.16219	1.03446	2.34196	104.62	3.16219	0.87261	0.320089	0.209124	0.158535	0.276557	-1.35522	0
5.35544	535.544	0.225864	0.438464	3.17809	1.03875	2.34283	105.074	3.17809	0.89038	0.328859	0.106551	0.105631	0.170972	-1.33784	0
5.78068	578.068	0.209249	0.459922	3.46345	1.1161	2.35835	113.417	3.46345	1.3413	0.565244	0.216647	0.162547	0.770782	-1.6387	0
5.33008	533.008	0.226938	0.437096	3.16066	1.03405	2.34187	104.576	3.16066	0.87093	0.319262	0.253245	0.182343	0.684653	-1.72059	0
4.86823	486.823	0.248468	0.410181	2.83463	0.94652	2.32345	95.515	2.83463	0.58502	0.186488	0.14027	0.12267	0.870074	-2.34807	0
5.37625	537.625	0.22499	0.439579	3.19235	1.0426	2.34361	105.482	3.19235	0.90678	0.336991	0.217894	0.163214	0.641608	-1.68446	0
5.70279	570.279	0.212107	0.456191	3.41212	1.10213	2.35558	111.889	3.41212	1.23485	0.507227	0.243526	0.17704	0.443542	-1.30445	0
4.85748	485.748	0.249018	0.409506	2.82684	0.94443	2.323	95.304	2.82684	0.57927	0.184024	0.068561	0.084729	0.173843	-1.73183	0
5.76046	576.046	0.209983	0.458961	3.45016	1.11248	2.35763	113.02	3.45016	1.31222	0.549271	0.060257	0.079432	0.274023	-1.30258	0
5.73165	573.165	0.211039	0.457583	3.43119	1.10732	2.35661	112.455	3.43119	1.2726	0.527656	0.194556	0.150821	0.261317	-1.16276	0
4.90057	490.057	0.246828	0.412198	2.85801	0.95278	2.32482	96.149	2.85801	0.60243	0.194009	0.035597	0.061052	0.538665	-2.0965	0
5.55264	555.264	0.217842	0.448752	3.31201	1.07495	2.35014	108.943	3.31201	1.06472	0.417244	0.213382	0.160803	0.616719	-1.56794	0
5.14725	514.725	0.234999	0.426907	3.03358	0.99985	2.33482	100.989	3.03358	0.74508	0.258698	0.060239	0.079421	0.460377	-1.81159	0
5.44693	544.693	0.22207	0.443313	3.24057	1.05562	2.34625	106.869	3.24057	0.9657	0.366536	0.094445	0.099445	0.632548	-1.75771	0
5.32834	532.834	0.227013	0.437001	3.15946	1.03373	2.34181	104.542	3.15946	0.86961	0.318614	0.161247	0.133439	0.791443	-1.92047	0
5.13519	513.519	0.235551	0.426215	3.02511	0.99758	2.33435	100.753	3.02511	0.73752	0.255153	0.174238	0.140177	0.571456	-1.81718	0
5.31974	531.974	0.227379	0.436535	3.15354	1.03213	2.34148	104.373	3.15354	0.86315	0.315445	0.12141	0.113099	0.42948	-1.60377	0
5.07342	507.342	0.238419	0.422625	2.98154	0.98588	2.33189	99.54	2.98154	0.69993	0.237697	0.212942	0.160569	0.602267	-1.8536	0
5.10563	510.563	0.236915	0.424506	3.0043	0.99199	2.33318	100.172	3.0043	0.7193	0.246656	0.24645	0.178632	0.261606	-1.45618	0
5.05485	505.485	0.239295	0.421533	2.96838	0.98235	2.33115	99.176	2.96838	0.68896	0.232664	0.068152	0.084476	0.521591	-1.93126	0
5.30592	530.592	0.227972	0.435782	3.14401	1.02956	2.34096	104.102	3.14401	0.8529	0.310423	0.047166	0.070276	0.668335	-1.92567	0
5.56352	556.352	0.217416	0.449302	3.31931	1.07693	2.35054	109.156	3.31931	1.07577	0.422982	0.215344	0.161851	0.105456	-1.04958	0
4.98095	498.095	0.242845	0.417119	2.91575	0.96824	2.32815	97.726	2.91575	0.64663	0.213503	0.082543	0.092968	0.291544	-1.74156	0
5.66892	566.892	0.213374	0.454541	3.38967	1.09603	2.35436	111.224	3.38967	1.19284	0.484688	0.232006	0.170797	0.603114	-1.48687	0
5.34338	534.338	0.226374	0.437814	3.16981	1.03652	2.34238	104.837	3.16981	0.88106	0.324253	0.069452	0.085278	0.699765	-1.91118	0
4.88804	488.804	0.247461	0.411419	2.84896	0.95035	2.32429	95.903	2.84896	0.59567	0.191074	0.094896	0.099682	0.440052	-1.94819	0
5.38268	538.268	0.224721	0.439922	3.19675	1.04379	2.34386	105.608	3.19675	0.91193	0.339555	0.226725	0.167951	0.480216	-1.51037	0
5.09464	509.464	0.237426	0.423867	2.99654	0.98991	2.33274	99.957	2.99654	0.71264	0.243566	0.015642	0.04047	0.83191	-2.26519	0
5.37752	537.752	0.224937	0.439646	3.19322	1.04283	2.34366	105.507	3.19322	0.90779	0.337495	0.049733	0.072164	0.775474	-1.98572	0
5.10666	510.666	0.236867	0.424566	3.00502	0.99218	2.33322	100.193	3.00502	0.71993	0.246947	0.172002	0.139013	0.49285	-1.76114	0
5.62557	562.557	0.215018	0.452407	3.36083	1.08819	2.3528	110.374	3.36083	1.14236	0.457877	0.149655	0.127472	0.576484	-1.55913	0
5.09682	509.682	0.237324	0.423994	2.99808	0.99032	2.33283	100	2.99808	0.71396	0.244176	0.209744	0.158865	0.189385	-1.42699	0
5.55908	555.908	0.21759	0.449078	3.31633	1.07612	2.35038	109.069	3.31633	1.07124	0.420627	0.127965	0.116414	0.62132	-1.65491	0
5.75902	575.902	0.210036	0.458893	3.44922	1.11222	2.35758	112.992	3.44922	1.3102	0.548165	0.220822	0.164781	0.258002	-1.12632	0
5.17215	517.215	0.233868	0.428329	3.05104	1.00455	2.3358	101.478	3.05104	0.76094	0.266175	0.040018	0.064732	0.527945	-1.88195	0
5.28086	528.086	0.229053	0.434409	3.1267	1.0249	2.34	103.611	3.1267	0.83471	0.301555	0.10699	0.105851	0.338972	-1.55267	0
5.7375	573.75	0.210824	0.457864	3.43504	1.10836	2.35682	112.57	3.43504	1.28048	0.531938	0.164982	0.135371	0.735933	-1.66539	0
5.04595	504.595	0.239717	0.421007	2.96207	0.98066	2.33079	99.002	2.96207	0.68376	0.230285	0.22846	0.168885	0.446473	-1.70235	0

TABEL HASIL ANALISA KEANDALAN PADA SECTION 1
SETELAH DITAMBAHKAN KEDALAMAN X = 2.0 M

h	Ac	m	Fr	Vlim	Zlim	Ulim	c	Vs	U	Z	Pasut	triangular	Za	MK(Z)	sukses=1;gagal=0
5.5244	552.44	0.218956	0.447316	3.293	1.0698	2.34911	108.389	3.293	1.03683	0.402831	0.060895	0.079852	0.422445	0.46002	1
4.82883	482.883	0.250495	0.407696	2.80603	0.93887	2.32177	94.742	2.80603	0.564	0.177537	0.223592	0.166267	0.700602	-0.12571	0
5.25632	525.632	0.230123	0.433055	3.1097	1.02032	2.33906	103.129	3.1097	0.81735	0.293145	0.151866	0.128607	0.767697	0.04735	1
4.84762	484.762	0.249525	0.408885	2.81968	0.94252	2.32258	95.11	2.81968	0.574	0.181779	0.189748	0.14829	0.514867	0.04072	1
5.41225	541.225	0.223493	0.441491	3.21696	1.04924	2.34496	106.188	3.21696	0.93614	0.351653	0.256253	0.183992	0.407968	0.60888	1
5.57139	557.139	0.217109	0.449699	3.32459	1.07836	2.35083	109.311	3.32459	1.08388	0.4272	0.162089	0.133875	0.505675	0.5006	1
5.55398	555.398	0.21779	0.44882	3.31291	1.0752	2.35019	108.969	3.31291	1.06307	0.417947	0.233523	0.171616	0.583291	0.48627	1
5.47257	547.257	0.22103	0.444648	3.25797	1.06032	2.3472	107.372	3.25797	0.98843	0.378058	0.046893	0.070072	0.669884	0.17152	1
5.58152	558.152	0.216715	0.450209	3.33138	1.0802	2.3512	109.509	3.33138	1.09445	0.432715	0.065287	0.082681	0.427649	0.48644	1
5.69056	569.056	0.212562	0.455597	3.40403	1.09993	2.35514	111.649	3.40403	1.21941	0.49892	0.053681	0.074973	0.263062	0.68226	1
5.50103	550.103	0.219886	0.446118	3.27723	1.05554	2.34825	107.93	3.27723	1.01458	0.391406	0.022395	0.048425	0.209301	0.62272	1
5.77696	577.696	0.209384	0.459746	3.461	1.11543	2.35822	113.344	3.461	1.33586	0.56225	0.007891	0.028744	0.622655	0.29994	1
5.26656	526.656	0.229675	0.433621	3.1168	1.02224	2.33945	103.33	3.1168	0.82454	0.296622	0.173907	0.140004	0.682015	0.16183	1
5.52314	552.314	0.219006	0.447252	3.29215	1.06958	2.34906	108.364	3.29215	1.03562	0.402208	0.138921	0.121982	0.488002	0.47186	1
4.81266	481.266	0.251337	0.406667	2.79425	0.93572	2.32108	94.424	2.79425	0.5554	0.17392	0.169639	0.137785	0.523216	-0.01484	0
5.63673	563.673	0.214592	0.452959	3.36827	1.09021	2.3532	110.593	3.36827	1.15502	0.464573	0.181652	0.144045	0.6297	0.42411	1
5.15579	515.579	0.23461	0.427396	3.03958	1.00146	2.33516	101.157	3.03958	0.75048	0.261239	0.186749	0.146715	0.510031	0.27127	1
5.47035	547.035	0.221119	0.444533	3.25646	1.05992	2.34712	107.328	3.25646	0.98643	0.377042	0.242685	0.176582	0.512015	0.52397	1
5.5796	557.96	0.21679	0.450112	3.3301	1.07986	2.35113	109.472	3.3301	1.09243	0.431663	0.21775	0.163137	0.394945	0.67074	1
5.19351	519.351	0.232906	0.42954	3.06598	1.00856	2.33663	101.897	3.06598	0.77483	0.272762	0.247897	0.179421	0.858963	0.00968	1
5.6321	563.21	0.214769	0.45273	3.36518	1.08937	2.35303	110.502	3.36518	1.14974	0.461776	0.044356	0.068151	0.362898	0.55178	1
5.45201	545.201	0.221863	0.443579	3.24402	1.05655	2.34644	106.968	3.24402	0.97015	0.368784	0.140919	0.123002	0.594911	0.32924	1
4.99036	499.036	0.242387	0.417687	2.92248	0.97004	2.32853	97.911	2.92248	0.65192	0.215873	0.156376	0.130927	0.75805	-0.12718	0
5.71437	571.437	0.211677	0.456751	3.41978	1.10421	2.35599	112.116	3.41978	1.24978	0.515285	0.010503	0.033163	0.258065	0.65153	1
5.30492	530.492	0.228015	0.435727	3.14332	1.02938	2.34092	104.082	3.14332	0.85216	0.310063	0.150409	0.127859	0.848645	-0.00338	0
5.44311	544.311	0.222226	0.443114	3.23797	1.05492	2.34611	106.794	3.23797	0.96239	0.36486	0.201248	0.154356	0.2793	0.7002	1
5.57244	557.244	0.217068	0.449752	3.3253	1.07856	2.35087	109.331	3.3253	1.08497	0.42777	0.102256	0.103476	0.171657	0.77527	1
5.5296	552.96	0.21875	0.447581	3.2965	1.07075	2.3493	108.491	3.2965	1.04188	0.405434	0.262332	0.187334	0.500604	0.58589	1
5.12445	512.445	0.236045	0.425596	3.01756	0.99555	2.33392	100.542	3.01756	0.73085	0.252034	0.120342	0.11256	0.695839	-0.00308	0
5.43233	543.233	0.222667	0.442549	3.23064	1.05294	2.34571	106.582	3.23064	0.9531	0.360177	0.219753	0.164209	0.681652	0.31026	1
5.09428	509.428	0.237443	0.423846	2.99629	0.98984	2.33273	99.95	2.99629	0.71242	0.243466	0.118165	0.111463	0.54935	0.11963	1
5.37173	537.173	0.225179	0.439337	3.18926	1.04177	2.34344	105.393	3.18926	0.90319	0.335206	0.034852	0.06041	0.296293	0.47509	1
5.74216	574.216	0.210652	0.458087	3.43812	1.1092	2.35698	112.661	3.43812	1.28683	0.535394	0.227781	0.16852	0.495633	0.63892	1
5.76406	576.406	0.209852	0.459133	3.45253	1.11313	2.35776	113.091	3.45253	1.31732	0.552064	0.007428	0.027889	0.288201	0.63122	1
5.64392	564.392	0.214319	0.453313	3.37305	1.09151	2.35346	110.734	3.37305	1.1633	0.46896	0.157855	0.131689	0.684239	0.34857	1
4.97339	497.339	0.243214	0.416662	2.91034	0.96679	2.32784	97.578	2.91034	0.6424	0.211616	0.072712	0.087256	0.408334	0.12615	1
4.88777	488.777	0.247475	0.411402	2.84876	0.9503	2.32428	95.898	2.84876	0.59552	0.191011	0.141851	0.123477	0.575953	-0.03735	0
5.71295	571.295	0.21173	0.456682	3.41884	1.10396	2.35594	112.088	3.41884	1.24793	0.514283	0.097553	0.101068	0.737656	0.25856	1
5.75047	575.047	0.210348	0.458485	3.44359	1.11069	2.35728	112.824	3.44359	1.29826	0.54163	0.133811	0.119381	0.432371	0.61028	1
5.47467	547.467	0.220945	0.444757	3.25939	1.06071	2.34728	107.413	3.25939	0.99032	0.379024	0.027403	0.053566	0.318189	0.50486	1

LAMPIRAN 8

Hasil Uji Coba Kecocokan Parameter
Distribusi

Lampiran Hasil Uji Kecocokan Parameter Distribusi

Section 1 ;

Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: $4.71 + 1.08 * \text{BETA}(1.58, 0.912)$

Square Error: 0.016201

Chi Square Test

Number of intervals = 4

Degrees of freedom = 1

Test Statistic = 2.81

Corresponding p-value = 0.0953

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.21

Corresponding p-value = 0.0828

Data Summary

Number of Data Points = 35

Min Data Value = 4.8

Max Data Value = 5.7

Sample Mean = 5.39

Sample Std Dev = 0.279

Histogram Summary

Histogram Range = 4.71 to 5.79

Number of Intervals = 5

Section 2 ;

Distribution Summary

Distribution: Weibull

Expression: $0.12 + \text{WEIB}(2.92, 2.22)$

Square Error: 0.012556

Chi Square Test

Number of intervals = 5

Degrees of freedom = 2

Test Statistic = 4.89

Corresponding p-value = 0.0897

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.101

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 73

Min Data Value = 0.6

Max Data Value = 5.3

Sample Mean = 2.7

Sample Std Dev = 1.25

Histogram Summary

Histogram Range = 0.12 to 5.77

Number of Intervals = 8

Section 3 ;

Distribution Summary

Distribution: Erlang

Expression: $3 + \text{ERLA}(0.145, 7)$

Square Error: 0.066682

Chi Square Test

Number of intervals = 4

Degrees of freedom = 1

Test Statistic = 19.1

Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.179

Corresponding p-value = 0.01

Data Summary

Number of Data Points = 80

Min Data Value = 3.1

Max Data Value = 5

Sample Mean = 4.01

Sample Std Dev = 0.352

Histogram Summary

Histogram Range = 3 to 5

Number of Intervals = 8

Section 4 ;

Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: $3.44 + 1.92 * \text{BETA}(2.9, 5.35)$

Square Error: 0.018951

Chi Square Test

Number of intervals = 4

Degrees of freedom = 1

Test Statistic = 6.72

Corresponding p-value = 0.00964

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0963

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 79

Min Data Value = 3.6

Max Data Value = 5.2

Sample Mean = 4.12

Sample Std Dev = 0.301

Histogram Summary

Histogram Range = 3.44 to 5.36

Number of Intervals = 8

Section 5 ;

Distribution Summary

Distribution: Triangular

Expression: $\text{TRIA}(4.16, 4.81, 5.84)$

Square Error: 0.021221

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 4

Test Statistic = 11.6

Corresponding p-value = 0.0215

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.099

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 84

Min Data Value = 4.3

Max Data Value = 5.7

Sample Mean = 4.9

Sample Std Dev = 0.288

Histogram Summary

Histogram Range = 4.16 to 5.84

Number of Intervals = 9