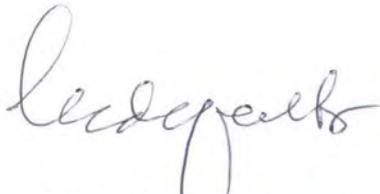


LEMBAR PENGESAHAN

Surabaya ,1997
Mahasiswa

(Arif Mujiantonno)
NRP. 41924100023

Dosen Pembimbing
Surabaya ,1997



(Ir. Murdijanto, M.Eng)
NIP. 130532028

Pembimbing dari LHI
Surabaya ,1997



(Ir. Suryanto, MSc)
NIP. 680003626



JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

No. : 141 /PT12.FTK2/M/1996

Nama Mahasiswa : Arif Mujiantono
Nomor Pokok : 4192100023
Tanggal diberikan tugas : 02 Oktober 1996
Tanggal selesai tugas : 01 Maret 1997
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Murdijanto, M.Eng
2. Ir. Suryanto, MSc

Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :

#DESAIN ALTERNATIF BENTUK BADAN (HULL) PADA KAPAL IKAN TRADISIONAL UNTUK--
MENDAPATKAN TAHANAN KAPAL YANG KECIL DAN PENGARUHNYA TERHADAP SEAKEEPING#

sOn

Surabaya, 02 Oktober 1996

Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS



Tembusan :

1. Yth. Dekan FTK-ITS.
2. Yth. Dosen Pembimbing.
3. Arsip.

NIP. 130 532 029.

ABSTRAK

Dalam merencanakan suatu kapal maka hal-hal yang harus diperhatikan adalah [10]:

stabilitas, resistance, propulsion, cavitation seakeeping, struktural design, manoevering.

Maka dalam penulisan tugas akhir ini akan dicoba dibahas mengenai kaitan dari dua masalah tersebut diatas yaitu antara resistance dan seakeeping. Disini akan dibuktikan apakah kapal yang mempunyai tahanan yang lebih baik, juga mempunyai seakeeping yang baik juga. Pembuktian tersebut dilakukan dengan dua macam metode hal ini untuk memberikan 'kepastian' mengenai metode yang dipakai. Karena bisa saja bila dihitung dengan metode 'A' hasilnya bisa berbeda dengan metode 'B'.

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji syukur atas segala rahmat serta petunjuk Allah Yang Maha Esa, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul " Desain Alternatif Bentuk Badan (Hull) pada Kapal Ikan Tradisional untuk mendapatkan Tahanan Kapal yang kecil dan pengaruhnya terhadap Seakeeping "

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi persyaratan kurikuler dalam menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Walaupun penulis telah berusaha untuk menyelesaikan penulisan tugas akhir ini dengan sebaik mungkin, namun sebagai manusia biasa kami tetap memiliki keterbatasan kemampuan sehingga mungkin ditemukan kesalahan yang tidak disengaja maupun yang direncanakan dalam penulisan tugas akhir ini. Karena itu penulis mengharapkan adanya masukan - masukan baik berupa saran maupun koreksi yang berguna untuk lebih menyempurnakannya tugas akhir ini, sehingga dapat lebih bermanfaat bagi pembaca.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada :

1. Ir Koestowo selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Ir Murdijanto M Eng, selaku dosen pembimbing.
3. Ir Suryanto M.Sc, selaku dosen pembimbing.
4. Seluruh Pimpinan, staf, dan karyawan LHI-BPPT Surabaya.
5. Karyawan - karyawan FTK- ITS.

6 . Ibu dan keluarga di Jember dan Surabaya.

7 . Teman-teman : Jamsir (calon Raja), Purwito Lhoo, Mulyatno (atas tanda tangannya), Anis Stempel, Wahyu Preman Jogja, Zakky atas numpang makannya, Makmun (salam dari Rina), Teguh Ooo, Cak NO akeh banyune, Budi Hantu, Abbas Pak Wid skala 1: 1.5, Yudi Chetoos, Sueb Andjar , Anang atas gambar-gambarnya, Farid Kirom, Budi Cabul, Muxon, Dedy 2-2nya, Khoirul Gresik, Ixcan Pentium, Maruli, Parlin An3dis, Jerry, Nyom-nyom, Candra Mr Bean, Wira (eh dicari anaknya pak Giyo kostnya Jamsir), Putu Pheng-tan, Santo, Munawar, Imam, Khomaruddin, Teddy, Riza, Anton, Mas Irfan dan LJ lainnya, dan lain-lain poko ke komplit kalau kurang tulisen dhewe.....

Surabaya, Agustus 1997

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Copy Surat Keputusan Tugas Akhir	ii
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak.....	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Notasi	x
Daftar Gambar	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penulisan	4
1.3. Permasalahan	4
1.4. Manfaat Penulisan	5
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Metodologi	6
BAB II. LANDASAN TEORI	7
2.1. Tahanan Kapal	7
2.1.1. Tahanan Gesek	9
2.1.1.1. Koefisien Tahanan Gesek	10
2.1.1.2. Eksperimen Froude Pada Gesekan	10
2.1.1.3. Hasil Kerja Dari Konferensi Tanki Percobaan Tarik	12

2.1.1.4. Perumusan Tahanan Kekentalan 3 - D	15
2.1.2. Tahanan Gelombang	17
2.1.2.1. Sistem Gelombang Kapal	17
2.1.2.2. Tahanan Gelombang Pada Permukaan Kapal	20
2.1.3. Efek Interferensi	21
2.2. Seakeeping	23
2.2.1. Energi Gelombang	25
2.2.2. Konsep Spektrum	27
2.2.3. Scatter Diagram	33
2.2.5. Sudut Heading dan Encounter Frequency	35
2.2.6. Gerakan - Gerakan Kapal	37
2.2.6.1. Persamaan Gerakan	38
2.2.6.2. Gerakan Kopel	47
2.2.7. Strip Theory	48
2.2.8. Seakeeping Kriteria	51
BAB III. PERHITUNGAN DARI HASIL PERCOBAAN TAHANAN	56
3.1. Pertimbangan Variabel Yang Dipakai	56
3.2. Gambar Rencana Garis Kapal (Basic Design And Modified Design)	58
3.3 Pengujian Tahanan (Calm Water Resistance Test)	61
3.3.1. Prosedur Pengujian Tahanan	61
3.3.2. Ekstrapolasi Hasil Pengujian Tahanan Menurut Modern Marine Methode	63
3.4. Analisa Aliran Pada Badan Kapal	73

DAFTAR NOTASI

TAHANAN KAPAL.

V = kecepatan [m/det]

L = panjang benda [m]

g = percepatan grafitasi [m/det²]

S = luas permukaan basah benda tersebut [m²]

ρ = massa jenis

R = tahanan , kn atau lb

S = luas total dari permukaan m² atau ft²

V = kecepatan, m/s atau ft/s

f dan n tergantung pada panjang dan sifat dari permukaan.

R_f = tahanan dalam kNewton

L = panjang dalam meter

V_k = kecepatan dalam knots

Percobaan model

R_{ws} = tahanan gelombang kapal.

R_{wm} = tahanan gelombang model.

ρ = massa jenis air laut.

ρ = massa jenis air tawar.

SEAKEEPING

ρ = density

ζ = amplitudo

g = grafitasi

$S(f)$ = spectral density (m^2 / Hz)

H_s = Significant Wave Height (m)

T_p = Peiode (detik)

γ = faktor bentuk

m = massa

\ddot{Z} = percepatan dalam sumbu- z

F = jumlah dari semua gaya dalam sumbu- z

= gaya luar yang bekerja pada kapal

= gaya yang terjadi ketika kapal sedang bergerak sebagai reaksi dari gerakan tersebut

a = koefisien hidrodinamik *added mass*

b = koefisien hidrodinamik *damping*

c = koefisien hidrostatik *spring*

x = vektor dari displasemen (6 derajat kebebasan dari gerakan)

\dot{x} = vektor kecepatan (6 derajat kebebasan dari kecepatan)

\ddot{x} = vektor percepatan (6 derajat kebebasan dari percepatan)

$[M]$ = matriks dari massa (36 elemen)

$[N]$ = matriks damping (36 elemen)

$[C]$ = matriks spring (36 elemen)

$\begin{bmatrix} \bar{F} \end{bmatrix}$ = vektor gaya (6 komponen)

3.5. Kesimpulan Pengujian Tarik	73
BAB IV. PREDIKSI BERDASARKAN PERHITUNGAN SEAKEEPING.....	75
4.1. Pendahuluan	75
4.2. Perhitungan Pendekatan	75
4.2.1. Data Yang Dibutuhkan (Input)	76
4.2.2. Data Yang Dihasilkan (Output)	77
4.3. Perhitungan Untuk Mendapatkan Indeks	77
BAB V METODE ANALISA	80
5.1. Metode Analisa Unjuk Kerja Seakeeping	80
5.2. Metode Rank Indeks Total	80
5.3. Analisa Metode Rank Indeks Total	81
5.4. Metode Empiris	85
5.5. Perbandingan Antara Metode Rank Indeks Total Dengan Empiris	85
BAB V KESIMPULAN	86
Daftar Pustaka	87
Lampiran	88
Copy Daftar Kemajuan Tugas Akhir	

DAFTAR PUSTAKA

1. Bhattacharyya, R. **Dynamics of Marine Vehicles**, John Wiley & Sons, Toronto, Canada, 1978 .
 2. British Maritim Technology, **Global Wave Statistics**, Unwin Brothers Ltd, UK, 1986.
 3. Siswanto, Digul, **Diktat Tahanan Kapal**, ITS, Surabaya.
 4. Endall, A., **Energy Fishing - Challenge and Opportunities**, Proceedings: World Symosium on Fishing Gear and Fishing Vessel Design, 1988.
 5. Harvald, SV. AA, **Resistance and Propulsion of Ship**, John Wiley & Sons, 1983.
 6. Huthicon, B. L & Laible, D. H., **Conceptual Design of a Medium-Endurance Research Vessel Optimized for Mission Flexibility and Seakeeping**, *Marine Technology*. SNAME, vol 24, 1987.
 7. Lewis, E.V., PNA vol II : **Resistance, Propulsion, and Vibration**, SNAME, USA, 1988.
 8. Lewis, E.V., PNA vol III : **Motion and Stability**, SNAME, USA, 1988.
 9. Lloyd, A.R.M.J., **Seakeeping : Ship Behaviour in Rough Weather**, Elish Horwood Ltd, England, 1989.
 10. MARIN, **Introduction Seakeeping, Manoevering & Ocean Engineering**.
 11. MARIN, **SHIPMO Manual**.
 12. Rawson, K.J. **Basic Ship Theory vol II**, Longman, USA, 1984.
 13. Throung, **Fishing Boats of the World**.
 14. Wijgaarden, A.M. van, **The Optimum Form of Small Hull for North Sea area**, *International Shipbuilding Progress* vol 31, 1984.
-

-
15. Zborowski, A & Sainsbury, S.R., **Small Vessel Hull Form Optimization for Heave and Pitch performance**, *Marine Technology*, SNAME, vol 25, 1988.
-

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Kebutuhan dunia terhadap sumber protein hewani salah satunya dipenuhi oleh ikan. Merupakan suatu masalah bagi negara dunia ketiga untuk memenuhi kebutuhan akan protein hewani (ikan) sehubungan dengan keterbatasannya dalam bidang energi. Cara alternatif untuk menanggulangi masalah tersebut adalah :

- mencari sumber energi baru
- penghematan energi

Sumber energi baru dapat diperoleh antara lain dengan jalan mengadakan riset-riset yang dilakukan oleh para ahli, sedangkan dalam hal penghematan energi dapat dilakukan dengan perbaikan dalam bidang manajemen dan peraturan perikanan, membuat desain yang dapat menghemat energi baik yang berhubungan dengan permesinan maupun badan kapalnya. Lebih jauh mengenai penghematan energi dilakukan dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut [3]

- Strategi energi nasional, merupakan strategi industri perikanan jangka panjang yang diarahkan untuk mengurangi/menghemat pemakaian energi terutama yang berasal dari fosil (minyak dan batubara) yang secara umum merupakan penyebab polusi yang paling tinggi.
- Kebijakan perikanan nasional, hal ini perlu dilakukan untuk menjaga/menjamin tata niaga perikanan. Salah satu cara yang efisien untuk menjamin harga ikan adalah dengan mengatur kebijakan nasional. Pembatasan daya untuk penangkapan sesuai

dengan daerah, mengontrol tingkat investasi, ukuran kapal, tipe dan peralatan yang digunakan merupakan suatu hal yang sulit untuk dilakukan. Sedangkan penyesuaian tipe, volume dan ukuran jaring/peralatan merupakan metode yang relatif cukup untuk melindungi cadangan ikan dari kepunahan.

- Metode penangkapan dan perlengkapannya, pemilihannya didasarkan pada pengoptimalan penangkapan dengan pemakaian energi.
- Teknologi perkapalan, kenaikan dari bahan bakar yang tinggi harus ditanggulangi dengan penghematan konsumsi bahan bakar. Penghematan ini antara lain dilakukan dengan jalan menaikkan efisiensi mesin dan tenaga propeler.
- Pengaturan dan pengoperasian penangkapan, operator kapal harus dapat mengambil keputusan dalam penggunaan bahan bakar untuk :
 - memilih daerah pelayaran
 - memilih kecepatan kapal
 - pengoperasian peralatan dan permesinan
- Kecepatan kapal merupakan faktor penting yang berpengaruh terhadap pemakaian konsumsi bahan bakar.

Semua penjelasan tersebut diatas merupakan permasalahan dalam konteks umum (dunia), sedangkan untuk Indonesia dalam hal peningkatan produksi perikanan guna memenuhi kebutuhan pangan dan gizi serta meningkatkan ekspor dapat dilakukan dengan pendayagunaan Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE). Sehingga perlu ditingkatkan pemanfaatan dan pengembangan teknologi dalam hal sarana dan prasarana.

Penerapan teknologi canggih ditujukan untuk peningkatan efisiensi dan produktifitas serta daya saing di tingkat Internasional. Pemilihan, penerapan, dan pengembangan teknologi seyogyanya memperhatikan nilai-nilai sosial dan budaya bangsa

yang mendukungnya serta harus memperhatikan kelestarian lingkungan. Hal yang perlu dicatat bahwa sebagian besar dari total penangkapan dilakukan oleh nelayan-nelayan skala kecil. Jadi harus diperhatikan bahwa dengan peningkatan teknologi bukan semata-mata memperhatikan masalah teknis saja, tetapi harus juga diperhatikan kelangsungan hidup dari nelayan-nelayan kecil itu juga supaya tidak terjadi pengangguran.

Untuk itulah perlu dikembangkan suatu sarana penangkap ikan (kapal) yang handal tanpa meninggalkan ciri khas kedaerahan/tradisionalnya, hal ini sesuai dengan yang tercantum dalam GBHN. Selain hal tersebut diatas dalam rangka standarisasi kapal ikan tradisional di seluruh Indonesia, LHI menerima permintaan pengujian kinerja kapal ikan tradisional untuk daerah penangkapan ikan di Sulawesi Utara. Pengujian kinerja ini meliputi open water test (untuk baling-baling) dan resistance test.

Dua buah model disiapkan untuk pengujian ini yaitu desain dasar yang merupakan rancangan asli dari hasil pengukuran sebenarnya, sedangkan desain lainnya adalah hasil modifikasi dari LHI yang dimaksudkan untuk memberikan desain alternatif ditinjau dari segi tahanan / efektif power.

Dengan didasari oleh hal tersebut diatas (modifikasi untuk memberikan alternatif dari segi tahanan kapal) maka dalam penyusunan tugas akhir ini diadakan suatu analisa dari kedua kapal tersebut dari sudut seakeeping. Hal ini dimaksudkan untuk menjelaskan apakah kapal yang mempunyai tahanan yang baik juga mempunyai kemampuan seakeeping yang baik



1.2 TUJUAN PENULISAN

Adapun tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah

- menunjukkan bahwa dengan menggeser LCB kearah belakang kapal dan memperkecil C_p bagian depan dapat memperbaiki tahanan kapal.
- menunjukkan apakah kapal yang dilihat dari segi tahanan baik juga mempunyai kemampuan seakeeping yang baik, ini dapat ditunjukkan dengan kemampuan operabilitasnya.
- dengan menggunakan metode perhitungan unjuk kerja seakeeping tersebut dicari 'waktu laut' yang sesuai dengan operabilitas kapal.
- membandingkan hasil yang diperoleh dari metode diatas dengan metode lain.

1.3 PERMASALAHAN

Adapun permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

- Menunjukkan besar tahanan total kapal yaitu dari desain dasar dengan desain modifikasi (diperoleh dari hasil pengujian yang telah dilakukan oleh LHI-BPPT) ?
- Bagaimana kemampuan seakeeping dari kedua kapal tersebut ditinjau dengan cara analisa?
- Bagaimana kemampuan seakeeping dari kedua kapal tersebut ditinjau dengan cara empiris dari data statistik ?

1.4 MANFAAT PENULISAN

Untuk pihak yang terkait dalam industri perkapalan :

- memperoleh kejelasan mengenai bentuk badan kapal yang mempunyai tahanan kecil dan kemampuan seakeepingnya.
- sebagai patokan untuk menentukan parameter-parameter yang digunakan dalam merubah kemampuan kapal baik dari segi tahanan kapal maupun kemampuan seakeepingnya.

Untuk pihak yang terkait dalam industri peikanan :

- dapat digunakan untuk menentukan periode melaut yang sesuai dengan kemampuan operabilitas kapal.
- dapat mengatur waktu untuk mereparasi kapal.

1.5 BATASAN MASALAH

Dalam penulisan tugas akhir ini kami mengadakan batasan-batasan masalah yaitu :

- Pengujian tahanan kapal hanya merupakan alat pembanding saja, disini untuk menjelaskan apakah kapal yang mempunyai tahanan kapal baik juga mempunyai seakeeping yang baik juga.
- Pergeseran dari LCB bukan merupakan suatu kuantitas tapi merupakan suatu kualitas.
- Penjelasan mengenai cara untuk memperoleh RAO dengan menggunakan *Strip Theory* hanyalah merupakan penjelasan mengenai teoretis dari cara bekerjanya program SHIPMO.

1.4 METODOLOGI

Metodologi penelitian yang dipakai dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut

1. Studi Literatur

Untuk mendapatkan gambaran secara teoretis dengan petunjuk yang sudah ada sebagai konsep dasar dalam analisa masalah.

2. Pengumpulan Data

Pengambilan data untuk mendapatkan standar informasi yang dapat dipertanggungjawabkan guna melengkapi pembahasan masalah ini dilakukan di LHI BPPT Surabaya. Data yang dibutuhkan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah

- Hasil percobaan tahanan total dari dua buah kapal yaitu desain dasar (LHI-004) dan desain modifikasi (LHI-0041).
- Gambar Rencana Garis (Lines Plan) dari kedua buah kapal penangkap ikan tradisional tersebut.
- Dari rencana garis tersebut dengan menggunakan program SHIPMO diperoleh RAO.

4. Perhitungan

Perhitungan seakeeping indek dengan menggunakan prinsip yang dikembangkan oleh van Wijngaarden [15] yang digabungkan dengan prinsip respon probabilitas dari BMT [2].

5. Analisa

Digunakan untuk mendapatkan Total Indeks dari kemampuan operabilitas kedua kapal tersebut.

BAB II

BAB II

LANDASAN TEORI

Teori yang melandasi penulisan skripsi kami bagi menjadi dua bagian yaitu :

- teori tahanan kapal, berhubungan dengan tahanan-tahanan yang berpengaruh pada kapal / model waktu pengujian tahanan kapal di air tenang.
- teori seakeeping kapal, yaitu mengenai teori gerak kapal untuk memperoleh Response Amplitudo Operator (RAO) dikaitkan dengan Respon Gelombang untuk mendapatkan Respon dari gerakan kapal.

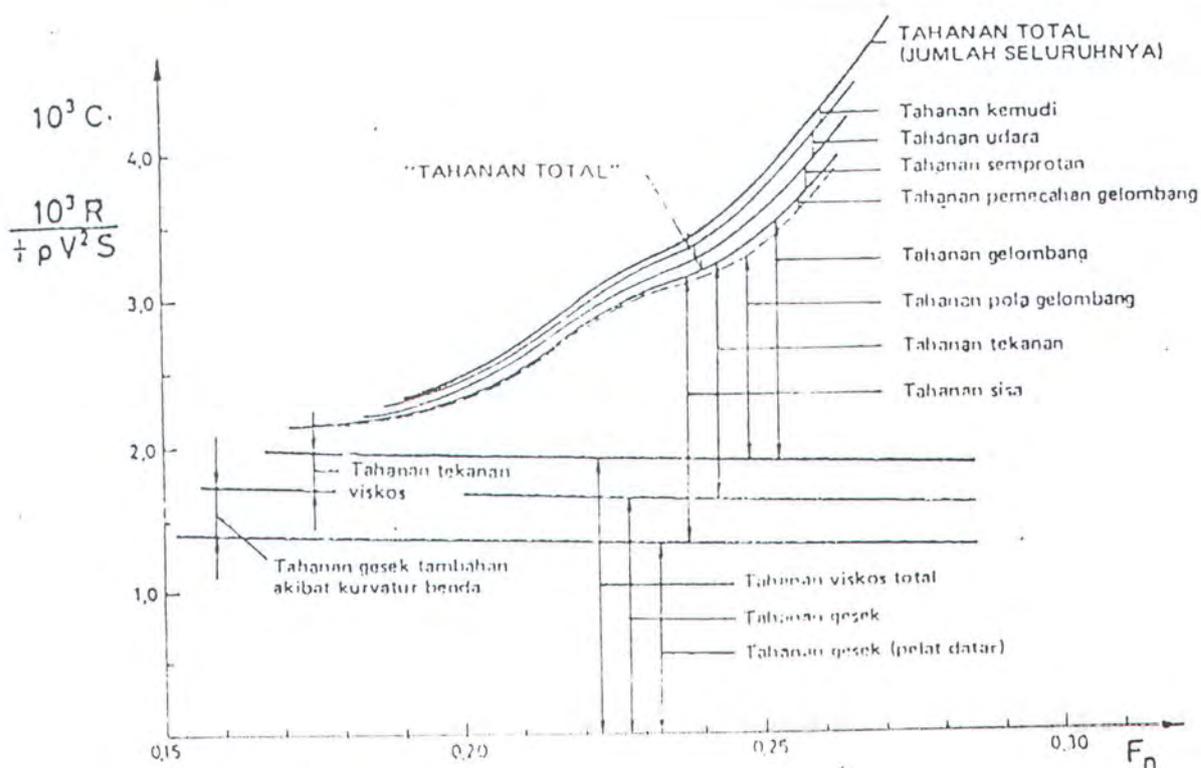
2.1. TAHANAN KAPAL

Di bidang perkapalan, resistance adalah gaya yang bekerja berlawanan arah dengan gerakan dari badan kapal dalam suatu fluida, tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerakan kapal [5]. Sedangkan dalam istilah di bidang aerodinamika dan teknik yang lain di pakai istilah drag untuk menunjukkan maksud yang sama. Tahanan total dari suatu kapal R_t , terdiri dari sejumlah komponen yang berbeda yang disebabkan oleh berbagai macam penyebab yang saling berinteraksi satu dengan yang lainnya dengan cara yang rumit. Dalam gambar berikut menunjukkan kurva tahanan yang menunjukkan Tahanan total dan komponen - komponen tahanan spesifik yang menyusunnya, koordinat horisontalnya adalah angka Froude.[5]

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (2.1)$$

sedangkan ordinatnya adalah koefisien tahanan yang didefinisikan sebagai

$$C = \frac{R}{\frac{1}{2}\rho V^2 S} \quad (2.2)$$



gambar 2.1

Untuk lebih menyederhanakan permasalahan maka Tahanan Total dapat dibagi / disusun menjadi empat komponen utama [7]

- a. Tahanan gesek, akibat gerakan badan kapal pada fluida yang mempunyai kekentalan.
- b. Tahanan gelombang, akibat energi yang harus di keluarkan secara terus menerus oleh kapal pada sistem gelombang yang ditimbulkan pada permukaan air.
- c. Tahanan Eddy, akibat energi yang ditimbulkan oleh pusaran-pusaran dari badan kapal atau bagian-bagian yang menonjol dari badan kapal. Pusaran-pusaran lokal akan terjadi di sekitar tonjolan-tonjolan pada kapal seperti bossing, shaft dan shaft struts, dari stern frames, dan baling-baling yang tidak streamline dan tidak lurus dengan aliran air. Juga jika bagian belakang kapal terlalu tumpul, aliran air tidak

mampu mengikuti bentuk kurvature dan akan pecah dari badan kapal sehingga hal ini menaikkan tahanan pusaran dan terjadi pemisahan.

- e. Tahanan udara yang terjadi pada bagian atas kapal atau bagian yang berada diatas permukaan air dan bangunan atas, hal ini disebabkan karena gerakan kapal yang melewati udara di atas permukaan air.

Tahanan b & c secara umum di jadikan satu dan disebut dengan Tahanan Sisa (Residuary Resistance). Untuk analisa yang lebih jauh maka perlu dilakukan identifikasi-identifikasi secara lebih spesifik dimana hal ini tergantung dari bermacam-macam kondisi desain yang dibutuhkan dan juga kurang lebih kemampuan dari si perancang itu sendiri untuk memilih bentuk dan proporsi dari badan kapal yang dikombinasikan sehingga memperoleh tahanan yang minimum. Berikut ini akan dibahas mengenai komponen utama dari tahanan kapal dalam hal ini adalah tahanan gesek dan tahanan gelombang.

3.1.1 TAHANAN GESEK

Pada umumnya orang-orang melihat bagian bawah deck dari kapal dan mengamati gerakan turbulen di air yang dekat dengan badan kapal, dimana terjadi kenaikan dari bagian depan ke arah belakang, hal ini untuk merealisasikan bahwa energi diserap oleh apa yang kemudian disebut sebagai tahanan gesek.

Tahanan gesek kapal ini diperoleh dengan jalan mengintegalkantegangan tangensial keseluruh badan kapal ke seluruh permukaan kapal menurut arah gerakan kapal. Sedangkan fluida yang dilalui kapal mempunyai kekentalan (viscositas) sehingga akan menyebabkan terjadinya gesekan. Jika gesekan dari kapal tersebut dapat diabaikan maka alirannya disebut aliran ideal. Bila benda yang melalui fluida tersebut bergerak maka viskositas merupakan ukuran tahanan fluida terhadap geseran.

3.1.1.1. Koefisien Tahanan gesek

Tahanan gesek R_f adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan cara mengintegrasikan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal [5]. Banyak penelitian baik secara analitis maupun teoretis untuk menentukan koefisien tahanan.

3.1.1.2. Eksperimen Froude pada gesekan

Penentuan tahanan gesek secara klasik dilakukan William Froude di tangki percobaan yang pertama kali didirikan di Torquay, Inggris yang di catat pada The British Association (Froude, W.,1872,1874), selanjutnya kedua makalah tersebut dicetak ulang di RINA (1955). Percobaan dilakukan dengan sejumlah papan yang bervariasi panjangnya dari 0.61 m hingga 15.2 m dan kecepatannya antara 0.5 m/s hingga 4.1 m/s. Froude menemukan bahwa pada beberapa kecepatan yang di berikan, tahanan spesifik tiap unit daerah permukaan adalah lebih kecil untuk papan yang panjang dibandingkan papan yang pendek. Disini Froude menghubungkan dengan kenyataan bahwa kearah belakang dari papan, air memperoleh gerakan ke depan sehingga mempunyai kecepatan relatif yang kecil [7]. Froude memberikan persamaan empiris untuk tahanan gesek permukaan bidang dengan rumus [7]

$$R_f = fSV'' \quad (2.3)$$

R.E. Froude (1888) melengkapi makalah ayahnya dengan data koefisien dan konstanta yang di pakainya. Rumus tahanannya adalah

$$R_f = fSV^{1.825} \quad (2.4)$$

Konstanta gesekan Froude untuk parafin atau permukaan keras yang mulus di air asin dapat dilihat di Taylor (1910 p: 31). R.E. Froude juga menyatakan bahwa permukaan yang di cat dan mulus dengan permukaan yang di pernis dan mulus mempunyai kualitas gesekan yang sama.

Rumus tahanan gesek tersebut kemudian dinyatakan dalam kilogram (gaya) sehingga dapat ditulis[5]

$$R_f = \frac{\gamma \lambda}{1000} S V^{1.825} \quad (2.5)$$

Kritik-kritik terhadap Froude : [3]

A. Kekurangan yang diakibatkan ketidakteelitian dalam menentukan besarnya

tahanan gesekan yang disebabkan oleh hal-hal berikut :

1. Penggunaan pelat tipis dalam menentukan tahanan gesek carena yang mempunyai tiga dimensi belum dapat di uji kebenarannya secara eksak.
2. Pada carena kecepatan aliran di ujung-ujungnya adalah kecil sedangkan pada bagian lainnya adalah besar, sedangkan pada pelat tipis kecepatan aliran di seluruh permukaan adalah sama.
3. Pada carena timbul pusaran-pusaran pada daerah *boundary layer* mulai memisahkan diri dari badan kapal dan pada daerah ini tekanan gesekan terjadi walaupun kecil. Ketidakpastian perubahan aliran laminar ke turbulen pada pelat datar dan model carena.
4. Dari percobaan Blasius dan Geber dengan pelat datar menunjukkan perubahan aliran laminar ke turbulen di mulai dari angka Reynold = $5 \cdot 10^5$, di atas harga ini terjadi aliran campuran dan pada angka Reynold = 10^7 sebagian besar adalah

turbulen. Pada bentuk carena ternyata cenderung menimbulkan aliran laminar pada waktu percobaan di tangki.

5. Ketidakpastian pada interpolasi koefisien tahanan gesekan dari panjang pelat yang maksimum 50 ft pada kapal sebenarnya yang panjangnya jauh lebih besar.

B. Kesukaran teknis dan biaya yang sangat tinggi tidak memungkinkan untuk mengadakan percobaan dengan kapal yang sebenarnya.

3.1.1.3. Hasil kerja dari konferensi Tangki Percobaan Tarik

The International Conference of Ship Tank Superintendents (ICSTS) merupakan organisasi negara-negara Eropa didirikan pada th 1932 untuk menyediakan tempat pertemuan bagi para ahli dari beberapa tangki percobaan untuk membicarakan masalah-masalah yang timbul. Pada th 1935 ICSTS menyetujui untuk memakai metode ekstrapolasi model Froude, dimana harus mengikuti ketentuan [7] :

V pada menetapkan panjang dan permukaan basah :

- a. untuk beberapa macam kapal, panjang pada garis airilah yang digunakan.
- b. rata-rata *girth* dikalikan dengan panjang diambil sebagai permukaan basah.

VI perhitungan metode Froude :

- a. panitia menentukan bahwa pengurangan gesekan kulit dari nilai Froude 0 dan mengambilnya untuk di gunakan pada persamaan dibawah ini sejak diberikan nilai yang sama pada gesekan yaitu antara model dengan kapalnya didalam batas-batas yang disetujui

$$R_F = \left[\frac{0.000418 + 0.00254}{8.8 + 3.281L} \right] S V_K^{1.825} \quad (2.6)$$

- b. semua hasil percobaan dari model harus dikoreksi dengan temperatur standar pada 15°C ($= 59^{\circ}\text{F}$) dengan koreksi -0.43% dari tahanan gesek tiap kenaikan 1°C atau -0.24% tiap kenaikan 1°F .

Pada th 1946 American Towing Tank Conference (ATTC) mulai mempertimbangkan penetapan dari perhitungan gesekan kulit dan hubungan antara model dengan kapal. Th 1947 dipakai dua ketentuan (SNAME, 1948) [7]:

1. Analisa dari tes model didasari oleh garis Schoenherr. Koreksi-koreksi sehubungan dengan pemakaian garis Shoenherr harus secara jelas dicantumkan dalam laporan.
2. Perhitungan efektif tenaga kapal didasari oleh garis Shoenherr dan diberi kelonggaran $+0.0004$.

Tidak ada ketentuan mengenai pada temperatur berapa suatu temperatur itu dianggap standar, tetapi selanjutnya diambil 15°C (59°F) untuk penyesuaian bila menggunakan garis ICSTS (ATTC, 1953). Dalam hal ini juga disetujui bahwa garis Shoenherr selanjutnya dikenal sebagai garis ATTC 1947.(ATTC,1956)

Nilai baru dari v diperoleh dari ITTC (1963) yaitu pada konferensi kesepuluh di London pada tahun 1963. Kelonggaran yang diberikan pada ketentuan no 2 diatas merupakan pertimbangan yang penting disebabkan karena hal tersebut berhubungan dengan tingkat kekasaran dari badan kapal. Perbedaan dari tahanan kapal dengan model juga disebabkan oleh faktor-faktor lain. Diantaranya adalah kekasaran struktural akibat pengelasan pada badan kapal, kekasaran akibat pengecatan, korosi, dan binatang-binatang laut.

Hughes (1952;1954) menyajikan hasil dari sejumlah percobaan mengenai gaya gesek pada berbagai permukaan bidang yang teratur. Berdasarkan hasil tersebut diusulkan suatu rumus untuk mendapatkan hubungan antara model dengan kapal sebenarnya dalam

kaitannya dengan tahanan gesek dan tahanan bentuk dalam aliran turbulen. Hughes mendapatkan bahwa dengan memakai rumus sebagai berikut diperoleh kesesuaian yang hampir tepat[7].

$$C_F = 0,066/(\log Rn - 2.03)^2 \quad (2.7)$$

Tangki percobaan di seluruh dunia dengan kemajuan pengetahuan yang diperoleh pada th 1957 tidak memperoleh penyelesaian yang memuaskan untuk mendapatkan cara yang seragam untuk menghitung gesekan permukaan dan untuk mengembangkan data yang diperoleh dari model ke ukuran kapal yang sebenarnya. Pada waktu itu digunakan garis ATTC untuk nilai dari Rn diatas 10^7 dan untuk nilai yang dibawahnya menggunakan garis yang lebih baru [4]. Pada konferensi ITTC di Madrid th 1957 diberikan persetujuan dalam menggunakan rumus berikut ini

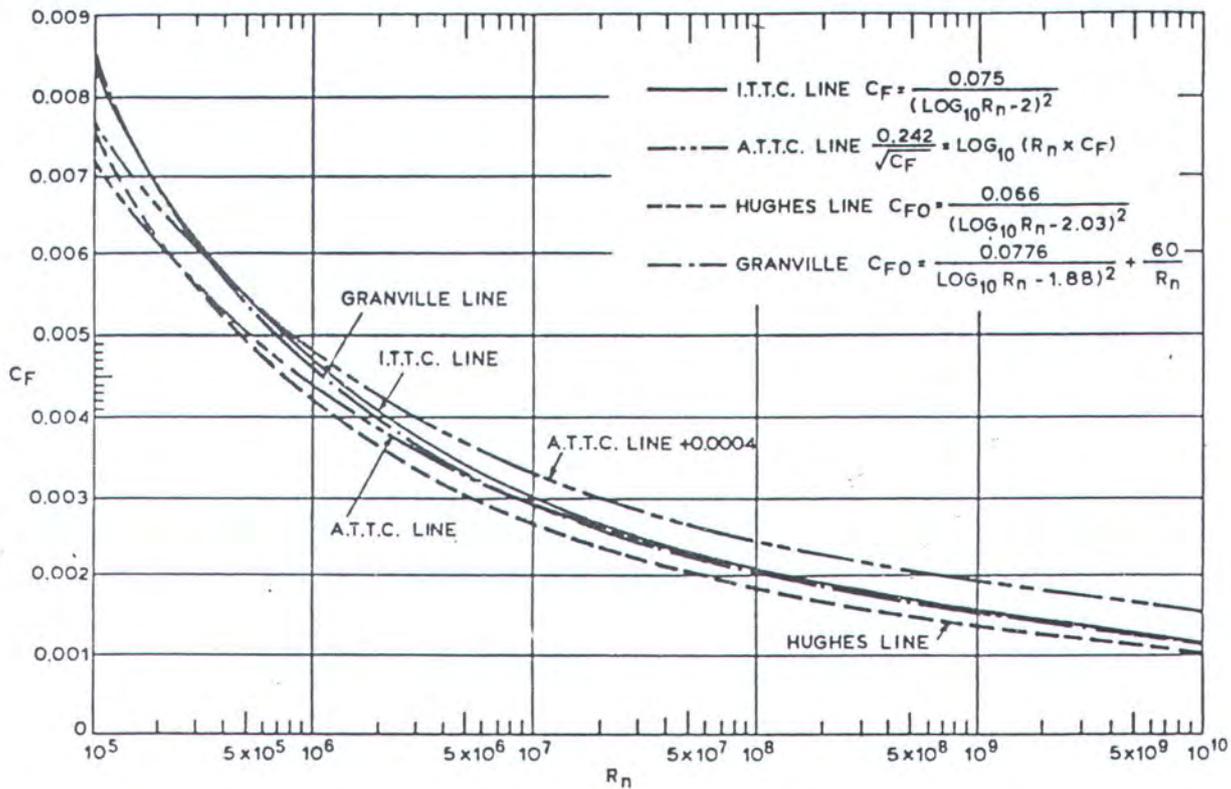
$$C_F = 0,075/(\log Rn - 2)^2 \quad (2.8)$$

Konferensi ini mengangkat rumus ini sebagai " garis korelasi model-kapal ITTC 1957" dan diberi label " hanya merupakan pemecahan sementara atas masalah ini untuk keperluan rekayasa praktis" (ITTC 1957). [5]

Granville (1977) menunjukkan bahwa garis korelasi model-kapal ITTC 1957 juga dapat dipertimbangkan sebagai "garis tahanan gesekan plat datar turbulen (2 dimensi)" dengan menurunkan rumus umum sebagai berikut

$$C_F = a/(\log Rn - b)^2 + c/Rn \quad (2.9)$$

dengan $a = 0.0776$, $b = 1.88$ dan $c = 60$. Formula ini merupakan penurunan dari Garis ITTC 1957 dengan nilai $a = 0.075$, $b = 2$, dan $c = 0$.



gambar 2.2

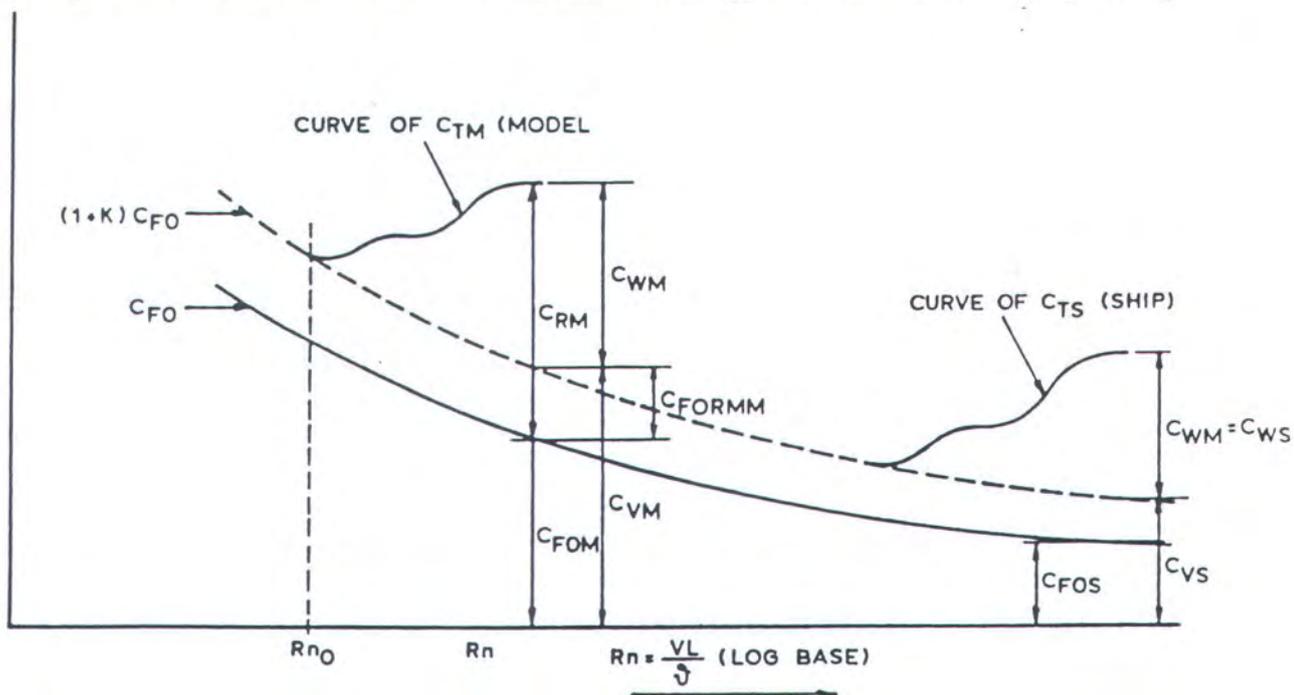
3.1.1.4. Perumusan tahanan kekentalan 3-D

Dalam hubungan dengan garis dua dimensi, Hughes mengusulkan metode ekstrapolasi yang baru dari model ke kapal. Disini diasumsikan bahwa koefisien tahanan total model C_{TM} dibagi menjadi dua bagian yaitu koefisien tahanan gelombang C_{WM} dan koefisien tahanan kekentalan C_{VM} . Pada angka Reynolds yang kecil menyebabkan C_{WM} juga kecil dan pada titik dimana tahanan gelombang dapat diabaikan kurva C_{TM} menjadi paralel dengan garis gesekan dua dimensi. Hughes menamakan titik ini sebagai titik *run-in*. Nilai C_{TM} pada titik ini adalah merupakan koefisien total dari tahanan viskos C_{VM} pada

titik yang sama Rn_0 . Hughes memberikan definisi dari faktor bentuk (form factor) sebagai berikut [7]

$$1 + k = \frac{C_{TM}(Rn_0)}{C_{FO}(Rn_0)} \quad (2.10)$$

Tahanan viskos model 3-Dimensi untuk suatu Rn dapat ditulis sebagai $C_{VM} = (1+k)C_{FO}(Rn)$ dimana C_{FO} ekuivalen dengan koefisien tahanan plat datar. Faktor bentuk $(1+k)$ diasumsikan bervariasi sesuai dengan Rn dan garis $(1+k)C_{FO}$ diambil sebagai ekstrapolator dari bentuk badan kapal yang dipertimbangkan. Dan kurva C_{TS} dapat digambar diatas kurva $(1+k)C_{FO}$ pada angka Reynolds yang tepat. Pada metode Froude koefisien tahanan sisa model C_R yang ditransfer dari model ke kapal tidak berubah jika dalam metode faktor-bentuk bagian dari C_R dihubungkan dengan efek viskos mengalami pengurangan. Jadi perkiraan tahanan pada kapal menjadi lebih kecil bila dibandingkan dengan modelnya, untuk itulah maka diperlukan kelonggaran dalam korelasinya yaitu C_A .



gambar 2.3

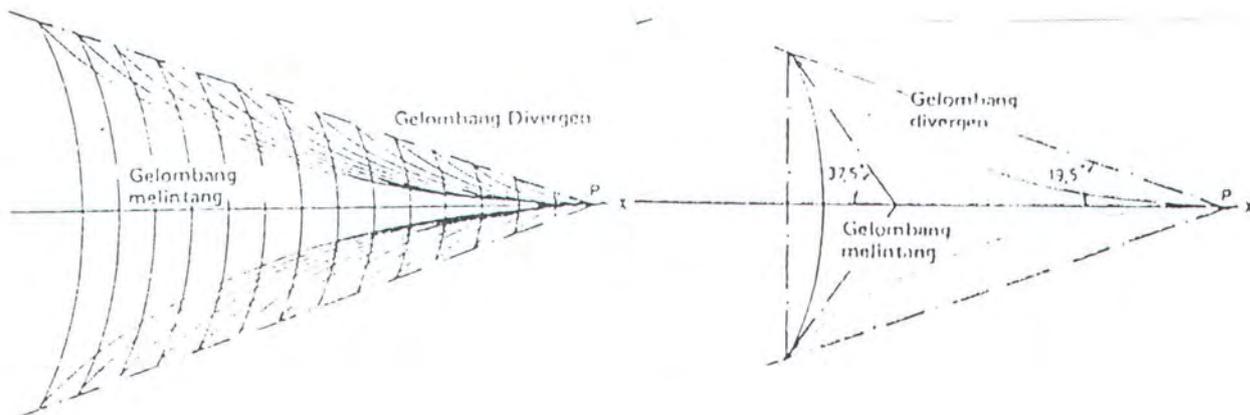
3.1.2. TAHANAN GELOMBANG

Tahanan Gelombang R_w merupakan salah satu komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan untuk menimbulkan gelombang grafitasi [5], atau resultan gaya pada bagian depan dan belakang kapal yang merupakan hasil/akibat dari tekanan fluida yang bekerja pada seluruh bagian badan kapal, seperti tahanan gesek merupakan hasil dari gaya tangensial fluida.

Jika badan kapal bergerak pada atau dekat dengan permukaan, maka variasi tekanan menyebabkan gelombang yang merubah distribusi tekanan pada badan kapal dan resultan dari gaya pada bagian depan dan belakang adalah Tahanan gelombang. Tahanan gelombang ini biasanya tergantung dari bentuk yang diperoleh dari kurva area, garis air, dan potongan melintang. Untuk menyelidiki tahanan gelombang ini dapat dilakukan dengan cara eksperimen dalam tangki tarik dan penyelidikan secara teoretis. Dimana keduanya mempunyai masukan yang besar dalam menyelidiki tahanan gelombang yang merupakan problem yang sangat kompleks. Sekarang ini tes model merupakan alat penting yang tersedia untuk mengurangi tahanan spesifik dari desain kapal tetapi teori dapat membantu untuk memperkirakan bentuk tahanan model yang sesuai.

3.1.2.1. Sistem gelombang kapal.

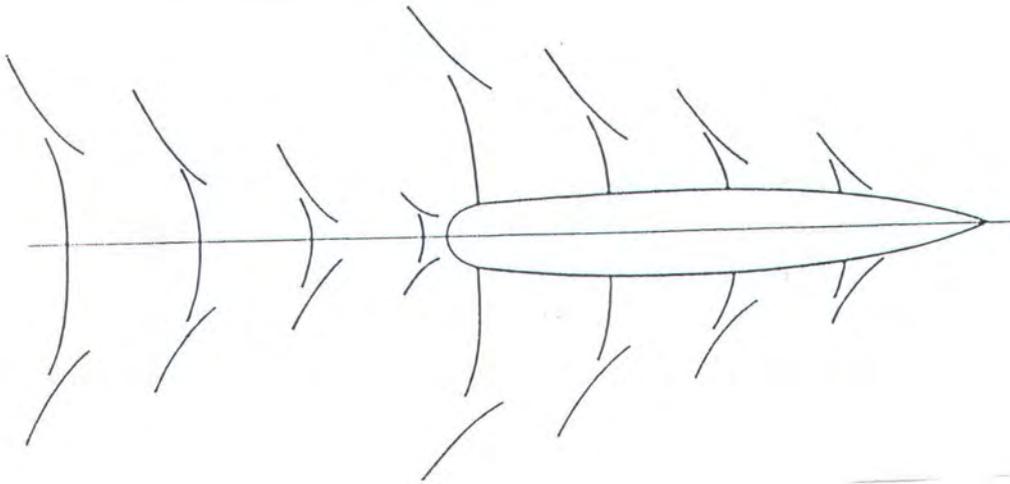
Lord Kelvin (1887,1904) melakukan penelitian mengenai terjadinya gelombang, dimana ditinjau sebuah titik tekanan tunggal yang bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan air akan menimbulkan gelombang yang bergabung sehingga menghasilkan suatu pola yang terdiri dari sistem gelombang melintang (yang mengikuti di belakang titik tersebut) dan sistem gelombang divergen (yang menyebar dari titik tersebut). Gambar berikut menunjukkan sistem gelombang Kelvin.



gambar 2.4

Bagian pola tersebut berada diantara dua garis lurus yang berawal dari titik tekanan tunggal dan membuat sudut $19,5^\circ$ dengan arah dari garis gerakan. Sedangkan jarak antara satu gelombang melintang dengan gelombang melintang berikutnya tergantung dari kecepatan gerak dari titik tersebut.

Sistem gelombang Kelvin menggambarkan dan menjelaskan mengenai ciri khas dari hubungan kapal dengan sistem gelombang. Pada bagian depan kapal terdapat daerah yang bertekanan tinggi sehingga menghasilkan gelombang haluan yang cukup mencolok. Pada daerah dekat lambung garis puncak gelombang mempunyai kedudukan yang tegak lurus dengan arah gerakan kapal. Begitu mendekati sistem gelombang divergen garis puncak tersebut berubah kearah balik dan akhirnya lenyap didalam sistem gelombang divergen. Pada bahu lambung dan buritan juga terbentuk sistem gelombang.



Gambar 2.5

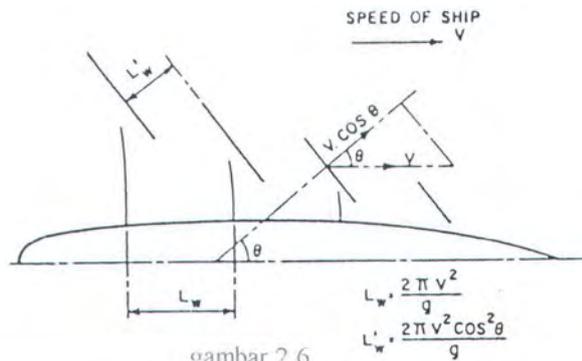
Jika suatu pola gelombang bergerak mengenai kapal, gelombang transversal bergerak dengan arah yang sama dengan gerakan kapal pada kecepatan yang sama V , sehingga panjang dari gelombang permukaan pada suatu kecepatan dapat ditulis sebagai berikut

$$L_w = 2\pi \frac{V^2}{g} \quad (2.11)$$

Jika arah dari gelombang membentuk sudut sebesar θ dengan arah gerakan kapal maka panjang gelombang menjadi

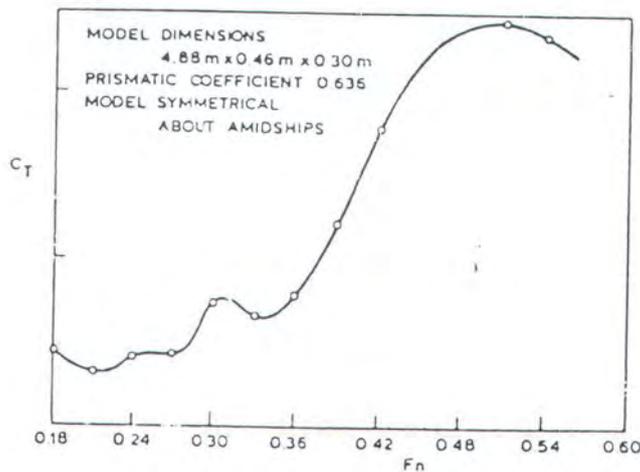
$$L_w = (2\pi V^2/g)\cos^2\theta \quad (2.12)$$

Hal ini dapat dijelaskan seperti gambar berikut



3.1.2.2. Tahanan gelombang pada permukaan kapal

Pada kecepatan rendah gelombang yang ditimbulkan oleh kapal adalah kecil. Dari suatu hasil percobaan jika sumbu horisontal menunjukkan angka Froude dan sumbu vertikal menunjukkan koefisien tahanan total, seperti gambar berikut ditunjukkan bahwa nilai pertama dari C_T mengalami penurunan dengan naiknya kecepatan. Selanjutnya dengan naiknya kecepatan, nilai dari C_T mulai mengalami kenaikan yang semakin cepat dan pada angka Froude sekitar 0,45 tahanan bervariasi pada kecepatan sama dengan 6 atau lebih.



gambar 2.7

Kenaikan dari C_T selalu berhubungan dengan puncak dan lembah dari kurva tahanan. Pada kecepatan kapal yang semakin besar maka pola gelombang akan berubah pula sesuai dengan semakin bertambah panjangnya gelombang dan posisi relatif dari puncak dan lembah gelombang juga akan berubah. Pada proses ini terjadi kecepatan yang berturut-turut ketika puncak dari dua sistem saling menguatkan, dipisahkan oleh kecepatan lain dimana puncak dan lembah gelombang saling meniadakan. Kondisi pertama mengakibatkan semakin besarnya tinggi gelombang, dan pada kondisi kedua terjadi hal yang sebaliknya, dan energi dari sistem tersebut tergantung dari kuadrat tinggi gelombang

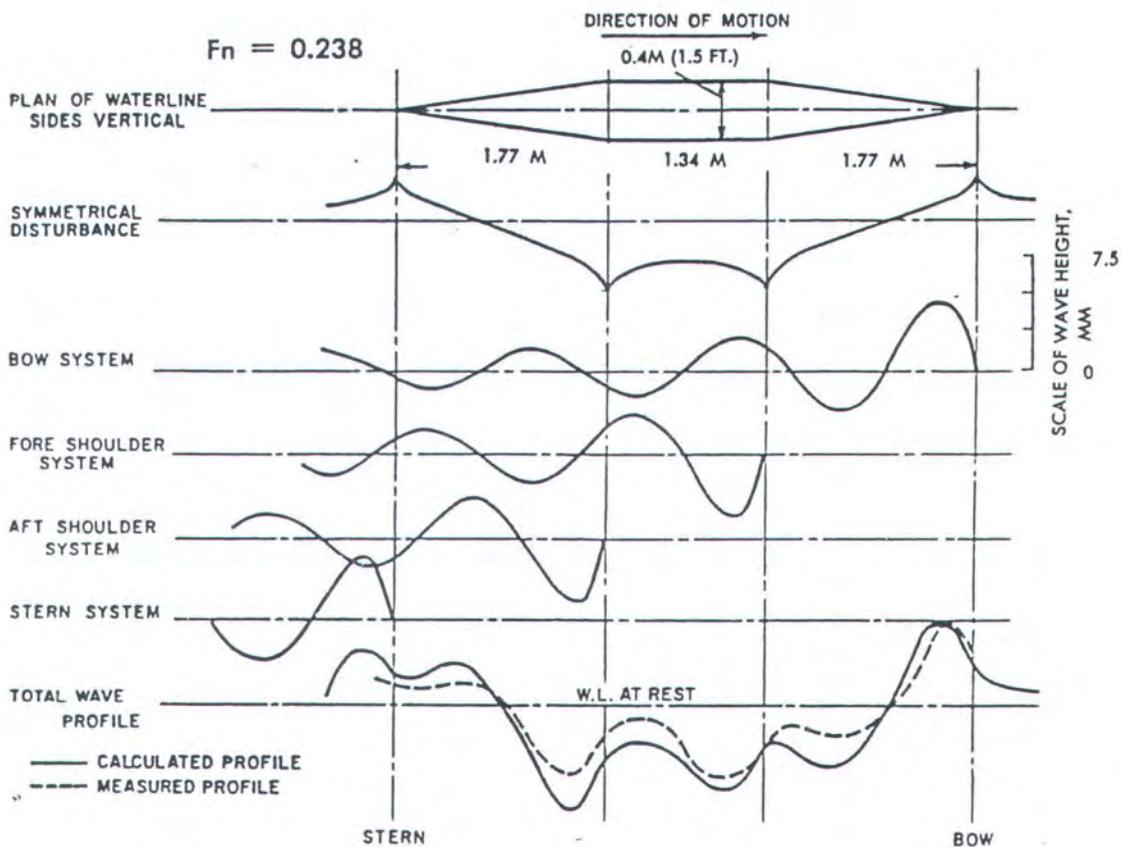
ini berarti kecepatan alternatif adalah lebih tinggi (pada kondisi pertama) dan lebih kecil (pada kondisi kedua) dari tahanan rata-rata. Puncak dan lembah pada kurva C_T disebabkan karena adanya efek interferensi dari sistem gelombang. Hal ini menjadi perhatian dalam prakteknya untuk menjamin apakah kapal berada pada kondisi dinas pada kecepatan yang baik.

3.3 Efek Interferensi

Hasil dari riset matematika menghasilkan sesuatu yang sangat membantu untuk menyelidiki efek dari interferensi gelombang dari tahanan gelombang ini. Contohnya adalah pada gambar berikut dimana bentuk badan kapal dan gelombang diselidiki oleh Wigley (1931). Sistem gelombang yang dihitung adalah sistem untuk benda berbentuk baji yang mempunyai sarat tak terhingga. Benda tersebut terdiri dari ujung-ujung yang berbentuk baji dan bagian tengah yang sejajar. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa sistem gelombang pada suatu badan kapal terdiri dari lima komponen [7]:

1. Usikan permukaan simetris, yang mempunyai puncak gelombang pada bagian haluan dan belakang kapal sedangkan lembah gelombang pada bagian tengah dan semakin membesar ke arah ujung-ujungnya. Hal ini terjadi karena bagian yang simetris tidak menyerap energi pada kecepatan yang konstan.
2. Gelombang haluan, dimulai dengan puncak gelombang disebabkan karena adanya daerah yang bertekanan tinggi di sekitar haluan.
3. Gelombang bahu buritan, dimulai dengan lembah gelombang disebabkan adanya daerah bertekanan rendah disekitarnya.
4. Gelombang bahu buritan, dimulai dengan lembah gelombang karena adanya daerah bertekanan rendah disekitarnya.

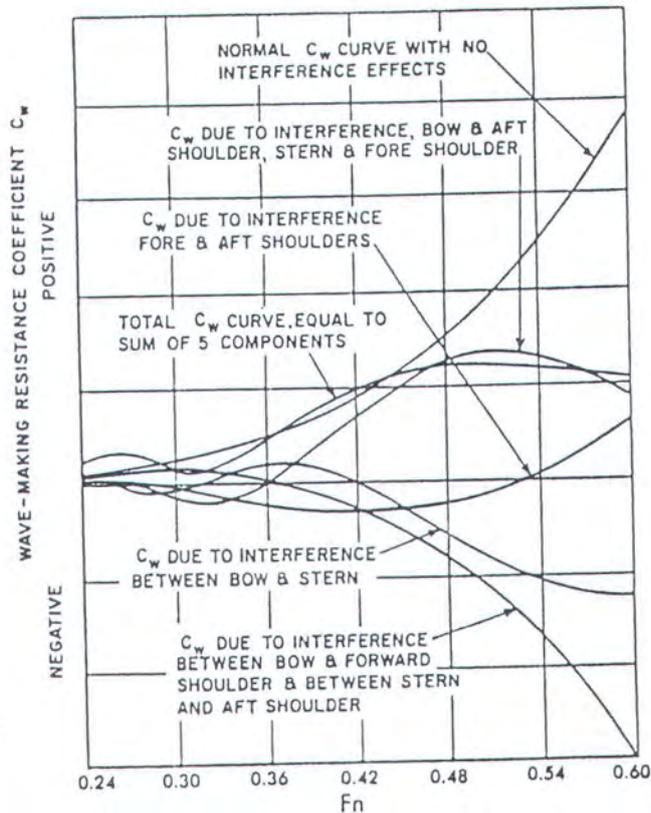
5. Gelombang buritan, dimulai dengan puncak gelombang hal ini disebabkan karena adanya daerah bertekanan tinggi pada buritan kapal.



gambar 2.8

Perhitungan gelombang pada model tersebut merupakan superposisi dari kelima sistem gelombang tersebut. Sistem gelombang seperti yang disebutkan diatas menunjukkan dengan jelas interferensi dari gelombang dan efeknya pada tahanan gelombang. Bentuk dari total gelombang akan berubah sesuai dengan berubahnya kecepatan kapal. Sistem-sistem gelombang tersebut saling berinterferensi satu sama lain dan menghasilkan berbagai koefisien tahanan gelombang. Pada suatu kecepatan yang interferensinya menghasilkan gelombang yang tinggi maka besar tahanan gelombang yang ditimbulkannya juga tinggi, demikian juga sebaliknya. Gambar berikut menunjukkan berbagai interferensi

dari sistem gelombang pada suatu kecepatan kapal dan menunjukkan besarnya koefisien tahanan gelombang yang ditimbulkannya.



gambar 2.9

2.2 SEAKEPING

Gerakan kapal di laut lepas selalu mempunyai dan menimbulkan masalah bagi para perancang kapal, hal ini merupakan tanggung jawab mereka untuk menjamin bahwa kapal tersebut tidak hanya aman jika berlayar di laut yang kondisi cuacanya relatif tenang tetapi juga harus menjamin bahwa kapal tersebut juga mampu berlayar pada kondisi cuaca yang buruk, dimana dalam keadaan tersebut kapal akan mengalami penurunan fungsi dari sistem-sistem kerjanya. Secara umum karakter dasar dari sebuah kapal yaitu stabil, bergerak dengan kecepatan yang cukup, mempunyai kemampuan olah gerak yang cukup

baik di perairan yang dalam maupun yang dangkal, dan cukup kuat melakukan tugas/fungsinya dalam cuaca yang jelek dengan hantaman gelombang. Permasalahan unjuk kerja kapal di laut ini berlangsung terus dari tahun ke tahun dan mengalami perkembangan yang pesat dalam beberapa tahun terakhir ini. .

Masalah gerak kapal ini dapat diselidiki dengan empat macam cara yang berbeda yaitu :

- analisis dengan berdasarkan teori.
- eksperimen dengan menggunakan model-model percobaan.
- empiris, dari data-data statistik.
- full scale test/seatrial dengan menggunakan kapal yang sebenarnya.

Perkembangan dari percobaan mengenai perilaku kapal di laut ini dimulai dengan pesat pada pertengahan th 1950, dimana pada saat itu digunakan penerapan dari teori hidrodinamika ataupun secara percobaan model eksperimen [12]. Perkembangan tersebut merupakan suatu langkah penting yang dicapai untuk menuju pengertian/pengetahuan yang lebih baik tentang masalah dan cara pemecahan selanjutnya. Dengan kemajuan yang dicapai di bidang kelautan (oceanography) dan pemakaian teknologi komputer maka dimungkinkan untuk memperkirakan secara statistik beberapa aspek yang berhubungan dengan unjuk kerja dari kapal di laut lepas. Lebih jauh lagi kemajuan yang telah dicapai tersebut dapat diaplikasikan dalam tahap desain perencanaan kapal baru.

Untuk lebih mendalami permasalahan mengenai perilaku kapal di laut maka dalam penyusunan Tugas Akhir ini dibatasi mengenai masalah seakeeping saja. Sehubungan dengan masalah seakeeping yang akan kami bahas disini akan dijelaskan mengenai energi gelombang, konsep dari spektrum yang merupakan distribusi energi dari gelombang yang bervariasi frekuensi (panjang gelombangnya) dan arahnya. Kemudian akan dijelaskan

mengenai macam dan persamaan dari gerakan kapal tersebut, serta penggunaan *Strip Theory* (untuk mempermudah perhitungan koefisien-koefisien dari persamaan gerakan kapal) dalam hal untuk mendapatkan RAO. Pada bagian terakhir akan dijelaskan mengenai kriteria-kriteria seakeeping yang digunakan sebagai parameter untuk menentukan suatu indek.

2.2.1 ENERGI GELOMBANG

Gelombang yang mempengaruhi perilaku kapal secara umum adalah gelombang ireguler. Dimana dalam teori gelombang ireguler ini gelombang bergerak dengan kecepatan dan arah yang berbeda, dan tidak mungkin terjadi dua gelombang yang mempunyai tinggi sama besar secara tepat. Teori gelombang ireguler ini didasari dengan asumsi bahwa gelombang ini terdiri dari superposisi atau penambahan dari beberapa gelombang reguler. Dari keterangan tersebut diatas dapat diambil kesimpulan bahwa gelombang reguler berpengaruh terhadap perilaku kapal di laut dan merupakan suatu 'alat' yang penting untuk mempelajari seakeeping.

Energi yang dihasilkan dari pergerakan gelombang reguler ini disebabkan oleh adanya energi kinetik dan energi potensial. Perhatikan suatu unit kecil panjang δx dari suatu gelombang reguler seperti gambar 2.10. Jika amplitudo gelombang adalah ζ maka titik berat dari gelombang terhadap permukaan rata adalah $-\frac{\zeta}{2}$, sedangkan kerapatan dari air tiap unit kecil gelombang δx adalah

$$-\rho g \delta x . \quad (2.13)$$

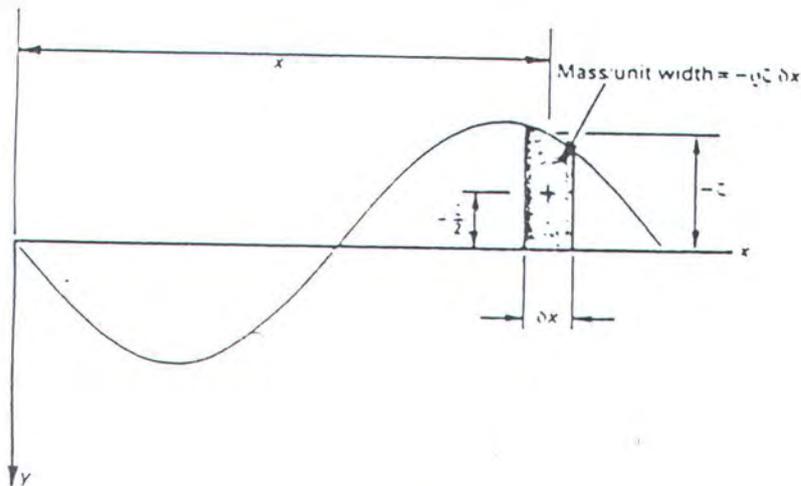
Maka besar dari energi potensial relatif terhadap permukaan rata adalah

$$\frac{1}{2} \rho g \zeta \delta x \quad (2.14)$$

Jika energi potensial tersebut kita integralkan untuk mendapatkan besar energi potensial total pada suatu panjang gelombang, dan didapatkan besarnya adalah

$$E_p = \frac{1}{4} \rho g \zeta_o^2 \lambda \quad \text{joule per meter} \quad (2.15)$$

panjang gelombang.



gambar 2.10

Sekarang kita perhatikan suatu elemen kecil seperti pada gambar 2.11, dimana masa elemen tiap unit adalah $\rho \delta x \delta y$ dan mempunyai total kecepatan q , sedangkan

$q^2 = u^2 + v^2$. Maka energi kinetik dari partikel tersebut adalah

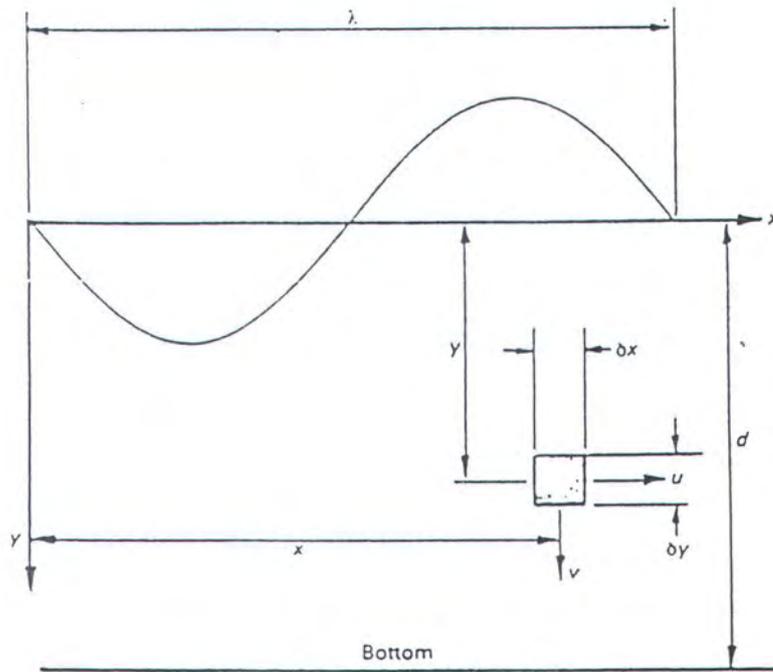
$$\frac{1}{2} \rho q^2 \delta x \delta y \quad \text{joule per meter} \quad (2.16)$$

panjang gelombang.

Dan jika kita mengintegrasikan δx dan δy dari permukaan gelombang hingga dasar untuk memperoleh total energi kinetik maka diperoleh

$$E_k = \frac{1}{4} \rho g \zeta_o^2 \lambda \quad \text{joule per meter} \quad (2.17)$$

panjang gelombang.



gambar 2.11

Sehingga jika total energi merupakan jumlah dari energi potensial dan kinetik dalam satu panjang gelombang dapat ditulis sebagai berikut

$$E = \frac{1}{2} \rho g \zeta_0^2 \lambda \text{ joule/meter} \quad (2.18)$$

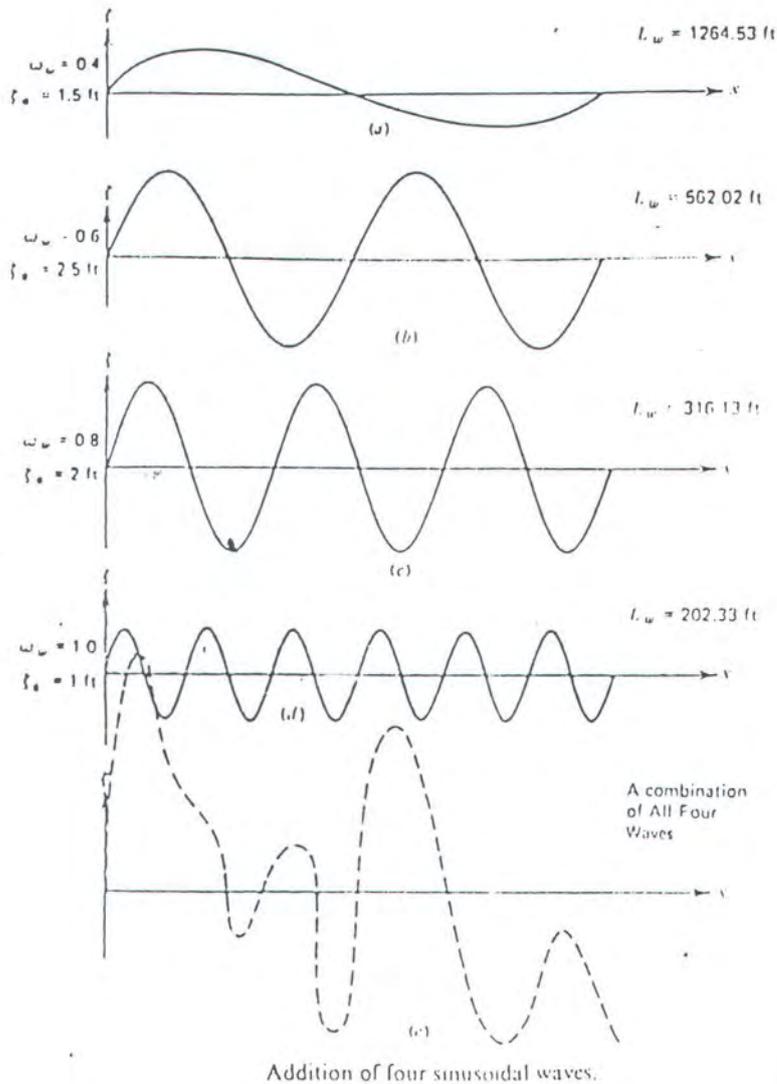
Dimana persamaan diatas menunjukkan suatu hasil bahwa besar energi tiap meter kuadrat dari permukaan gelombang tidak tergantung pada frekuensi gelombang tetapi hanya tergantung pada besar amplitudo gelombang

$$\bar{E} = \frac{1}{2} \rho g \zeta_0^2 \text{ joule/meter}^2 \quad (2.19)$$

2.2.2. KONSEP SPEKTRUM

Pola dari gelombang ireguler dihasilkan jika beberapa gelombang sinusoidal yang berbeda panjang dan tingginya dijumlahkan/superposisi satu dengan yang lainnya sehingga

menghasilkan gelombang ireguler tersebut [1]. Hal ini dapat dilihat dengan jelas dari gambar berikut



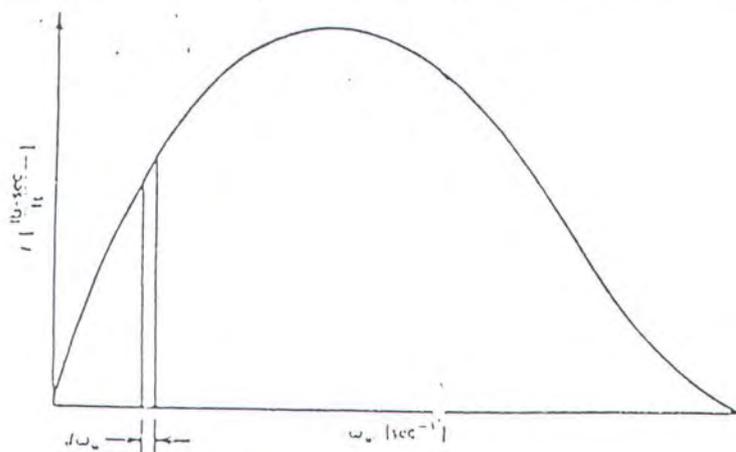
gambar 2.12

Keempat gelombang sinusoidal mempunyai panjang dan tinggi gelombang yang berbeda, dan setelah di tambahkan/disuperposisikan satu dengan yang lain maka akan menghasilkan suatu bentuk gelombang ireguler. Bentuk dari gelombang ireguler tersebut tidak dapat berulang, jadi bentuk antara gelombang ireguler yang satu dengan yang lain kemungkinan sama adalah relatif kecil. Hanya ada satu cara untuk melukiskan ketidakaturan dari gelombang tersebut yaitu dengan mendapatkan total energi dari

gelombang tersebut. hal ini dapat diperoleh dengan menambahkan energi dari beberapa gelombang reguler/sinusoidal[1]. Untuk mengekspresikan komponen-komponen gelombang sinus yang membentuk gelombang ireguler digunakanlah istilah *Wave Amplitudo Energy Density Spectrum* (disingkat *Wave Spectrum*)[9]. *Wave spectrum* dari suatu daerah yang dibatasi oleh suatu *range* frekuensi (misalkan ω_a dan ω_b seperti pada gambar 2.11) adalah sama dengan total energi (per meter kuadrat) dari segala komponen gelombang di dalam *range* frekuensi tersebut. Total energi tersebut diperoleh dengan menjumlahkan energi dari beberapa gelombang reguler/sinusoidal seperti pada persamaan (2.19) diatas. Jadi total energi dari beberapa gelombang dengan amplitudo $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n$ adalah

$$E_T = \frac{1}{2} \rho g (\zeta_1^2 + \zeta_2^2 + \dots + \zeta_n^2) \quad (2.20)$$

Dari persamaan diatas dapat dibuat suatu kurva yang menunjukkan distribusi dari energi terhadap frekuensi gelombang. Distribusi dari energi ini disebut *Energy Spectrum* [1]. Luas total dari daerah dibawah garis energi spektrum ini menunjukkan total energi dari gelombang. Kurva dari luas spektrum energi selanjutnya ditulis kembali untuk setiap frekuensi circular [1]. Hal ini dapat dilihat dari gambar berikut :



gambar 2.10

Dari persamaan untuk spektrum energi kita dapat menggambarkan suatu bentuk kuantitatif yang lain, yaitu dengan mengeluarkan notasi pg . Selanjutnya persamaan spektrum energi dapat dituliskan kembali sebagai berikut

$$\frac{1}{2}(\zeta_1^2 + \zeta_2^2 + \dots + \zeta_n^2) \quad (2.21)$$

Persamaan baru ini selanjutnya di sebut *Wave Spectrum*, besar ordinat diberi simbol $S_\zeta(\omega_w)$ dan disebut *Spectral density of wave energy* [9]. Untuk mendapatkan besar dari Spectral density of wave energy dapat dijelaskan sebagai berikut :

Jika diketahui $\omega_a = \omega_n - \frac{\delta\omega}{2}$ rad/detik (2.22)

dan

$$\omega_b = \omega_n + \frac{\delta\omega}{2} \text{ rad/detik} \quad (2.23)$$

sedangkan $\delta\omega = \omega_b - \omega_a$. Dan kita nyatakan bahwa didalam *range* frekuensi ω_a dan ω_b hanya terdapat satu frekuensi yaitu ω_n (padahal didalam *range* tersebut kenyataannya terdapat banyak frekuensi, tetapi analisa Fourier tidak dapat mengidentifikasinya dengan jelas) [9]. Untuk mengatasi efek dari hal tersebut maka digabungkannya semua frekuensi tersebut dalam suatu frekuensi identifikasi melalui analisa Fourier. Maka untuk frekuensi ω_n , energi yang berkesesuaian adalah

$$\rho g S_\zeta(\omega_w) \delta\omega = \frac{1}{2} \rho g \zeta_{no}^2 \quad (2.24)$$

sehingga ordinat spektralnya adalah

$$S_\zeta(\omega_w) = \frac{\zeta_{no}^2}{2\delta\omega} \quad \text{m}^2/\text{rad/detik} \quad (2.25)$$

(ISSC) dan International Towing Tank Conference (ITTC). Persamaannya disesuaikan dengan penggunaan scatter table [2].

$$S(f) = \frac{0.313H_s^2}{T_p^4 f^5} \exp \left[-\frac{1.25}{(T_p f)^4} \right] \quad (2.26)$$

Untuk spektrum *limited fetch* dipilih bentuk menurut JONSWAP karena merupakan bentuk spektrum yang sesuai / baik untuk kondisi tersebut. Pada spektrum ini energi gelombangnya terpusat pada suatu puncak energi jadi bila dibandingkan dengan bentuk Pierson-Moskowitz maka bentuknya akan lebih runcing tetapi tidak melebar. Perumusannya adalah sebagai berikut [2]

$$S(f) = \frac{\alpha_2 H_s^2}{T_p^4 f^5} \exp \left[-\frac{1.25}{(T_p f)^4} \right] \gamma \exp \left[-(T_p f - 1)^2 / 2\sigma^2 \right] \quad (2.27)$$

dimana

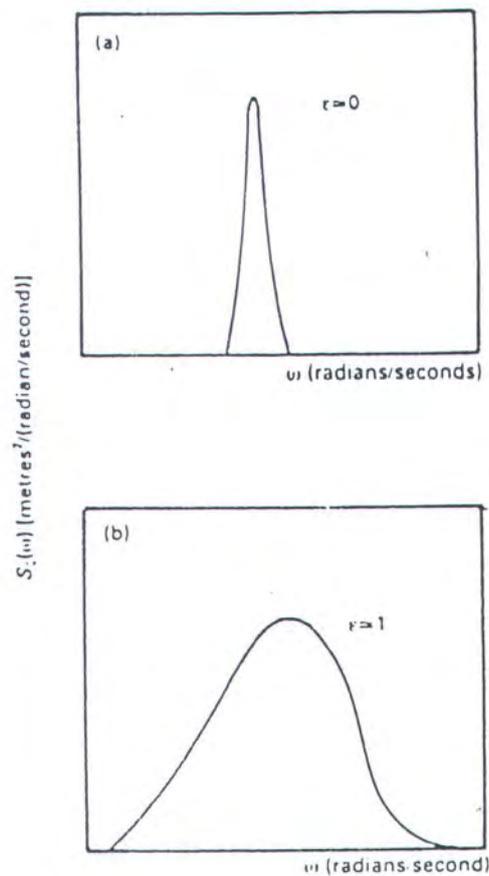
$$\alpha_2 = 0.0624 / [0.230 + 0.0336\gamma - 0.185 / (1.9 + \gamma)]$$

$$\sigma = 0.07 \text{ untuk } f < 1/T_p$$

$$\sigma = 0.09 \text{ untuk } f > 1/T_p$$

Jika faktor bentuk γ , sama dengan 1.0 maka bentuk spektrum JONSWAP ini akan menjadi bentuk Pierson-Moskowitz.

Sebagai perbandingan maka pada gambar berikut akan ditunjukkan perbandingan mengenai bentuk dari spektrum Pierson-Moskowitz dengan JONSWAP.



gambar 2.12

3.2.4. SCATTER DIAGRAM

Pada bagian diatas telah disebutkan cara untuk mendapatkan wave spektrum yang merupakan fungsi dari suatu kondisi laut. Karena lautan itu berbeda-beda kondisinya maka diperlukan suatu kuantitas dari kondisi laut tersebut, yaitu merupakan kombinasi dari tinggi dan panjang gelombang pada suatu daerah tertentu. Hal ini sangat berguna dalam hal perencanaan dari suatu kapal dimana kita harus memilih dengan tepat nilai-nilai kuantitatif untuk suatu daerah dan musim dimana kapal yang akan kita rencanakan tersebut akan beroperasi. Maka yang kita perlukan adalah data dari suatu gelombang yang terjadi dalam suatu kurun waktu tertentu. Untuk menetapkan suatu data dari gelombang (periode dan tingginya) para ahli kelautan menganjurkan pelaut untuk mencatat dan memperkirakan rata-rata dari tinggi dan panjang gelombang dari pengamatan secara visual. Hogben dan

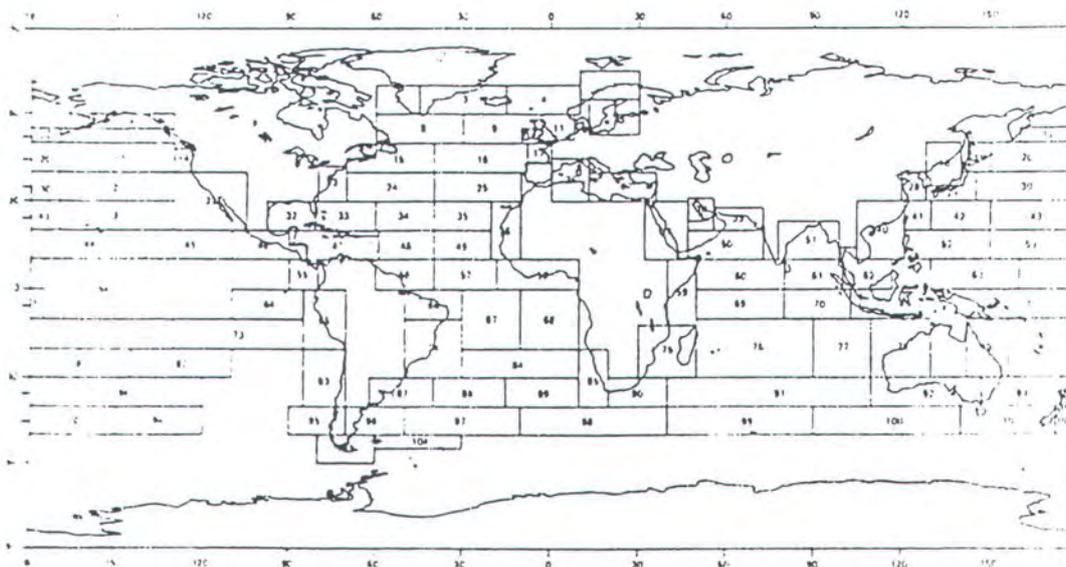
Lumb(1967) mendapatkan suatu perbandingan antara pengamatan visual dengan alat pengukur gelombang yaitu[9]

$$\overline{H}_{\frac{1}{3}} = 1.06\overline{H}_{obs} \text{ meter} \quad (2.28)$$

$$\overline{T}_z = 0.73\overline{T}_{obs} \text{ detik} \quad (2.29)$$

$$\overline{T}_o = 1.12\overline{T}_{obs} \text{ detik} \quad (2.30)$$

Suatu peta gelombang yang luas didasari oleh 55 juta pengamatan dari kapal-kapal yang berlayar antara tahun 1854 sampai 1984 dipublikasikan sebagai Global Wave Statistics oleh Hogben, Dacunha, dan Olliver (1986), untuk menggantikan apa yang telah dikerjakan oleh Hogben dan Lumb [9]. Peta tersebut mencakup seluruh dunia dan menunjukkan kemungkinan terjadinya suatu *significant wave height* dan *zero crossing periods* untuk semua daerah laut dalam suatu kurun waktu tertentu misalnya tahunan dan empat bulanan. Gambar berikut menunjukkan pembagian daerah laut sedangkan persentase kejadian dari periode dan tinggi gelombang dapat dilihat di lampiran.

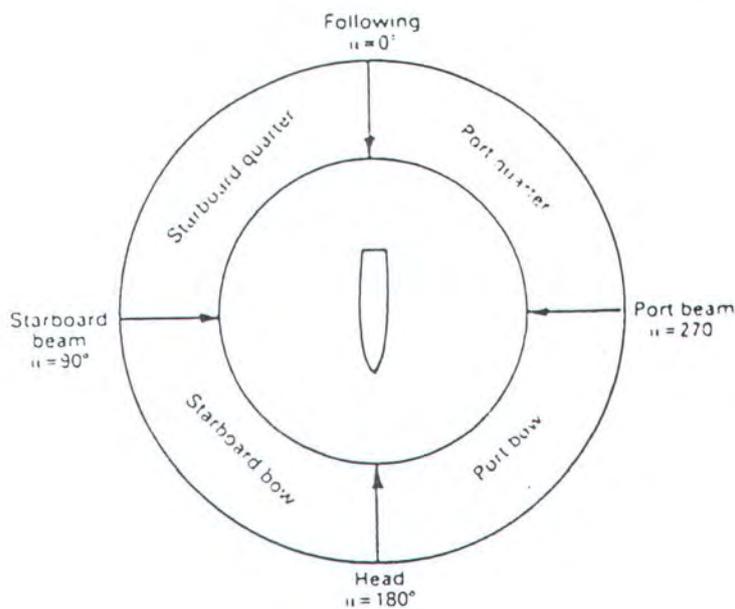


Sea areas used by Hogben, Dacunha and Olliver (1986). (Reproduced by permission of British Maritime Technology Ltd.)

gambar 2.13

2.2.5. SUDUT HEADING dan ENCOUNTER FREQUENCY

Sudut heading kapal ditinjau berdasarkan arah perambatan gelombang. Kapal diasumsikan tetap bergerak pada arah lurus (meskipun dikenai gelombang) sesuai dengan arah kecepatannya yang konstan yaitu V m/det. Sehingga sudut heading μ didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk antara arah kecepatan kapal dengan arah perambatan gelombang, dapat ditunjukkan sebagai berikut [9]



gambar 2.14

Ketika gelombang melewati kapal yang bergerak dengan kecepatan V m/det dan membentuk sudut sebesar μ seperti gambar diatas maka hal ini menunjukkan suatu parameter gelombang yaitu frekuensi (merupakan frekuensi pertemuan dari gelombang dengan gerakan kapal). Meskipun gelombang berpengaruh terhadap gerakan kapal tapi juga tergantung pada frekuensi dimana kapal yang bergerak bertemu dengan gelombang reguler dan biasanya frekuensi dari pertemuan ini (disebut *Encountering frequency*) lebih kecil daripada frekuensi gelombang.

Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

jika komponen kecepatan kapal pada arah gelombang adalah $V \cos \mu$ dan kecepatan relatif kapal terhadap gelombang adalah

$$V_W - V \cos \mu \quad (2.31)$$

Waktu yang dibutuhkan untuk melewati dua puncak gelombang secara berurutan yang menunjukkan periode encounter adalah

$$T_e = \frac{L_W}{V_W - V \cos \mu} \quad (2.32)$$

$$\text{jika } L_W = V_W T_W$$

$$T_e = \frac{V_W T_W}{V_W - V \cos \mu} = \frac{T_W}{1 - \left(\frac{V}{V_W}\right) \cos \mu} \quad (2.33)$$

tanda - untuk arah berlawanan

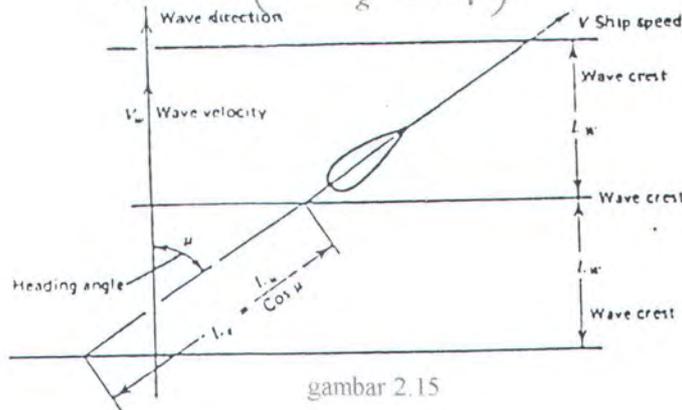
+ untuk yang searah

$$\frac{2\pi}{\omega_e} = \frac{2\pi/\omega_w}{1 - \left(\frac{V}{V_W}\right) \cos \mu} \quad \text{sehingga} \quad (2.34)$$

$$\omega_e = \omega_w \left(1 - \frac{V}{V_W} \cos \mu \right) \quad \text{dimana} \quad V_W = \frac{g}{\omega_w} \quad (2.35)$$

maka diperoleh

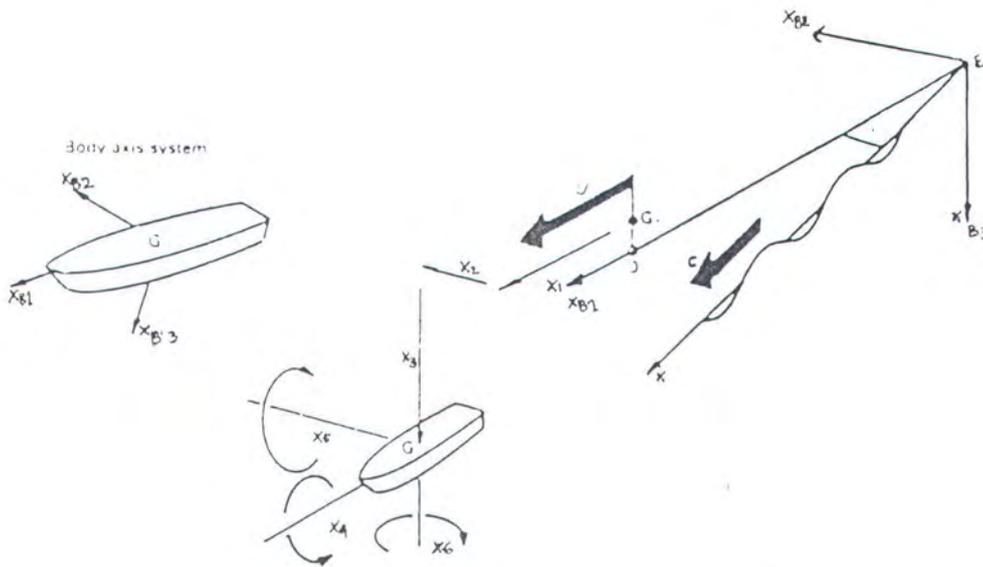
$$\omega_e = \omega_w \left(1 - \frac{\omega_w V}{g} \cos \mu \right) \quad (2.36)$$



gambar 2.15

2.2.6. GERAKAN GERAKAN KAPAL

Gerakan kapal pada permukaan laut selalu berupa gerakan osilasi. Macam-macam gerakan tersebut ditunjukkan dengan bantuan gambar berikut dimana ditunjukkan enam macam gerakan yaitu tiga macam linear dan sisanya rotasional.



gambar 2.16

TRANSLASI			ROTASI		
sumbu	nama	positif untuk arah	sumbu	nama	positif untuk arah
x_1	surgung	depan	x_2	rolling	kanan ke bawah
y_1	swaying	kanan	y_2	pitching	bag. depan ke atas
z_1	heaving	bawah	z_2	yawing	bag. kanan ke atas

Hanya tiga macam gerakan yang merupakan gerakan osilasi murni (yaitu heaving, rolling,

dan pitching) ketika kapal diusik dari posisi kesetimbangannya hal ini disebabkan karena pada kapal tersebut bekerja gaya atau momen pengembali (restoring force/moment). Sedangkan pada surging, swaying, atau yawing kapal tidak akan kembali pada posisi kesetimbangan bila mendapat usikan kecuali bila ada gaya atau momen dari luar yang bekerja/mengenai badan kapal tersebut dan arahnya berlawanan arah dengan arah dari usikan tadi [1].

2.2.6.1 PERSAMAAN GERAKAN

Persamaan gerakan badan kapal mengikuti persamaan dari hukum Newton [10]

$$m\ddot{Z} = \sum F \quad (2.37)$$

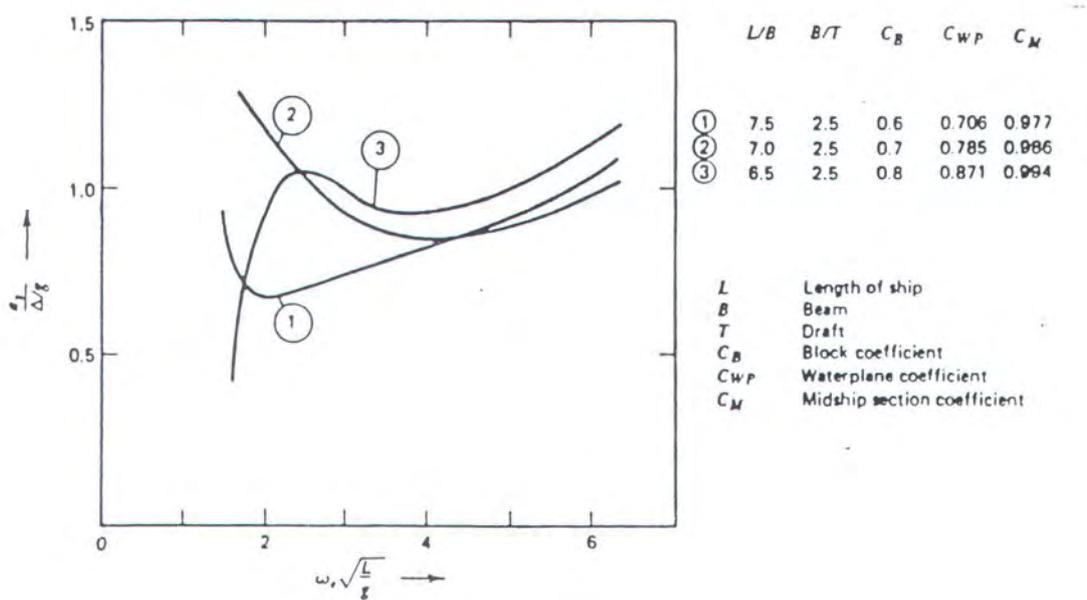
Karena gaya yang bekerja di air sangat kompleks dan sulit untuk dijelaskan maka digunakan penyederhanaan, yaitu dengan menganggap gaya total terdiri dari dua bagian yaitu :

$$\sum F = F_{gelombang} + F_{reaksi} \quad (2.38)$$

Lebih lanjut diasumsikan bahwa $F_{gelombang}$ bekerja pada kapal yang berada pada posisi kesetimbangan jadi tidak ada gerakan, sedangkan F_{reaksi} diasumsikan terjadi ketika kapal membuat gerakan pada air tenang. Meskipun ini hanya penyederhanaan tetapi sangat berguna dan hanya diijinkan bila kita bekerja dengan sistem linear. Lebih jauh lagi F_{reaksi} di bagi menjadi tiga bagian yaitu :

$$F_{reaksi} = F_{gerakan} + F_{kecepatan} + F_{percepatan} \quad (2.39)$$

meningkatkan massa kapal [10]. Dari gambar berikut dapat ditunjukkan bahwa besar dari added mass adalah tergantung dari besar frekuensi encountering.

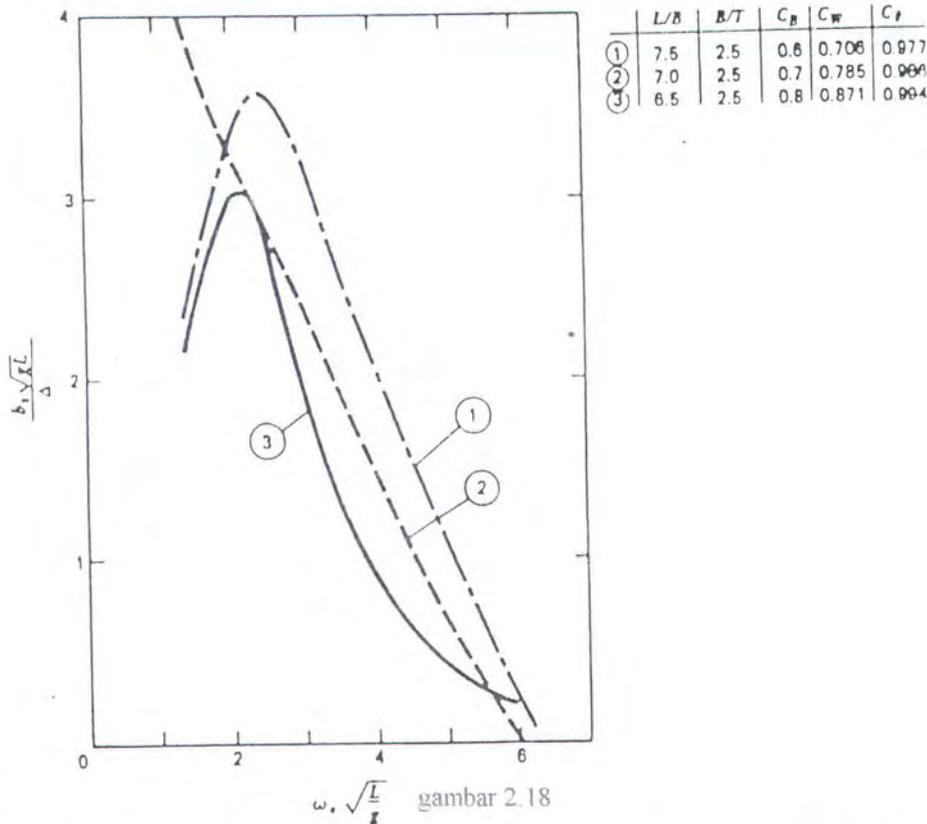


gambar 2.17

Damper (b, hydrodynamic coefisien) : pada sistem ini damper dihubungkan dengan kecepatan pada arah kapal itu bekerja akan menghasilkan suatu gaya yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan kapal. Pada kapal yang mengalami gerakan vertikal (heave) besarnya gaya damping akan semakin besar jika kecepatan yang dialami kapal semakin besar. Damping ini berhubungan dengan besarnya gelombang yang dihasilkan oleh gerakan kapal dan juga karena gelombang yang bergerak ke arah kapal tersebut. Berdasarkan teori dan eksperimen dapat diambil kesimpulan bahwa :

- besar koefisien damping tergantung dari kuadrat luas permukaan garis air.
- semakin besar kecepatan kapal maka semakin kecil koefisien dampingnya.

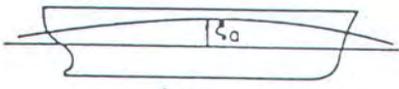
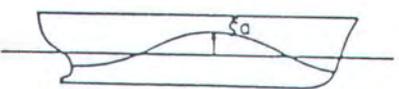
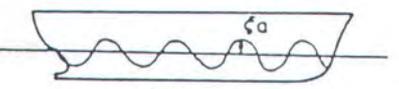
Dari gambar berikut dapat diketahui bahwa besar dari suatu damping akan mencapai nilai maksimum pada suatu frekuensi dan selanjutnya semakin menurun sehubungan dengan semakin besarnya frekuensi. Disini dapat disimpulkan bahwa damping tergantung pada besarnya frekuensi dan juga bentuk dari badan kapal.



Spring/Restoring (c, hydrostatic coefisien) : Pada saat kapal menekan permukaan air, daya apung akan semakin besar sehingga gaya tekan keatas (yang berlawanan dengan arah gerakan kapal) juga semakin besar, hal ini merupakan tambahan dari daya apung yang merupakan gaya pengembali (restoring force) dimana pada prinsipnya menyerupai pegas (spring). Semakin dalam kita 'menekan' kapal kebawah maka semakin besar pula gaya pengembali yang terjadi.

External Force (F, akibat gelombang) : Gaya ini pada prinsipnya dihasilkan dari daya apung tambahan yang disebabkan oleh adanya puncak gelombang dan karena

pengurangan daya apung yang disebabkan adanya lembah gelombang. Juga dihasilkan akibat pantulan gelombang pada badan kapal serta perubahan pola gelombang yang disebabkan oleh kapal. Gaya ini juga disebut *Wave Exciting Force*, yang tergantung pada frekuensi dan panjang gelombang. Akibat yang ditimbulkan berdasarkan frekuensi dan panjang gelombangnya dapat dilihat dari gambar berikut :

WAVE LENGTH	WAVE FREQUENCY	TOTAL VERTICAL WAVE EXCITING FORCE
 <p>$\lambda > L$ LONG WAVES</p>	LOW	LARGE
 <p>$\lambda = L$ MEDIUM WAVES</p>	INTERMEDIATE	ALMOST ZERO
 <p>$\lambda < L$ SHORT WAVES</p>	HIGH	SMALL

gambar 2.19

Pada suatu benda yang bergerak rotasional dan mempunyai percepatan, setiap partikelnya yang berjarak r dari sumbu rotasinya mempunyai dua komponen percepatan yaitu

1. $r\alpha$, yang searah dengan percepatannya.
2. $r\omega^2$, searah dengan sumbunya.

Komponen gaya yang bekerja pada partikel dalam dua arah adalah :

$$F = \text{massa} \times \text{percepatan} = m \cdot r\alpha \quad (2.41)$$

dan

$$F' = \text{massa} \times \text{percepatan} = m \cdot r\omega^2 \quad (2.42)$$

Jika jumlah total momen dari dari kedua gaya tersebut terhadap sumbu rotasi adalah

$$Fr = mra\alpha = mr^2\alpha \quad (2.43)$$

Maka total momen yang bekerja pada bidang rotasional tersebut adalah

$$\sum F_i r_i = \sum (m_i r_i^2) \alpha = \sum (m_i r_i^2) \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (2.44)$$

θ = untuk gerakan pitching.

sehingga persamaan untuk gerakan rotasional (dalam hal ini pitching) adalah

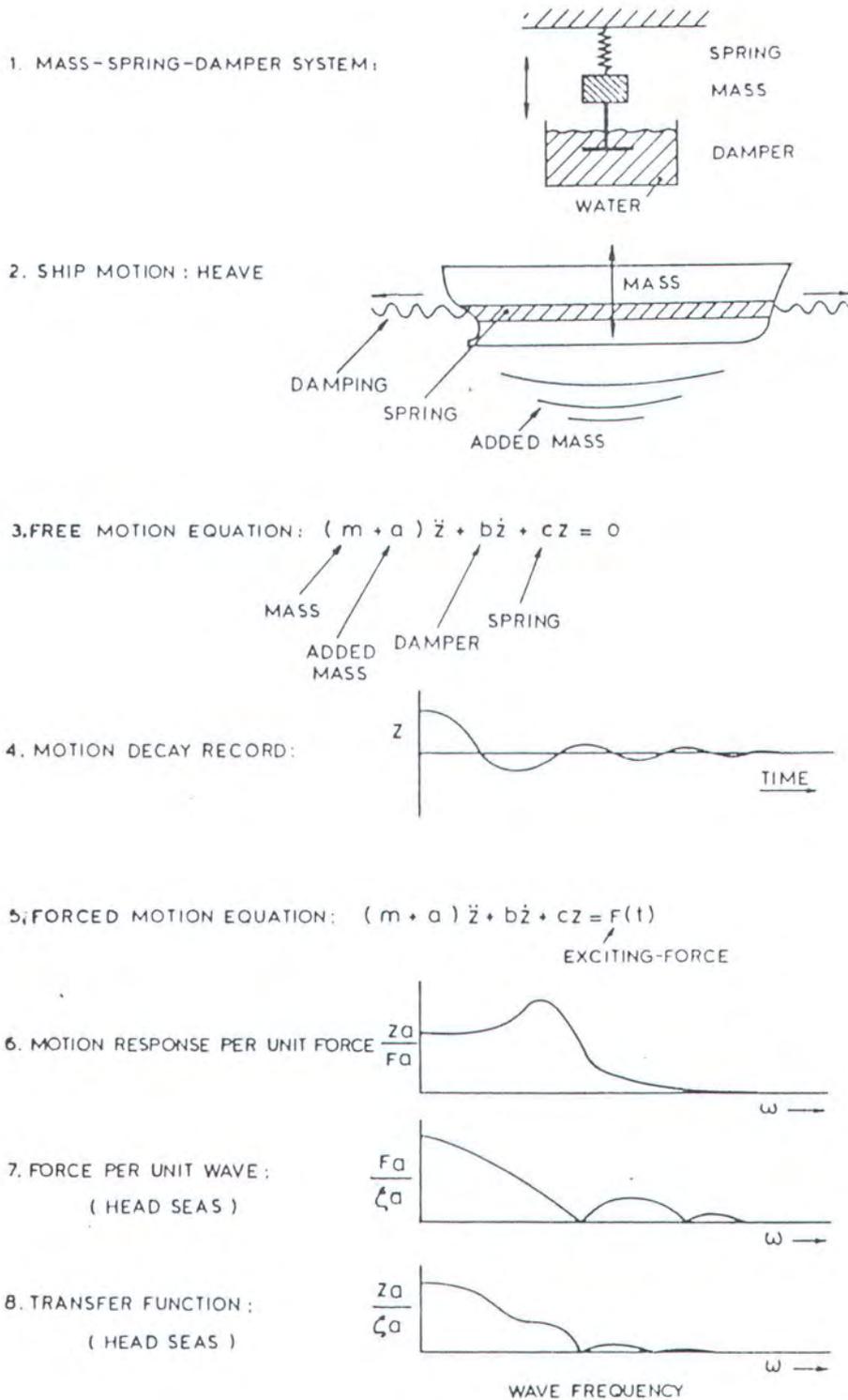
$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = (mk^2 + a)\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M \quad (2.45)$$

Keterangan dari notasi-notasi gerakan rotasi (pitching) pada prinsipnya sama dengan gerakan translasi (heave) hanya saja untuk rotasi dalam bentuk momen sedangkan pada translasi dalam bentuk gaya.

Sedangkan untuk persamaan gerakan yang lain (6 derajat kebebasan) adalah sama seperti yang telah diuraikan diatas yang berbeda hanya notasinya saja dan persamaannya menurut jenis gerakannya (rotasi atau translasi).

Untuk lebih jelasnya dapat digambarkan sebagai berikut yaitu mulai dari macam-macam gaya/momen yang bekerja pada kapal, persamaan gerakannya, hingga prinsip cara mendapatkan Response Amplitudi Operator (RAO) suatu gerakan :

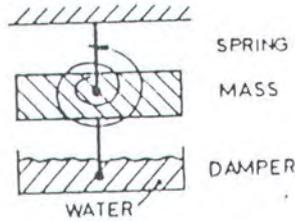
Untuk gerakan TRANSLASI Kapal : Heave



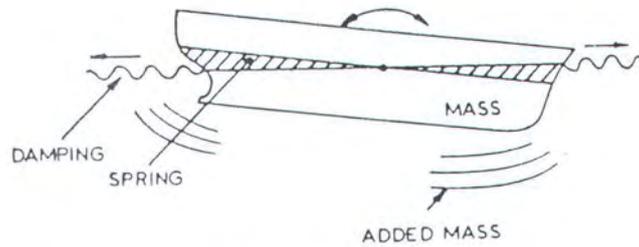
gambar 2.20

Untuk gerakan ROTASI Kapal : Pitch

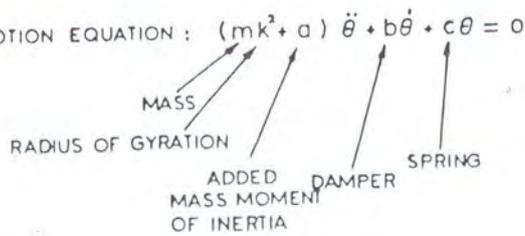
1. MASS-SPRING-DAMPER SYSTEM:



2. SHIP MOTION : PITCH.



3. FREE MOTION EQUATION : $(mk^2 + a) \ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = 0$

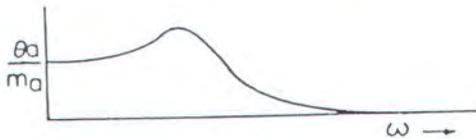


4. MOTION DECAY RECORD:

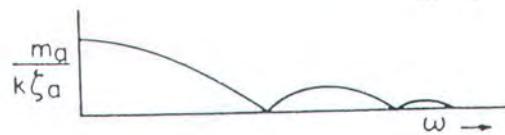


5. FORCED MOTION EQUATION : $(mk^2 + a) \ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M(t)$
EXCITING-MOMENT

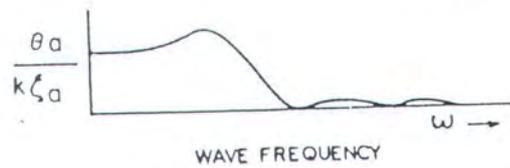
6. MOTION RESPONSE PER UNIT MOMENT



7. MOMENT PER UNIT WAVE :
(HEAD SEAS)



8. TRANSFER FUNCTION :
(HEAD SEAS)

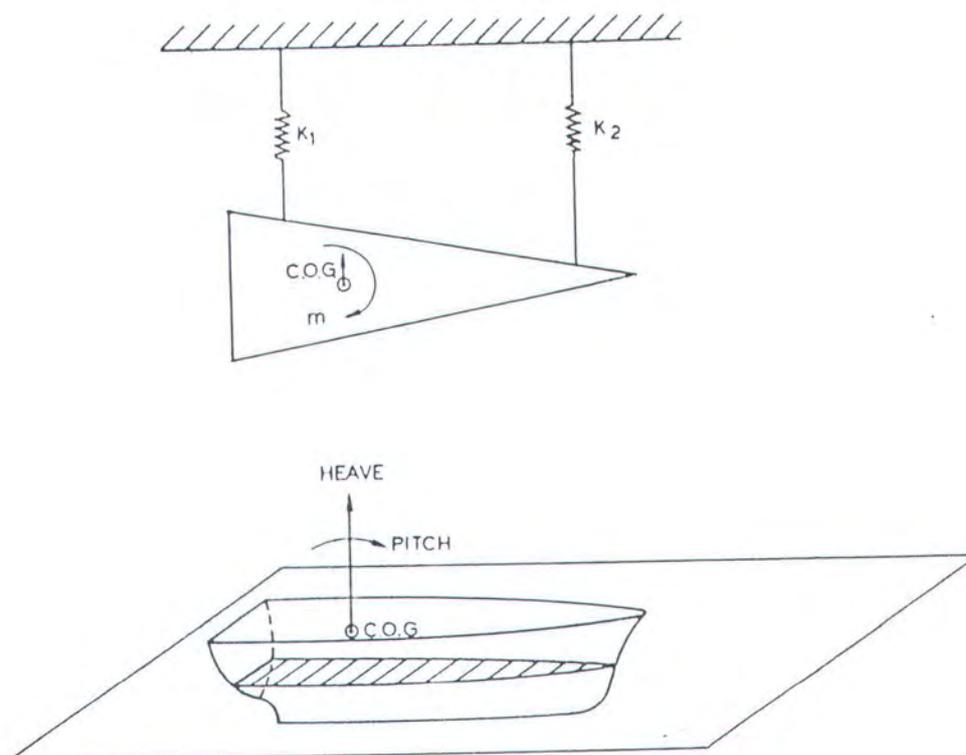


gambar 2.21

2.2.6.2. GERAKAN KOPEL

Pengertian dari single mass-spring system sangat berguna dalam pemahaman mengenai gerakan kapal. Meskipun dalam kenyataannya sangatlah kompleks. Gerakan-gerakan dari kapal tersebut tidak bisa disajikan dalam bentuk yang terpisah tetapi harus dipertimbangkan sebagai suatu kesatuan yang saling mempengaruhi (kopel). Jika gerakan kapal yang ditinjau hanya satu macam gerakan saja maka hal yang tidak dapat dihindarkan adalah gerakan-gerakan lain dari kapal tersebut yang akan ikut mempengaruhi gerakan satu macam tadi. Jika pengaruh dari tambahan gerakan tersebut besar maka disebut *Strong coupling*, sedangkan jika pengaruhnya kecil disebut *Weak coupling*.

Contoh dari strong coupling adalah gerakan heave dan pitch, hal ini dikarenakan bentuk bada kapal bagian depan dan belakang tidak simetri.



gambar 2.22

Persamaan dari gerakan kopel ini ditinjau secara bersama dan hanya dapat diselesaikan secara bersama juga, dalam hal ini mustahil untuk menyelesaikan satu macam persamaan untuk satu macam gerakan saja. Persamaan dari bentuk kopel ini disajikan dalam bentuk matriks yaitu

$$[M]\ddot{\mathbf{x}} + [N]\dot{\mathbf{x}} + [C]\mathbf{x} = \bar{\mathbf{F}} \quad (2.46)$$

2.2.7. STRIP THEORY

Untuk mempermudah studi mengenai gerakan-gerakan kapal maka perlu diadakan suatu penyederhanaan dalam perhitungan-perhitungan numeriknya. Kesulitan yang ada dalam hal ini adalah menyangkut perhitungan untuk menentukan koefisien-koefisien hidrodinamik yang bekerja. Sebagai penyederhanaan masalah-masalah yang kompleks tersebut perlu diadakan asumsi-asumsi dan batasan-batasan. Dalam hal ini diasumsikan bahwa arah kapal berlawanan dengan arah gelombang, gelombang lautan yang ditinjau terdiri dari bermacam-macam gelombang harmonik (sinusoidal) [1].

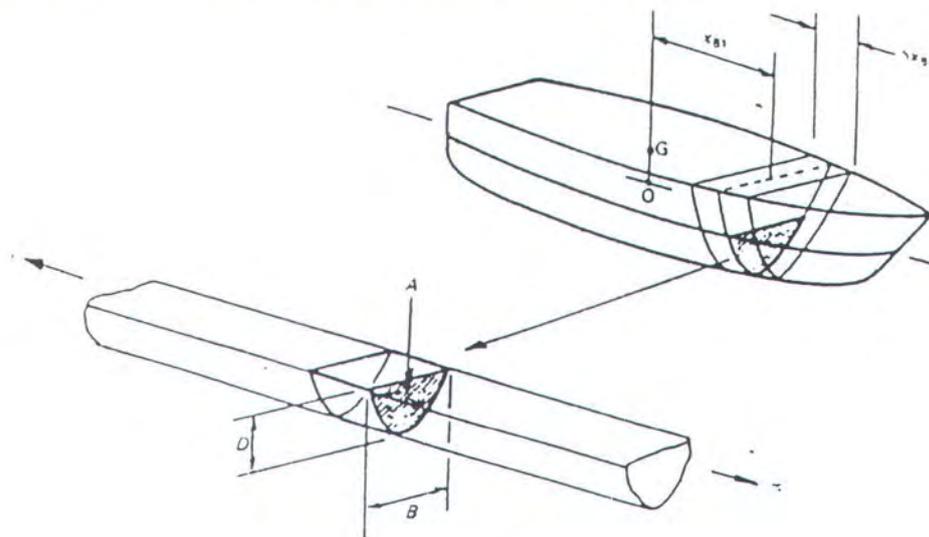
Sedangkan menurut Gerritsma dan Beukelman asumsi-asumsi yang digunakan dalam Strip Theory ini adalah [9] :

- bentuk badan kapal adalah slender yaitu panjang kapal jauh lebih besar bila dibandingkan lebar atau sarat kapal dan juga lebar kapal jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan panjang gelombang.
- bentuk badan kapal adalah kaku.
- kecepatan dari kapal adalah sedang sehingga tidak ada bagian depan kapal yang terangkat ke atas air.
- gerakan-gerakan kapal adalah kecil.
- bentuk sisi kapal adalah datar (wall-sided).

- tinggi kapal adalah jauh lebih kecil dari panjang gelombang sehingga pendekatan perhitungan mengenai gelombang di laut dalam (deep sea) dalam hal ini bisa dipakai.
- badan kapal tidak berpengaruh pada gelombang (disebut hipotesa Froude-Kriloff)

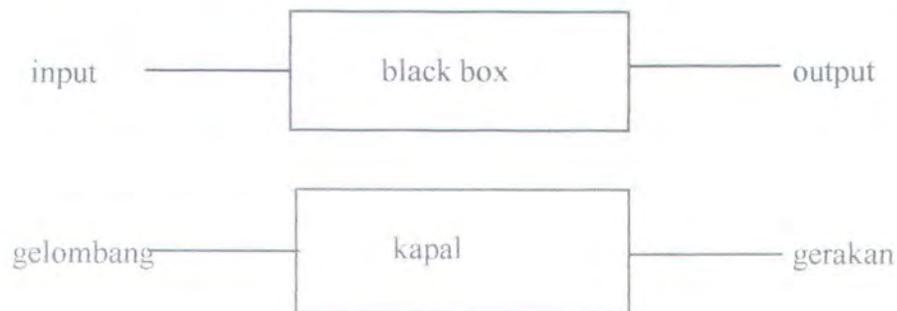
Dengan mempergunakan strip theory ini efek-efek tiga dimensi seperti interferensi antar potongan, bentuk potongan/irisian pada bagian ujung kapal, dan efek karena perubahan bentuk dari badan kapal diabaikan [9], sehingga kesulitan-kesulitan yang ada pada masalah hidrodinamika 3-D dapat dikurangi sehingga dapat mempermudah dalam hal penyelesaiannya.

Pada strip theory ini badan kapal di bawah garis air digambarkan sebagai potongan 2-dimensi yang mempunyai bentuk potongan melintang silinder yang sama besar [9]. Silinder tersebut terdiri dari potongan-potongan yang diasumsikan kecil. Tiap potongan mempunyai sifat hidrodinamik lokal seperti added mass, damping, dan sebagainya. Dan untuk memperoleh sifat hidrodinamik total dari seluruh panjang kapal maka perlu dilakukan integrasi dari sifat-sifat lokal sepanjang badan kapal tersebut.



gambar 2.23

Dan setelah didapatkan koefisien-koefisien hidrodinamis dengan strip theory maka diperoleh persamaan gerakan kapal untuk masing-masing gerakan. Dari persamaan gelombang ini dengan mempergunakan suatu analogi filter diperoleh Respon Amplitudo Operator (RAO) untuk masing-masing gerakan. Analogi ini dikembangkan oleh St Denis dan Pierson (1953). Disini kapal dianggap sebagai suatu 'black box' elektronik filter seperti pada gambar berikut



gambar 2.24

Signal (input) yang diterima oleh filter berisi komponen frekuensi yang berbeda selanjutnya komponen tersebut diperkuat/dilemahkan untuk menghasilkan suatu signal (output) yang sesuai dengan karakteristik dari filter tersebut. Dari analogi tersebut diatas kapal dipertimbangkan sebagai black box dan inputnya berupa gelombang sedangkan sebagai output dari black box tersebut adalah berupa gerakan kapal dalam hal ini adalah RAO.

RAO dari bermacam-macam gerakan ini, tentunya diambil yang sesuai dengan kebutuhan perhitungan indeks, dengan berbagai macam kombinasi kecepatan dan sudut

heading dihitung. Untuk perhitungan RAO dalam penulisan menggunakan bantuan program SHIPMO dari LHI BPPT di Surabaya.

2.2.8. SEAKEEPING KRITERIA

Sebelum dimulai pembahasannya, perlu dijelaskan terlebih dahulu mengenai perbedaan pemakaian kata *indeks* dan *kriteria* yang mempunyai maksud yang relatif mirip. Kata indeks digunakan untuk melukiskan nilai-nilai dari unjuk kerja seakeeping suatu kapal yang merupakan fungsi dari kecepatan, sudut heading, dan parameter-parameter seakeeping yang tidak melebihi kriteria yang telah ditetapkan. Parameter-parameter seakeeping yang dipertimbangkan / digunakan dalam hal ini adalah heave, pitch, roll, vertical acceleration, dan relative motion. Sedangkan kata kriteria lebih mengacu pada aspek spesifik dari suatu respon kapal di laut, dimana kriteria tersebut menunjukkan suatu nilai yang 'dijinkan' untuk suatu parameter seakeeping yang ditinjau. Jika dalam kondisi yang buruk dan parameter seakeeping dari kapal melebihi kriteria yang telah diberikan maka hal ini dapat menyebabkan penurunan unjuk kerja dari satu atau lebih elemen sistem kapal sehingga mencapai tingkat yang tidak diijinkan [8].

Kemampuan dari kapal untuk melaksanakan/menghasilkan suatu misi/perjalanan yang diharapkan dengan efisien dalam hal ini dapat dibatasi oleh beberapa faktor. Ini berhubungan dengan batasan dari kriteria seakeeping. Batasan tersebut dapat ditunjukkan oleh kemampuan kapal itu sendiri atau sistemnya untuk mendapatkan/memperoleh operasi yang efektif dan aman atau dapat juga dari kepuasan penumpang atau kemampuan kerja yang ditunjukkan oleh awak kapalnya. Sejauh ini dapat disimpulkan bahwa unjuk kerja dari peralatan atau awak kapal akan mengalami penurunan ketika gerakan kapal melampaui batas yang telah diijinkan. Jadi dalam hal ini kemampuan seakeeping dari kapal harus berada dalam batas yang diijinkan [12].

Secara umum metode untuk memperkirakan unjuk kerja dari seakeeping ini tergantung pada empat faktor yaitu [8]:

(a). *Misi.*

Disini sudah termasuk misi kapal pada bermacam-macam kondisi beban kerja misalnya pada waktu muatan penuh atau pada waktu muatan kosong. Berbagai macam misi dari seluruh kapal yang ada dapat di bedakan menjadi tiga kategori :

- transportasi dari pelabuhan ke pelabuhan baik mengangkut barang maupun penumpang.
- misi yang berhubungan dengan militer, baik dengan tujuan bertahan maupun menyerang.
- misi komersial seperti menangkap ikan maupun pengeboran minyak.

(b). *Lingkungan.*

Terdiri dari hal-hal yang berhubungan dengan kondisi dari lautan baik menyangkut gelombang maupun angin.

(c). *Respon dari kapal.*

Berbagai macam respon spesifik diperiksa sebagai fungsi dari permukaan gelombang, kecepatan kapal, dan sudut pertemuan kapal dengan gelombang.

(d). *Seakeeping Performance Criteria.*

Merupakan elemen penting dari metode untuk memperkirakan unjuk kerja seakeeping ini. Dimana merupakan batasan dari nilai-nilai unjuk kerja seakeeping, yang untuk penentuannya dipakai berbagai macam cara baik melalui eksperimen maupun dari pengalaman.

Dalam hal ini adalah tepat untuk menerangkan dengan mengenai kriteria - kriteria seakeeping. Karena bagaimanapun juga suatu kapal memerlukan suatu kriteria (yang juga tergantung pada beberapa faktor seperti kondisi laut, kecepatan dan arah dari kapal tersebut dengan gelombang datang) untuk menentukan apakah pada kondisi tersebut kemampuan kerja dari kapal masih dapat di toleransi dalam melakukan tugas/fungsinya atau tidak. Sebab jika kapal tersebut berada pada kondisi yang tidak diijinkan (dalam hal ini melebihi) maka akan terjadi penurunan fungsi misalkan kerusakan pada penguat-penguat kapal, kelelahan pada awak kapal, peralatan tidak berfungsi sebagaimana mestinya dan lain-lain.

Sesuai dengan prinsip dari perhitungan indeks seakeeping (dalam hal ini *Rank Index*) yang dikembangkan oleh van Wijngaarden dimana indeks seakeeping ditentukan oleh normalisasi dari gerakan heave,pitch, percepatan absolut di bagian depan kapal, dan gerakan relatif bagian depan kapal terhadap permukaan air [15], maka kriteria seakeeping untuk gerakan-gerakan tersebut diatas kami tentukan. Dan untuk menambah keakuratan dari indeks seakeeping ini ditambahkan satu gerakan lagi yaitu rolling.

Nilai-nilai dari kriteria seakeeping

Jenis Kriteria	Aertsen (1968,1972) [8]	Comstock (1980) [8]	British Fisheries Protection Vessel [6]	U.S.N Combatant Mobility [6]
Heave
Pitch	...	1.5 deg	...	3 deg
Roll	5 deg	4 deg	10 deg	8 deg
Vertical Acceleration	1.4 deg	0.2 deg	...	0.4 g
Relative Motion

Keterangan dari kriteria dan dasar pemilihannya :

Heave : kriteria untuk heave tidak dapat kami temukan sumbernya, sehingga kami tetapkan besarnya heave sebesar 0,75 m. Hal ini berdasarkan asumsi bahwa orang yang bekerja di atas geladak kapal ikan dengan peralatan jaring (jaring dianggap tetap terhadap bumi) dan dengan kondisi permukaan geladak yang licin karena air laut bila (kapalnya) mengalami gerakan heave sebesar 0,75 m akan mengalami suatu keadaan yang dapat membahayakan keselamatannya.

Pitch : Kriteria untuk pitch adalah 1,5 deg dalam Rms (Root Mean Square) menurut Comstock sedangkan untuk U.S.N. Combatant Mobility sebesar 3 deg dalam significant amplitudo. Rms dan Sig. Amplitudo dalam perhitungan selanjutnya harus diubah dalam bentuk Double Significant Amplitudo ($2\zeta_{\frac{1}{3}}$ atau $H_{\frac{1}{3}}$), sedangkan dari kedua kriteria tersebut menghasilkan besar Double Significant

Amplitudo yang sama besar ($H_{1/3} = 4.Rms$ dan $H_{1/3} = 2.\zeta_{\frac{1}{3}}$) maka kedua-duanya bisa digunakan. Kriteria ini berlaku pada semua lokasi di kapal.[8]

Roll : Untuk rolling Aertsen dan Comstock memberi nilai dalam bentuk Rms sedangkan British Fishseries dan U.S.N. Combatant memberi nilai dalam bentuk Sign. Amplitudo. Setelah semua kriteria diubah dalam bentuk Double Sign. Amplitudo maka dipilih kriteria yang terkecil hal ini untuk memperbesar nilai 'keamanan' dari kapal. Ditetapkan besar kriteria rolling adalah 8 deg dalam Sign. Amplitudo. Sama seperti pitch kriteria ini berlaku pada semua bagian kapal.[8]

Vertical Acceleration : Aertsen dan Comstock memberi nilai dalam bentuk Rms sedangkan U.S.N. Combatant Mobility memberi nilai dalam bentuk Sign. Amplitudo tetapi dalam hal ini digunakan karena kriteria tersebut hanya berlaku pada *bridge deck* sedangkan kriteria yang dibutuhkan adalah kriteria untuk bagian depan kapal (bow). Untuk memperbesar rasa 'aman' maka ditetapkan kriteria dari Comstock yaitu sebesar 0,2 deg. Dan Kriteria ini berlaku pada semua lokasi di kapal dimana awak kapal makan, tidur, dan bekerja. [8]

Relative Motion : untuk kriteria ini belum dapat kami temukan dan ditetapkan besarnya adalah 0,25 m pada bagian depan kapal dalam bentuk Rms. Hal ini dengan asumsi bila jarak bagian depan kapal (bow) dengan permukaan gelombang sebesar kriteria tersebut (0,25 m) maka kapal sudah mengalami Deck Wetness.

BAB III

PERHITUNGAN DARI HASIL PERCOBAAN TAHANAN

Perhitungan tahanan kapal dilakukan pada dua macam model kapal yaitu basic design dan modified design. Pertama-tama pengujian tahanan dilakukan pada desain dasar (basic design) yaitu model kapal LHI 004, kemudian setelah diketahui besar tahanannya dilakukan modifikasi/perubahan terhadap desain dasar tersebut dengan memperhatikan variabel-variabel yang diharapkan dapat memperbaiki (mengurangi) tahanannya.

3.1. PERTIMBANGAN VARIABEL YANG DIPAKAI

Dalam hal ini variabel yang dipertimbangkan dalam merubah desain dasar untuk mendapatkan/memperbaiki besar Tahanan Totalnya adalah :

- Longitudinal Centre of Boyancy, LCB.
- Prismatic Coeficient, Cp.

Longitudinal Centre of Buoyancy

Sesuai dengan teori, bentuk kapal yang terbaik menurut segi tahanan gelombang adalah bentuk yang simetris. sehingga dapat disimpulkan bahwa letak dari LCB yang baik terletak pada titik tengah antara AP dan FP atau $LCB = 0$. Dari pertimbangan teoretis bila viskositas dan efek yang saling mempengaruhi diabaikan maka bagian muka dan belakang yang berbentuk sama akan menghasilkan tahanan gelombang yang sama.

Dari eksperimen Wigley diketahui bahwa sebagai hasil pengaruh viskositas maka wave making dari bagian belakang kapal akan sedikit diperkecil sehingga bagian belakang

kapal yang simetris akan mempunyai tahanan gelombang yang lebih kecil bila dibandingkan dengan bagian muka. Pada kapal-kapal yang mempunyai Koefisien Blok dan C_p yang kecil, bila LCB digeser ke arah belakang kapal sedangkan parameter lain dibuat tetap maka tahanan total kapal akan berkurang. [Diktat Tahanan kapal II p:12]

Koefisien Prismatic (C_p).

Bila semua parameter dibuat konstan, sedangkan koefisien prismatic diubah sehingga luas potongan melintang kapal akan berkurang dan displasemen akan bergeser dari bagian tengah ke ujung-ujungnya maka hasil yang didapat gelombang-gelombang haluan, buritan dan bahu akan berubah yang mengakibatkan/ berpengaruh terhadap besar tahanan gelombang. Secara singkat dijelaskan bahwa bentuk kapal yang mempunyai ujung-ujung yang runcing lebih baik digunakan pada kapal-kapal yang mempunyai kecepatan rendah. Sedangkan untuk kapal yang mempunyai kecepatan menengah maka keuntungan dari bentuk ini akan hilang, dan pada kapal-kapal berkecepatan tinggi bentuk bagian depan yang langsing akan menimbulkan tahanan gelombang yang lebih besar. [Diktat Tahanan kapal II, p: 11]

Sebagai sedikit penjelasan kecepatan kapal itu tergantung dari besarnya angka Froude dan dapat dibagi dalam tiga bagian :

- kecepatan lambat, $Fn = \frac{V_0}{\sqrt{gL}} \leq 0.2$
- kecepatan sedang, $0.2 < Fn < 0.35$
- kecepatan tinggi, $Fn \geq 0.35$

3.2. Gambar Rencana Garis kapal (Basic Design dan Modified Design)

Ukuran Utama Kapal

Kapal ikan tradisional "Neptunus", single screw, single ruder.

Panjang antara garis air (LWL) : 15.95 m

Lebar (B) : 3.40 m

Sarat (T) : 1.40 m

Luas permukaan basah (WSA) : 93.902 m²

Volume displasemen : 45.5 m³

Koefisien Blok (C_B) : 0.59

Ukuran Utama Model

Model No : LHI 004 dan LHI 004-1, skala model: 4 : 1

Panjang antara garis air (LWL) : 3.89 m

Lebar (B) : 0.83 m

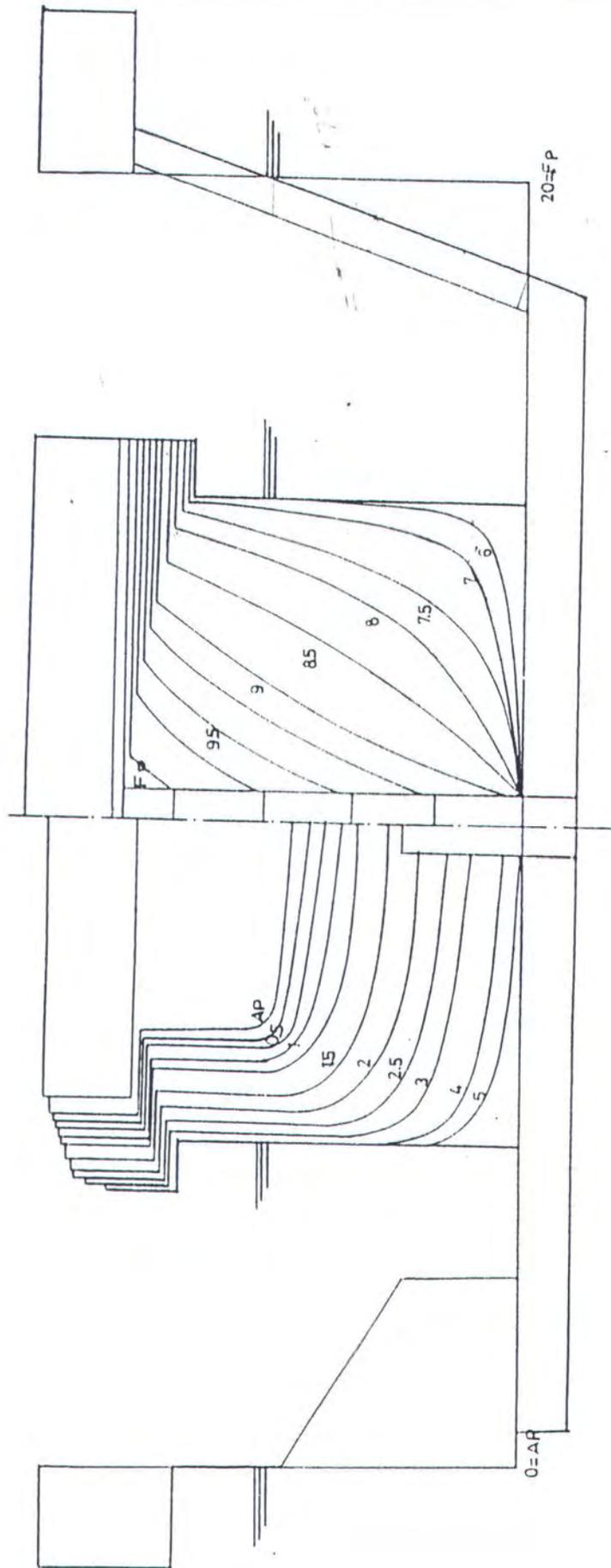
Sarat (T) : 0.34 m

Volume displasemen,

LHI 004 : 45.5 m³

LHI 004-1 : 45.5 m³ (Persen selisih volume = 0.2 %, asumsi

konstan displasemen dianggap memenuhi)



BODY PLAN STEM AND STERN OF SHIP MODEL 004
 FOR A SHIP DRAUGHT OF 1.40 m FWD AND 1.40 m AFT

3.3. Pengujian Tahanan (Calm Water Resistance Test)

3.3.1. Prosedur Pengujian Tahanan

Pengujian tahanan dilakukan di kolam percobaan (Towing Tank). Model kapal ditarik oleh kereta (carriage) dan gaya total memanjang yang bekerja pada model diukur dalam berbagai macam variasi kecepatan. Turbulen stimulator biasanya dipasang pada bagian depan kapal untuk merubah aliran dari laminar menjadi turbulen. Selama proses pengujian model kapal tidak mengalami heave dan pitch.

Secara umum pengujian tahanan dibagi menjadi dua golongan : bare hull (badan kapal tanpa ada bagian-bagian yang menonjol) dan appendage resistance test (badan kapal sudah termasuk bagian-bagian yang menonjol misalkan lunas samping). Sedangkan macam pengujian tahanan yang dipakai pada percobaan ini adalah bare hull test.

Dalam ekstrapolasi dari hasil pengujian tahanan dipergunakan hipotesa Froude dan hukum kesamaan. Menurut hipotesa Froude pada tahanan kapal atau model dapat dibagi dalam dua komponen yang tidak saling tergantung. Komponen pertama yaitu komponen kekentalan (viscous) sebanding dengan tahanan gesek pada pelat datar yang sama panjang dan luas permukaan basahya ketika ditarik pada kecepatan yang sama. Sedangkan komponen lainnya yaitu komponen tahanan gelombang R_w (wavemaking resistance) menurut hukum kesamaan Froude yaitu

$$R_{ws} = R_{wm} \lambda^3 \frac{\rho S}{\rho \lambda^3} \quad (3.1)$$

dan

$$V_s = V_m \sqrt{\lambda} \quad (3.2)$$

Faktor pembandingan antara komponen kekentalan (viscous) dan tahanan pelat datar disebut faktor bentuk $(1+K)$ hal ini untuk mengoreksi efek-efek tiga dimensi dari bentuk badan kapal. Jika faktor bentuk $1+k = 1.0$ (sesuai metode Froude) dan tahanan kekentalan dianggap sama dengan tahanan pada pelat datar, maka tidak ada koreksi sehubungan dengan pengaruh bentuk badan kapal pada tahanan kekentalan. Metode ekstrapolasi yang digunakan adalah metode ekstrapolasi dua dimensi.

$$R_S = (R_m - R_{Fm}(1+k))\lambda^3 \frac{\rho_S}{\rho_m} + R_{FS}(1+k) + R_{allowance} \quad (3.3)$$

$$R_S = (R_m - F_D)\lambda^3 \frac{\rho_S}{\rho_m} \quad (3.4)$$

dimana

$$F_D = 0.5\rho_m V_m^2 S_m (1+k)(C_{Fm} - C_{FS}) - \frac{\rho_m R_{allowance}}{\rho_S \lambda^3} \quad (3.5)$$

atau

$$F_D = 0.5\rho_m V_m^2 S_m (1+k)(C_{Fm} - C_{FS}) - \frac{\rho_m}{\rho_S} C_A \quad (3.6)$$

$R_{allowance}$ adalah merupakan komponen tahanan yang besarnya dianggap mewakili bentuk kekasaran dari badan kapal, tonjolan-tonjolan pada badan kapal tetapi yang tidak terdapat pada waktu percobaan model kapal, tahanan udara pada bagian atas kapal, dan komponen-komponen tahanan lain yang bekerja pada kapal tetapi pada model tidak ada. C_A adalah penambahan dari koefisien tahanan sebagai akibat dari perbandingan antara kapal dengan model. F_D adalah koreksi efek-skala pada tahanan.

Sedangkan Efektif Power didefinisikan sebagai berikut:

$$P_E = R_s V_s \quad (3.7)$$

3.3.2. Ekstrapolasi hasil Pengujian Tahanan menurut Modern Marine Method.

Ekstrapolasi ini didasari pada konsep faktor bentuk. Dimana Tahanan di skala dengan asumsi bahwa tahanan kekentalan dari kapal dan model sebanding dengan tahanan gesek pada pelat datar yang mempunyai panjang dan luas permukaan basah yang sama ketika bergerak pada kecepatan yang sama. Lebih jauh diasumsikan bahwa tahanan tekanan akibat timbulnya gelombang, pemisahan, dan tahanan yang disebabkan adanya bagian-bagian kapal yang menonjol mengikuti hukum kesamaan Froude. Faktor penyembandingan antara tahanan kekentalan dengan tahanan pelat datar disebut faktor bentuk $(1+k)$. Faktor ini ditentukan pada tiap-tiap bentuk badan kapal dari tahanan pada kecepatan rendah hingga tahanan pada saat kecepatan kapal tinggi, dimana komponen tahanan gelombang dianggap semakin lama akan bertambah mengecil sesuai dengan

$$1+k = \lim_{Fn \rightarrow 0} \frac{R}{R_f} \quad (1+k \text{ dari pengujian tahanan}) \quad (3.8)$$

Faktor bentuk seperti yang diturunkan dari pengukuran pada kecepatan rendah dapat digunakan dalam ekstrapolasi ini dengan syarat skala tahanan tekanan independen tidak ada. Nilai $1+k$ yang terkecil dipilih untuk ekstrapolasi. Faktor bentuk dianggap tidak tergantung dengan kecepatan dan penyekalaan dalam metode ekstrapolasi ini. Metode ini mengharuskan bagian-bagian yang menonjol pada badan kapal dipasang pada kapal dan diasumsikan aliran turbulensepanjang badan kapal dan pada bagian-bagian yang menonjol tersebut.

Tahanan pada pelat datar seperti yang diturunkan oleh ITTC -1957 dituliskan sebagai berikut

$$R_F = 0.5 \rho V_S^2 C_F = 0.5 \rho V_S^2 \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2} \quad (3.9)$$

Efek-skala pada tahanan F_D diperoleh dari

$$F_D = 0.5 \rho_m V_m^2 S_m \{(1+k)(C_{Fm} - C_{Fs}) - C_A\} \quad (3.10)$$

Faktor bentuk $1+k$ berhubungan dengan garis ITTC-1957, C_F adalah koefisien tahanan gesekan sesuai dengan garis tersebut dan C_A adalah koefisien kenaikan tahanan untuk menghubungkan antara model dengan kapal. Secara empiris/statistik dihitung sesuai dengan

$$C_A = 0.006(L + 100)^{-0.16} - 0.00205 \quad (3.11)$$

Penambahan kelonggaran untuk C_A secara umum dipergunakan untuk bentuk badan kapal pada suatu sarat dan untuk bagian-bagian yang menonjol yang tidak ada pada model kapal.

Alasan lain untuk menentukan besar nilai C_A adalah

- perkiraan dari kondisi yang ditetapkan.
- kondisi dari permukaan badan kapal lebih bagus/jelek bila dibandingkan dengan standar (140 - 150 μm MAA)
- bagian atas kapal
- pengalaman dari pembuatan-pembuatan kapal sebelumnya.

RESISTANCE RESULTS				
SHIP MODEL NO. 004 (BASIC)				
Vs Knots	Vm m/s	Rm N	Fn	CTm
4.978	1.265	26.44	0.205	0.00592
5.475	1.391	32.6	0.225	0.00603
5.975	1.518	39.27	0.246	0.0061
6.47	1.644	48.22	0.266	0.00639
6.97	1.771	62.18	0.287	0.0072
7.218	1.834	72.43	0.297	0.00771
7.47	1.898	81.18	0.307	0.00807
7.69	1.956	92.67	0.317	0.00867
7.97	2.025	104.59	0.328	0.00913
8.47	2.151	128.53	0.348	0.00995
8.96	2.277	160.44	0.369	0.01108

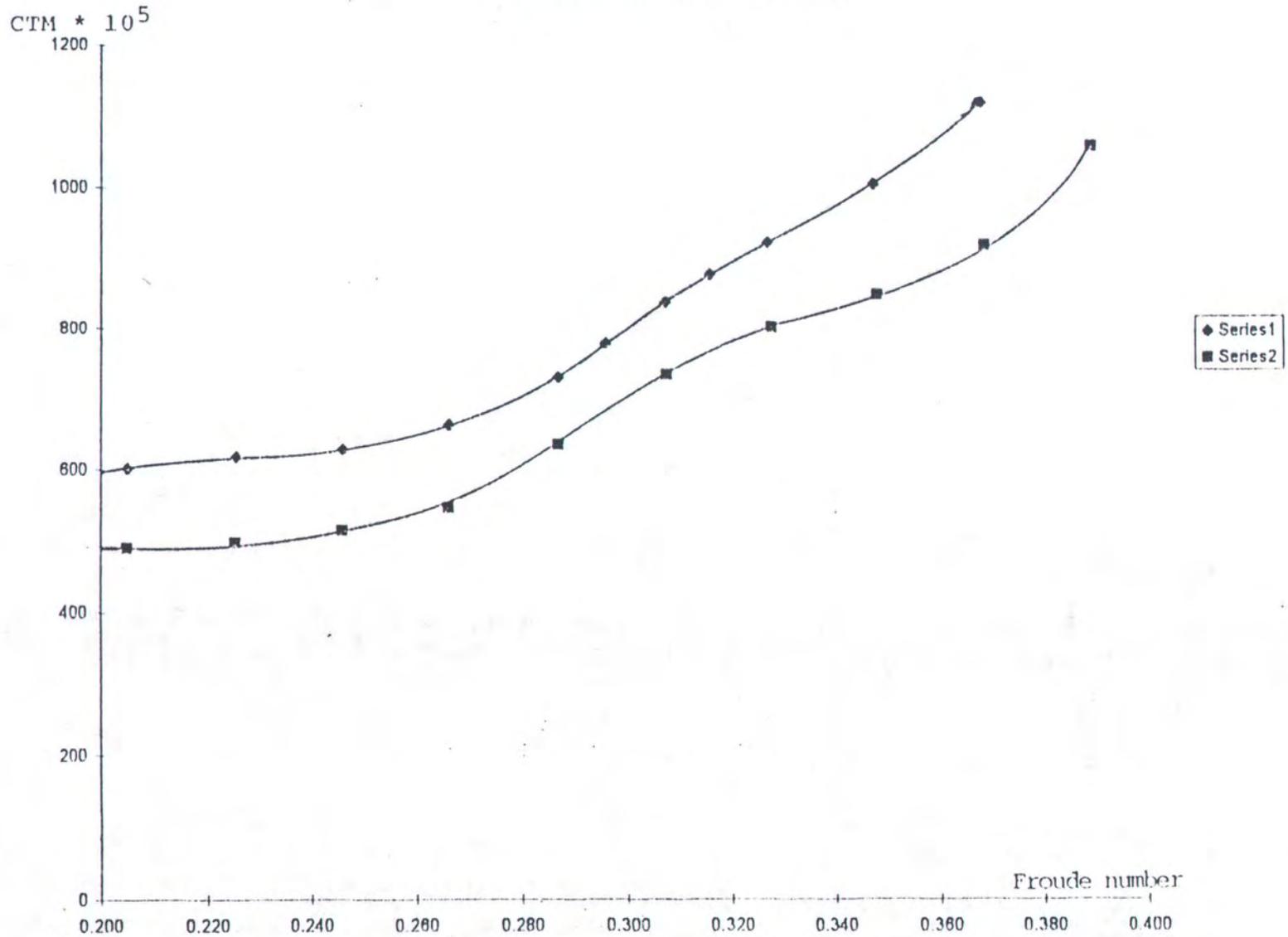
RESULTS OF RESISTANCE EXTRAPOLATION				
SHIP MODEL NO. 004 (BASIC)				
Vs Knots	Vm m/s	Rm N	Rs N	PE W
5	1.27	26.68	1,574.602	4,049.175
5.5	1.397	32.74	1,946.181	5,505.18
6	1.524	39.68	2,376.683	7,334.13
6.5	1.651	48.88	2,968.093	9,922.396
7	1.778	63.6	3,939.995	14,148.68
7.5	1.906	83.12	5,247.162	20,250.66
8	2.033	105.89	6,781.57	27,916.41
8.5	2.16	130.74	8,448.987	36,953.05
9	2.287	163.18	10,667.52	49,399.41

RESISTANCE RESULTS				
SHIP MODEL NO. 004 -1 (MODIFIED)				
Vs Knots	Vm m/s	Rm N	Fn	CTm
5.003	1.271	22.108	0.205	0.0049
5.499	1.397	26.996	0.225	0.00495
5.999	1.524	33.325	0.246	0.00514
6.495	1.65	41.382	0.266	0.00544
7.003	1.779	55.966	0.287	0.00633
7.499	1.905	74.085	0.307	0.00731
7.991	2.038	91.869	0.328	0.00798
8.487	2.156	109.622	0.348	0.00844
8.983	2.282	133.152	0.368	0.00916
9.483	2.409	170.783	0.389	0.01054

RESULTS OF RESISTANCE EXTRAPOLATION				
SHIP MODEL NO. 004 -1 (MODIFIED)				
Vs Knots	Vm m/s	Rm N	Rs N	PE W
5	1.27022	22.08149	1,559.926	4,014.592
5.5	1.39724	27.00582	1,438.388	4,068.781
6	1.52426	33.33611	1,882.726	5,809.838
6.5	1.65129	41.44574	2,452.991	8,195.432
7	1.77831	55.91806	3,472.972	12,510.34
7.5	1.90533	74.10476	4,755.476	18,343.45
8	2.03235	92.07605	6,022.971	24,757.04
8.5	2.15937	109.9581	7,284.308	31,800.13
9	2.2864	133.6564	8,956.634	41,385.91

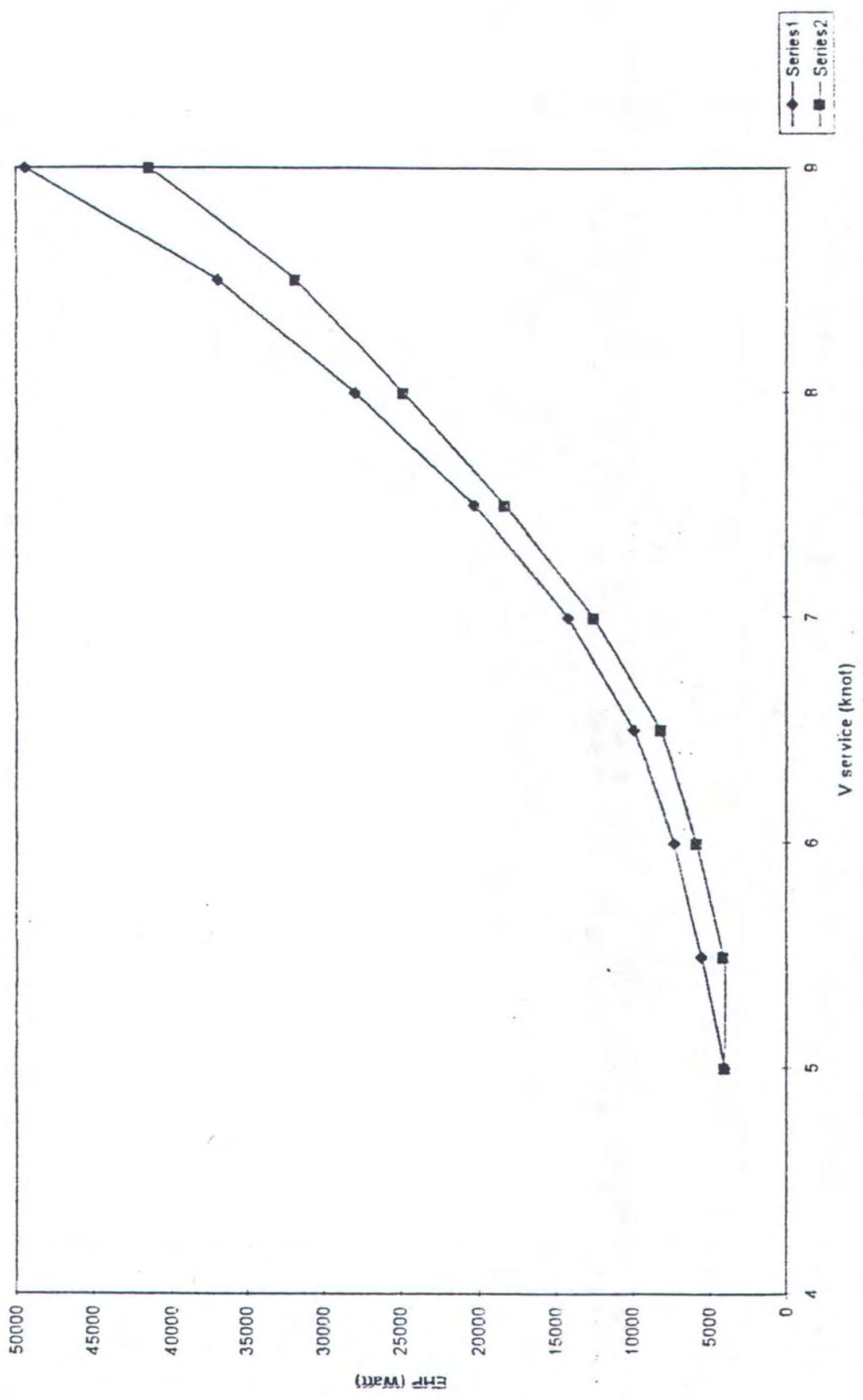


KOEFISIEN TAHANAN TOTAL MODEL (CTM)



series1 = basic design ; series2 = LHI modification

Effective Power, series1=basic;series2=LHI modifikasi



3.4. ANALISA ALIRAN PADA BADAN KAPAL

Pada linggi haluan, corak aliran tidak banyak berubah hal ini disebabkan karena adanya ujung linggi yang tajam sehingga pola difraksi dari air yang terbentuk pada daerah tersebut akan tidak berubah. Pada daerah sedikit di belakang FP, koefisien prismatic dari desain dasar (basic design) diperkecil hal ini dilakukan supaya aliran kearah midship akan sedikit lebih baik. Sehubungan dengan hal tersebut maka pada desain modifikasi (modified design) diharapkan terjadi penurunan Koefisien Tahanan Total model pada desain modifikasi dimana hal ini seperti yang diharapkan tampak pada gambar grafik CTM dan F_n yang merupakan akibat dari perubahan yang tidak terlalu tajam dari garis FP ke midship kapal sehingga pola gelombang pada haluan kapal tidak terlalu melebar.

Dari pengamatan aliran air pada bagian buritan kapal, kemungkinan dari akibat penurunantahanan kapal oleh transom terendam tidak terlalu lebar hal ini mengingat luas penampang relatif sama. Dan apabila modifikasi kapal selanjutnya bisa menghilangkan transom terendam maka penurunan tahanan akan lebih pasti lagi.

3.5. KESIMPULAN PENGUJIAN TARIK

Tahanan Kapal

Dari grafik dapat dilihat bahwa terjadi penurunan koefisien tahanan total pada desain modifikasi dengan kata lain tahanan total yang dialami oleh desain modifikasi lebih kecil bila dibandingkan dengan desain dasar. Maka desain modifikasi memberikan efektif power yang lebih besar dibandingkan dengan desain dasar.

Kecepatan Dinas.

Dari grafik CTM vs F_n dapat dilihat bahwa sebaiknya pemilihan kecepatan dinas dipilih antara F_n 0.28 - 0.3 atau pada kecepatan dinas antara 7 - 7.5 knot. Tonjolan kurva CTM adalah first hump yang terjadi sebagai akibat dari adanya tahanan gelombang, dimana hal ini terjadi pada $F_n = 0.3$. Pada variasi kecepatan untuk F_n dibawah 0.3 memberikan gradien CTM yang tidak terlalu besar sehingga pada daerah tersebut sebaiknya diadakan pemilihan mesin induk supaya dapat memperoleh mesin yang memberikan tenaga pendorong yang juga relatif ekonomis.

Sedangkan apabila kecepatan dinas dipilih diatas first hump ($F_n > 0.3$) maka tenaga mesin penggerak diperkirakan akan menjadi semakin besar mengingat gradien kurva yang cukup tajam pada $F_n > 0.3$.

BAB IV

PREDIKSI BERDASARKAN PERHITUNGAN SEAKEEPING

IV.1 PENDAHULUAN

Perhitungan Seakeeping pada Tugas Akhir ini dilakukan dengan bantuan program SHIPMO (LHI). Secara umum program ini merupakan sarana untuk menghitung gerakan dan perilaku dari kapal di laut, yang pemakaiannya didasari oleh *Strip Theory*.

IV.2 PERHITUNGAN PENDEKATAN

Teori yang mendasari program SHIPMO - dalam hal ini Strip Theory - tergantung pada bentuk kerampingan dari badan kapal dan pada kelinearan gaya-gaya hidrodinamik. Asumsi dari slender memberikan keuntungan untuk penyelesaian secara 2 dimensi dari gaya-gaya tersebut. Setelah mengevaluasi gaya reaksi hidrodinamik dan gelombang yang disebabkan eksitasi dari tiap-tiap potongan (biasanya kapal dibagi menjadi 20 bagian), penyelesaian akhir/total diperoleh dengan melakukan integrasi sepanjang badan kapal. Asumsi dari kelinearan menyatakan bahwa hasil adalah relatif benar untuk gerakan kapal yang relatif kecil; dan kapal tersebut mempunyai bentuk sisi yang vertikal.

Program ini dibagi menjadi dua bagian yaitu :

- 1 . gaya-gaya reaksi hidrodinamik yang dinyatakan sebagai added mass (massa tambahan), gaya damping, dan gelombang, dihitung.
- 2 . koefisien dari tiap-tiap potongan/bagian kapal diintegrasikan sepanjang badan kapal sehingga didapatkan persamaan dari gerakan kapal.

4.2.1. DATA YANG DIBUTUHKAN (INPUT)

A. Ukuran utama kapal kedua kapal sama

Panjang antara garis air (LWL)	= 15,95 m
Lebar (B)	= 3,40 m
Sarat (T)	= 1,40 m
Luas garis air	= 93,902 m ²
Volume displasemen	= 45,5 m ³
Koefisien Blok (Cb)	= 0,59

B. Tinggi metacenter (GM) : berdasarkan [13] dimana tinggi dari GM harus lebih besar dari B/10 atau 2 ft (61 cm), maka disini diambil 0.61 m.

C. Radius girasi [13]

Rolling	= 0.35 B = 1.19 m
Pitching	= 0.25 L = 3.99 m
Yawing	= 0.35 B = 1.19 m

D. Kecepatan kapal

V = 2.5 , 5 , 7.5 & 10 knot diambil sesuai dengan 'range' kecepatan pada pengujian test tahanan kapal.

E. Arah gelombang (heading) dan frekuensi gelombang.

Arah gelombang terhadap kapal (μ) = 0°, 45°, 90°, 135°, & 180°

Frekuensi (ω) = 0.1, 0.2, 0.3, ..., 3 rad/det.

F. Rencana garis kapal

Merupakan koordinat-koordinat dari body plane kapal dalam sumbu x (panjang kapal), sumbu y (lebar kapal), dan sumbu z (tinggi kapal).

4.2.1. DATA YANG DIHASILKAN (OUT PUT)

Dari Program SHIPMO ini diperoleh Response Amplitudo Operator (RAO) untuk tiap-tiap macam gerakan. Kemudian dipilih RAO untuk parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan Indeks ini yaitu Heave, Pitch, Roll, Vertical Acceleration at Bow, dan Realtive Motion at Bow. Contoh dari output program ini untuk suatu parameter, heading, dan kecepatan dapat dilihat dalam lampiran.

4.3. PERHITUNGAN UNTUK MENDAPATKAN INDEKS

Spektrum gelombang yang dipilih adalah spektrum Pierson-Moskowitz, persamaannya adalah [2]

$$S(f) = \frac{0.313H_s^2}{T_p^4 f^5} \exp \left[-\frac{1.25}{(T_p f)^4} \right] \quad (4.1)$$

Karena scatter digram periodenya dalam bentuk zero crossing period (T_z) maka harus ditransfer kedalam peak period (T_p) dengan menggunakan formula [2]

$$T_p = 1.4 T_z \quad (4.2)$$

Selanjutnya spektrum gelombang Pierson-Moskowitz tersebut diubah menjadi bentuk non-dimensional yaitu dengan rumus [2]

$$S_{nd}(f_{nd}) = \frac{S(f)}{H_s^2/f_p} \approx \frac{S(f)}{H_s^2 T_p} \quad (4.3)$$

dan

$$f_{nd} = \frac{f}{f_p} = f \cdot T_p \quad (4.4)$$

Semua nilai T_p dihubungkan dengan *unity significant wave height* ($H_s = 1$ m) dan harus berada didalam nilai dari f_{min} dan f_{max} dimana

$$f_{min} = 1/(3T_z) \quad (4.5)$$

$$f_{max} = 3/T_z \quad (4.6)$$

Langkah selanjutnya adalah dengan mengalikan tiap unit tinggi gelombang dengan RAO^2 sehingga diperoleh

$$S_r(f; H_s = 1, T_z) = S(f; H_s = 1, T_z) R(f)^2 \quad (4.7)$$

dimana $S_r(f; H_s = 1, T_z)$ = respon spektrum dalam unit tinggi gelombang

$S(f; H_s = 1, T_z)$ = unit spektrum tinggi gelombang

$R(f)^2$ = RAO

H_s = tinggi gelombang signifikan = 1 m

Respon spektrum kemudian diintegrasikan pada daerah frekuensinya untuk mendapatkan luasan dibawah spektrum tersebut, selanjutnya di peroleh besar signifikan respon yaitu dengan rumus

$$R_s = 4 (\text{Sigma } S_r(f; H_s = 1, T_z) df)^{0.5}$$

dimana R_s = signifikan respon untuk tiap unit signifikan gelombang.

$S_r(f; H_s = 1, T_z)$ = respon spektrum dalam unit tinggi gelombang.

df = lebar/jarak dari dua frekuensi yang berurutan.

Oleh karena R_s adalah signifikan respon untuk tiap unit signifikan gelombang, ini dapat dianggap sebagai *respon multiplier*, sehingga untuk gelombang yang mempunyai tinggi H_s dapat dihitung signifikan responnya yaitu dikalikan dengan respon multipliernya. Dapat ditulis sebagai berikut

$$R_n(H_n) = H_n \cdot R_s$$

Prosedur diatas dihitung untuk setiap T_z pada scatter diagram, sehingga respon multiplier untuk setiap zero crossing period didapatkan. Dengan mengalikan respon multiplier dengan tinggi gelombang pada scatter diagram dan dihubungkan dengan persentase kejadian dalam 1/1000 untuk menetapkan besarnya interal dari tabel statistik respon.

Langkah selanjutnya adalah membuat tabel kejadian dan probabilitas dari suatu respon. Setiap tinggi dan periode gelombang dari scatter diagram diletakkan pada interval kelas yang sesuai dari suatu matrik n kejadian, dimana n tersebut merupakan suatu probabilitas untuk setiap tinggi dan periode gelombang yang mungkin terjadi dalam perseribu. Maka suatu tabel probabilitas dapat dibuat dengan absis merupakan interval dari tinggi gelombang sedangkan ordinatnya adalah besarnya probabilitas. Dengan menetapkan suatu kriteria berdasarkan referensi bisa diplotkan besar kriteria tersebut pada absis untuk memperoleh besarnya probabilitas.

BAB V

METODE ANALISA

5.1. METODE ANALISA UNJUK KERJA SEAKEEPING

Untuk mendapatkan nilai/ukuran secara kualitatif dari total kriteria-kriteria unjuk kerja seakeeping maka diperlukanlah apa yang dinamakan *Indeks*. Satu indeks adalah mewakili kemampuan unjuk kerja kapal dalam kombinasi dari kondisi laut (tergantung pada periode dan tinggi gelombang), variasi kecepatan kapal yang digunakan, sudut yang dibentuk antara arah kapal dengan arah datangnya gelombang, dan parameter-parameter seakeeping. Untuk mendapatkan index menggunakan prinsip dari metode perhitungan *Rank Index*, yaitu menurut Bales (1980) yang disempurnakan oleh Wijngaarden (1984)[15]. Selanjutnya Rank Indeks tersebut dicari nilai Rank Indeks Totalnya. Dan dibandingkan dengan rumus perhitungan seakeeping secara empiris (dari data statistik) yang di kemukakan oleh Wijngaarden.

5.2. METODE RANK INDEKS TOTAL

Dalam perhitungannya aspek seakeeping dari yang meliputi gerakan heaving, pitching, rolling, gerakan relatif terhadap air laut, dan percepatan vertikal (semuanya telah ber kriteria aman sesuai probabilitasnya) dinormalkan dan selanjutnya dijumlahkan untuk mendapatkan satu indeks probabilitas. Selanjutnya setiap indeks probabilitas yang sudah ber kriteria 'aman' (merupakan variasi sudut dan kecepatan, dalam kondisi pertahun dan setiap empat bulan) di jadikan bentuk kurva. Dimana absis menunjukkan sudut heading sedangkan ordinatnya menunjukkan probabilitas dari aspek seakeeping yang tidak melebihi kreiteria yang telah ditetapkan. Kemudian membandingkan kecenderungan dari indeks tersebut untuk setiap

kecepatan, analisa selanjutnya adalah menghitung nilai total indeks probabilitas untuk masing-masing kapal dalam satuan tahun atau empat bulanan. Hal ini dapat dilakukan dengan menghitung luas daerah dari kurva yang dibentuk untuk masing-masing kecepatan dan dinormalkan kembali sehingga mendapatkan indeks total dari kedua kapal tersebut yang merupakan variasi dari kecepatan, sudut heading, dan kelima aspek seakeeping yang ditinjau (heaving, pitching, rolling, vertical acceleration, dan relativ motion)

5.3. ANALISA METODE RANK INDEKS TOTAL

Untuk Gelombang Per-TAHUN

a. Indeks Total untuk kapal modifikasi lebih baik karena luas dari daerah dibawah kurva probabilitasnya lebih besar dibandingkan kapal desain dasar.

b. Untuk analisa trend dari kecepatan dan heading :

Desain Dasar : - memiliki Indeks yang relatif rendah pada kecepatan 2,5 knot pada sudut 45 deg dan mencapai titik terendah pada sudut 90 deg, selanjutnya mengalami kenaikan pada sudut 135 deg. Titik terendah pada sudut 90 deg disebabkan operabilitas yang rendah dari percepatan vertikal, dapat dijelaskan bahwa pada kecepatan rendah badan kapal relatif kurang rigid terhadap gelombang ditambah lagi heading dari beam sea maka percepatan keatas akan semakin bertambah besar.

- pada kecepatan 7,5 knot indeks mencapai titik terendah pada sudut 135 deg, ini disebabkan operabilitas yang rendah untuk relative motion.
- pada kecepatan 5 knot kapal mempunyai Indeks terendah pada saat heading 180 deg, disebabkan karena operabilitas yang rendah dari percepatan vertikal dan relative motion.

Desain Modifikasi :

- indeks untuk tiap sudut heading dan kecepatan relatif stabil bila dibandingkan dengan desain dasar.

Untuk Gelombang Per-TIGA BULAN (Maret - Mei)

- a. Desain dasar lebih bagus, luas dari daerah dibawah kurva Indeksnya lebih lebar.
- b. Untuk analisa trend dari kecepatan dan heading :

Desain Dasar :

- indeks untuk tiap sudut heading dan kecepatan relatif stabil bila dibandingkan dengan desain dasar.

Desain Modifikasi :

- kurva indeks mencapai titik terendah pada saat heading 180 deg pada kecepatan 7.5 knot. Disebabkan operabilitas dari vertical acceleration yang jelek.

Untuk Gelombang Per-TIGA BULAN (Juni - Agustus)

a. Desain dasar lebih bagus, luas dari daerah dibawah kurva Indeksnya lebih lebar.

b. Untuk analisa trend dari kecepatan dan heading :

Desain Dasar :

- indeks untuk tiap sudut heading dan kecepatan relatif stabil bila dibandingkan dengan desain dasar.

Desain Modifikasi :

- kurva indeks mencapai titik terendah pada saat heading 180 deg pada kecepatan 7.5 knot. Disebabkan operabilitas dari vertical acceleration yang jelek.

Untuk Gelombang Per-TIGA BULAN (September - Nopember)

a. Desain modifikasi lebih bagus, luas dari daerah dibawah kurva Indeksnya lebih lebar.

b. Untuk analisa trend dari kecepatan dan heading :

Desain Dasar : - pada kecepatan 10 knot dan heading 45 deg adalah merupakan titik indeks yang terendah, hal ini disebabkan karena operabilitas dari relative motion yang rendah.

Desain Modifikasi :

- kurva indeks mencapai titik terendah pada saat heading 180 deg pada kecepatan 7.5 knot. Disebabkan operabilitas dari vertical acceleration yang jelek.

Untuk Gelombang Per-TIGA BULAN (Desember - Pebruari)

- a. Desain modifikasi lebih bagus, luas dari daerah dibawah kurva Indeksnya lebih lebar.
- b. Untuk analisa trend dari kecepatan dan heading :

Desain Dasar : - pada kecepatan 5 knot dan heading 45 deg adalah merupakan titik indeks yang terendah, hal ini disebabkan karena operabilitas dari relative motion yang rendah.

Desain Modifikasi :

- kurva indeks mencapai titik terendah pada saat heading 180 deg pada kecepatan 7.5 knot. Disebabkan operabilitas dari vertical acceleration yang jelek.

Dari analisa untuk tiap tiga-bulanan diatas maka diperoleh bahwa :

Untuk kapal desain dasar mempunyai kemampuan operabilitas yang baik pada bulan Maret hingga bulan Agustus, sehingga pada bulan tersebut merupakan waktu melaut yang tepat sedangkan untuk bulan September sampai dengan bulan Pebruari sebaiknya digunakan untuk mereparasi kapal atau aktifitas lainnya. Demikian sebaliknya yang terjadi dengan desain modifikasi.

5.4. METODE EMPIRIS

Didapatkan dari percobaan 17 model kapal di North Sea yang dilakukan oleh Wijgaarden [14]

Rumus

$$Rf = -11.624 + 111.409Cp^4 + 5.024LCB - 20.064Cwl - 3.236\frac{Lpp}{B} + 1.743\frac{Lpp}{T} - 5.663LCF$$

	Cp	LCB	Cwl	Lpp/B	Lpp/T	LCF
Basic	0.728395	-0.54	0.81	4.690882	11.39214	- 0.62
Modifikasi	0.719512	-0.55	0.82	4.690882	11.39214	- 0.56

Rf Basic : 8.95023

Rf Mod. : 6.857348

Pada bagian depan disebutkan bahwa perbedaan dari desain dasar dengan desain modifikasi adalah LCB-nya. Pada desain modifikasi LCB digeser kearah belakang kapal, sehingga sesuai dengan rumus empiris tersebut diatas maka Indeks Total untuk desain modifikasi lebih baik.

5.5. PERBANDINGAN ANTARA METODE RANK INDEKS TOTAL DENGAN EMPIRIS

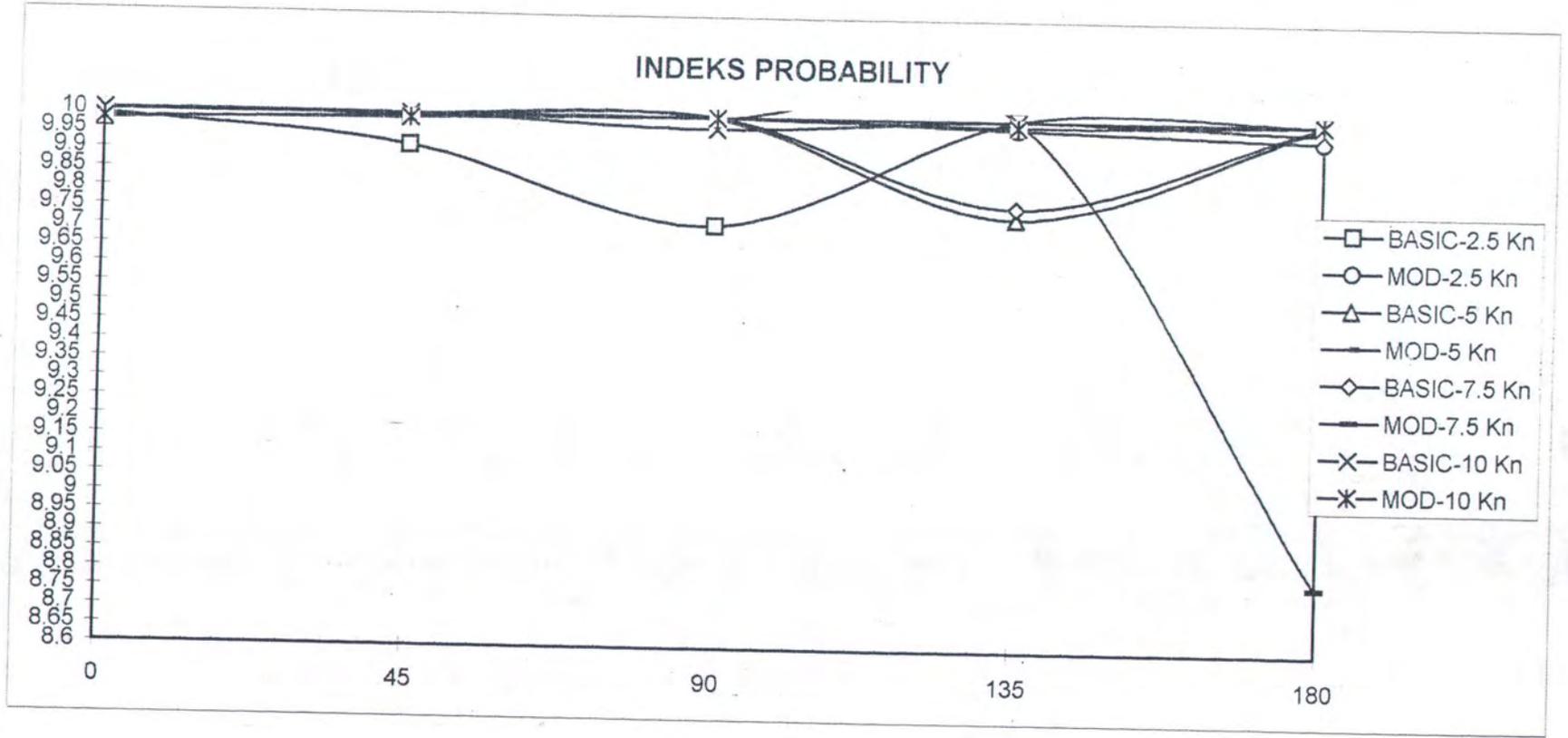
Perbedaan yang terjadi antara kedua metode diatas dapat diterangkan sebagai berikut :
- parameter-parameter yang digunakan dalam Rank Indeks belum tentu sama dalam hal ini bila dibandingkan dengan percobaan model seperti rumus empiris tersebut diatas. Jadi untuk dapat membandingkan dua metode dengan tepat harus didapatkan parameter-parameter yang digunakan untuk mendapatkan nilai indeks dari metode yang akan digunakan tersebut.

BAB VI

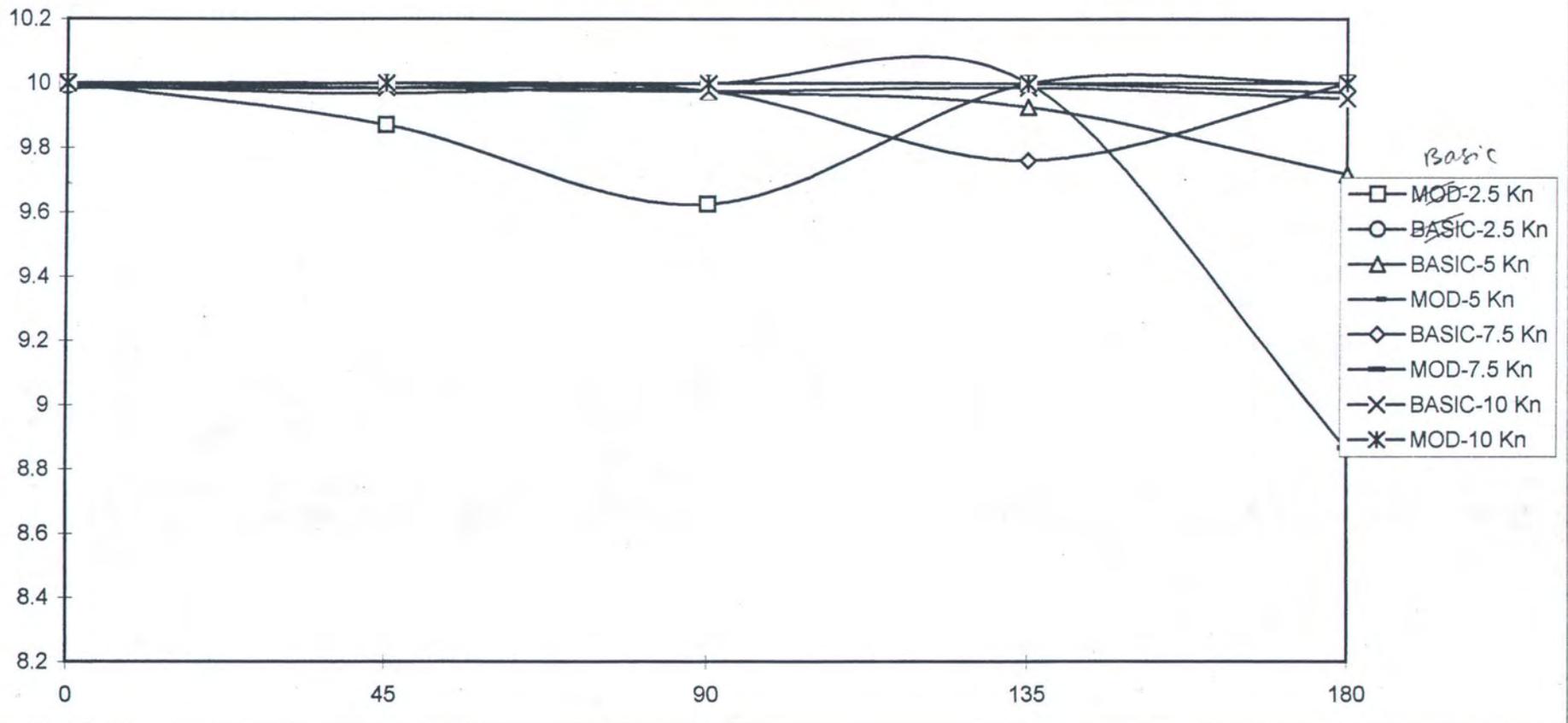
KESIMPULAN

Untuk menentukan Indeks Total dari kapal maka sangat tergantung pada parameter-parameter yang digunakan untuk mendapatkan nilai dari indeks tersebut. Dari analisa didepan dengan menggunakan metode Rank Indeks dapat diambil kesimpulan bahwa kapal desain modifikasi memiliki kemampuan operabilitas yang baik untuk jangka waktu tahunan. Sedangkan jika ditinjau dalam jangka waktu tiga bulanan maka:

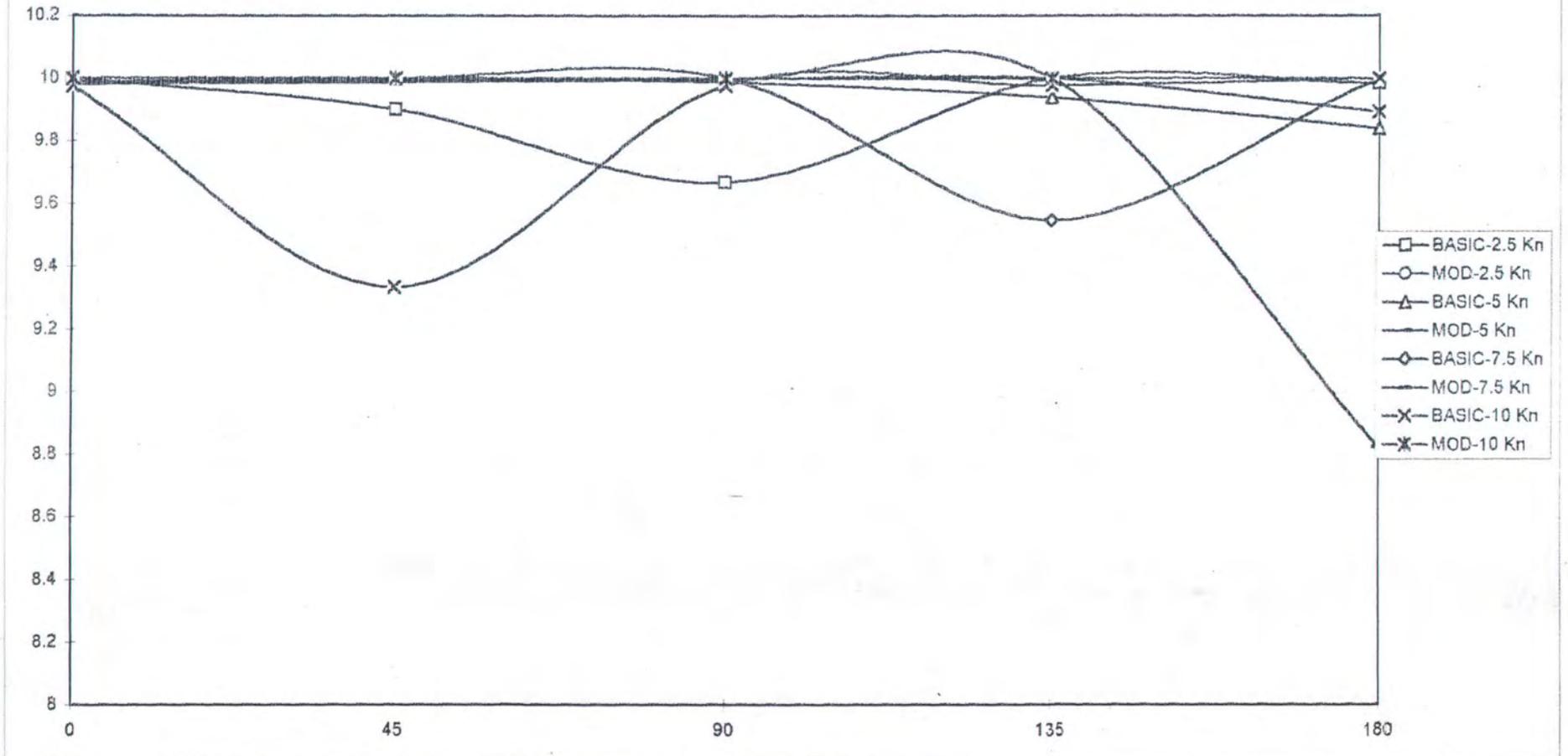
- untuk bulan Maret hingga bulan Agustus kapal desain dasar memiliki kemampuan operabilitas yang baik.
- untuk bulan September hingga Pebruari kapal desain Modifikasi memiliki kemampuan operabilitas yang lebih baik.



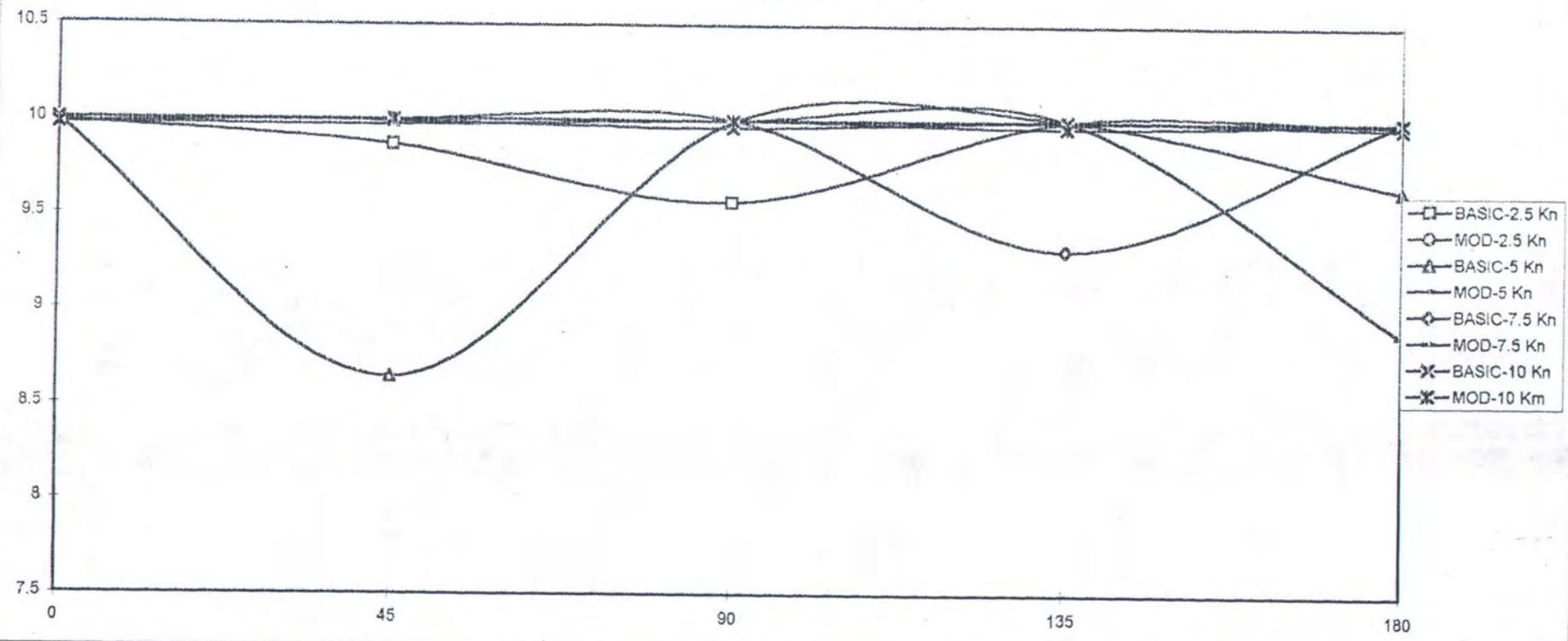
INDEKS PROBABILITY

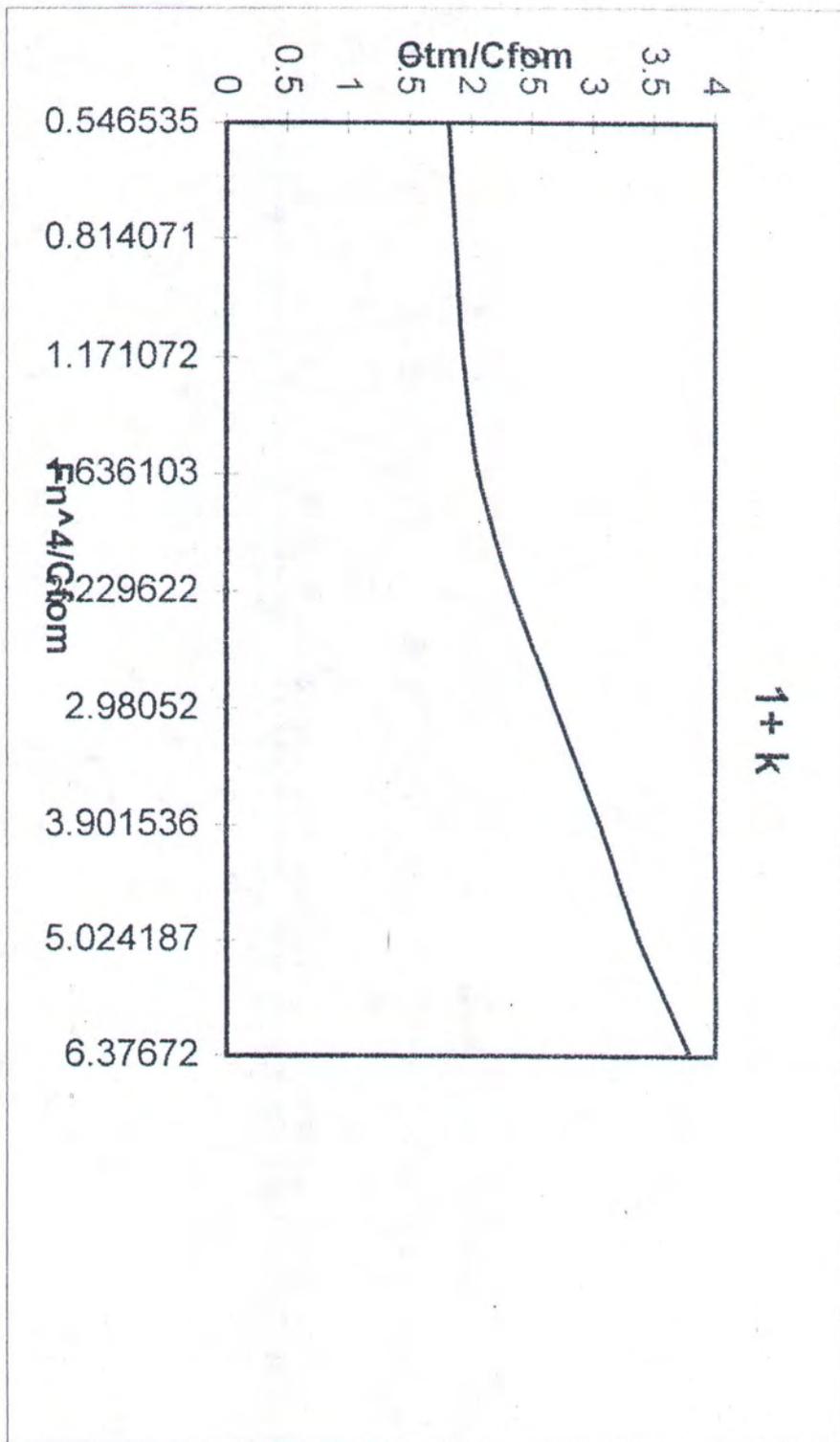


INDEKS PROBABILITY



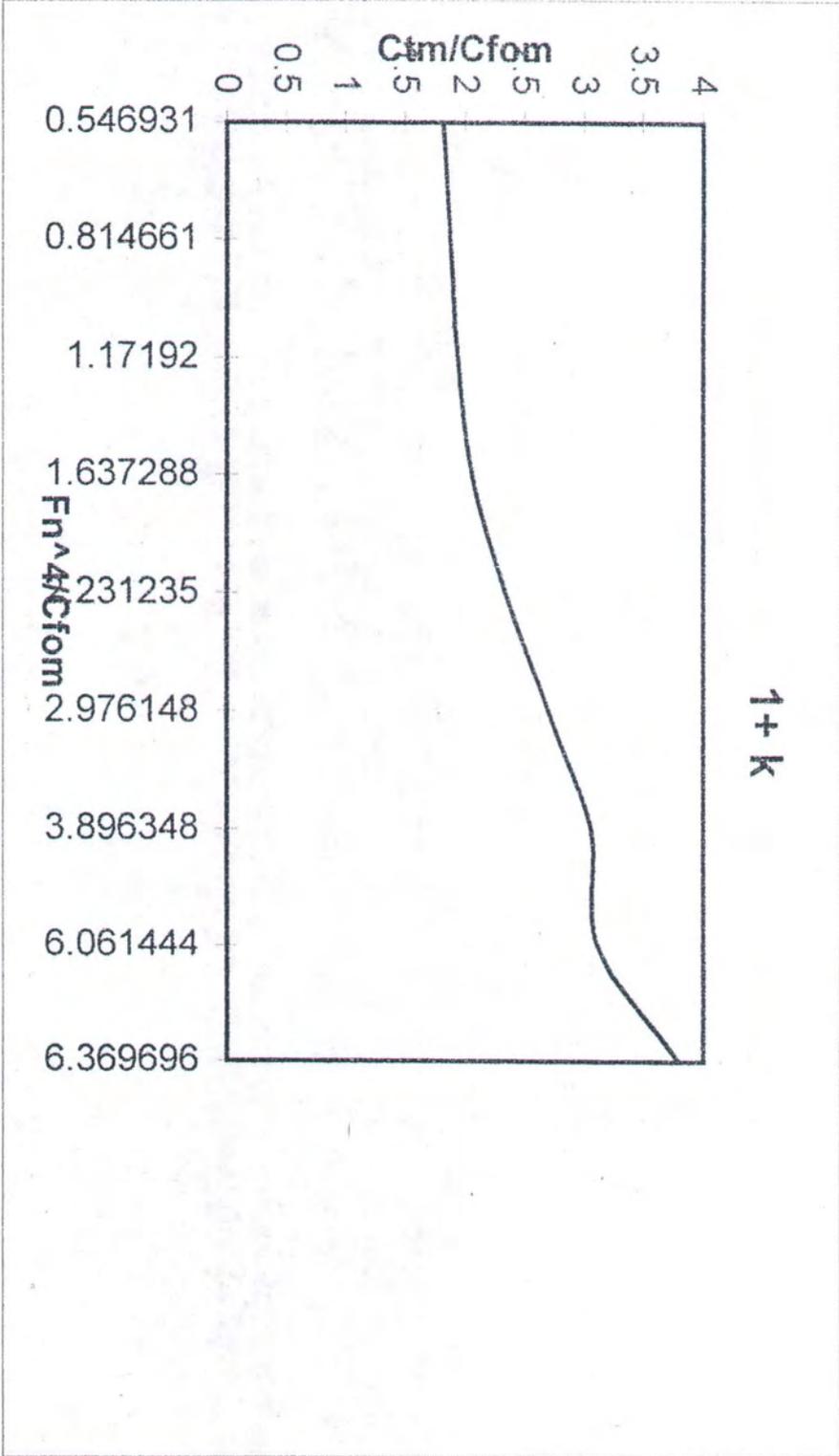
INDEKS PROBABILITY





TAHANAN MODIFIED

Vs (knots)	Vm(m/s)	Rm (N)	Rs (N)	Fn	Fn ⁴ . 10 ⁻⁶	Rn	Rn . 10 ⁻⁶	Ctm	Ctm. 10 ⁻³	Cfom	Cfom. 10 ⁻³	Fn ⁴ /Cfom	Ctm/Cfom
5	1.27022	26.68	1574.602	0.205622	1787.634	6169427	6.169427	0.005921	5.920599	0.003268	3.2684801	0.5469312	1.8114227
5.5	1.397242	32.74	1946.181	0.226184	2617.275	6786370	6.78637	0.006004	6.004449	0.003213	3.2127178	0.8146606	1.8689624
6	1.524264	39.68	2376.685	0.246746	3706.838	7403312	7.403312	0.006115	6.114895	0.003163	3.1630475	1.1719197	1.933229
6.5	1.651286	48.88	2968.093	0.267309	5105.661	8020255	8.020255	0.006418	6.418364	0.003118	3.1183655	1.6372876	2.0582462
7	1.778308	63.6	3939.995	0.287871	6867.374	8637198	8.637198	0.007201	7.200802	0.003078	3.0778351	2.2312352	2.3395672
7.5	1.90533	83.12	5247.162	0.308433	9049.896	9254141	9.254141	0.008198	8.197904	0.003041	3.0408084	2.9761482	2.6959622
8	2.032352	105.89	6781.57	0.328995	11715.44	9871083	9.871083	0.009179	9.178988	0.003007	3.0067737	3.8963482	3.0527699
8.5	2.259374	130.74	8448.987	0.365745	17894.32	10973723	10.97372	0.00917	9.170013	0.002952	2.9521552	6.0614441	3.1062097
9	2.286396	163.18	10667.52	0.37012	18765.87	11104969	11.10497	0.011176	11.1764	0.002946	2.9461161	6.3696964	3.7936031



TAHANANBASIC

TAHANAN BASIC

Vs (knots)	Vm(m/s)	Rm (N)	Rs (N)	Fn	Fn ⁴ .10 ⁻⁶	Rn	Rn . 10 ⁻⁶	Ctm	Ctm.10 ³	Cfom	Cfom. 10 ³	Fn ⁴ /Cfom	Ctm/Cfom
5	1.27	26.68	1574.602	0.205586	1786.396	6168358	6.168358	0.005882	5.882297	0.003269	3.268583	0.546535	1.799647
5.5	1.397	32.74	1946.181	0.226145	2615.462	6785194	6.785194	0.005966	5.965604	0.003213	3.212818	0.814071	1.856814
6	1.524	39.68	2376.685	0.246704	3704.27	7402030	7.40203	0.006075	6.075336	0.003163	3.163145	1.171072	1.920663
6.5	1.651	48.88	2968.093	0.267262	5102.125	8018866	8.018866	0.006377	6.376841	0.003118	3.118461	1.636103	2.044868
7	1.778	63.6	3939.995	0.287821	6862.618	8635702	8.635702	0.007154	7.154218	0.003078	3.077929	2.229622	2.324361
7.5	1.906	83.12	5247.162	0.308542	9062.632	9257395	9.257395	0.008136	8.136325	0.003041	3.040621	2.98052	2.675876
8	2.033	105.89	6781.57	0.3291	11730.39	9874231	9.874231	0.009111	9.110637	0.003007	3.006607	3.901536	3.030205
8.5	2.16	130.74	8448.987	0.349659	14947.82	10491066	10.49107	0.009965	9.964821	0.002975	2.975172	5.024187	3.349327
9	2.287	163.18	10667.52	0.370217	18785.7	11107902	11.1079	0.011094	11.09438	0.002946	2.945982	6.37672	3.765937

NON EXCEEDING ANUAL

SPEED 2.5 knot
HEADING ANGLE = 0 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED				SUM N(i)	INDEX -1	INDEX -2	
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)				N(RM)
BASIC	0.9509	0.9958	1	0.9975	0.648	1	0.99909702	1	0.99909856	0.9935603	4.99175584	1	9.98351167
MODIFIED	0.9509	0.9967	1	0.9984	0.6522	1	1	1	1	1	5	10	10

SPEED 2.5 knot
HEADING ANGLE = 45 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED				SUM N(i)	INDEX	INDEX -2	
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)				N(RM)
BASIC	0.9448	0.9991	1	0.8143	0.9925	1	0.99979986	1	0.81987515	1	4.81967501	1	9.87047524
MODIFIED	0.9448	0.9993	1	0.9932	0.8763	1	1	1	1	0.8829219	4.88292191	10	10

SPEED 2.5 knot
HEADING ANGLE = 90 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED				SUM N(i)	INDEX	INDEX -2	
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)				N(RM)
BASIC	0.9426	1	0.9997	0.8471	0.9441	1	1	1	0.8530715	0.9686057	4.82167723	1	9.64335445
MODIFIED	0.9426	1	0.9997	0.993	0.9747	1	1	1	1	1	5	10	10

SPEED 2.5 knot
HEADING ANGLE = 135 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.942	0.999	0.9998	0.8439	0.4793	0.9993635	0.99949975	0.9999	0.99622241	1	4.99498561	1	9.98997122
MODIFIED	0.9426	0.9995	0.9999	0.8471	0.4793	1	1	1	1	1	5	10	10

SPEED 2.5 knot
HEADING ANGLE = 180 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.9404	0.9952	1	0.7857	0.3908	0.997666	1	1	1	1	4.99766603	1	9.99533206
MODIFIED	0.9426	0.9952	1	0.7857	0.3908	1	1	1	1	1	5	10	10

SPEED 5 knot
HEADING ANGLE = 0 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.9583	0.9958	1	1	0.6522	1	1	1	1	1	5	10	10
MODIFIED	0.9583	0.9955	1	1	0.6473	1	0.99969873	1	1	0.992487	4.9921857	1	9.9843714

SPEED 5 knot
HEADING ANGLE = 45 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.9469	0.9992	1	1	0.8183	1	1	1	1	1	5	10	10
MODIFIED	0.9469	0.9991	1	0.9997	0.8143	1	0.99989992	1	0.9997	0.9951118	4.99471174	1	9.98942347

SPEED 5 knot
HEADING ANGLE = 90 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.9448	1	0.9996	0.9932	0.9723	1	1	0.9998	0.99829129	0.9964132	4.99450444	1	9.99366301
MODIFIED	0.9426	1	0.9998	0.9949	0.9758	0.9976715	1	1	1	1	4.99767146	10	10

SPEED 5 knot
HEADING ANGLE = 135 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.9426	0.9991	0.9998	0.755	0.4794	1	1	0.9999	0.99342105	0.9956386	4.98895967	1	9.98277908
MODIFIED	0.9404	0.999	0.9999	0.76	0.4815	0.997666	0.99989991	1	1	1	4.99756594	10	10

SPEED 5 knot
HEADING ANGLE = 180 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.9426	0.9953	1	0.625	0.301	1	1	1	0.92387288	0.9316001	4.855473	1	9.71192178
MODIFIED	0.9426	0.9948	1	0.6765	0.3231	1	0.99949764	1	1	1	4.99949764	10	10

SPEED 7.5 knot
HEADING ANGLE = 0 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.9634	0.9967	1	1	0.6522	0.9674633	1	1	1	1	4.96746335	1	9.96667863
MODIFIED	0.9958	0.9958	1	1	0.6424	1	0.99909702	1	1	0.9849739	4.98407095	10	10

SPEED 7.5 knot
HEADING ANGLE = 45 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.9528	0.9994	1	1	0.8134	1	1	1	1	1	5	10	10
MODIFIED	0.9528	0.9992	1	1	0.8103	1	0.99979988	1	1	0.9961888	4.99598872	1	9.99197743

SPEED 7.5 knot
HEADING ANGLE = 90 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED				SUM N(i)	INDEX	INDEX -2	
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)				N(RM)
BASIC	0.9448	1	0.9995	0.9975	0.9747	1	1	0.9996999	1	0.9988727	4.99857266	10	10
MODIFIED	0.9426	1	0.9998	0.9975	0.9758	0.9976715	1	1	1	1	4.99767146	1	9.9981971

SPEED 7.5 knot
HEADING ANGLE = 135 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED				SUM N(i)	INDEX	INDEX -2	
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)				N(RM)
BASIC	0.9382	0.9992	0.9996	0.7108	0.3908	0.9953321	1	1	1	0.8984402	4.80377228	1	9.62057431
MODIFIED	0.9426	0.9989	0.9996	0.7062	0.4834	1	0.99969976	1	0.99352842	1	4.99322818	10	10

SPEED 7.5 knot
HEADING ANGLE = 180 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED				SUM N(i)	INDEX	INDEX -2	
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)				N(RM)
BASIC	0.9358	0.9995	1	0.5598	0.2976	0.9974419	1	1	1	0.91740413	4.89572936	1	9.80087227
MODIFIED	0.9382	0.9947	1	0.6102	0.3034	1	0.9951976	1	1	1	4.9951976	10	10

SPEED 10 knot
HEADING ANGLE = 0 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.965	0.9968	1	1	0.4793	1	1	1	1	1	5	10	10
MODIFIED	0.9509	0.9958	1	1	0.4735	0.9853886	0.99899679	1	1	0.987899	4.97228441	1	9.94456882

SPEED 10 knot
HEADING ANGLE = 45 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.9547	0.9994	1	1	0.7102	1	1	1	1	1	5	10	10
MODIFIED	0.9509	0.9993	1	1	0.7102	0.9960197	0.99989994	1	1	1	4.99591963	1	9.99183926

SPEED 10 knot
HEADING ANGLE = 90 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
BASIC	0.9426	1	0.9995	0.9984	0.9718	1	1	0.9997999	1	0.9718972	4.97169713	1	9.94339426
MODIFIED	0.9426	1	0.9997	0.9984	0.9999	1	1	1	1	1	5	10	10

SPEED 10 knot
HEADING ANGLE = 135 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED				SUM N(i)	INDEX	INDEX -2	
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)				N(RM)
BASIC	0.9261	0.9995	0.9991	0.6765	0.3905	0.987103	1	0.9998999	1	0.9992323	4.9862323	1	9.97247045
MODIFIED	0.9382	0.9995	0.9992	0.6765	0.3908	1	1	1	1	1	5	10	10

SPEED 10 knot
HEADING ANGLE = 180 deg

SHIP	HEAVE (H)	PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED				SUM N(i)	INDEX	INDEX -2	
						N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)				N(RM)
BASIC	0.8946	0.9996	1	0.5503	0.3574	0.9849169	1	1	1	1	4.98491688	1	9.99547045
MODIFIED	0.9083	0.9955	1	0.5455	0.3574	1	0.99589836	1	0.99127749	1	4.98717584	10	10

MARET S/D MEI

2.5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX -1	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9997	1	0.9996	0.6862	1	1	1	1	0.9930555	4.99305555	1	9.98752319
0.9997	1	0.9996	0.691	0.9992911	1	1	1	1	4.99929107	10	10

2.5 knot
4.5 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.9975	0.8597	0.9990857	1	1	1	0.99989976	4.95589064	1	9.91780128
1	1	0.9976	0.8956	1	1	1	1	1	5	10	10

2.5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.8573	0.9844	0.9990849	1	1	1	0.85962098	4.85728571	1	9.71457142
1	1	0.9973	0.9858	1	1	1	1	1	5	10	10

2.5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.862	0.5511	1	1	1	1	1	5	10	10
1	1	0.8525	0.5511	1	1	1	0.98897912	1	4.98897912	1	9.97795824

2.5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9996	1	0.8573	0.4902	1	1	1	1	1	5	10	10
0.9996	1	0.8525	0.4821	1	1	1	0.99440103	0.9834761	4.97787716	1	9.95575432

5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9997	1	1	0.6862	1	1	1	1	0.9862029	4.98620293	1	9.97240586
0.9997	1	1	0.6958	1	1	1	1	1	5	10	10

5 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	1	0.8565	1	1	1	1	0.9962778	4.99627777	1	9.99255554
1	1	1	0.8597	1	1	1	1	1	5	10	10

5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.9976	0.9842	1	1	1	0.99949905	0.998377	4.997876	1	9.995752
1	1	0.9981	0.9858	1	1	1	1	1	5	10	10

5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.7552	0.545	1	1	1	0.88234607	0.9889312	4.8712773	1	9.74255459
1	1	0.8559	0.5511	1	1	1	1	1	5	10	10

5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9996	1	0.7498	0.3373	0.9998982	1	1	0.99813632	1	4.99803454	1	9.99606909
0.9996	1	0.7512	0.3373	1	1	1	1	1	5	10	10

7.5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9998	1	1	0.691	1	1	1	1	1	5	1	10
0.9998	1	1	0.691	0.9980843	1	1	1	1	4.99808429	10	9.99616858

7.5 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	1	0.8565	1	1	1	1	1	5	10	10
1	1	1	0.8565	0.99919	1	1	1	1	4.99918996	1	9.99837991

7.5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.9996	0.9858	1	1	1	1	1	5	10	10
1	1	0.9996	0.985	1	1	1	1	0.9991885	4.99918848	1	9.99837695

7.5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.7669	0.491	0.9952207	1	1	1	0.8899764	4.8851971	1	9.7703942
1	1	0.7669	0.5517	1	1	1	1	1	5	10	10

7.5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9995	1	0.6272	0.3337	1	0.99989996	1	1	1	4.99989996	10	10
0.9996	1	0.245	0.3337	0.9989793	1	1	0.390625	1	4.58960428	1	8.77938422

10 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9998	1	1	0.5511	1	1	1	1	1	5	10	10
0.9998	1	1	0.545	0.9994961	1	1	1	0.9889312	4.98842735	1	9.9768547

10 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	1	0.7244	0.9992911	1	1	1	1	4.99929107	10	10
1	1	1	0.7197	1	1	1	1	0.9935119	4.99351187	1	9.98843997

10 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.9997	0.9842	1	1	1	1	0.9842	4.9842	1	9.97042425
1	1	0.9996	1	0.9990849	1	1	0.99989997	1	4.99898487	10	10

10 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.7512	0.491	0.9952946	1	1	1	1	4.9952946	10	10
1	1	0.7512	0.4851	1	1	1	1	0.9879837	4.98798371	1	9.98536444

10 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9995	1	0.6179	0.4754	0.9809712	1	1	1	1	4.9809712	1	9.97671532
0.9921	1	0.6179	0.4754	1	0.9925963	1	1	1	4.9925963	10	10

JUNI S/D AGUSTUS

2.5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX -1	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9993	1	0.9996	0.6668	1	1	1	0.99989997	1	4.99989997	10	10
0.9993	1	0.9997	0.6639	1	1	1	1	0.9956509	4.99565087	1	9.99150163

2.5 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.9982	0.8507	1	1	1	1	0.9365848	4.93658483	1	9.87052523
1	1	0.9981	0.9083	1.0014397	1	1	0.99989982	1	5.00133956	10	10

2.5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.8476	0.9633	1	1	1	0.84912843	0.9633	4.81242843	1	9.62485686
1	1	0.9982	1	1	1	1	1	1	5	10	10

2.5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.8476	0.4793	1	1	1	1	1	5	10	10
1	1	0.8476	0.4793	1	1	1	1	1	5	10	10

2.5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9992	1	0.8476	0.3764	1	1	1	1	1	5	10	10
0.9992	1	0.8476	0.3711	1	1	1	1	0.9859192	4.98591923	1	9.97183847

5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9993	1	1	0.6691	1	1	1	1	1	5	10	10
0.9993	1	1	0.6639	1	1	1	1	0.9922284	4.99222837	1	9.98445673

5 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	1	0.8507	1	1	1	1	1	5	10	10
1	1	1	0.8449	1	1	1	1	0.9931821	4.99318209	1	9.98636417

5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.9981	0.9881	1	1	1	0.9994993	0.9881	4.9875993	1	9.9751986
1	1	0.9986	1	1	1	1	1	1	5	10	10

5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.8134	0.4735	0.9985603	1	1	0.96523081	1	4.96379107	1	9.92758214
1	1	0.8427	0.4735	1	1	1	1	1	5	10	10

5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9992	1	0.685	0.2753	0.9985603	1	1	0.97857143	0.8823718	4.85950349	1	9.71900697
0.9992	1	0.7	0.312	1	1	1	1	1	5	10	10

7.5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9995	1	1	0.6691	1	1	1	1	1	5	10	10
0.9995	1	1	0.6691	0.99583333	1	1	1	1	4.99583333	1	9.99166667

7.5 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	1	0.8507	1	1	1	1	1	5	10	10
1	1	1	0.8449	0.9909553	1	1	1	0.9931821	4.98413737	1	9.96827474

7.5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.9997	0.9881	1	1	1	1	0.9881	4.9881	1	9.9762
1	1	0.9997	1	1	1	1	1	1	5	10	10

7.5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.7171	0.3811	0.9953723	1	1	1	0.8048574	4.80022972	1	9.76246379
1	1	0.6576	0.4735	1	1	1	0.91702691	1	4.91702691	10	10

7.5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9992	1	0.5651	0.2775	1	1	1	1	1	5	10	10
0.9992	1	0.245	0.2775	1	1	1	0.43355158	1	4.43355158	1	8.86710317

10 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9995	1	1	0.4793	1	0.9995	1	1	1	4.9995	1	9.999
1	1	1	0.4793	1	1	1	1	1	5	10	10

10 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	1	0.7255	0.9931848	1	1	1	1	4.99318482	1	9.98636965
1	1	1	0.7255	1	1	1	1	1	5	10	10

10 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.9998	0.9864	1	1	1	1	0.9864	4.9864	1	9.97587208
1	1	0.9997	1	0.9985603	1	1	0.99989998	1	4.99846024	10	10

10 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	1	0.7015	0.3761	0.9912181	1	1	1	1	4.9912181	1	9.98670707
1	1	0.7	0.3761	1	1	1	0.99786172	1	4.99786172	10	10

10 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9992	1	0.56	0.341	0.96693	1	1	1	1	4.96692996	1	9.95269896
0.9992	1	0.5547	0.341	1	1	1	0.99053571	1	4.99053571	10	10

SEPTEMBER S/D NOPEMBER

2.5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX -1	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9958	1	0.9985	0.7006	1	1	1	0.9994995	1	4.9994995	10	10
0.9958	1	0.999	0.6958	1	1	1	1	0.9931487	4.99314873	1	9.98729719

2.5 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.999	1	0.9956	0.8628	1	0.99989991	1	0.99949804	0.9501156	4.94951358	1	9.89902716
0.9991	1	0.9961	0.9081	1	1	1	1	1	5	10	10

2.5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	0.9998	0.8525	0.9633	1	1	1	0.85592369	0.9779695	4.83389324	1	9.66778648
1	0.9998	0.996	0.985	1	1	1	1	1	5	10	10

2.5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9989	0.9999	0.8525	0.5087	1	1	1	1	1	5	10	10
0.9989	0.9999	0.8525	0.5087	1	1	1	1	1	5	10	10

2.5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9955	1	0.8194	0.4	1	1	1	0.99152953	1	4.99152953	1	9.98305905
0.9955	1	0.8264	0.4	1	1	1	1	1	5	10	10

5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9958	1	1	0.7006	1	1	1	1	1	5	10	10
0.9958	1	1	0.6958	1	1	1	1	0.9931487	4.99314873	1	9.98629746

5 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9992	1	1	0.8628	1	1	1	1	1	5	10	10
0.9992	1	0.9998	0.8597	1	1	1	0.9998	0.996407	4.99620705	1	9.99241409

5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	0.9947	0.9961	0.9833	1	1	0.9947995	0.99889691	0.9982741	4.9919705	1	9.98815142
1	0.9999	0.9972	0.985	0.9978923	1	1	1	1	4.9978923	10	10

5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.999	0.9999	0.7864	0.5087	1	1	1	0.97701578	0.9883427	4.9653585	1	9.93669451
0.999	0.999	0.8049	0.5147	0.9978923	1	0.9990999	1	1	4.99699221	10	10

5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9955	1	0.7056	0.3127	1	1	1	0.98630137	0.9312091	4.91751042	1	9.83916846
0.9955	1	0.7154	0.3358	0.9978923	1	1	1	1	4.9978923	10	10

7.5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9964	1	1	0.7006	1	0.99969901	1	1	1	4.99969901	10	10
0.9967	1	1	0.6958	0.9965746	1	1	1	0.9931487	4.98972336	1	9.98004751

7.5 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9993	1	1	0.8533	0.9980098	1	1	1	1	4.99800985	10	10
0.999	1	1	0.8468	1	0.99969979	1	1	0.9923825	4.9920823	1	9.9881402

7.5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	0.9997	0.9986	0.9858	1	1	0.9998	1	1	4.99979998	10	10
1	0.9999	0.9986	0.985	0.9978923	1	1	1	0.9991885	4.99708077	1	9.99456137

7.5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.999	0.9997	0.7514	0.4	0.9977822	0.99949975	0.9999	1	0.7771517	4.77433371	1	9.54866741
0.9995	0.9998	0.7514	0.5147	1	1	1	1	1	5	10	10

7.5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9955	1	0.5985	0.3127	0.9977822	1	1	1	1	4.99778224	10	10
0.9955	1	0.245	0.3127	1	1	1	0.40935673	1	4.40935673	1	8.82262675

10 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9967	1	1	0.5087	1	1	1	1	0.9883427	4.98834272	1	9.97668545
0.9967	1	1	0.5147	1	1	1	1	1	5	10	10

10 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9993	1	1	0.5087	0.9980098	0.99989994	1	1	0.6681114	4.66602116	1	9.33204232
0.9994	1	1	0.7614	1	1	1	1	1	5	10	10

10 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	0.9996	0.999	0.9833	1	1	0.9997	1	0.9884399	4.98813986	1	9.97627971
1	0.9999	0.999	0.9948	1	1	1	1	1	5	10	10

10 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9994	0.9995	0.7154	0.4	0.9882775	0.99989995	0.9999	1	1	4.98807745	1	9.97615489
0.9995	0.9996	0.7154	0.4	1	1	1	1	1	5	10	10

10 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9955	1	0.5791	0.3596	1	1	1	1	1	5	10	10
0.995	1	0.5791	0.3558	0.956368	0.99949774	1	1	0.9894327	4.94529849	1	9.89059697

DECEMBER S/D PEBRUARI

2.5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX -1	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9873	1	0.9981	0.6211	0.9955787	0.99919037	1	0.99939922	1	4.99416832	1	9.98833663
0.9881	1	0.9987	0.6211	1	1	1	1	1	5	10	10

2.5 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9978	1	0.9942	0.8183	0.9954249	1	1	1	0.9377722	4.93319709	1	9.86639417
0.9978	1	0.9942	0.8726	1	1	1	1	1	5	10	10

2.5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	0.9998	0.7953	0.9612	1	1	1	0.80034216	0.9794172	4.77975931	1	9.56787613
1	0.999	0.9937	0.9814	0.9964327	1	0.9991998	1	1	4.99563252	10	10



2.5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9978	0.9999	0.7953	0.4231	1	1	1	0.99313187	1	4.99313187	1	9.99634085
0.9978	0.999	0.8008	0.4231	0.9958597	1	0.9990999	1	1	4.9949596	10	10

2.5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9875	1	0.7803	0.2811	0.9957627	1	1	0.98809675	1	4.98385946	1	9.98384931
0.9869	1	0.7897	0.279	1	0.99939241	1	1	0.9925293	4.99192175	10	10

5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9881	1	1	0.6211	0.9958408	1	1	1	1	4.99584083	1	9.99168165
0.9881	1	1	0.6211	1	1	1	1	1	5	10	10

5 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.998	1	1	0.2616	1	1	1	1	0.3220485	4.3220485	1	8.64478928
0.9978	1	0.9998	0.8123	1	0.9997996	1	0.9998	1	4.9995996	10	10

5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	0.9997	0.9942	0.9751	1	1	1	0.99819277	0.9935806	4.99177337	1	9.99207503
1	0.999	0.996	0.9814	0.9964327	1	0.9992998	1	1	4.99573247	10	10

5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9978	0.9999	0.7436	0.4177	0.9965596	1	0.9999	1	0.9872371	4.98369669	10	10
0.9978	1	0.729	0.4231	1	1	1	0.98036579	1	4.98036579	1	9.9933164

5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9875	1	0.6426	0.2048	1	1	1	1	0.7772296	4.7772296	1	9.63628454
0.9869	1	0.618	0.2635	0.9964327	0.99939241	1	0.96171802	1	4.95754311	10	10

7.5 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9896	1	1	0.6211	1	1	1	1	1	5	10	10
0.9896	1	1	0.6211	0.9877355	1	1	1	1	4.98773553	1	9.97547107

7.5 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9984	1	1	0.8123	0.9955787	1	1	1	1	4.99557873	10	10
0.9981	1	1	0.7981	1	0.99969952	1	1	0.9825188	4.98221829	1	9.97325547

7.5 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	0.9996	0.9942	0.9814	1	1	1	0.99609258	1	4.99609258	10	10
1	0.999	0.9981	0.9814	0.9958597	1	0.9993998	1	1	4.99525945	1	9.99833244

7.5 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9978	0.9997	0.6693	0.2808	0.995727	0.9989988	1	1	0.6636729	4.65839868	1	9.31865928
0.9988	0.999	0.6691	0.4231	1	1	0.9992998	0.99970118	1	4.99900097	10	10

7.5 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9875	1	0.4903	0.2076	0.995957	1	1	1	1	4.99595703	10	10
0.9869	1	0.214	0.2076	1	0.99939241	1	0.43646747	1	4.43585987	1	8.87889917

10 knot
0 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9896	1	1	0.4285	1	1	1	1	1	5	10	10
0.9896	1	1	0.4231	1	1	1	1	0.9873979	4.9873979	1	9.9747958

10 knot
45 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9984	1	1	0.7475	0.9955787	0.9989994	1	1	1	4.99457813	1	9.98915626
0.9994	1	1	0.7475	1	1	1	1	1	5	10	10

10 knot
90 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
1	0.9996	0.9987	0.9751	1	1	1	1	0.9751	4.9751	1	9.95964284
1	0.999	0.9987	1	0.9958597	1	0.9993998	1	1	4.99525945	10	10

10 knot
135 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9988	0.9993	0.6273	0.2829	0.9793231	1	1	1	1	4.97932309	10	10
0.9995	0.998	0.612	0.279	1	1	0.9986991	0.97560976	0.9862142	4.96052306	1	9.96224379

10 knot
180 deg

PITCH (P)	ROLL (R)	VERTICAL ACC. (VA)	RELATIVE MOTION (RM)	NORMALIZED					SUM N(i)	INDEX	INDEX -2
				N(H)	N(P)	N(R)	N(VA)	N(RM)			
0.9875	1	0.4646	0.2221	0.9587384	0.99246231	1	1	1	4.95120075	1	9.96762228
0.995	1	0.4494	0.2221	1	1	1	0.96728368	1	4.96728368	10	10