

310000 1013137



**TUGAS AKHIR  
HIDRODINAMIKA**

**PERHITUNGAN ULANG TAHANAN KAPAL CEPAT  
DENGAN MEMPERHITUNGKAN KEHADIRAN WAVE-  
BREAKING DAN PERUBAHAN LUAS PERMUKAAN  
BASAH BADAN KAPAL**



Disusun oleh :

**I MADE ARYSANDHI**

**NRP. 4196 100 021**

RSPe  
623.812  
Any  
P-1  
2001

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**  
**2001**

RP. 30.000

PERPUSTAKAAN	ITS
13/02/01	H
2001	

**TUGAS AKHIR**  
**HIDRODINAMIKA**

**PERHITUNGAN ULANG TAHANAN KAPAL CEPAT  
DENGAN MEMPERHITUNGKAN KEHADIRAN WAVE-  
BREAKING DAN PERUBAHAN LUAS PERMUKAAN  
BASAH BADAN KAPAL**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik Perkapalan

Pada

Bidang Studi Hidrodinamika  
Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Surabaya, 31 Januari 2001

Mengetahui / Menyetujui :

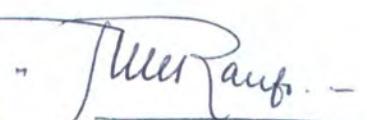
Dosen Pembimbing I



Ir. I.K.A. Pria Utama, M.Sc., Ph.D.

Nip. 132 007 645

Dosen Pembimbing II



Digul Siswanto, M.Sc.

Nip. 130 355 299



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

**2001**

# **PERHITUNGAN ULANG TAHANAN KAPAL CEPAT DENGAN MEMPERHITUNGKAN KEHADIRAN WAVE- BREAKING DAN PERUBAHAN LUAS PERMUKAAN BASAH BANDAN KAPAL**

## **Abstrak**

Perubahan luas permukaan basah badan kapal (WSA) yang terjadi pada setiap kecepatan akan mempengaruhi harga tahanan kapal. Perubahan tersebut terlihat jelas pada jenis cepat karena pada kecepatan tinggi, timbul gaya angkat dan timbulnya pemecahan gelombang pada haluan kapal dan diikuti dengan perubahan luas permukaan basah badan kapal.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika FTK-ITS, dengan menggunakan model kapal cepat. Model ditarik dengan variasi kecepatan ( $F_n$ ) antara  $0,2 \sim 0,8$  dan tiga kondisi sarat ( $0,053\text{ m}$ ,  $0,063\text{ m}$ ,  $0,073\text{ m}$ ) dengan harga koefisien blok ( $C_B$ ) masing-masing adalah  $0,36$ ,  $0,41$ ,  $0,45$ . Dalam penelitian ini, diamati pengaruh perubahan WSA, kecepatan dan  $C_B$  terhadap tahanan gelombang ( $C_W$ ) dan tahanan pemecahan gelombang ( $C_{WB}$ ).

Dari hasil penelitian, penambahan WSA dan kecepatan secara umum menyebabkan kenaikan harga  $C_{WB}$ . Harga  $C_{WB}$  bertambah besar seiring dengan penurunan harga  $C_B$ . Harga  $C_{WB}$  berkisar antara  $0,8\% \sim 1,3\%$  dari tahanan total model.

# **REINVESTIGATION OF FAST SHIPS RESISTANCE IN THE PRESENCE OF WAVE BREAKING AND CHANGING OF WETTED SURFACE AREA**

## **Abstract**

The changing of ship wetted surface area that occurs with changing of speed will affects the ship resistance. This change is more obvious at higher speeds. at high speed, lift force and wave breaking appear at the bow of ship and followed by the change of wetted surface area.

The experiment was conducted in Hydrodynamic Laboratory of ITS using fast craft model. The model was run at towed speed ( $F_n$ ) ranging from 0.2 to 0.8 and within three draught conditions (0.053 m, 0.063 m, 0.073 m) and block coefficient ( $C_B$ ) of 0.36, 0.41, and 0.45. The effects of wetted surface area, speed, and block coefficient on wave resistance and especially wave breaking resistance were examined and visualized.

The experiment concludes that wave breaking resistance increases if towed speed is increased and if block coefficient is decreased. The value of  $C_{WB}$  are found to be about 0.8 % ~ 1.3 % of the total resistance.

## KATA PENGANTAR

Rasa syukur yang mendalam penulis panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Pengasih yang telah memberikan rahmatnya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini berjudul “Perhitungan Ulang Tahanan Kapal Cepat Dengan Memperhitungkan Kehadiran Wave-Breaking dan Perubahan Luas Permukaan Basah Badan Kapal”.

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik oleh penulis tentunya tidak lepas dari bantuan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. I.K.A. Pria Utama, M.Sc.,Ph.D., selaku Dosen Pembimbing yang dengan penuh kesabaran dan ketekunan memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
2. Digul Siswanto, M.Sc, selaku Kepala Laboratorium Hidrodinamika dan Pembimbing yang telah memberi banyak petunjuk dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc.,Ph.D., selaku Kepala Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
4. Kepada Ayahanda dan Ibunda beserta kakak dan adik-adikku TERCINTA yang selalu memberikan do'a dan dorongan moral dan material sampai terselesainya Tugas Akhir ini.

5. Seluruh Dosen, Staf dan Karyawan jurusan Teknik Perkapalan yang telah banyak membantu.
6. Pak Condro, Pak Toni, Pak Joko, Pak Yus, Cak Pur selaku staf Lab Hidrodinamika FTK - ITS atas bimbingan dan kerjasamanya.
7. Joko Prasetyo, Teguh Budi Santoso, Dany Hendrik, Burhanudin, Girindra dan semua rekan atas bantuan serta kerja samanya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Segenap rekan-rekan diantaranya Jana Nuraga, Kadek Widiana, Nyoman Sutama, Sarmawan, Surya, Izak, Wira ‘Gembul’ D, Bli Wayan serta seluruh teman-teman di Kejawan. Terimakasih atas kebersamaanya.

Penulis sadar bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, maka saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini bisa bermanfaat bagi yang memerlukannya.

Surabaya, Januari 2001

Penulis

## DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1.    Latar Belakang	1
1.2.    Rumusan Masalah	3
1.3.    Tujuan Penelitian	4
1.4.    Batasan Masalah	4
1.5.    Sistematika Pembahasan	5
BAB 2 DASAR TEORI	6
2.1.    Tahanan Kapal	6
2.2.    Komponen Tahanan	6
2.3.    Hukum Perbandingan Froude	8
2.4.    Tahanan Gesek	11
2.5.    Tahanan Tekanan	14
2.6.    Tahanan Gelombang	16
2.6.1.    Tahanan Pola Gelombang	17
2.6.2.    Tahanan Pemecahan Gelombang	20
2.6.3.    Memperkecil Tahanan Pemecahan Gelombang	24

2.7.	Kapal Cepat	25
2.7.1.	Fase Displacement Murni	26
2.7.2.	Fase Semi Planing	28
2.7.3.	Fase Planing	29
BAB 3 PROSEDUR PENELITIAN		30
3.1.	Metode Penulisan	30
3.2.	Persiapan	31
3.2.a.	Peralatan Percobaan	31
3.2.b.	Persiapan Model Kapal	33
3.2.c.	Faktor-faktor Korelasi dan Sifat-sifat Fisik	34
3.3.	Prosedur Pengujian	34
3.4.	Validitas Rancangan Percobaan	35
3.5.	Prosedur Pengambilan Data	40
BAB 4 ANALISA DAN DISKUSI HASIL EKSPERIMEN		41
4.1.	Hasil Eksperimen	41
4.2.	Analisa Data	43
4.2.1.	Pengaruh Kecepatan dan Bentuk Badan Kapal ( $C_B$ ) Terhadap Koefisien Tahanan Kapal	44
4.2.2.	Pengaruh Kecepatan dan Terhadap Perubahan Luas Permukaan Basah Badan Kapal (WSA)	46
4.2.3.	Penentuan Faktor Bentuk Model	48
▪	Metode Prohaska	48
▪	Metode Hughes dan Cutland	50

4.2.4. Perhitungan Koefisien Tahanan Pemecahan Gelombang	53
4.2.5. Pengaruh Kecepatan dan Luas Permukaan Basah Badan Kapal Terhadap Tahanan Pemecahan Gelombang	55
4.2.6. Pengaruh $C_B$ dan $C_P$ Terhadap Tahanan Pemecahan Gelombang	56
4.2.7. Proporsi Tahanan Pemecahan Gelombang Terhadap Komponen Tahanan Lain	59
BAB 5 KESIMPULAN	65
5.1. Kesimpulan	65
5.2. Saran	66
Daftar Pustaka	67
Lampiran	
Lampiran A: Data Eksperimen	A-1
Lampiran B: Studi Parametrik Faktor Bentuk	B-1
Lampiran C: Data WSA dan Gambar Penarikan Model	C-1
Lampiran D: Tabel dan Grafik Perhitungan $R_{WB}$	D-1
Lampiran E: Data Model	E-1

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Komponen tahanan kapal	7
2.2.	Aliran di antara dua pelat sejajar	11
2.3.	Lapisan batas di sepanjang permukaan bidang	13
2.4.	Distibusi tekanan dan kecepatan sepanjang body kapal	15
2.5.	Puncak gelombang dari kelompok gelombang Kelvin yang ditimbulkan oleh usikan yang bergerak di P	18
2.6.	Sistem gelombang haluan	20
2.7.	Pengaruh $C_p$ dan L/B terhadap pemecahan gelombang	21
2.8.	Perbandingan $r = (C_t - C_w)/C_f$	22
2.9.	Body plan planing hull	26
2.10.	Posisi FP, AP dan LCG pada setiap fase	27
2.11.	Distribusi gelombang dan tekanan disepanjang Lwl	28
2.12.	Distribusi gelombang pada permukaan ‘planing plate’	29
Gambar 3.1.	Diagram alur penggerjaan	30
3.2.	Pandangan depan load cell dan balance support	37
3.3.	Pandangan samping load cell dan balance support	37
3.4.	Blok diagram resistance test	39
Gambar 4.1.	Grafik koefisien tahanan gesek model 1, 2 dan 3	44
4.2.	Grafik koefisien tahanan model pada kondisi 1	45
4.3.	Grafik koefisien tahanan model pada kondisi 2	45
4.4.	Grafik koefisien tahanan model pada kondisi 3	45
4.5.	Grafik perubahan WSA pada kondisi 1	46

4.6.	Grafik perubahan WSA pada kondisi 2	46
4.7.	Grafik perubahan WSA pada kondisi 3	47
4.8.	Metode Prohaska untuk menentukan faktor bentuk model 1	49
4.9.	Metode Prohaska untuk menentukan faktor bentuk model 2	49
4.10.	Metode Prohaska untuk menentukan faktor bentuk model 3	49
4.11.	Grafik variasi $(1+k)$ terhadap $C_B$ dan $(L/\nabla^{1/3})$	50
4.12.	Grafik perbandingan $C_W/C_T$ model 1, 2 dan 3	52
4.13.	Grafik perbandingan $C_W/C_R$ model 1, 2 dan 3	52
4.14.	Grafik $C_{WB}$ untuk model 1, 2 dan 3	55
4.15.	Grafik perbandingan $C_{WP}$ dengan $(C_{WP}+C_{WB})$ , Hogben 1974	57
4.16.	Grafik hubungan $L/B$ dan $C_B$ terhadap faktor bentuk	58
4.17.	Grafik $C_{WB}/C_{WP}$ untuk model 1, 2 dan 3	60
4.18.	Grafik $C_{WP}/C_W$ untuk model 1, 2 dan 3	61
4.19.	Grafik $C_W/C_R$ untuk model 1, 2 dan 3	61
4.20.	Grafik $C_W/C_T$ untuk model 1, 2 dan 3	61

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

dengan meningkatnya kecepatan kapal ( $F_n$  sekitar 0,5 sampai 0,6) tahanan pemecahan gelombang mulai timbul di bagian depan kapal dan bisa mencapai 30-40% panjang kapal diukur dari haluan (Townsins 1972, Baba 1976, Suzuki 1976 dan Muller-Graf 1991).

Hal tersebut mendorong penulis untuk melakukan eksperimen di tangki percobaan dengan menggunakan model kapal cepat sehingga dapat memperkirakan besar perubahan komponen tahanan gelombang.

Pada tugas akhir ini dianalisa besarnya harga tahanan pemecahan gelombang dan luas permukaan basah badan kapal pada sejumlah harga  $F_n$ , pada model kapal cepat. Penelitian adalah berupa eksperimental fisik yang dilakukan di tangki percobaan (*towing tank*).

## 1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian seperti tersebut diatas, maka dapat dirumuskan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Berapa besar proporsi tahanan pola gelombang dan tahanan pemecahan gelombang yang merupakan komponen tahanan gelombang, pada berbagai  $F_n$  (*Froude number*) ?
2. Berapa besar pengaruh  $F_n$  dan luas permukaan basah badan kapal terhadap tahanan pemecahan gelombang kapal ?
3. Berapa besar pengaruh koefisien blok ( $C_B$ ) dan koefisien prisma ( $C_P$ ) terhadap tahanan pemecahan gelombang ?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. Proporsi tahanan pola gelombang dan tahanan pemecahan gelombang yang merupakan komponen tahanan gelombang, pada berbagai Fn (*Froude number*)
2. Besar pengaruh Fn dan luas permukaan basah badan kapal terhadap tahanan pemecahan gelombang kapal.
3. Besar besar pengaruh koefisien blok ( $C_B$ ) dan koefisien prismatic ( $C_P$ ) terhadap tahanan pemecahan gelombang.

### 1.4. Batasan Masalah

Untuk membatasi agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka penulis mengambil batasan permasalahan sebagai berikut :

1. Percobaan dilakukan berdasarkan kemampuan uji laboratorium FTK-ITS dan dengan fasilitas yang ada.
2. Percobaan dilakukan pada kondisi air tenang.
3. Gesekan antara roda dengan rel diabaikan.
4. Model tidak mengalami trim dan sinkage.
5. Model hanya bergerak pada arah maju pada kecepatan konstan.
6. Faktor bentuk model pada setiap kecepatan adalah konstan.

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Secara garis besar uraian penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

BAB 1 : Pendahuluan.

Pendahuluan ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB 2 : Dasar Teori.

Dasar teori ini berisikan teori-teori yang berhubungan dengan penulisan Tugas Akhir ini, yang didapat dari studi literatur.

BAB 3 : Metode Penulisan

Pada bagian ini memberikan penjelasan tentang peralatan yang digunakan dan prosedur pelaksanaan dari percobaannya.

BAB 4 : Analisa Data

Bagian ini berisikan data dan analisa dari data yang telah diperoleh dari pengujian.

BAB 5 : Kesimpulan

Pada bagian ini berisikan kesimpulan yang diperoleh setelah melakukan penelitian dan analisa data.

## **BAB 2**

## **DASAR TEORI**

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

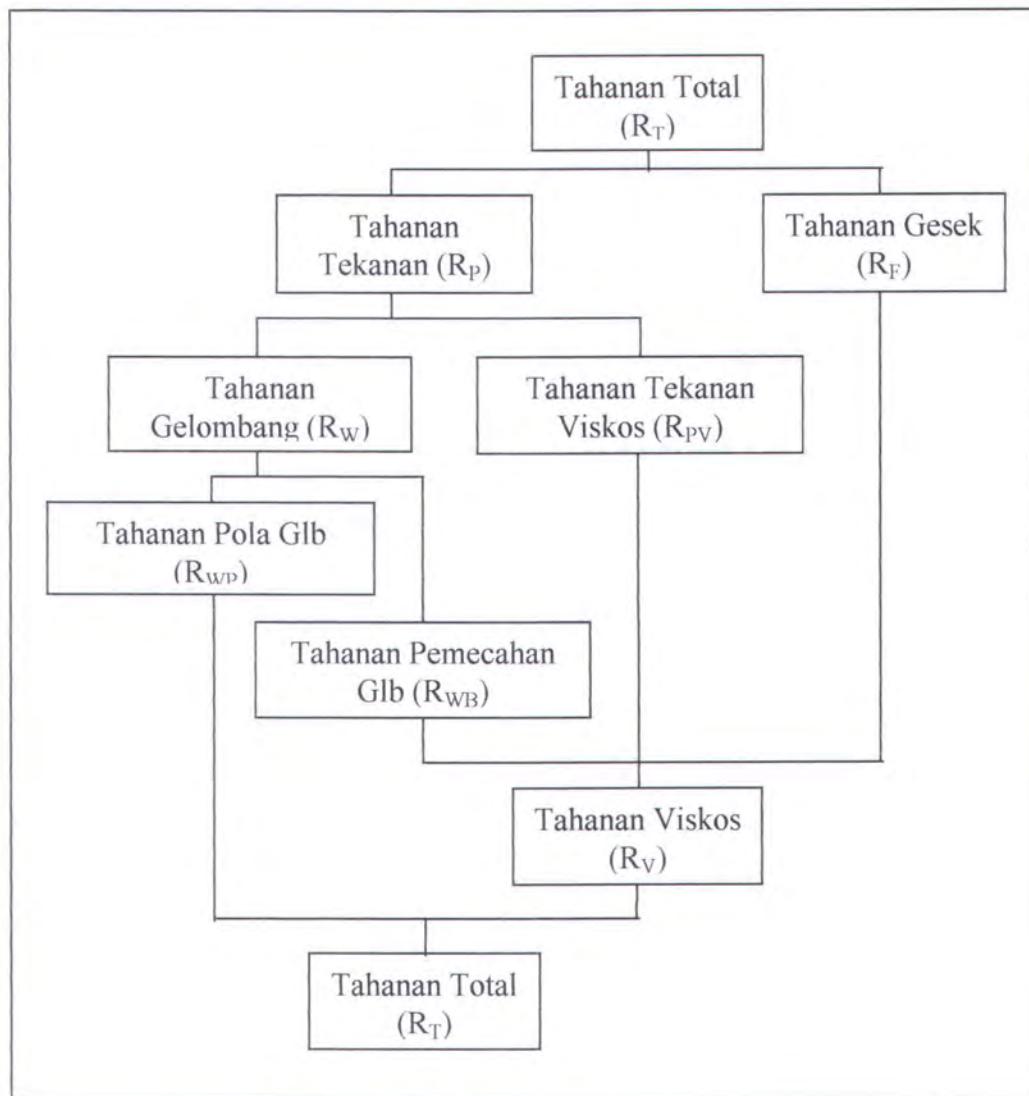
#### **2.1. Tahanan Kapal**

Tahanan kapal yang timbul akibat gerakan kapal pada kecepatan tertentu adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan total kapal dapat diuraikan menjadi sejumlah komponen yang berbeda yang diakibatkan oleh berbagai macam penyebab dan saling berinteraksi dalam cara yang benar-benar rumit.

#### **2.2. Komponen Tahanan**

Secara umum komponen tahanan dikelompokkan atas dua pendekatan yaitu menurut usulan Froude pada tahun 1870-an dan Hughes (1954). Froude menyimpulkan bahwa tahanan kapal dapat dibagi menjadi dua komponen yaitu (1) tahanan gesek yang didasarkan pada tahanan ekivalen pelat datar dan (2) tahanan sisa yang diasumsikan didominasi oleh tahanan gelombang. Hughes (1954) mengusulkan pendekatan faktor bentuk (*form factor approach*) dimana komponen tahanan terdiri atas tahanan kekentalan (*viscous resistance*) dan tahanan gelombang (*wave resistance*). Tahanan kekentalan selanjutnya merupakan hasil kali tahanan gesek dengan suatu faktor atau besaran yang tergantung kepada bentuk badan kapal dimana faktor ini dikenal dengan faktor bentuk. Kemajuan dalam teori berupa pemahaman tentang prinsip-prinsip hidrodinamika, teknik eksperimen yang dilakukan di tangki percobaan dan

fasilitas penelitian telah ada sehingga memungkinkan untuk mengetahui beragam komponen tahanan secara lebih detail. Komponen tahanan menurut ITTC (*International Towing Tank Conference*) terdiri dari :



Gambar 2.1. Komponen tahanan kapal

Tahanan tekanan dan tahanan gesek menunjukkan besarnya reaksi terhadap gaya air setempat (lokal) yang bekerja pada badan kapal. Tahanan gelombang dan tahanan kekentalan menunjukkan energi yang dikeluarkan atau bagaimana tenaga (power) diserap untuk menahan tahanan dari kapal. Tahanan

tekanan viskos dapat dianggap sebagai bagian dari komponen tahanan dimana jumlah energi yang dikeluarkan untuk menimbulkan vorticity (ukuran dari gerakan rotasi elemen fluida yang bergerak dalam pola aliran) lebih besar dari energi yang dikeluarkan untuk menimbulkan gelombang sehingga tahanan tekanan viskos diidentikkan dengan tahanan tekanan khususnya pada kasus benda yang tenggelam jauh dibawah permukaan air.

Secara matematis, tahanan total kapal didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_T \cdot V^2 \cdot S \quad (2.1)$$

dimana :  $C_T$  = koefisien tahanan total

$V_o$  = kecepatan kapal (m/dt)

$S$  = luas permukaan basah badan kapal ( $m^2$ )

$\rho$  = massa jenis air laut ( $kg/m^3$ )

Koefisien tahanan untuk kapal adalah fungsi dari bilangan *Reynold* dan bilangan *Froude*. Bilangan Reynold :  $Re = \frac{V_o \cdot L}{\nu}$ , dimana L adalah panjang kapal (m) dan

$\nu$  adalah koefisien viskositas kinematis ( $m^2/dt$ ). Bilangan Froude :  $Fn = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$ ,

dimana g adalah percepatan gravitasi bumi ( $m/dt^2$ ).

### 2.3. Hukum Perbandingan Froude

Menurut Froude, jika suatu benda bergerak pada suatu fluida tanpa kekentalan (*nonviscous liquid*) dimana tidak terdapat gesekan atau hambatan lainnya, benda tersebut akan mempunyai tahanan gelombang atau tahanan sisa

(residuary resistance,  $R_R$ ) yang besarnya dipengaruhi oleh parameter  $V^2/g.L$ .

Koefisien tahanan sisa dapat ditulis sebagai :

$$C_R = \frac{R_R}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} = f\left(\frac{V^2}{g.L}\right) \quad (2.2)$$

Ini berarti bahwa suatu benda yang memiliki kesamaan bentuk geometri akan memiliki harga koefisien  $C_R$  yang sama jika benda tersebut bergerak pada harga parameter  $V^2/g.L$  yang sama pula. Menurut hukum perbandingan Froude, perbandingan tahanan sisa dari kapal yang memiliki geometri yang sama adalah pangkat tiga dari suatu “skala linier” jika perbandingan kecepatannya adalah juga akar kuadrat dari skala liniernya. Froude memberikan harga pebandingan yang dikenal dengan “speed - length ratio”, yang dinotasikan dengan  $\frac{V}{\sqrt{L}}$ , dimana  $V$  adalah kecepatan kapal (knot) dan  $L$  adalah panjang kapal (feet). Ratio ini sering digunakan untuk menganalisa data tahanan tetapi mempunyai kekurangan karena masih memiliki dimensi. Di lain pihak, harga  $\frac{V}{\sqrt{g.L}}$  adalah non-dimensional dan memiliki kesamaan secara numerik dengan  $\frac{V}{\sqrt{L}}$ . Dengan hubungan tersebut, maka  $\frac{V}{\sqrt{g.L}}$  disebut sebagai angka Froude.

Dari persamaan (2.2) didapat perbandingan tahanan sisa kapal ( $R_{RK}$ ) dan tahanan sisa model kapal ( $R_{SM}$ ) sebagai berikut :

$$\frac{R_{RK}}{R_{RM}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot S_K \cdot V_K^2 \cdot C_{RK}}{\frac{1}{2} \cdot S_M \cdot V_M^2 \cdot C_{RM}} \quad (2.3)$$

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Faktor utama yang memegang peranan penting dalam perencanaan suatu kapal adalah tahanan yang akan dialami oleh kapal pada saat bergerak. Suatu bentuk badan kapal dengan tahanan yang sekecil mungkin adalah tujuan perencana kapal sebab akan memperkecil daya mesin yang dipakai sehingga terjadi penghematan bahan bakar, berat mesin menjadi lebih ringan sehingga dapat menambah daya muat kapal tersebut. Tahanan kapal tergantung pada ukuran kapal, bentuk badan kapal dan kecepatan yang diinginkan (Siswanto, 1990).

Dalam kaitannya untuk mengurangi besarnya tahanan total maka besarnya tahanan gelombang perlu mendapatkan perhatian istimewa. Penyelidikan mengenai besar dan faktor-faktor yang mempengaruhi tahanan gelombang kapal dapat dilakukan dengan cara percobaan model kapal di tangki percobaan maupun dengan cara teoritis dengan menggunakan prinsip-prinsip hidrodinamika. Sejumlah ilmuan telah melakukan penelitian untuk menentukan tahanan gelombang kapal antara lain Froude pada tahun 1871-an, Hughes (1954), Shearer (1970), Townsin (1972), Hogben (1974) dan Baba (1976). Sejauh ini, masih terdapat sedikit perbedaan antara hasil yang didapatkan dari hasil perhitungan teoritis dengan hasil dari percobaan model kapal di tangki percobaan yang dikenal sebagai tingkat kesalahan (truncation error). Karena itu penyelidikan tentang tahanan gelombang masih terus dilakukan sampai hari ini.

Tahanan gelombang sangat bergantung kepada bentuk badan kapal yang menyebabkan gelombang tersebut terjadi selama pergerakan kapal. Komponen tahanan gelombang ini dapat dipisahkan menjadi dua bagian yaitu : (1) tahanan pola gelombang (*wave pattern resistance*) dan (2) tahanan pemecahan gelombang (*wave breaking resistance*). Secara umum, yang diartikan dengan tahanan gelombang adalah tahanan gelombang dimana tahanan pemecahan gelombang diabaikan karena dianggap terlalu kecil. Pengertian ini berlaku benar untuk kapal-kapal konvensional atau kapal-kapal dengan kecepatan rendah (Fn dibawah 0,4). Untuk jenis kapal tertentu, besarnya tahanan pemecahan gelombang perlu diperhatikan. Pada kapal-kapal berkecepatan tinggi seperti *speed boat*, badan kapal akan terangkat seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal akibat bertambahnya gaya angkat ke atas (*lift force*). Pada kondisi tersebut tahanan total (dan seluruh komponen tahanan) yang dialami kapal seharusnya bertambah kecil karena badan kapal yang tercelup dalam air (luas permukaan basah kapal) semakin kecil. Salah satu perubahan tersebut adalah berkurangnya tahanan pola gelombang dan munculnya tahanan pemecahan gelombang (Townsins 1972, Hogben 1974 dan Muller-Graf 1991).

Secara matematis,  $C_w$  (koefisien tahanan gelombang) dirumuskan sebagai (Hogben 1974) :

$$C_w = C_{wp} + C_{wb},$$

dimana  $C_{wp}$  dan  $C_{wb}$  masing masing adalah koefisien tahanan pola gelombang dan tahanan pemecahan gelombang. Pada kecepatan rendah (Fn dibawah 0,4) tahanan gelombang didominasi oleh tahanan pola gelombang. Selanjutnya, seiring

Jika kapal dan model berlayar di air yang memiliki kekentalan yang sama, maka didapatkan persamaan :

$$\frac{(V_K)^2}{g \cdot L_K} = \frac{(V_M)^2}{g \cdot L_M} \quad \begin{array}{c} \text{MILIK PERPUSTAKAAN} \\ \text{ITS} \end{array} \quad (2.4)$$

Dari persamaan (2.3) dan (2.4) didapatkan :

$$\begin{aligned} \frac{R_{RK}}{R_{RM}} &= \frac{S_K \cdot (V_K)^2}{S_M \cdot (V_M)^2} = \frac{(L_K)^2}{(L_M)^2} \cdot \frac{L_K}{L_M} \\ &= \frac{(L_K)^3}{(L_M)^3} = \frac{\Delta_K}{\Delta_M} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Jika skala perbandingan antara kapal dan model kapal dinotasikan dengan  $\lambda$ , maka akan terdapat hubungan sebagai berikut :

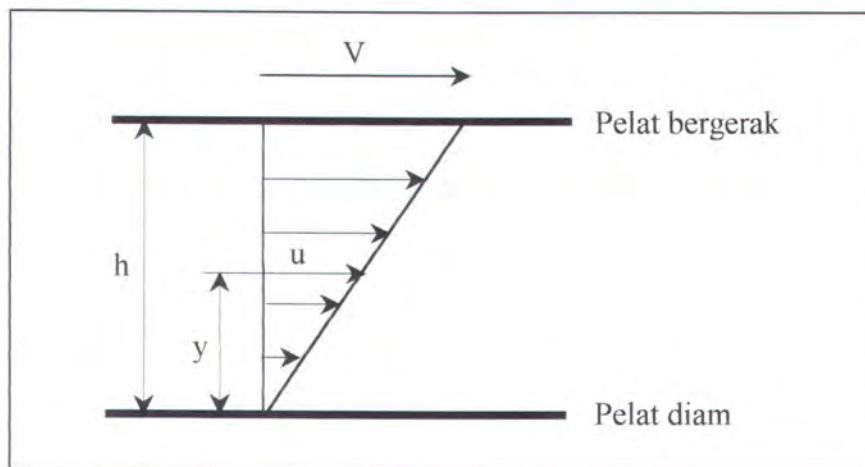
$$\begin{aligned} \frac{L_K}{L_M} &= \lambda \\ \frac{V_K}{V_M} &= \sqrt{\frac{L_K}{L_M}} = \sqrt{\lambda} = \lambda^{1/2} \\ \frac{R_{RK}}{R_{RM}} &= \frac{(L_K)^3}{(L_M)^3} = \frac{\Delta_K^3}{\Delta_M^3} = \lambda^3 \end{aligned} \quad (2.6)$$

Untuk mengatasi kesulitan dalam mentransformasi hasil percobaan tahanan model kapal ke tahanan kapal sebenarnya, Froude mengusulkan metode perbandingan diatas dan tetap didasarkan bahwa tahanan total kapal adalah penjumlahan tahanan gesek dan tahanan sisa yang dinotasikan dengan :

$$R_T = R_F + R_S$$

## 2.4. Tahanan Gesek

Tahanan gesek adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegralkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah badan kapal menurut arah gerakan kapal. Gesekan terjadi karena fluida mempunyai kekentalan (viskositas). Penting tidaknya gesekan dalam suatu situasi fisik tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya (*flow pattern*). Jika gesekan tersebut diabaikan maka aliran disebut ideal. Viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap geseran bila fluida itu bergerak. Pada Gambar 2.2 terdapat suatu fluida viskos diantara dua buah pelat sejajar yang berjarak  $h$ . Kedua pelat yang berukuran besar itu dalam gerakan relatif yang tunak (*steady*) sementara jarak  $h$  selalu tetap.



Gambar 2.2: Aliran di antara pelat yang sejajar

Fluida diantara kedua pelat tersebut akan mempunyai profil kecepatan yang linier jika sepanjang pelat tersebut tidak ada gradien tekanan dalam arah gerakan pelat. Lapisan fluida yang langsung menyentuh pelat tidak mempunyai kecepatan relatif terhadap pelat yang bersangkutan. Fluida tersebut didesak demikian rupa

sehingga berbagai lapisan fluida dapat saling bergeser secara seragam (uniform). Kecepatan lapisan yang berjarak  $y$  dari pelat yang diam dapat dinyatakan sebagai :

$$U = \frac{y}{h} \cdot V \quad (2.7)$$

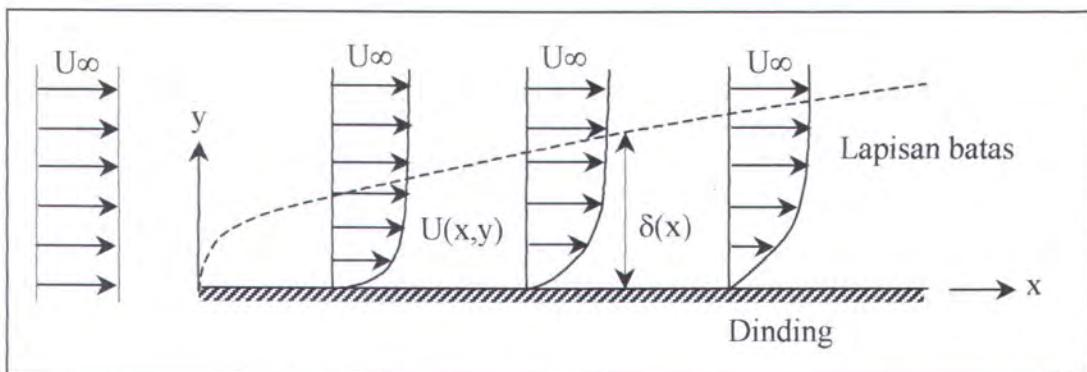
dimana  $V$  adalah kecepatan pelat yang bergerak ( $m/dt$ ). Untuk mempertahankan gerakan harus ada gaya  $F$  yang bekerja pada pelat yang bergerak. Gaya tersebut berbanding lurus dengan luas pelat dan berbanding terbalik dengan jarak antara kedua pelat. Ini dapat ditulis sebagai :

$$F = \mu \cdot \frac{S \cdot V}{h} \quad (2.8)$$

dimana  $S$  adalah luasan kontak elemen fluida dengan permukaan pelat ( $m^2$ ) dan  $\mu$  adalah koefisien viskositas dinamis ( $kg/m \cdot dt$ ). gaya  $F$  secara numerik sama dengan tahanan yang dihasilkan oleh perpindahan pelat dan dapat dijelaskan dengan menganggap bahwa diseluruh fluida viskos yang bergerak terdapat tegangan tangensial yaitu gaya geser yang melawan perubahan bentuk yang terjadi. Dengan meninjau elemen kecil pada fluida yang sedang dalam keadaan bergeser dengan yang lainnya maka persamaan (2.8) akan dapat ditulis kembali menjadi :

$$\tau = \mu \cdot \frac{\partial U}{\partial y} \quad (2.9)$$

dimana  $\tau$  adalah tegangan geser ( $N/m^2$ ) dan  $\partial U / \partial y$  adalah laju perubahan kecepatan sebagai fungsi dari jarak  $y$  dari pelat yang diam.



Gambar 2.3: Lapisan batas di sepanjang permukaan bidang

Bila di sepanjang suatu pelat datar terdapat aliran fluida yang homogen, maka kecepatan fluida tepat pada permukaannya adalah nol karena adanya gaya gesek yang memperlambat gerakan fluida sehingga terjadi lapisan tipis di dekat pelat tersebut yang disebut lapisan batas. Di dalam lapisan batas, kecepatan fluida  $U$  naik dari nol pada permukaan pelat hingga mencapai harga maksimumnya yang sesuai dengan kecepatan di dalam aliran luar tanpa gesekan  $U_\infty$ . Pada Gambar 2.3 ditunjukkan bahwa tebal lapisan batas,  $\delta$  adalah jarak dari dan tegak lurus permukaan benda ke titik dimana di titik tersebut kecepatan aliran mencapai harga yang sama dengan harga kecepatan aliran tanpa viskositas (inviscid flow) yang ekivalen. Dalam praktik, kecepatan ini kadang-kadang diambil sebesar 99% kecepatan aliran tanpa viskositas.

Penerapan hukum momentum untuk elemen volume yang berada tepat dibelakang pelat menunjukkan bahwa momentum yang hilang persatuan waktu harus sama dengan tahanan yang dialami pelat tersebut. Untuk elemen volume tersebut menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$\int_{\sigma}^{\delta} \rho \cdot U \cdot (U_\infty - U) dy = \int_{\sigma}^x \tau_o dx = R$$

$R$  adalah tahanan pada bagian pelat yang terletak antara 0 dan  $x$ .  $\tau_o$  adalah tegangan geser pada dinding pelat dan sama dengan :

$$\tau_o = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)_o$$

Angka 0 menunjukkan harga pada dinding yaitu untuk  $y = 0$ . Disini  $R$  sama dengan tahanan gesek  $R_F$ , yang juga dapat dinyatakan sebagai :

$$R_F = C_F \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \right) S$$

dimana :  $C_F$  = koefisien tahanan gesek

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = kecepatan relatif pelat terhadap aliran ( $\text{m/dt}$ )

$S$  = Luas permukaan basah pelat ( $\text{m}^2$ )

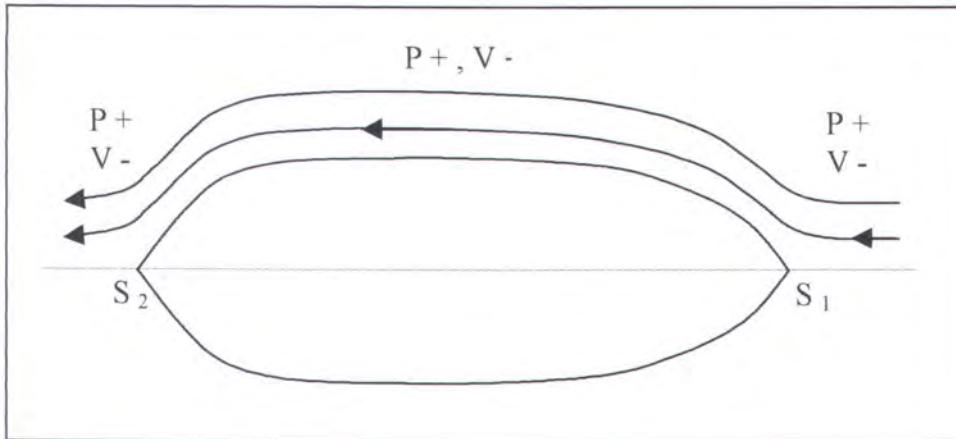
Banyak sekali penelitian secara teoritis maupun dengan memakai percobaan yang telah dilakukan untuk menentukan koefisien tahanan gesek. Koefisien tahanan gesek menurut ITTC tahun 1957 adalah :

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}, \quad Rn \text{ adalah bilangan Reynolds}$$

## 2.5. Tahanan Tekanan

Pada umumnya kapal-kapal yang bentuknya baik dipandang dari segi tahanan kapal, besarnya tahanan tekanan biasanya tidak besar. Tahanan tekanan timbul akibat garis-garis aliran yang tidak wajar yang menyelubungi badan kapal. Aliran potensial yang menyelubungi benda berbentuk kapal, dapat dilihat bahwa pada bagian depan memiliki tekanan tinggi dan kecepatan aliran berkurang. Pada sepanjang bagian tengah tekanannya turun sehingga kecepatan naik dan sampai di

bagian belakang, tekanan akan naik dan kecepatan aliran turun. Sedangkan pada ujung-ujung benda ( $S_1$  dan  $S_2$ ) terdapat titik stagnasi dimana tekanan pada titik tersebut adalah nol.



Gambar 2.4: Distribusi tekanan dan kecepatan sepanjang body kapal

Akibat adanya viskositas, aliran fluida sepanjang sisi-sisi kapal akan berubah bentuknya. Fluida ini akan mempunyai energi kinetis yang lebih kecil dari yang seharusnya menurut hukum bernoulli, akibatnya kecepatan fluida di boundary layer akan menjadi nol di daerah belakang sehingga di daerah ini akan terjadi pengumpulan fluida yang telah kehilangan energi kinetisnya. Partikel-partikel fluida yang datang mengalir mengelilingi massa air yang stationer tersebut. Hal ini akan mempunyai akibat sebagai berikut :

1. Aliran potensial (aliran diluar boundary layer) dan juga boundary layer akan terpisah kesamping dan keadaan ini disebut *boundary layer separation*.
2. Bagian boundary layer yang terhenti akan berada dalam keadaan stagnasi (diam) dan akan bergerak berputar-putar.

Akibat dari fenomena tersebut memiliki pengaruh terhadap tahanan yaitu :

1. Pengaruh daerah tekanan tinggi disekitar stern kapal menjadi berkurang yang mengakibatkan resultan gaya tekanan terjadi disitu. Gaya tekanan ini disebut Eddy separation resistance.
2. Kecepatan fluida sepanjang bagian belakang kapal menjadi rendah yang mengakibatkan tahanan gesek di daerah tersebut menjadi berkurang.

## 2.6. Tahanan Gelombang

Tahanan gelombang (*wave making resistance*) timbul karena adanya gerakan kapal pada permukaan air yang menyebabkan air mengalami perubahan bentuk aliran dan dengan adanya pengaruh gaya berat akan menimbulkan gelombang. Tahanan gelombang kapal adalah gaya yang bekerja pada badan kapal yang disebabkan oleh tekanan normal fluida yang bekerja di sepanjang badan kapal. Tahanan Gelombang dapat dipisahkan menjadi dua bagian yaitu :

1. Tahanan pola gelombang (*wave pattern resistance*)
2. Tahanan pemecahan gelombang (*wave breaking resistance*)

Perhitungan tahanan gelombang pada umumnya tidak menyertakan tahanan pemecahan gelombang karena dianggap terlalu kecil. Ini berarti bahwa hasil perhitungan tahanan gelombang adalah sepenuhnya tahanan pola gelombang. Rumus umum dari tahanan gelombang kapal pada gerakan kapal yang beraturan adalah :

$$R_W = C_W \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S$$

dimana :  $C_W$  = koefisien tahanan gelombang

$$= C_{WP} + C_{WB}$$

dimana :  $C_{WP}$  = koefisien tahanan pola gelombang

$C_{WB}$  = koefisien tahanan pemecahan gelombang

$S$  = luas permukaan basah kapal ( $m^2$ )

$V$  = kecepatan gerakan kapal ( $m/dt$ )

$\rho$  = massa jenis cairan ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

Untuk menghitung besar koefisien tahanan gelombang, digunakan rumus pendekatan dari Hughes (1954). Hughes merumuskan koefisien tahanan gelombang sebagai berikut :

$$C_W = C_T - (1+k)C_F$$

dimana  $C_W$  = koefisien tahanan gelombang

$C_F$  = koefisien tahanan gesek

$C_T$  = koefisien tahanan total

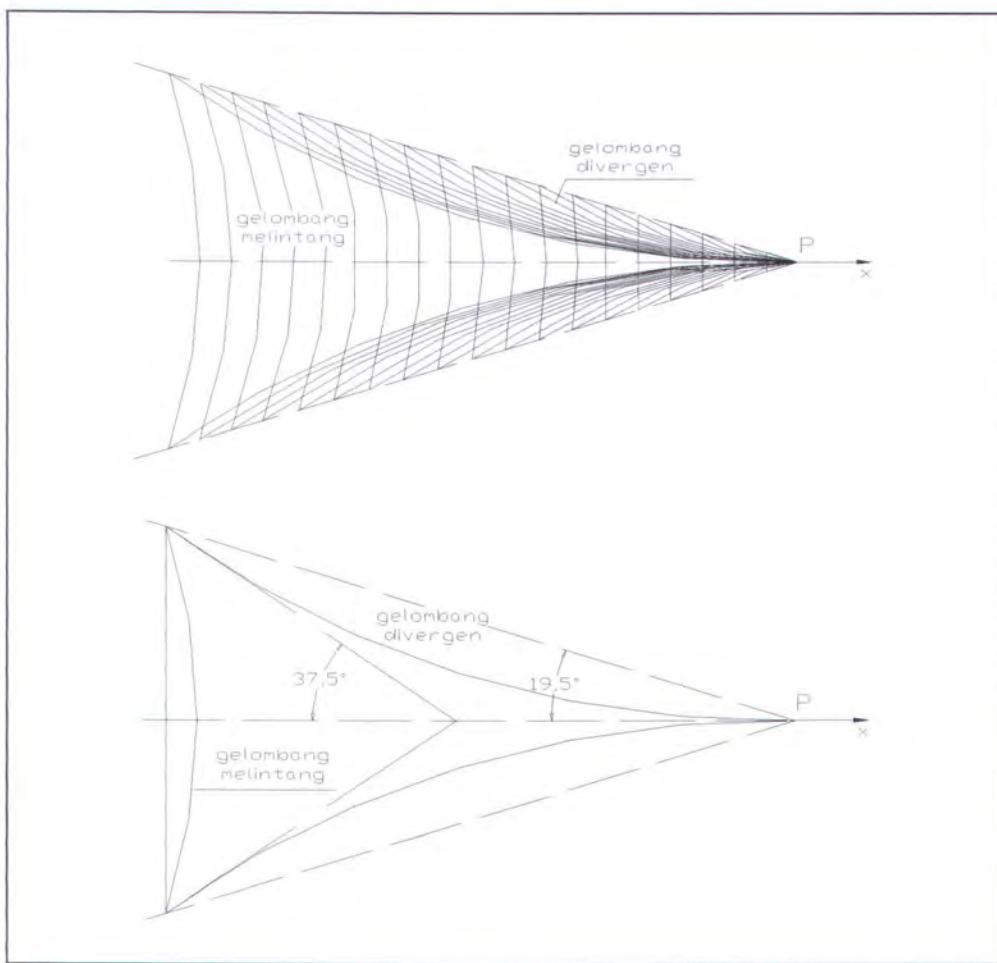
$k$  = faktor bentuk

Harga  $k$  dapat digambarkan sebagai fungsi dari angka Reynolds dan dapat ditentukan melalui pengujian model pada kecepatan rendah.

### 2.6.1. Tahanan Pola Gelombang

Tahanan pola gelombang timbul akibat adanya sistem gelombang di sekitar badan kapal. Bila suatu benda digerakkan di dalam fluida ideal, maka kecepatan partikel di dalam fluida tersebut dari titik ke titik akan berubah. Menurut persamaan Bernoulli berarti bahwa tekanan di dalam fluida tersebut dari titik ke titik berubah. Variasi tekanan yang timbul diwujudkan sebagai perubahan

tinggi permukaan fluida. Perubahan tinggi permukaan ini bergerak dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan benda tersebut. Pada sekitar tahun 1900, Lord Kelvin melakukan penelitian mengenai terjadinya gelombang. Kelvin mengamati sebuah titik tekanan tunggal yang bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan air.

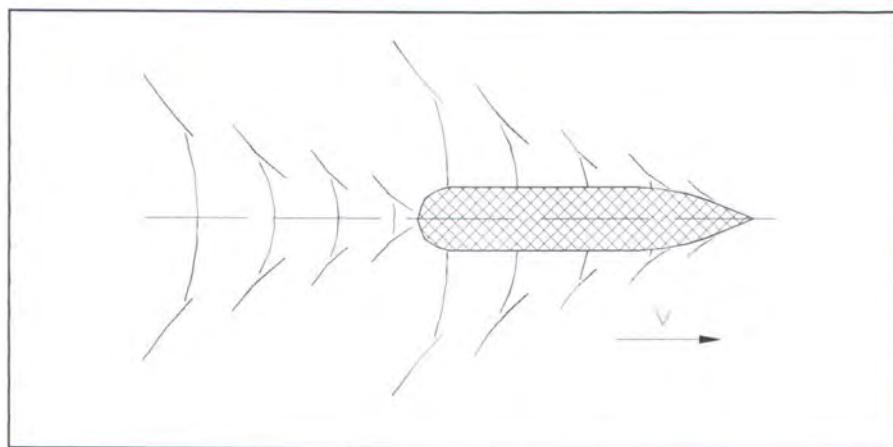


Gambar 2.5: Puncak gelombang dari kelompok gelombang Kelvin yang ditimbulkan oleh usikan yang bergerak di P

Gerakan titik tersebut menimbulkan sejumlah gelombang yang bergabung membentuk suatu pola yang khas. Pola ini terdiri dari sistem (sejumlah)

gelombang melintang (*transverse waves*) dan sistem gelombang divergen yang menyebar dari titik tersebut. Gambar 2.5. menunjukkan pola gelombang tersebut. Seluruh bagian pola gelombang berada diantara dua garis lurus yang berawal dari titik P dan masing-masing, pada sisi yang berbeda, membentuk sudut  $19,5^{\circ}$  dengan garis gerakan. Jarak antara satu gelombang melintang dengan gelombang melintang berikutnya sangat tergantung pada kecepatan gerakan titik itu sendiri. Pola gelombang Kelvin tersebut memberikan banyak gambaran dan kejelasan mengenai ciri khas kapal dan sistem gelombang. Di depan haluan kapal terdapat daerah bertekanan tinggi, sehingga di daerah tersebut timbul gelombang haluan yang cukup menyolok. Gelombang ini merupakan bagian dari sistem gelombang melintang dan gelombang divergen. Pada daerah dekat lambung kapal, garis puncak (*crest line*) gelombang melintang mempunyai kedudukan yang tegak lurus dengan arah gerakan kapal. Begitu mendekati sistem gelombang divergen, garis puncak tersebut berbelok dan akhirnya hilang di dalam sistem divergen. Pada bahu lambung dan pada buritan juga membentuk sistem gelombang. Sketsa pola gelombang yang ditimbulkan kapal ditunjukkan pada Gambar 2.6. Sistem gelombang buritan sering tidak tampak dengan jelas disebabkan karena adanya usikan dari sistem buritan itu sendiri. Secara keseluruhan pola gelombang tersebut bergerak mengikuti kapal. Ini berarti bahwa, pada kecepatan kapal yang tetap maka sistem gelombang melintang di sepanjang kapal atau model kapal akan selalu tetap. Ukuran besarnya gelombang yang terjadi tergantung dari kecepatan kapal dan sudut keruncingan dari haluan kapal. Sistem gelombang divergen mempunyai sifat-sifat spesifik yaitu seolah-olah mempertahankan ukuran identik

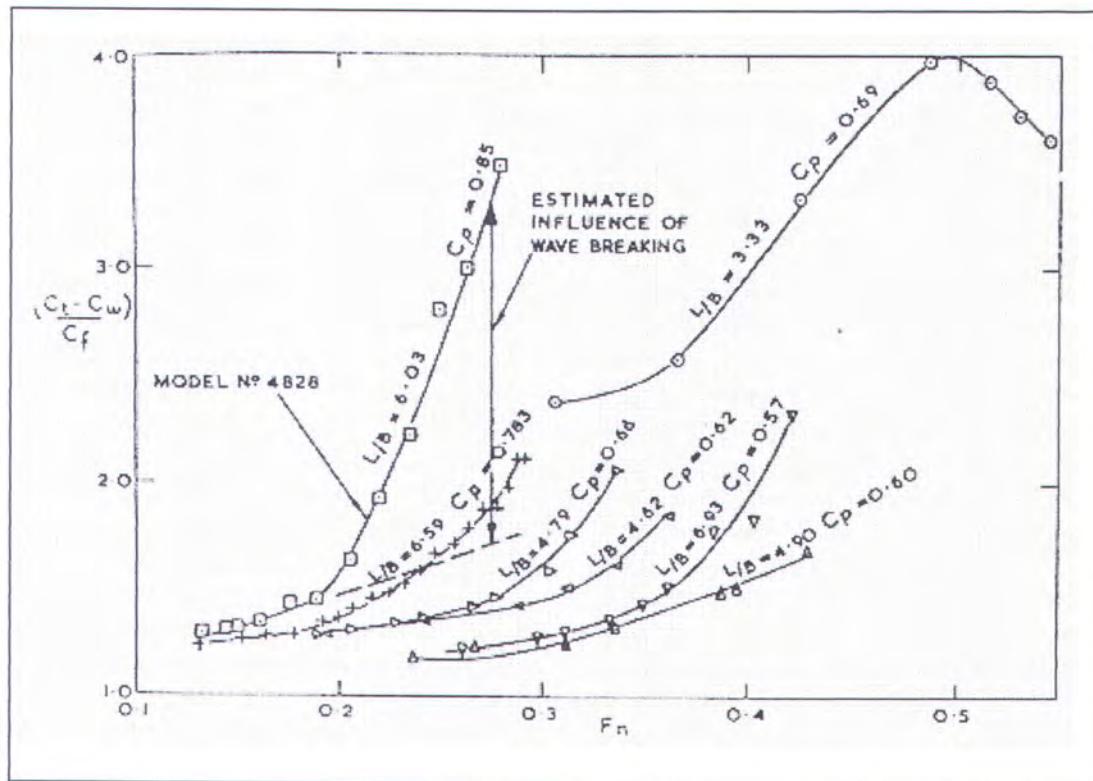
mereka sehingga meskipun sudah jauh terpisah dari badan kapal, perubahan besarnya hanya kecil sekali. Sifat penting lainnya yaitu setelah terbentuk penuh dan merambat menjauhi sisi badan kapal sampai pada suatu jarak tertentu maka mereka tidak lagi mempengaruhi harga tahanan gelombang kapal.



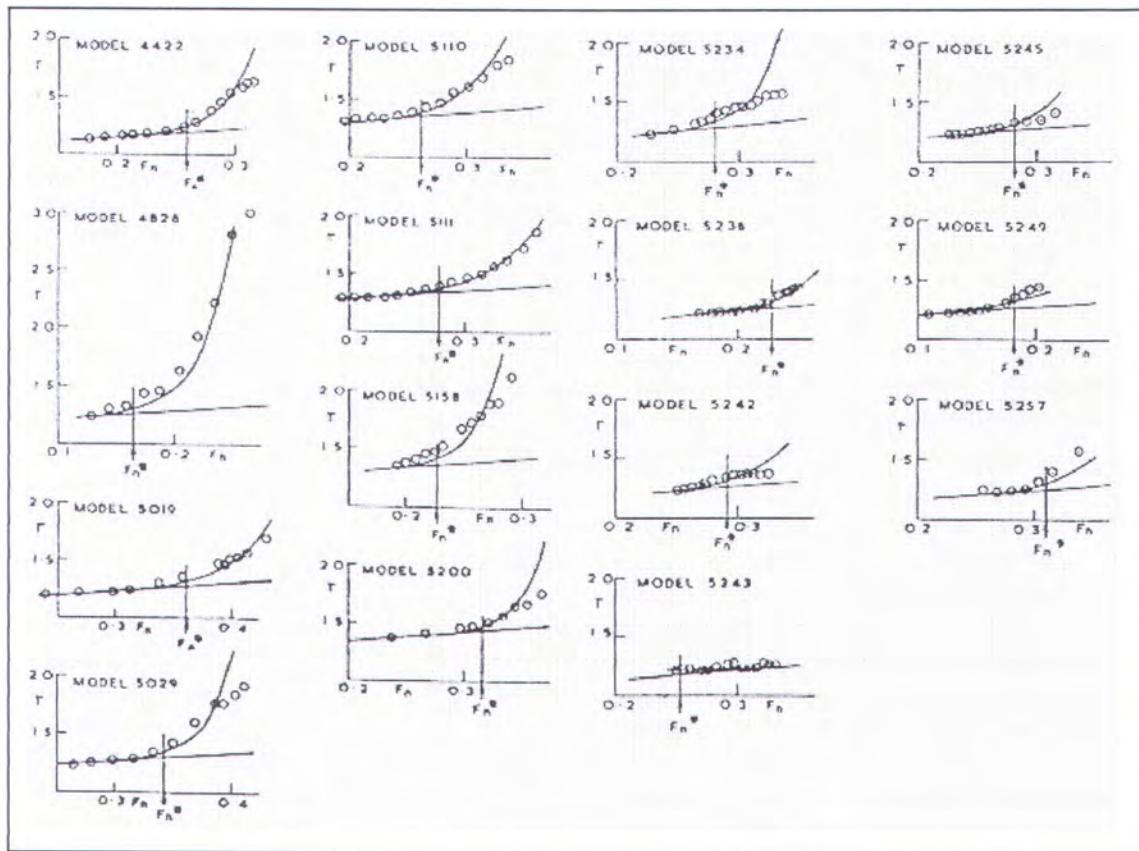
Gambar.2.6: Sistem gelombang haluan

### 2.6.2. Tahanan Pemecahan Gelombang

Besarnya salah satu komponen tahanan gelombang ini tidak bisa ditentukan secara langsung dan pada umumnya tidak diikutsertakan dalam perhitungan tahanan karena harganya yang relatif kecil. Dari hasil eksperimen Hogben (1974), pada kecepatan rendah, perbandingan  $r = (Ct - Cw)/Cf$  dapat dibandingkan dengan faktor bentuk yang didefinisikan oleh Hughes untuk menghitung tahanan kekentalan karena  $(Ct - Cw)$  sebanding dengan  $Cv$  (koefisien tahanan kekentalan).  $Cw$  adalah koefisien tahanan pola gelombang. Dari hasil eksperimen Hogben yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8, memperlihatkan adanya peningkatan harga  $r$  yang tajam pada kecepatan tertentu disebabkan oleh timbulnya pemecahan gelombang sedangkan dalam analisa tersebut, tahanan pemecahan gelombang tidak diikutsertakan.

Gambar.2.7: Pengaruh  $C_p$  dan  $L/B$  terhadap pemecahan gelombang

Salah satu kurva yang terdapat pada bagian kanan atas dari Gambar 2.7 terlihat memiliki pola yang berbeda dari kurva lainnya. Ini berhubungan dengan kenyataan bahwa pada kapal cepat yang memiliki perbandingan  $L/B$  yang rendah dan kecepatan tinggi menimbulkan perubahan luas perubahan luas permukaan basah (WSA) dan trim. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada  $L/B$  yang rendah, harga faktor bentuk ( $r$ ) akan menjadi besar atau dengan kata lain terdapat hubungan yang kasar antara  $L/B$  dengan  $r$  yang rendah.

Gambar.2.8: Perbandingan  $r = (C_t - C_w)/C_f$  dan  $F_{n^*}$ 

Hogben mengemukakan bahwa gejala pemecahan gelombang mulai terjadi pada suatu kecepatan tertentu yang disebut dengan ambang kecepatan pemecahan gelombang (*wave breaking threshold,  $F_{n^*}$* ). Gambar 2.8 menunjukkan harga  $F_{n^*}$  untuk masing-masing model yang digunakan pada eksperimen Hogben. Dari hasil tersebut maka dapat diperkirakan bahwa harga  $F_{n^*}$  adalah :

$$F_{n^*} = 0,533 - 0,423 \times C_B, \text{ } C_B \text{ adalah koefisien blok model.}$$

Untuk menghitung harga koefisien tahanan pemecahan gelombang (pada kecepatan rendah,  $F_n < 0,22$ ), Hogben memberikan rumus pendekatan sebagai berikut :

$$C_{WB} = C_T - C_{WP} - (0.8F_n + r_o)C_F$$

dimana  $C_{WB}$  = koefisien tahanan pemecahan gelombang

$C_T$  = koefisien tahanan total

$C_{WP}$  = koefisien tahanan pola gelombang

$C_F$  = koefisien tahanan gesek

$F_n$  = angka froude

$r_o$  =  $1,24 - 0,029 L/B$ , ( $r_o$  adalah suatu konstanta yang tergantung dari perbandingan  $L/B$ ).

Gejala pemecahan gelombang terjadi pada haluan kapal dan di buritan kapal yang besarnya relatif lebih kecil dari yang terjadi di haluan kapal. Menurut Wang (1989), gejala pemecahan gelombang haluan kapal disebabkan ketidakstabilan lapisan fluida yang saling bergeseran karena adanya pengaruh kekentalan. Sedangkan menurut Baba (1976) gejala pemecahan gelombang timbul karena lapisan permukaan gelombang pendek mengalami penyusutan dan selanjutnya disebutkan bahwa gelombang haluan pada angka froude tinggi memiliki karakteristik seperti pola aliran vortex. Aliran permukaan bebas disekitar permukaan benda mengubah bentuk alirannya dengan cara beragam tergantung dari tingkat kekasaran permukaan dan kecepatan benda itu sendiri. Aliran disekitar benda tumpul selalu disertai dengan gangguan aliran vortex pada

permukaan bebas pada bagian depan dan belakang dari benda. Pada jenis kapal dengan kecepatan tinggi gejala terangkatnya haluan kapal pada kecepatan maksimumnya sangat jelas terlihat.

Pada kapal cepat, pemecahan gelombang semakin meluas dan berkembang menjadi spray (*spray formation*) yaitu belahan air yang seolah-olah menyemprot dari bagian ujung haluan badan kapal dan menyebabkan tahanan pemecahan gelombang menjadi lebih besar. Spray ini disebabkan oleh tekanan stagnasi yang terjadi pada permukaan haluan badan kapal sedikit dibawah garis air. Pada angka froude lebih besar dari 0,5, keberadaan spray meningkat cepat dengan bertambahnya kecepatan kapal. Spray ini akan “mendaki” sisi badan kapal dan dapat mencapai geladak serta pada kecepatan Fn sama dengan 0,8, panjang spray bisa mencapai bagian tengah kapal (*midship*). Tinggi dan panjang jangkauan spray yang menyebabkan luas permukaan basah badan kapal diatas garis air ini, akan bertambah besar dengan bertambahnya harga perbandingan panjang dan lebar kapal (L/B) dan kecembungan haluan badan kapal. Dengan berkurangnya harga L/B dan bentuk lengkungan haluan kapal yang cekung menyebabkan spray ini akan terlempar lebih kesamping. Dengan bertambahnya luas permukaan basah dan tekanan yang disebabkan oleh spray pada badan kapal menyebabkan bertambahnya tahanan pemecahan gelombang.

### **2.6.3. Memperkecil Tahanan Pemecahan Gelombang**

Untuk memperkecil harga tahanan pemecahan gelombang dilakukan dengan beberapa cara. Untuk jenis kapal cepat dipakai *spray rail*. Muller-Graf (1991) melakukan penyelidikan terhadap 17 bentuk *spray rail* dan didapatkan

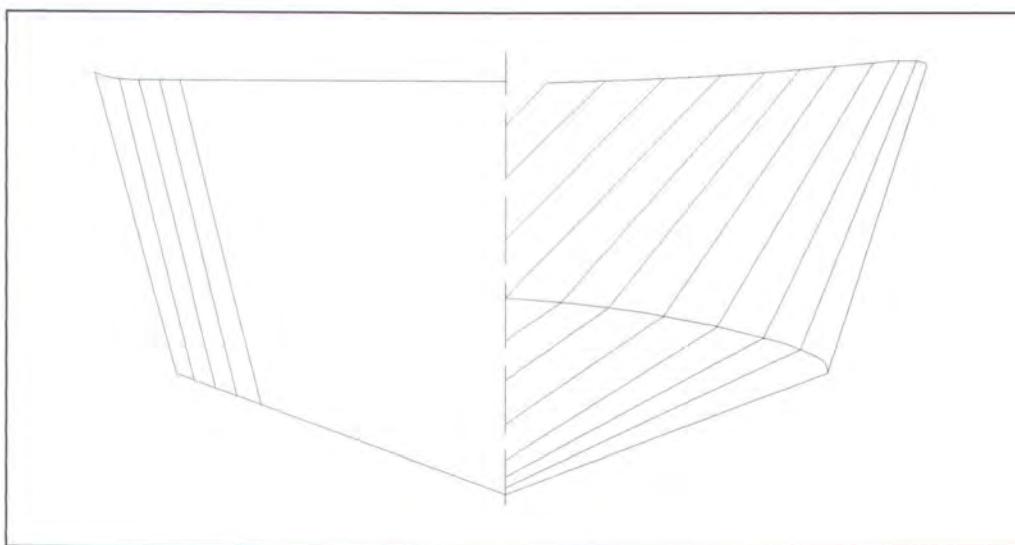
bahwa bentuk *spray rail* sangat efektif untuk mengurangi tahanan gelombang kapal. Pada kapal-kapal konvensional, tahanan pemecahan gelombang direduksi dengan bentuk bola haluan. Sharma dan Eckert (1970) menemukan bahwa bola haluan pada kondisi sarat penuh sangat efektif untuk memperhalus aliran permukaan bebas disekitar haluan dan memberikan kontribusi untuk mengurangi tahanan pemecahan gelombang. Dari analisa pola gelombang model kapal tanker dengan dan tanpa bola haluan, Sharma (1970) menunjukkan bahwa besarnya pengurangan harga tahanan pola gelombang dengan bola haluan tidak dapat langsung disamakan dengan pengurangan harga tahanan total seperti pengurangan tahanan total sebesar 20 %. Dengan eksperimen, Tanaguchi (1971) mendapatkan bahwa untuk tanker tanpa bola haluan, tahanan pemecahan gelombang menempati 25 % dari total tenaga efektif sedangkan untuk tanker dengan bola haluan, tahanan pemecahan gelombang berkurang sampai hanya menempati 10 % dari total tenaga efektif. Ini menunjukkan dengan jelas bahwa perubahan geometri haluan kapal sebagian besar menyebabkan perubahan tahanan pemecahan gelombang.

## 2.7. Kapal Cepat

Menurut Prof. Thiel [*Hydrodynamics of fast ship and boats*], kapal cepat memiliki tiga fase yang dilalui dalam mencapai kecepatan maksimumnya. Tiga fase tersebut adalah :

1. fase displacement murni (*the pure displacement mode*)
2. fase semi planing (*the semi planing phase*)
3. fase planing (*the pure planing phase*)

Batas antara satu fase ke fase berikutnya tidak bisa ditentukan secara jelas karena peralihan antar fase merupakan proses yang berlangsung secara menerus. Salah satu ciri kapal yang memiliki ketiga fase tersebut adalah mempunyai bentuk badan kapal yang yang disebut *planing hull*. Bentuk *planing hull* dapat dilihat pada Gambar 2.9.

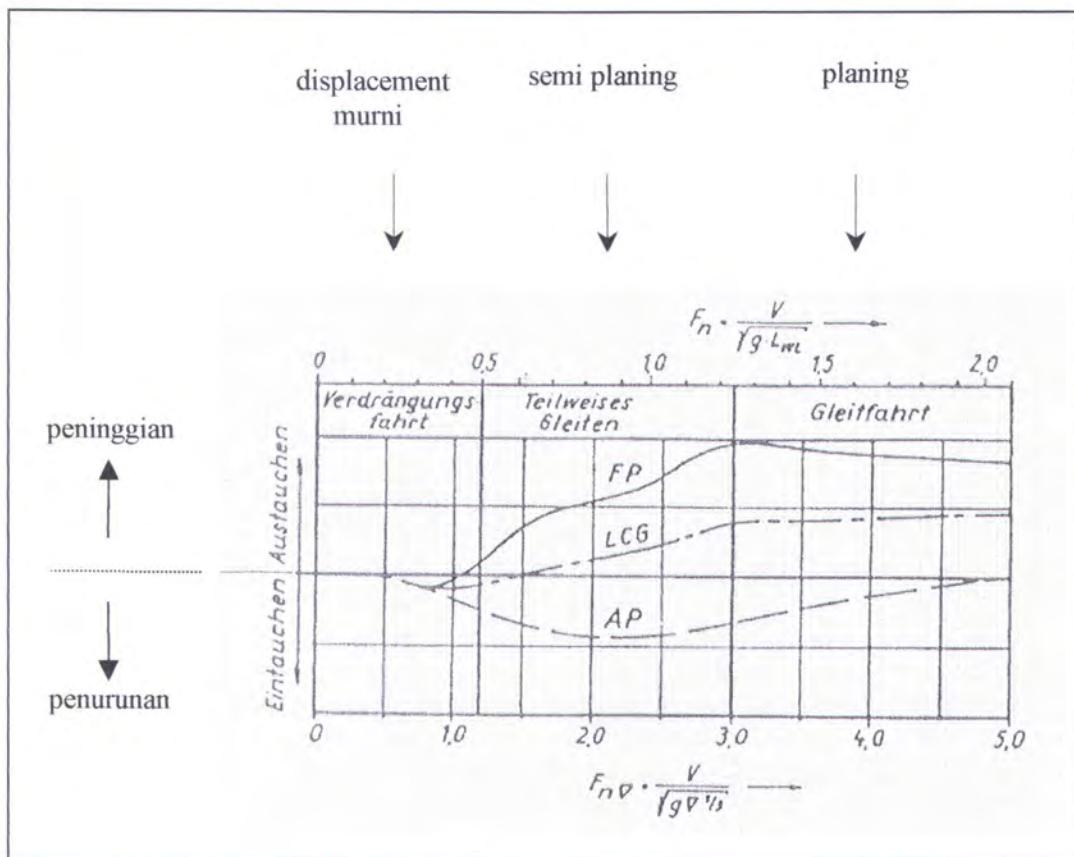


Gambar 2.9: Bodyplan planing hull

### 2.7.1. Fase Displacement Murni

Kapal yang berlayar dengan fase ini mempunyai harga  $F_n$  maksimum 0,6. Kapal-kapal komersial adalah salah satu jenis kapal yang berlayar pada fase ini. Berat total kapal (*displacement*) disamakan dengan besar gaya tekan keatas oleh air ke badan kapal yang tercelup ke dalam air (*buoyancy*). Pada  $F_n < 0,3$ , perubahan trim dan juga penurunan *CG* (*center of gravity*) yang dialami kapal adalah sangat kecil dan diabaikan walaupun penurunan dari *CG* tetap ada. Pada  $F_n > 0,3$ , haluan kapal akan terangkat karena adanya tekanan pada bagian alas depan kapal sedangkan buritan kapal mengalami penurunan (Gambar 2.10).

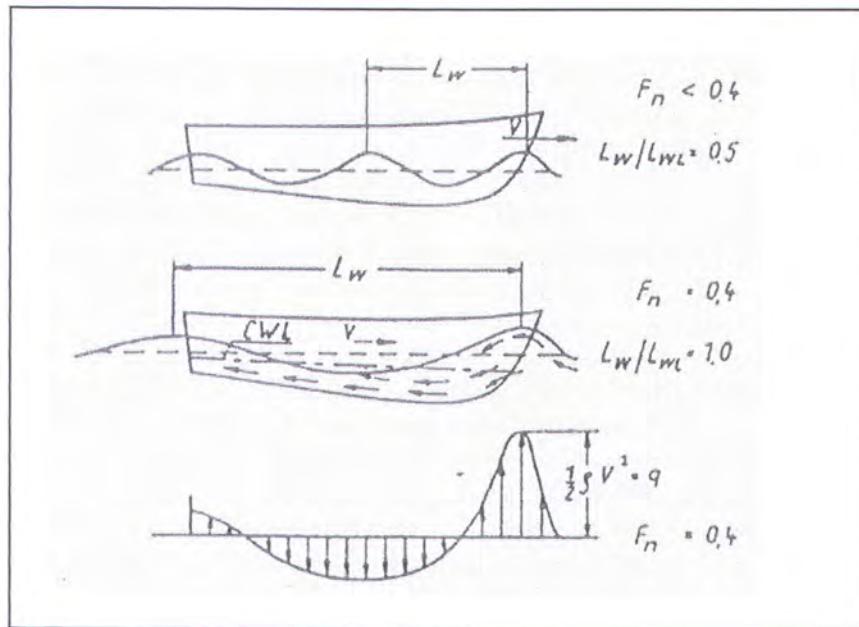
Sampai pada  $F_n = 0,4$ , titik CG menjadi lebih kecil dari kondisi pada pada kecepatan  $v = 0$  knot.



Gambar 2.10: Posisi FP, AP dan LCG pada setiap fase

Pada  $F_n < 0,4$  atau  $V/L < 1,25$ , terdapat lebih dari satu rangkaian gelombang disepanjang panjang kapal (Lwl) seperti terlihat pada Gambar 2.11. Pada  $F_n = 0,43 \sim 0,5$  atau  $V/L = 1,4 \sim 1,56$ , harga tahanan gelombang kapal mencapai nilai maksimum. Pada kecepatan tersebut kapal berlayar dengan trim buritan yang besar pada gelombang haluan yang ditimbulkannya. Rentang kecepatan pada kondisi ini disebut '*hump speed*'. Pada  $F_n > 0,5$ , puncak

gelombang kedua yang ditimbulkan oleh gelombang haluan berada jauh dibelakang buritan kapal.

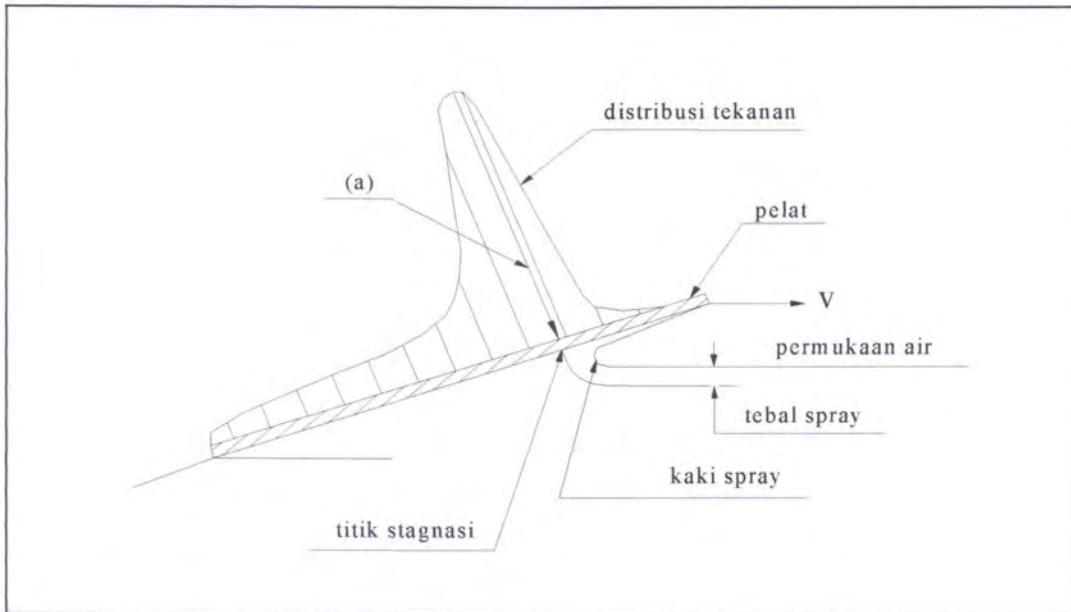


Gambar 2.11: Distribusi gelombang dan tekanan disepanjang Lwl

### 2.7.2. Fase Semi Planing

Rentang kecepatan kapal pada fase ini adalah  $0,6 < Fn < 1,2$ . Pada fase semi planing, fenomena gaya angkat (*hydrodynamic lift*) lebih jelas terlihat pada haluan kapal. Fenomena ini disebabkan oleh terjadinya titik stagnasi (*stagnation point*). Gambar 2.11 menunjukkan distribusi tekanan dan titik stagnasi pada pelat yang mengalami planing dimana besar tekanan pada titik tersebut mencapai nilai maksimum sebesar  $(a) = \frac{1}{2} \rho V^2$ . Dari percobaan didapatkan bahwa pada fase ini terjadi kenaikan CG. Posisi CG pada  $Fn = 0,6$  sama dengan harga CG pada kecepatan  $v = 0$  knot. Kenaikan CG ini terus terjadi sampai  $Fn = 1,2$  (Gambar 2.10). Haluan kapal terus naik dan sampai  $Fn = 0,9$  transom kapal mulai masuk di

air. Pada rentang  $0,9 < Fn < 1,2$ , transom kapal terangkat tetapi tidak sebesar kenaikan yang terjadi pada haluan kapal sehingga trim buritan tetap meningkat sampai  $Fn = 1,2$ .



Gambar 2.12: Distribusi tekanan pada permukaan 'planing plate'

### 2.7.3. Fase Planing

Pada fase ini hampir semua badan kapal terangkat ke atas permukaan air dan hanya sedikit bagian buritan kapal yang tercelup dalam air. Luas permukaan basah badan kapal sangat kecil dan besar trim yang terjadi lebih kecil daripada trim yang terjadi pada fase semi planing.

## **BAB 3**

### **PROSEDUR PENELITIAN**

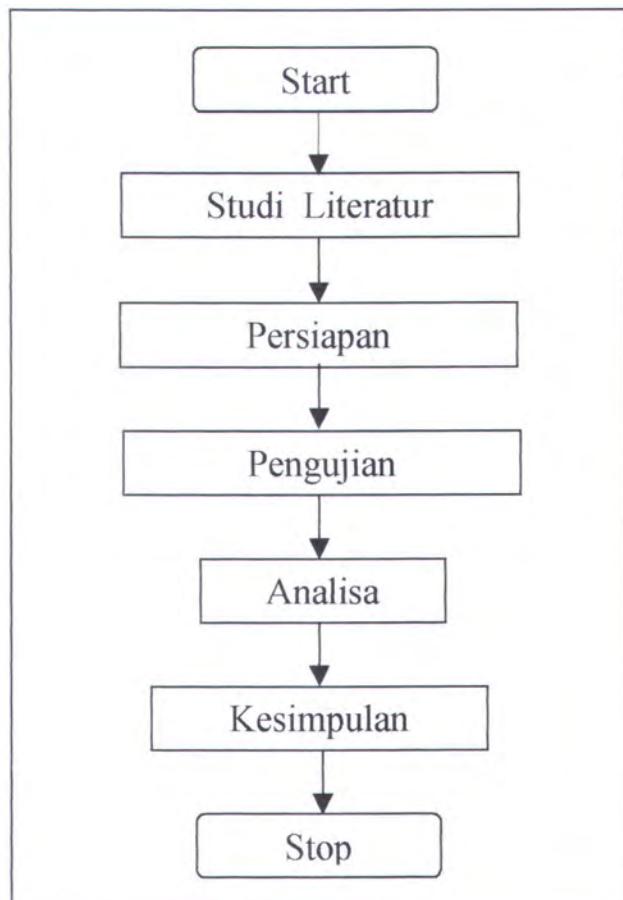
## **BAB 3**

### **PROSEDUR PENELITIAN**

#### **3.1. Metode Penulisan**

Penyelesaian masalah dalam tugas akhir ini diselesaikan dengan studi literatur dari berbagai sumber dan serangkaian percobaan yang dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika FTK-ITS.

Secara lengkap metodologi penulisan yang ditempuh penulis dapat dilihat pada diagram berikut ini:



Gambar 3.1: Diagram alur penelitian

### 3.2. Persiapan

Persiapan yang dimaksud disini adalah segala kegiatan perencanaan peralatan maupun model kapal yang nantinya akan digunakan dalam pengambilan data.

#### 3.2. a. Peralatan Percobaan

Peralatan yang digunakan dalam percobaan adalah sebagai berikut :

##### 1. Towing Tank

Towing tank yang terbuat dari beton yang mempunyai ukuran sebagai berikut :

Panjang : 50 m

Lebar : 3 m

Tinggi dinding : 2 m

Tinggi permukaan air : 1,8 m

Towing tank dilengkapi dengan *triming tank* untuk setting model kapal. Towing tank juga dilengkapi dengan peredam gelombang (*end beach*) pada salah satu ujung towing tank dan dilengkapi dua rel dari profil aluminium.

##### 2. Kereta Tarik

Kereta tarik dibuat dari bahan aluminium yang dilengkapi dengan roda dari bahan sintetik sebanyak 7 buah. Kereta ini digerakkan oleh 4 buah motor listrik linier yang terletak disebelah kanan kereta yang menghasilkan kecepatan maksimum kereta 4 m/det. Instrumen – instrumen maupun operator tidak berada di atas kereta melainkan berada di ruang kontrol kecuali perangkat resistance dynamometer amplifier.

### 3. Ruang Kontrol

Semua pengoperasian dari resistance test dilakukan di ruang kontrol. Di ruang kontrol terdapat :

- a) Kontol dari kereta tarik (start, kecepatan kereta, stop)
- b) Pre Amplifier

Pre Amplifier atau ADC (Analog to Digital Conversion) yang merubah signal analog ke digital.

- c) Computer

Menggunakan computer Pentium II MMX dilengkapi dengan printer, digital interface dan software untuk kalibrasi maupun acquisition data.

- d) Speedometer

Menggunakan universal counter timer RACAL-DANA 9902. Secara digital, counter ini menunjukkan kecepatan kereta setiap saat pada waktu dilakukan penarikan. Dari speedometer ini dapat dilihat bilamana kecepatan kereta sudah konstan. Pada saat speed button yang menggerakkan jarum voltmeter diputar, pada saat itu juga kereta mulai bergerak (2,5 volt setara dengan kecepatan 1 m/dt). Pada saat yang sama, pada universal counter terbaca secara digital besar kecepatan kereta.

- e) Distance meter

Dengan menggunakan alat ukur yang sama dengan speedometer yaitu universal counter timer, Racal-Dana 9902 dapat dilihat secara digital jarak yang sudah ditempuh setiap saat dari model sejak meninggalkan ujung tangki.

#### 4. Resistance Dynamometer

Resistance dynamometer adalah dalam bentuk load cell dengan kapasitas maksimum 2 kg.

#### 5. RDA (*Resistance Dynamometer Amplifier*)

Signal dari resistance dynamometer diperkuat oleh amplifier. Amplifier yang digunakan adalah buatan West Japan Fluid Laboratory.

#### 6. Kamera

Berupa kamera foto dan video. Kamera digunakan untuk mengambil gambar dari model kapal saat ditarik pada masing-masing kecepatan sehingga kondisi gelombang dan permukaan air yang membasahi badan model kapal dapat dianalisa. Kamera foto juga digunakan untuk mengambil gambar peralatan dan keseluruhan instalasi yang digunakan.

### **3.2.b. Persiapan Model Kapal**

Model kapal cepat yang digunakan dalam percobaan adalah milik laboratorium Hidrodinamika FTK-ITS. Dalam percobaan ini dipakai model kapal cepat dengan spesifikasi sebagai berikut :

Data model kapal ‘TA 2000’ :

$$\text{Loa} = 0,885 \text{ m} \quad V = 0,003 \text{ m}^3$$

$$\text{Lwl} = 0,730 \text{ m} \quad \text{WSA} = 0,148 \text{ m}^2$$

$$B = 0,215 \text{ m} \quad C_B = 0,361$$

$$H = 0,153 \text{ m} \quad C_P = 0,700$$

$$T = 0,053 \text{ m}$$

Model kapal terbuat dari bahan fibreglass dan dilengkapi dengan tiga buah spray strip. Untuk mendapatkan aliran turbulent, pada model kapal dilengkapi dengan turbulent stimulator berupa kertas gosok ‘flying wheel no. 3’ dengan lebar 1,5 cm, ditempatkan pada jarak 4,905 cm di depan station 9. Sebelum ditarik di towing tank, model diberi garis sarat dan garis station untuk memudahkan menganalisa kondisi gelombang pada lambung model kapal dan menentukan luas permukaan basah badan kapal pada setiap kecepatan penarikan. Model kapal akan ditarik pada tiga kondisi sarat dengan range kecepatan penarikan antara 0,544 m/dt sampai dengan 2,12 m/dt.

### **3.2.c. Faktor – faktor Korelasi dan Sifat – sifat Fisik**

Percobaan model dan analisanya dilakukan menurut metode froude yaitu tahanan total dibagi atas tahanan gesekan dan tahanan sisa yang didominasi oleh tahanan gelombang. Koefisien tahanan gesekan dihitung menurut ITTC 1957 yaitu :

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}$$

dengan faktor kekasaran  $C_A = 0,0004$ . Analisa hasil percobaan didasarkan pada sifat – sifat fisik sebagai berikut (nilai konversi dari software yang dipakai):

- Gaya tarik bumi ( $g$ ) = 9,81 m/dt<sup>2</sup>
- Density air laut pada  $T = 28^\circ C$  ( $\rho$ ) = 1022,3 kg/m<sup>3</sup>
- Viskositas kinematis air laut pada  $T = 28^\circ C$  ( $\mu$ ) =  $0,8847 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/dt.
- Density air tawar pada  $T = 28^\circ C$  ( $\rho$ ) = 1015,78 kg/m<sup>3</sup>
- Viskositas kinematis air tawar pada  $T = 28^\circ C$  ( $\mu$ ) =  $0,836 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/dt.

### 3.3. Prosedur Pengujian

Untuk melakukan penarikan model kapal, dapat diikuti prosedur sebagai berikut :

- a. Sebelum model kapal dicelupkan kedalam towing tank, model kapal ditimbang lebih dahulu untuk mengetahui beratnya sehingga dari displacement model yang diketahui dikurangi dengan berat model akan didapatkan berat ballast yang harus diletakkan dalam model.
- b. Model dimasukkan ke towing tank dan diberi ballast yang sudah ditentukan dan diatur kondisi even keelnya.
- c. Dipasang guide depan, tengah dan belakang model yang menghubungkan model kapal dan kereta. Guide ini menyebabkan model kapal pada waktu ditarik kereta akan bergerak lurus.
- d. Resistance dynamometer yang berupa load cell yang melekat pada guide tengah model dihubungkan dengan RDA (*Resistance Dynamometer Amplifier*). Sebelum load cell dipasang dan dihubungkan pada model, terlebih dahulu harus dilakukan kalibrasi yang akan diuraikan kemudian. Kapasitas maksimum load cell adalah 2 kg.
- e. RDA dihubungkan dengan ADC (*Analog Digital Conversion*) box dan ADC dihubungkan dengan perangkat komputer dan dilakukan *zero set calibration* yang akan diuraikan kemudian.
- f. Pemeriksaan ulang terhadap semua ikatan – ikatan pada model, kereta, semua peralatan kontrol sudah sudah dihidupkan dan kondisi permukaan air harus betul-betul tenang.

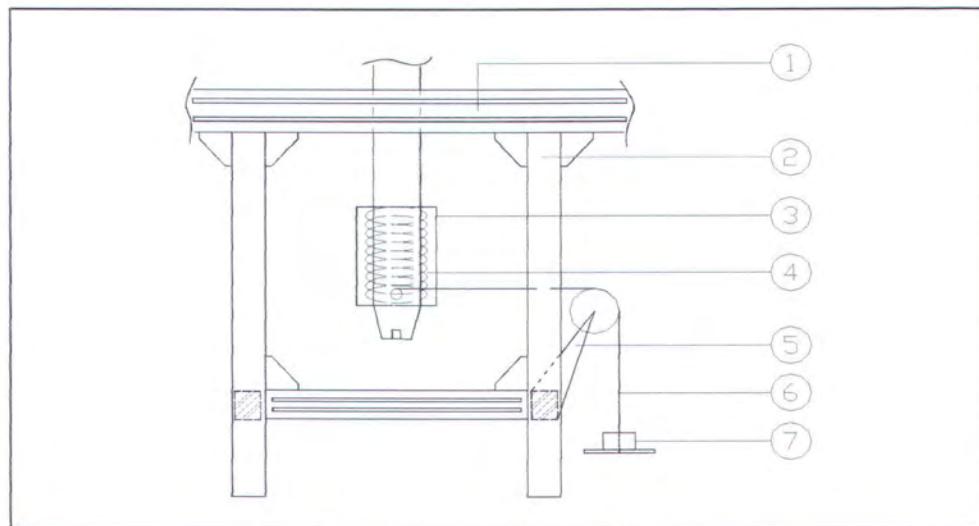
### 3.4. Validitas Rancangan Percobaan

Untuk menghindari adanya ancaman terhadap validitas rancangan penelitian, dilakukan kalibrasi terhadap peralatan yang digunakan selama percobaan, yang meliputi :

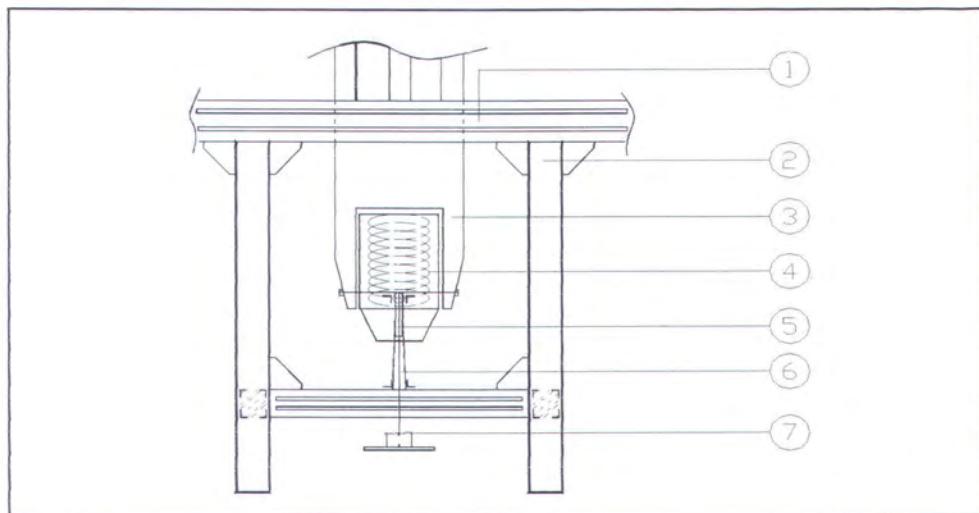
#### 1. Kalibrasi Resistance Dynamometer

Setiap kali akan dilakukan percobaan maka resistance dynamometer harus dikalibrasi. Pelaksanaan kalibrasi adalah sebagai berikut :

- Load cell yang terpasang pada frame dan profilnya diletakkan secara horizontal pada sebuah balance support.
- Load cell dihubungkan dengan timbangan dengan posisi seperti terlihat pada Gambar 3.2. Pada pandangan depan, posisi antara sumbu load cell dan tali yang menghubungkan load cell dengan timbangan harus saling tegak lurus (Gambar 3.2). Pada pandangan samping, posisi antara sumbu load cell dan tali yang menghubungkan load cell dengan timbangan harus berada pada satu garis lurus (Gambar 3.3).
- Load cell dihubungkan ke resistance dynamometer amplifier.
- Pembebanan untuk kalibrasi menggunakan anak timbangan misalnya 0 kg, 0,5 kg, 1 kg, 1,5 kg dan 2 kg. Pada setiap pembebanan pada load cell, akan didapatkan harga voltage pada resistance dynamometer amplifier. Dari sejumlah pembebanan dibuat suatu grafik beban (kilogram atau newton) dengan voltage (volt) sehingga dapat dilihat linieritas dari alat dan diperoleh konstanta kalibrasi (N/volt).



Gambar 3.2: Pandangan depan load cell dan balance support



Gambar 3.3 Pandangan samping load cell dan balance support

Keterangan Gambar 3.2 dan 3.3

1. Pemegang (holder) load cell
2. Balance support
3. Rumah load cell
4. Load cell
5. Timbangan

6. Tali timbangan
  7. Beban
2. Setelah semua peralatan kontrol dihidupkan dan terhubung seperti terlihat pada Gambar 3.3. Dilakukan beberapa *zero set calibration*, diantaranya :
- (a) Zero set indicator pada resistance dynamometer amplifier (RDA) secara manual dengan memutar tombol *(b)*.
  - (b) Zero set pada analog to digital conversion (ADC) dengan menghubungkan in put nomer satu pada ADC box dengan ground dan komputer akan melakukan zero set secara otomatis.
  - (c) Setelah kabel ground dilepas, konektor RDA dihubungkan lagi ke input nomer satu pada ADC box dan dilakukan proses *zero calibration* untuk resistance dynamometer amplifier. Pada saat komputer sudah siap memproses, tombol *calibration (a)* pada RDA box ditekan sampai komputer selesai memproses secara otomatis. Pada saat ditekan, indikator menunjukkan suatu angka yang selanjutnya disebut angka kalibrasi. Setelah selesai ditekan indikator akan menunjukkan angka nol lagi.

7. Komputer (*soft ware*)
8. Operator box (signal speed)

### 3.5. Prosedur Pengambilan Data

Langkah-langkah yang penulis lakukan untuk melakukan pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Model ditarik dengan kecepatan yang direncanakan. Kecepatan kereta dikontrol dengan speedometer di ruang kontrol. Dari speedometer ini dapat dilihat bilamana kecepatan kereta sudah konstan. Kereta mulai bergerak saat speed button yang menggerakkan jarum voltmeter diputar.
2. Pada saat kecepatan kereta konstan tercapai, software komputer melakukan pengukuran secara otomatis.
3. Setelah komputer selesai memproses, kecepatan kereta diperlambat sampai berhenti. Kecepatan konstan yang dicapai (ditunjukkan di display speedometer) dimasukkan sebagai input program perhitungan tahanan. Kecepatan yang dimasukkan adalah dalam m/dt.
4. Komputer akan memberikan output berupa kecepatan model (m/dt), tahanan total model kapal (kg), angka Reynolds ( $10^{-6}$ ), koefisien tahanan total model ( $10^{-3}$ ), koefisien tahanan gesek model ( $10^{-3}$ ), koefisien tahanan sisa model ( $10^{-3}$ ) dan angka Froude.
5. Langkah 1 sampai 4 diulang untuk kecepatan penarikan berikutnya. Penarikan dilakukan setelah air di tangki benar-benar tenang.

## **BAB 4**

### **ANALISA DAN DISKUSI HASIL EKSPERIMEN**

## BAB 4

### ANALISA DAN DISKUSI HASIL EKSPERIMENT

#### 4.1. Hasil Eksperimen

Data-data yang diperoleh berdasarkan prosedur pengambilan data selengkapnya disajikan sebagai berikut :

##### **1. Data model kapal pada kondisi 1:**

$$T = 0.053 \text{ m}$$

$$V = 0.003 \text{ m}^3$$

$$H = 0.153 \text{ m}$$

$$\text{WSA} = 0.148 \text{ m}^2$$

$$L_{pp} = 0.681 \text{ m}$$

$$L_{cb} = -0.128 \text{ m}$$

$$L_{wl} = 0.730 \text{ m}$$

$$C_{bwl} = 0.36$$

$$B_{wl} = 0.215 \text{ m}$$

$$C_m = 0.51$$

$$L/B = 3.395$$

$$C_p = 0.70$$



No	V model (m/dt)	F <sub>n</sub>	R <sub>n</sub> (10 <sup>-6</sup> )	C <sub>r</sub> model (10 <sup>-3</sup> )	C <sub>f</sub> model (10 <sup>-3</sup> )	C <sub>t</sub> model (10 <sup>-3</sup> )	R <sub>t</sub> model (kg)
1	0.544	0.20	0.475	4.880	5.548	10.428	0.023
2	0.804	0.30	0.702	5.437	5.070	10.507	0.051
3	1.072	0.40	0.936	9.114	4.756	13.869	0.120
4	1.344	0.50	1.174	16.359	4.529	20.888	0.284
5	1.600	0.60	1.408	17.054	4.358	21.412	0.418
6	1.812	0.68	1.582	14.238	4.253	18.492	0.456
7	1.896	0.71	1.656	12.731	4.214	16.945	0.458
8	1.960	0.73	1.711	12.054	4.185	16.239	0.469
9	2.120	0.79	1.851	10.350	4.118	14.468	0.489

Tabel 4.1: Hasil penarikan model kondisi 1

No	V model (m/dt)	Fn	Rn (10 <sup>-6</sup> )	Cr model (10 <sup>-3</sup> )	Cf model (10 <sup>-3</sup> )	Ct model (10 <sup>-3</sup> )	Rt model (kg)
1	0.528	0.19	0.484	7.142	5.524	12.666	0.033
2	0.792	0.29	0.726	7.466	5.032	12.497	0.073
3	1.020	0.37	0.935	12.610	4.757	17.367	0.169
4	1.356	0.49	1.244	21.372	4.474	25.846	0.443
5	1.612	0.59	1.477	30.202	4.314	34.516	0.836
6	1.812	0.66	1.661	33.851	4.211	38.062	1.165
7	1.860	0.68	1.705	26.749	4.189	30.937	0.988
8	2.088	0.76	1.913	20.842	4.091	24.933	1.014

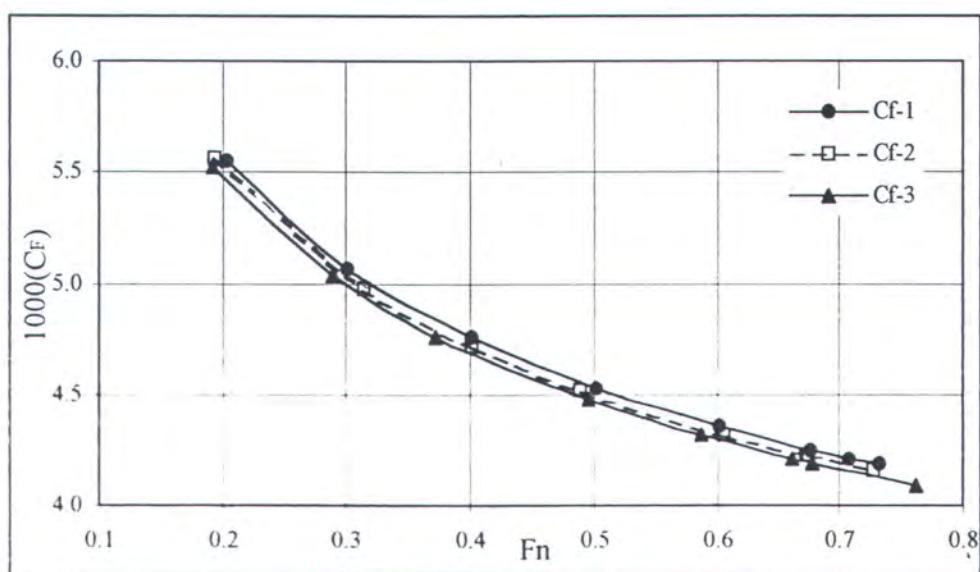
Tabel 4.3: Hasil penarikan model kondisi 3

#### 4.2. Analisa Data

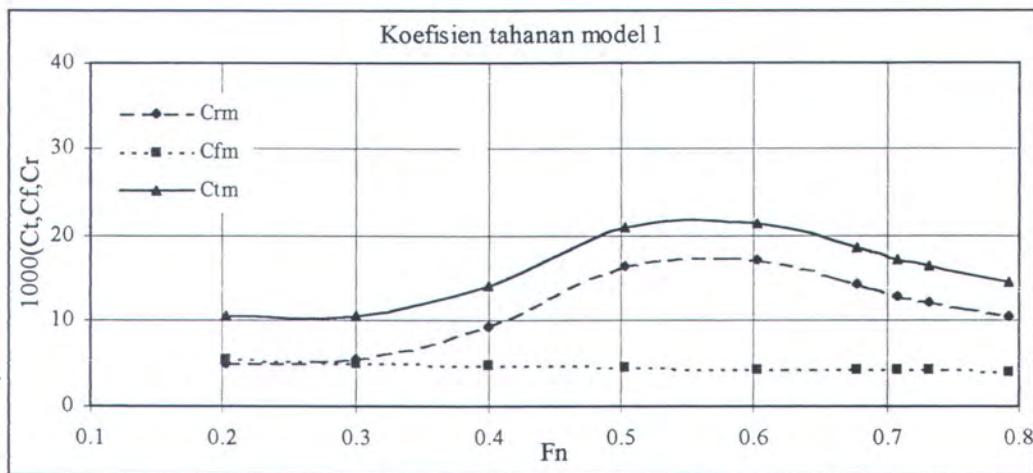
Sarana towing tank di Laboratorium Hidrodinamika-ITS hanya mampu menghitung besarnya tahanan model kapal dan tahanan gesek diprediksi dengan garis korelasi ITTC-1957. Secara umum tahanan gelombang dapat diukur melalui eksperimen dengan metode analisa gelombang melintang kapal (*wake traverse analysis*). Salah satunya adalah eksperimen yang dilakukan oleh Insel dan Molland (1992). Metode ini menggunakan perlengkapan ‘wake traverse’ yang terdiri dari 24 pitot tube, 2 katup solenoid dan 12 sensor tekanan dan sebuah komputer dengan sistem akuisisi data untuk menganalisa pola gelombang. Sejauh ini, teknik ini telah memberikan hasil memuaskan untuk menentukan tahanan kekentalan (*viscous drag*) pada katamaran. Metode lain digunakan oleh Cordier dan Dumez (1993) dengan menggunakan 3D LDV (*Three Dimensional Laser Doppler Velocimeter*). Perbandingan antara kedua metode tersebut menghasilkan hasil yang memuaskan.

#### 4.2.1. Pengaruh Kecepatan dan Bentuk Badan Kapal ( $C_B$ ) Terhadap Koefisien Tahanan Kapal

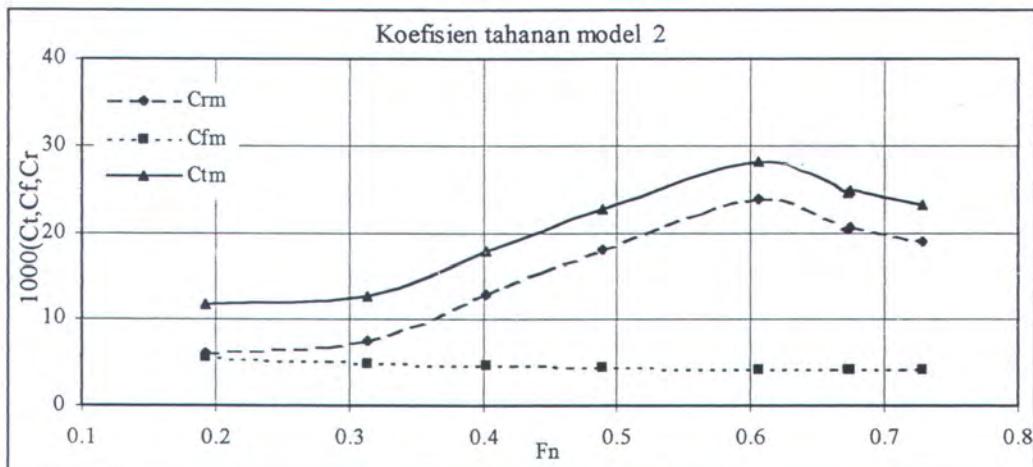
Dari Gambar 4.2 sampai dengan 4.4 dapat dilihat bahwa koefisien tahanan model semakin besar dengan bertambahnya kecepatan. Pada kecepatan rendah ( $F_n < 0,3$ ), harga koefisien tahanan gesek ( $C_F$ ) mendominasi harga koefisien tahanan total model ( $C_T$ ).  $C_F$  berkisar antara (40 – 50)% dari koefisien tahanan total. Dengan bertambahnya kecepatan ( $F_n$ ), dominasi  $C_F$  semakin berkurang. Harga  $C_F$  cenderung bertambah kecil dengan peningkatan harga koefisien blok (Gambar 4.1). Koefisien tahanan total model ( $C_T$ ) memiliki pola yang berbeda dengan  $C_F$ . Pada kecepatan awal ( $F_n < 0,3$ ) harga  $C_T$  cenderung konstan. Dengan bertambahnya kecepatan, harga  $C_T$  mulai semakin bertambah besar dan terjadi penurunan pada kecepatan antara  $F_n = 0,6$  sampai  $F_n = 0,7$ . Ini disebabkan oleh penurunan harga koefisien tahanan sisa yang didominasi oleh koefisien tahanan gelombang ( $C_W$ ).



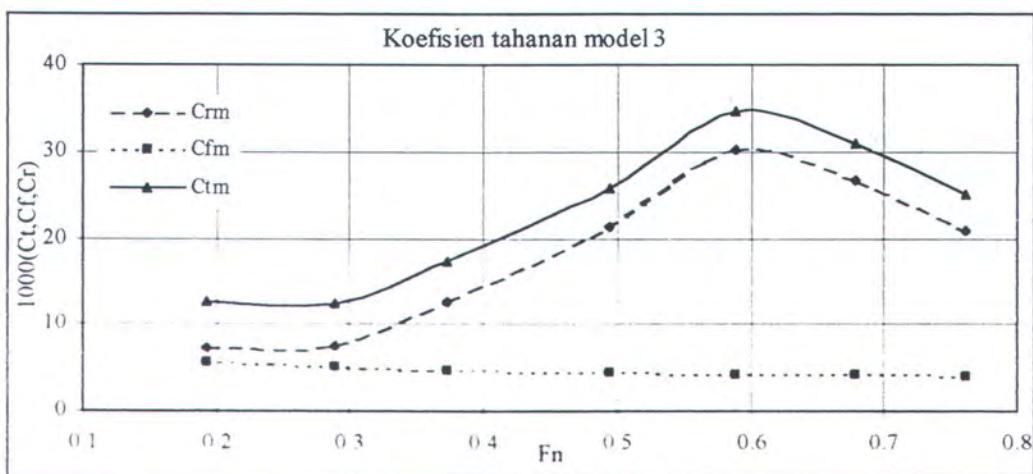
Gambar 4.1: Grafik  $C_F$  untuk model 1, 2 dan 3



Gambar 4.2: Grafik koefisien tahanan model pada kondisi 1



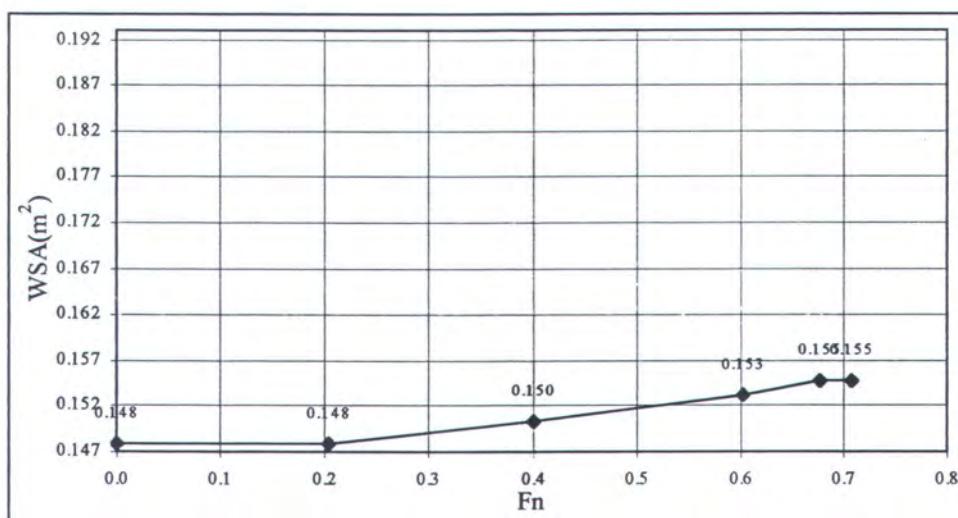
Gambar 4.3: Grafik koefisien tahanan model pada kondisi 2



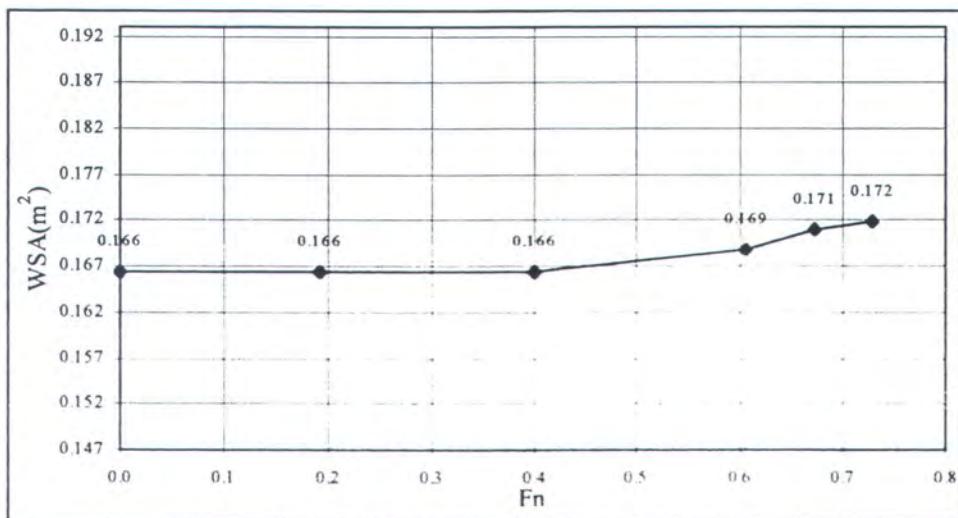
Gambar 4.4: Grafik koefisien tahanan model pada kondisi 3

#### 4.2.2. Pengaruh Kecepatan Terhadap Perubahan Luas Permukaan Basah Badan Kapal (WSA).

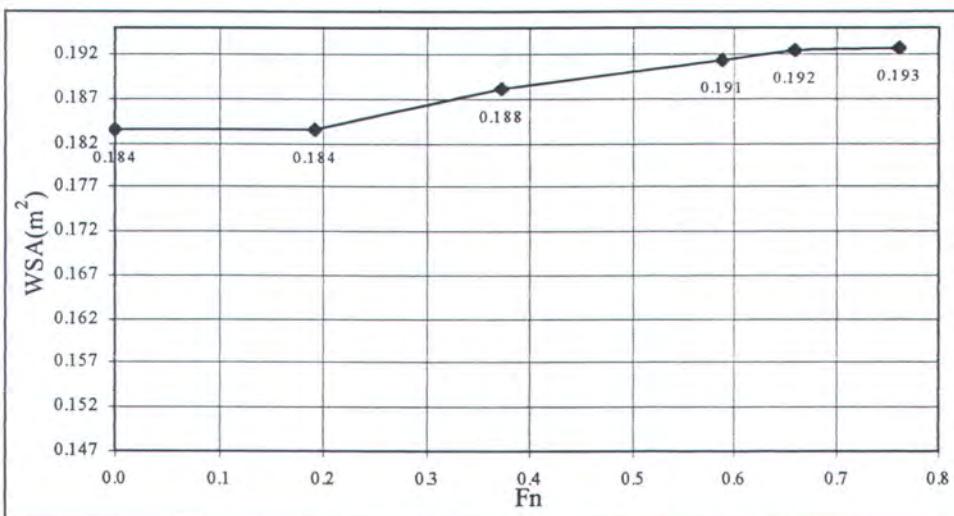
Dari pengambilan gambar dengan menggunakan kamera foto pada beberapa kecepatan penarikan model, didapatkan harga permukaan basah badan model kapal. Perhitungan luas permukaan basah badan model kapal dilakukan dengan pengamatan foto secara visual. Gambar dan tabel perhitungannya dapat dilihat pada lampiran C.



Gambar 4.5: Grafik perubahan WSA pada kondisi 1



Gambar 4.6: Grafik perubahan WSA pada kondisi 2



Gambar 4.7: Grafik perubahan WSA pada kondisi 3

Dari Gambar 4.5 sampai dengan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa luas permukaan basah badan model kapal semakin besar dari  $F_n = 0$  sampai  $F_n = 0,8$ . Pada setiap penambahan kecepatan penarikan, badan model kapal bagian depan terangkat karena adanya gaya angkat keatas (*lift force*). Gaya angkat ini juga terjadi pada bagian buritan tetapi besarnya jauh lebih kecil dari bagian haluan. Pada rentang kecepatan  $F_n = 0,2 \sim 0,8$ , bagian buritan kapal mengalami penurunan sehingga karena bentuk bagian belakang model relatif gemuk menyebabkan pada rentang kecepatan tersebut terjadi penambahan luas permukaan basah (WSA). Jika diasumsikan tahanan model tetap maka penambahan WSA akan menyebabkan koefisien tahanan model menurun. Jika penambahan luas permukaan basah model diidentikkan dengan kenaikan faktor bentuk model maka dilakukan studi parametrik terhadap beberapa harga faktor bentuk untuk menunjukkan adanya penurunan harga koefisien tahanan khususnya harga koefisien tahanan pola gelombang. Studi parametrik dilakukan pada harga faktor bentuk antara  $0.05 \sim 0.3$ . (Lampiran B).

#### 4.2.3. Penentuan Faktor Bentuk Model

- **Metode Prohaska**

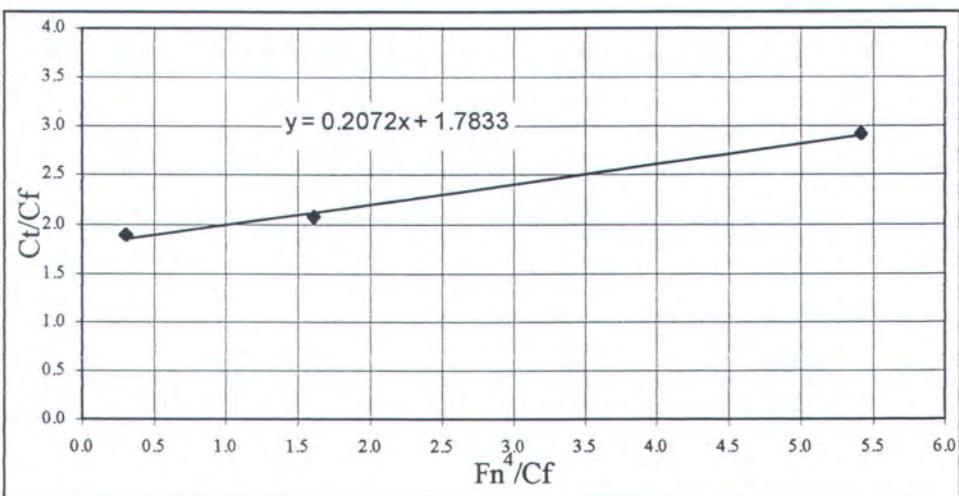
Faktor bentuk ( $k$ ) ditentukan melalui uji tahanan dan salah satu cara untuk mendapatkan faktor bentuk dari model adalah dengan metode Prohaska (1966).

Menurut Prohaska :  $C_T = C_W + (1+k)C_{FO}$ , dimana  $C_W$  adalah koefisien tahanan gelombang spesifik dan  $C_{FO}$  adalah koefisien tahanan gesek. Koefisien tahanan gelombang dianggap sama dengan :  $C_W = y Fn^4$  dimana  $y$  adalah suatu koefisien

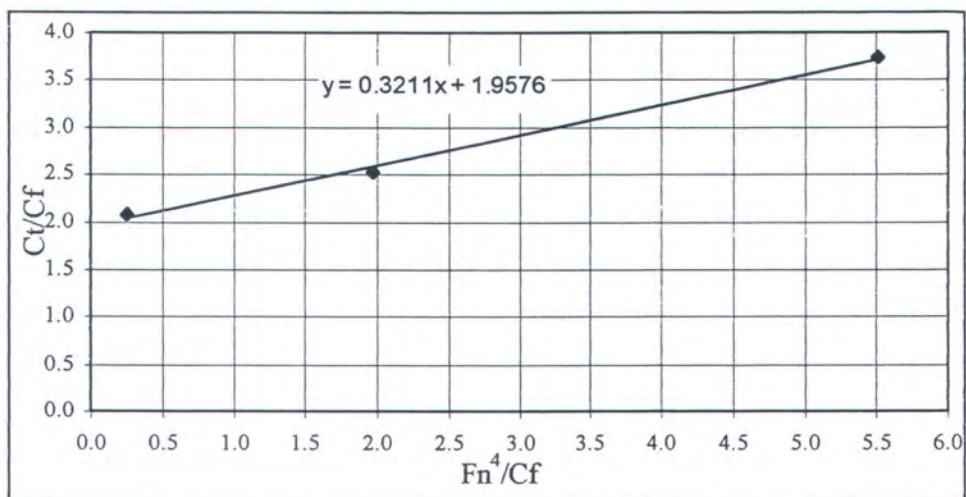
sehingga ;  $\frac{C_T}{C_{FO}} = (1+k) + \frac{y Fn^4}{C_{FO}}$ . Dengan demikian maka semua harga

$\frac{C_T}{C_{FO}}$  jika dihubungkan akan merupakan garis lurus dengan kemiringan  $y$  dan memotong  $(1+k)$  di sumbu ordinat bila sumbu horizontal yang dipakai adalah  $\frac{Fn^4}{C_{FO}}$ . Besarnya harga  $C_T$  diperkirakan melalui percobaan dengan kecepatan rendah yaitu antara  $0,1 < Fn < 0,22$ .

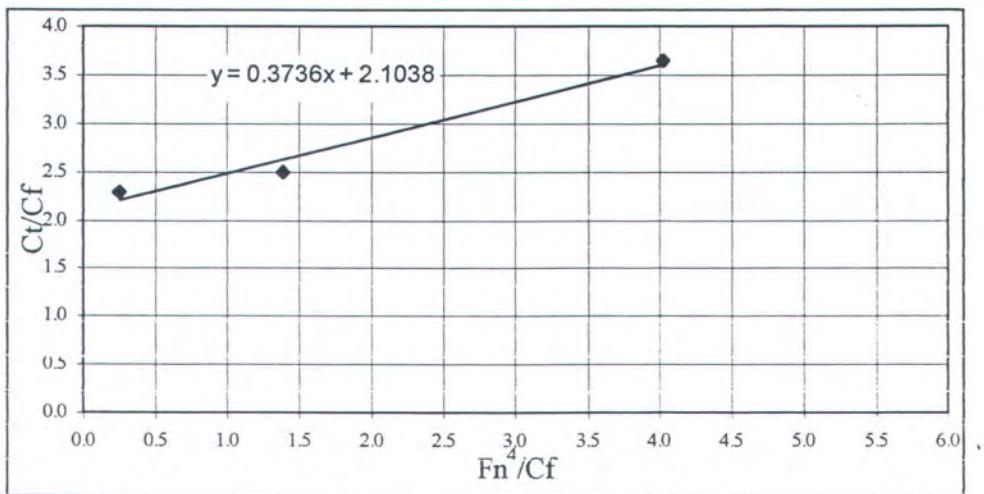
Untuk mendapatkan harga pendekatan faktor bentuk dari model yang telah diuji, nilai  $C_T$  yang digunakan adalah harga  $C_T$  yang dihasilkan dari penarikan model pada rentang kecepatan  $0,2 < Fn < 0,4$ .



Gambar 4.8: Metode Prohaska untuk menentukan faktor bentuk model 1



Gambar 4.9: Metode Prohaska untuk menghitung faktor bentuk model 2

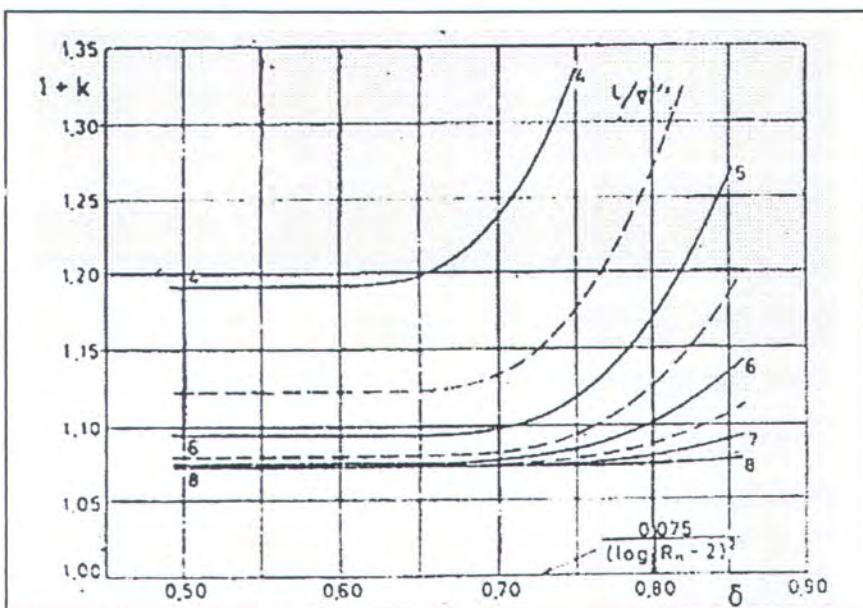


Gambar 4.10: Metode Prohaska untuk menghitung faktor bentuk model 3

Dari Gambar 4.8 sampai dengan 4.10 dapat diketahui bahwa harga faktor bentuk ( $k$ ) untuk masing-masing model sangat besar yaitu berturut-turut adalah 0,78, 0,96 dan 1,10. Harga faktor bentuk yang besar merupakan harga untuk bentuk yang penuh (gemuk). Harga yang besar tersebut tidak wajar jika dianggap sebagai faktor bentuk sebenarnya. Faktor bentuk yang besar tersebut terjadi karena tahanan yang tinggi yang dihasilkan dari percobaan dan rentang kecepatan ( $F_n$ ) yang digunakan dalam percobaan ini lebih besar dari 0,2. Sedangkan untuk mendapatkan faktor bentuk dengan metode Prohaska disarankan menggunakan hasil percobaan dengan kecepatan rendah yaitu pada  $0,1 < F_n < 0,22$ .

#### ▪ Metode Hughes dan Cutland

Hasil penyelidikan Hughes dan Cutland (1973) memberikan variasi  $(1 + k)$  terhadap koefisien bentuk ( $C_B$ ) dan terhadap rasio panjang – displacement  $L/\nabla^{1/3}$  (Gambar 4.11). Dari Gambar 4.11, didapatkan harga faktor bentuk untuk masing-masing model (Tabel 4.4).



Gambar 4.11: Grafik variasi  $(1+k)$  terhadap  $C_B$  dan  $(L/\nabla^{1/3})$

	Model 1	Model 2	Model 3
CB	0,361	0,415	0,450
L/ $\nabla^{1/3}$	5,058	4,599	4,296
(1+k) Hughes & Cutland	1,09	1,12	1,16
(1+k) dari Prohaska	1,78	1,96	2,10

Tabel 4.4: Harga faktor bentuk dari Hughes dan Prohaska

Harga faktor bentuk model dari Hughes lebih memungkinkan untuk kondisi sebenarnya dan dipakai untuk perhitungan  $C_{WP}$  ( $C_{WP} = C_T - (I+k)C_F$ ).

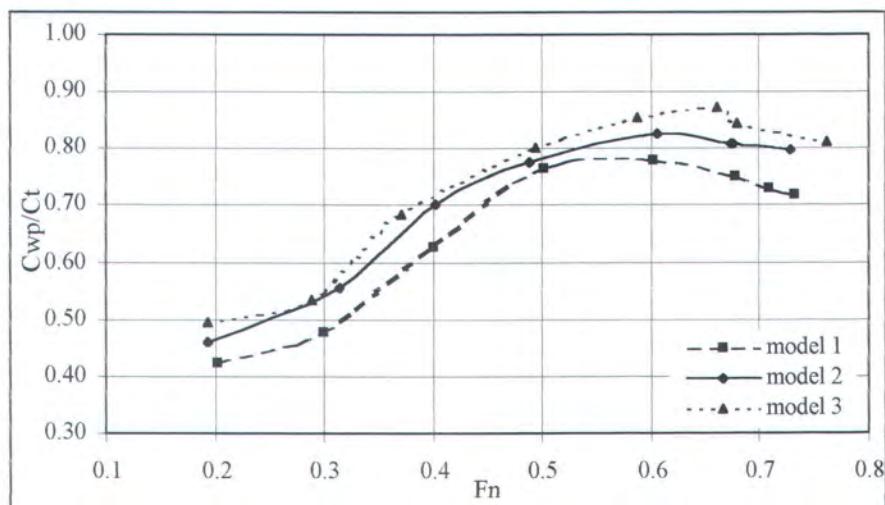
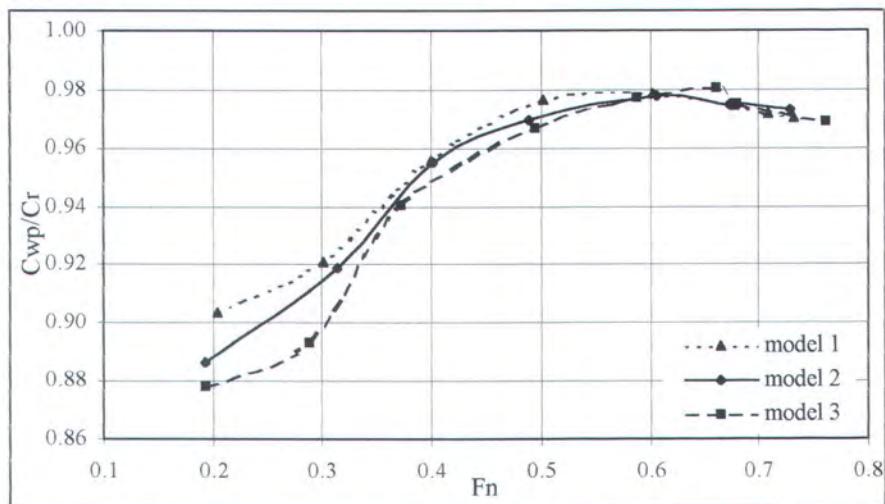
Fn	(1+k)	Ct	Cr	Cf	(1+k)Cf	$C_{WP}=C_t-(1+k)C_f$	$C_{WP}/C_t$	$C_{WP}/C_r$
0.20	1.09	10.428	4.880	5.548	6.020	4.408	0.423	0.903
0.30	1.09	10.507	5.437	5.070	5.500	5.006	0.477	0.921
0.40	1.09	13.869	9.114	4.756	5.160	8.709	0.628	0.956
0.50	1.09	20.888	16.359	4.529	4.914	15.974	0.765	0.976
0.60	1.09	21.412	17.054	4.358	4.728	16.683	0.779	0.978
0.68	1.09	18.492	14.238	4.253	4.615	13.877	0.750	0.975
0.71	1.09	16.945	12.731	4.214	4.572	12.373	0.730	0.972
0.73	1.09	16.239	12.054	4.185	4.541	11.699	0.720	0.970
0.79	1.09	14.468	10.350	4.118	4.468	10.000	0.691	0.966

Tabel 4.5: Perbandingan  $C_{WP}/C_T$  dan  $C_{WP}/C_R$  untuk model 1

Fn	(1+k)	Ct	Cr	Cf	(1+k)Cf	$C_{WP}=C_t-(1+k)C_f$	$C_{WP}/C_t$	$C_{WP}/C_r$
0.19	1.12	11.599	6.034	5.565	6.250	5.349	0.461	0.887
0.32	1.12	12.544	7.568	4.976	5.589	6.956	0.555	0.919
0.40	1.12	17.686	12.971	4.715	5.295	12.391	0.701	0.955
0.49	1.12	22.595	18.075	4.520	5.076	17.519	0.775	0.969
0.61	1.12	28.136	23.816	4.320	4.852	23.284	0.828	0.978
0.67	1.12	24.575	20.349	4.226	4.746	19.830	0.807	0.974
0.68	1.12	24.765	20.541	4.224	4.744	20.021	0.808	0.975
0.73	1.12	23.073	18.915	4.159	4.670	18.403	0.796	0.973

Tabel 4.6: Perbandingan  $C_{WP}/C_T$  dan  $C_{WP}/C_R$  untuk model 2

$F_n$	(1+k)	$C_t$	$C_r$	$C_f$	(1+k)Cf	$C_{wp} = C_t - (1+k)Cf$	$C_{wp}/C_t$	$C_{wp}/C_r$
0.19	1.16	12.666	7.142	5.524	6.397	6.269	0.495	0.878
0.29	1.16	12.497	7.466	5.032	5.827	6.670	0.534	0.894
0.37	1.16	17.367	12.610	4.757	5.509	11.858	0.683	0.940
0.50	1.16	25.846	21.372	4.474	5.181	20.665	0.800	0.967
0.59	1.16	34.516	30.201	4.314	4.996	29.520	0.855	0.977
0.66	1.16	38.062	33.851	4.211	4.876	33.186	0.872	0.980
0.68	1.16	30.937	26.749	4.189	4.850	26.087	0.843	0.975
0.76	1.16	24.933	20.842	4.091	4.737	20.196	0.810	0.969

Tabel 4.7: Perbandingan  $C_{WP}/C_T$  dan  $C_{WP}/C_R$  untuk model 3Gambar 4.12: Grafik perbandingan  $C_{WP}/C_T$  model 1, 2 dan 3Gambar 4.13: Grafik perbandingan  $C_{WP}/C_R$  model 1, 2 dan 3

Pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa pada  $0,2 \leq Fn < 0,8$ , perbandingan antara tahanan gelombang dengan tahanan total model pada kondisi satu berkisar antara (42 ~ 78) %, pada kondisi dua berkisar antara (46 ~ 83) % dan pada kondisi tiga berkisar antara (49 ~ 88) %. Sementara perbandingan antara tahanan gelombang dengan tahanan sisa model pada kondisi satu berkisar antara (90 ~ 98) %, pada kondisi dua berkisar antara (88 ~ 98) % dan pada kondisi tiga berkisar antara (88 ~ 97) %. Secara umum dapat dikatakan bahwa prosentasi tahanan gelombang pada tahanan total dan tahanan sisa semakin besar dengan bertambahnya kecepatan.

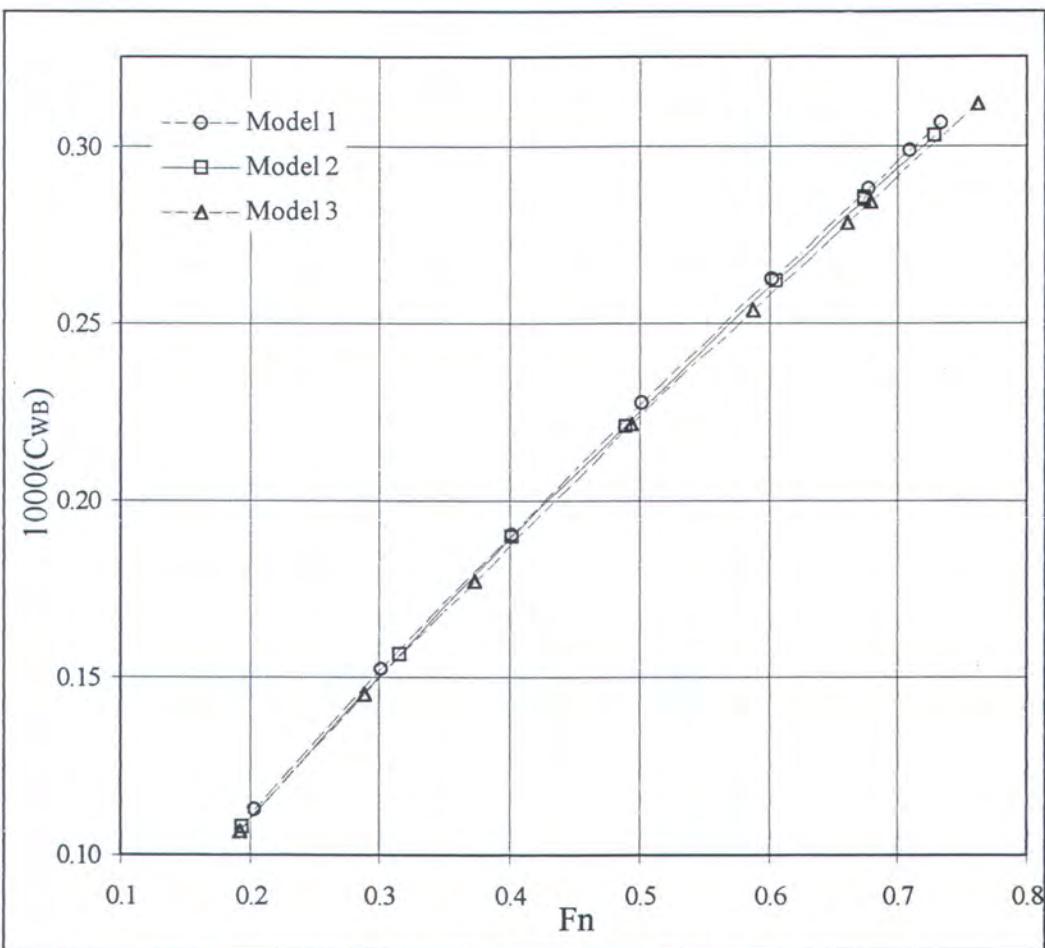
#### **4.2.4. Perhitungan Koefisien Tahanan Pemecahan Gelombang**

Setelah harga faktor bentuk didapatkan maka koefisien tahanan pemecahan gelombang ( $C_{WB}$ ) dapat ditentukan dengan pendekatan Hogben (1974). Menurut Hogben, untuk kecepatan rendah ( $Fn < 0,2$ ), harga  $C_{WB}$  dirumuskan sebagai:  $C_{WB} = C_T - C_{WP} - r_v \times C_F$  dimana  $r_v$  mewakili harga faktor bentuk. Pendekatan ini tidak bisa digunakan dalam analisa ini karena percobaan dilakukan pada kecepatan ( $Fn$ ) diatas 0,2 dan harga koefisien tahanan pola gelombang ( $C_{WP}$ ) tidak tercatat. Untuk kecepatan ( $Fn > 0,22$ ),  $C_{WB}$  dipengaruhi oleh koefisien tahanan gesek kapal;  $C_{WB} = r_b \times C_F$ . Hogben memberikan harga rata-rata  $r_b$  adalah 0,05. Dari pengamatan secara langsung dan pengamatan foto hasil penarikan model (Lampiran C, gambar hasil penarikan pada kecepatan  $Fn = 0,2$  tidak bisa disajikan karena kesalahan pengambilan gambar) menunjukkan bahwa fenomena pemecahan gelombang bertambah besar dengan bertambahnya kecepatan. Dengan demikian diasumsikan bahwa harga  $r_b$  bertambah besar dengan

bertambahnya kecepatan. Penambahan  $r_b$  dianggap linear dan merupakan fungsi dari kecepatan. Harga  $r_b$  berkisar antara 0,0 sampai dengan 0,1 dari kecepatan  $F_n = 0$  sampai dengan kecepatan  $F_n = 1$ . Hasil perhitungan  $C_{WB}$  dapat dilihat pada Tabel 4.8.

$F_n$	$C_F$ ( $10^{-3}$ )	$r_b$	$C_{WB} = r_b \times C_F$ ( $10^{-3}$ )
Model 1			
0.20	5.548	0.020	0.113
0.30	5.070	0.030	0.152
0.40	4.756	0.040	0.191
0.50	4.529	0.050	0.227
0.60	4.358	0.060	0.263
0.68	4.253	0.068	0.288
0.71	4.214	0.071	0.299
0.73	4.185	0.073	0.307
Model 2			
0.19	5.565	0.019	0.108
0.31	4.976	0.031	0.157
0.40	4.715	0.040	0.189
0.49	4.520	0.049	0.221
0.61	4.320	0.061	0.262
0.67	4.226	0.067	0.285
0.67	4.224	0.067	0.285
0.73	4.159	0.073	0.303
Model 3			
0.19	5.524	0.019	0.106
0.29	5.032	0.029	0.145
0.37	4.757	0.037	0.177
0.49	4.474	0.049	0.221
0.59	4.314	0.059	0.254
0.66	4.211	0.066	0.278
0.68	4.189	0.068	0.284
0.76	4.091	0.076	0.312

Tabel 4.8: Harga  $r_b$  dan  $C_{WB}$  untuk model 1, 2 dan 3

Gambar 4.14: Grafik  $C_{WB}$  untuk model 1, 2 dan 3

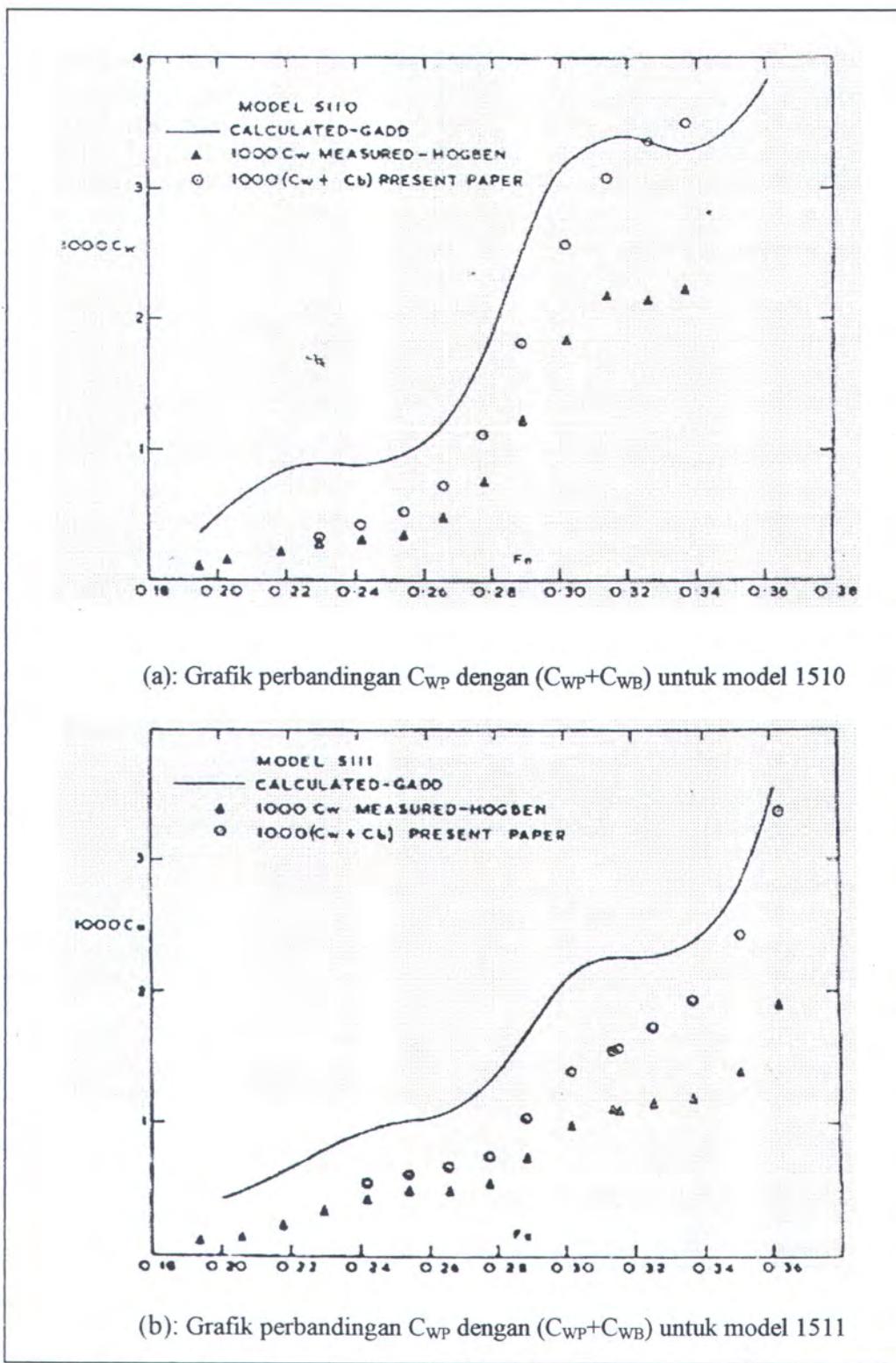
#### 4.2.5. Pengaruh Kecepatan dan Perubahan Luas Permukaan Basah Terhadap Tahanan Pemecahan Gelombang

Dari Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa pada rentang  $F_n = 0,2$  sampai dengan  $F_n = 0,8$ , harga  $C_{WB}$  bertambah besar. Pola peningkatan harga  $C_{WB}$  cenderung linier karena harga  $r_b$  diasumsikan bertambah secara linier dengan bertambahnya kecepatan walaupun harga  $C_F$  menunjukkan pola menurun (Gambar 4.1). Peningkatan ini diperkirakan berlangsung sampai pada awal fase semi planing ( $F_n > 1$ ). Peningkatan harga  $C_{WB}$  pada setiap kecepatan juga ditunjukkan oleh hasil penelitian Hogben (1974) dengan menggunakan beberapa model (Gambar 4.15.a,b). Dari Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa kenaikan harga

$C_{WB}$  sangat terlihat pada rentang kecepatan tertentu yang disebut kecepatan awal timbulnya pemecahan gelombang (*threshold froude number*,  $F_n^*$ ). Kenaikan harga WSA yang terjadi pada masing-masing model seiring dengan penambahan kecepatan juga menyebabkan kenaikan harga tahanan pemecahan gelombang ( $R_{WB}$ ). Perhitungan  $R_{WB}$  pada WSA konstan dan  $R_{WB}$  pada WSA yang dikoreksi dapat dilihat pada Lampiran D.

#### 4.2.6. Pengaruh $C_B$ dan $C_P$ Terhadap Tahanan Pemecahan Gelombang

Dengan hasil yang diperoleh dari perhitungan koefisien tahanan gelombang (Tabel. 4.8 dan Gambar 4.14) dapat dilihat bahwa harga  $C_{WB}$  lebih dipengaruhi oleh koefisien blok ( $C_B$ ) model. Model satu memiliki harga  $C_{WB}$  lebih besar dari  $C_{WB}$  model dua dan  $C_{WB}$  model tiga. Harga  $C_{WB}$  model satu berkisar antara  $(0,113 \sim 0,307) \times 10^{-3}$ ,  $C_{WB}$  model dua berkisar antara  $(0,108 \sim 0,303) \times 10^{-3}$  dan  $C_{WB}$  model tiga berkisar antara  $(0,106 \sim 0,30) \times 10^{-3}$ . Pengaruh  $C_P$  (koefisien prismatic) tidak bisa ditentukan secara jelas karena perbedaan harga  $C_P$  pada model sangat kecil. Untuk jenis kapal yang sama, harga  $C_{WB}$  pada kapal dengan koefisien blok ( $C_B$ ) kecil relatif lebih besar dari harga  $C_{WB}$  pada kapal dengan  $C_B$  besar.



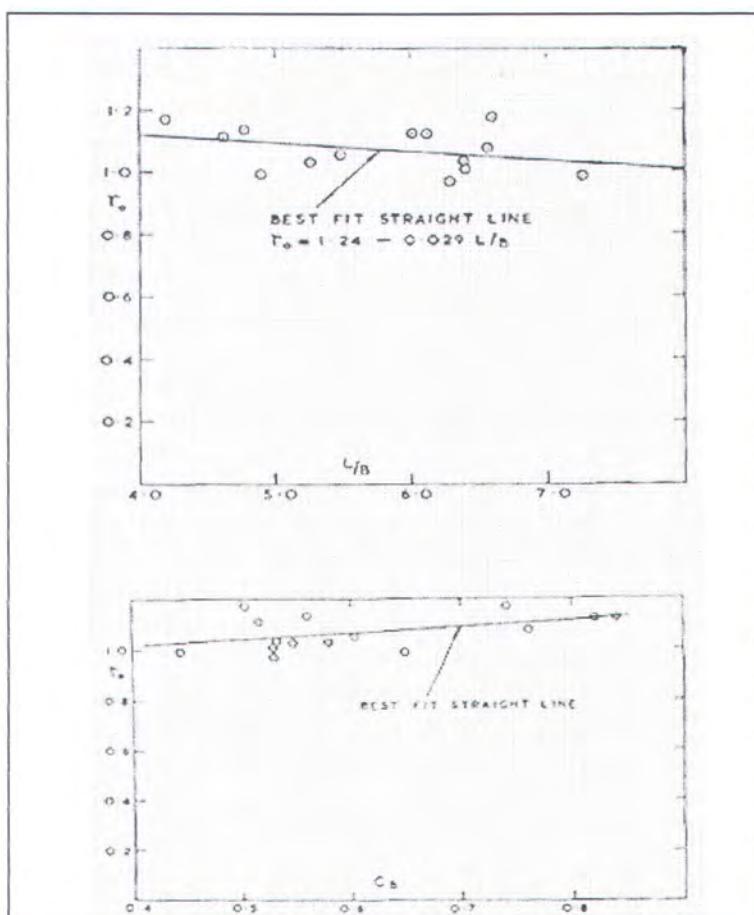
Gambar 4.15: Grafik perbandingan  $C_{WP}$  dengan  $(C_{WP}+C_{WB})$ , Hogben 1974

Gambar 4.15.a dan b merupakan hasil penelitian Hogben (1974) dengan menggunakan model kapal dengan data sebagai berikut :

Nomor model	$C_B$	L/B	$C_P$
5110	0.560	4.79	0.655
5111	0.517	4.62	0.621

Tabel.4.9: Data kapal yang digunakan Hogben

Hogben merumuskan suatu pendekatan untuk menghitung  $C_{WB}$  pada kecepatan rendah yaitu :  $C_{WB} = C_T - C_{WP} - (0.8Fn + r_o) C_F$ , dimana  $r_o$  adalah suatu konstanta yang mewakili harga faktor bentuk yang mempengaruhi harga  $C_{WB}$  dan Hogben mendapatkan pengaruh perbandingan L/B dan koefisien blok ( $C_B$ ) terhadap harga faktor bentuk kapal (Gambar 4.16).



Gambar 4.16. Hubungan L/B dan  $C_B$  terhadap faktor bentuk

Dari Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa dua parameter yaitu  $L/B$  dan  $C_B$  mempunyai hubungan yang berbeda terhadap harga faktor bentuk. Jika  $L/B$  suatu kapal semakin besar maka faktor bentuknya semakin kecil sehingga akan mempunyai harga  $C_{WB}$  relatif besar (menurut rumus pendekatan Hogben). Sedangkan jika  $C_B$  semakin besar akan menghasilkan faktor bentuk yang besar dan harga  $C_{WB}$  relatif kecil.

Dengan hasil ini maka terdapat perbedaan antara hasil percobaan penulis dan penelitian Hogben tentang pengaruh koefisien blok ( $C_B$ ) terhadap tahanan pemecahan gelombang ( $C_{WB}$ ).

#### **4.2.7. Proporsi Tahanan Pemecahan Gelombang Terhadap Komponen**

##### **Tahanan Lain**

Besar tahanan pemecahan gelombang relatif kecil jika dibandingkan dengan komponen tahanan lain. Persentase  $C_{WB}$  terhadap komponen tahanan lain dapat dilihat pada Tabel 4.10.

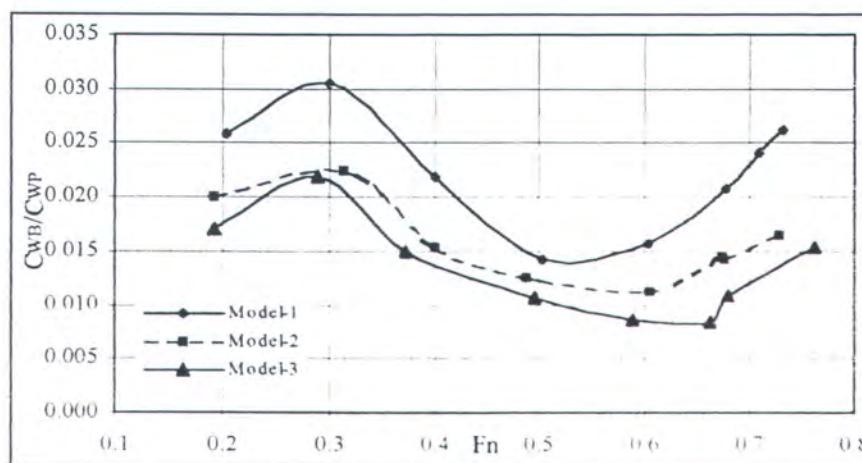
$F_n$	$C_{WB}$	$C_{WP}$	$C_w = \frac{C_w}{C_{WB} + C_{WP}}$	$C_R$	$C_T$	$C_{WB}/C_{WP}$	$C_{WP}/C_w$	$C_w/C_R$	$C_w/C_T$
0.20	0.113	4.381	4.493	4.880	10.428	0.026	0.975	0.921	0.431
0.30	0.152	4.981	5.133	5.437	10.507	0.031	0.970	0.944	0.489
0.40	0.191	8.686	8.876	9.114	13.869	0.022	0.979	0.974	0.640
0.50	0.227	15.952	16.179	16.359	20.888	0.014	0.986	0.989	0.775
0.60	0.263	16.662	16.924	17.054	21.412	0.016	0.984	0.992	0.790
0.68	0.288	13.856	14.144	14.238	18.492	0.021	0.980	0.993	0.765
0.71	0.299	12.352	12.651	12.731	16.945	0.024	0.976	0.994	0.747
0.73	0.307	11.678	11.984	12.054	16.239	0.026	0.974	0.994	0.738

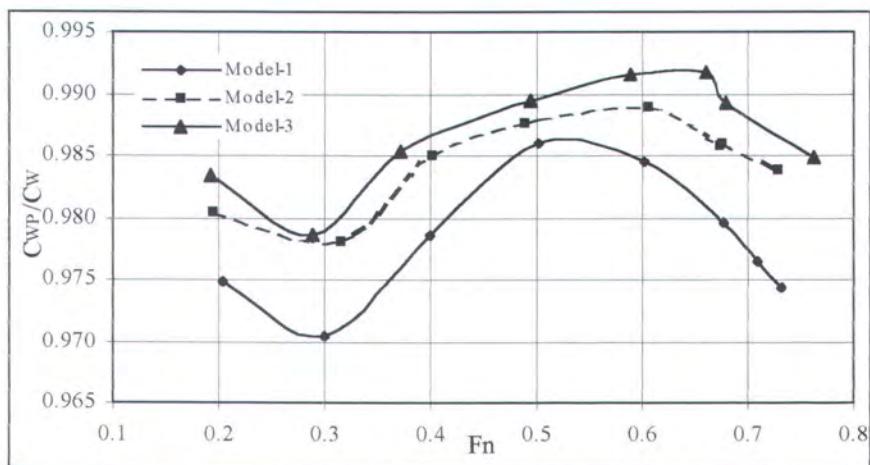
Tabel 4.10: Perbandingan  $C_{WB}/C_{WP}$ ,  $C_{WP}/C_w$ ,  $C_w/C_R$ ,  $C_w/C_T$  model 1

$F_n$	$C_{WB}$	$C_{WP}$	$C_w = \frac{C_w}{C_{WB} + C_{WP}}$	$C_R$	$C_T$	$C_{WB}/C_{WP}$	$C_{WP}/C_w$	$C_w/C_R$	$C_w/C_T$
0.19	0.108	5.366	5.474	6.0337	11.599	0.020	0.980	0.907	0.472
0.31	0.157	6.971	7.127	7.5680	12.544	0.022	0.978	0.942	0.568
0.40	0.189	12.405	12.595	12.971	17.686	0.015	0.985	0.971	0.712
0.49	0.221	17.533	17.754	18.075	22.595	0.013	0.988	0.982	0.786
0.61	0.262	23.297	23.559	23.816	28.136	0.011	0.989	0.989	0.837
0.67	0.285	19.842	20.127	20.349	24.575	0.014	0.986	0.989	0.819
0.67	0.285	20.034	20.319	20.541	24.765	0.014	0.986	0.989	0.821
0.73	0.303	18.415	18.718	18.915	23.073	0.016	0.984	0.990	0.811

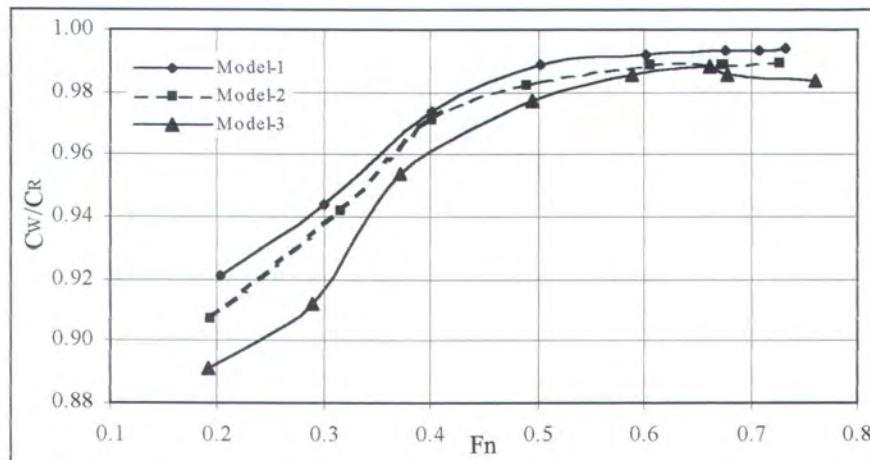
Tabel 4.11: Perbandingan  $C_{WB}/C_{WP}$ ,  $C_{WP}/C_w$ ,  $C_w/C_R$ ,  $C_w/C_T$  model 2

$F_n$	$C_{WB}$	$C_{WP}$	$C_w = \frac{C_w}{C_{WB} + C_{WP}}$	$C_R$	$C_T$	$C_{WB}/C_{WP}$	$C_{WP}/C_w$	$C_w/C_R$	$C_w/C_T$
0.19	0.106	6.258	6.365	7.142	12.666	0.017	0.983	0.891	0.502
0.29	0.145	6.660	6.806	7.466	12.497	0.022	0.979	0.912	0.545
0.37	0.177	11.848	12.025	12.610	17.367	0.015	0.985	0.954	0.692
0.49	0.221	20.656	20.877	21.372	25.846	0.011	0.989	0.977	0.808
0.59	0.254	29.511	29.765	30.202	34.516	0.009	0.991	0.986	0.862
0.66	0.278	33.177	33.455	33.851	38.062	0.008	0.992	0.988	0.879
0.68	0.284	26.078	26.363	26.749	30.937	0.011	0.989	0.986	0.852
0.76	0.312	20.188	20.499	20.842	24.933	0.015	0.985	0.984	0.822

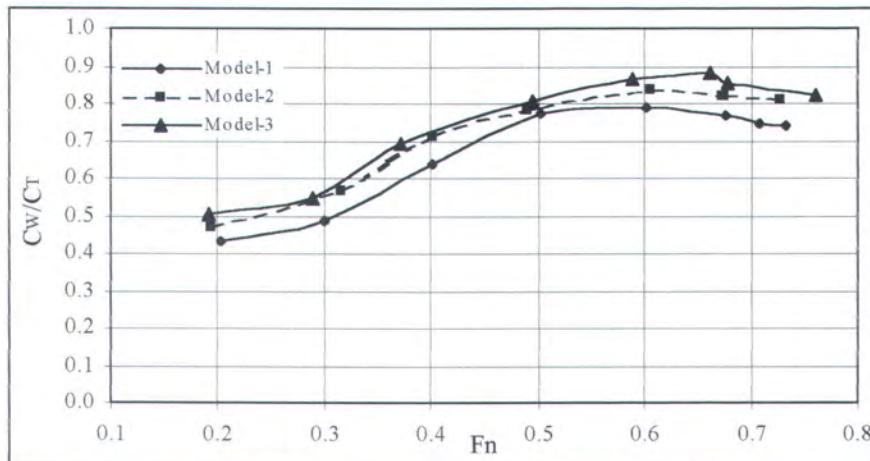
Tabel 4.12: Perbandingan  $C_{WB}/C_{WP}$ ,  $C_{WP}/C_w$ ,  $C_w/C_R$ ,  $C_w/C_T$  model 3Gambar.4.17: Grafik  $C_{WB}/C_{WP}$  untuk model 1, 2 dan 3



Gambar 4.18: Grafik  $C_{WP}/C_W$  untuk model 1, 2 dan 3



Gambar 4.19: Grafik  $C_W/C_R$  untuk model 1, 2 dan 3



Gambar 4.20: Grafik  $C_W/C_T$  untuk model 1, 2 dan 3

Dari Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa komposisi  $C_{WB}$  terhadap komponen koefisien tahanan pola gelombang ( $C_{WP}$ ) pada model satu memiliki harga lebih besar dari model dua dan model tiga. Ini menunjukkan bahwa pada model satu, harga  $C_{WB}$  lebih dominan dari harga  $C_{WP}$  dibandingkan dengan model dua dan model tiga yang memiliki bentuk badan kapal yang relatif lebih gemuk. Perbandingan  $C_{WB}$  terhadap  $C_{WP}$  pada masing-masing model memiliki pola yang sama. Pada kecepatan awal ( $F_n < 0,3$ ), harga  $C_{WB}/C_{WP}$  meningkat dan mulai menurun pada kecepatan  $F_n > 0,3$ . Penurunan ini diakibatkan karena harga  $C_{WP}$  meningkat cukup tajam pada rentang kecepatan antara  $F_n > 0,3$  sampai dengan  $F_n < 0,6$  (Gambar 4.11 dan Gambar 4.12). Pada kecepatan  $F_n > 0,6$  harga  $C_{WB}/C_{WP}$  meningkat lagi seiring dengan penurunan harga  $C_{WP}$ . Pola yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.18. Pada model tiga, komponen  $C_{WP}$  lebih dominan dalam komponen tahanan gelombang ( $C_w$ ) dimana model tiga memiliki harga koefisien blok ( $C_B$ ) yang lebih besar dari model dua dan model satu.

Perbandingan  $C_w/C_R$  pada model satu memiliki harga lebih besar dari  $C_w/C_R$  pada model dua dan  $C_w/C_R$  model tiga (Gambar 4.19). Ini menunjukkan bahwa pada kapal dengan  $C_B$  yang kecil, komponen tahanan sisa (yang dihasilkan dari percobaan) lebih didominasi oleh tahanan gelombang. Sebaliknya pada kapal yang relatif gemuk (memiliki  $C_B$  besar), komponen tahanan gelombang lebih mendominasi harga tahanan total kapal (Gambar 4.20). Harga perbandingan komponen tahanan pada masing-masing model dapat dilihat pada Tabel 4.13.

rasio tahanan	Model 1 $0,203 < Fn < 0,732$	Model 2 $0,193 < Fn < 0,728$	Model 3 $0,193 < Fn < 0,762$
$C_P$	0,70	0,72	0,73
$C_B$	0,36	0,41	0,45
$C_{WB}$	0,11 ~ 0,31	0,11 ~ 0,30	0,11 ~ 0,31
$C_{WB}/C_{WP}$	1,40 ~ 3,10	1,10 ~ 2,20	0,80 ~ 2,20
$C_{WP}/C_W$	97,40 ~ 98,60	97,80 ~ 98,90	97,90 ~ 99,20
$C_W/C_R$	92,10 ~ 99,40	90,70 ~ 99,00	89,10 ~ 98,80
$C_W/C_T$	43,10 ~ 79,00	47,20 ~ 83,70	50,20 ~ 87,90

Tabel 4.13. Perbandingan antara komponen tahanan model 1, 2 dan 3

Dengan hasil perhitungan tahanan pemecahan gelombang yang telah didapatkan, maka harga koefisien tahanan total yang didapatkan dari percobaan model perlu dikoreksi. Hasil pengukuran koefisien tahanan di tangki percobaan tidak menyertakan koefisien tahanan pemecahan gelombang sehingga besar koefisien tahanan total sebenarnya adalah pengurangan antara koefisien tahanan total tercatat (pada hasil percobaan) dengan koefisien tahanan pemecahan gelombang yang didapatkan dari perhitungan. Harga koefisien tahanan total yang dikoreksi untuk model dengan kondisi satu, dua dan tiga dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Fn	$C_T$ ( $10^{-3}$ )	$C_{WB}$ ( $10^{-3}$ )	$C_T(\text{koreksi})$ $=C_T - C_{WB}$ ( $10^{-3}$ )
Model 1			
0.20	10.428	0.113	10.315
0.30	10.507	0.152	10.355
0.40	13.869	0.191	13.679
0.50	20.888	0.227	20.660
0.60	21.412	0.263	21.149
0.68	18.492	0.288	18.204
0.71	16.945	0.299	16.646
0.73	16.239	0.307	15.933
Model 2			
0.19	11.599	0.108	11.491
0.31	12.544	0.157	12.388
0.40	17.686	0.189	17.497
0.49	22.595	0.221	22.374
0.61	28.136	0.262	27.874
0.67	24.575	0.285	24.291
0.67	24.765	0.285	24.480
0.73	23.073	0.303	22.771
Model 3			
0.19	12.666	0.106	12.560
0.29	12.497	0.145	12.352
0.37	17.367	0.177	17.189
0.49	25.846	0.221	25.624
0.59	34.516	0.254	34.262
0.66	38.062	0.278	37.784
0.68	30.937	0.284	30.653
0.76	24.933	0.312	24.622

Tabel 4.14: Koreksi harga  $C_T$

## **BAB 5**

## **KESIMPULAN**

## BAB 5

### KESIMPULAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari serangkaian percobaan dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pada  $0,2 < Fn < 0,8$ , penambahan kecepatan menyebabkan gejala pemecahan gelombang semakin besar sehingga harga koefisien tahanan pemecahan gelombang ( $C_{WB}$ ) meningkat. Kenaikan  $C_{WB}$  juga terjadi akibat kenaikan harga luas permukaan basah badan kapal (WSA).
2. Harga  $C_{WB}$  dipengaruhi oleh harga koefisien blok ( $C_B$ ) kapal. Pada type kapal yang sama, kapal dengan harga  $C_B$  rendah memiliki harga  $C_{WB}$  lebih besar dibandingkan dengan harga  $C_{WB}$  pada kapal dengan  $C_B$  lebih besar.
3. Komponen  $C_{WB}$  dalam komponen tahanan kapal lebih dominan pada kapal dengan  $C_B$  lebih kecil. Perbandingan  $C_{WB}$  terhadap komponen tahanan total kapal berkisar antara (0,7 ~ 1,3) %.

rasio tahanan	Model 1 $0,203 < Fn < 0,732$	Model 2 $0,193 < Fn < 0,728$	Model 3 $0,193 < Fn < 0,762$
$C_B$	0,36	0,41	0,45
$C_{WB} (10^{-3})$	0,113 ~ 0,307	0,108 ~ 0,303	0,106 ~ 0,312
$C_{WB}/C_{WP}$	1,40 ~ 3,10	1,10 ~ 2,20	0,80 ~ 2,20
$C_{WP}/C_W$	97,40 ~ 98,60	97,80 ~ 98,90	97,90 ~ 99,20
$C_W/C_R$	92,10 ~ 99,40	90,70 ~ 99,00	89,10 ~ 98,80
$C_W/C_T$	43,10 ~ 79,00	47,20 ~ 83,70	50,20 ~ 87,90

## **5.2. Saran**

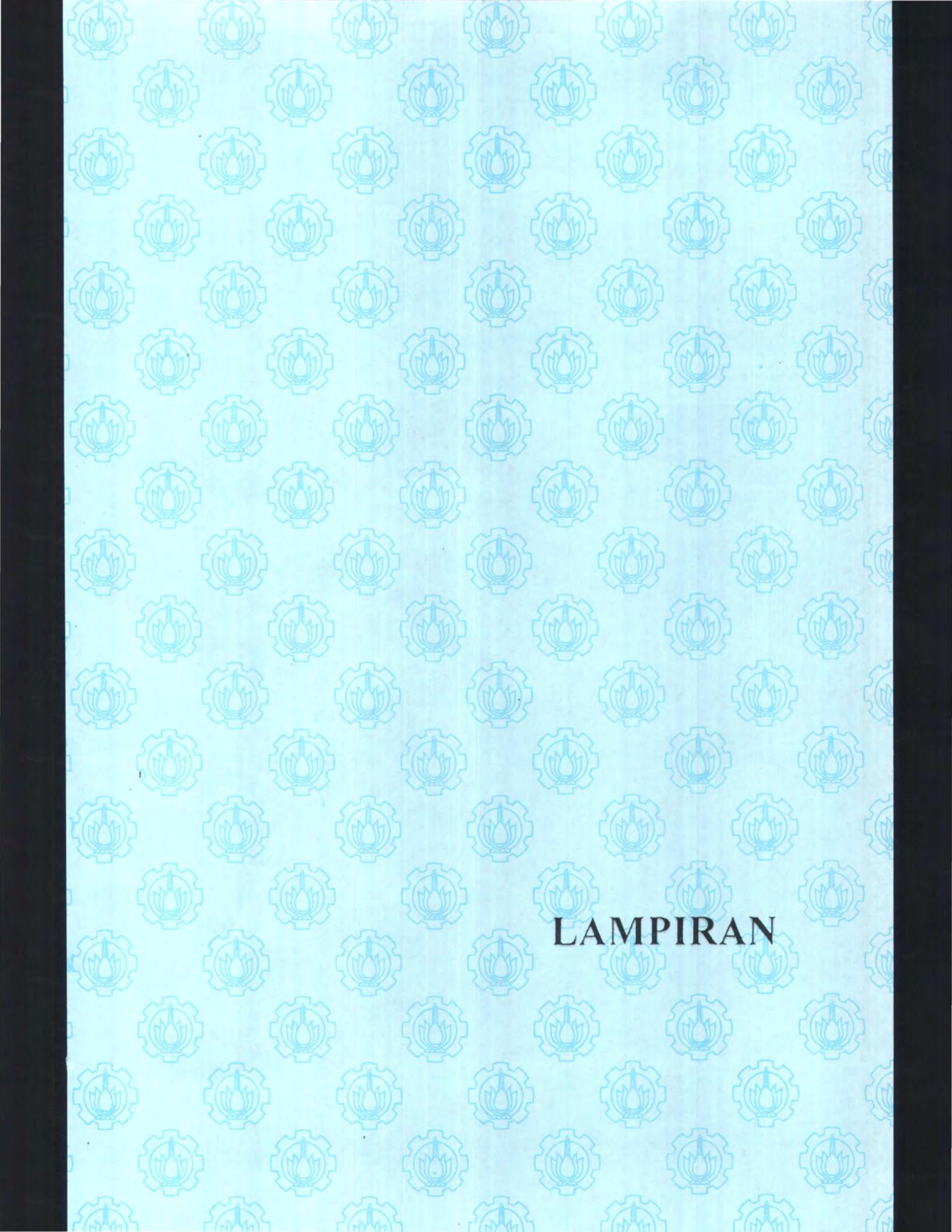
1. Diharapkan penelitian ini dapat dilanjutkan untuk kecepatan yang lebih besar (lebih besar dari  $F_n = 0,8$ ) karena pada  $F_n$  di atas 0,8 akan terjadi fase planing sehingga pengaruh kecepatan dan luas permukaan basah akan lebih jelas terlihat.
2. Karena keterbatasan peralatan, jumlah model dan kecepatan penarikan yang bisa diambil hanya delapan kecepatan pada masing-masing model. Akan lebih baik lagi jika jumlah penarikan bisa diperbanyak karena hasil penelitian akan lebih akurat.
3. Mengingat belum tersedianya alat untuk mengukur besarnya tahanan gelombang dan juga untuk mendapatkan akurasi hasil yang lebih baik, maka perlu dipikirkan untuk membuat sarana untuk maksud tersebut, antara lain dengan melengkapi tabung pitot lubang lima atau duabelas pada towing tank FTK – ITS.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- Baba, E., Wave Breaking Resistance of Ships, International Seminar on Wave Resistance, the Society of Naval Architecture of Japan, 1976.
- Cordier, S. dan Dumez, F.X., Resistance Components of Displacement and Semi-Displacement Hull Forms, a contribution to 20<sup>th</sup> ITTC Conference, 3pp.
- Hogben, N., Wave Pattern Resistance from Routine Model Test, Transaction of the Royal Institution of Naval Architects, vol 117, 1974.
- Insel, M. dan Molland, A.F., An Investigation into the resistance Components of High Speed Displacement Catamarans, Transaction of the Royal Institution of Naval Architects, vol. 134 (1992), pp. 1-20.
- Muller-Graf, B., The Effect of an Advanced Spray Rail System on Resistance and Development of Spray of Semi-Displacement Round Bilge Hulls, Proceedings FAST 1991.
- Shearer, J.R., Some Aspects of the Resistance of Full Form Ships, Transaction of the Royal Institution of Naval Architects, vol. 112, 1970.
- Siswanto, D., Tahanan dan Propulsi I, Jilid I, Jurusan Teknik Perkapalan, FTK– ITS, 1983.
- Suzuki, K., Effects of Wake and Wave-Breaking on Wave-Making Resistance, International Seminar on Wave Resistance, the Society of Naval Architecture of Japan, 1976.
- Thiel., Hydrodynamic of Fast Ships and Boats.

- Townsin, R.L., Ship Resistance Components Revealed by Wake Momentum and Wave Pattern Measurements in the Presence of Breaking Ship Waves, Transaction of the Royal Institution of Naval Architects, vol 114, Oktober 1972.



## LAMPIRAN

## LAMPIRAN A : DATA EKSPERIMEN

```
/RSTDAT
/SHPNAM "Fast Ship"
/SHPCND "First load"
/SHPLPP 0.681
/SHPBRD 0.215
/SHPDFM 0.053
/SHPDFF 0.053
/SHPDFA 0.053
/SHPDSP 3.00599E-03
/SHPWSA 0.1479851
/SHPLCB -18.75
/CLCCFT 0
/CLCLFN 0.73
/CLCLFG -0.5
/CLCLAG 0.5
/CLCWTP 28
/CLCWDS 101.5784
/CLKVS 8.360296E-07
/SMPFRQ 50
/SMPTIM 5
/ZERVL0 3.64244E-03
/ZERVL1 0
/ZERVL2 0
/CALVLO 1.971396
/CALVL1 1
/CALVL2 1
/CALVD0 2.5
/CALVD1 50
/CALVD2 50
/FILSAV "AR101209.RST"
/RSTDTN 9
/RSTDtv 1 0.5440 0.0232 0.4750 10.4283 5.5481 4.8802 0.2033 0.8 -
1.5 -0.4 0.13
/RSTDtv 2 0.8040 0.0510 0.7020 10.5069 5.0695 5.4374 0.3004 1.6
1.1 1.3 0.03
/RSTDtv 3 1.3440 0.2836 1.1735 20.8879 4.5288 16.3591 0.5022 6.3
4.5 5.4 0.10
/RSTDtv 4 1.6120 0.4182 1.4076 21.4117 4.3580 17.0538 0.6024 -1.9
-5.9 -3.9 0.23
/RSTDtv 5 2.1200 0.4887 1.8511 14.4683 4.1184 10.3499 0.7922 -2.9
-8.0 -5.4 0.29
/RSTDtv 6 1.8960 0.4578 1.6555 16.9448 4.2136 12.7312 0.7085 10.3
9.4 9.8 0.05
/RSTDtv 7 1.8120 0.4563 1.5822 18.4916 4.2532 14.2384 0.6771 10.2
8.8 9.5 0.08
/RSTDtv 8 1.9600 0.4689 1.7114 16.2393 4.1850 12.0544 0.7324 -2.5
-7.0 -4.7 0.26
/RSTDtv 9 1.0720 0.1198 0.9360 13.8692 4.7555 9.1136 0.4006 11.6
13.4 12.5 -0.10
```

```

/RSTDAT
/SHPNAM "Fast Ship"
/SHPCND "Second load"
/SHPLPP 0.681
/SHPBRD 0.21996
/SHPDFM 0.063
/SHPDFF 0.063
/SHPDFA 0.063
/SHPDSP 4.30105E-03
/SHPWSA 0.166374
/SHPLCB -19.2
/CLCCFT 0
/CLCLFN 0.74807
/CLCLFG -0.5
/CLCLAG 0.5
/CLCWTP 28
/CLCWDS 101.5784
/CLKVS 8.360296E-07
/SMPFRQ 50
/SMPTIM 5
/ZERVLO 3.368855E-03
/ZERVL1 0
/ZERVL2 0
/CALVLO 1.976807
/CALVL1 1
/CALVL2 1
/CALVD0 2.5
/CALVD1 50
/CALVD2 50
/FILSAV "AR101308.RST"
/RSTDTN 8
/RSTDIV 1 0.5240 0.0269 0.4689 11.5989 5.5652 6.0337 0.1934 3.6
3.1 3.3 0.03
/RSTDIV 2 0.8520 0.0775 0.7624 12.6344 4.9764 7.6580 0.3145 10.1
12.1 11.1 -0.11
/RSTDIV 3 1.0880 0.1769 0.9735 17.6859 4.7149 12.9710 0.4016 6.7
7.6 7.2 -0.05
/RSTDIV 4 1.3240 0.3347 1.1847 22.5950 4.5196 18.0754 0.4887 9.3
9.4 9.3 -0.01
/RSTDIV 5 1.6400 0.6394 1.4675 28.1358 4.3202 23.8156 0.6054 2.4 -
2.3 0.0 0.27
/RSTDIV 6 1.8240 0.6909 1.6321 24.5754 4.2260 20.3493 0.6733 -1.0
-7.2 -4.1 0.35
/RSTDIV 7 1.8280 0.6993 1.6357 24.7649 4.2241 20.5408 0.6748 -0.8
-7.2 -4.0 0.37
/RSTDIV 8 1.9720 0.7582 1.7645 23.0733 4.1588 18.9145 0.7279 7.6
4.1 5.8 0.21

```

```
/RSTDAT
/SHPNAM "Fast Ship"
/SHPCND "Third load"
/SHPLPP 0.681
/SHPBRD 0.2249
/SHPDFM 0.073
/SHPDFF 0.073
/SHPDFA 0.073
/SHPDSP 5.66997E-03
/SHPWSA 0.1835967
/SHPLCB -18.94
/CLCCFT 0
/CLCLFN 0.76613
/CLCLFG -0.5
/CLCLAG 0.5
/CLCWTP 28
/CLCWDS 101.5784
/CLKVS 8.360296E-07
/SMPFRQ 50
/SMPTIM 5
/ZERVL0 3.515482E-03
/ZERVL1 0
/ZERVL2 0
/CALVL0 1.978281
/CALVL1 1
/CALVL2 1
/CALVD0 2.5
/CALVD1 50
/CALVD2 50
/FILSAV "AR101318.RST"
/RSTDTN 8
/RSTDIV 1 0.5280 0.0329 0.4839 12.6660 5.5240 7.1420 0.1926 -3.5 -
4.8 -4.1 0.07
/RSTDIV 2 0.7920 0.0731 0.7258 12.4971 5.0316 7.4655 0.2889 1.3 -
0.3 0.5 0.09
/RSTDIV 3 1.0200 0.1685 0.9347 17.3665 4.7570 12.6095 0.3721 10.5
11.6 11.0 -0.06
/RSTDIV 4 1.3560 0.4431 1.2426 25.8457 4.4740 21.3717 0.4946 3.5
0.7 2.1 0.16
/RSTDIV 5 1.6120 0.8363 1.4772 34.5157 4.3142 30.2015 0.5880 10.4
5.7 8.1 0.27
/RSTDIV 6 1.8120 1.1653 1.6605 38.0620 4.2110 33.8509 0.6610 15.8
10.9 13.4 0.28
/RSTDIV 7 1.8600 0.9980 1.7045 30.9369 4.1885 26.7485 0.6785 2.8 -
5.0 -1.1 0.44
/RSTDIV 8 2.0880 1.0136 1.9134 24.9332 4.0908 20.8424 0.7616 4.0 -
3.2 0.4 0.41
```

**DATA I**

Data awal sebagai berikut :

$$\lambda = 10$$

$$wsa \text{ model} = 0.147985 \text{ m}^2$$

$$wsa \text{ kapal} = 14.79850 \text{ m}^2$$

Hari : Kamis

Tanggal : 12 Oktober 2000

Jam : 11.00 - 15.00

No	Cr model $10^{-3}$	Cf model $10^{-3}$	Ct model $10^{-3}$	Rt model (kg)	Rn $10^{-6}$	Fn	Cr kapal	Cf kapal	Ct kapal	Rt kapal (kN)	log Rn	$(\log Rn - 2)^2$	V mod (m/dt)	V kapal (m/dt)
1	4.8800	5.5481	10.4281	0.0232	0.4750	0.2033	0.00488	0.00555	0.01043	0.23405	5.67669	13.5181	0.5440	1.7203
2	5.4374	5.0695	10.5069	0.0510	0.7020	0.3004	0.00544	0.00507	0.01051	0.51511	5.84634	14.7943	0.8040	2.5425
3	9.1136	4.7555	13.8691	0.1198	0.9360	0.4006	0.00911	0.00476	0.01387	1.20879	5.97128	15.7710	1.0720	3.3900
4	16.3591	4.5288	20.8879	0.2836	1.1735	0.5022	0.01636	0.00453	0.02089	2.86157	6.06948	16.5607	1.3440	4.2501
5	17.0538	4.3580	21.4118	0.4182	1.4076	0.6024	0.01705	0.00436	0.02141	4.15723	6.14848	17.2099	1.6000	5.0596
6	14.2384	4.2532	18.4916	0.4563	1.5822	0.6771	0.01424	0.00425	0.01849	4.60471	6.19926	17.6338	1.8120	5.7300
7	12.7312	4.2136	16.9448	0.4578	1.6555	0.7085	0.01273	0.00421	0.01694	4.61983	6.21893	17.7994	1.8960	5.9957
8	12.0544	4.1850	16.2394	0.4689	1.7114	0.7324	0.01205	0.00418	0.01624	4.73144	6.23335	17.9213	1.9600	6.1981
9	10.3499	4.1184	14.4683	0.4887	1.8511	0.7922	0.01035	0.00412	0.01447	4.93175	6.26743	18.2110	2.1200	6.7040

Fn	Rr model (N)	Rf model (N)	Rt model (N)
0.2033	0.10854	0.12340	0.23195
0.3004	0.26417	0.24630	0.51047
0.4006	0.78717	0.41075	1.19791
0.5022	2.22098	0.61485	2.83584
0.6024	3.28132	0.83852	4.11984
0.6771	3.51370	1.04959	4.56329
0.7085	3.43980	1.13846	4.57826
0.7324	3.48053	1.20836	4.68889
0.7922	3.49619	1.39119	4.88739

Fn	Rr kapal (kN)	Rf kapal (kN)	Rt kapal (kN)
0.2033	0.10924	0.12420	0.23344
0.3004	0.26587	0.24788	0.51375
0.4006	0.79222	0.41339	1.20561
0.5022	2.23524	0.61880	2.85404
0.6024	3.30238	0.84390	4.14628
0.6771	3.53626	1.05633	4.59258
0.7085	3.46188	1.14578	4.60766
0.7324	3.50287	1.21611	4.71898
0.7922	3.51864	1.40012	4.91876

**DATA II**

Data awal sebagai berikut :

$$\lambda = 10$$

$$wsa \text{ model} = 0.166374 \text{ m}^2$$

$$wsa \text{ kapal} = 16.637400 \text{ m}^2$$

Hari : Kamis

Tanggal : 12 Oktober 2000

Jam : 11.00 - 15.00

No	Cr model $10^{-3}$	Cf model $10^{-3}$	Ct model $10^{-3}$	Rt model (kg)	Rn $10^{-6}$	Fn	Cr kapal	Cf kapal	Ct kapal	Rt kapal (kN)	log Rn	$(\log Rn - 2)^2$	V mod (m/dt)	V kapal (m/dt)
1	6.0337	5.5652	11.5989	0.0269	0.4689	0.1934	0.00603	0.00557	0.01160	0.27155	5.67108	13.47683	0.5240	1.6570
2	7.5680	4.9764	12.5444	0.0775	0.7624	0.3145	0.00757	0.00498	0.01254	0.77644	5.88218	15.07134	0.8520	2.6943
3	12.9710	4.7149	17.6859	0.1769	0.9735	0.4016	0.01297	0.00471	0.01769	1.78511	5.98834	15.90682	1.0880	3.4406
4	18.0754	4.5196	22.5950	0.3347	1.1847	0.4887	0.01808	0.00452	0.02260	3.37729	6.07361	16.59429	1.3240	4.1869
5	23.8156	4.3202	28.1358	0.6394	1.4675	0.6054	0.02382	0.00432	0.02814	6.45247	6.16658	17.36037	1.6400	5.1861
6	20.3493	4.2260	24.5753	0.6909	1.6321	0.6733	0.02035	0.00423	0.02458	6.97153	6.21275	17.74724	1.8240	5.7680
7	20.5408	4.2241	24.7649	0.6993	1.6357	0.6748	0.02054	0.00422	0.02476	7.05616	6.21370	17.75530	1.8280	5.7806
8	18.9145	4.1588	23.0733	0.7582	1.7645	0.7279	0.01891	0.00416	0.02307	7.65075	6.24662	18.03380	1.9720	6.2360

Fn	Rr model (N)	Rf model (N)	Rt model (N)
0.1934	0.13999	0.12912	0.26911
0.3145	0.46530	0.30596	0.77126
0.4016	1.29744	0.47161	1.76905
0.4887	2.67744	0.66947	3.34691
0.6054	5.41258	0.98185	6.39443
0.6733	5.72077	1.18805	6.90882
0.6748	5.79996	1.19273	6.99269
0.7279	6.21532	1.36659	7.58191

Fn	Rr kapal (kN)	Rf kapal (kN)	Rt kapal (kN)
0.1934	0.14089	0.12995	0.27084
0.3145	0.46829	0.30792	0.77621
0.4016	1.30577	0.47465	1.78041
0.4887	2.69462	0.67377	3.36839
0.6054	5.44732	0.98815	6.43547
0.6733	5.75749	1.19568	6.95316
0.6748	5.83719	1.20038	7.03757
0.7279	6.25522	1.37538	7.63060

### DATA III

Data awal sebagai berikut :

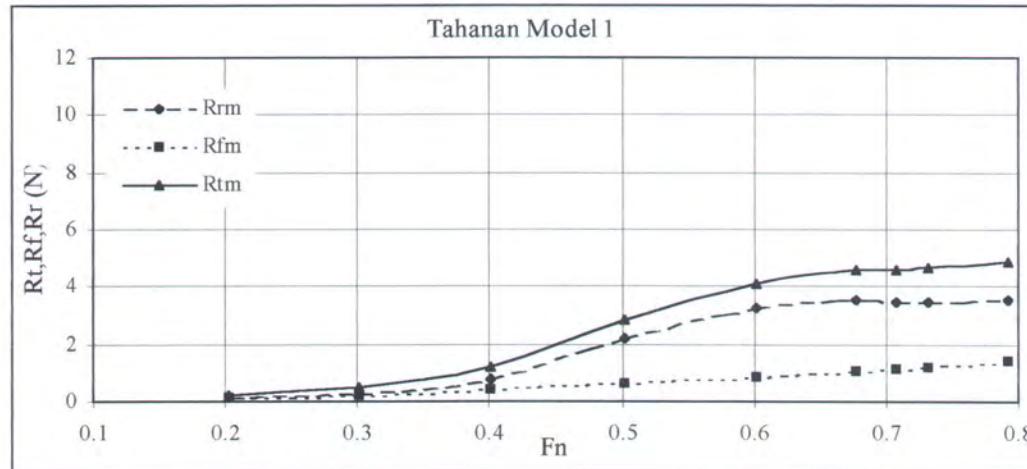
$$\begin{aligned}\lambda &= 10 \\ \text{wsa model} &= 0.183597 \text{ m}^2 \\ \text{wsa kapal} &= 18.359670 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Hari : Kamis  
Tanggal : 13 Oktober 2000  
Jam : 10.00 - 15.00

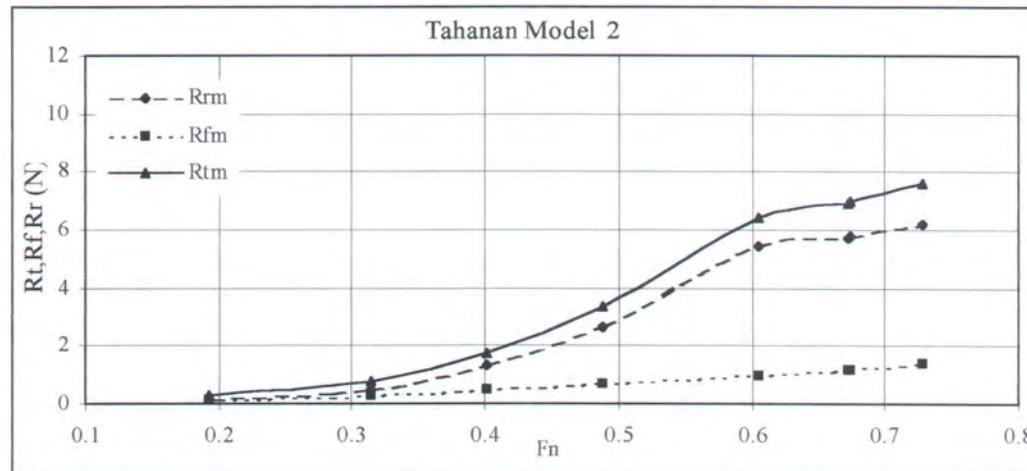
No	Cr model $10^{-3}$	Cf model $10^{-3}$	Ct model $10^{-3}$	Rt model (kg)	Rn $10^{-6}$	Fn	Cr kapal	Cf kapal	Ct kapal	Rt kapal (kN)	log Rn	$(\log Rn - 2)^2$	V mod (m/dt)	V kapal (m/dt)
1	7.1420	5.5240	12.6660	0.0329	0.4839	0.1926	0.00714	0.00552	0.01267	0.33225	5.68476	13.5774	0.5280	1.6697
2	7.4655	5.0316	12.4971	0.0731	0.7258	0.2889	0.00747	0.00503	0.01250	0.73759	5.86082	14.9059	0.7920	2.5045
3	12.6095	4.7570	17.3665	0.1685	0.9347	0.3721	0.01261	0.00476	0.01737	1.70009	5.97067	15.7662	1.0200	3.2255
4	21.3717	4.4740	25.8457	0.4431	1.2436	0.4946	0.02137	0.00447	0.02584	4.47150	6.09468	16.7664	1.3560	4.2880
5	30.2015	4.3142	34.5157	0.8363	1.4772	0.5880	0.03020	0.00431	0.03452	8.43930	6.16944	17.3842	1.6120	5.0976
6	33.8509	4.2110	38.0619	1.1653	1.6605	0.6610	0.03385	0.00421	0.03806	11.75888	6.22024	17.8104	1.8120	5.7300
7	26.7485	4.1885	30.9370	0.9980	1.7045	0.6785	0.02675	0.00419	0.03094	10.07076	6.23160	17.9064	1.8600	5.8818
8	20.8424	4.0908	24.9332	1.0136	1.9134	0.7616	0.02084	0.00409	0.02493	10.22816	6.28181	18.3339	2.0880	6.6028

Fn	Rr model (N)	Rf model (N)	Rt model (N)
0.1926	0.18566	0.14360	0.32926
0.2889	0.43666	0.29430	0.73096
0.3721	1.22330	0.46150	1.68480
0.4946	3.66432	0.76710	4.43141
0.5880	7.31801	1.04536	8.36337
0.6610	10.36385	1.28925	11.65310
0.6785	8.62899	1.35120	9.98019
0.7616	8.47312	1.66304	10.13616

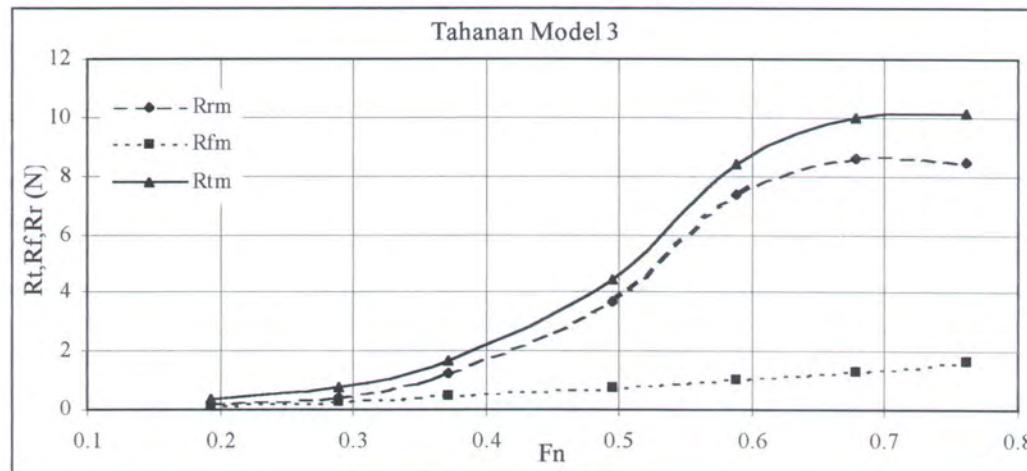
Fn	Rr kapal (kN)	Rf kapal (kN)	Rt kapal (kN)
0.1926	0.18685	0.14452	0.33137
0.2889	0.43946	0.29619	0.73565
0.3721	1.23115	0.46446	1.69561
0.4946	3.68784	0.77189	4.45972
0.5880	7.36498	1.05208	8.41707
0.6610	10.43037	1.29753	11.72790
0.6785	8.68437	1.35985	10.04423
0.7616	8.52750	1.67372	10.20122



Gambar A.1: Grafik tahanan model 1



Gambar A.2: Grafik tahanan model 2



Gambar A.3: Grafik tahanan model 3

**LAMPIRAN B: STUDI PARAMETRIK FAKTOR BENTUK**

<b>Fn</b>	<b>(1+k)</b>	<b>Ct</b>	<b>Cf</b>	<b>(1+k)Cf</b>	<b>Cwp = Ct-(1+k)Cf</b>	<b>WSA</b>	<b>Ct (baru)</b>	<b>Cwp (baru)</b>
0.20	1.05	10.43	5.548	5.826	4.602	0.147985	10.428	4.603
0.40	1.05	13.87	4.756	4.993	8.876	0.150368	13.650	8.657
0.60	1.05	21.41	4.358	4.576	16.836	0.153222	20.992	16.416
0.68	1.05	18.49	4.253	4.466	14.026	0.154820	17.674	13.208
0.71	1.05	16.94	4.214	4.424	12.52	0.154820	16.196	11.771
<hr/>								
0.20	1.10	10.43	5.548	6.103	4.325	0.147985	10.428	4.325
0.40	1.10	13.87	4.756	5.231	8.638	0.150368	13.650	8.419
0.60	1.10	21.41	4.358	4.794	16.618	0.153222	20.992	16.198
0.68	1.10	18.49	4.253	4.679	13.813	0.154820	17.674	12.996
0.71	1.10	16.94	4.214	4.635	12.310	0.154820	16.196	11.561
<hr/>								
0.20	1.15	10.43	5.548	6.380	4.048	0.147985	10.428	4.048
0.40	1.15	13.87	4.756	5.469	8.400	0.150368	13.650	8.181
0.60	1.15	21.41	4.358	5.012	16.400	0.153222	20.992	15.980
0.68	1.15	18.49	4.253	4.891	13.600	0.154820	17.674	12.783
0.71	1.15	16.94	4.214	4.846	12.099	0.154820	16.196	11.350
<hr/>								
0.20	1.20	10.43	5.548	6.658	3.770	0.147985	10.428	3.770
0.40	1.20	13.87	4.756	5.707	8.163	0.150368	13.650	7.944
0.60	1.20	21.41	4.756	5.707	15.705	0.153222	20.992	15.285
0.68	1.20	18.49	4.529	5.435	13.057	0.154820	17.674	12.239
0.71	1.20	16.94	4.358	5.230	11.715	0.154820	16.196	10.966
<hr/>								
0.20	1.25	10.43	5.548	6.935	3.493	0.147985	10.428	3.493
0.40	1.25	13.87	4.756	5.944	7.925	0.150368	13.650	7.706
0.60	1.25	21.41	4.358	5.448	15.964	0.153222	20.992	15.544
0.68	1.25	18.49	4.253	5.317	13.175	0.154820	17.674	12.358
0.71	1.25	16.94	4.214	5.267	11.678	0.154820	16.196	10.929
<hr/>								
0.20	1.30	10.43	5.548	7.213	3.2156	0.147985	10.428	3.216
0.40	1.30	13.87	4.756	6.182	7.687	0.150368	13.650	7.468
0.60	1.30	21.41	4.358	5.665	15.746	0.153222	20.992	15.326
0.68	1.30	18.49	4.253	5.529	12.962	0.154820	17.674	12.145
0.71	1.30	16.94	4.214	5.478	11.467	0.154820	16.196	10.718

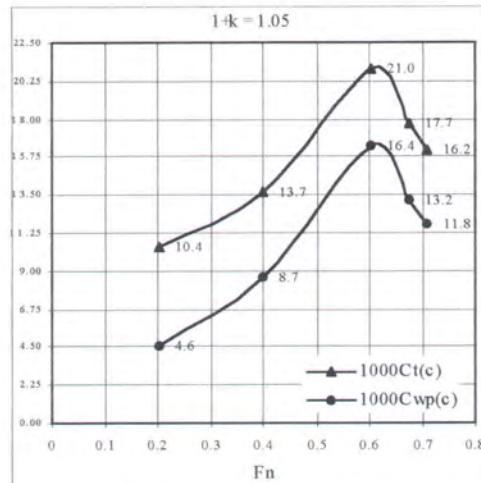
Tabel B.1: Koefisien tahanan pola gelombang model 1 pada beberapa harga faktor bentuk

<b>Fn</b>	<b>(1+k)</b>	<b>Ct</b>	<b>Cf</b>	<b>(1+k)Cf</b>	<b>Cw p= Ct-(1+k)Cf</b>	<b>WSA</b>	<b>Ct (baru)</b>	<b>Cwp (baru)</b>
0.19	1.05	11.599	5.565	5.843	5.755	0.166374	11.599	5.755
0.40	1.05	17.686	4.715	4.951	12.735	0.166004	17.725	12.774
0.61	1.05	28.136	4.320	4.536	23.599	0.168781	27.733	23.196
0.67	1.05	24.765	4.224	4.435	20.330	0.171075	23.901	19.465
0.73	1.05	23.073	4.159	4.367	18.707	0.171733	22.399	18.032
<hr/>								
0.19	1.10	11.599	5.565	6.122	5.477	0.166374	11.599	5.477
0.40	1.10	17.686	4.715	5.186	12.499	0.166004	17.725	12.538
0.61	1.10	28.136	4.320	4.752	23.383	0.168781	27.733	22.980
0.67	1.10	24.765	4.224	4.647	20.118	0.171075	23.901	19.254
0.73	1.10	23.073	4.159	4.575	18.499	0.171733	22.399	17.824
<hr/>								
0.19	1.15	11.599	5.565	6.340	5.199	0.166374	11.599	5.199
0.40	1.15	17.686	4.715	5.422	12.264	0.166004	17.725	12.303
0.61	1.15	28.136	4.320	4.968	23.168	0.168781	27.733	22.765
0.67	1.15	24.765	4.224	4.858	19.907	0.171075	23.901	19.043
0.73	1.15	23.073	4.159	4.783	18.290	0.171733	22.399	17.616
<hr/>								
0.19	1.20	11.599	5.565	6.678	4.921	0.166374	11.599	4.921
0.40	1.20	17.686	4.715	5.658	12.028	0.166004	17.725	12.067
0.61	1.20	28.136	4.320	5.184	22.952	0.168781	27.733	22.549
0.67	1.20	24.765	4.224	5.069	19.696	0.171075	23.900	18.832
0.73	1.20	23.073	4.159	4.99	18.082	0.171733	22.399	17.408
<hr/>								
0.19	1.25	11.599	5.565	6.956	4.643	0.166374	11.599	4.643
0.40	1.25	17.686	4.715	5.894	11.792	0.166004	17.725	11.831
0.61	1.25	28.136	4.320	5.400	22.736	0.168781	27.733	22.333
0.67	1.25	24.765	4.224	5.280	19.485	0.171075	23.901	18.620
0.73	1.25	23.073	4.159	5.199	17.874	0.171733	22.399	17.200
<hr/>								
0.19	1.30	11.599	5.565	7.235	4.365	0.166374	11.599	4.365
0.40	1.30	17.686	4.715	6.129	11.557	0.166004	17.725	11.595
0.61	1.30	28.136	4.320	5.616	22.520	0.168781	27.733	22.117
0.67	1.30	24.765	4.224	5.491	19.274	0.171075	23.901	18.409
0.73	1.30	23.073	4.159	5.407	17.666	0.171733	22.399	16.992

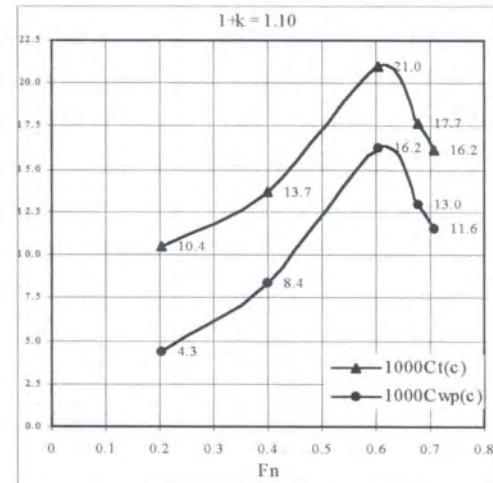
Tabel B.2: Koefisien tahanan pola gelombang model 2 pada beberapa harga faktor bentuk

<b>Fn</b>	<b>(1+k)</b>	<b>Ct</b>	<b>Cf</b>	<b>(1+k)Cf</b>	<b>Cwp = Ct-(1+k)Cf</b>	<b>WSA</b>	<b>Ct (baru)</b>	<b>Cwp (baru)</b>
0.19	1.05	12.666	5.524	5.800	6.866	0.183597	12.666	6.866
0.37	1.05	17.367	4.757	4.995	12.372	0.188009	16.961	11.966
0.59	1.05	34.516	4.314	4.530	29.986	0.191231	33.136	28.606
0.68	1.05	30.937	4.189	4.398	26.539	0.192493	30.779	26.381
0.76	1.05	24.933	4.091	4.295	20.638	0.192622	23.764	19.469
<hr/>								
0.19	1.10	12.666	5.524	6.076	6.590	0.183597	12.666	6.530
0.37	1.10	17.367	4.757	5.233	12.134	0.188009	16.961	11.728
0.59	1.10	34.516	4.314	4.746	29.770	0.191231	33.136	28.391
0.68	1.10	30.937	4.189	4.607	26.330	0.192493	30.779	26.172
0.76	1.10	24.933	4.091	4.500	20.433	0.192622	23.764	19.265
<hr/>								
0.19	1.15	12.666	5.524	6.353	6.313	0.183597	12.666	6.313
0.37	1.15	17.367	4.757	5.472	11.896	0.188009	16.961	11.490
0.59	1.15	34.516	4.314	4.961	29.554	0.191231	33.136	28.175
0.68	1.15	30.937	4.189	4.818	26.120	0.192493	31.091	26.274
0.76	1.15	24.933	4.091	4.704	20.229	0.192622	23.765	19.060
<hr/>								
0.19	1.20	12.666	5.524	6.629	6.037	0.183597	12.666	6.037
0.37	1.20	17.367	4.757	5.708	11.658	0.188009	16.961	11.253
0.59	1.20	34.516	4.314	5.177	29.339	0.191231	33.136	27.959
0.68	1.20	30.937	4.189	5.026	25.911	0.192493	31.091	26.064
0.76	1.20	24.933	4.091	4.909	20.024	0.192622	23.765	18.856
<hr/>								
0.19	1.25	12.666	5.524	6.905	5.761	0.183597	12.666	5.761
0.37	1.25	17.367	4.757	5.946	11.420	0.188009	16.961	11.015
0.59	1.25	34.516	4.314	5.393	29.123	0.191231	33.136	27.740
0.68	1.25	30.937	4.189	5.236	25.701	0.192493	31.091	25.855
0.76	1.25	24.933	4.091	5.114	19.820	0.192622	23.764	18.651
<hr/>								
0.19	1.30	12.666	5.524	7.181	5.485	0.183597	12.666	5.485
0.37	1.30	17.367	4.757	6.184	11.182	0.188009	16.961	10.777
0.59	1.30	34.516	4.314	5.608	28.907	0.191231	33.136	27.528
0.68	1.30	30.937	4.189	5.445	25.492	0.192493	31.091	25.645
0.76	1.30	24.933	4.091	5.318	19.615	0.192622	23.764	18.446

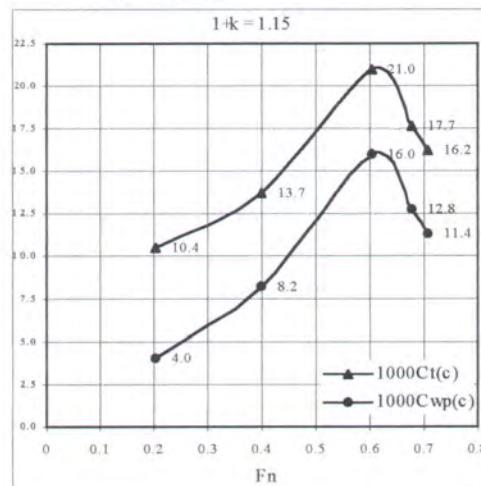
Tabel B.3: Koefisien tahanan pola gelombang model 3 pada beberapa harga faktor bentuk



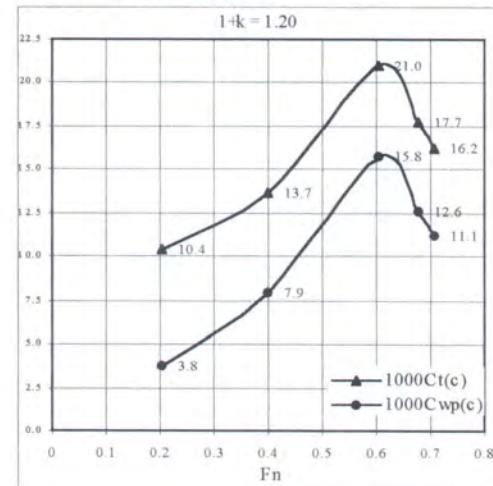
(a). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k = 1,05$



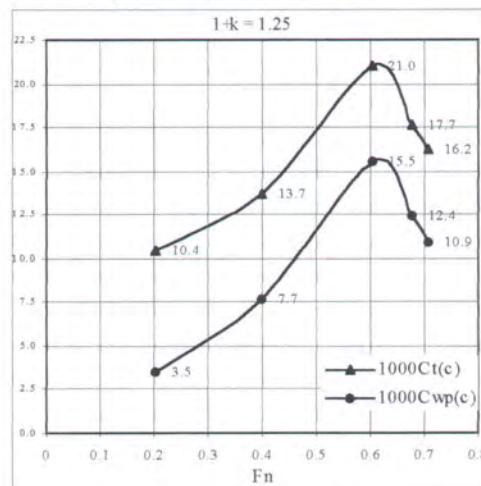
(b). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k = 1,10$



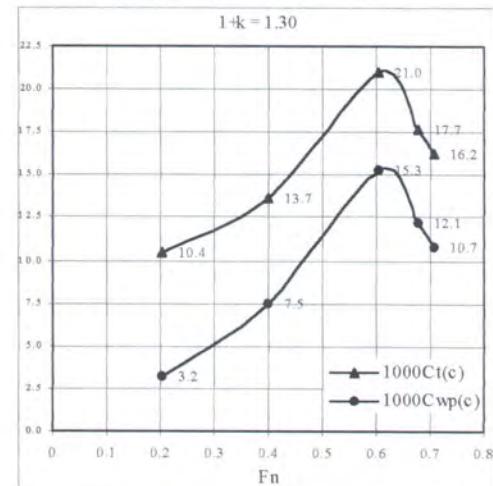
(c). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k = 1,15$



(d). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k = 1,20$

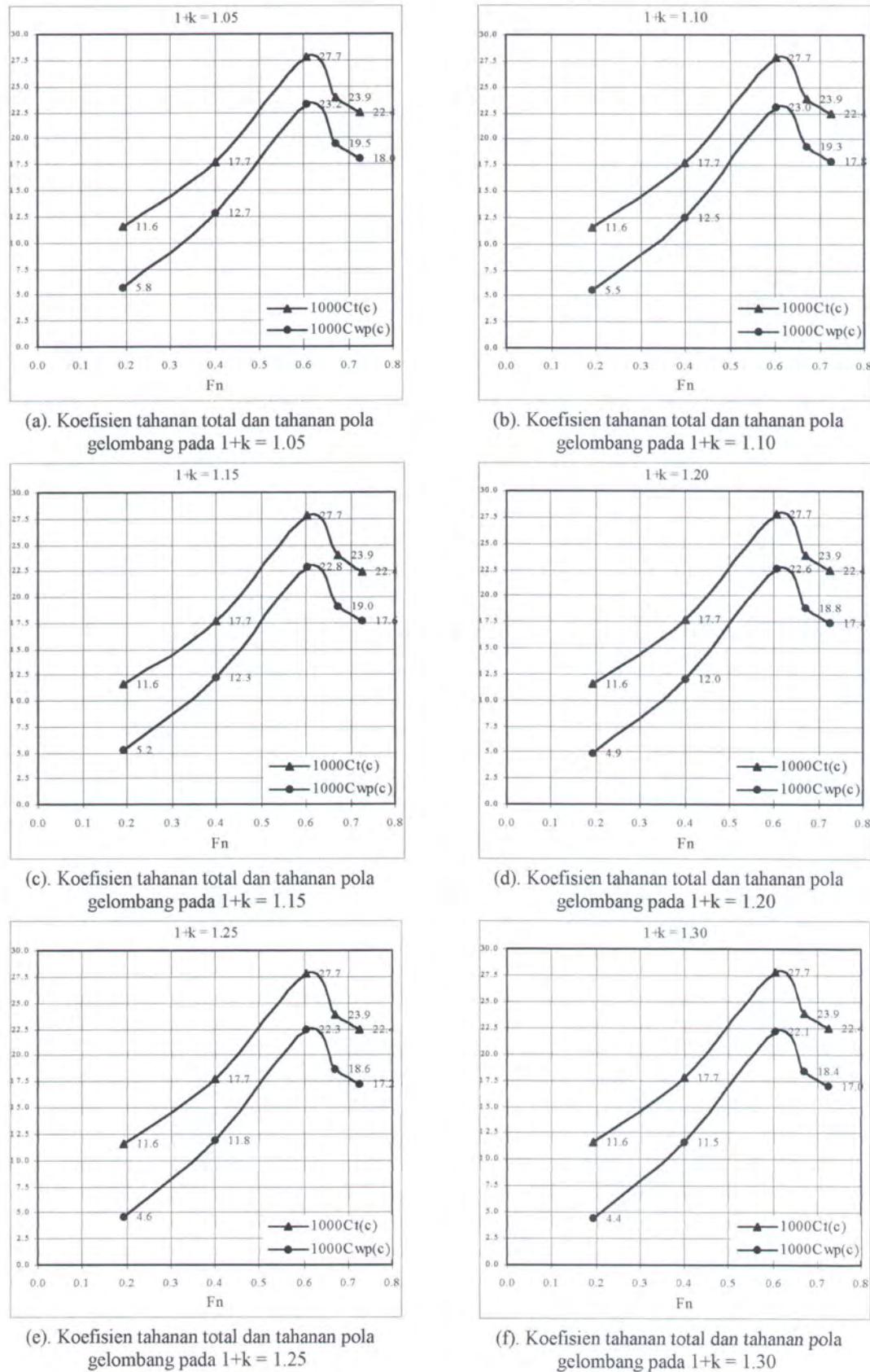


(e). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k = 1,25$

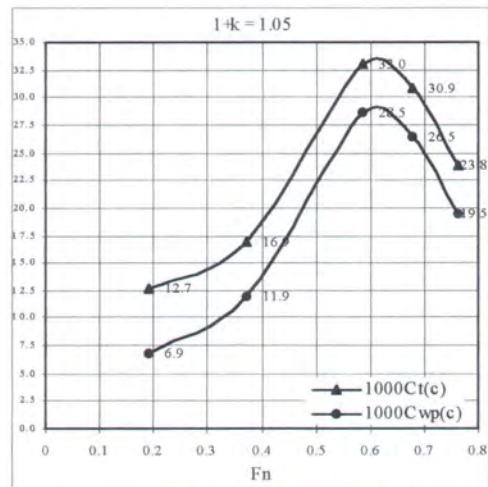


(f). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k=1,30$

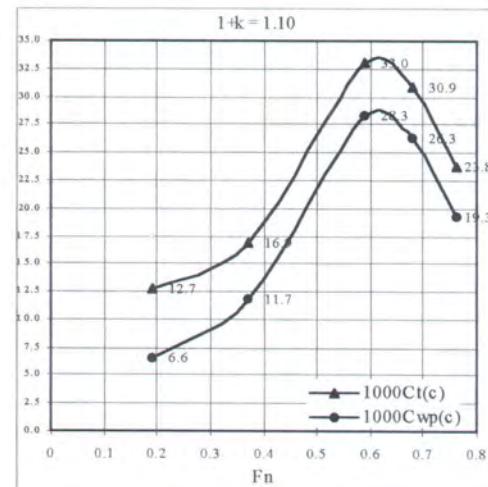
Gambar B.1: Grafik  $C_T$  dan  $C_{WP}$  model 1 pada variasi faktor bentuk



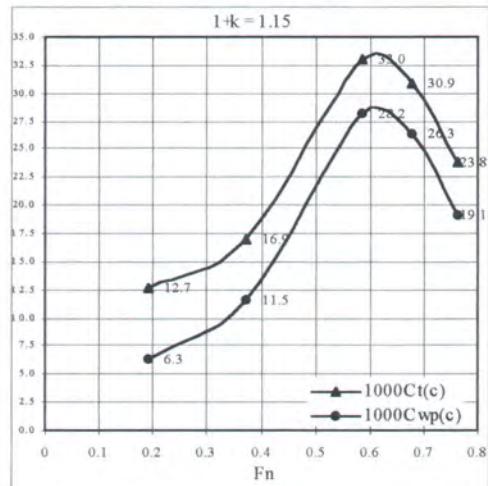
Gambar B.2: Grafik  $C_T$  dan  $C_{WP}$  model 2 pada variasi faktor bentuk



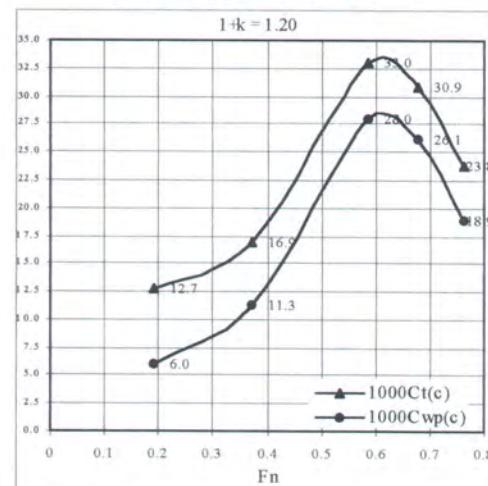
(a). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k = 1,05$



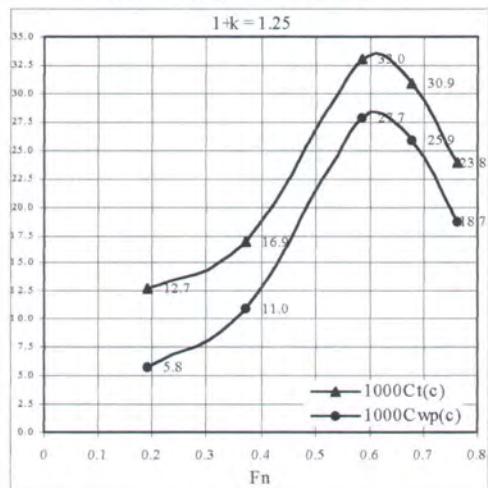
(b). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k = 1,10$



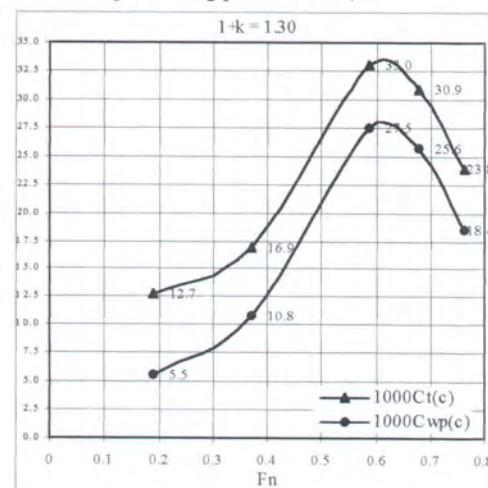
(c). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k = 1,15$



(d). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k = 1,20$

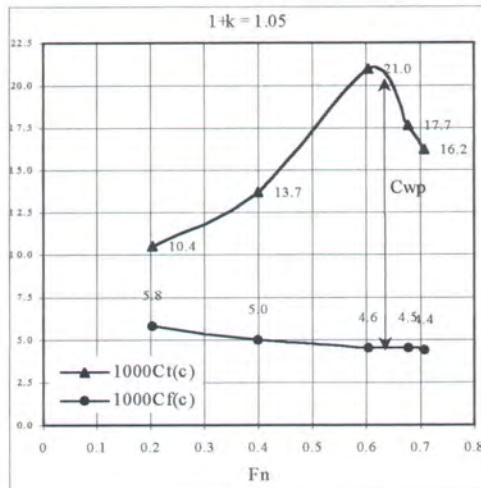


(e). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k = 1,25$

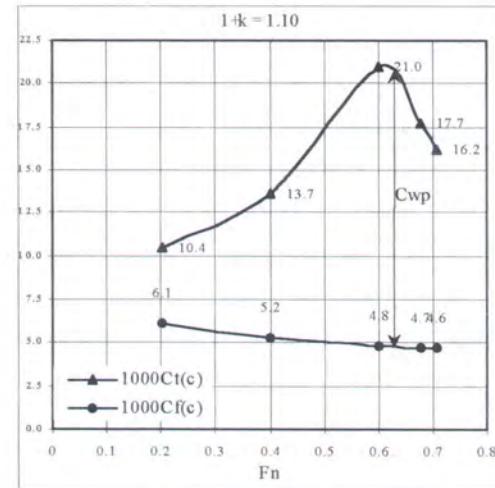


(f). Koefisien tahanan total dan tahanan pola gelombang pada  $1+k = 1,30$

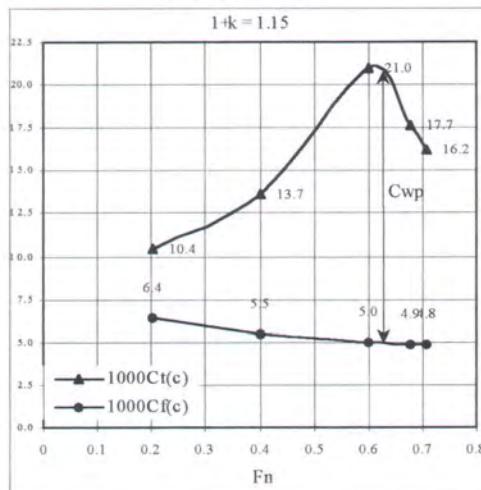
Gambar B.3: Grafik  $C_T$  dan  $C_{WP}$  model 3 pada variasi faktor bentuk



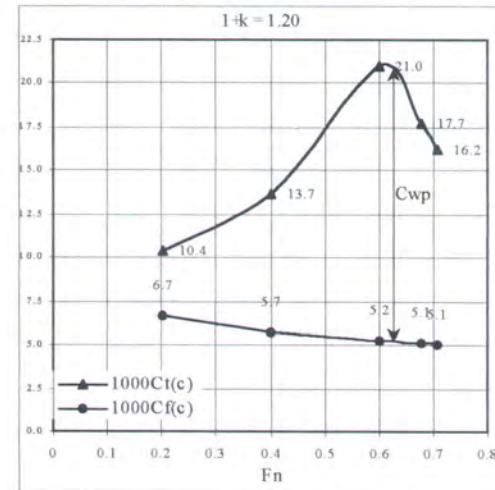
(a). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k = 1,05$



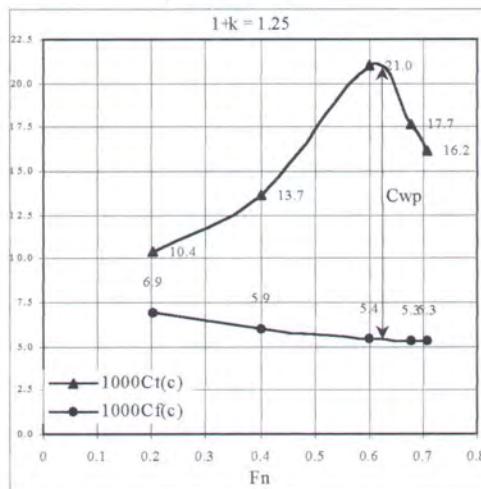
(b). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k=1,10$



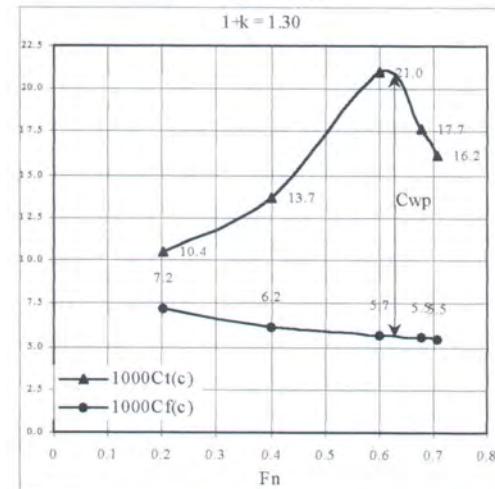
(c). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k = 1,15$



(d). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k = 1,20$

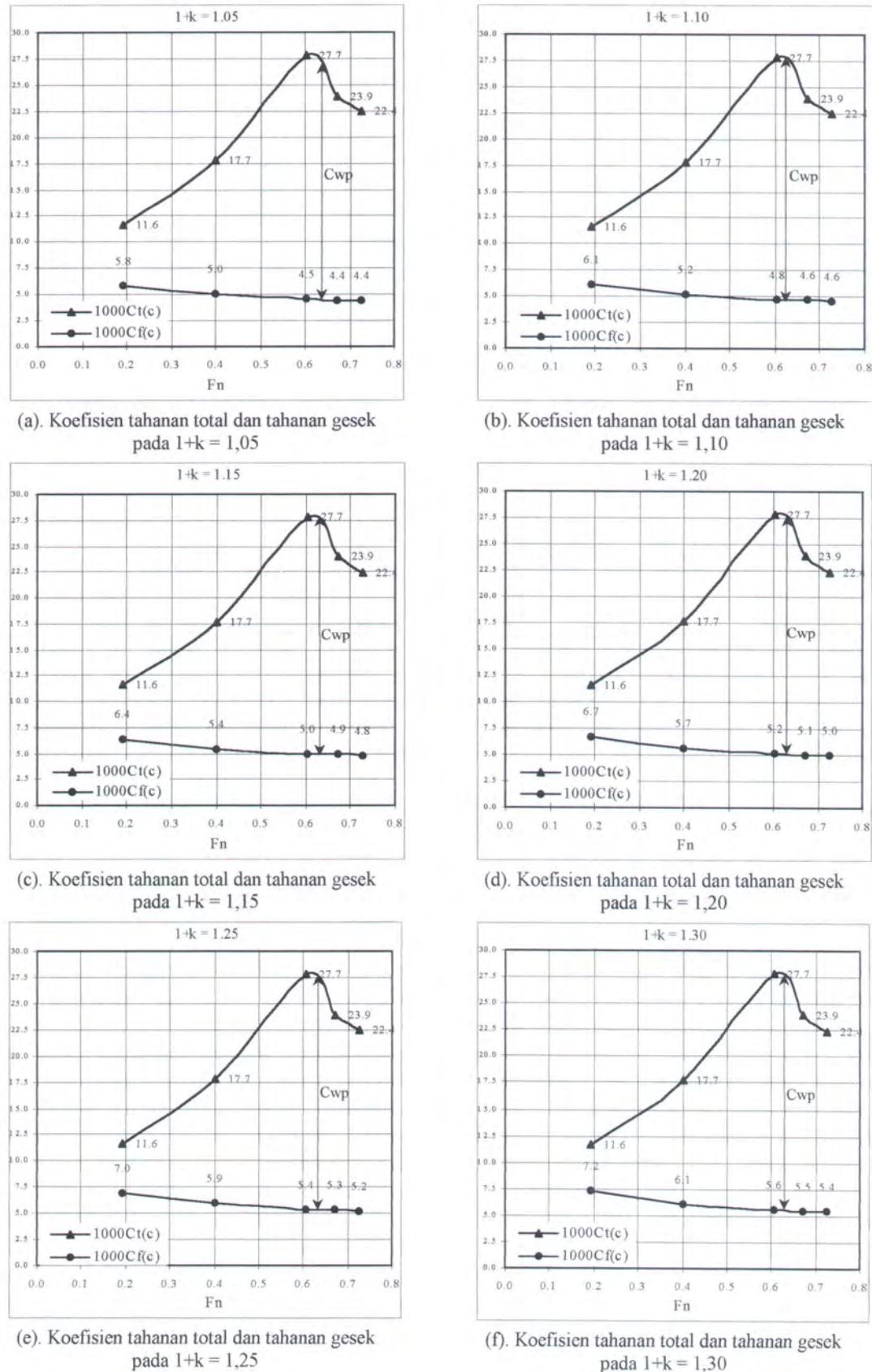


(e). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k = 1,25$

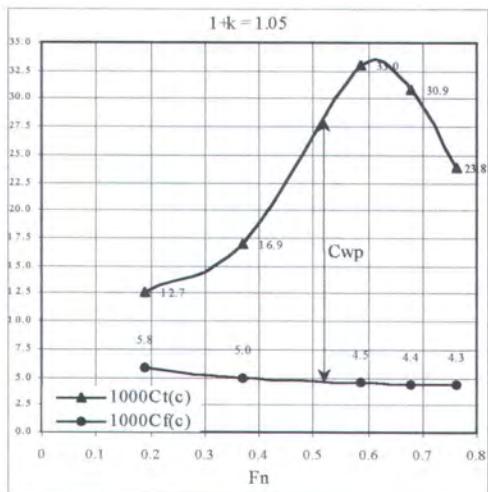


(f). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k = 1,30$

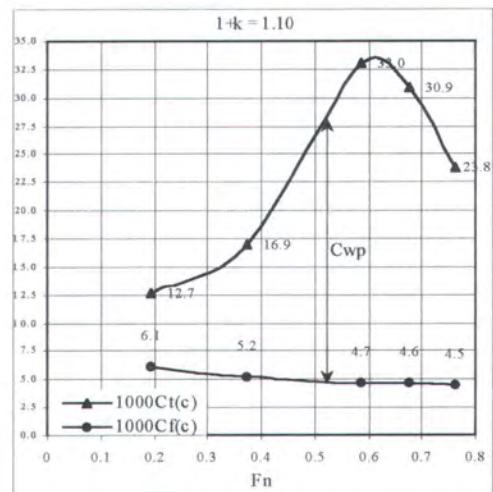
Gambar B.4: Grafik  $C_T$  dan  $C_F$  model 1 pada variasi faktor bentuk



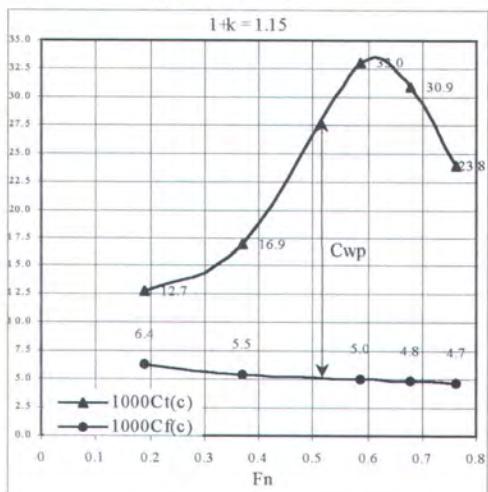
Gambar B.5: Grafik  $C_T$  dan  $C_F$  model 2 pada variasi faktor bentuk



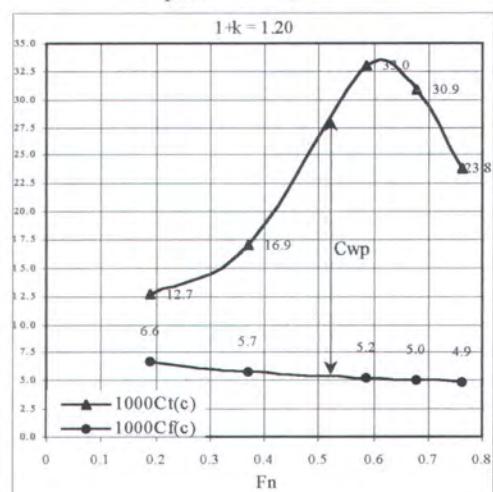
(a). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k = 1,05$



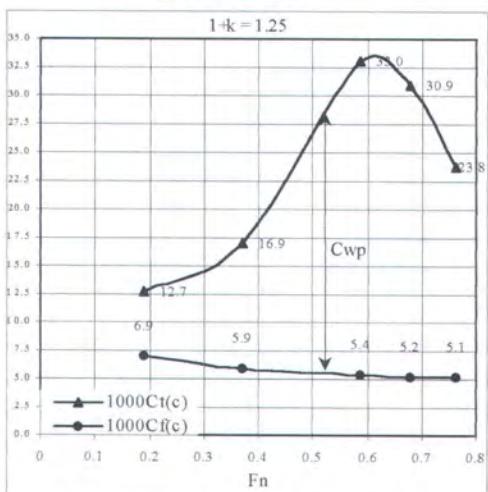
(b). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k = 1,10$



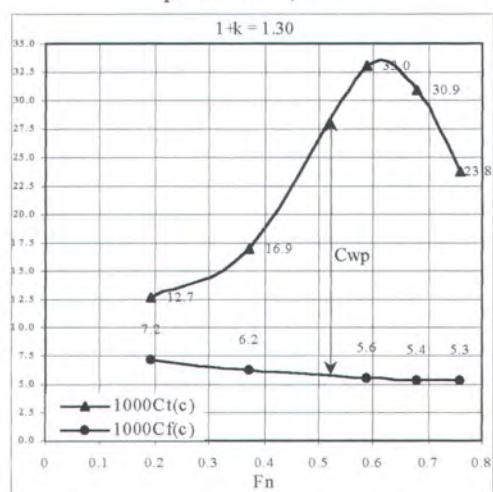
(c). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k = 1,15$



(d). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k = 1,20$



(e). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k = 1,25$



(f). Koefisien tahanan total dan tahanan gesek pada  $1+k = 1,30$

Gambar B.6: Grafik  $C_T$  dan  $C_F$  model 3 pada variasi faktor bentuk

## LAMPIRAN C: DATA WSA DAN GAMBAR PENARIKAN MODEL

Data WSA kondisi 1 ( $F_n = 0,4006$ )

Data WSA kondisi 1 ( $F_n = 0,6024$ )

ST	A	B	C	D	E	F	AP	I	2	3	4	5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	FP	Ys	2/3djhYs	WSA																							
F.S.	0.233	0.930	0.409	0.705	0.359	0.734	1.184	4.000	2.000	4.000	2.000	4.000	1.500	2.000	1.000	2.000	1.000	2.000	0.695	0.779	0.195	Ys	2/3djhYs	WSA																							
WL	Y	Ys	Y	Ys	Y	Ys	Y	Ys																																							
0(0)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000																							
1(1)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000																							
2(2)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.022	0.067	0.079	1.366	5.464	2.115	4.230	2.600	10.400	3.626	7.252	3.129	12.514	2.678	4.017	2.466	4.932	2.136	1.870	3.740	1.832	1.832	1.571	3.142	0.174	0.121	0.000	0.000	0.000	0.000	59.880	271.857	365.421					
3(2.578 )	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.739	1.226	1.866	0.670	1.870	1.373	1.868	2.212	1.946	7.784	1.932	3.864	2.490	9.960	1.236	2.472	1.118	4.472	1.031	1.547	1.019	2.038	0.959	0.959	0.927	1.854	0.924	0.924	0.880	1.760	0.846	0.588	0.326	0.254	0.000	0.000	43.955	199.558	564.978
4(3.15)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.524	1.074	1.942	0.697	1.948	1.430	1.990	2.356	1.946	7.784	1.932	3.864	2.447	9.788	2.107	4.214	2.077	8.307	1.935	2.902	1.786	3.572	1.019	1.019	0.927	1.854	0.856	0.856	0.880	1.760	0.488	0.339	0.000	0.000	0.000	0.000	51.816	235.243	800.221
5(0.728 )	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.349	0.951	1.954	0.701	1.958	1.437	2.010	2.380	2.523	10.092	2.273	4.546	1.181	4.724	1.124	2.248	1.041	4.164	0.985	1.478	0.921	1.841	1.645	1.645	1.444	2.888	1.466	1.466	1.702	1.404	0.000	0.000	0.000	0.000	41.965	190.522	990.744		
6(4.3)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.243	0.876	2.295	0.824	2.341	1.718	2.250	2.664	1.276	5.104	1.218	2.436	1.183	4.732	1.115	2.330	1.041	4.164	0.985	1.478	0.921	1.841	0.877	0.877	0.864	1.729	0.696	0.696	0.000	0.000	0.000	0.000	31.369	142.415	113.159				
7(4.8)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.008	0.711	1.841	0.661	1.791	1.315	1.734	2.053	1.639	6.556	1.706	3.412	1.639	6.556	1.625	3.250	1.488	5.951	1.131	1.697	0.800	1.600	0.762	0.762	0.733	1.466	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	35.989	163.391	1296.550				
8(5.3)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.955	0.673	0.477	0.171	0.489	0.359	0.515	0.610	0.513	2.052	0.513	1.026	0.513	2.053	0.515	1.030	0.519	2.076	0.793	1.190	1.193	2.386	1.164	1.164	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14.790	67.146	1363.696					
9(6.3)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.021	0.950	3.265	1.335	1.783	1.237	1.021	0.367	1.025	0.752	1.023	1.211	1.025	4.100	1.026	2.052	1.027	4.108	1.032	2.064	1.001	4.004	0.749	1.124	0.421	0.842	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	24.165	109.710	1473.406			
10(7.3)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.150	1.070	1.348	0.551	0.846	0.596	0.514	0.185	0.515	0.378	0.516	0.611	0.517	2.068	0.517	1.034	0.517	2.068	0.519	1.038	0.240	0.960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.559	47.937	321.343							

Data WSA kondisi 1 ( $F_n = 0,677$ )

Data WSA kondisi 1 ( $F_n = 0,7085$ )

Data WSA kondisi 2 ( $F_n = 0,4016$ )

Data WSA kondisi 2 ( $F_n = 0.6054$ )

Data WSA kondisi 2 ( $F_n = 0.6733$ )

Data WSA kondisi 2 ( $F_n = 0.7279$ )

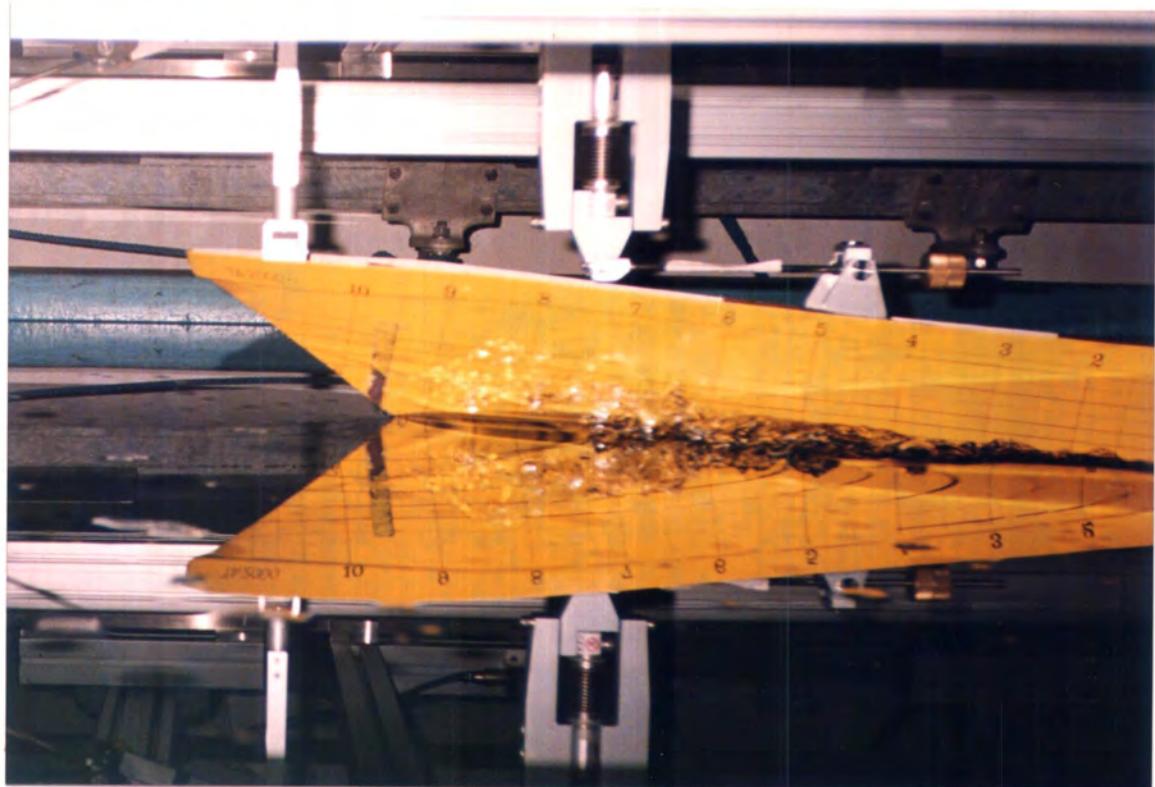
Data WSA kondisi 3 ( $F_n = 0.3721$ )

Data WSA kondisi 3 ( $F_n = 0.588$ )

Data WSA kondisi 3 ( $F_n = 0.661$ )

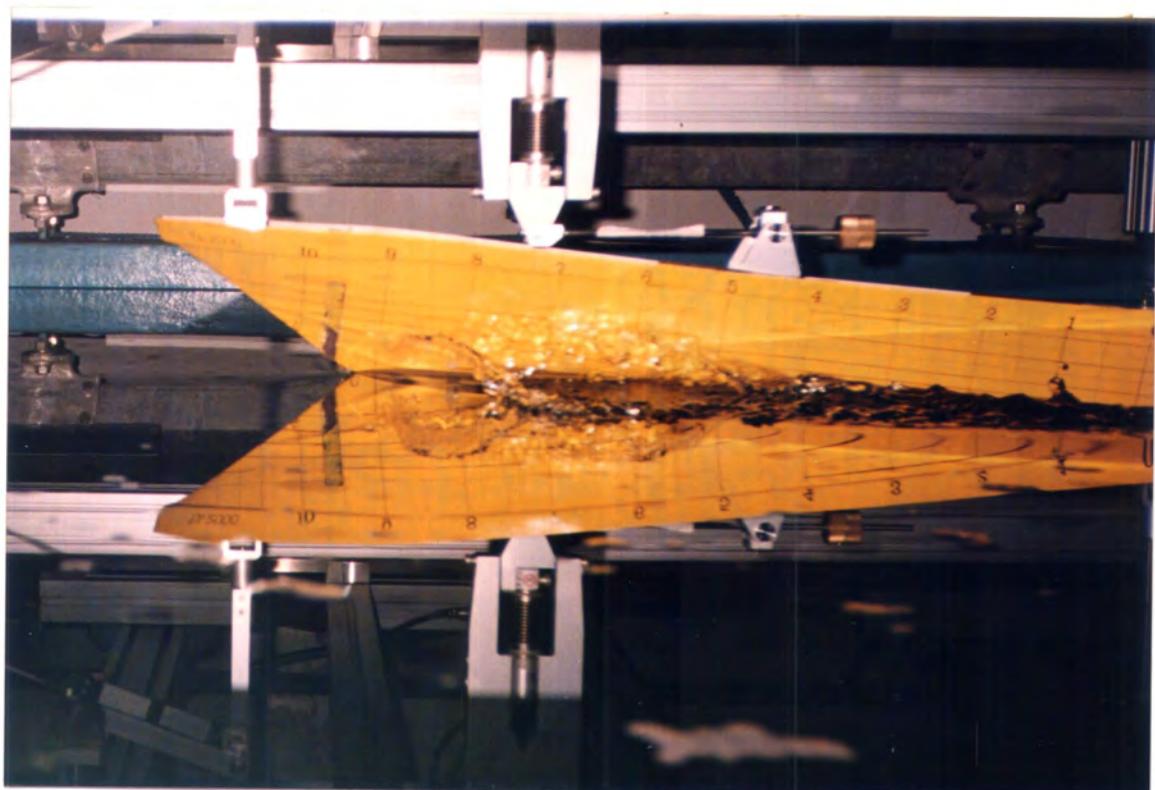
Data WSA kondisi 3 ( $F_n = 0.762$ )

*"wave-breaking"*

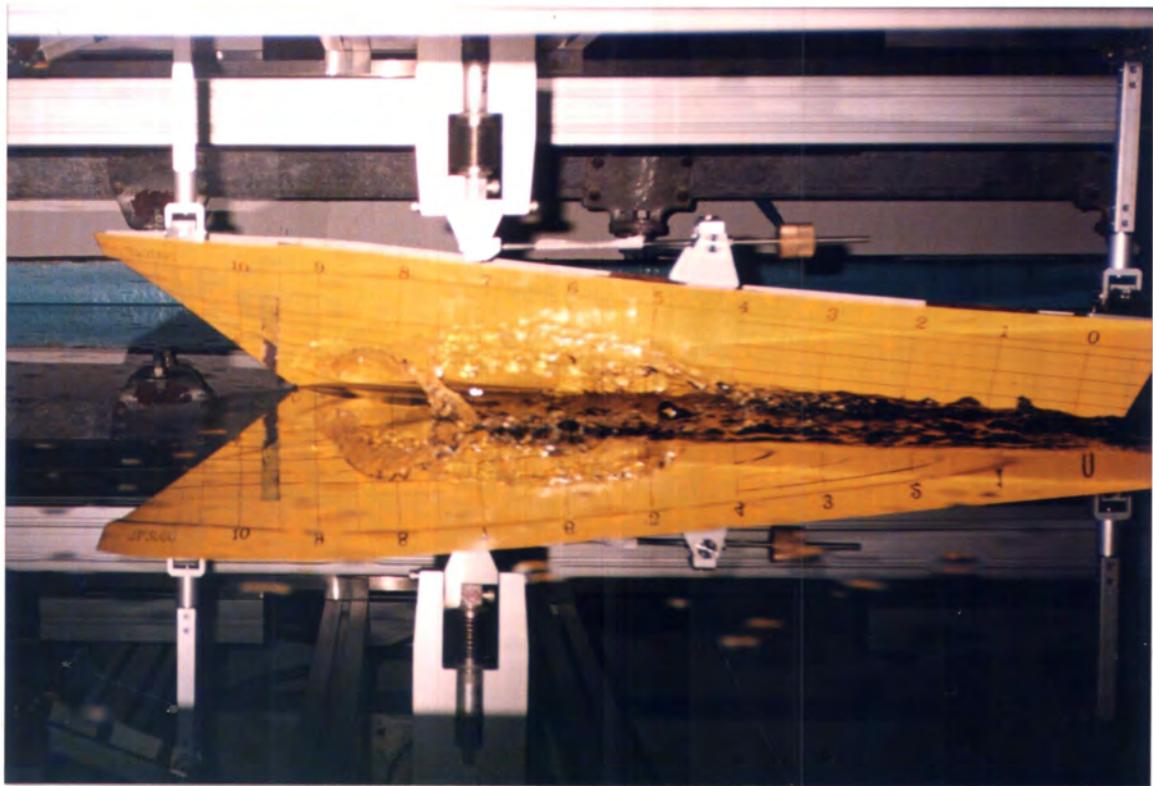


Model 1,  $F_n = 0,4$

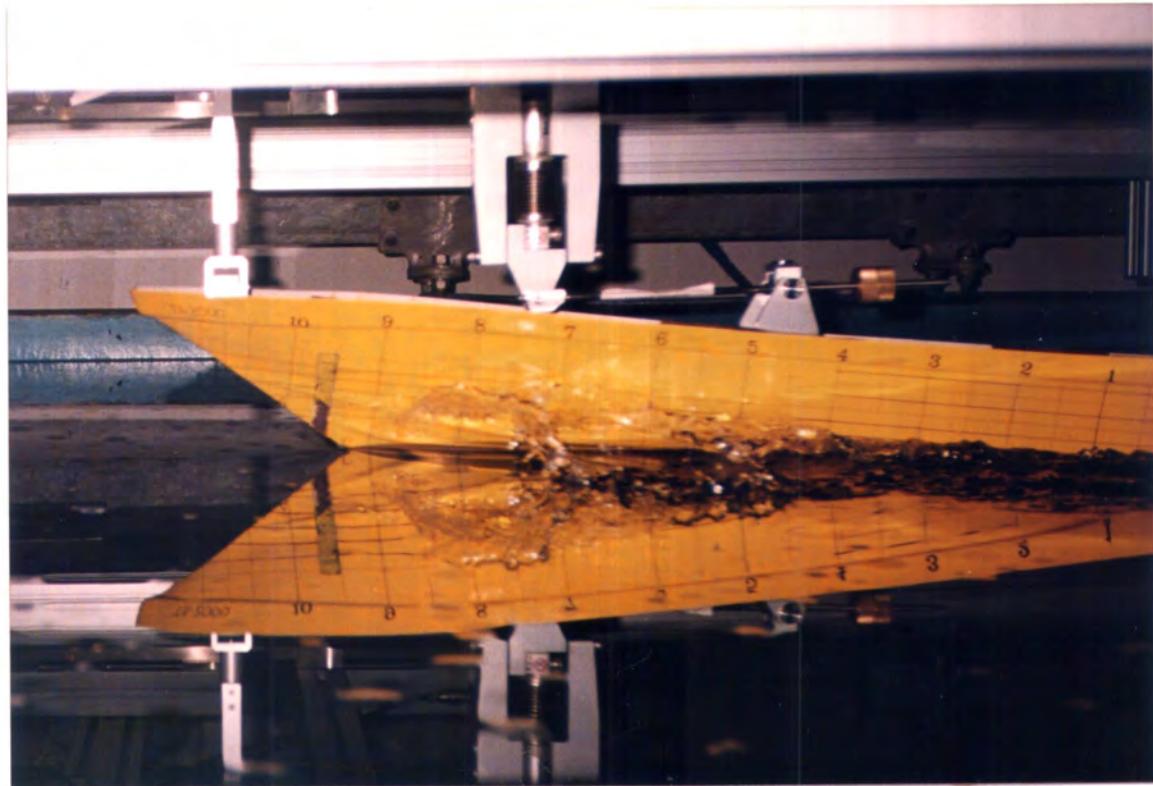
*"wave-breaking"*



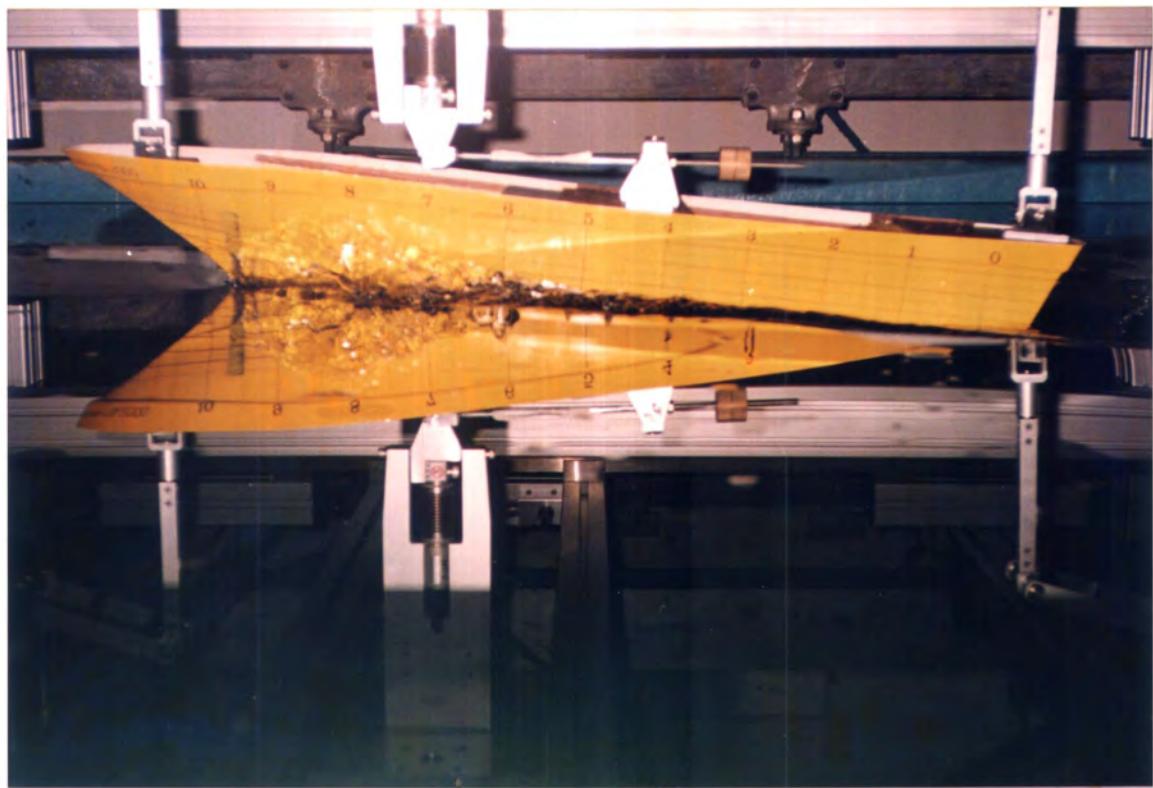
Model 1,  $F_n = 0,6$



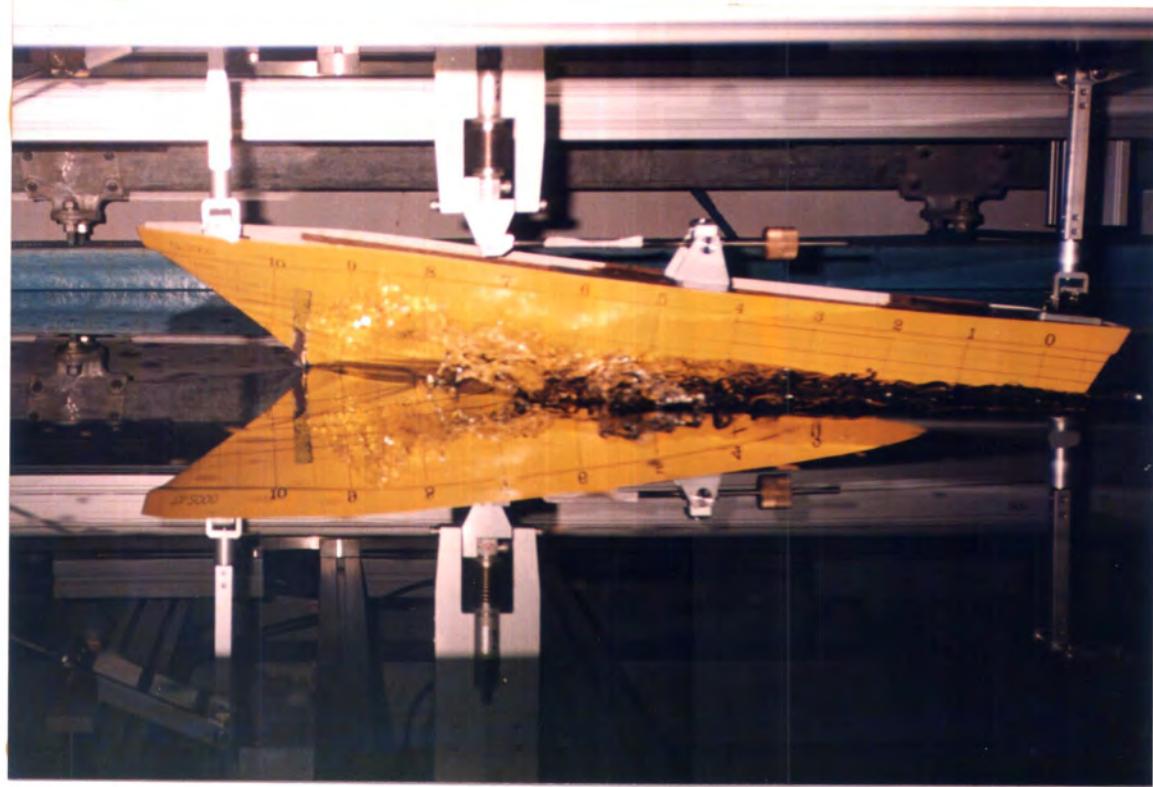
Model 1, Fn = 0,68



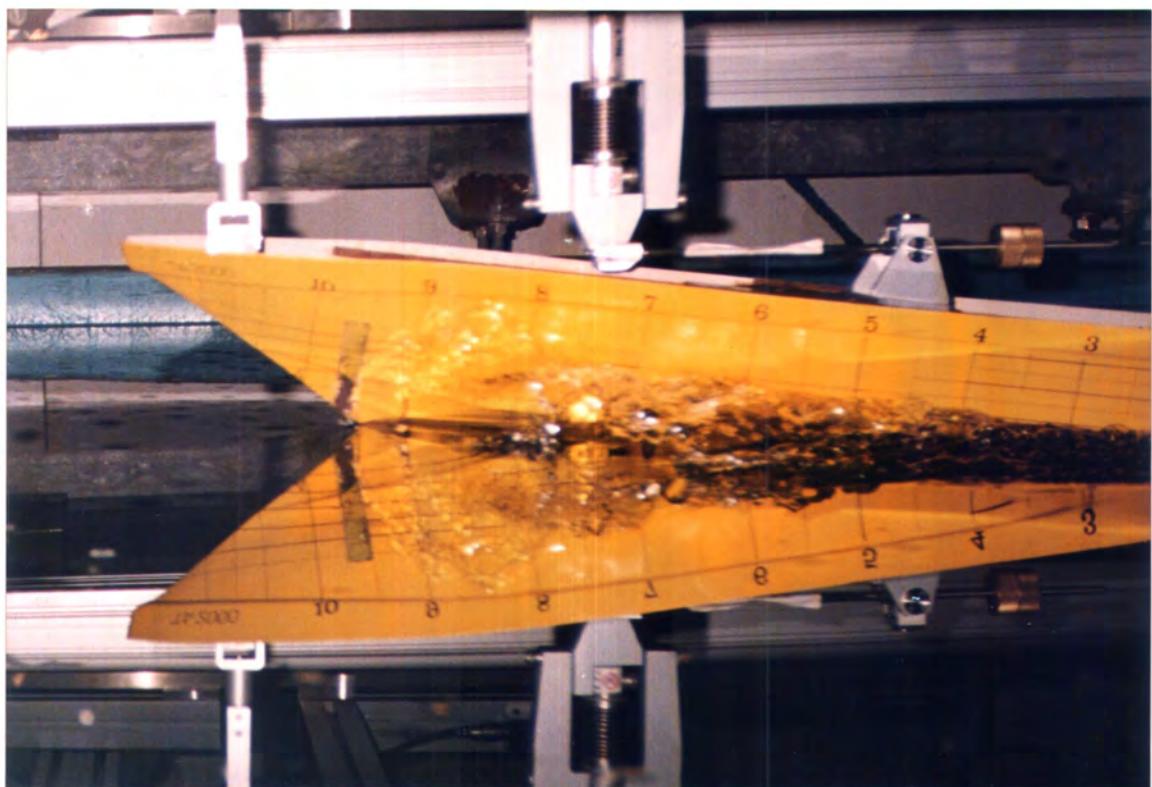
Model 1, Fn = 0,71



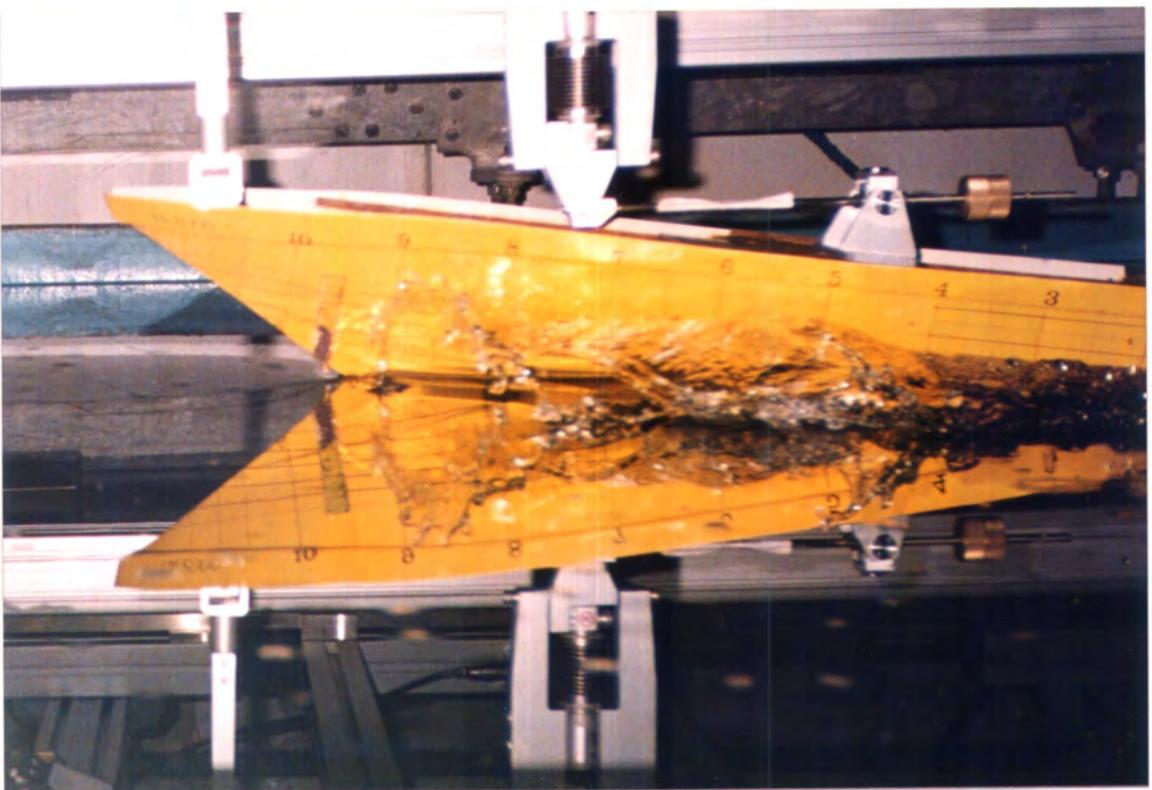
Model 2,  $F_n = 0,40$



Model 2,  $F_n = 0,61$



Model 2,  $F_n = 0,67$



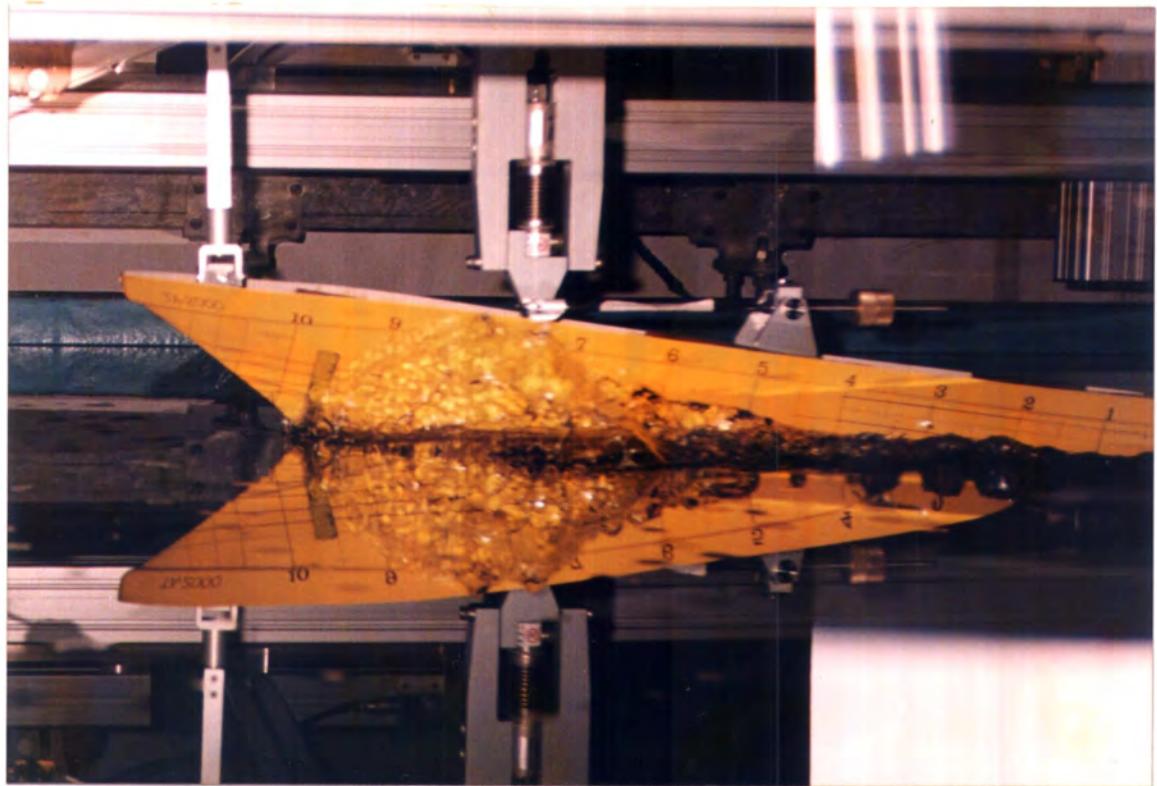
Model 2,  $F_n = 0,73$



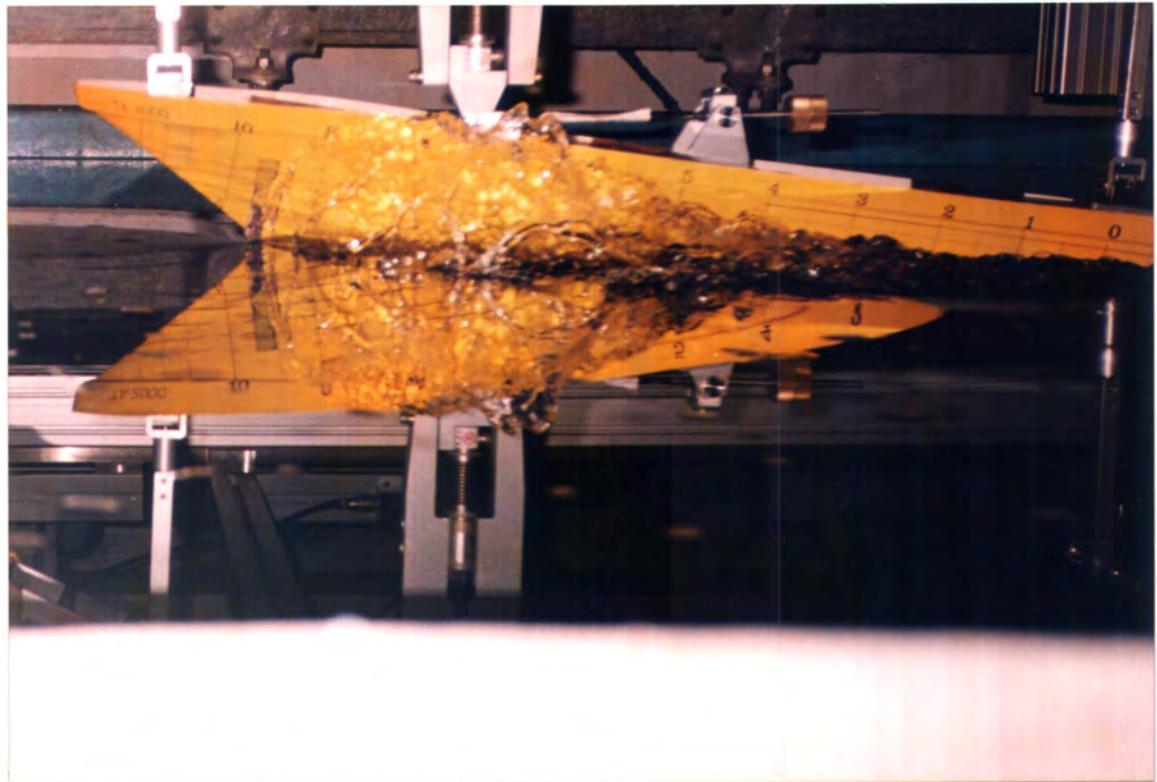
Model 3,  $F_n = 0,37$



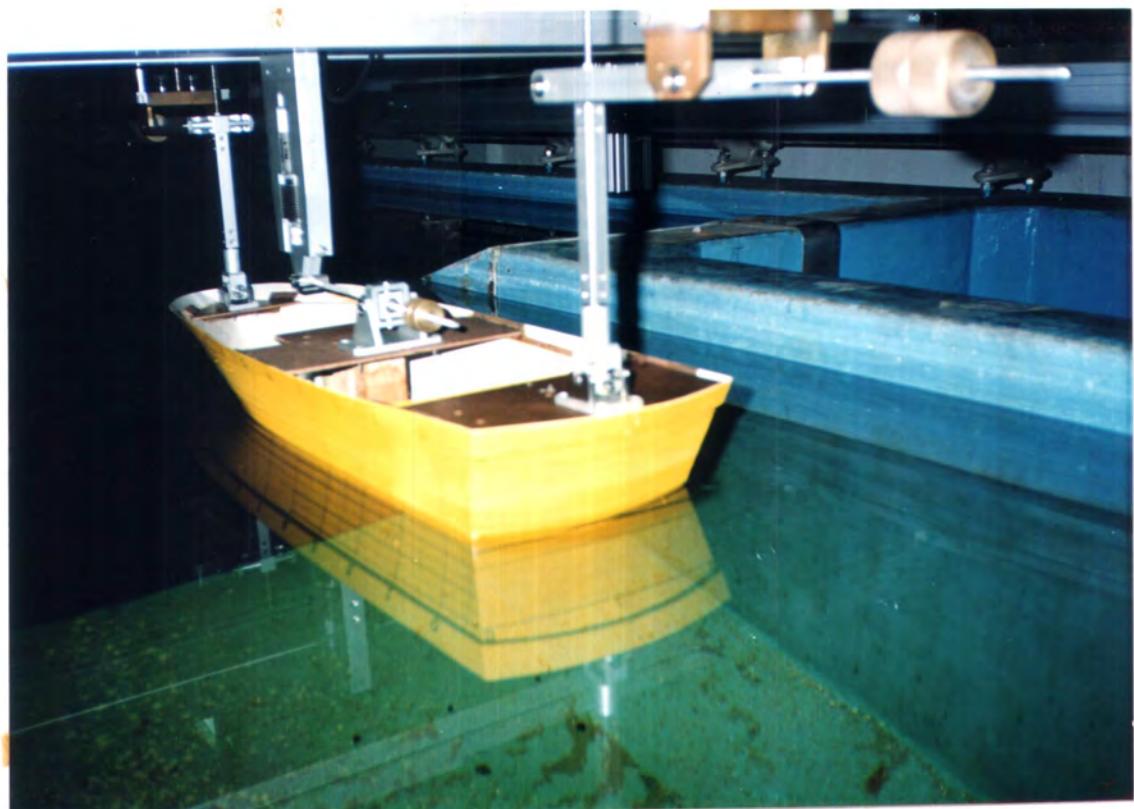
Model 3,  $F_n = 0,59$



Model 3,  $F_n = 0,66$



Model 3,  $F_n = 0,76$



Setting model



ADC (Analog Digital Converter)

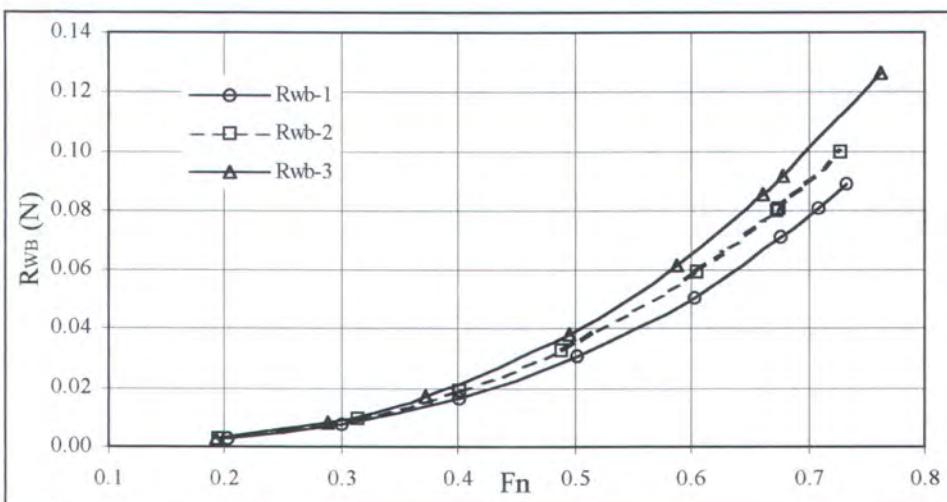
LAMPIRAN D: TABEL DAN GRAFIK PERHITUNGAN  $R_{WB}$

$F_n$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	V(model) m/dt	WSA (m <sup>2</sup> )	$C_{WB}$ (10 <sup>-3</sup> )	$R_{WB}$ (N)
Model 1					
0.20	1015.784	0.544	0.147985	0.113	0.003
0.30	1015.784	0.804	0.147985	0.152	0.007
0.40	1015.784	1.072	0.147985	0.191	0.016
0.50	1015.784	1.344	0.147985	0.227	0.031
0.60	1015.784	1.600	0.147985	0.263	0.051
0.68	1015.784	1.812	0.147985	0.288	0.071
0.71	1015.784	1.896	0.147985	0.299	0.081
0.73	1015.784	1.960	0.147985	0.307	0.089
Model 2					
0.19	1015.784	0.524	0.166374	0.108	0.002
0.31	1015.784	0.853	0.166374	0.157	0.010
0.40	1015.784	1.088	0.166374	0.189	0.019
0.49	1015.784	1.324	0.166374	0.221	0.033
0.61	1015.784	1.640	0.166374	0.262	0.059
0.67	1015.784	1.824	0.166374	0.285	0.080
0.67	1015.784	1.828	0.166374	0.285	0.080
0.73	1015.784	1.972	0.166374	0.303	0.099
Model 3					
0.19	1015.784	0.528	0.183597	0.106	0.003
0.29	1015.784	0.792	0.183597	0.145	0.009
0.37	1015.784	1.020	0.183597	0.177	0.017
0.49	1015.784	1.356	0.183597	0.221	0.038
0.59	1015.784	1.612	0.183597	0.254	0.061
0.66	1015.784	1.812	0.183597	0.278	0.085
0.68	1015.784	1.860	0.183597	0.284	0.092
0.76	1015.784	2.088	0.183597	0.312	0.127

Tabel D.1:  $R_{WB}$  model 1, 2 dan 3 pada WSA tetap

Fn	V(m/dt)	WSA (m <sup>2</sup> )	WSA (koreksi) (m <sup>2</sup> )	Cwb	Rwb (N)	Rwb (koreksi) (N)
Model 1						
0.20	0.544	0.147985	0.147985	0.113	0.003	0.003
0.40	1.072	0.147985	0.150368	0.191	0.016	0.017
0.60	1.600	0.147985	0.153222	0.263	0.051	0.052
0.68	1.812	0.147985	0.154820	0.288	0.071	0.074
0.71	1.896	0.147985	0.154820	0.299	0.081	0.084
Model 2						
0.19	0.524	0.166374	0.166374	0.108	0.002	0.002
0.40	1.088	0.166374	0.166454	0.189	0.019	0.019
0.61	1.640	0.166374	0.168683	0.262	0.059	0.060
0.67	1.824	0.166374	0.171053	0.285	0.080	0.082
0.73	1.972	0.166374	0.171784	0.303	0.099	0.103
Model 3						
0.19	0.528	0.183597	0.183597	0.106	0.003	0.003
0.37	1.020	0.183597	0.188188	0.177	0.017	0.018
0.59	1.612	0.183597	0.191767	0.254	0.061	0.064
0.66	1.812	0.183597	0.192003	0.278	0.085	0.089
0.76	2.088	0.183597	0.192290	0.312	0.127	0.133

Tabel D.2:  $R_{WB}$  model 1, 2 dan 3 pada WSA yang dikoreksi



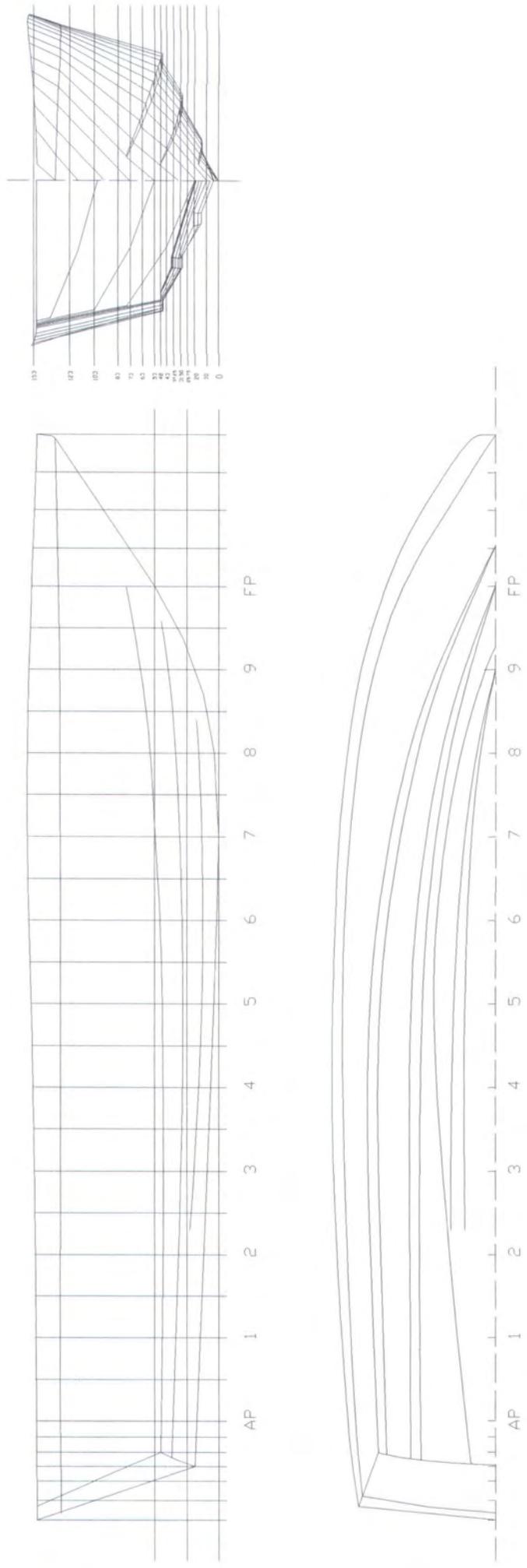
Gambar D.1: Grafik  $R_{WB}$  model 1, 2 dan 3

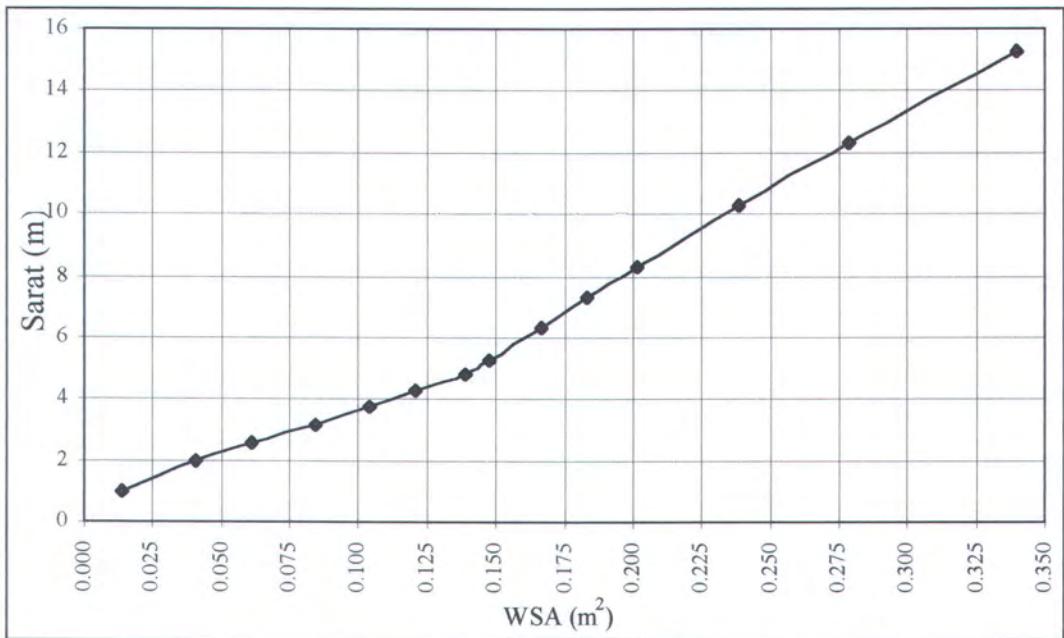
## LAMPIRAN E: DATA MODEL

## BODY PLAN MODEL

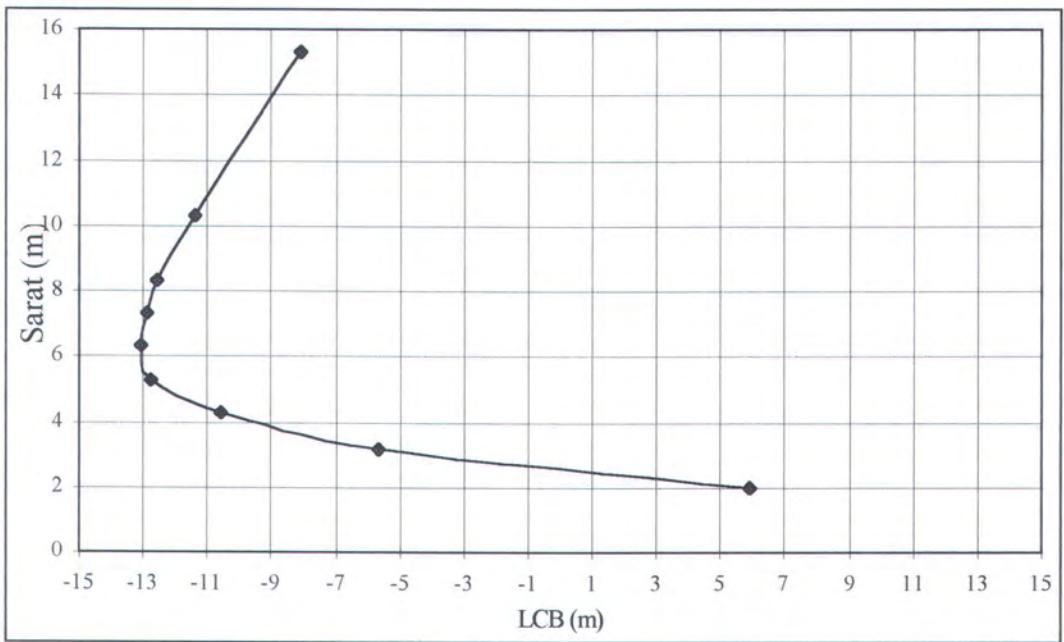
E-2

LINES PLAN MODEL

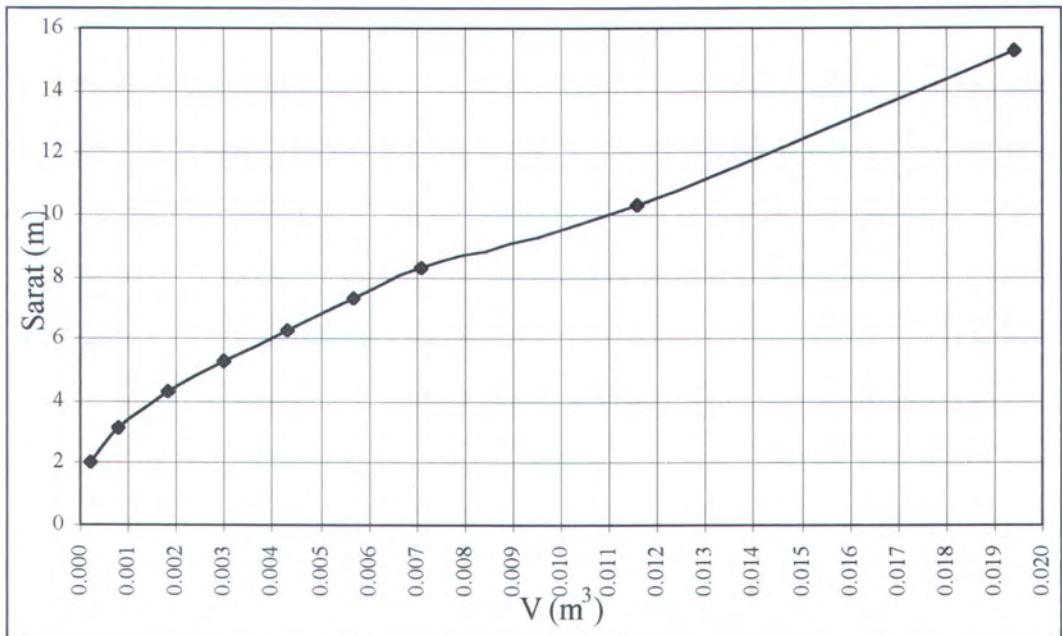




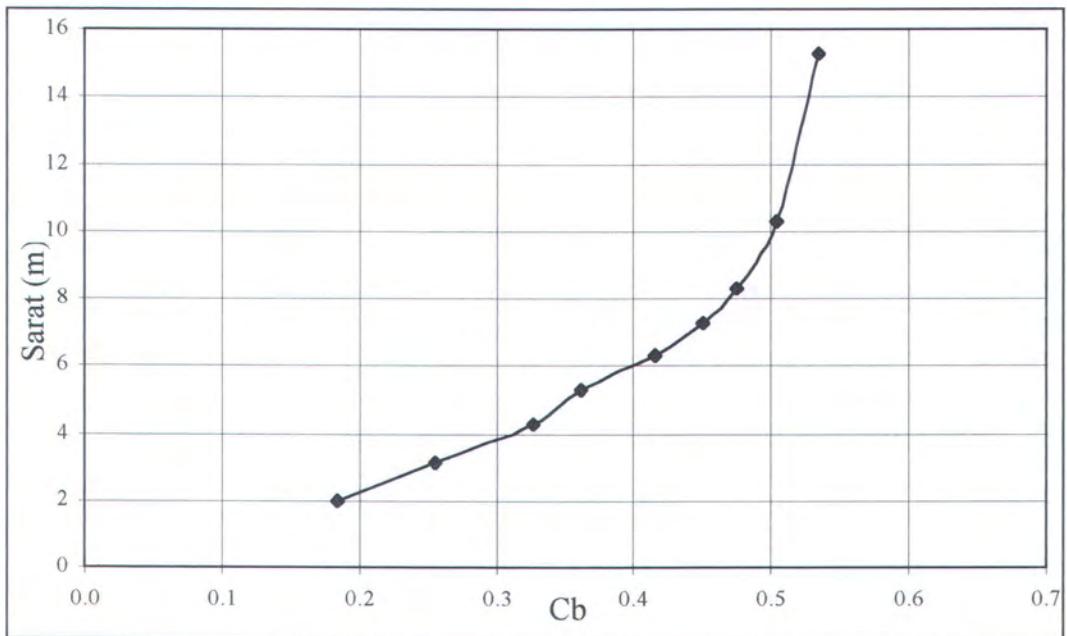
Gambar E.1: Grafik WSA model



Gambar E.2: Grafik LCB model



Gambar E.3: Grafik volume model



Gambar E.4: Grafik  $C_B$  model

