

# Analisa Ketidakpastian Pengujian Resistance Model Kapal LCT 1000 DWT

Dian Purnamasari<sup>1</sup>, AAB. Dinariyana<sup>2</sup> dan Meitha Soetardjo<sup>1</sup>

## Abstrak

Uji tahanan yang dilakukan di tangki tarik memiliki kesalahan (ketidakpastian) pada hasil. Analisa ketidakpastian dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas data percobaan dan menyediakan perkiraan kuantitatif kesalahan percobaan. Metodologi analisa ketidakpastian, prosedur, dan hasil disajikan untuk uji tahanan model kapal LCT 1000 DWT skala ( ) 15 dengan ukuran model kapal  $L = 3,997 M$ ,  $B = 1000 M$ ,  $T = 0,167 M$ ,  $WSA = 4,089 M^2$ , Prosedur dirangkum dan mengikuti International Towing Tank Conference (ITTC) Kualitas Manual Prosedur. Hasil penelitian menunjukkan nilai ketidakpastian sebesar 1,27% dari kecepatan 1,3271 m/s dan nilai ketidakpastian sebesar 4,79% dari tahanan 1,2771 kg.

**Kata kunci :** Analisa ketidakpastian, Prosedur pengujian, Model tes

## Abstract

The resistance experiment conducted in towing tank is subject to error (uncertainty) in the result. Uncertainty analyses can be employed to evaluate the quality of experimental data and provide a quantitative estimate of experimental error. Uncertainty analysis methodology, procedures, and results are presented for resistance test using ship model test LCT 1000 DWT scale ( ) 15 with the size of the ship model  $L = 3.997 M$ ,  $B = 1000 M$ ,  $T = 0.167 M$ ,  $WSA = 4.089 M^2$ , The procedures are summarized and follow the International Towing Tank Conference (ITTC) Quality Manual Procedures. The result shows uncertainty value of 1.27% for the speed of 1.3271 m/s and uncertainty value of 4.79% of the resistance of 1.2771 kg.

**Keywords :** Uncertainty analysis, Procedures, Ship model test.

## PENDAHULUAN

Penerapan ISO (1995) untuk pengujian hidrodinamika adalah sebuah perubahan mendasar dalam berpikir dan dalam menilai ketidakpastian dari sejarah yang telah diikuti ITTC. Hingga pada 24<sup>th</sup> ITTC pada tahun 2005, ITTC memilih untuk metode AIAA (1995), yang direvisi AIAA (1999) untuk pengembangan ITTC Uncertainty Analysis prosedur. AIAA (1999) adalah untuk “wind tunnel testing”. Standar Uncertainty Analysis untuk “wind tunnel testing” dianggap berlaku untuk “eksperimental hydrodynamics” dan “Towing Tank Resistance”.

Analisa ketidakpastian pada pengujian tahanan/resistance telah dilakukan yaitu Joe Longo dan Fred Stern “Uncertainty Assessment for Towing Tank Tests With Example for Surface Combatant DTMB Model 5415” *IIHR-Hydroscience and Engineering, The University of Iowa, Iowa City, Iowa, USA*, Greg

Hermanski “Uncertainty In Resistance Experiment Conducted in a Towing Tank” Institute for Marine Dynamic, National Research Council Canada, St.Jhon’s, Newfoundland, serta beberapa Laboratorium di dunia telah melaksanakan analisa ketidakpastian pada pengujian tahanan/resistance yang dikeluarkan reportnya yaitu Ship Research Institute , Mitaka, Tokyo 181, Japan , June 1, 2000 “Uncertainty Analysis for the KCS Model Test in the Towing Tank” , IIHR-Iowa Institute of Hydraulic Research-The University of Iowa, Iowa City, Iowa, September 2001 “ Towing Tank Experiments of Resistance, Sinkage and Trim, Boundary Layer, Wake, and Free Surface Flow Around a Naval Combatant Insean 2340 Model”, David Taylor model basin, Naval Surface Warfare Center, Carderock Division “Measurement Uncertainty Analysis of Ship Model Resistance and Self Propulsion Test.

Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI) dalam melaksanakan tugas pokoknya di bidang

1 UPT–BPPH, BPPT, Surabaya

2 Jurusan Teknik Siskal, FTK-ITS, Surabaya

Rancang Bangun dan Rekayasa Hidrodinamika berusaha secara terus menerus untuk melakukan perbaikan, jaminan kualitas layanan, kemampuan pengelolaan, agar menimbulkan kepercayaan publik terhadap produk (jasa) serta komitmen yang ditawarkan. Di sisi lain, penekanan pada mutu telah merangsang LHI untuk mendapatkan pengakuan eksternal mengenai mutu, yang disediakan oleh badan *International Organization for Standardisation's* (ISO) berupa seri-seri standar manajemen mutu internasional ISO 9000 untuk jaminan mutu akan produk-produk dan jasa yang dihasilkan LHI.

Dalam rangka memfasilitasi kegiatan program Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI) UPT BPPH dan memberikan pelayanan jasa teknologi yang mendapatkan pengakuan secara nasional dan internasional, maka UPT BPPH mengimplementasikan standar mutu untuk laboratorium yaitu : ISO/IEC 17025 – 2008 “ Persyaratan Umum Kemampuan Laboratorium Kalibrasi dan Laboratorium Pengujian “ ( ISO/IEC 17025 – 2008 : 4.1.2)

Pada persyaratan teknis dalam Sistem Manajemen Mutu ISO/IEC 17025 – 2005 disebutkan bahwa “ Laboratorium memperhitungkan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap ketidakpastian pengukuran dalam mengembangkan metode dan prosedur pengujian” maka harus dilakukan validasi metode yang merupakan konfirmasi melalui pengujian dan pengadaan bukti yang obyektif bahwa persyaratan tertentu untuk suatu maksud khusus dapat dipenuhi. Serta pada Jaminan Mutu Hasil Pengujian disebutkan bahwa “ UPT BPPH menjamin hasil pengujian dan memantau keabsahan hasil pengujian dengan berpedoman pada prosedur tentang jaminan mutu hasil pengujian. Data yang dihasilkan direkam sedemikian rupa sehingga semua kecenderungan dapat dideteksi dan bila memungkinkan teknik statistik diterapkan pada pengkajian hasil”.halaman pertama. Pengisian nomor dan tahun penerbitan akan dilakukan oleh redaksi.

### **Pengukuran, Akurasi, Kesalahan & Ketidakpastian**

Pengukuran adalah tindakan yang bertujuan untuk menentukan kuantitas dimensi suatu besaran pada suatu sistem, dengan cara membandingkan dengan satu satuan dimensi besaran tersebut, menggunakan alat ukur yang terkalibrasi dengan baik. Kegiatan pengukuran memerlukan dua perangkat penting yaitu instrumen (peralatan) sebagai perangkat kerasnya dan

metoda pengukuran sebagai perangkat lunaknya. Keduanya digunakan secara serempak untuk mendapatkan data yang sebaik-baiknya. Data hasil pengukuran terhadap suatu besaran fisis tidak akan memberikan suatu nilai yang tepat. Hal ini disebabkan oleh banyak faktor antara lain keterbatasan jangkauan ukur alat yang digunakan, kelemahan metoda pengukurannya, karakteristik alamiah besaran itu sendiri, dan lain-lain. Jadi data yang dapat disajikan nantinya hanyalah merupakan perkiraan terbaik tentang nilai besaran yang diukur. Hasil ukur biasanya ditampilkan dalam bentuk :

$$(x \pm s)$$

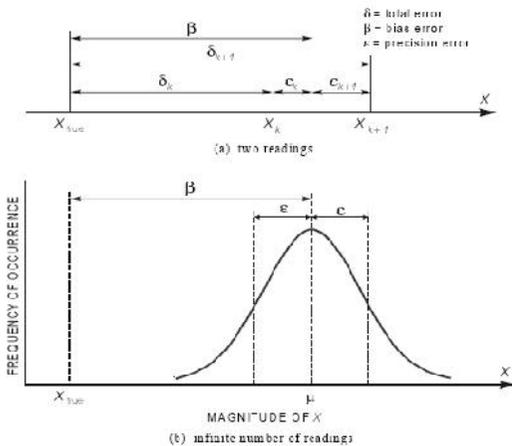
dimana  $x$  adalah nilai perkiraan terbaiknya dan  $s$  adalah *galat* (error) ukurnya. Nilai ukur yang dapat diterima dengan demikian adalah antara  $(x - s)$  sampai dengan  $(x + s)$ . Hasil pengukuran dikatakan sah hanya jika disertai dengan ketelitiannya (ditampilkan oleh galat ( $s$ )). Penting sekali untuk membedakan beberapa istilah yang sering dijumpai dari hasil pengukuran .

Error (kesalahan), adalah perbedaan antara hasil observasi atau pengukuran dengan nilai sebenarnya. Uncertainty (ketidakpastian), berkaitan dengan fluktuasi simpangan data yang diperoleh terhadap nilai pendekatan terbaiknya ( nilai rata-rata), sebagai gambaran kualitas hasil pengukuran atau perhitungan. Jadi, kita harus memperkirakan kesalahan yang disebut ketidakpastian ( $U$ ). Biasanya estimasi ketidakpastian  $U_x$  dalam pengukuran kuantitas fisik  $X$  dibuat pada tingkat kepercayaan (Confident Level) 95 persen. Ini berarti bahwa nilai sebenarnya dari kuantitas yang diharapkan berada dalam interval  $\pm U$  pada antara 95 dari 100.

Kesalahan diklasifikasikan sebagai kesalahan presisi jika menyumbang tersebarnya data, jika tidak, maka kesalahan bias. Dampak dari kesalahan tersebut pada beberapa pembacaan variabel  $X$ , yang diilustrasikan pada Gbr. 1.

Jika melakukan pengukuran sebanyak  $N$  pada beberapa variabel, kesalahan bias memberikan perbedaan antara nilai rata-rata ( $\mu$ ) dari pembacaan dan nilai sebenarnya dari variabel itu. Untuk satu instrumen ukur pada beberapa variabel maka kesalahan bias ( $B$ ) adalah tetap, sistematis, atau konstan (misalnya, resolusi skala). Menjadi nilai tetap, kesalahan bias tidak dapat ditentukan secara statistik. Perkiraan ketidakpastian untuk ( $B$ ) disebut batas bias,  $B$ . Pendekatan berguna untuk memperkirakan besarnya

kesalahan bias adalah mengasumsikan bahwa kesalahan bias untuk kasus yang diberikan merupakan realisasi tunggal yang diambil dari beberapa distribusi statistik induk kemungkinan kesalahan bias. Interval didefinisikan oleh  $\pm B$  mencakup 95% dari kemungkinan kesalahan bias yang dapat direalisasikan dari distribusi induk. Sebagai contoh, sebuah termistor yang produsen menetapkan bahwa 95% dari sampel model yang diberikan adalah dalam  $\pm 1,0$  °C dari kurva kalibrasi referensi resistensi-suhu yang disertakan dengan termistor. Kesalahan presisi ( $P$ ), adalah kesalahan acak dan akan memiliki nilai yang berbeda untuk setiap pengukuran. Ketika pengukuran berulang akan dilakukan untuk kondisi pengujian tetap, kesalahan presisi akan diamati sebagai penyumbang tersebarnya data. Kesalahan presisi adalah disebabkan oleh keterbatasan pada pengulangan dari sistem pengukuran dan untuk fasilitas dan dampak lingkungan. Kesalahan presisi diperkirakan dengan menggunakan analisa statistik, yaitu diasumsikan sebanding dengan deviasi standar sampel pengukuran  $N$  pada variabel  $X$ . Perkiraan ketidakpastian dari ( $P$ ) disebut batas presisi  $P$ .



Gbr. 1. Kesalahan pengukuran dari variabel  $X$   
(Coleman and Steele,1995)

### Analisa Dimensi Untuk Tahanan kapal

Analisa dimensi adalah membantu untuk mengklasifikasikan dan menghitung berbagai jenis tahanan/resistance, dengan menguji dasar hukum yang mengatur tahanan/resistance dari sebuah benda yang bergerak melalui sebuah fluida. Analisa dimensi sangat berguna dalam data analisa uji model kapal, yang dapat menyimpulkan tahanan/resistance kapal yang sesuai. Analisa dimensi didasarkan pada prinsip

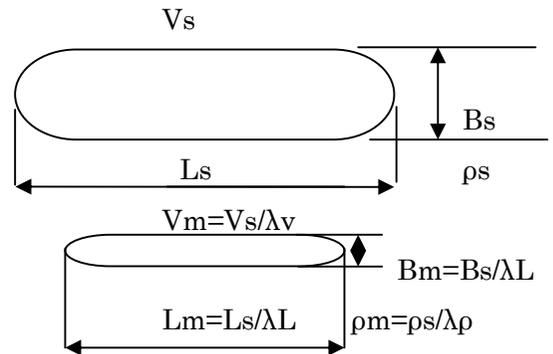
bahwa suatu persamaan yang menyatakan hubungan fisik harus mempunyai dimensi yang homogen. Dengan kata lain, unit fisik seluruh persyaratan pada kedua sisi dari persamaan harus sama.

Model fisik merupakan metode yang efektif untuk memperkirakan unjuk kerja suatu kapal dengan kondisi yang sangat kompleks, dalam memakai model fisik, hasil yang diperoleh harus ditransfer dari skala model ke skala penuh, dengan demikian maka harus ada atau harus dinyatakan beberapa hukum perbandingan untuk keperluan transfer tersebut.

Jika gaya spesifik yang bekerja pada model harus mirip dengan yang bekerja pada obyek yang berskala penuh maka syarat berikut harus dipenuhi :

### Kesamaan geometri

Kesamaan geometri ada/terjadi antara model dan prototipe jika rasio dari semua dimensi karakteristik pada model dan prototipe adalah sama. Rasio panjang kapal dengan panjang model biasanya digunakan untuk menentukan faktor skala.



Gbr. 2. Rasio skala

### Kesamaan kinematis

Rasio kecepatan pada model harus sama dengan rasio kapal skala penuh.

$$\frac{V_s^2}{g_s L_s} = \frac{g_s L_s}{g_M L_M}$$

$$\frac{V_s^2}{g_M L_M} = \frac{V_M^2}{g_s L_s} \text{ atau } \frac{V_s}{\sqrt{g_s L_s}} = \frac{V_M}{\sqrt{g_M L_M}} = Fr$$

$V_s$  = kecepatan kapal

$V_M$  = kecepatan model

$g_s$  = gravitasi kapal

$g_M$  = gravitasi model  
 $L_S$  = panjang kapal  
 $L_M$  = panjang model

Fr adalah angka Froude, dengan memakai harga angka Froude yang sama maka gaya yang diukur pada model dapat dikonversikan ke gaya skala penuh . Antara model dan kapal dianggap terdapat kesamaan geometris dan kinematis, dianggap bahwa:

$$\lambda_L = \frac{l_S}{L_M} = \text{skala panjang}$$

$$\lambda_\rho = \frac{\rho_S}{\rho_M} = \text{skala massa jenis spesifik}$$

$$\lambda_V = \frac{V_S}{V_M} = \text{skala kecepatan}$$

#### Kesamaan dinamis

Jika percobaan model yang dilakukan dimaksudkan untuk mendapatkan informasi mengenai besarnya gaya yang bekerja pada kapal maka harus ada kesamaan dinamis.

Rasio antara gaya viscos pada model ( $F_{VS}$ ) dan gaya viscos pada Kapal ( $F_{VM}$ ) adalah :

$$\lambda_{FV} = \frac{F_{VS}}{F_{VM}} = \lambda\eta \frac{\lambda_V}{\lambda_L} \lambda_L^2$$

= koefisien dinamis viskositas

Dengan menyisipkan  $\mu'$  , viscositas kinematis, maka didapat :

$$\frac{V_M L_M}{\nu_M} = \frac{V_S L_S}{\nu_S} = Rn$$

Rn adalah angka Reynolds

Kedua kesamaan dinamis dan geometrik tidak dapat diperoleh pada model fisik yang sama karena Rn dan Fr pada model dan kapal tidak mungkin dicapai, maka kesamaan dinamis dapat dicapai dengan "Corresponding Speed".

$$C_V = f(R_n), \quad C_W = f(F_n)$$

$$R_{nS} = R_{nM}, \quad F_{nS} = F_{nM}$$

$$\frac{L_S V_S}{\nu_S} = \frac{L_M V_M}{\nu_M}, \quad \frac{V_S}{\sqrt{g L_S}} = \frac{V_M}{\sqrt{g L_M}}$$

$$V_M = V_S \frac{V_M}{V_S} \frac{L_S}{L_M}, \quad V_M = V_S \sqrt{\frac{L_M}{L_S}}$$

#### **Koefisien Total Resistance**

$$C_T = \frac{R_T}{0,5 \rho V^2 S}$$

Koefisien tahanan total ( $C_T$ ) untuk bagian badan kapal yang berada dibawah air, dimanana  $R_T$  adalah tahanan total,  $V$  kecepatan model atau kapal dan  $S$  permukaan basah model atau kapal. Yang dinyatakan sebagai fungsi angka Reynold  $Rn$  dari model dan kapal yang bersangkutan

Reynold number, berhubungan dengan tahanan gesek

$$Re = \frac{LV}{\nu}$$

Froude number, berhubungan dengan tahanan gelombang  $Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$

$$C_T = \frac{R}{\frac{1}{2} \rho S V^2} = f\left(\frac{VL}{\nu}, \frac{V}{\sqrt{Lg}}\right) = f(Re, Fr)$$

Ketika model dan prototipe mempunyai kesamaan geometri dan kedua koefisien berdimensi ( $Re, Fr$ ) adalah sama, maka koefisien resistance ( $C_T$ ) harus sama.

#### **Koefisien Frictional Resistance**

$$C_F = \frac{0,075}{(\text{Log}10 Re - 2)^2} = \frac{0,075}{\left(\text{Log} \frac{LV}{\nu} - 2\right)^2}$$

Koefisien tahanan gesek ( $C_F$ ) spesifik untuk permukaan bidang yang mempunyai aspek rasio yang tak terhingga didalam aliran turbulen, dimana harga angka Reynold untuk kapal pada umumnya berada dalam rentang mulai  $10^8$  hingga  $10^{10}$ .

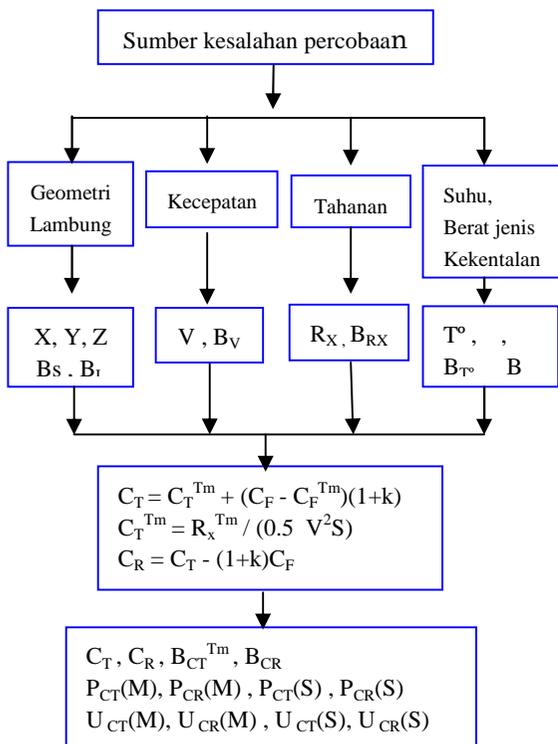
#### **Prosedur yang Direkomendasikan ITTC**

Tujuan dari prosedur ini adalah untuk memberikan contoh analisa ketidakpastian dari pengujian tahanan skala model di tangki pengujian (Towing Tank) . Prosedur ini memberikan contoh yang menunjukkan penilaian ketidakpastian dalam uji tahanan/resistance skala model di towing tank . Batas bias dan batas presisi dan ketidakpastian total untuk penarikan tunggal (single) dan berkali-kali (multiple) untuk penilaian koefisien total resistance ( $C_T$ ), dan koefisien residuary resistance ( $C_R$ ) dalam skala model disalah satu Froude number. Tujuan pengukuran tahanan pada

percobaan untuk mendapatkan hubungan antara koefisien residuary resistance ( $C_R$ ) dan Froude number ( $Fr$ ) model kapal dan jika diperlukan factor bentuk ( $k$ ). Pengukuran langsung dari percobaan adalah tahanan total ( $R_T$ ) serta sikap menjalankan sebuah model kapal pada kecepatan masing-masing. Ketika melakukan analisis ketidakpastian untuk kasus nyata, beberapa rincian perlu diadaptasi sesuai dengan peralatan yang digunakan dan prosedur diikuti dalam setiap masing-masing fasilitas .

Metodologi mengasumsikan bahwa distribusi kesalahan dengan pendekatan terbaik pada distribusi Gaussian, yaitu estimasi ketidakpastian yang dibuat pada tingkat kepercayaan 95 persen menggunakan teknik sampel ukuran besar.

### Prosedur dan sistem pengukuran



Gbr.3. Blok diagram prosedur pengujian

Pada gambar 3 menunjukkan diagram blok pengujian tahanan termasuk pengukuran sistem secara individu , pengukuran variabel secara individu, reduksi data dan hasil percobaan.

### Analisa Ketidakpastian

Ketidakpastian untuk total koefisien tahanan diberikan oleh jumlah akar kuadrat dari Ketidakpastian total batas bias dan bata presisi

$$[U_{CT}]^2 = [B_{CT}]^2 + [P_{CT}]^2$$

$$[U_{CR}]^2 = [B_{CR}]^2 + [P_{CR}]^2$$

Batas bias untuk  $B_{CT}$  dapat dihitung :

$$(B_{CT})^2 = \left(\frac{\partial C_T}{\partial S} B_S\right)^2 + \left(\frac{\partial C_T}{\partial V} B_V\right)^2 + \left(\frac{\partial C_T}{\partial R_x} B_{R_x}\right)^2 + \left(\frac{\partial C_T}{\partial S} B_{..}\right)^2$$

Batas bias untuk  $B_{CR}$  adalah

$$(B_{CR})^2 = \left(\frac{\partial C_R}{\partial C_T} B_{CT}\right)^2 + \left(\frac{\partial C_R}{\partial k} B_k\right)^2 + \left(\frac{\partial C_R}{\partial C_F} B_{CF}\right)^2$$

Batas-batas presisi akan ditentukan untuk  $C_T$  dan  $C_R$  dengan metode end-to-end dimana semua kesalahan presisi untuk kecepatan, tahanan/resistance dan suhu / densitas / viskositas adalah disertakan. Batas-batas presisi untuk penarikan tunggal (S) dan untuk nilai rata-rata tes multiple (M) harus ditentukan. Terlepas seperti apakah presisi batas harus ditentukan untuk percobaan tunggal/single atau percobaan beberapa/multiple maka standar deviasi harus ditentukan dari multiple tes untuk mencakup kesalahan acak seperti misalignment model, heel, trim, dll . Jika tidak mungkin untuk melakukan mengulangi tes percobaan yang harus memperkirakan nilai untuk error presisi menggunakan informasi terbaik yang tersedia pada waktu itu. Presisi batas untuk multipletes dihitung berdasarkan :

$$P(M) = \frac{KSD_{dev}}{\sqrt{M}}$$

dimana  $M$  = jumlah penarikan dengan batas presisi yang telah ditentukan,  $SD_{dev}$  adalah standar deviasi yang ditentukan dari multiple tes dan  $K = 2$  sesuai dengan metodologi.

Batas presisi untuk penarikan tunggal dapat dihitung dengan :

$$P(M) = K SD_{dev}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil

Tabel 1. Ukuran utama kapal & model kapal LCT 1000

Simbol	Kapal	Model	Satuan
LOA	59.950	3.997	M
LPP	51.374	3.425	M
LWL	52.319	3.488	M
B	15.000	1.000	M
T	2.500	0.167	M
S	920.060	4.089	M <sup>2</sup>
AWP	746.480	3.318	M <sup>2</sup>
$\nabla = LWLBT_{CB}$	1571.110	0.466	M <sup>3</sup>
$CB = \nabla / LWLBT$	0.816	0.816	
$CWP = AWP / LWLB$	0.969	0.969	
$CS = S / (\nabla / LWL)$	3.209	3.209	
CM	0.985	0.985	
		15	

Tabel 2. Nilai bias geometry model LCT 1000 DWT

Uraian	Nilai	Satuan
Panjang model	3.490	M
Lebar model	1.001	M
Sarat model	0.168	M
Displacement	0.478	M <sup>3</sup>
Wetted Surface	4.145	M
Draught	0.163	M
Penambahan displacement	0.012	Kg
Penambahan wetted surface	0.055	M <sup>2</sup>
Penurunan draught	0.004	M
BIAS WSA	0.02503	M <sup>2</sup>
ERROR HULL		
BIAS WETTED SURFACE PADA DISPLACEMENT	0.00336	M <sup>2</sup>
TOTAL BIAS WETTED SURFACE AREA	0.02504	M <sup>2</sup>

Tabel 3. Elemental bias kecepatan model

V <sub>m</sub> m/s	Elemental Bias Errors		
	$\frac{\partial V}{\partial n} B_n$	$\frac{\partial V}{\partial D} B_D$	$\frac{\partial V}{\partial \Delta t} B_{\Delta t}$
0.9298	0.00511	0.0000296	-0.0000953
0.9955	0.00511	0.0000338	-0.0001089
1.0626	0.00511	0.0000359	-0.0001157
1.1286	0.00511	0.0000380	-0.0001224
1.1941	0.00511	0.0000402	-0.0001293
1.2613	0.00511	0.0000423	-0.0001360
1.3271	0.00511	0.0000444	-0.0001429
1.3940	0.00511	0.0000465	-0.0001496
1.4598	0.00511	0.0000465	-0.0001496
1.4597	0.00511	0.0000465	-0.0001496

Tabel 4. Nilai ketidakpastian kecepatan model

Bias Limit	Precision Limit	Overall Uncertainty	
		(±m/s)	(±%)
0.0051108	0.0061	0.0080	5.921
0.0051108	0.0076	0.0092	3.439
0.0051117	0.0097	0.0109	1.176
0.0051120	0.0108	0.0120	1.204
0.0051122	0.0119	0.0130	1.219
0.0051124	0.0076	0.0092	0.812
0.0051126	0.0087	0.0101	0.846
0.0051128	0.0121	0.0132	1.043
0.0051130	0.0161	0.0169	1.270
0.0051132	0.0113	0.0124	0.888
0.0051132	0.0092	0.0105	0.720
0.0051132	0.0092	0.0105	0.720

Tabel 5. Elemental bias resistance

Model Total Resistec (kg)	Elemental Bias Error			
	Bstd	BC <sub>RT</sub>	B <sub>ML</sub>	B <sub>AD</sub>
0.8980	0.0005	0.0121	0.0279	0.000010
1.0430	0.0005	0.0121	0.0324	0.000010
1.2271	0.0005	0.0121	0.0381	0.000010
1.3941	0.0005	0.0121	0.0433	0.000010
1.6162	0.0005	0.0121	0.0502	0.000010
1.8280	0.0005	0.0121	0.0568	0.000010
2.1798	0.0005	0.0121	0.0678	0.000010
2.6028	0.0005	0.0121	0.0809	0.000010
2.9483	0.0005	0.0121	0.0917	0.000010
2.9415	0.0005	0.0121	0.0914	0.000010

Tabel 6. Nilai ketidakpastian resistance

Bias Limit	Precision Limit	Overall Uncertainty (U <sub>R</sub> )	
		(±kg)	(±%)
0.0304	0.0107	0.0322	3.5894
0.0346	0.0129	0.0369	3.5414
0.0400	0.0431	0.0588	4.7937
0.0450	0.0431	0.0623	4.4672
0.0517	0.0241	0.0570	3.5280
0.0581	0.0393	0.0702	3.8382
0.0688	0.0126	0.0700	3.2102
0.0818	0.0493	0.0955	3.6690
0.0925	0.0452	0.1029	3.4898
0.0922	0.0452	0.1027	3.4914

Tabel 7. Perhitungan niali bias temperatur

Uraian	Simbol	Nilai	Satuan
Suhu	T	27	°C
Bias suhu	B <sub>t</sub>	0,01	°C
Bias densitas	B	3.2	kg/m <sup>3</sup>
Bias Viscositas	B <sub>v</sub>	6.82573E-09	m <sup>2</sup> /s

Tabel 8. Hasil perhitungan koefisien total &amp; koefisien friction

F <sub>n</sub>	R <sub>n</sub>	CT	CF	CT/CF
0,0230	5,43E+05	0,00638	0,00538	1,18705
0,0455	1,08E+06	0,00579	0,00461	1,25519
0,1589	3,75E+06	0,00498	0,00358	1,39064
0,1702	4,02E+06	0,00505	0,00354	1,42742
0,1817	4,29E+06	0,00521	0,00349	1,49197
0,1929	4,56E+06	0,00525	0,00346	1,51971
0,2041	4,82E+06	0,00544	0,00342	1,59035
0,2156	5,09E+06	0,00551	0,00339	1,62871
0,2269	5,36E+06	0,00594	0,00335	1,77075
0,2383	5,63E+06	0,00643	0,00332	1,93358
0,2496	5,89E+06	0,00664	0,00330	2,01429
0,2495	5,89E+06	0,00662	0,00330	2,00983

## PEMBAHASAN

Ketidakpastian tergantung pada seluruh proses pengujian di towing tank, dan setiap perubahan dalam proses secara signifikan dapat mempengaruhi ketidakpastian hasil pengujian.

Dalam rangka mengidentifikasi dan menghitung sumber kesalahan, dua factor yang harus dipertimbangkan:

- Langkah-langkah yang digunakan dalam proses untuk memperoleh pengukuran kuantitas, dan
- Kondisi lingkungan di mana langkah-langkah yang dicapai, setiap faktor mempengaruhi hasilnya.

Kondisi yang baik adalah ketika data uji yang diambil pada kondisi “stabil”, tapi biasanya hasilnya ditentukan dengan menggunakan persamaan reduksi data yang akan menunjukkan nilai hasil di atas interval selama beberapa variasi lengkap dalam variabel yang terjadi namun biasanya tidak mungkin untuk melakukan pengukuran lebih dari seluruh interval, seperti beberapa variasi mungkin memiliki periode jam atau bahkan berhari-hari dan lain-lain mungkin tidak sama sekali, pengukuran diambil dalam waktu yang singkat dengan pemahaman penuh bahwa interval untuk variasi dari beberapa variabel dari waktu pengukuran.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diatas maka dapat disimpulkan bahwa:

- a. Nilai ketidakpastian terhadap kecepatan model dipengaruhi beberapa fungsi yang menggerakkan kereta tarik yaitu pulse counter, diameter roda dan waktu . Dari Tabel 4.3 nilai bias terhadap pulse counter lebih besar dibandingkan dengan yang lain dan nilai ketidakpastian terhadap kecepatan model lebih besar pada kecepatan 1.3271 m/s yaitu 1.270%
- b. Nilai ketidakpastian terhadap resistance dipengaruhi fungsi dari resistance transducers yang meliputi Standard weight, calibration, misalignment dan AD converter. Dari Tabel 4.6 nilai bias terhadap misalignment lebih besar dibandingkan dengan yang lain dan nilai ketidakpastian terhadap resistance terbesar adalah pada resistance 1,2771 kg yaitu 4.7937%

## DAFTAR PUSTAKA

- Coleman, H.W. and Steele, W.G., (1999), 'Experimentation and Uncertainty Analysis for Engineers,' 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
- Hermanski, G., "Uncertainty in Resistance Experiment Conducted in a Towing Tank" Canadian Marine Hydromechanic Conference.
- ITTC, (1999a), 'Uncertainty Analysis in EFD, Uncertainty Assessment Methodology,' 22nd International Towing Tank Conference, Seoul/Shanghai, ITTC Recommended Procedures, Procedure 7.5-02-01-01
- ITTC, (1999b), 'Uncertainty Analysis in EFD, Guidelines for Towing Tank Tests,' 22nd International Towing Tank Conference, Seoul/Shanghai, ITTC Recommended Procedures , Procedure 7.5-02-01-02
- ITTC, (1999c), 'Density and Viscosity of Water,' 22nd International Towing Tank Conference, Seoul/Shanghai, ITTC Recommended Procedures , Procedure 7.5-02-01-03
- ITTC, (1999d), 'Uncertainty Analysis, Example for Resistance Test,' 22nd International Towing Tank Conference, Seoul/Shanghai, ITTC Recommended Procedures , Procedure 7.5-02-02-02
- Longo, J. and Stern, F., (2005), "Uncertainty

Assessment for Towing Tank Tests With Example for Surface Combatant DTMB Model 5415", Journal of Ship Research, Vol. 49, No. 1, pp. 55–68.

- Van Manen, J. D., and van Oossanen, P., (1988), "Resistance", Chapter V, Volume II Resistance, Propulsion, and Vibration in Principles of Naval Architecture, Edward V. Lewis, editor, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, New Jersey.