



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEK PENAMBAHAN KEKASARAN PADA CERUK
HALUAN TERHADAP HAMBATAN KAPAL TRIMARAN
DENGAN KONFIGURASI R/L 0.2**

SKRIPSI

**ALFI FAJRI
0806459160**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEK PENAMBAHAN KEKASARAN PADA CERUK
HALUAN TERHADAP HAMBATAN KAPAL TRIMARAN
DENGAN KONFIGURASI R/L 0.2**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ALFI FAJRI
0806459160**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,

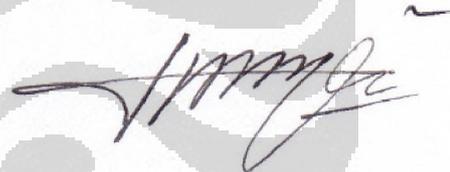
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk

Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Alfi Fajri

NPM : 0806459160

Tanda Tangan :



Tanggal : 19 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Alfi Fajri

NPM : 0806459160

Program Studi : Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : Efek penambahan Kekasaran pada Ceruk Buritan Terhadap Hambatan Kapal Trimaran dengan Konfigurasi R/L 0.2

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M. Eng (

Penguji : Dr. Ir. Sunaryo, M.Sc (

Penguji : Ir. M. A. Talahatu, M.T (

Penguji : Ir. Hadi Tresno Wibowo (

Penguji : Ir. Mukti Wibowo (

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 19 Juni 2012

KATA PENGANTAR

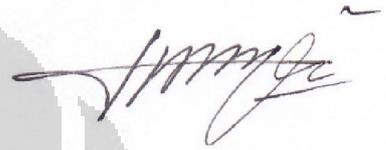
Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, hidayah serta inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perkapalan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Yanuar, M.Sc, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ir. M. A. Talahatu, M.T, Dr. Ir. Sunaryo, M.Sc., Ir. Hadi Tresno Wibowo, Ir. Mukti Wibowo selaku dosen program studi Teknik Perkapalan yang telah menularkan ilmu dan pengalamannya.
3. Bpk Yaneris st. Mangkuto dan Ibu Rosmi tercinta, atas dukungan spiritual, moral dan materil yang diberikan tanpa hentinya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Gunawan, S.T dan M.Baqi, S.T selaku asisten dosen yang telah meluangkan waktu untuk melakukan asistensi.
5. Anggi Maisarah Tanjung “sahabat hidup” yang dengan sabar selalu menemani dan memberikan semangat baik langsung maupun tidak langsung.
6. Sepupu-sepupu saya yang selalu membantu dan memberikan masukan dalam penyelesaian skripsi saya.
7. Teman – teman jurusan Teknik Mesin dan Teknik Perkapalan, khususnya angkatan 2008 yang telah bersama – sama mengukir kisah perjalanan hidup di FT UI dan memberikan banyak dukungan serta saran yang sangat membantu saya.
8. Teman-teman di luar teknik mesin yang selalu membantu memberi dukungan untuk menyelesaikan skripisi ini.

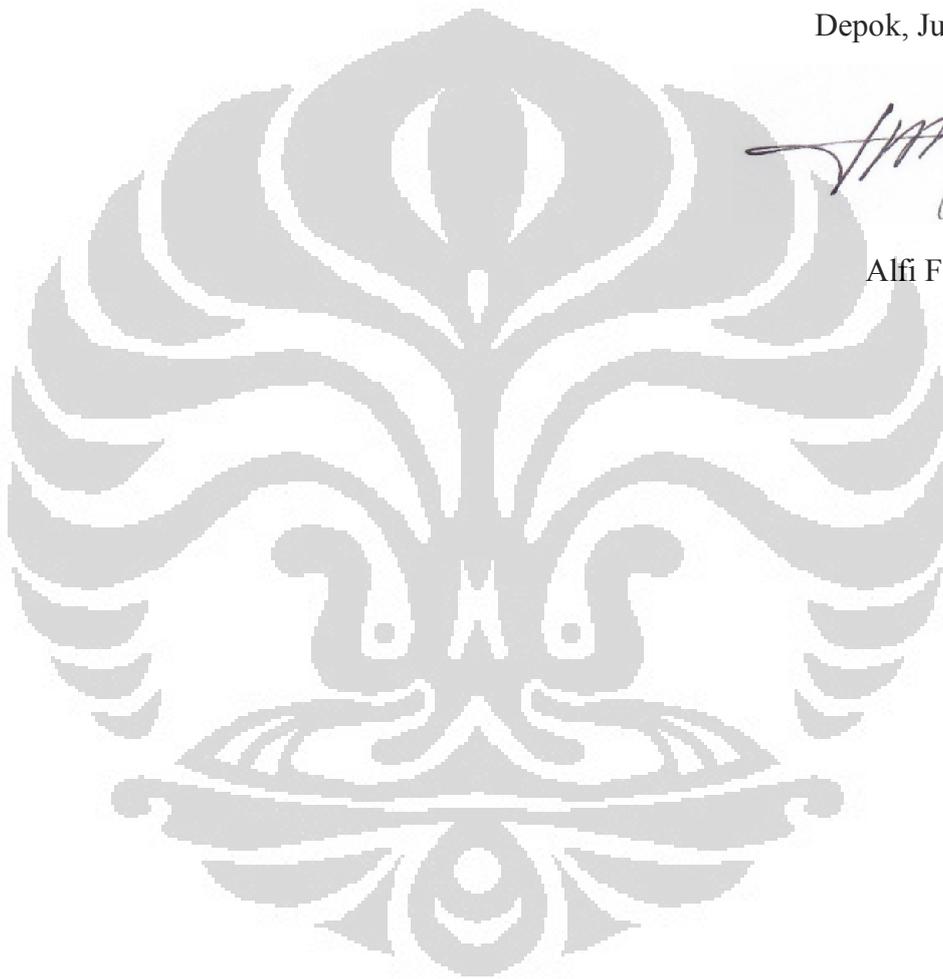
9. Para sahabat dan semua pihak yang telah membantu dalam bentuk doa yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2012



Alfi Fajri



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alfi Fajri
NPM : 0806459160
Program Studi : Teknik Perkapalan
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Rights) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Efek penambahan Kekasaran pada Ceruk Buritan Terhadap Hambatan Kapal Trimaran dengan Konfigurasi R/L 0.2”

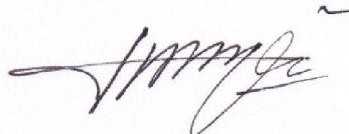
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 19 Juni 2012

Yang menyatakan,



Alfi Fajri

vi

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Alfi Fajri
Program Studi : Teknik Perkapalan
Judul : Efek Penambahan Kekasaran Pada Ceruk haluan
Terhadap Hambatan Kapal Trimaran Dengan Konfigurasi
R/L 0.2

Kapal merupakan salah satu armada angkutan yang memiliki peranan cukup vital. Perdagangan, ekspor-impor, dan industri tidak dapat terlepas dari sarana angkutan berupa kapal. Dalam pengoperasiannya, kapal membutuhkan daya mesin yang sesuai sehingga kecepatan kapal tercapai. Penggunaan bahan bakar yang sehemat mungkin menjadi hal yang sangat penting. Penghematan bahan bakar erat kaitannya dengan hambatan kapal yang terjadi. Penghematan pemakaian energi pada pengoperasian kapal menjadi topik yang menarik dan sangat penting untuk dikaji. Tujuan penelitian ini untuk mencari konfigurasi S/L dan R/L kapal trimaran yang optimum dengan menambahkan kekasaran pada ceruk haluan untuk mendapatkan nilai hambatan terendah sehingga akan mengurangi konsumsi bahan bakar pada saat kapal beroperasi dan membandingkan nilai hambatan yang terjadi pada kapal monohull. Sebuah model kapal trimaran dengan lambung simetris dan variasi rasio jarak lambung S/L 0,15, 0,2 dan 0,25 digunakan dalam penelitian ini. Metode eksperimen (towing tank) dilakukan dalam penelitian dengan variasi kecepatan pada angka Froude 0.2 - 0.65. Hasil menunjukkan bahwa hambatan total kapal trimaran terbesar dengan rasio jarak lambung S/L 0,2 terjadi pada $Fr < 0,3$ dan rasio jarak lambung S/L 0.25 pada $Fr > 0.6$. Sedangkan untuk $Fr 0,3 - 0,4$ nilai koefisien hambatan terbesar dimiliki oleh rasio S/L 0,2 yang ditunjukkan dengan puncak hambatan gelombang paling tinggi (hump resistance). Dari hasil kedua metode menunjukkan bahwa monohull menghasilkan nilai hambatan yang lebih besar dari pada Trimaran khususnya pada $0.4 \leq Fr \leq 0.8$.

Kata kunci: trimaran, monohull, hambatan, rasio jarak lambung melintang (S/L), rasio jarak lambung membujur (R/L), efek kekasaran

ABSTRACT

Name : Alfi Fajri
Program Studi : Teknik Perkapalan
Title : The Effects of Addition of Roughness in Niche Bow against The Resistance of Trimaran with Configuration R/L 0.2

Ship is one of the transportation that has a big vital role. Trade, exports - imports and industry can't be separated from means of transportation of ship. In operation, the vessel requires engine power accordingly so that the ship's speed is reached. The use of fuel efficient as possible becomes very important. Fuel savings is closely related to resistance vessels occurs. Saving energy consumption on the operation of the ship became an interesting topic and very important to assess. The purpose of this study to look for the configuration S / L and R / L optimum trimaran ship with adding the rough surface at niche bow to obtain the lowest resistance values so that will reduce fuel consumption when the vessel to operate and compare the value of resistance that occurs in monohull. A single models of trimaran with symmetrical and variation of unstaggered demihulls configuration (S/L) 0.15, 0.2 and 0.25 used in this study. Experimental method (towing tank) in a study conducted by the variation in speed Froude number 0.2 - 0.65. The results showed that the total resistance of the largest trimaran vessel with a hull spacing ratio S / L 0.2 occurred at $Fr < 0.3$ and the ratio of hull spacing S / L 0.25 occurred at $Fr > 0.6$. As for the Fn from 0.3 to 0.4 the resistance coefficient has the largest ratio of S / L 0.2 as indicated by the highest peak of the wave resistance (resistance hump). From the results of both methods showed that the monohull produces greater resistance value of the Trimaran particularly at $0.4 \leq Fn \leq 0.8$.

Key words: trimaran, monohull, resistance, *unstaggered demihulls configuration (S/L)*, Roughness effect.

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	01
1.2 Perumusan Masalah	03
1.3 Tujuan Penelitian	03
1.4 Batasan Penelitian	03
1.5 Metode Penelitian	03
1.6 Sistematika Penulisan	05
BAB 2 LANDASAN TEORI	
2.1 Trimaran	06
2.1.1 Desain Lambung Katamaran	07
2.1.2 Konfigurasi Lambung Sejajar dan Tidak Sejajar	10

2.2	Komponen Hambatan Kapal	11
2.2.1	Hambatan Gesek	13
2.2.2	Hambatan Sisa	17
2.2.3	Hambatan Viskos	17
2.2.4	Hambatan Gelombang	17
2.2.5	Sibakan Gelombang	18
2.3	Bilangan Reynold	18
2.4	Bilangan Froude	19
2.5	Metode Perhitungan	
	Hambatan Kapal	19
BAB 3 RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN		
3.1	Rancangan Alat Uji	22
3.2	Peralatan Pendukung	24
3.3	Kondisi Dalam Pengujian	27
3.4	Prosedur Pengambilan Data	27
3.5	Tahapan Pengujian	28
BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA		
4.1	Hasil Eksperimen Model Fisik	29
4.1.1	Rasio S/L 0,15	29
4.1.2	Rasio S/L 0,2	36
4.1.3	Rasio S/L 0,25	42
4.2	Hasil Simulasi Maxsurf	53
4.2.1	Rasio S/L 0,2	54
4.2.2	Rasio S/L 0,3	55
4.2.3	Rasio S/L 0,4	57

4.3	Analisa Hasil Eksperimen dan Numerik	59	
4.3.1	Analisa Gambar Koefisien Hambatan Total (Ct) Terhadap Froude Number (Fn)	60	
4.3.2	Analisa Gambar Koefisien Hambatan Total (Ct) Terhadap Reynold Number (RE)	61	
4.3.3	Komparasi Metode Eksperimen dan Numerik	62	
4.3.4	Pengaruh Konfigurasi Jarak Lambung Secara Melintang (S/L) dan Penambahan Kekasaran di Bagian Ceruk Haluan	64	
BAB 5 KESIMPULAN			
5.1	Kesimpulan	67	
5.2	Saran	68	
DAFTAR PUSTAKA			69
LAMPIRAN			70

DAFTAR GAMBAR

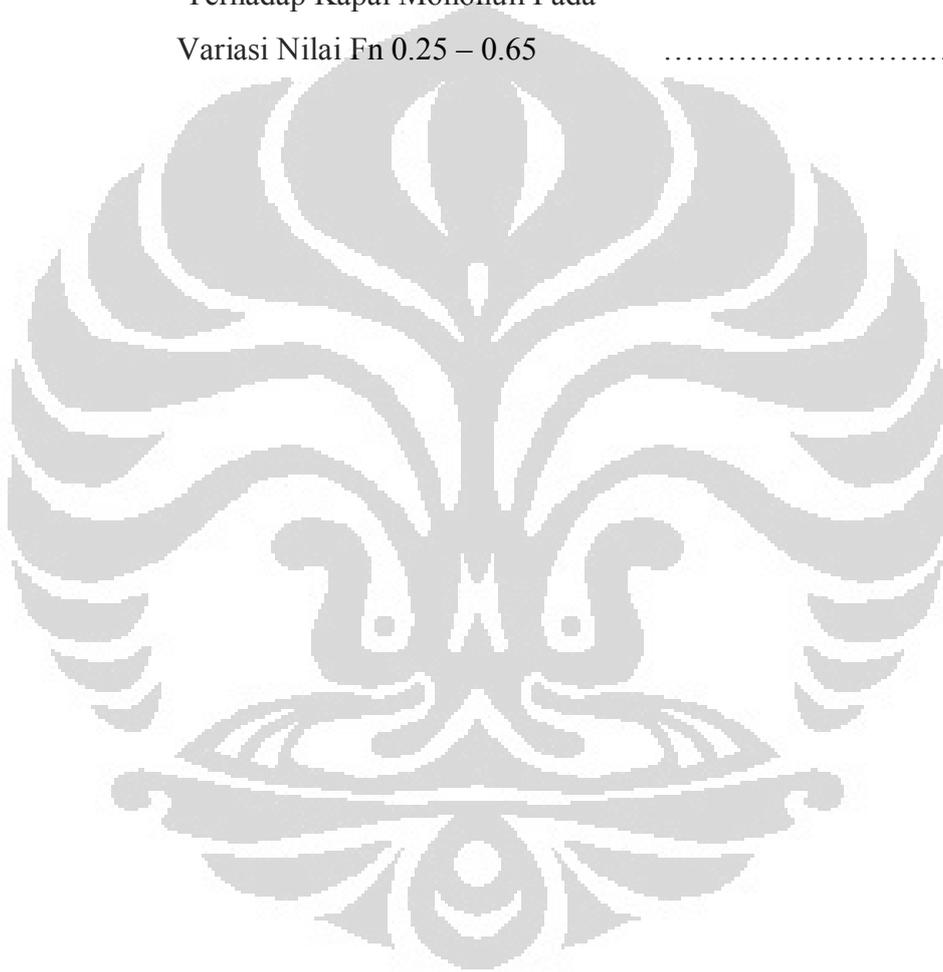
	halaman
Gambar 2.1 Simple Trimaran	06
Gambar 2.2 Jenis lambung trimaran	08
Gambar 2.3 Penampang body plan trimaran	09
Gambar 2.4 <i>Unstaggered Hull</i>	10
Gambar 2.5 <i>Staggered Hull</i>	10
Gambar 2.6 Diagram Komponen Hambatan Kapal, Molland 2008	11
Gambar 2.7 F_n vs R_t pada monohull dan trimaran	12
Gambar 2.8 Komponen hambatan kapal	18
Gambar 3. 1 Sistemasi perbandingan ukuran trimaran.	22
Gambar 3.2 Instalasi Alat uji	23
Gambar 3.3 Kapal model trimaran dan monohull	24
Gambar 3.4 Alat penarik model	24
Gambar 3.5 AC voltage regulator	25
Gambar 3.6 Load cell transducer	26
Gambar 4.1 Koefisien hambatan total kapal Metode eksperimen S/L 0.15	31
Gambar 4.2 Hubungan Re dan C_t metode Eksperimen rasio S/L 0.15	31
Gambar 4.3 Koefisien hambatan gesek kapal Metode eksprimen S/L 0.15	33
Gambar 4.4 Hubungan Re dan C_f metode Eksperimen rasio S/L 0.15	33
Gambar 4.5 Koefisien hambatan sisa kapal Metode eksprimen S/L 0.15	35
Gambar 4.6 Hubungan Re dan C_r metode Eksperimen rasio S/L 0.15	35

Gambar 4.7	Koefisien hambatan total kapal	
	Metode eksperimen S/L 0.2	.....37
Gambar 4.8	Hubungan Re dan Ct metode	
	Eksperimen rasio S/L 0.2	.....38
Gambar 4.9	Koefisien hambatan gesek kapal	
	Metode eksperimen S/L 0.2	.....39
Gambar 4.10	Hubungan Re dan Cf metode	
	Eksperimen rasio S/L 0.2	.....40
Gambar 4.11	Koefisien hambatan sisa kapal	
	Metode eksperimen S/L 0.2	.....41
Gambar 4.12	Hubungan Re dan Cr metode	
	Eksperimen rasio S/L 0.2	.....42
Gambar 4.13	Koefisien hambatan total kapal	
	Metode eksperimen S/L 0.25	.....44
Gambar 4.14	Hubungan Re dan Ct metode	
	Eksperimen rasio S/L 0.25	.....44
Gambar 4.15	Koefisien hambatan gesek kapal	
	Metode eksperimen S/L 0.25	.....46
Gambar 4.16	Hubungan Re dan Cf metode	
	Eksperimen rasio S/L 0.25	.....46
Gambar 4.17	Koefisien hambatan sisa kapal	
	Metode eksperimen S/L 0.25	.....48
Gambar 4.18	Hubungan Re dan Cr metode	
	Eksperimen rasio S/L 0.25	.....48
Gambar 4.19	komparasi koefisien hambatan	
	Total lambung terhadap nilai Fn	
	Pada setiap S/L metode eksperimen	.....49
Gambar 4.20	Komparasi Hambatan Total Lambung	
	Terhadap Nilai Fn Pada Setiap	
	Konfigurasi Jarak Melintang Antara	
	Lambung Metode Eksperimen (S/L)	.....49

Gambar 4.21 Komparasi Koefisien Hambatan Total Lambung Terhadap Reynold Number Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)	50
Gambar 4.22 Komparasi Koefisien Hambatan Gesek Lambung Terhadap Nilai Fn Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)	50
Gambar 4.23 Komparasi Hambatan Gesek Lambung Terhadap Nilai Fn Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)	51
Gambar 4.24 Komparasi Koefisien Hambatan Gesek Lambung Terhadap Reynold Number Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)	51
Gambar 4.25 Komparasi Koefisien Hambatan Sisa Lambung Terhadap Nilai Fn Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)	52
Gambar 4.26 Komparasi Hambatan Sisa Lambung Terhadap Nilai Fn Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)	52

Gambar 4.27 Komparasi Koefisien Hambatan Gesek Lambung Terhadap Reynold Number Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen	53
Gambar 4.28 Koefisien Hambatan Total Kapal Metode Numerik S/L 0.15	54
Gambar 4.29 Hubungan Cf dengan Fn Metode Numerik pada rasio S/L 0.15	54
Gambar 4.30 Hubungan Cr dengan Fn Metode Numerik pada rasio S/L 0.15	55
Gambar 4.31 Koefisien Hambatan Total Kapal Metode Numerik S/L 0.2	56
Gambar 4.32 Hubungan Cf dengan Fn Metode Numerik pada rasio S/L 0.2	56
Gambar 4.33 Hubungan Cr dengan Fn Metode Numerik pada rasio S/L 0.2	57
Gambar 4.34 Koefisien Hambatan Total Kapal Metode Numerik S/L 0.25	58
Gambar 4.35 Hubungan Cf dengan Fn Metode Numerik pada rasio S/L 0.25	58
Gambar 4.36 Hubungan Cr dengan Fn Metode Numerik pada rasio S/L 0.25	59
Gambar 4.37 Komparasi Re dengan Ct antara data monohull dengan masing – masing konfigurasi trimaran.	62
Gambar 4.38 Komparasi Fn dengan Ct antara data percobaan dan data numerik.	62

Gambar 4.39 Komparasi Hambatan Total Lambung Terhadap Nilai Fn Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)	63
Gambar 4.40 Pengurangan Hambatan Total (<i>drag reduction</i>) Kapal Trimaran Terhadap Kapal Monohull Pada Variasi Nilai Fn 0.25 – 0.65	65



DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 4.1 Pengujian Model Fisik	29
Tabel 4.2 Data hasil penelitian pada S/L 0,15	30
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Fn, Rt (kN), Re dan Ct S/L 0,15	30
Tabel 4.4 Data hasil perhitungan nilai Cf dan Rf pada S/L 0.15	32
Tabel 4.5 Data hasil perhitungan nilai Cr dan Rr pada S/L 0.15	34
Tabel 4.6 Data hasil penelitian pada S/L 0.2	36
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Fn. Rt (kN). Re dan Ct S/L 0.2	36
Tabel 4.8 Data hasil perhitungan nilai Cf dan Rf pada S/L 0.2	39
Tabel 4.9 Data hasil perhitungan nilai Cr dan Rr pada S/L 0.2	41
Tabel 4.10 Data hasil penelitian pada S/L 0.25	42
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Fn. Rt (kN). Re dan Ct S/L 0.25	43
Tabel 4.12 Data hasil perhitungan nilai Cf dan Rf pada S/L 0.25	43
Tabel 4.13 Data hasil perhitungan nilai Cr dan Rr pada S/L 0.25	43

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal merupakan salah satu armada angkutan yang memiliki peranan vital. Perdagangan, ekspor-impor, dan industri tidak dapat terlepas dari sarana angkutan berupa kapal. Dalam pendistribusian barang dari suatu daerah ke daerah lain, kapal memiliki peranan penting terutama di Indonesia. Indonesia dimana sebagian besar wilayahnya merupakan kepulauan, sangat bergantung pada moda transportasi laut. Untuk dapat berjalan sesuai kecepatan yang diinginkan, kapal harus mampu mengatasi hambatan.

Pada saat pengoperasiannya, kapal membutuhkan daya mesin yang sesuai sehingga kecepatan kapal tercapai. Penggunaan bahan bakar yang seminimal mungkin menjadi hal yang sangat penting. Penghematan bahan bakar erat kaitannya dengan hambatan kapal yang terjadi. Penelitian tentang pengurangan hambatan terus dilakukan untuk pengembangan aplikasi yang bermanfaat bagi umat manusia di masa depan. Hambatan gelombang yang terbentuk saat kapal beroperasi sangat berpengaruh terhadap penggunaan daya mesin. Dengan kata lain, pengaruh pengurangan hambatan menjadi faktor yang menjanjikan sebagai bagian solusi dari masalah pengurangan pemakaian energi yang digunakan kapal. Berbagai cara telah dilakukan untuk mengurangi fenomena hambatan tersebut. Usaha pengurangan hambatan dapat dilakukan dengan berbagai cara. Modifikasi bentuk lambung, optimasi sistem propulsi dan penambahan zat polimer merupakan contoh usaha mengurangi hambatan.

Aplikasi kapal multi hull sebagai moda transportasi sungai maupun laut terus dikembangkan. Salah satu hal yang membuat kapal ini populer yaitu karena tersedianya geladak yang lebih luas dan tingkat stabilitasnya lebih baik dibandingkan kapal lambung tunggal. Penelitian ini telah dilakukan oleh [Seif et al 2004]. Disamping itu, kapal multi hull dapat memperkecil timbulnya sibakan air dibanding kapal lambung tunggal. Kapal multi hull memiliki gaya hambat yang kecil dengan pengaturan jarak lambung untuk menghasilkan daya dorong

mesin yang lebih kecil (atau kecepatan yang lebih besar) sehingga tercipta efisiensi konsumsi bahan bakar yang optimal.

Beberapa kajian awal telah dilakukan dan dipublikasikan seperti yang diperlihatkan pada daftar pustaka. Dalam proses rekayasa, kapal multi-hull menimbulkan banyak tantangan teknis dibanding desain kapal konvensional. Kapal ini ditandai dengan konfigurasi yang lebih kompleks dan operasional pada kecepatan yang lebih tinggi. Dalam mendesain kapal multi hull, seorang desainer menggunakan teknik eksperimen (model test) dan pemodelan numerik. Pada kapal multi hull, masalah hambatan masih banyak dibahas dan didiskusikan. Hal ini dikarenakan komponen hambatannya lebih kompleks dibanding kapal lambung tunggal, yaitu rumitnya efek interaksi komponen hambatan viskos dan gelombang pada lambung kapal multi hull. Fenomena interaksi komponen hambatan tersebut masih merupakan bahasan ilmiah yang terus dikembangkan. [Doctors et al 2003] menentukan separasi optimal antara lambung dan juga memprediksi interferensi gelombang yang terjadi. [Millward,1992] menggunakan teori lineariti untuk membahas pengaruh jarak antar lambung dan pengaruh kedalaman air pada kapal Trimaran. Beberapa kajian tentang jarak antar lambung secara sistematis telah diteliti oleh [Insel et al 1991] dan [Molland et al 1992]. Kajian tersebut berkesimpulan bahwa dengan perubahan jarak antar lambung kapal trimaran memberikan pengaruh interferensi yang signifikan terhadap hambatan viskos. Disamping itu interferensi gelombang juga dapat berpengaruh terhadap wave profile drag akibat perubahan jarak antara lambung kapal Trimaran.

Pengaruh interferensi dan interaksi tersebut perlu dikaji secara seksama melalui eksperimen agar nantinya hasil ini dapat memberikan kontribusi di dalam memprediksi komponen hambatan dan total hambatan kapal multi hull, yang selanjutnya dapat memprediksi kebutuhan tenaga mesin (propulsi) kapal.

Tujuan penelitian adalah mencari konfigurasi S/L dan RL optimum dengan penambahan kekasaran pada ceruk haluan untuk mendapatkan nilai hambatan terendah sehingga akan mengurangi konsumsi energi pada saat kapal beroperasi dan membandingkan nilai hambatan yang terjadi pada kapal monohull. Dengan teori kesamaan similariti, kesamaan kinematik dan kesamaan dinamik digunakan 2 tipe bentuk lambung simetris (lambung sisi) dan 1 tipe bentuk

lambung berbeda untuk lambung tengah untuk digunakan dalam penelitian ini. Dari variasi kecepatan yang diberikan pada kapal model akan diperoleh hasil mengenai karakteristik hambatan total yang nantinya akan dihitung untuk menentukan besarnya hambatan yang dialami oleh kapal tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan paparan di atas maka permasalahan yang dapat diambil yaitu :

- a. Bagaimanakah pengaruh konfigurasi jarak antar lambung secara melintang terhadap hambatan total yang dihasilkan oleh kapal.
- b. Bagaimanakah pengaruh penambahan kekasaran pada bagian ceruk haluan terhadap hambatan total yang dihasilkan oleh kapal.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mencari konfigurasi S/L dan R/L optimum dengan penambahan kekasaran pada ceruk haluan untuk mendapatkan nilai hambatan terendah sehingga akan mengurangi konsumsi bahan bakar pada saat kapal beroperasi dan membandingkan nilai hambatan yang terjadi pada kapal monohull.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi hanya untuk mengetahui konfigurasi S/L dan R/L optimum untuk mendapatkan nilai hambatan terendah pada model kapal trimaran yang telah diberikan penambahan kekasaran pada ceruk haluan dengan variasi S/L = 0.15 ; 0.2 ; 0.25 dan membandingkan nilai hambatan yang terjadi pada kapal *monohull*.

1.5 Metode Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan beberapa metode dalam penulisan, yaitu:

1. Konsultasi dengan dosen pembimbing disertai dengan studi literatur

Konsultasi dengan dosen pembimbing merupakan suatu media untuk merumuskan tema yang akan dibahas dalam skripsi serta alat uji yang harus dibuat untuk mendukung penelitian pada tema skripsi tersebut

dan memperoleh informasi mengenai dasar teori yang digunakan dalam pengolahan data yang akan dilakukan serta hasil yang hendak diperoleh dari penelitian tersebut.

Sebagai bahan penunjang dalam hal penulisan, penulisan tugas akhir ini berdasarkan pada literatur-literatur yang mendukung dan mempunyai relevansi serta korelasi dengan permasalahan yang ada. Pengumpulan bahan referensi penunjang yang dapat membantu penulis dapat melalui jurnal, paper, buku-buku, *e-mail*, *e-book*, dan *e-news*.

2. Pengumpulan data

Data-data yang diperoleh dari penelitian dengan menggunakan alat uji laboratorium selanjutnya dibandingkan dengan dasar teori yang telah dijelaskan oleh dosen pembimbing, data-data dan keterangan didapat dari studi percobaan (data percobaan), studi literature (dari sumber-sumber yang berhubungan dengan penelitian) serta melakukan diskusi dengan team skripsi dan dosen pembimbing.

a. Perhitungan Hambatan Total

Perhitungan hambatan total dilakukan pada metode eksperimen dengan melakukan uji tarik kapal model. Dalam kalkulasi hambatan total, metode ini menerapkan perubahan konfigurasi jarak antar lambung, baik secara melintang maupun secara membujur agar mendapatkan variasi data yang bertujuan untuk mengetahui jenis konfigurasi yang menghasilkan nilai hambatan terendah.

b. Validasi Data

Pada tahapan ini dilakukan uji validasi atas hasil tahanan model. Sehingga diperlukan studi komparasi dengan metode lain,. Jika hasil validasi telah sesuai, maka dilanjutkan dengan analisa hasil kedua metode tersebut.

3. Pengolahan data

Data awal yang diperoleh dari penelitian kemudian dimasukkan ke dalam persamaan-persamaan yang terdapat pada dasar teori sehingga didapatkan data yang dibutuhkan yang kemudian digunakan untuk melakukan analisis dan proses selanjutnya.

4. Analisis data

Data-data dari pengolahan digunakan untuk menganalisis konfigurasi S/L dan R/L optimum pada kapal model trimaran yang telah diberikan penambahan kekasaran pada ceruk haluan untuk menghasilkan nilai hambatan terendah.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab, yaitu:

BAB I : Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, metode penelitian, batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini, metode penulisan dalam hal ini bagaimana penulis mendapatkan informasi mengenai penelitian ini serta sistematika penulisan.

BAB II : Bab ini menjelaskan mengenai landasan teori yang berhubungan dan digunakan dalam menyelesaikan masalah yang dibahas.

BAB III : Bab ini menjelaskan mengenai rancangan alat uji, peralatan-peralatan pendukung dalam pengujian, kondisi dalam pengujian serta prosedur pengujian dan pengambilan data.

BAB IV : Bab ini menjelaskan mengenai pengolahan data, menampilkan data penelitian, grafik yang didapat dari pengujian, hasil dari pengujian serta analisis dari hasil penelitian.

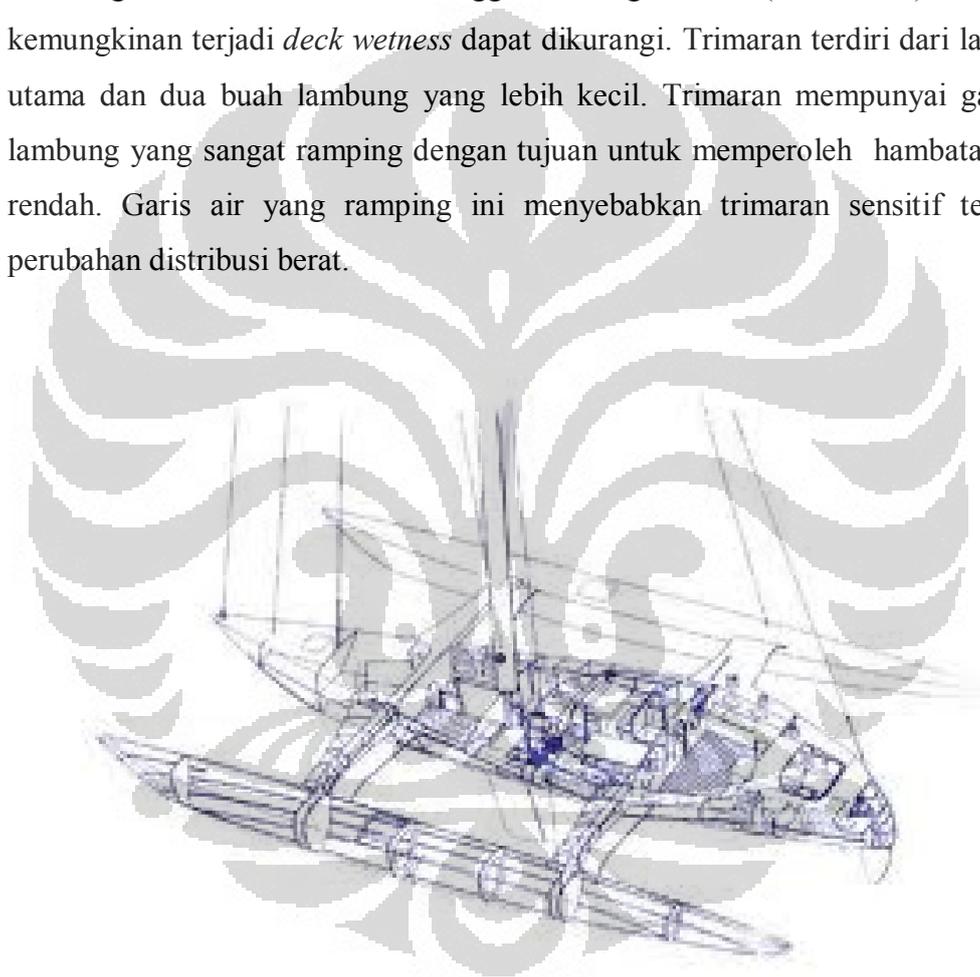
BAB V : Bab ini merupakan bab penutup, pada bab ini diberikan kesimpulan serta saran seandainya penelitian ini akan dilanjutkan suatu saat sehingga memperoleh hasil yang lebih akurat.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Trimaran

Trimaran merupakan jenis kapal *multi-hull* dengan tiga lambung yang dihubungkan dengan struktur *bridging*. Struktur *bridging* ini merupakan sebuah keuntungan karena menambah tinggi lambung timbul (*Freeboard*). Sehingga kemungkinan terjadi *deck wetness* dapat dikurangi. Trimaran terdiri dari lambung utama dan dua buah lambung yang lebih kecil. Trimaran mempunyai garis air lambung yang sangat ramping dengan tujuan untuk memperoleh hambatan yang rendah. Garis air yang ramping ini menyebabkan trimaran sensitif terhadap perubahan distribusi berat.



Gambar 2. 1 Simple Trimaran

Kapal trimaran memiliki keunggulan dari kapal *monohull*, untuk panjang yang sama kapal trimaran memiliki beberapa keunggulan antara lain meningkatkan performa sistem propulsi sehingga mengurangi *power* mesin yang dibutuhkan dan efisiensi bahan bakar, kemampuan *seakeeping* yang lebih baik disbanding dengan kapal *monohull* pada kondisi laut yang buruk, trimaran dapat

memiliki *draft* yang lebih pendek daripada kapal *monohull*, susunan ketiga lambungnya membantu dalam hal keselamatan apabila lambung tengah kemasukan air, memiliki *intake* dan *damage stability* yang lebih baik dan memiliki area luas lambung yang lebih besar karena terdiri dari tiga lambung. Secara keseluruhan trimaran memiliki tingkat keselamatan yang lebih baik dari kapal *monohull* karena memiliki dua lambung kecil sebagai alat keseimbangan sehingga dapat dikatakan trimaran adalah kapal yang hampir tidak dapat tenggelam. Akan tetapi ada beberapa kekurangan kapal trimaran yang antara lain: kesulitan penggunaan fasilitas pelabuhan dan pendedokan, kesulitan untuk dijalar perairan yang sempit (trimaran akan sulit untuk belok tegak lurus karena bentuknya yang lebar), biaya lebih mahal untuk panjang kapal yang sama terhadap *monohull*.

2.1.1 Desain Lambung Trimaran

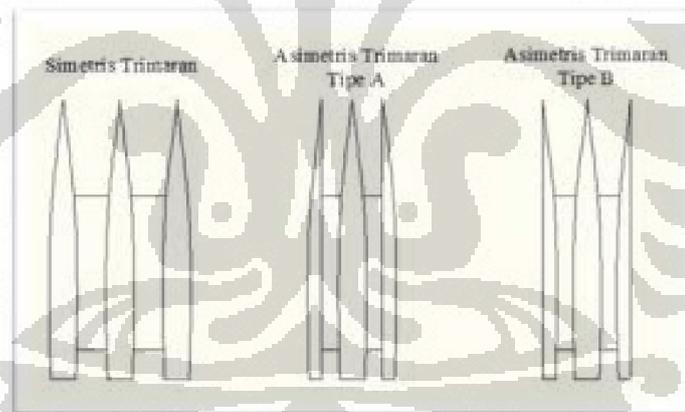
Diketahui bahwa kapal displasmen *monohull* yang konvensional tidak ekonomis pada bilangan Froude sekitar 0.4, dimana umumnya terjadi *hump* hambatan akibat besarnya gelombang gravitasi pada permukaan air [Zouridakis,2005]. Untuk memperkecil hambatan kapal *monohull* adalah suatu hal yang sulit dicapai karena dibutuhkan lebar kapal yang lebih kecil (atau rasio L/B menjadi besar) dengan displasmen tetap, dimana hal ini dapat menurunkan karakteristik stabilitas kapal *monohull*. Sehingga kapal Trimaran menjadi solusi atas permasalahan tersebut, dimana lambung kapal Trimaran yang terpisah dan lambung yang kecil/pipih dapat memperkecil gangguan permukaan air (*disturbance on the free surface*) maka dengan sendirinya dapat memperkecil hambatan kapal. Disamping itu dengan konfigurasi lambung yang terpisah memberikan momen inersia yang besar sehingga menghasilkan kemampuan stabilitas yang cukup baik dengan sudut akselerasi gerakan *rolling* yang kecil.

Secara umum, konsep konstruksi kapal Trimaran terdiri dari tiga bagian struktur:

- a. Lambung sebagai daya apung dan akomodasi sistem propulsinya.
- b. Struktur penghubung (*cross structure*) sebagai penguat bidang transversal.
- c. Bangunan atas yang terletak di atas struktur penghubung sebagai geladak.

Desain lambung merupakan hal yang sangat esensi dari bagian lainnya untuk memprediksi besarnya hambatan dan kebutuhan tenaga mesin pada kapal trimaran. Saat ini, banyak dijumpai desain kapal trimaran dengan konfigurasi dan dimensi yang bervariasi, dimana karakteristik desainnya sangat tergantung pada misi dan fungsi operasionalnya.

Ketiga lambung trimaran didesain sedemikian rupa menurut aliran fluida yang melewati *tunnel*-nya. Susunan lambung itu terbagi menjadi simetris dan asimetris.



Gambar 2. 2 Jenis lambung trimaran

- a. Model *tiga hull* yang ketiga sisinya simetris *stream line* (model sebelah kiri)

Di asumsikan sebagaimana tiga buah kapal *monohull* yang ketiga lambungnya dihubungkan dengan jarak tertentu, maka akan mempunyai sistem gelombang yang sama dengan bentuk kapal *stream line*. Pada sekeliling bagian kapal yang tercelup dalam air akan berkembang dan menghasilkan gerakan. Dan hal ini akan menimbulkan dua macam gelombang, yaitu gelombang *divergen* dan gelombang *transversal* dan

keduanya secara umum terdapat di bagian dekat haluan dan buritan kapal dan bergerak ke depan bersama badan kapal.

- b. Model kapal asimetris yang bagian sisi luarnya *stream line* (model di bagian tengah)

Di ujung bagian depan merupakan titik dimana aliran fluida akan menyebar ke arah samping (mengikuti garis *stream line*), hampir sama dengan gambar di atas, hanya saja di bagian sisi dalam lurus sehingga alirannya mengikuti bentuk badan kapal (lurus) sampai ke buritan kapal. Sehingga apabila diterapkan bentuk ini akan menimbulkan gelombang ke samping yang cukup besar.

- c. Model dengan *stream line* di sisi bagian dalam (model di sebelah kanan)

Aliran fluida yang dibentuk dari haluan kapal terkonsentrasi di tengah kapal (antara dua hull) bergerak sampai ke buritan kapal, sedangkan ke arah samping arah aliran lurus mengikuti bentuk badan kapal sisi luar sampai ke buritan.

Sedangkan penampang body plan trimaran dibedakan menjadi 2, yaitu :

- *Round bilge*
- *Hard chine*



Gambar 2. 3 Penampang body plan trimaran

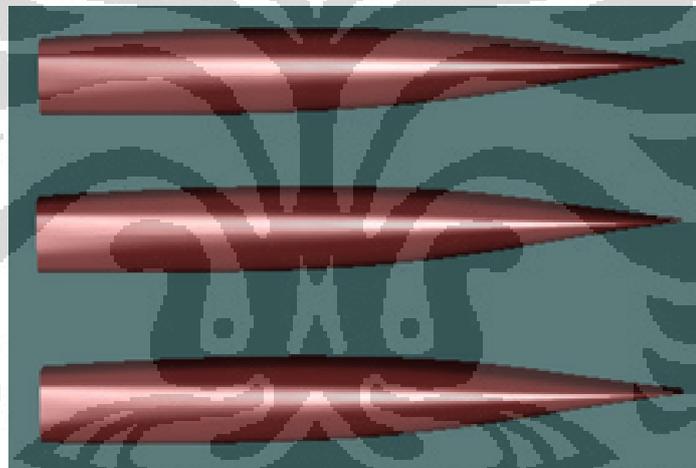
Bentuk lambung tipe *hard chine* agak sederhana dan mudah dalam pengerjaan konstruksinya. Tipe lambung ini memiliki luas bidang basah statik yang lebih besar sehingga dapat memperbesar hambatan gesek (*F_nictional drag*) pada kecepatan rendah. Sedangkan pada kecepatan tinggi, luas bidang basah akan berkurang dengan sendirinya akibat timbulnya gaya angkat (*dynamic lift*).

Lambung tipe *round bilge* sangat sesuai untuk muatan yang lebih banyak (berat) dan kecepatan rendah. Lambung tipe ini memiliki gerakan

yang relatif kecil dan tidak mudah mengalami hampasan gelombang (*slamming*) sehingga dapat memberikan rasa nyaman pada kondisi gelombang ekstrim. Biasanya tipe lambung ini dilengkapi dengan spray pada bagian depan (*bow*) untuk menurunkan efek sibakan air (*water spray*).

2.1.2 Konfigurasi Lambung Sejajar (*unstaggered*) dan Tidak Sejajar (*staggered*)

Perbedaan lambung *staggered* dan *unstaggered* adalah terletak pada konfigurasi posisi lambung secara membujur. Posisi lambung yang tidak sama secara memanjang disebut *staggered hull*, sedangkan posisi lambung secara memanjang yang sama disebut *unstaggered hull*.



Gambar 2. 4 Unstaggered Hull

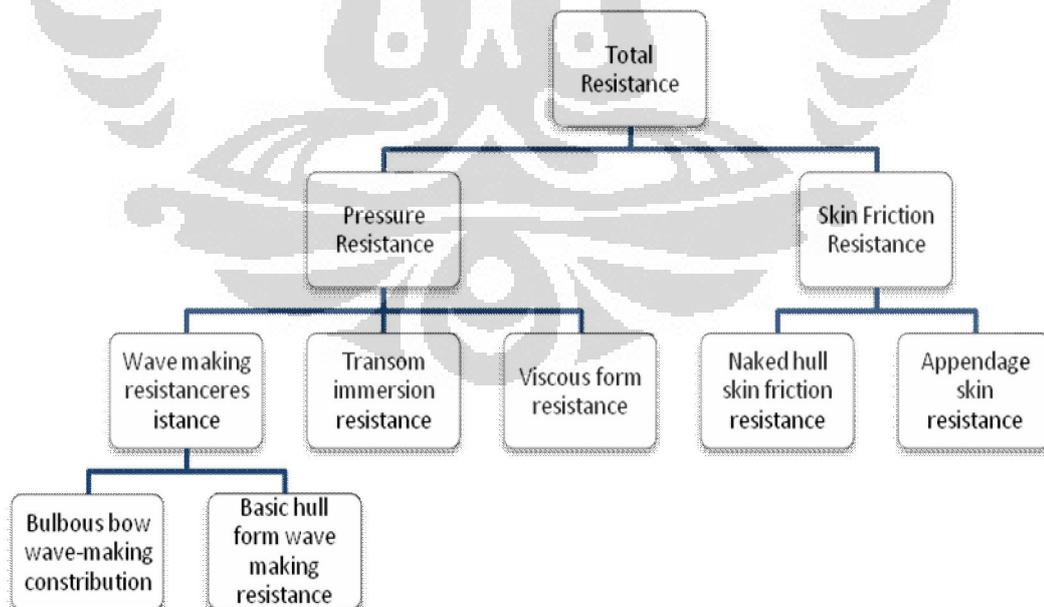


Gambar 2. 5 Staggered Hull

2.2 Komponen Hambatan Kapal

Kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat (tahanan atau *resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya hambatan kapal sangat dipengaruhi oleh kecepatan gerak kapal (V_s), berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang tercelup dalam air (*displacement*), dan bentuk badan kapal (*hull form*).

Berdasarkan pada proses fisiknya, [Couser 1977] mengemukakan bahwa hambatan pada kapal yang bergerak di permukaan air terdiri dari dua komponen utama yaitu tegangan normal (*normal stress*) dan tegangan geser (*tangential stress*). Tegangan normal berkaitan dengan hambatan gelombang (*wave making*) dan tegangan viskos. Sedangkan tegangan geser disebabkan oleh adanya viskositas fluida. Kemudian [Molland 2008] menyederhanakan komponen hambatan dalam dua kelompok utama yaitu hambatan viskos (*viscous resistance*) dan hambatan gelombang (*wave resistance*).



Gambar 2. 6 Diagram Komponen Hambatan Kapal, Molland 2008

Standar internasional dari ITTC meng-klasifikasikan hambatan kapal di air tenang (*calm water*), secara praktis dalam dua komponen hambatan utama yaitu hambatan viskos (*viscous resistance*) yang terkait dengan bilangan Reynolds dan hambatan gelombang (*wave making resistance*) yang bergantung pada Froude, dimana korelasi kedua komponen tersebut diperlihatkan dalam persamaan berikut.

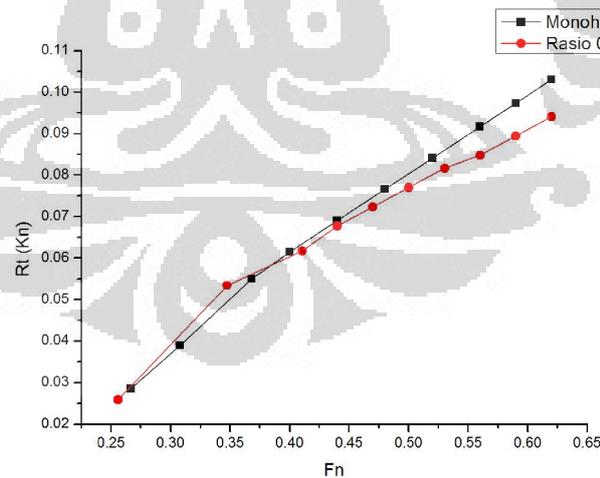
$$R_{T(R_e, F_r)} = R_{V(R_e)} + R_{W(F_r)} = (1 + k)_{(F_r)} R_{F(R_e)} + R_{W(F_r)} \quad (2.1)$$

Hambatan gelombang (R_w) mengandung komponen fluida ideal (*inviscid*) dan hambatan viskos atau kekentalan (R_v) meliputi hambatan akibat tegangan geser (*Friction drag*) dan komponen tekanan kekentalan (*viscous pressure*).

Total hambatan kapal dapat dinyatakan dengan persamaan 2.2

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T (WSA) V^2 \quad (2.2)$$

Berikut adalah grafik perbandingan Fn dengan Rt antara monohull dan trimaran.



Gambar 2. 7 Fn vs Rt pada monohull dan trimaran.

Dari gambar di atas kita dapat melihat bahwa pada $Fn < 0.4$ hambatan pada kapal monohull di bawah hambatan kapal trimaran dan

pada saat F_n 0.4 – 0.65 hambatan kapal trimaran mulai menurun namun hambatan kapal monohull masih tetap. Dari grafik ini kita juga dapat menentukan bahwa kapal trimaran sangat baik untuk digunakan pada F_n 0.4 – 0.65.

Komponen hambatan kapal dari total hambatan dapat diuraikan sebagai berikut :

2.2.1 Hambatan Gesek

Hambatan gesek adalah komponen hambatan yang diperoleh dengan cara mengintergralkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal [Harvald, 1983]. Bagi suatu benda yang bergerak di dalam fluida, adanya viskositas akan menimbulkan gesekan. Penting tidaknya gesekan dalam situasi fisik ini tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya. Daerah fluida yang dekat dengan benda padat didefinisikan sebagai lapisan batas (*boundary layer*). Di dalam daerah ini gradien melintang kecepatannya sangat besar dibandingkan dengan variasi longitudinalnya, dan tegangan gesernya mempunyai makna yang sangat penting. Koefisien hambatan gesek C_F biasanya diperoleh melalui percobaan di tangki uji (*towing tank*), sehingga diperlukan suatu cara yang seragam untuk menghitung gesekan permukaan dan untuk mengembangkan data yang diperoleh dari model ke ukuran kapal yang sebenarnya. Besar hambatan gesek pada dasarnya tergantung pada luas permukaan basah lambung kapal, tingkat kekasaran permukaan dan bilangan *Reynolds*, dimana bilangan ini dinyatakan dengan persamaan 2.3.

$$R_e = \frac{VL}{\nu} \quad (2.3)$$

Fluida yang berada di antara dua buah pelat sejajar dengan salah satu pelat bergerak sementara jarak (h) diantaranya konstan akan mempunyai profil kecepatan yang linier jika sepanjang pelat tersebut tidak ada gradien tekanan dalam arah gerakan kapal tersebut.

Penyelidikan menunjukkan bahwa fluida melekat pada kedua pelat tersebut dan antara fluida dan kedua pelat tersebut tidak terjadi slip. Fluida tersebut didesak sedemikian rupa sehingga berbagai lapisan fluida dapat saling bergeser secara seragam. Kecepatan Lapisan yang berjarak (y) dari pelat yang diam dapat dinyatakan sebagai :

$$u = \frac{y}{h} V \quad (2.4)$$

Untuk memepertahankan gerakan, harus ada gaya yang bekerja pada pelat yang bergerak. Percobaan menunjukkan bahwa gaya (F) tersebut berbanding lurus dengan luas pelat (S) dan berbanding terbalik dengan jarak antara kedua pelat (h). Ini dapat ditulis sebagai :

$$F = \mu \frac{SV}{h} \quad (2.5)$$

μ adalah koefisien viskositas dinamis. Gaya (F) secara numerik sama dengan hambatan yang dihasilkan oleh perpindahan pelat dan dapat dijelaskan dengan menganggap bahwa diseluruh fluida yang bergerak terdapat tegangan tangensial yang melawan perubahan bentuk yang terjadi. Dengan meninjau elemen kecil pada fluida yang sedang dalam keadaan bergeseran dengan lainnya maka dapat dituliskan:

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.6)$$

τ adalah tegangan geser dan adalah laju perbuahan kecepatan sebagai fungsi dari jarak y . Hambatan gesek dipengaruhi oleh kecepatan benda (V), luas permukaan basah (S), dan massa jenis fluida (ρ). Dengan rumus :

$$R_f = \frac{1}{2} C_f \rho S V^2$$

(2.7) C_f = hambatan gesek spesifik atau koefisien gesek.

2.2.1.1 Koefisien Gesek

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai koefisien gesek yaitu sifat aliran, angka Reynolds, bentuk permukaan, sifat dan keadaan permukaan. Selanjutnya koefisien gesek didefinisikan sebagai :

$$C_f = \frac{R_f}{\frac{1}{2} \rho S V^2} \quad (2.8)$$

William Froude melakukan percobaan dengan menggunakan sejumlah papan untuk diuji tarik di kolam dengan kecepatan berbeda-beda dan dilapisi dengan berbagai bahan. Hasil percobaan tersebut hambatan gesek permukaan bidang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$R_f = f S V^n \quad (2.9)$$

Dimana ;

f : Koefisien gesek papan

S : Luas total permukaan

V : Kecepatan papan

n : Indeks yang merupakan pangkat kenaikan

Selanjutnya rumus tersebut dilengkapi oleh R.E Froude menjadi

$$R_f = f S V^{1.825} \quad (2.10)$$

Setelah beberapa percobaan R.E Froude juga menyatakan bahwa permukaan yang dipernis dan mulus mempunyai kualitas gesekan yang sama. Rumus hambatan gesek tersebut kemudian dinyatakan dalam kilogram (gaya) sebagai:

$$R_f = \frac{\gamma \lambda}{1000} S V^{1.825} \quad (2.11)$$

Dimana ;

γ : Berat jenis dalam kg/m

λ : Koefisien tahanan gesek

S : Luas permukaan basah

V : Kecepatan dalam m/detik

Le Besnaris menyatakan koefisien menyatakan koefisien gesekan pada suhu 15°C dalam rumus sebagai berikut :

$$\lambda = 0,1392 + \frac{0,258}{2,68 + L} \quad (2.12)$$

L adalah panjang model atau kapal dalam meter. Jika koefisien gesekan tersebut dipakai untuk suhu selain 15°C maka koreksi dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$\lambda_t = \lambda(1 + 0,0043 \Delta t) \quad (2.13)$$

$$\Delta t = 15^{\circ}\text{C} - t, \text{ harga ini negatif jika } t < 15^{\circ}\text{C} \quad (2.14)$$

Hasil penggabungan persamaan (2.8) dengan (2.14) persamaan menghasilkan hubungan sebagai berikut :

$$Cf = \frac{Rf}{\frac{1}{2} \rho S V^2} = \frac{\frac{\gamma L}{1000} S V^{1,825}}{\frac{1}{2} \rho S V^2} \quad (2.15)$$

$$Cf = 2 \times 10^{-3} \lambda g V^{-0,175} \quad (2.16)$$

g adalah percepatan gravitasi; harga ini harus diikuti dalam rumus tersebut sesuai definisi λ dan satuan yang dipakai.

Towing tank di seluruh dunia telah memikirkan untuk membuat suatu cara yang seragam untuk menghitung gesekan permukaan dan untuk mengembangkan data yang diperoleh dari model ke ukuran kapal yang sebenarnya. Banyak usulan yang dipelajari oleh The International Towing Tank Conference (ITTC) dan tahun 1957 memberikan persetujuan pada rumus berikut ini :

$$Cf = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2} \quad (2.17)$$

2.2.2 Hambatan Sisa

Bagian terbesar dari hambatan sisa adalah komponen hambatan gelombang [Harvald, 1983]. Unsur lainnya adalah hambatan tekanan dan hambatan gesek tambahan sebagai akibat bentuk benda yang tiga dimensi. Dari kegiatan praktis di laboratorium, hambatan sisa adalah kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari koefisien hambatan total dengan koefisien hambatan gesek.

2.2.3 Hambatan Viskos

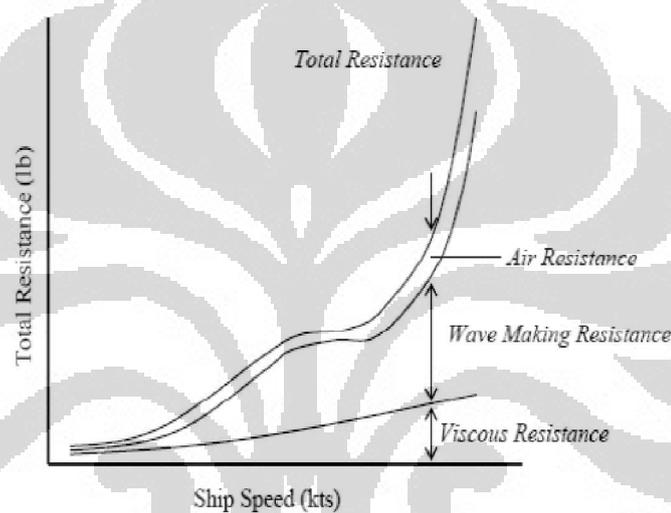
Hambatan Viskos adalah penjumlahan dari beberapa komponen hambatan yakni hambatan bentuk (*viscous form resistance*), hambatan gesek lambung kapal (*naked hull skin friction*) dan hambatan tahanan lambung kapal (*appendage skin friction*). Hambatan bentuk adalah integral dari gaya normal yang bekerja pada lambung, dimana besar hambatannya tergantung bentuk lambung dibawah permukaan air.

2.2.4 Hambatan Gelombang

Hambatan gelombang adalah komponen hambatan yang berkaitan dengan penggunaan energi untuk pembentukan gelombang gravitasi atau bekerjanya gaya normal fluida pada seluruh badan kapal. Komponen ini dipisahkan menjadi dua bagian, yaitu hambatan pola gelombang (R_{WP}) dan hambatan gelombang pecah (R_{WH}) [Hogben et al 1975]. Pada umumnya, yang diartikan sebagai hambatan gelombang adalah dengan mengabaikan hambatan gelombang pecah karena besarnya relatif kecil dan terjadi pada kecepatan tinggi (*high speed condition*). Hambatan gelombang terjadi disebabkan oleh tekanan fluida yang bekerja dalam arah normal terhadap lambung kapal.

2.2.5 Sibakan Gelombang

Geometri kapal dengan kecepatan tertentu berpotensi menghasilkan gelombang samping yang cukup besar. Gelombang ini populer dengan sebutan sibakan gelombang (*ship wave wash*), yang sangat berbahaya bagi lingkungan sekitarnya ketika intensitasnya cukup tinggi. Kapal-kapal cepat yang agak gemuk (*bluffer*) cenderung menghasilkan sibakan gelombang yang besar dan kapal-kapal yang langsing menyebabkan massa air terdorong ke arah haluan menghasilkan gelombang pecah (*wave breaking*).



Gambar 2. 8 Komponen Hambatan Kapal

2.3 Bilangan Reynolds

Bilangan reynolds merupakan paramater yang dapat menentukan suatu aliran itu laminar atau turbulen. Bilangan reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang menyatakan perbandingan antara gaya inersia dan gaya viskos di dalam fluida.

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (2.18)$$

$$Re = \frac{V L}{\nu} \quad (2.19)$$

Dimana :

Re : Bilangan Reynolds

V : Kecepatan Kapal (m/s)

L : Panjang kapal (m)

ν : Viskositas kinematik (m²/s)

(Re adalah Reynold's number dengan menggunakan referensi panjang garis air.)

2.4 Bilangan Froude

Tahanan menurut Froude merupakan fungsi dari bentuk, kecepatan dan viskositas. Untuk menyatakan besarnya tahanan gesek maka berhubungan dengan viskositas dan bilangan Reynoldnya. Sedangkan untuk menyatakan besarnya gelombang yang terbentuk berhubungan dengan gaya gravitasi yang terjadi akibat dari bentuk lambung kapal. Maka untuk menyatakan besarnya tahanan bentuk atau tahanan sisa dapat menggunakan Froude's Number (F_n)

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g L}} \quad (2.21)$$

dimana F_n dipengaruhi oleh kecepatan (v), gaya gravitasi (g) dan panjang garis air kapal (L_{wl}).

2.5 Metode Perhitungan Hambatan Kapal

Hambatan kapal trimaran diasumsikan sebagai penjumlahan dari beberapa komponen yang saling tidak bergantung (independent) agar mudah memecahkan masalah hambatan lambung kapal dan pengaruh jarak antara lambung (*hull clearance*).

Metode yang digunakan pada pengujian lambung kapal yang konvensional yaitu dengan membagi hambatan pada beberapa komponen yang didasarkan pada pengukuran total hambatan dari pengujian model dengan mengestimasi hambatan gesek (*F_n friction*) dari formula empiris, atau pengukuran langsung dari komponen-komponen. Kedua metode tersebut untuk mengidentifikasi komponen-komponen dan asumsi-asumsi yang terkait.

Pemisahan hambatan pada beberapa komponen adalah berdasarkan prinsip momentum pada sebuah model kapal di tangki uji yang

diformulasikan untuk mendapatkan ekspresi konfigurasi gelombang yang ditimbulkan dan hambatan *wake transverse*.

Efek interferensi antara lambung (*demihull*) dengan memodifikasi komponen hambatan pada konfigurasi lambung kapal trimaran dapat diuraikan sebagai modifikasi ITTC-1957, ITTC-1978 dan metode pengukuran langsung untuk menghitung hambatan kapal trimaran.

Perhitungan hambatan kapal lambung ganda (*trimaran*) mengadopsi metode hambatan kapal lambung (*monohull*) dengan memasukkan pengaruh interferensi sebagai berikut :

ITTC 1957

$$\begin{aligned}(C_T)_{CAT} &= (C_F)_{CAT} + (C_R)_{CAT} \\ &= \sigma C_F + \Omega C_R\end{aligned}$$

(2.22)

dimana :

σ Faktor interferensi hambatan gesek (*Fniction*)

Ω Faktor interferensi hambatan sisa (*residuary*)

Pertambahan kecepatan yang terjadi diantara lambung kapal dapat diperhitungkan dengan memperkenalkan faktor interferensi σ dimana dihitung dari intergrasi hambatan gesekan lokal (*local Fniction*) atas permukaan bidang basah. Hal ini sangat tergantung pada jarak antara lambung (*hull clearance*). Faktor interferensi hambatan sisa (*residuary*) Ω dapat diintegrasikan dari hasil eksperimen. Besaran faktor ini disebabkan variasi jarak lambung dan kecepatan (Muller-Graft,1989).

ITTC 1978

$$\begin{aligned}(C_T)_{CAT} &= (1+k_{CAT})(C_F)_{CAT} + (C_W)_{CAT} \\ &= (1 + \delta k) \sigma C_F + \tau C_w\end{aligned}\tag{2.23}$$

dimana :

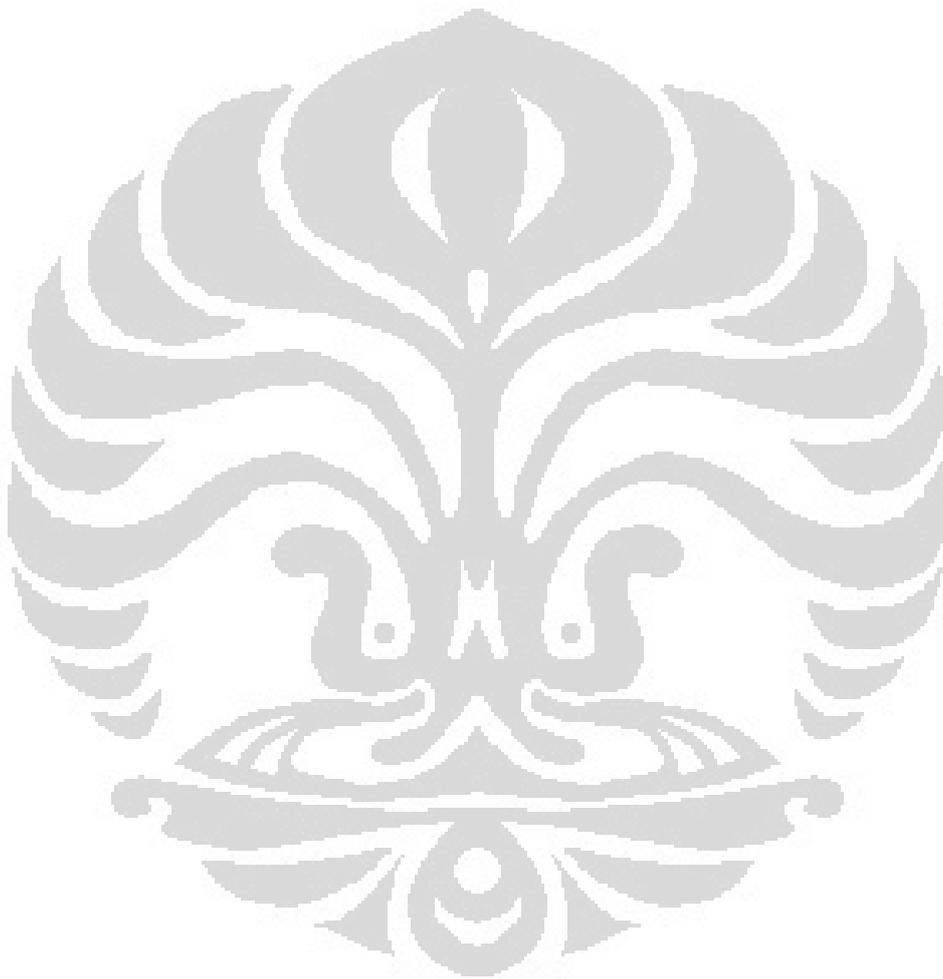
δ Faktor interferensi hambatan bentuk (*form*)

τ Faktor interferensi hambatan gelombang (*wave*)

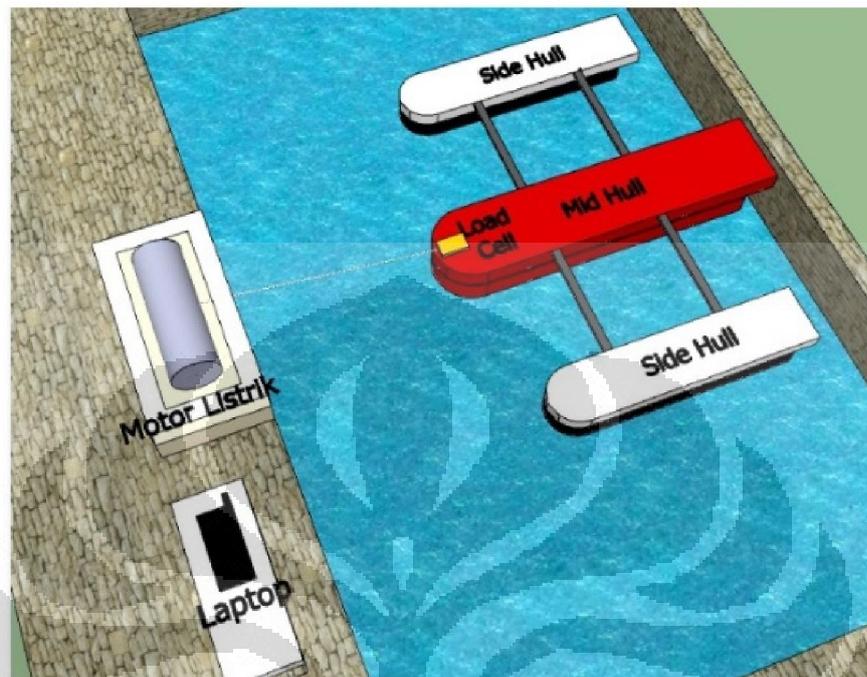
σ Faktor interferensi hambatan viskos (*viscous*)

Universitas Indonesia

δ digunakan dalam perhitungan pengaruh perubahan tekanan sekitar lambung (*multihull*). Untuk tujuan praktis, δ dan σ dapat dikombinasikan [Insel dan Molland, 1991 dan 1992] ke dalam interferensi hambatan viskos (*viscous*), yakni faktor β , dimana $(1+\delta k)\sigma = (1+\beta k)$. Faktor interferensi hambatan gelombang (*wave-making*) dapat diperoleh dari hasil eksperimen.



Data percobaan dari variasi jarak S/L (0,15 ; 0,2 ; 0,25) untuk menghasilkan konfigurasi hambatan kapal yang terbaik.



Gambar 3. 2 Instalasi alat uji

Spesifikasi alat uji (model trimaran)

Alat uji yang digunakan berupa kapal model trimaran dengan spesifikasi sebagai berikut :

Ukuran Utama Main Hull	
Loa	2.57 m
B	0.31 m
T	0.06 m
H	0.15 m
Cb	0.56
Cp	0,741
WSA	7,446607 m ²
Displacement (Δ)	13,2 kg

Ukuran Utama Side Hull	
Loa	2,0 m
B	0.2 m
T	0.05 m
H	0,14 m
Cb	0,41
Cp	0,732
WSA	0,488854 m ²
Displacement (Δ)	5,1 kg



Gambar 3. 3 Kapal model trimaran dan monohull

3.2 Peralatan Pendukung

Pada penelitian ini terdapat beberapa komponen yang digunakan antara lain :

3.2.1 Alat Penarik Kapal Model

Alat penarik berfungsi untuk menarik kapal model dengan kecepatan yang dapat diatur dan diasumsikan sebagai penggerak/ gaya dorong (propulsi) kapal model. Alat penarik ini merupakan satu rangkaian komponen yang dirakit menjadi satu kesatuan. Komponen tersebut terdiri dari sebagai berikut:



Gambar 3. 4 Alat Penarik Kapal Model

- Rangka

Rangka yang digunakan adalah besi siku berlubang yang disambung dengan menggunakan baut dan disusun sedemikian rupa sehingga kokoh untuk menahan berat dari motor listrik dan gulungan tali.

- Motor Listrik

Motor listrik disambungkan dengan gulungan tali yang dihubungkan dengan belt. Fungsi dari motor listrik ini adalah untuk memutar gulungan tali dimana tali tersebut digunakan untuk menarik kapal model.

- Gulungan Tali

Gulungan tali yang menggunakan silinder hollow berbahan plastik dengan diameter 120mm dan panjang tali 2000 mm

- Tali

Tali yang digunakan adalah berbahan serat nylon yang mampu menahan tegangan tali pada saat menarik kapal.

- Pulley

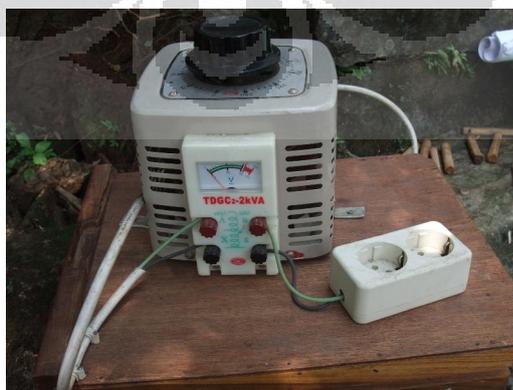
Dua buah pulley digunakan untuk mereduksi putaran motor listrik. Pulley dihubungkan pada gulungan tali dan pada poros motor listrik.

- Saklar (switch ON/OFF)

Saklar digunakan untuk menghidupkan dan mematikan motor listrik.

3.2.2 AC Voltage Regulator

AC Voltage Regulator adalah suatu alat yang dapat mengatur voltase keluaran. AC voltage regulator digunakan untuk mengatur putaran motor dengan mengatur voltase masukan yang dapat diubah sesuai keinginan. Spesifikasi teknik dari AC voltage regulator yang digunakan adalah Merk : OKI, Input : 220V 50/60 Hz, Output : 0 – 250V dan Cap : 2000 VA.



Gambar 3. 5 AC Voltage Regulator

3.2.3 Load Cell Transducer

Alat ini digunakan untuk mengukur gaya tarik kapal model pada saat kapal model ditarik. Loadcell merupakan suatu transducer yang bekerja berdasarkan prinsip deformasi suatu material akibat adanya tegangan mekanis yang bekerja. Besar tegangan mekanis berdasarkan pada deformasi yang diakibatkan oleh suatu regangan. Regangan tersebut terjadi pada lapisan permukaan dari material sehingga dapat terukur pada alat sensor regangan atau *strain gauge*. *Strain gage* ini merupakan *transducer* pasif yang merubah suatu pergeseran mekanis menjadi perubahan tahanan/hambatan.



Gambar 3. 6 Load Cell Transducer

3.2.4 Beban

Saat pengujian diperlukan beban sebesar 12 kg pada kapal model monohull agar kapal mencapai kondisi draft. Kondisi ini dimaksudkan agar data yang diperoleh sesuai dengan kondisi draft kapal trimaran.

3.2.5 Alat Pengukur Waktu

Saat pengujian diperlukan alat pengukur waktu yang digunakan ketika kapal model yang sedang ditarik berada pada area jarak tempuh kapal yang ditentukan secara konstan yaitu 3 m.

3.3 Kondisi Dalam Pengujian

Proses pengujian tarik ini dilakukan pada kolam pengujian dengan panjang (L) = 20 m, lebar (B) = 10 m dan kedalaman kolam (h) = 0.7 m dengan kondisi air yang tenang (*calm water*).

3.4 Prosedur Pengambilan Data

Proses pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai hambatan dari tiap konfigurasi untuk selanjutnya dilakukan perbandingan terhadap nilai yang didapatkan.

Dalam percobaan ini, kapal model ditarik oleh alat penarik yang telah dirancang sedemikian rupa sehingga putaran motor listrik memutar gulungan tali dan menarik kapal model. Ketika proses penarikan kapal, load cell akan menunjukkan berapa besar gaya tarik yang terjadi dan data gaya tarik tersebut akan diinterpretasikan oleh interface yang terhubung pada komputer. Besar gaya tarik pada saat kapal ditarik adalah besar gaya hambat yang dialami oleh kapal pada saat ditarik.

Beberapa variasi pengujian tarik dilakukan berdasarkan konfigurasi *multihull* dan disetiap pengujian dilakukan variasi putaran motor listrik untuk mendapatkan bilangan Froude yang diinginkan. Berikut merupakan variasi pengujian tarik :

1. Pengujian tarik kapal model monohull tanpa penambahan berat displacement
2. Pengujian tarik kapal model monohull dengan penambahan berat displacement sebesar 12 kg
3. Pengujian tarik kapal model trimaran dengan konfigurasi R/L 0.2 dan S/L 0.15
4. Pengujian tarik kapal model trimaran dengan konfigurasi R/L 0.2 dan S/L 0.2
5. Pengujian tarik kapal model trimaran dengan konfigurasi R/L 0.2 dan S/L 0.25

3.5 TAHAPAN PENGUJIAN

Tahap pengujian dalam pengambilan data untuk perhitungan hambatan kapal trimaran dengan konfigurasi S/L adalah sebagai berikut:

- a. Kapal model dipersiapkan untuk dilakukan uji tarik sesuai dengan variasi yang diinginkan. Instalasi lengan dengan besi penghubung berlubang diperlukan mengingat dalam hal ini setiap variasi memiliki jarak atau lokasi lengan yang berbeda – beda antara midhull dengan sidehull.
- b. Setelah instalasi dilakukan, selanjutnya load cell diletakkan diatas anjungan depan kapal model (lengan besi penghubung *multihull*) yang dihubungkan dengan tali penarik yang berasal dari gulungan tali untuk selanjutnya diputar oleh motor listrik.
- c. Load cell juga dihubungkan dengan interface yang terintegrasi dengan komputer. Ketika pada saat proses penarikan, gaya tarik tersebut akan menghasilkan *output* berupa data yang terdiri dari angka – angka.
- d. Sebelum dilakukan penarikan pada kapal model monohull, beban diberikan sebesar 12 kg pada kapal model untuk mencapai draft.
- e. Sebelum dilakukan penarikan pada kapal model trimaran, dilakukan pemasangan lengan besi penghubung untuk menyesuaikan bentuk konfigurasi kapal trimaran yang akan diambil datanya.
- f. Motor listrik dinyalakan sesuai dengan aba-aba dan dilakukan pengaturan voltase menggunakan AC voltage regulator. Dalam percobaan ini, pengaturan voltase dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan variasi kecepatan kapal model. Setelah kapal model melewati batas jarak 3 meter, pengukur waktu (*stop watch*) dan motor listrik dimatikan. Sehingga didapatkan variasi waktu untuk setiap kecepatan kapal model dan selanjutnya tampilan data *output* dari loadcell dapat disimpan untuk jenis variasi tersebut.
- g. Untuk melakukan jenis variasi selanjutnya, dapat dilakukan dengan mengulang berbagai langkah di atas.

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

4.1 Hasil Eksperimen Model Fisik

Model uji menggunakan lambung simetris dengan konfigurasi jarak antara lambung yang bervariasi secara melintang (S/L).

Pengujian hambatan lambung trimaran dilakukan pada kecepatan *Froude* (F_n) 0.2 hingga 0.65, dengan tiga konfigurasi jarak lambung yang berbeda pada arah melintang (S/L).

Rasio S/L menggambarkan rasio jarak antara kedua lambung (terhadap garis tengah lambung) dan panjang lambung. Jenis pengujian model fisik diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Pengujian Model Fisik

Kondisi Uji	Model Uji	(S/L)
1	Trimaran	0.15
2	Trimaran	0.2
3	Trimaran	0.25

Model uji dilengkapi dengan alat ukur ‘load cell transducer’ untuk mengukur besar (gaya) hambatan. Posisi alat ‘load cell transducer’ terletak ditengah model kapal dan model dapat bergerak bebas secara vertikal.

4.1.1 Rasio S/L 0.15

Pada rasio S/L 0.15 dengan panjang (L) kapal model sebesar 2,57 m, maka diperoleh jarak (S) antar lambung kapal yaitu 0.385 m. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi kecepatan.

Tabel 4. 2 Data hasil penelitian pada S/L 0.15

V (m/s)	Rt (kg)	v(knot)
1.119402985	0.264405	2.17613333
1.357466063	0.346519	2.638930916
1.694915254	0.361505	3.294936342

Data di atas merupakan data hasil percobaan uji tarik di kolam pengujian. Dilakukan pengambilan data secara berulang untuk mendapatkan nilai hambatan total kapal pada variasi kecepatan yang berbeda. Dari data berupa kecepatan kapal dan hambatan total kapal (tegangan tali) diolah dengan bantuan persamaan berikut :

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T (WSA) V^2 \quad (2.2)$$

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (2.3)$$

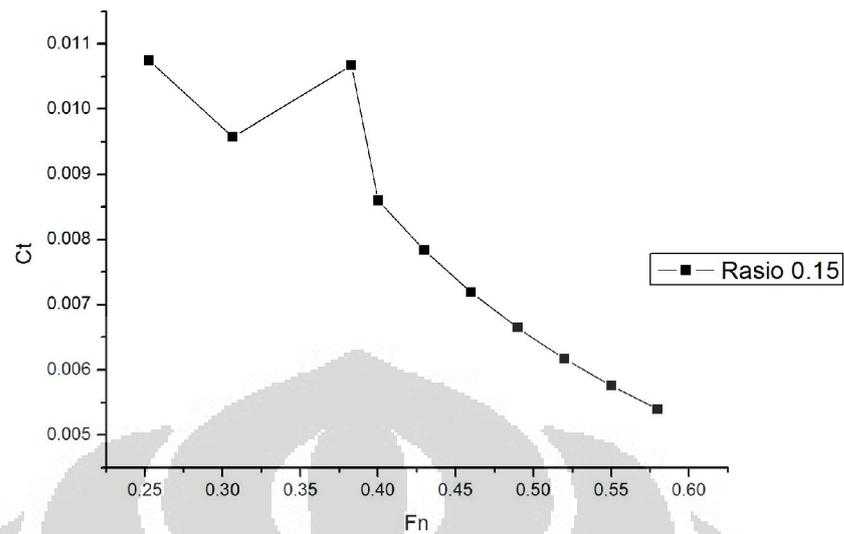
$$Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (2.19)$$

Didapatkan data-data hasil pengolahan sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Fn, Rt (kN), Re dan Ct S/L 0.15

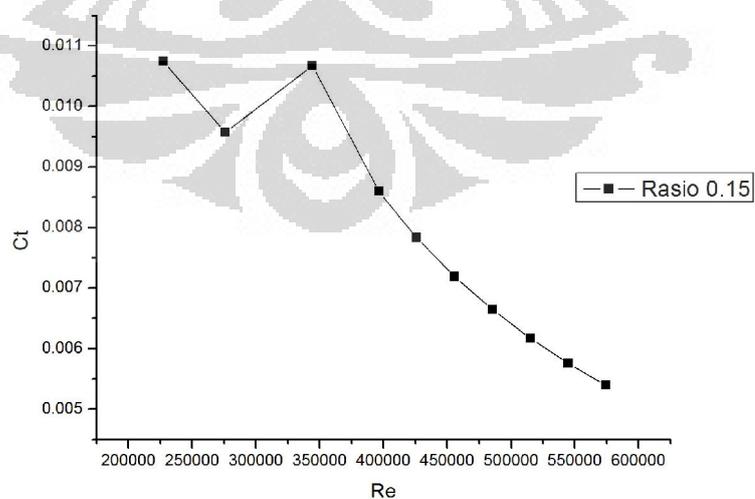
V (m/s)	Vs (knot)	Fn	Re	Ct	Rt (Kn)	Rt(kg)
1.11940299	2.176133	0.252847	227342.186	0.010739637	0.025912	0.26440522
1.35746606	2.638931	0.30662	275690.977	0.009571087	0.033959	0.34651873
1.69491525	3.294936	0.382842	344224.327	0.010674784	0.059046	0.36150458
1.95198361	3.79468	0.4	396432.943	0.008593622	0.063047	0.386
2.09838238	4.079281	0.43	426165.414	0.007832239	0.066403	0.40655
2.24478115	4.363882	0.46	455897.885	0.007189899	0.06976	0.4271
2.39117992	4.648484	0.49	485630.355	0.006641334	0.073116	0.44765
2.53757869	4.933085	0.52	515362.826	0.006167847	0.076473	0.4682
2.68397746	5.217686	0.55	545095.297	0.005755331	0.079829	0.48875
2.83037623	5.502287	0.58	574827.767	0.005392952	0.083186	0.5093

Dari data di atas kemudian dibuat gambar C_T (*Total Resistance Coefficient*) vs Fn (*Froude Number*) dan C_t (*Total Resistance Coefficient*) vs Re pada rasio S/L 0.15 sebagai berikut:



Gambar 4. 1 Koefisien Hambatan Total Kapal Metode Eksperimen S/L 0.15

Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai F_n (*Froude Number*) maka nilai C_t (*Total resistance Coefficient*) kapal trimaran dengan konfigurasi S/L 0.15 akan semakin kecil terutama untuk $F_n > 0.4$.



Gambar 4. 2 Hubungan Re dengan Ct Metode Eksperimen pada rasio S/L 0.15

Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai Re (*Reynolds Number*) maka nilai C_t (*Total resistance Coefficient*) kapal Trimaran dengan konfigurasi S/L akan semakin kecil.

Setelah mendapatkan nilai hambatan total maka kita meneruskan dengan mencari nilai koefisien hambatan gesek (C_f) kapal pada variasi kecepatan yang berbeda. Dari data berupa kecepatan kapal dan hambatan gesek (R_f) kapal diolah dengan bantuan persamaan berikut :

$$R_f = \frac{1}{2} C_f \rho S V^2 \quad (2.7)$$

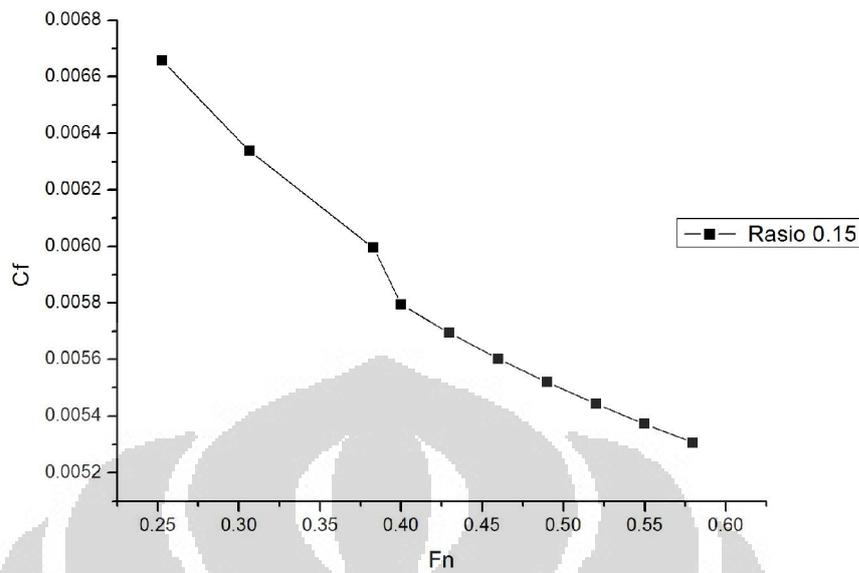
$$C_f = \frac{R_f}{\frac{1}{2} \rho S V^2} \quad (2.8)$$

Didapatkan data-data hasil pengolahan sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Data hasil perhitungan nilai C_f dan R_f pada S/L 0.15

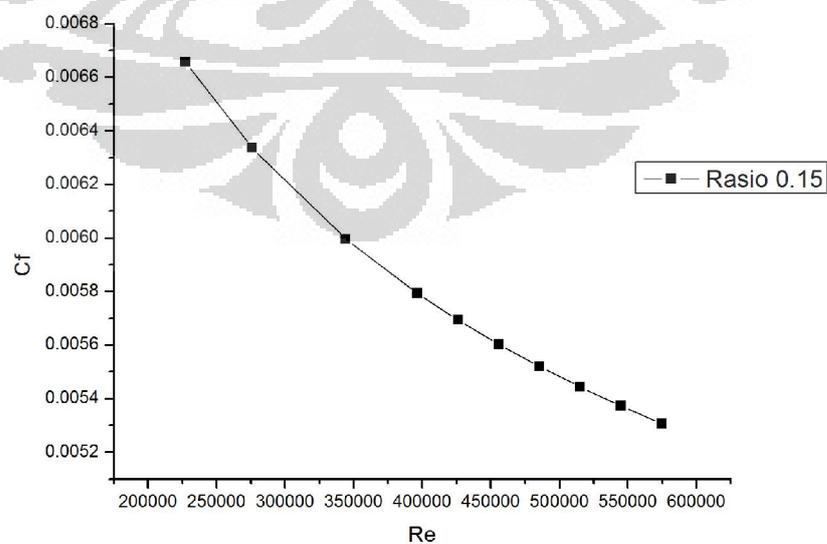
C_f	R_f
0.006656	0.01606009
0.006336	0.0224817
0.005996	0.03316344
0.005793	0.04249951
0.005693	0.04826716
0.005602	0.05435625
0.005519	0.06076264
0.005443	0.06748255
0.005372	0.07451248
0.005306	0.08184917

Dari data di atas kemudian dibuat gambar C_f (*Friction Resistance Coefficient*) vs Fn (*Froude Number*) dan C_f (*Friction resistance Coefficient*) vs Re pada rasio S/L 0.15 sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Koefisien Hambatan Gesek Kapal Metode Eksperimen S/L 0.15

Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai F_n (*Froude Number*) maka nilai C_f (*Friction Coefficient*) kapal trimaran dengan konfigurasi S/L 0.15 akan semakin kecil terutama untuk $F_n > 0.4$.



Gambar 4. 4 Hubungan Re dengan Cf Metode Eksperimen pada rasio S/L 0.15

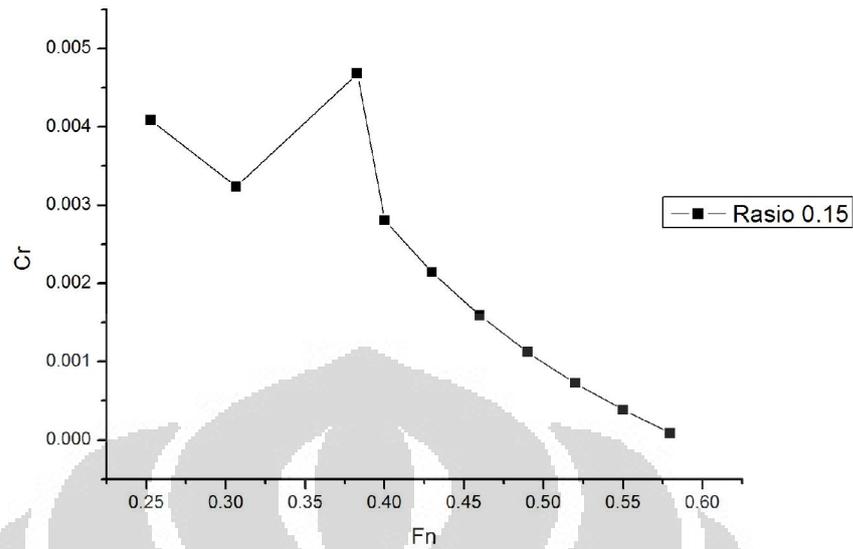
Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai Re (*Reynolds Number*) maka nilai C_f (*Friction Coefficient*) kapal Trimaran dengan konfigurasi S/L akan semakin kecil.

Dengan mendapatkan nilai hambatan gesek maka kita dapat mengetahui nilai hambatan sisa kapal pada variasi kecepatan yang berbeda – beda. Nilai hambatan sisa kapal (R_r) dapat diketahui dengan kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari koefisien hambatan total dengan koefisien hambatan gesek.

Tabel 4. 5 Data hasil perhitungan nilai C_r dan R_r pada S/L 0.15

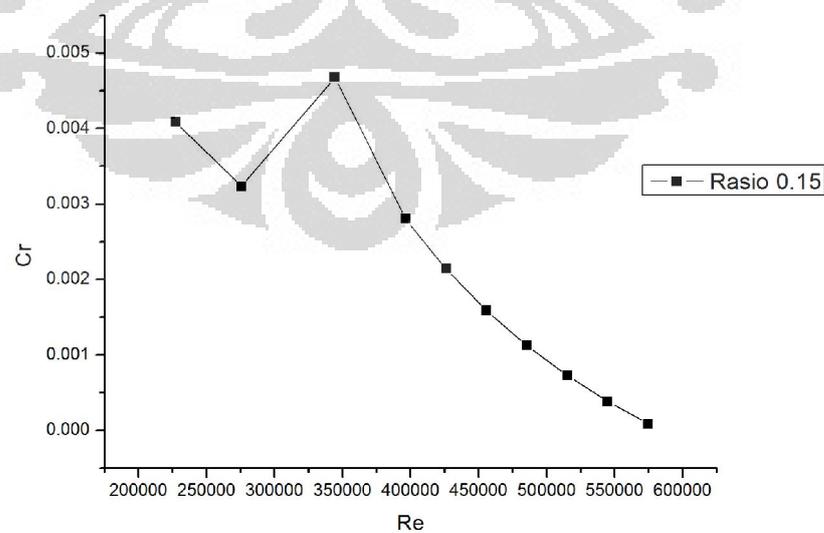
C_r	R_r
0.004083207	0.009851626
0.003234758	0.011477132
0.00467922	0.025882306
0.002800696	0.020547161
0.002139138	0.018136003
0.00158758	0.015403419
0.001122104	0.012353528
0.000725091	0.008990118
0.00038331	0.00531669
8.66455E-05	0.001336497

Dari data di atas kemudian dibuat gambar C_r (*Residual Resistance Coefficient*) vs F_n (*Froude Number*) dan C_r (*Residual Resistance Coefficient*) vs Re (*Reynolds Number*) pada rasio S/L 0.15 sebagai berikut:



Gambar 4. 5 Koefisien Hambatan Sisa Kapal Metode Eksperimen S/L 0.15

Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai F_n (*Froude Number*) maka nilai C_r (*Residual Coefficient*) kapal trimaran dengan konfigurasi S/L 0.15 akan semakin kecil terutama untuk $F_n > 0.4$.



Gambar 4. 6 Hubungan Re dengan Cr Kapal Metode Eksperimen S/L 0.15

4.1.2 Rasio S/L 0.2

Pada rasio S/L 0.2 dengan panjang (L) kapal model sebesar 2.57 m, maka diperoleh jarak (S) antar lambung kapal yaitu 0.514 m. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi kecepatan.

Tabel 4. 6 Data hasil penelitian pada S/L 0.2

V (m/s)	Rt (kg)	v(knot)
1.132075472	0.263826	2.200768802
1.538461538	0.544452	2.990788372
1.818181818	0.629503	3.534568076

Data di atas merupakan data hasil percobaan uji tarik di kolam pengujian. Dilakukan pengambilan data secara berulang untuk mendapatkan nilai hambatan total kapal pada variasi kecepatan yang berbeda. Dari data berupa kecepatan kapal dan hambatan total kapal (tegangan tali) diolah dengan bantuan persamaan berikut :

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T (WSA) V^2 \quad (2.2)$$

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (2.3)$$

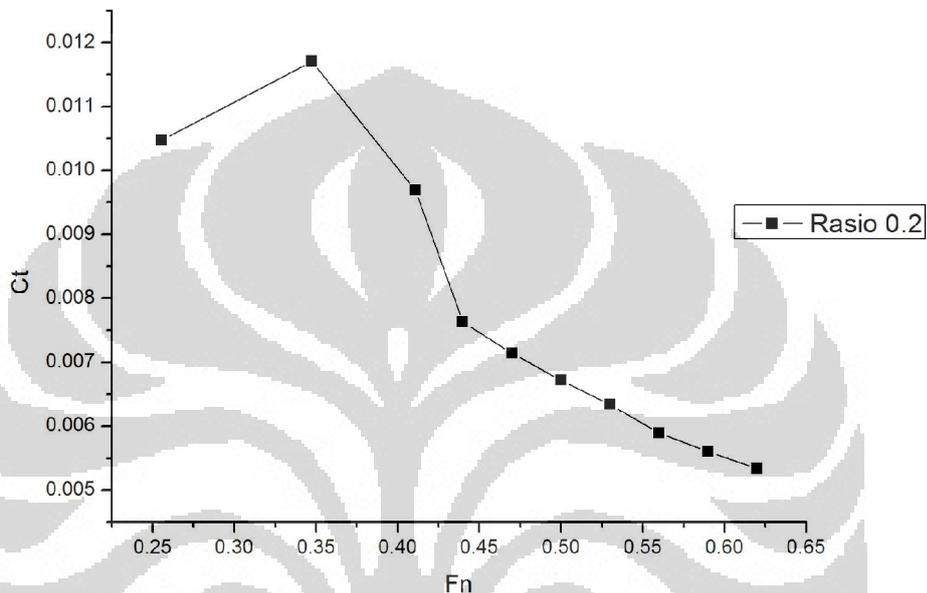
$$Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (2.19)$$

Didapatkan data-data hasil pengolahan sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Fn, Rt (kN), Re dan Ct S/L 0.2

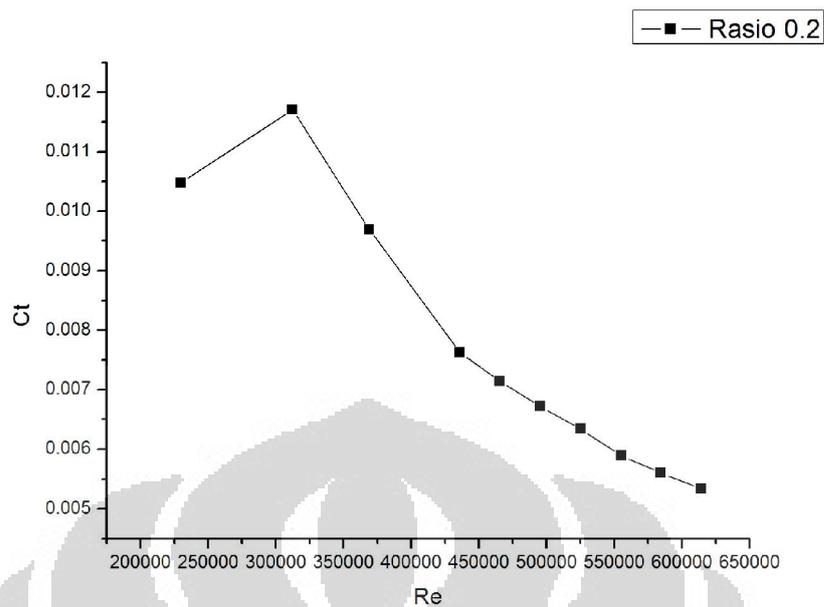
V (m/s)	Vs (knot)	Fn	Re	Ct	Rt (Kn)	Rt(kg)
1.132075	2.200769	0.25570978	229915.871	0.01047754	0.025855	0.263826
1.538462	2.990788	0.34750304	312449.7734	0.0117079	0.053356	0.5444522
1.818182	3.534568	0.41068541	369258.8231	0.009692056	0.061691	0.6295033
2.147182	4.174148	0.44	436076.2374	0.007622869	0.067669	0.5954
2.293581	4.458749	0.47	465808.7081	0.007140855	0.072329	0.64295
2.43998	4.743351	0.5	495541.1788	0.006716169	0.076989	0.6905
2.586378	5.027952	0.53	525273.6496	0.006339159	0.081649	0.73805
2.732777	5.312553	0.56	555006.1203	0.0058942	0.084755	0.7856
2.879176	5.597154	0.59	584738.591	0.005601978	0.089415	0.83315
3.025575	5.881755	0.62	614471.0618	0.005337346	0.094075	0.8807

Dari data di atas kemudian dibuat gambar C_T (*Total Resistance Coefficient*) vs F_n (*Froude Number*) dan C_t (*Total Resistance Coefficient*) vs Re pada rasio S/L 0.2 sebagai berikut:



Gambar 4. 7 Koefisien Hambatan Total Kapal Metode Eksperimen S/L 0.2

Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai F_n (*Froude Number*) maka nilai C_t (*Total resistance Coefficient*) kapal trimaran dengan konfigurasi S/L 0.2 akan semakin kecil terutama untuk $F_n > 0.4$.



Gambar 4. 8 Hubungan Re dengan Ct Metode Eksperimen pada rasio S/L 0.2

Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai Re (*Reynolds Number*) maka nilai Ct (*Total resistance Coefficient*) kapal Trimaran dengan konfigurasi S/L akan semakin kecil.

Setelah mendapatkan nilai hambatan total maka kita meneruskan dengan mencari nilai koefisien hambatan gesek (C_f) kapal pada variasi kecepatan yang berbeda. Dari data berupa kecepatan kapal dan hambatan gesek (R_f) kapal diolah dengan bantuan persamaan berikut :

$$R_f = \frac{1}{2} C_f \rho S V^2 \quad (2.7)$$

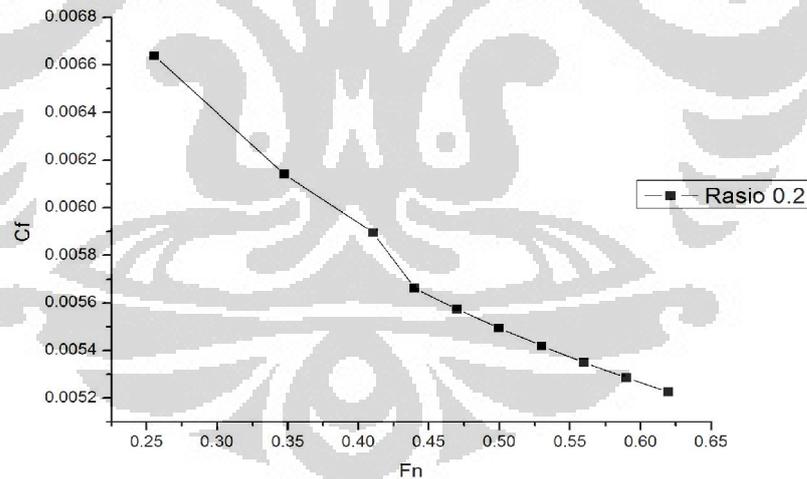
$$C_f = \frac{R_f}{\frac{1}{2} \rho S V^2} \quad (2.8)$$

Didapatkan data-data hasil pengolahan sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Data hasil perhitungan nilai C_f dan R_f pada S/L 0.2

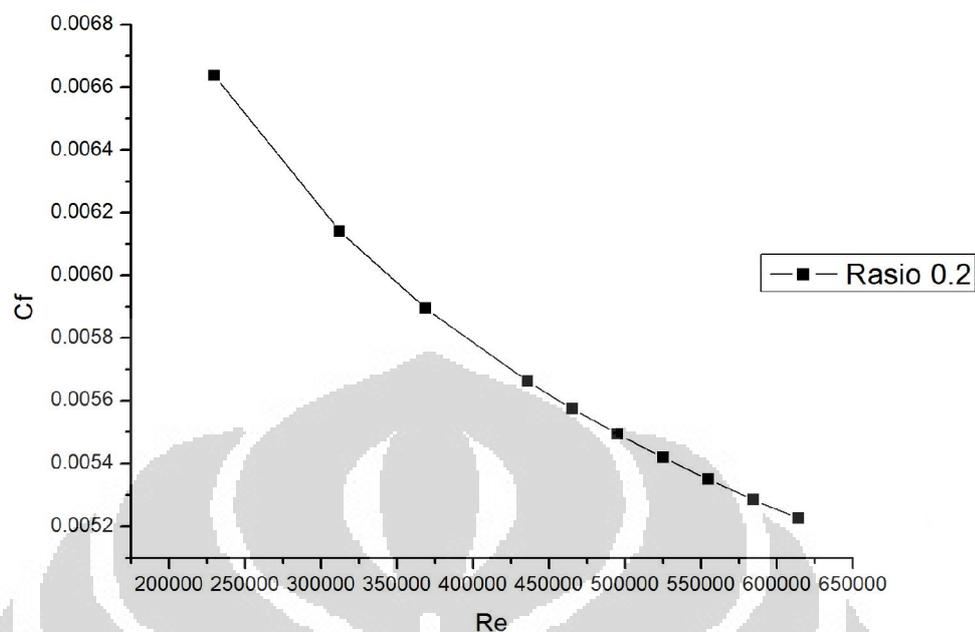
C_f	R_f
0.00663708	0.016378026
0.00614075	0.027985198
0.00589352	0.037513076
0.00566191	0.050261355
0.00557383	0.056456648
0.00549305	0.062967951
0.00541858	0.069791577
0.00534959	0.07692411
0.00528541	0.084362373
0.00522548	0.092103398

Dari data di atas kemudian dibuat gambar C_f (*Friction Resistance Coefficient*) vs F_n (*Froude Number*) dan C_f (*Friction resistance Coefficient*) vs Re pada rasio S/L 0.2 sebagai berikut:



Gambar 4. 9 Koefisien Hambatan Gesek Kapal Metode Eksperimen S/L 0.2

Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai F_n (*Froude Number*) maka nilai C_f (*Friction Coefficient*) kapal trimaran dengan konfigurasi S/L 0.2 akan semakin kecil terutama untuk $F_n > 0.4$.



Gambar 4. 10 Hubungan Re dengan Cf Metode Eksperimen pada rasio S/L 0.2

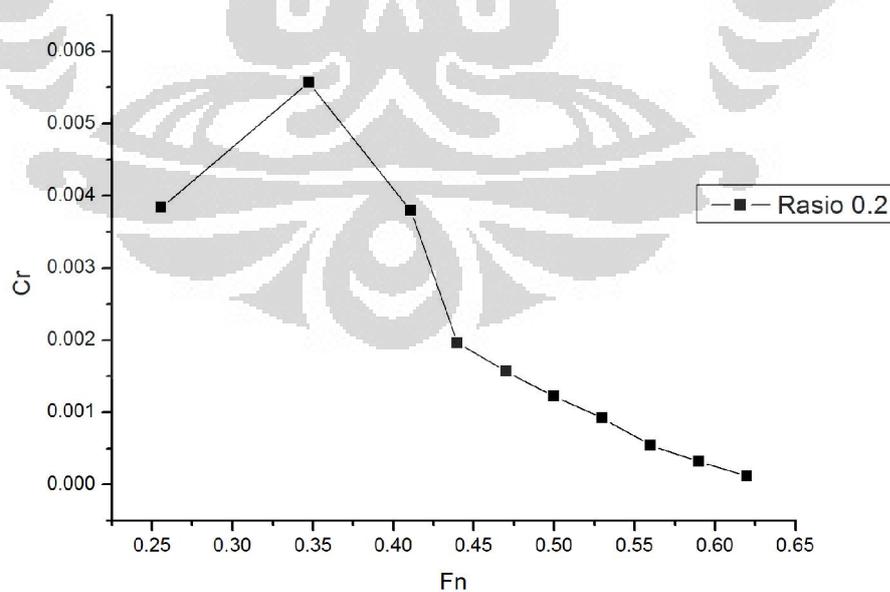
Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai Re (*Reynolds Number*) maka nilai Cf (*Friction Coefficient*) kapal Trimaran dengan konfigurasi S/L akan semakin kecil.

Dengan mendapatkan nilai hambatan gesek maka kita dapat mengetahui nilai hambatan sisa kapal pada variasi kecepatan yang berbeda – beda. Nilai hambatan sisa kapal (R_r) dapat diketahui dengan kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari koefisien hambatan total dengan koefisien hambatan gesek.

Tabel 4. 9 Data hasil perhitungan nilai C_r dan R_r pada S/L 0.2

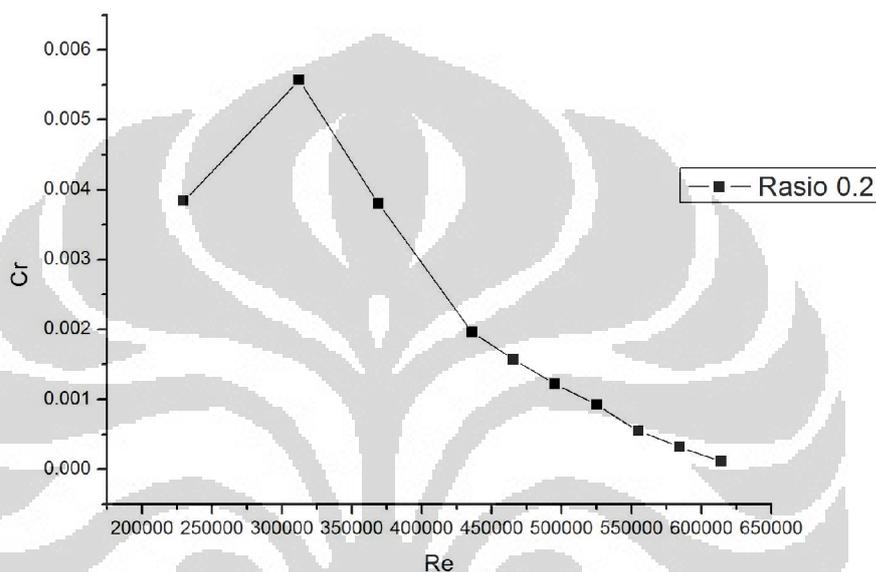
C_r	R_r
0.003840457	0.00947692
0.005567148	0.02537112
0.00379854	0.02417825
0.00196096	0.01740764
0.001567029	0.01587225
0.001223118	0.01402085
0.00092058	0.01185712
0.00054461	0.00783119
0.000316566	0.00505283
0.000111864	0.0019717

Dari data di atas kemudian dibuat gambar C_r (*Residual Resistance Coefficient*) vs F_n (*Froude Number*) dan C_r (*Residual Resistance Coefficient*) vs Re (*Reynolds Number*) pada rasio S/L 0.2 sebagai berikut:



Gambar 4. 11 Koefisien Hambatan Sisa Kapal Metode Eksperimen S/L 0.2

Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai F_n (*Froude Number*) maka nilai C_r (*Residual Coefficient*) kapal trimaran dengan konfigurasi S/L 0.2 akan semakin kecil terutama untuk $F_n > 0.4$.



Gambar 4. 12 Hubungan Re dengan C_r Kapal Metode Eksperimen S/L 0.2

4.1.3 Rasio S/L 0.25

Pada rasio S/L 0.25 dengan panjang (L) kapal model sebesar 2.57 m. maka diperoleh jarak (S) antar lambung kapal yaitu 0.645 m. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi kecepatan.

Tabel 4. 10 Data hasil penelitian pada S/L 0.25

V (m/s)	Rt (kg)	v(knot)
1.162790698	0.262996	2.260479583
1.578947368	0.459301	3.069493329
2	0.561932	3.888024883

Data di atas merupakan data hasil percobaan uji tarik di kolam pengujian. Dilakukan pengambilan data secara berulang untuk mendapatkan nilai hambatan total kapal pada variasi kecepatan yang berbeda. Dari data berupa kecepatan kapal dan hambatan total kapal (tegangan tali) diolah dengan bantuan persamaan berikut :

$$R_T = \frac{1}{2} \rho C_T (WSA) V^2 \quad (2.2)$$

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (2.3)$$

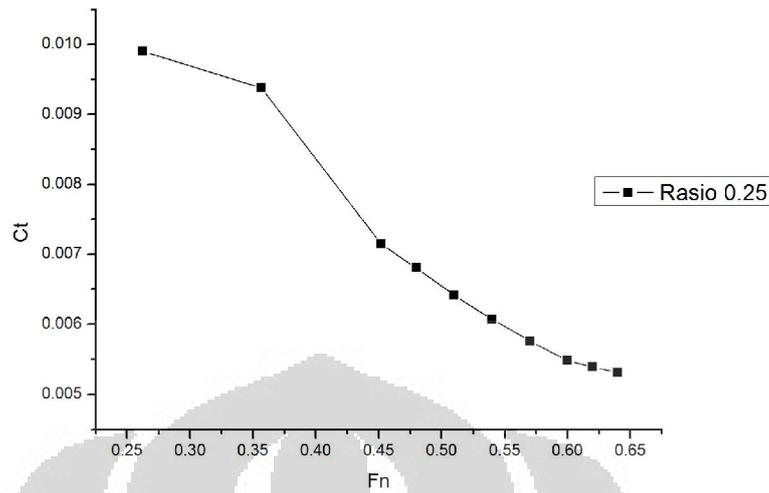
$$Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (2.19)$$

Didapatkan data-data hasil pengolahan sebagai berikut:

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Fn, Rt (kN), Re dan Ct S/L 0.25

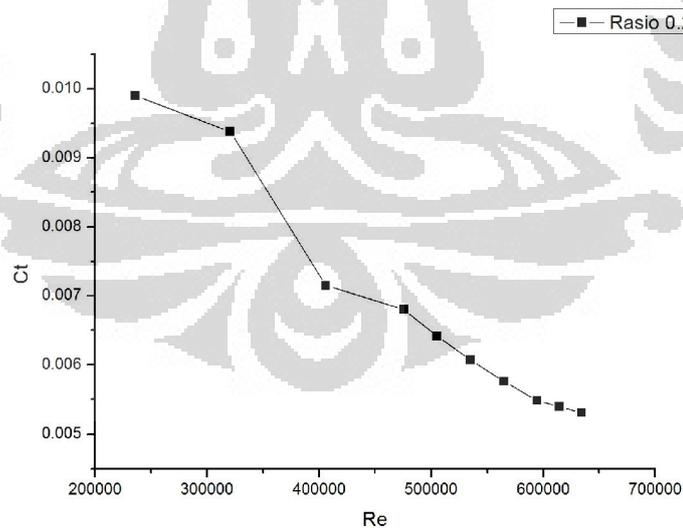
V (m/s)	Vs (knot)	Fn	Re	Ct	Rt (Kn)	Rt(kg)
1.162791	2.260479583	0.262648	236153.8985	0.009900089	0.025773642	0.262996343
1.578947	3.069493329	0.356648	320672.1358	0.009376808	0.045011541	0.459301444
2	3.888024883	0.451754	406184.7054	0.007150164	0.055069301	0.56193164
2.34238	4.5536165	0.48	475719.5317	0.006803748	0.0718781	0.62292
2.488779	4.838217532	0.51	505452.0024	0.006416094	0.07652036	0.67029
2.635178	5.122818563	0.54	535184.4731	0.006070195	0.08116262	0.71766
2.781577	5.407419594	0.57	564916.9439	0.005759653	0.08580488	0.76503
2.927975	5.692020625	0.6	594649.4146	0.005479317	0.09044714	0.8124
3.025575	5.881754646	0.62	614471.0618	0.005394893	0.0950894	0.84398
3.123174	6.071488667	0.64	634292.7089	0.005310155	0.09973166	0.87556

Dari data di atas kemudian dibuat gambar C_T (*Total Resistance Coefficient*) vs Fn (*Froude Number*) dan C_T (*Total Resistance Coefficient*) vs Re pada rasio S/L 0.25 sebagai berikut:



Gambar 4. 13 Koefisien Hambatan Total Kapal Metode Eksperimen S/L 0.25

Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai F_n (*Froude Number*) maka nilai C_t (*Total resistance Coefficient*) kapal trimaran dengan konfigurasi S/L 0.25 akan semakin kecil terutama untuk $F_n > 0.4$.



Gambar 4. 14 Hubungan Re dengan Ct Metode Eksperimen pada rasio S/L 0.25

Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai Re (*Reynolds Number*) maka nilai C_t (*Total resistance Coefficient*) kapal Trimaran dengan konfigurasi S/L akan semakin kecil.

Setelah mendapatkan nilai hambatan total maka kita meneruskan dengan mencari nilai koefisien hambatan gesek (C_f) kapal pada variasi kecepatan yang berbeda. Dari data berupa kecepatan kapal dan hambatan gesek (R_f) kapal diolah dengan bantuan persamaan berikut :

$$R_f = \frac{1}{2} C_f \rho S V^2 \quad (2.7)$$

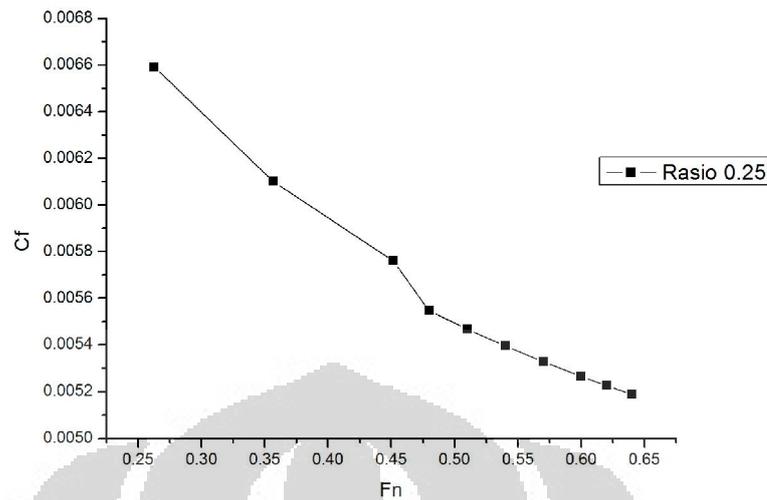
$$C_f = \frac{R_f}{\frac{1}{2} \rho S V^2} \quad (2.8)$$

Didapatkan data-data hasil pengolahan sebagai berikut:

Tabel 4. 12 Data hasil perhitungan nilai C_f dan R_f pada S/L 0.25

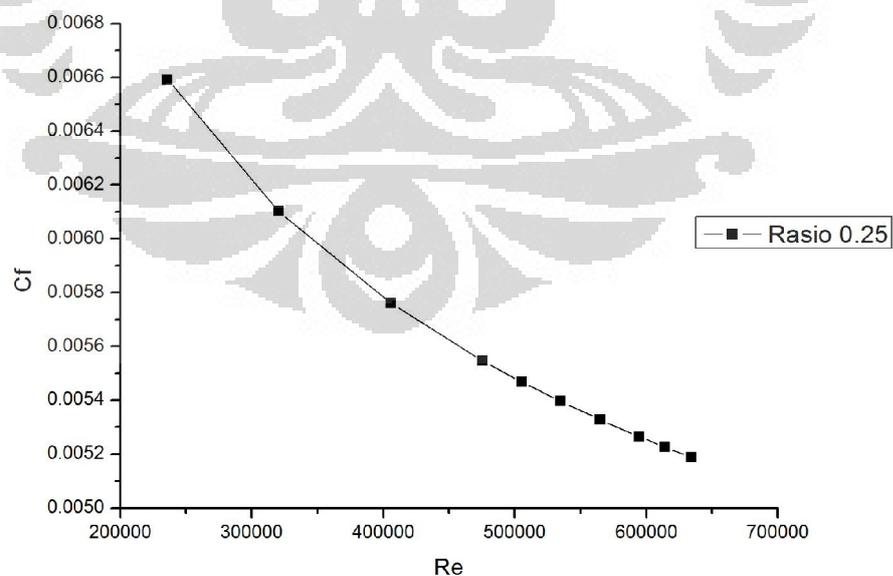
C_f	R_f
0.00659141	0.01715991
0.006101298	0.029288097
0.005759092	0.044355512
0.005546143	0.058592158
0.00546757	0.065207965
0.005395009	0.072134927
0.005327693	0.079369712
0.005264988	0.086909215
0.005225482	0.092103398
0.005187652	0.097430902

Dari data di atas kemudian dibuat gambar C_f (*Friction Resistance Coefficient*) vs Fn (*Froude Number*) dan C_f (*Friction resistance Coefficient*) vs Re pada rasio S/L 0.25 sebagai berikut:



Gambar 4. 15 Koefisien Hambatan Gesek Kapal Metode Eksperimen S/L 0.25

Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai F_n (*Froude Number*) maka nilai C_f (*Friction Coefficient*) kapal trimaran dengan konfigurasi S/L 0.25 akan semakin kecil terutama untuk $F_n > 0.4$.



Gambar 4. 16 Hubungan Re dengan Cf Metode Eksperimen pada rasio S/L 0.25

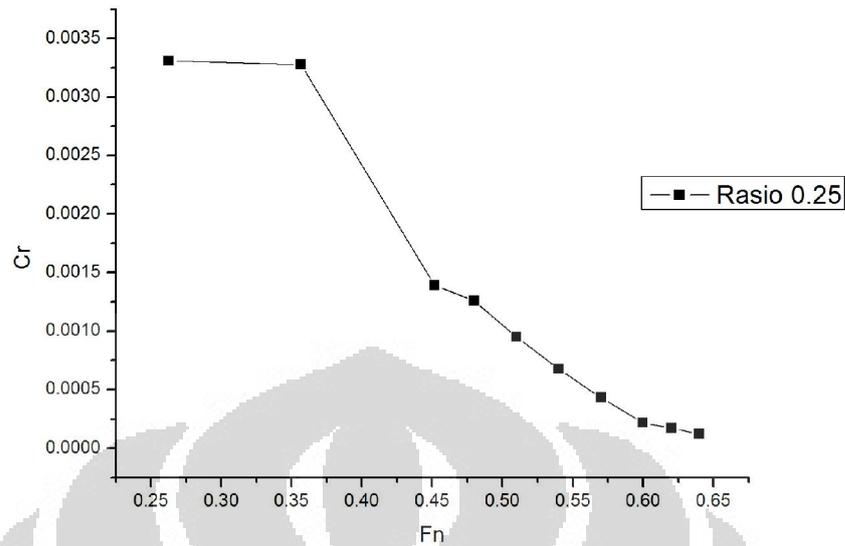
Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai Re (*Reynolds Number*) maka nilai C_f (*Friction Coefficient*) kapal Trimaran dengan konfigurasi S/L akan semakin kecil.

Dengan mendapatkan nilai hambatan gesek maka kita dapat mengetahui nilai hambatan sisa kapal pada variasi kecepatan yang berbeda – beda. Nilai hambatan sisa kapal (R_r) dapat diketahui dengan kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari koefisien hambatan total dengan koefisien hambatan gesek.

Tabel 4. 13 Data hasil perhitungan nilai C_r dan R_r pada S/L 0.25

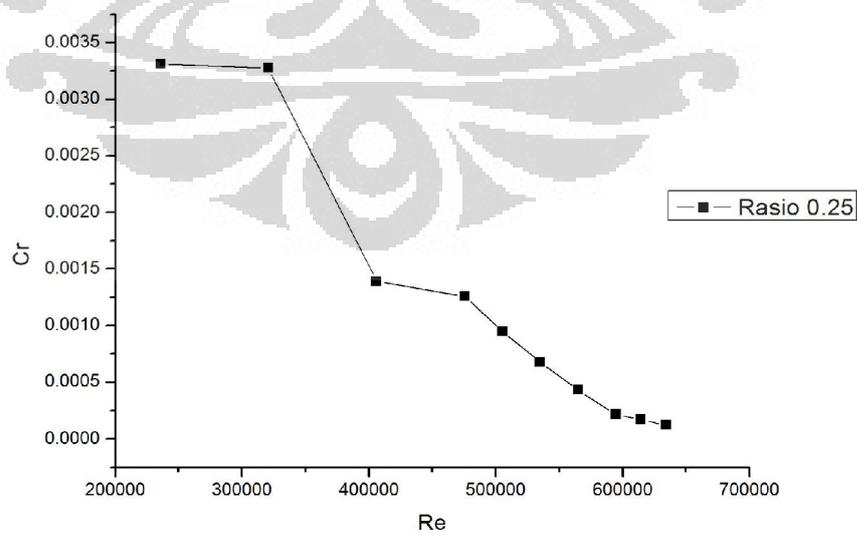
C_r	R_r
0.003308679	0.00861373
0.003275509	0.01572344
0.001391072	0.01071379
0.001257604	0.01328594
0.000948524	0.0113124
0.000675186	0.00902769
0.000431961	0.00643517
0.000214329	0.00353792
0.000169411	0.002986
0.000122503	0.00230076

Dari data di atas kemudian dibuat gambar C_r (*Residual Resistance Coefficient*) vs Fn (*Froude Number*) dan C_r (*Residual Resistance Coefficient*) vs Re (*Reynolds Number*) pada rasio S/L 0.25 sebagai berikut:



Gambar 4. 17 Koefisien Hambatan Sisa Kapal Metode Eksperimen S/L 0.25

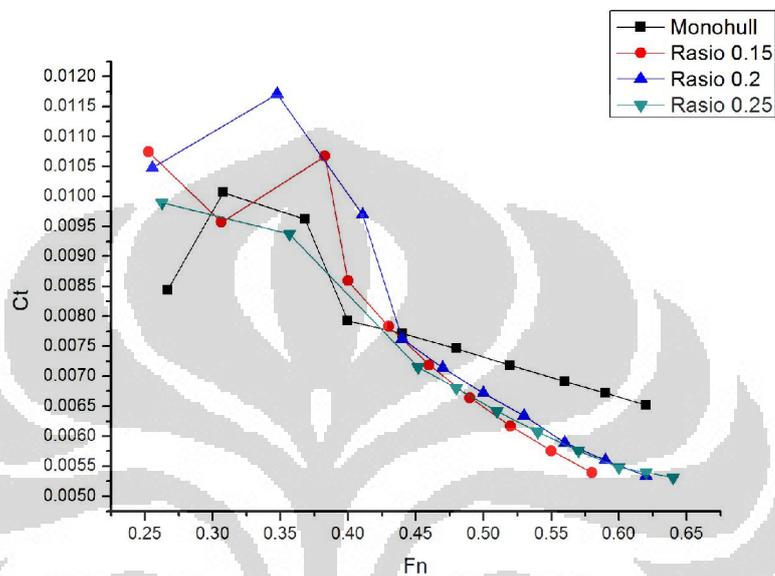
Dari grafik di atas kita dapat mengetahui bahwa semakin tinggi nilai F_n (*Froude Number*) maka nilai C_r (*Residual Coefficient*) kapal trimaran dengan konfigurasi S/L 0.25 akan semakin kecil terutama untuk $F_n > 0.4$.



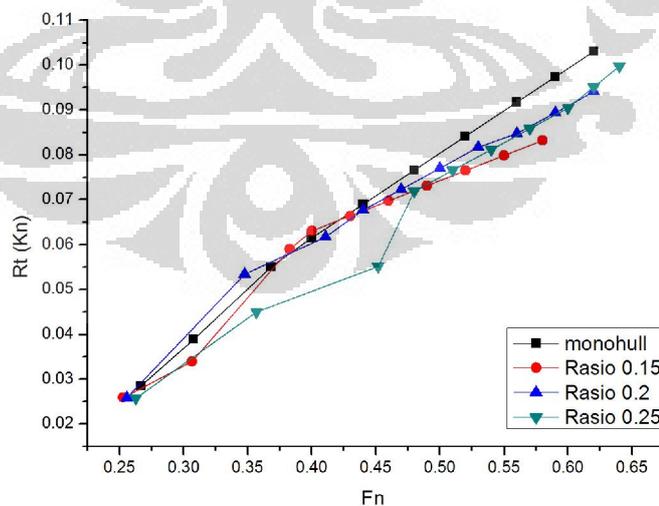
Gambar 4. 18 Hubungan Re dengan Cr Kapal Metode Eksperimen S/L 0.25

Setelah itu dibandingkan nilai hambatan total, hambatan gesek dan hambatan sisa antara S/L 0.15 ; 0.2 ; 0.25 terhadap nilai Fn dan Re. Gambar perbandingannya adalah sebagai berikut:

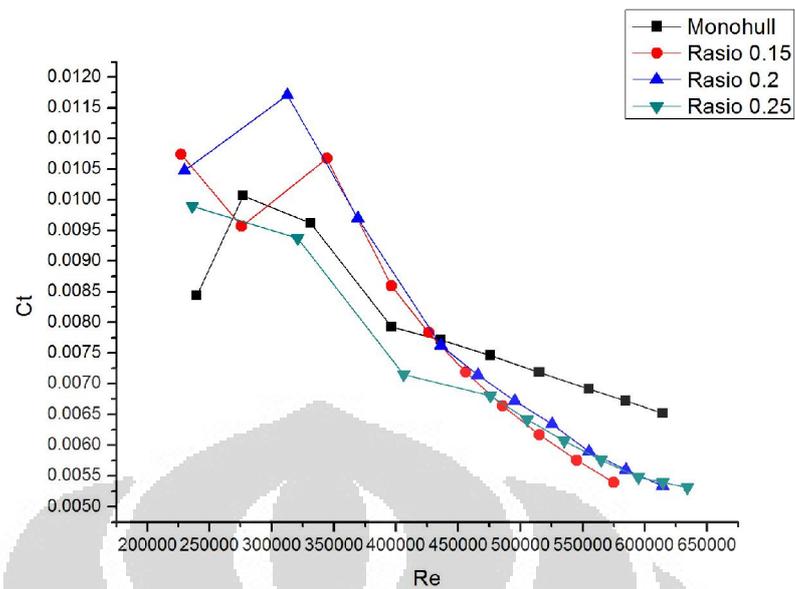
Perbandingan beberapa komponen hambatan total :



Gambar 4. 19 Komparasi Koefisien Hambatan Total Lambung Terhadap Nilai Fn Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)

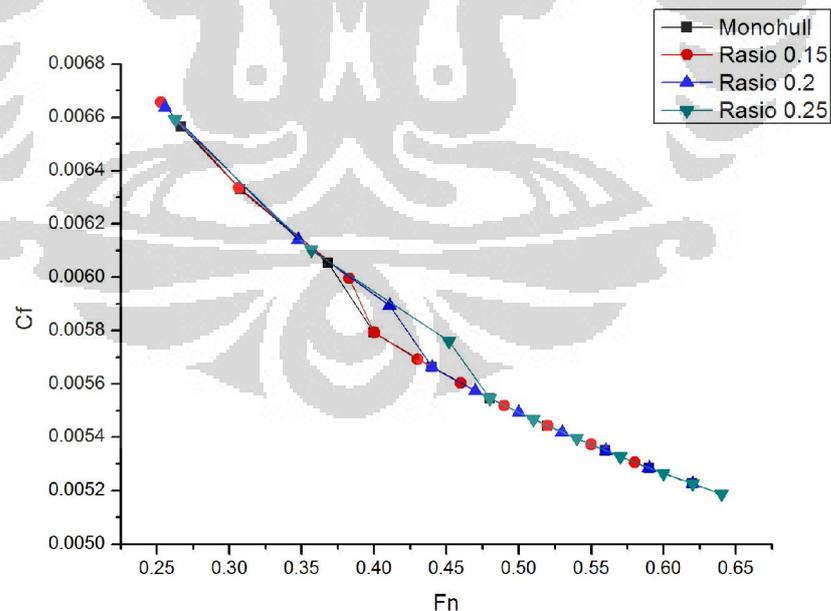


Gambar 4. 20 Komparasi Hambatan Total Lambung Terhadap Nilai Fn Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)

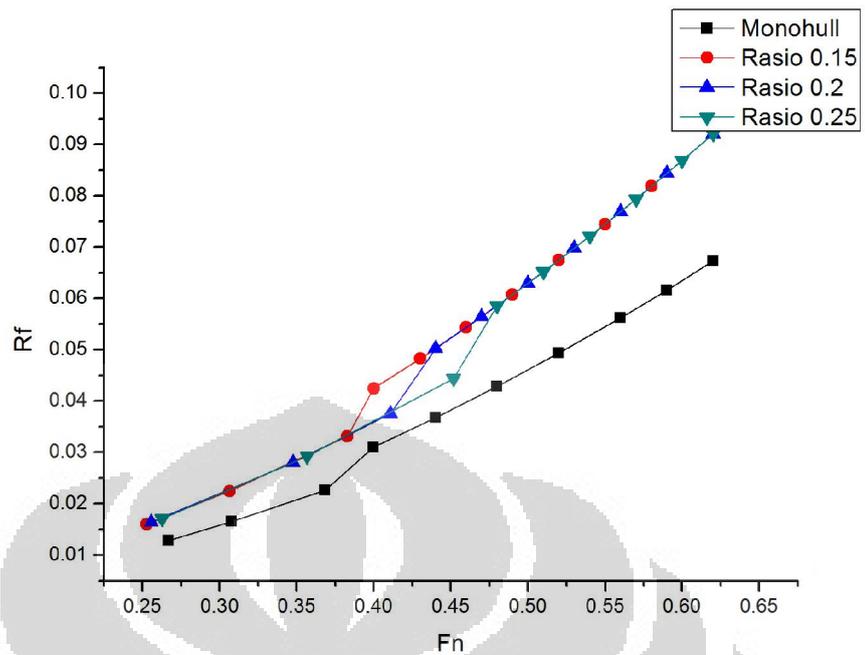


Gambar 4. 21 Komparasi Koefisien Hambatan Total Lambung Terhadap Reynold Number Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)

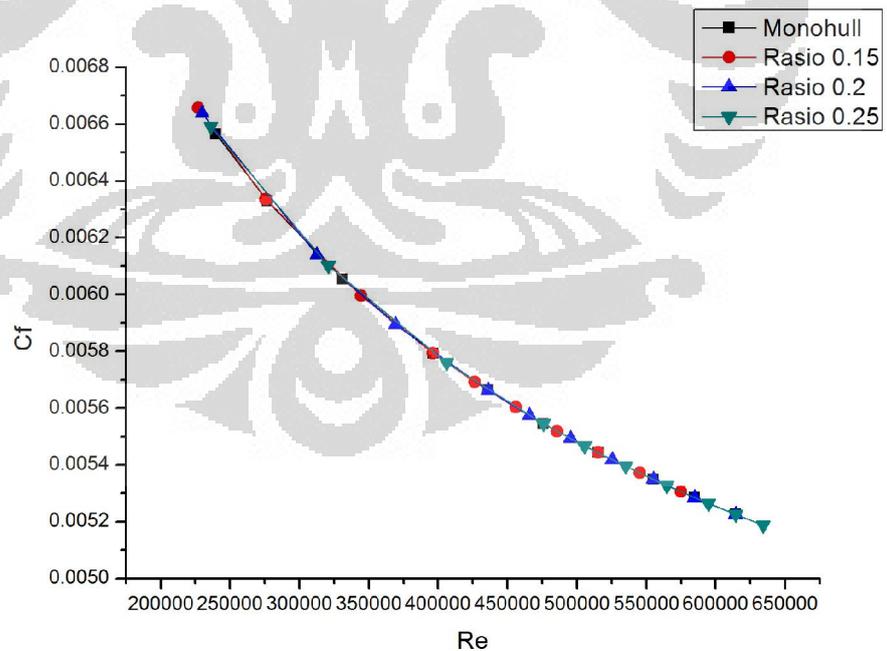
Perbandingan beberapa komponen hambatan gesek kapal :



Gambar 4. 22 Komparasi Koefisien Hambatan Gesek Lambung Terhadap Nilai Fn Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)

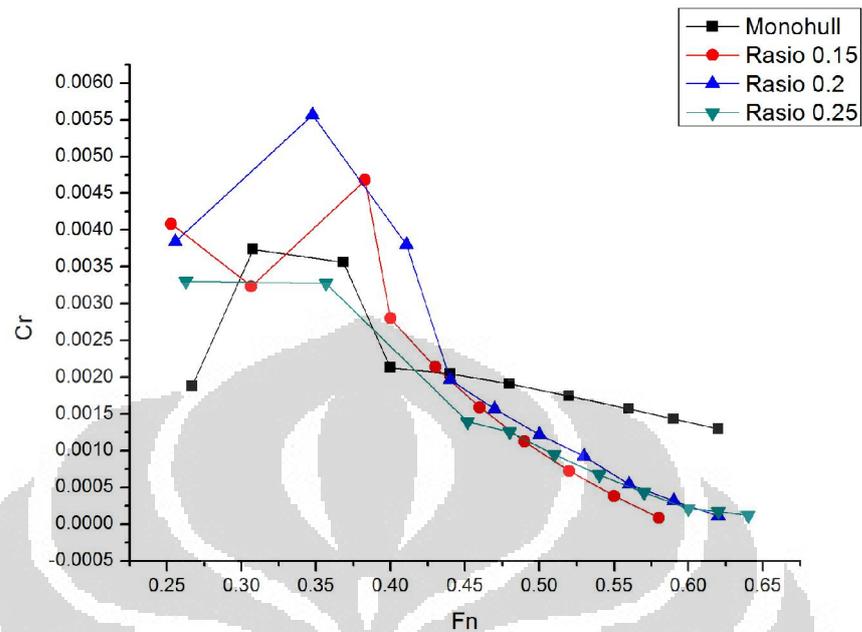


Gambar 4. 23 Komparasi Hambatan Gesek Lambung Terhadap Nilai F_n Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)

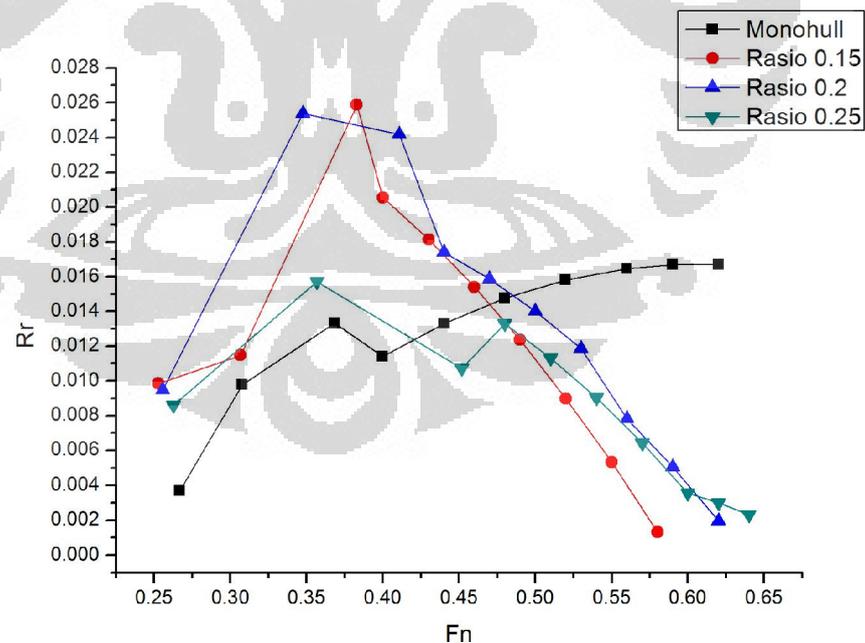


Gambar 4. 24 Komparasi Koefisien Hambatan Gesek Lambung Terhadap Reynold Number Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)

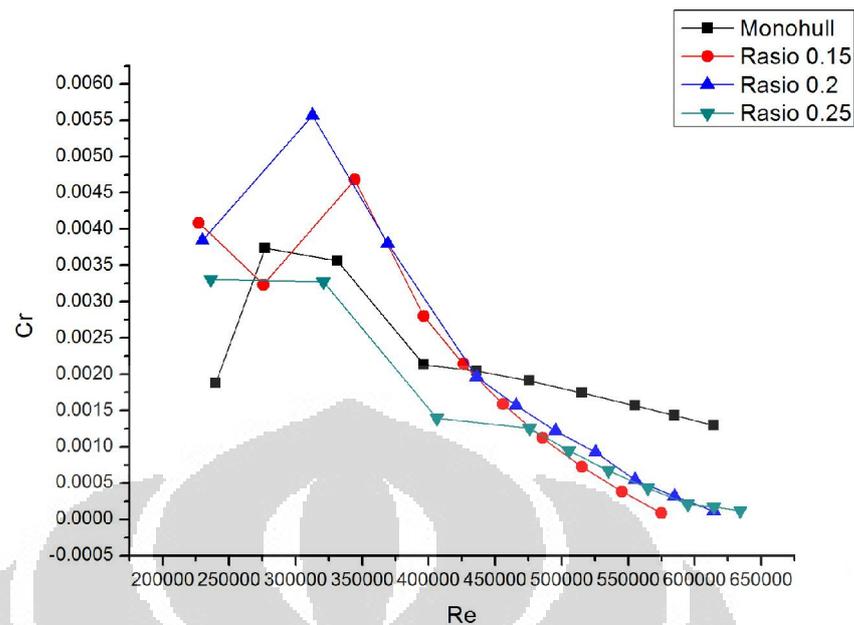
Perbandingan beberapa komponen hambatan sisa kapal :



Gambar 4. 25 Komparasi Koefisien Hambatan Sisa Lambung Terhadap Nilai Fn Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)



Gambar 4. 26 Komparasi Hambatan Sisa Lambung Terhadap Nilai Fn Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)



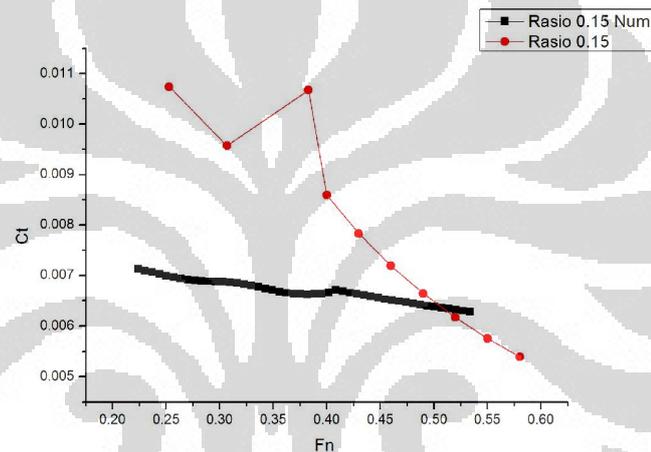
Gambar 4. 27 Komparasi Koefisien Hambatan Gesek Lambung Terhadap Reynold Number Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)

4.2 Hasil Simulasi *Maxsurf*

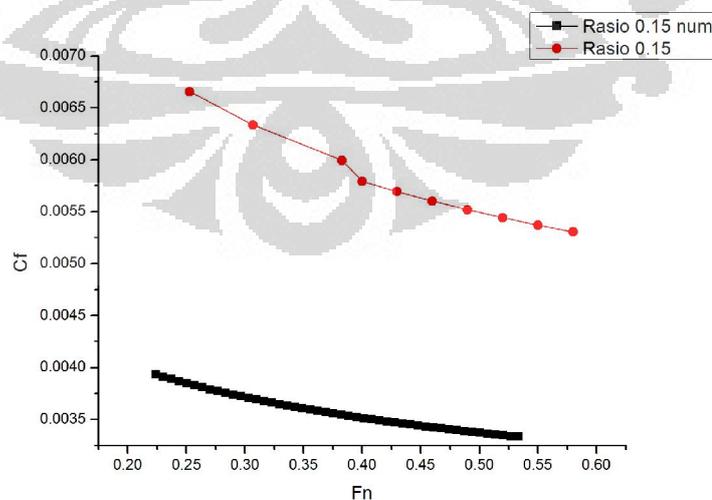
Pembuatan model kapal dilakukan pada program *MaxsurfPro* dan simulasi kapal dilakukan pada *HullSpeed*. Tujuan yang ingin dicapai adalah untuk mendapatkan gaya/ hambatan pada lambung kapal dengan memvariasikan jarak antara lambung secara melintang. Untuk proses perhitungan hambatan kapal menggunakan *Hullspeed* dengan input kecepatan kapal (V_s) = 0 – 6 knot tanpa menghitung daya mesin induk.. Berdasarkan hasil running hullspeed menunjukkan bahwa metode yang paling mendekati adalah metode *Holtrop* sehingga untuk selanjutnya yang menjadi acuan perhitungan hambatan adalah metode *Holtrop*.

4.2.1 Rasio S/L 0.15

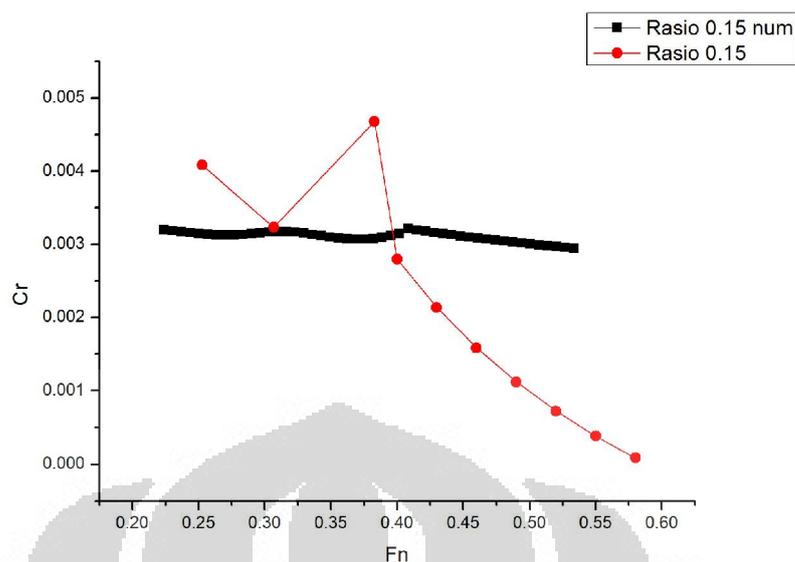
Data yang dihasilkan pada percobaan dengan simulasi kapal yang dilakukan pada *HullSpeed* (software *Maxsurf*) ini akan membantu kita untuk membandingkan antara data yg didapat pada eksperimen dan data dari hasil numerik, Khususnya data – data yg berkaitan dengan hambatan, seperti : C_t (*Total Resistance Coefficient*) vs F_n (*Froude Number*), C_f (*Friction Resistance Coefficient*) vs F_n dan C_r (*Residual Resistance Coefficient*) vs F_n pada rasio 0.15. Dan hasil gambar yang didapatkan sebagai berikut :



Gambar 4. 28 Koefisien Hambatan Total Kapal Metode Numerik S/L 0.15



Gambar 4. 29 Hubungan C_f dengan F_n Metode Numerik pada rasio S/L 0.15

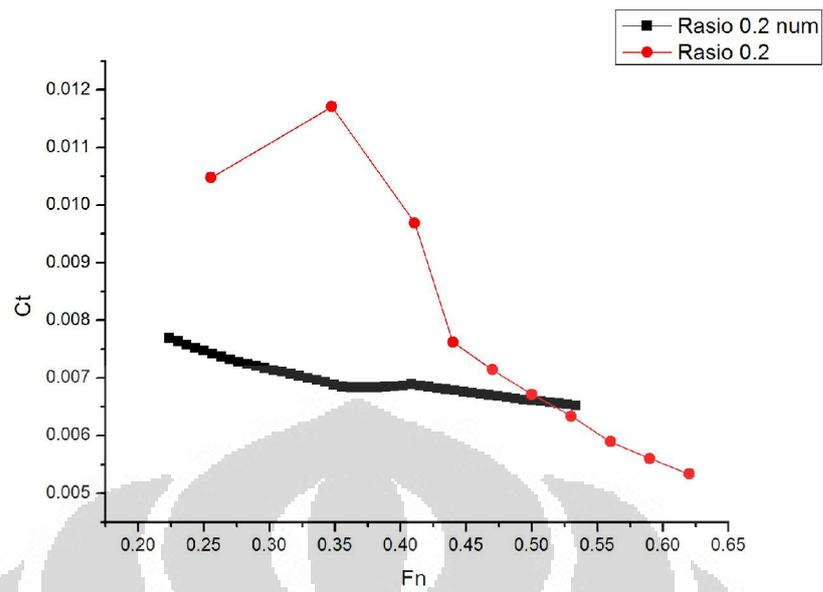


Gambar 4. 30 Hubungan Cr dengan Fn Metode Numerik pada rasio S/L 0.15

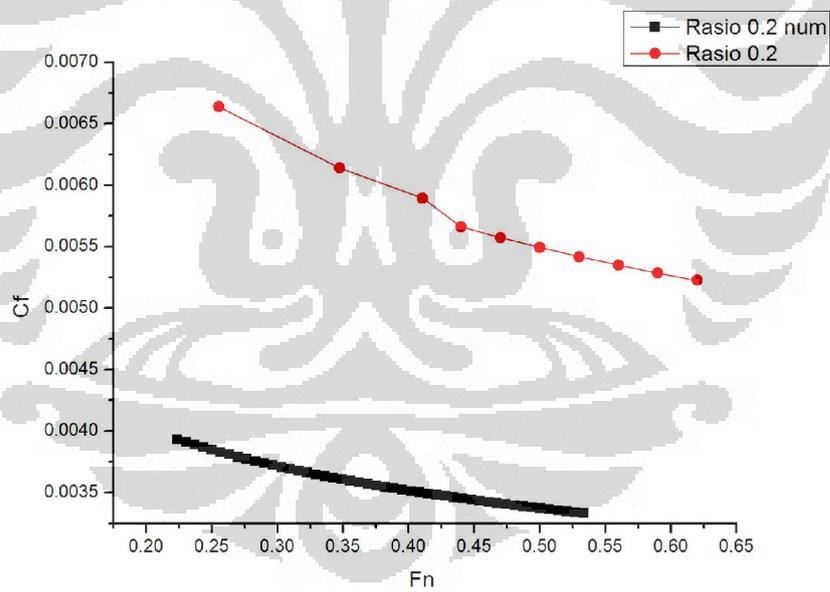
Dari grafik – grafik yang kita dapatkan kita dapat menganalisa bahwa hasil bentuk grafik tidaklah jauh berbeda antara hasil percobaan dan data numerik. Dari ketiga grafik dapat disimpulkan bahwa nilai C_f selalu hampir sama karena nilai ini di dapat dari WSA (*Wetted Surface Area*) yang memang besarnya selalu hampir sama namun nilai C_r yang menjadi penentu utama bagaimanakah hasil dari C_t pada konfigurasi 0.15.

4.2.2 Rasio S/L 0.2

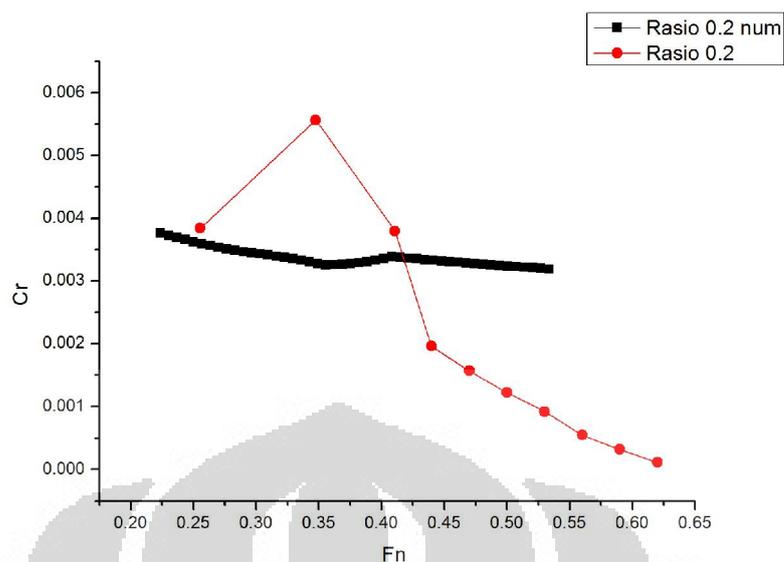
Pada percobaan dengan simulasi kapal yang dilakukan pada *HullSpeed* (*software Maxsurf*) ini akan membantu kita untuk membandingkan antara data yg didapat pada eksperimen dan data dari hasil numerik, Khususnya data – data yg berkaitan dengan hambatan, seperti : C_t (*Total Resistance Coefficient*) vs Fn (*Froude Number*), C_f (*Friction Resistance Coefficient*) vs Fn dan C_r (*Residual Resistance Coefficient*) vs Fn pada rasio 0.2. Dan hasil gambar yang didapatkan sebagai berikut :



Gambar 4. 31 Koefisien Hambatan Total Kapal Metode Numerik S/L 0.2



Gambar 4. 32 Hubungan Cf dengan Fn Metode Numerik pada rasio S/L 0.2

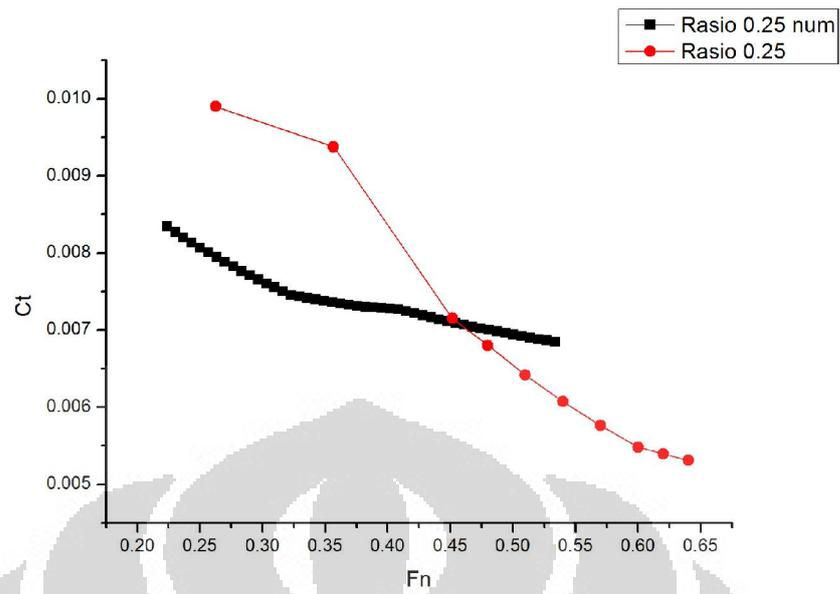


Gambar 4. 33 Hubungan Cr dengan Fn Metode Numerik pada rasio S/L 0.2

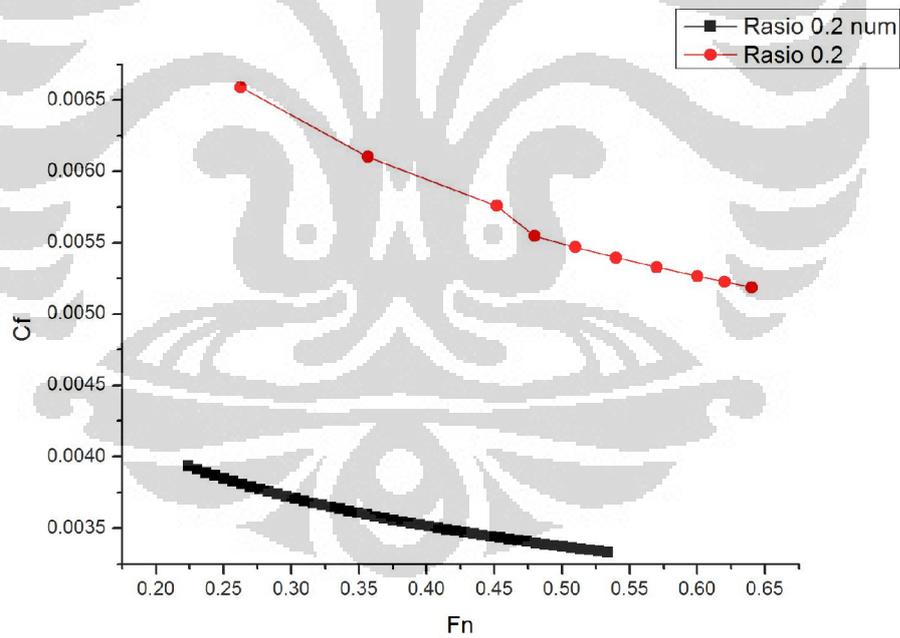
Dari grafik – grafik yang kita dapatkan kita dapat menganalisa bahwa hasil bentuk grafik tidaklah jauh berbeda antara hasil percobaan dan data numerik. Dari ketiga grafik dapat disimpulkan bahwa nilai C_f selalu hampir sama karena nilai ini di dapat dari WSA (*Wetted Surface Area*) yang memang besarnya selalu hampir sama namun nilai C_r yang menjadi penentu utama bagaimanakah hasil dari C_t pada konfigurasi 0.2

4.2.3 Rasio S/L 0.25

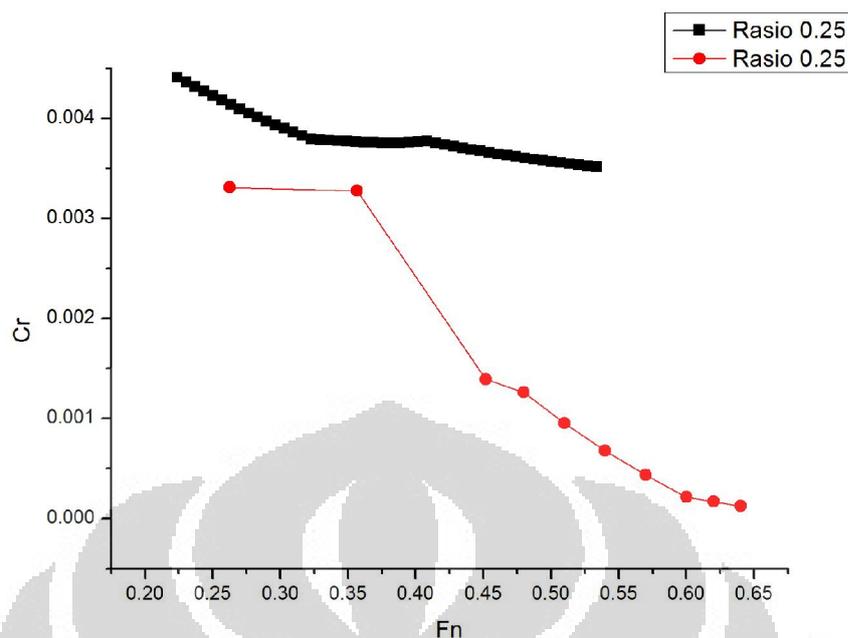
Pada percobaan dengan simulasi kapal yang dilakukan pada *HullSpeed* (*software Maxsurf*) ini akan membantu kita untuk membandingkan antara data yg didapat pada eksperimen dan data dari hasil numerik, Khususnya data – data yg berkaitan dengan hambatan, seperti : C_t (*Total Resistance Coefficient*) vs F_n (*Froude Number*), C_f (*Friction Resistance Coefficient*) vs F_n dan C_r (*Residual Resistance Coefficient*) vs F_n pada rasio 0.25. Dan hasil gambar yang didapatkan sebagai berikut :



Gambar 4. 34 Koefisien Hambatan Total Kapal Metode Numerik S/L 0.25



Gambar 4. 35 Hubungan Cf dengan Fn Metode Numerik pada rasio S/L 0.25



Gambar 4. 36 Hubungan C_r dengan F_n Metode Numerik pada rasio S/L 0.25

Dari grafik – grafik yang kita dapatkan kita dapat menganalisa bahwa hasil bentuk grafik tidaklah jauh berbeda antara hasil percobaan dan data numerik. Dari ketiga grafik dapat disimpulkan bahwa nilai C_f selalu hampir sama karena nilai ini di dapat dari WSA (*Wetted Surface Area*) yang memang besarnya selalu hampir sama namun nilai C_r yang menjadi penentu utama bagaimanakah hasil dari C_t pada konfigurasi 0.25.

4.3 Analisis Hasil Numerik dan Eksperimen

Kapal trimaran dengan konfigurasi S/L 0.15 – 0.25 memiliki karakteristik yang berbeda. Pengaruh konfigurasi jarak lambung secara melintang memberikan dampak terhadap nilai hambatan yang dihasilkan. Nilai perbandingan ketiga rasio S/L akan diperlihatkan pada Gambar 4.19 (hasil eksperimen) dan Gambar 4.28, 4.31, 4.34 (hasil numerik). Dari kedua buah contoh data yang diambil dapat disimpulkan bahwa nilai dari C_r (*residual resistance coefficient*) sangat menentukan sekali dalam hasil C_t (*Total Resistance Coefficient*).

4.3.1 Analisa Gambar Koefisien Hambatan Total (C_t) terhadap Froude Number (F_n)

Koefisien hambatan total merupakan penggabungan dari beberapa komponen koefisien. diantaranya koefisien hambatan viskos atau koefisien hambatan gesek dan koefisien hambatan gelombang atau koefisien hambatan sisa. Berdasarkan data eksperimen tersebut kita dapat mengindikasikan bahwa koefisien hambatan viskos memiliki nilai yang besar pada kecepatan awal saat bilangan Froude rendah sehingga besar nilai pada kecepatan awal sangat didominasi oleh koefisien hambatan viskos. Meskipun percobaan ini dilakukan pada kondisi air tenang dimana air memiliki nilai viskositas yang rendah, namun air menyebabkan gaya gesek yang sangat signifikan saat pergerakan kapal.

Dan dapat di lihat pada Gambar 4.19 (hubungan antara koefisien hambatan total (C_t) dengan *Froude number* (F_n)) menunjukkan bahwa ketiga rasio S/L tersebut memiliki *trend* yang sama, yaitu memiliki nilai yang cukup signifikan pada bilangan Froude < 0.4 . kemudian bergerak turun seiring dengan bertambahnya bilangan Froude Number. Berbeda dengan grafik (hubungan antara koefisien hambatan total (C_t) dengan *Froude number* (F_n)) pada kapal monohull yang memang memiliki *trend* yang sama namun pada bilangan Froude Number > 0.4 penurunan C_t tidak terlalu signifikan. Hal ini bisa di liat pada grafik hubungan R_t (*Total Resistance*) dengan F_n *Froude number* bahwa nilai R_t dari kapal Monohull berbeda dengan nilai R_t dari kapal trimaran dengan ketiga konfigurasi, dimana nilai R_t dari monohull terus bergerak naik pada bilangan Froude Number > 0.4 .

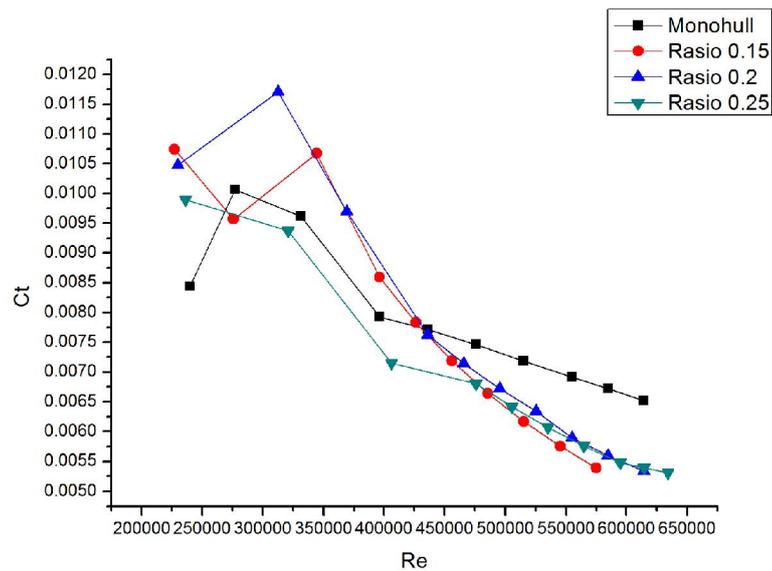
Pada data kapal trimaran dan monohull saat $F_n \approx 0.4$ kecepatan kapal dipengaruhi oleh hambatan gelombang (C_w) yang menyebabkan pecahnya gelombang dan membuat adanya puncak hambatan total (*hump resistance*) pada $F_n \approx 0.4$. Setelah melewati *hump resistance* secara drastis gelombang akan pecah dan mengecil bahkan hilang. Hal ini disebabkan karena hambatan gelombang menjadi kecil dan didominasi oleh hambatan viskos karena bentuk lambung yang pipih. Sedangkan

untuk kapal monohull setelah melewati *hump resistance* hambatan total masih didominasi oleh hambatan viskos dan hambatan sisa.

Pada gambar tersebut adalah pada nilai $F_n < 0.3$ nilai koefisien hambatan terbesar dimiliki oleh jarak antar lambung dengan rasio S/L 0.2. Untuk $F_n 0.3 - 0.4$ nilai koefisien hambatan terbesar juga dimiliki oleh rasio S/L 0.2 yang ditunjukkan dengan puncak hambatan gelombang paling tinggi. Pada $F_n 0.4 - 0.6$ nilai koefisien hambatan terbesar masih dimiliki oleh jarak antar lambung dengan rasio S/L 0.2. Namun ketika pada $F_n > 0.65$ hambatan terbesar dimiliki oleh rasio S/L 0.25 dikarenakan nilai hambatan sisa mulai naik kembali sehingga mempengaruhi nilai C_t . Gambar ini memperlihatkan bahwa penggunaan kecepatan kapal saat beroperasi berpengaruh terhadap hambatan yang dihasilkan dengan variasi jarak antar lambung secara melintang (S/L). Pada Gambar ini terlihat bahwa dengan menggunakan kapal trimaran dengan konfigurasi R/L 0.2 dan S/L 0.15; 0.2; 0.25 menyebabkan hambatan total yang terjadi lebih kecil dari pada kapal monohull pada saat $F_n 0.4 - 0.65$.

4.3.2 Analisa Gambar Koefisien Hambatan Total (C_t) terhadap Reynold Number (Re)

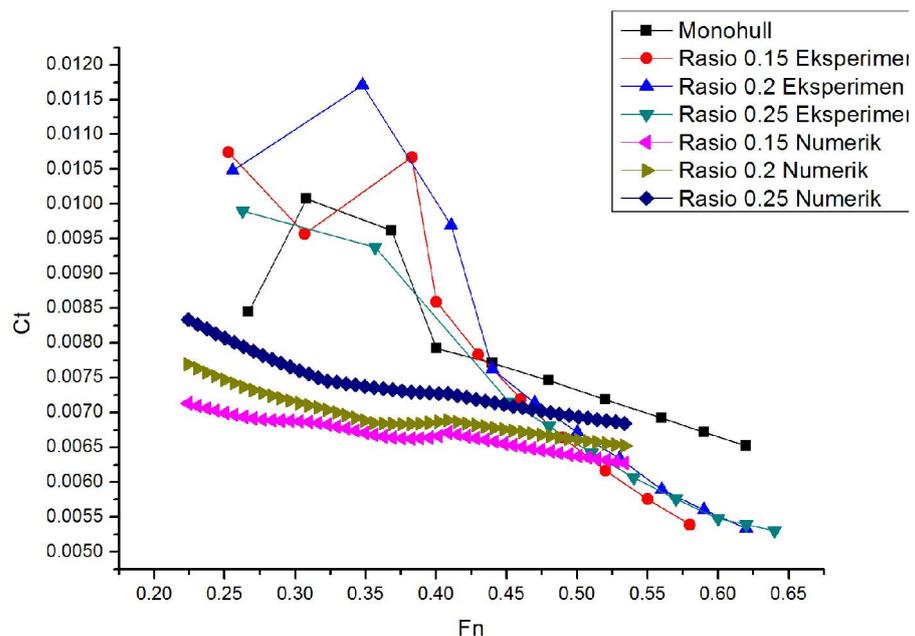
Pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa rasio S/L 0.15 dan 0.25 mengalami transisi dari aliran laminar menuju aliran turbulen pada nilai $Re 2.75 \times 10^5$. Dan pada rasio S/L 0.2 transisi dari aliran laminar menuju aliran turbulen baru terjadi pada nilai $Re 3.1 \times 10^5$. Dengan konfigurasi S/L mempengaruhi cepat lambatnya transisi aliran dari laminar menuju turbulen. Pada grafik dapat dilihat bahwa rasio S/L 0.25 akan mempercepat terjadinya transisi dan untuk rasio S/L 0.15 dan S/L 0.2 akan menunda terjadinya transisi aliran laminar menuju turbulen.



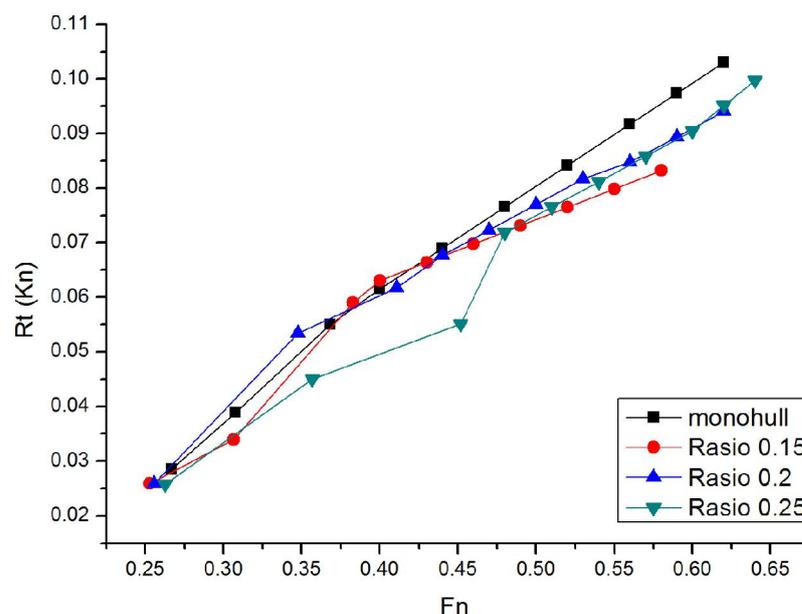
Gambar 4. 37 Komparasi Re dengan Ct antara data monohull dengan masing – masing konfigurasi trimaran.

4.3.3 Komparasi Metode Eksperimen dan Numerik

Berdasarkan nilai perbandingan koefisien hambatan dengan kedua metode tersebut, dapat dikatakan bahwa metode eksperimen menghasilkan nilai hambatan yang lebih besar dibandingkan dengan metode numerik.



Gambar 4. 38 Komparasi Fn dengan Ct antara data percobaan dan data numerik.



Gambar 4. 39 Komparasi Hambatan Total Lambung Terhadap Nilai Fn Pada Setiap Konfigurasi Jarak Melintang Antara Lambung Metode Eksperimen (S/L)

Nilai hambatan Fn 0.4 data percobaan saat konfigurasi S/L 0.15 bernilai 0.0102, sedangkan pada data numerik hanya bernilai 0.0074. Ketiga Gambar tersebut juga menandakan bahwa untuk setiap rasio S/L memiliki trend yang sama dimana besar koefisien hambatan bergerak turun seiring dengan bertambahnya kecepatan.

Dari grafik C_f kita dapat melihat bahwa nilai hambatan gesek di setiap kapal trimaran dan monohull bernilai sama. Ini dikarenakan WSA (Wetted Surface Area) pada setiap kapal memiliki perbandingan yang tidak terlalu signifikan. Hal ini dapat dilihat dari grafik gambar koefisien hambatan gesek dengan Froude number.

Pada grafik terakhir, yaitu grafik C_r dengan Fn kita bisa melihat bahwa di kedua grafik nilai C_r sangat mempengaruhi hambatan total yang terjadi pada masing – masing konfigurasi kapal. Namun, pada data percobaan kita bisa lebih jelas melihat perubahan nilai C_r masing – masing kapal dibandingkan dengan data yang ada pada data numerik.

Grafik hubungan antara hambatan total (R_t) dengan Froude number yang paling penting kita perhatikan, karena di grafik ini kita dapat melihat masing – masing konfigurasi trimaran memiliki hambatan total yang menurun signifikan pada Fn 0.4 – 0.65, sedangkan untuk kapal monohull pada saat Fn 0.4 hambatan totalnya sedikit menurun namun setelah itu hambatan total berangsur – angsur kembali naik kembali. Hal ini dikarenakan oleh adanya jarak lambung melintang (S/L) pada kapal trimaran sehingga jarak lambung melintang ini menciptakan *wave making* yang berbeda – beda dan menyebabkan pecahnya puncak hambatan total tertinggi.

Adanya perbedaan hasil antara metode eksperimen dan numerik disebabkan karena beberapa faktor. diantaranya : (a) Perbedaan dimensi saat pemodelan kapal (*hull form*) yaitu pada eksperimen hanya diketahui C_b . sedangkan pada numerik diketahui nilai C_b , C_w , dan C_m . Sehingga akan mempengaruhi faktor hasil yang diperoleh. (b) Beban yang diberikan saat pengujian tidak memenuhi seluruh bagian *hull* (ada ruang kosong tanpa beban) sedangkan pada numerik pembebanan diberikan secara merata. sehingga perbedaan peletakan beban tersebut akan mempengaruhi hasil dari uji tarik. (c) Adanya kemungkinan peralatan uji tarik yang perlu di kalibrasi ulang.

4.3.4 Pengaruh Konfigurasi Jarak Lambung secara Melintang (S/L) dan Penambahan Kekasaran di Bagian Ceruk Haluan

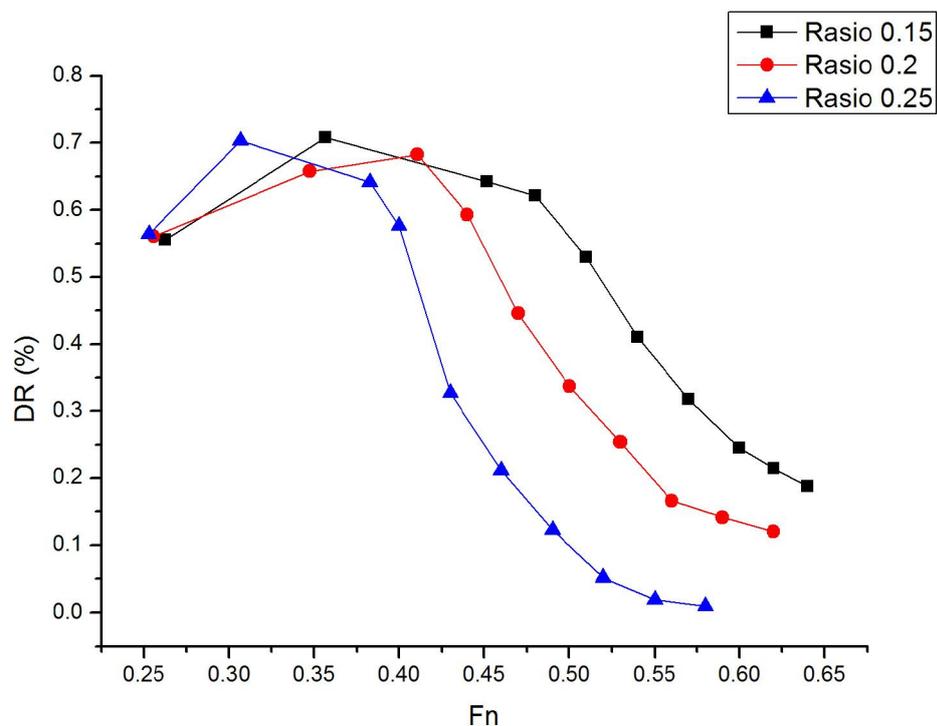
Efek interaksi pada kedua lambung pada arah melintang (S/L) sangat berpengaruh. Jarak pemisah lambung antara *multihull* (S/L) adalah sangat krusial akan terjadinya interaksi gelombang timbul (*wave making*) yang saling berlawanan dari depan menjalar ke belakang kapal. Namun. dengan jarak dan kecepatan tertentu. efek interaksi gelombang dapat negatif (menguntungkan) dimana hambatan gelombang yang ditimbulkan menjadi lebih kecil.

Hambatan lambung trimaran lebih kecil hambatannya 18.23 % pada S/L 0.15 ; 11.45 % pada S/L 0.2 dan 5.67 % pada S/L 0.25 dibanding

dengan monohull yaitu pada $F_n \approx 0.4 - 0.65$. Lebih kecilnya hambatan yang dialami oleh trimaran karena pada kondisi $F_n > 0.4$ tersebut luas bidang basah lambung menurun karena gaya angkat lambung mulai terjadi. Hasil tersebut sama dengan hasil penelitian Zaghi et al. 2010. Sedangkan pada $F_n < 0.4$ hambatan trimaran lebih besar daripada monohull karena pada bilangan F_n tersebut luas bidang basah (*WSA/Wetted Surface Area*) meningkat akibat adanya interferensi antara kedua lambung [Moraes.2004].

Hal yang menarik untuk ditinjau yaitu mengenai pengaruh penggunaan lambung *multihull* (trimaran) pada pengurangan hambatan kapal yang terjadi dibandingkan dengan kapal monohull. Terlihat bahwa dengan menggunakan lambung *multihull* akan mengakibatkan pengurangan hambatan pada setiap rasio S/L dan variasi nilai F_n .

Nilai pengurangan hambatan yang terjadi pada kapal trimaran adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 40 Pengurangan Hambatan Total (*drag reduction*) Kapal Trimaran Terhadap Kapal Monohull Pada Variasi Nilai F_n 0.25 – 0.65

Dengan mengetahui besar *drag reduction* (DR %) maka dapat dijadikan sebagai referensi dalam menentukan penggunaan jarak S/L guna mendapatkan nilai hambatan terendah namun tetap sesuai dengan besar nilai F_n yang dikehendaki. Dari hasil gambar grafik drag reduction di atas jika kita bandingkan dengan grafik F_n vs C_t maka bisa kita dapatkan kesimpulan bahwa drag reduction berbanding sejajar dengan Coefficient hambatan total kapal.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Penggunaan kecepatan kapal saat beroperasi berpengaruh terhadap hambatan yang dihasilkan dengan variasi jarak antar lambung secara melintang (S/L). Pada nilai $F_n < 0.3$ nilai koefisien hambatan terbesar dimiliki oleh jarak antar lambung dengan ratio S/L 0.15. Sedangkan untuk $F_n 0.3 - 0.6$ nilai koefisien hambatan terbesar dimiliki oleh rasio S/L 0.2 yang ditunjukkan dengan puncak hambatan gelombang paling tinggi (*hamp resistance*). Pada $F_n > 0.6$ nilai koefisien hambatan terbesar dimiliki oleh jarak antar lambung dengan ratio S/L 0.25.
2. Dalam hasil akhir nilai koefisien hambatan total, nilai koefisien sisa sangat berpengaruh dikarenakan nilai koefisien gesek bernilai hampir sama semua. Sehingga konfigurasi yg memiliki nilai hambatan sisa paling kecil akan memiliki nilai koefisien hambatan total yang semakin kecil juga, seperti pada trimaran dengan S/L 0.15.
3. Pada saat $F_n > 0.4$ nilai hambatan kapal trimaran secara tiba – tiba semakin menurun drastis dikarenakan luas bidang basah lambung menurun akibat adanya gaya angkat lambung yang mulai terjadi.
4. Hambatan kapal trimaran lebih kecil dibanding dengan monohull pada $F_n 0.4 - 0.65$ dengan besar persentase 18.23 % pada S/L 0.15 ; 11.45 % pada S/L 0.2 dan 5.67 % pada S/L 0.25.
5. Dalam hasil percobaan, penambahan kekasaran pada monohull dan trimaran akan memberikan pengaruh yang signifikan untuk mendapatkan kondisi keadaan sesungguhnya pada kapal.

5.2 Saran

Penelitian ini berada pada rasio S/L 0.15 - 0.25 dan F_n 0.2 – 0.65. Untuk itu, perlu dicoba penelitian dengan variasi S/L yang lebih besar, variasi bentuk (Staggered hull /unstaggered hull) dan jumlah *demihull* (pentamaran) yang lebih banyak lagi, rentang nilai F_n yang lebar, dan ukuran masing – masing hull (mid /side) kapal yang lebih bervariasi lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Doctors, L.J. and Scare, R.J. (2003). *Optimization of trimaran sidehull for Minimum resistance, Proceeding of Seventh International Conference on Fast Sea transportation*. FAST'2003, Ischia-Italy, October 2003.
- Elcin, Zafer. 2003. *Wave making resistance characteristics of trimaran hulls*. Monterey, Calif. Naval Postgraduate School Springfield, Va. Available from National Technical Information Service
- Harvald, S A. 1983. *Resistance and Propulsion of Ships*, John Wiley and Sons, Toronto, Canada.
- ITTC (2002), *Recommended Procedure and Guidelines, Testing and Extrapolation Methods Resistance Towing Tank Tests*, ITTC 7,5-02-02-02.
- ITTC (2002), *Recommended Procedure and Guidelines, Model Manufacture: Ship Models*, ITTC 7,5-01-01-01.
- Jamaluddin, A., Utama, I.K.A.P., Murdijanto (2011), *Evaluation of Molland's Viscous Form Factor of Katamaran Configuration using Experimental Tank Test Results*, The 12th International Conference on QIR (Quality in Research), ISSN 114-1284, Bali, Indonesia, July 4 – 7, 2011.
- Milward, A. (1992). *The Effect of hull separation and restricted water Depth on Catamaran Resistance*. Trans. Royal Institution of Naval architects, Vol. 134, pp 341-346, Discussion pp 347-349.

LAMPIRAN

1. Data Hasil Pengukuran untuk Setiap Konfigurasi S/L

Data ini dihasilkan dari pengukuran uji tarik menggunakan load cell. Pengujian dilakukan dengan merekam hasil tegangan tali pada load cell melalui data akuisisi yang terbaca pada komputer.

Time (sec)	S/L 0.15			S/L 0.2			S/L 0.25		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.001	0.00244	0.00519	0.00488	0.00244	0.00275	0.00916	0.0046	0.0113	0.00336
0.002	0.00427	0.00641	0.00336	0.00427	0.00305	0.00793	0.0061	0.0125	0.00366
0.003	0.00427	0.00793	0.00275	0.00275	0.00305	0.00732	0.0089	0.011	0.00031
0.004	0.00092	0.00854	0.00183	0.0061	0.00397	0.00763	0.0104	0.0098	0.00122
0.005	0.0061	0.00916	0.00336	0.00702	0.00488	0.00122	0.011	0.0092	0.00183
0.006	0.0058	0.00946	0.00458	0.00824	0.00458	0.00092	0.0116	0.0076	0.00214
0.007	0.00671	0.00885	0.00488	0.00916	0.0058	0.00427	0.0113	0.007	0.00305
0.008	0.00793	0.00732	0.0061	0.00977	0.00793	0.00244	0.0122	0.0043	0.00397
0.009	0.00977	0.00885	0.00671	0.01038	0.00763	0.00244	0.0095	0.0024	0.00671
0.01	0.01038	0.00824	0.00732	0.01129	0.00946	0.00275	0.0098	0.0021	0.00793
0.011	0.01282	0.00702	0.00793	0.00977	0.00916	0.00397	0.0079	0.0009	0.00854
0.012	0.00977	0.00732	0.00977	0.00702	0.01038	0.00427	0.0052	0.0018	0.01129
0.013	0.00916	0.00549	0.00824	0.00885	0.01099	0.00519	0.0052	0.0012	0.01068
0.014	0.00854	0.00488	0.00916	0.00824	0.00946	0.00702	0.0006	0.0027	0.01038
0.015	0.00793	0.00397	0.00885	0.0061	0.00793	0.00793	0.0018	0.004	0.01099
0.016	0.0061	0.00458	0.00885	0.00427	0.00427	0.00885	0.0009	0.0055	0.01068
0.017	0.0061	0.00305	0.00671	0.00305	0.00641	0.00885	0.0003	0.0061	0.00977
0.018	0.00488	0.00305	0.0061	0.00275	0.00488	0.00977	0.0012	0.0085	0.00885
0.019	0.00427	0.00366	0.00641	0.00275	0.00427	0.01007	0.0027	0.0101	0.00702
0.02	0.00366	0.00549	0.0058	-0.0009	0.00275	0.00977	0.0037	0.0082	0.00488
0.021	0.00336	0.0061	0.00336	0.00183	0.00275	0.00885	0.0052	0.0119	0.00366
0.022	0.00336	0.00519	0.00366	0.00336	0.00336	0.00977	0.0064	0.0119	0.00336
0.023	0.00153	0.00732	0.00214	0.00488	0.00336	0.00916	0.0092	0.0119	0.00153
0.024	0.00519	0.00793	0.00366	0.0058	0.00366	0.00458	0.0092	0.0101	0.00153
0.025	0.00549	0.00885	0.00366	0.00793	0.00061	0.00549	0.0122	0.0098	-0.0012
0.026	0.00427	0.00854	0.00397	0.00763	0.00519	0.00458	0.0119	0.0073	0.00183
0.027	0.00671	0.01038	0.0058	0.0061	0.00793	0.00366	0.0122	0.0052	0.00366
0.028	0.00824	0.00946	0.00549	0.01007	0.00793	0.00275	0.0113	0.004	0.00397
0.029	0.00549	0.00946	0.00641	0.01068	0.00824	0.00305	0.0104	0.0018	0.0061
0.03	0.01068	0.00824	0.00671	0.01038	0.01007	0.00305	0.0092	0.0012	0.00763

0.031	0.00916	0.00458	0.00793	0.01038	0.01099	0.00305	0.0073	-0.003	0.00916
0.032	0.01007	0.00641	0.00824	0.00854	0.01038	0.00488	0.0067	0.0015	0.01099
0.033	0.00916	0.0058	0.00885	0.00916	0.00946	0.00519	0.004	0.0024	0.01038
0.034	0.00793	0.00427	0.00885	0.00763	0.00916	0.00732	0.0024	0.0031	0.01038
0.035	0.00427	0.00397	0.00763	0.00732	0.00824	0.00824	0.0015	0.0037	0.01068
0.036	0.00671	0.00305	0.00763	0.00488	0.00702	0.0058	0.0006	0.0058	0.01007
0.037	0.0058	0.00336	0.00763	0.00366	0.00671	0.01099	0.0012	0.0067	0.00977
0.038	0.00458	0.00183	0.00641	0.00214	0.00427	0.01068	0.0024	0.007	0.00793
0.039	0.00427	0.00336	0.00549	0.00183	0.00427	0.01038	0.0027	0.0107	0.00641
0.04	0.00397	0.00488	0.00458	0.00244	0.00244	0.01007	0.0037	0.0116	0.00427
0.041	0.00336	0.00458	0.00397	0.00183	0.00275	0.00977	0.0049	0.0095	0.00305
0.042	0.00427	0.00336	0.00275	0.00122	0.00214	0.00763	0.0064	0.0122	0.00275
0.043	0.00336	0.00763	0.00061	0.00458	0.00275	0.00793	0.0098	0.0116	0.00214
0.044	0.00488	0.00824	0.00153	0.00549	0.00397	0.00671	0.011	0.0089	0.00214
0.045	0.0058	0.00885	0.00366	0.00671	0.00458	0.00427	0.0119	0.0092	0.00153
0.046	0.00549	0.00946	0.00275	0.00824	0.00519	0.00458	0.0122	0.0067	0.00244
0.047	0.00763	0.00946	0.00214	0.00916	0.00763	0.00275	0.0113	0.0052	0.00366
0.048	0.00824	0.00946	0.0061	0.00977	0.00763	0.00244	0.0107	0.0034	0.00244
0.049	0.00916	0.00885	0.0058	0.00916	0.00702	0.00336	0.0104	0.0018	0.00549
0.05	0.00946	0.00854	0.00671	0.01007	0.00946	0.00305	0.007	0.0009	0.00763
0.051	0.01007	0.00793	0.00885	0.01038	0.01099	0.00488	0.0079	0.0006	0.01007
0.052	0.00916	0.00702	0.00854	0.00977	0.01068	0.00458	0.0024	0.0015	0.01007
0.053	0.00824	0.0061	0.00916	0.00763	0.00946	0.0058	0.0037	0.0015	0.01099
0.054	0.00732	0.00275	0.00854	0.00671	0.00885	0.00549	0.0031	0.0027	0.01099
0.055	0.00732	0.00336	0.00946	0.0061	0.00854	0.00854	0.0015	0.0006	0.0119
0.056	0.0058	0.00275	0.00793	0.00488	0.00793	0.00885	0.0018	0.0055	0.01007
0.057	0.0058	0.00427	0.00702	0.00305	0.00641	0.00977	0.0018	0.0082	0.00946
0.058	0.00549	0.00366	0.00671	0.00244	0.00336	0.01038	0.0021	0.0095	0.00854
0.059	0.00336	0.00366	0.00671	0.00153	0.00244	0.01007	0.0031	0.0107	0.0061
0.06	-0.0003	0.00488	0.00458	0.00183	0.00397	0.00946	0.004	0.0122	0.00458
0.061	0.00427	0.00549	0.00305	0.00214	0.00244	0.00977	0.0046	0.0122	0.00366
0.062	0.00305	0.00671	0.00305	0.00244	0.00366	0.00854	0.0079	0.011	0.00397
0.063	0.00336	0.00732	0.00336	0.00519	0.00183	0.00854	0.0082	0.0122	0.00061
0.064	0.00458	0.00793	0.00397	0.00458	0.00458	0.00671	0.0092	0.0092	0.00183
0.065	0.00519	0.00854	0.00305	0.00763	0.00488	0.0058	0.0116	0.0095	0
0.066	0.0058	0.00977	0.00366	0.00824	0.00458	0.00519	0.0113	0.007	0.00122
0.067	0.00305	0.00946	0.00488	0.00916	0.00641	0.00336	0.0116	0.0043	0.00305
0.068	0.00916	0.00885	0.00519	0.00977	0.00854	-0.0012	0.0107	0.0018	0.00458
0.069	0.00824	0.00458	0.0061	0.00977	0.00946	0.00214	0.0104	0.0018	0.0061
0.07	0.00885	0.00854	0.00702	0.01129	0.00977	0.00275	0.0082	0.0012	0.00702
0.071	0.00977	0.00793	0.00702	0.01099	0.01099	0.00366	0.007	-3E-04	0.00854
0.072	0.00946	0.0061	0.00427	0.00977	0.01038	0.00488	0.0049	0.0006	0.01038
0.073	0.0058	0.0058	0.00885	0.00854	0.00977	0.00549	0.0037	0.0009	0.01068

0.074	0.00916	0.00427	0.00854	0.00702	0.01007	0.00641	0.0021	0.0027	0.01251
0.075	0.00824	0.00305	0.00763	0.00519	0.00763	0.00793	0.0009	0.0052	0.01068
0.076	0.00702	0.00336	0.00702	0.00458	0.0061	0.00885	0.0018	0.0058	0.00977
0.077	0.00549	0.00305	0.00732	0.00397	0.00671	0.00793	0.0012	0.0076	0.00885
0.078	0.00488	0.00305	0.0061	-0.0006	0.0061	0.01099	0.0012	0.0092	0.00885
0.079	0.00458	0.00366	0.0061	0.00153	0.00366	0.01038	0.0024	0.0104	0.00671
0.08	0.00397	0.00458	0.00519	0.00183	0.00366	0.01038	0.0027	0.0116	0.00458
0.081	0.00214	0.00519	0.00366	0.00183	0.00214	0.00885	0.0058	0.0113	0.00427
0.082	0.00305	0.0058	0.00305	0.00397	0.00366	0.00824	0.0082	0.0122	0.00275
0.083	0.00427	0.00671	0.00305	0.00336	0.00275	0.00793	0.0079	0.0101	0.00183
0.084	0.00427	0.00671	0.00305	0.00549	0.00427	0.00732	0.0101	0.0095	0.00122
0.085	0.00549	0.00977	0.00427	0.00824	0.00427	0.00641	0.0113	0.007	0.00153
0.086	0.00275	0.00977	0.00397	0.00793	0.00488	0.00458	0.0116	0.0064	0.00244
0.087	0.00671	0.00885	0.00488	0.00946	0.00702	-0.0003	0.0095	0.0046	0.00305
0.088	0.00824	0.00641	0.00549	0.01038	0.00793	0.00275	0.0067	0.0043	0.00458
0.089	0.00946	0.00885	0.0058	0.01099	0.00916	0.00244	0.011	0.0021	0.00732
0.09	0.00885	0.00854	0.00732	0.01129	0.01007	0.00336	0.0089	0.0015	0.00671
0.091	0.00946	0.00763	0.00854	0.00977	0.01068	0.00397	0.0064	0.0015	0.00916
0.092	0.00549	0.00763	0.00946	0.00946	0.01068	0.00366	0.0043	0.0012	0.00732
0.093	0.00793	0.0058	0.00885	0.00824	0.01099	0.00549	0.0024	0.0021	0.0116
0.094	0.00854	0.00519	0.00824	0.00763	0.00916	0.0058	0.0021	0.0031	0.01099
0.095	0.00732	0.00305	0.00854	0.00549	0.00793	0.00763	0.0012	0.0043	0.01068
0.096	0.0061	0.00427	0.00732	0.00488	0.00763	0.00824	0.0006	0.0031	0.01099
0.097	0.0061	0.00305	0.00732	0.00336	0.0058	0.00977	0.0012	0.0079	0.00885
0.098	0.00458	0.00305	0.00641	0.00244	0.00519	0.00977	0.0012	0.0092	0.00824
0.099	0.00244	0.00427	0.00488	0.00244	0.00366	0.01038	0.0021	0.0107	0.00732
0.1	0.00427	0.0058	0.0061	0.00275	0.00214	0.01068	0.0043	0.0113	0.00519
0.101	0.00275	0.00488	0.00366	-0.0006	0.00275	0.01038	0.0055	0.0128	0.00397
0.102	0.00366	0.00702	0.00275	0.00336	-0.0006	0.00916	0.0076	0.0113	0.00366
0.103	0.00427	0.00763	0.00244	0.00427	0.00305	0.00977	0.0079	0.0104	0.00244
0.104	0.00427	0.00793	0.00366	0.00519	0.00397	0.00702	0.0107	0.0095	0.00244
0.105	0.0058	0.00916	0.00305	0.00763	0.00397	0.0058	0.011	0.0085	0.00183
0.106	0.0061	0.00916	0.00427	0.00793	0.0061	0.00519	0.0125	0.0064	0.00244
0.107	0.00793	0.01038	0.0058	0.01068	0.00671	0.00366	0.0119	0.004	0.00366
0.108	0.00763	0.00946	0.00519	0.00702	0.00702	0.00305	0.011	0.0031	0.00092
0.109	0.00885	0.00885	0.0061	0.01068	0.00916	0.00244	0.0098	0.0021	0.0061
0.11	0.00916	0.00793	0.00763	0.01129	0.01038	0.00336	0.0082	0.0009	0.00671
0.111	0.00946	0.00549	0.00916	0.01007	0.01038	0.00275	0.0064	0.0012	0.00977
0.112	0.00977	0.00702	0.00885	0.00916	0.00946	0.00366	0.0055	0.0006	0.01099
0.113	0.01038	0.00549	0.00671	0.00946	0.01007	0.00549	0.0024	0.0031	0.01129
0.114	0.00793	0.00671	0.00824	0.00824	0.00916	0.0061	0.0024	0.0043	0.01129
0.115	0.00763	0.00458	0.00946	0.00427	0.00916	0.00793	-0.003	0.0043	0.01129
0.116	0.0061	0.00427	0.00793	0.00488	0.00793	0.00885	-3E-04	0.0064	0.00946

0.117	0.00549	0.00366	0.00702	0.00336	0.00763	0.00977	0.0003	0.0055	0.00916
0.118	0.00183	0.00397	0.00702	0.00305	0.00549	0.01007	0.0015	0.0092	0.00824
0.119	0.00427	0.00397	0.00458	0.00153	0.00336	0.00977	0.0027	0.0113	0.00763
0.12	0.00336	0.0058	0.00519	0.00153	0.00244	0.00977	0.004	0.0095	0.00519
0.121	0.00305	0.00549	0.00366	0.00305	0.00244	0.00977	0.0064	0.011	0.00305
0.122	0.00336	0.00305	0.00275	0.00061	0.00336	0.00916	0.0079	0.0116	0.00275
0.123	0.00366	0.00732	0.00336	0.00458	0.00244	0.00793	0.0095	0.0073	-0.0021
0.124	0.00519	0.00885	0.00366	0.0058	0.00214	0.0061	0.0113	0.0095	0.00092
0.125	0.00427	0.00854	0.00275	0.00671	0.00427	0.00519	0.0125	0.0073	-0.0003
0.126	0.00702	0.00732	0.00122	0.00793	0.00519	0.00519	0.0104	0.0037	0.00244
0.127	0.00763	0.01007	0.00488	0.00885	0.00671	0.00336	0.0113	0.004	0.00122
0.128	0.00824	0.01038	0.00519	0.01068	0.00702	0.00366	0.011	0.0021	0.00397
0.129	0.00854	0.00885	0.00671	0.01038	0.00885	0.00183	0.0092	0.0018	0.00671
0.13	0.00916	0.00854	0.00763	0.01068	0.00916	0.00214	0.0085	0.0012	0.00854
0.131	0.00916	0.00732	0.00854	0.01007	0.01099	0.00305	0.0064	-0.002	0.01007
0.132	0.00885	0.00702	0.00854	0.00946	0.00977	0.00488	0.0052	0.0012	0.01007
0.133	0.00854	0.00488	0.00763	0.00793	0.01007	0.00519	0.0049	0.0031	0.01129
0.134	0.00793	0.00519	0.00854	0.00702	0.00793	0.00549	0.0024	0.0043	0.01221
0.135	0.00763	0.00458	0.00763	0.00519	0.00885	0.00702	0.0006	0.0058	0.01038
0.136	0.00671	0.00336	0.00763	0.00366	0.00763	0.00946	0.0006	0.007	0.01129
0.137	0.00671	0.00305	0.00671	0.00427	0.00732	0.01129	0.0006	0.0085	0.00946
0.138	0.00397	0.00366	0.0061	0.00153	0.00488	0.01099	-0.002	0.0104	0.00854
0.139	0.00366	0.00366	0.00488	0.00153	0.00336	0.0116	0.0031	0.0107	0.00671
0.14	0.00275	0.00549	0.00488	0.00183	0.00275	0.01129	0.0043	0.0113	0.00488
0.141	0.00366	0.0058	0.00366	0.00275	0.00092	0.00793	0.0064	0.0116	0.00366
0.142	0.00336	0.00549	0.00214	0.00275	0.00275	0.00885	0.0076	0.0113	-0.0006
0.143	0.00397	0.00793	-0.0003	0.00336	0.00305	0.00824	0.0107	0.0095	0.00214
0.144	0.00336	0.00916	0.00366	0.00458	0	0.0058	0.0113	0.0082	0.00183
0.145	0.00854	0.00946	0.00275	0.00702	0.00397	0.0058	0.0116	0.0079	0.00183
0.146	0.00519	0.00885	0.00427	0.00854	0.00549	0.00397	0.0119	0.0061	0.00092
0.147	0.00732	0.00885	0.00488	0.00977	0.00641	0.00366	0.0119	0.0049	0.00397
0.148	0.00793	0.0058	0.00519	0.00946	0.00732	0.00214	0.0101	0.0024	0.00305
0.149	0.00946	0.00946	0.00641	0.01129	0.00946	0.00214	0.0098	0.0027	0.00641
0.15	0.00885	0.00793	0.00793	0.01038	0.00916	0.00244	0.0085	0.0003	0.00763
0.151	0.01038	0.00671	0.00824	0.00977	0.00641	0.00366	0.0067	0.0012	0.00916
0.152	0.00977	0.00763	0.00854	0.00824	0.01038	0.00275	0.004	0.0018	0.01068
0.153	0.00916	0.00549	0.00885	0.00977	0.01099	0.0061	0.0027	0.0024	0.0119
0.154	0.00793	0.00427	0.00977	0.00763	0.00885	0.00671	0.0021	0.0003	0.0119
0.155	0.00732	0.00336	0.00793	0.00549	0.00916	0.00854	0.0009	0.0055	0.01129
0.156	0.00305	0.00305	0.00824	0.00427	0.00854	0.0058	0.0009	0.007	0.01038
0.157	0.00702	0.00336	0.00732	0.00336	0.00427	0.00946	0.0015	0.0082	0.00824
0.158	0.00427	0.00336	0.00671	0.00153	0.00519	0.01038	0.0015	0.0098	0.00732
0.159	0.00427	0.00488	0.00519	-0.0015	0.00397	0.01068	0.0021	0.0104	0.00671

Universitas Indonesia

0.16	0.00397	0.00519	0.00549	0.00214	0.00336	0.01038	0.0046	0.0113	0.00458
0.161	0.00366	0.0058	0.00397	0.00244	0.00244	0.01007	0.0061	0.0113	0.00397
0.162	0.00397	0.0058	0.00275	0.00305	0.00275	0.00885	0.0082	0.0119	0.00366
0.163	0.00061	0.00458	0.00427	0.00458	0.00305	0.00793	0.0098	0.0092	0.00244
0.164	0.00549	0.00916	0.00366	0.0058	0.00397	0.0061	0.0119	0.0092	0.00061
0.165	0.00488	0.00885	0.00336	0.00854	0.00366	0.00519	0.0089	0.004	0.00275
0.166	0.0061	0.00916	0.00488	0.00854	0.00153	0.00397	0.0119	0.0061	0.00214
0.167	0.00702	0.01007	0.00427	0.00977	0.00702	0.00427	0.0116	0.0031	0.00366
0.168	0.00763	0.01038	0.0058	0.01099	0.00885	0.00305	0.0101	0.0031	0.00488
0.169	0.01007	0.00885	0.00366	0.01068	0.00916	0.00183	0.0095	0.0015	0.00641
0.17	0.00977	0.00793	0.00793	0.01099	0.01068	0.00366	0.0073	-0.003	0.00824
0.171	0.00977	0.00702	0.00793	0.01007	0.01007	-0.0003	0.0031	0.0009	0.00824
0.172	0.00732	0.00641	0.00977	0.00977	0.01129	0.00458	0.0034	0.0018	0.01099
0.173	0.00885	0.0058	0.00885	0.00885	0.00977	0.00549	0.0024	0.0027	0.0116
0.174	0.00763	0.00458	0.00854	0.00427	0.00977	0.0061	0.0012	0.0037	0.0116
0.175	0.00793	0.00397	0.00977	0.0061	0.00916	0.00763	0.0003	0.0049	0.01099
0.176	0.00366	0.00305	0.00763	0.00427	0.00702	0.00885	0.0012	0.0076	0.01007
0.177	0.00549	0.00275	0.00763	0.00305	0.00671	0.00916	0.0009	0.0095	0.00885
0.178	0.00366	0.00214	0.0061	0.00244	0.00549	0.01038	0.0024	0.0104	0.00824
0.179	0.00519	0.00366	0.00549	0.00275	0.00427	0.01038	0.0027	0.011	0.00702
0.18	0.00397	0.00427	0.00427	0.00061	0.00305	0.01007	0.0049	0.0079	0.00153
0.181	0.00336	0.00305	0.00366	-0.0003	-0.0006	0.00916	0.0031	0.0116	0.00366
0.182	0.00336	0.00549	0.00366	0.00336	0.00275	0.00977	0.0085	0.011	0.00275
0.183	0.00458	0.00671	0.00305	0.00397	0.00366	0.00824	0.0098	0.0092	0.00122
0.184	0.00427	0.00702	0.00275	0.00549	0.00336	0.0061	0.0116	0.0089	0.00244
0.185	0.00458	0.00641	0.00488	0.00763	0.00519	0.00641	0.0119	0.0067	0.00092
0.186	0.0058	0.00977	0.00427	0.00854	0.00488	0.00519	0.0128	0.0061	0.00366
0.187	0.00641	0.00946	0.00488	0.00885	0.00732	0.00397	0.0116	0.0034	0.00366
0.188	0.00916	0.00885	0.00305	0.01099	0.00732	0.00183	0.0104	0.0027	0.00458
0.189	0.00885	0.00946	0.00671	0.01129	0.00854	-0.0003	0.0085	0.0015	0.00549
0.19	0.00916	0.00854	0.00763	0.01099	0.00946	0.00305	0.0079	0.0006	0.00763
0.191	0.00946	0.00732	0.00946	0.00977	0.01038	0.00366	0.0052	0.0018	0.01038
0.192	0.00916	0.00702	0.00885	0.00885	0.01129	0.00427	0.0052	0.0018	0.00977
0.193	0.00946	0.0058	0.00854	0.00854	0.01038	0.00488	0.0034	0.0018	0.01129
0.194	0.00458	0.00427	0.00854	0.00732	0.01007	0.0061	0.0015	0.004	0.01221
0.195	0.00916	0.00427	0.00793	0.00427	0.00916	0.00763	0.0003	0.0052	0.01038
0.196	0.00763	0.00366	0.00732	0.00366	0.00793	0.00885	0.0012	0.0043	0.00977
0.197	0.00549	0.00366	0.00671	0.00336	0.00671	0.00916	-3E-04	0.0079	0.00916
0.198	0.00488	0.00366	0.00427	0.00244	0.00549	0.01038	0.0021	0.0098	0.00366
0.199	0.00397	0.00366	0.00519	0.00214	0.00397	0.01007	0.0034	0.0119	0.0058
0.2	0.00122	0.00366	0.00397	0.00275	0.00275	0.01007	0.0046	0.0116	0.00519
0.201	0.00366	0.00397	0.00305	0.00244	0.00244	0.00763	0.0067	0.0116	0.00366
0.202	0.00397	0.0061	0.00336	0.00183	0.00275	0.01007	0.0076	0.0095	0.00214

0.203	0.00397	0.00824	0.00305	0.00305	0.00244	0.00641	0.0098	0.0095	0.00214
0.204	0.00488	0.00885	0.00092	0.00549	0.00275	0.00397	0.0113	0.0085	0.00183
0.205	0.00458	0.00946	0.00336	0.00763	0.00397	0.0061	0.0116	0.0073	0.00183
0.206	0.00549	0.01007	0.00427	0.00885	0.00427	0.00488	0.0119	0.0055	0.00305
0.207	0.00763	0.01068	0.00427	0.00916	0.00732	0.00336	0.0116	0.004	-0.0003
0.208	0.00885	0.00946	0.00458	0.01099	0.00793	0.00366	0.0092	0.0027	0.00366
0.209	0.00946	0.00946	0.00641	0.01099	0.00885	0.00275	0.0092	0.0006	0.0058
0.21	0.00824	0.00763	0.00763	0.01068	0.00977	0.00244	0.0076	0.0009	0.00763
0.211	0.00885	0.00458	0.00885	0.00977	0.01068	0.00366	0.0061	0.0015	0.00885
0.212	0.00824	0.00641	0.00824	0.00916	0.01038	0.00458	0.0031	-0.002	0.01068
0.213	0.00916	0.00519	0.00885	0.00885	0.01068	0.00519	0.0006	0.0024	0.01129
0.214	0.00885	0.00549	0.00885	0.00671	0.00885	0.0058	0.0009	0.0055	0.01221
0.215	0.00458	0.00244	0.00916	0.00519	0.00854	0.00702	0.0003	0.0058	0.01129
0.216	0.0061	0.00366	0.00763	0.00519	0.00854	0.00854	0.0006	0.0076	0.01007
0.217	0.0058	0.00275	0.00641	0.00031	0.00641	0.00946	0.0012	0.0101	0.00916
0.218	0.00427	0.00366	0.00397	0.00244	0.00519	0.00916	0.0015	0.0104	0.00763
0.219	0.00427	0.00244	0.00488	0.00183	0.00397	0.01038	0.0046	0.011	0.00702
0.22	0.00366	0.00488	0.00458	0.00214	0.00366	0.00977	0.0049	0.0119	0.00488
0.221	0.00336	0.00488	0.00458	0.00244	0.00183	0.00885	0.0073	0.0116	0.00336
0.222	0.00427	0.00671	0.00397	0.00366	0.00275	0.00916	0.0089	0.0107	0.00244
0.223	0.00397	0.0061	0.00305	0.00488	0.00366	0.00732	0.0101	0.0098	0.00183
0.224	0.00427	0.00854	0.00366	0.00549	0.00397	0.00793	0.0119	0.0082	0.00183
0.225	0.00549	0.00671	0.00305	0.00702	0.00427	0.00641	0.0131	0.007	0.00183
0.226	0.0061	0.00946	0.00427	0.00885	0.00519	0.00122	0.0122	0.0055	0.00244
0.227	0.00732	0.00916	0.00519	0.00946	0.00671	0.00488	0.011	0.0037	0.00366
0.228	0.00854	0.00854	0.00519	0.01068	0.00366	0.00336	0.0098	0.0012	0.00305
0.229	0.00671	0.01007	0.00671	0.0116	0.00854	0.00244	0.0085	0.0018	0.0061
0.23	0.00854	0.00854	0.00763	0.01038	0.00885	0.00275	0.0037	0.0018	0.00763
0.231	0.00946	0.00671	0.00427	0.00977	0.01068	0.00366	0.0055	-0.001	0.00946
0.232	0.00946	0.00977	0.00824	0.00946	0.00671	0.00183	0.004	0.0018	0.01038
0.233	0.00885	0.00519	0.00946	0.00854	0.00977	0.00519	0.0018	0.0031	0.01099
0.234	0.00854	0.00427	0.00458	0.00763	0.01007	0.0058	0.0006	0.0034	0.01007
0.235	0.00458	0.00244	0.00763	0.00427	0.00854	0.00763	0.0018	0.0061	0.01221
0.236	0.0061	0.00488	0.00824	0.00427	0.00885	0.00824	0.0003	0.0079	0.00946
0.237	0.0061	0.00244	0.00458	0.00305	0.00671	0.00854	0.0015	0.0089	0.00916
0.238	0.00458	0.00397	0.00671	0.00153	0.00458	0.00977	0.0027	0.0107	0.00885
0.239	0.00427	0.00366	0.00519	0.00214	0.00458	0.01007	0.0046	0.0119	0.00519
0.24	0.00336	0.00458	0.00366	0.00214	0.00275	0.01007	0.0058	0.0113	0.00427
0.241	0.00366	0.00519	0.00366	0.00275	0.00214	0.00916	0.0037	0.0113	0.00305
0.242	0.00275	0.0058	0.00305	0.00305	0.00244	0.00824	0.0082	0.0107	-0.0006
0.243	0.00458	0.00732	0.00275	0.00366	0.00305	0.00885	0.0101	0.0095	0.00153
0.244	0.00427	0.00885	-0.0003	0.0058	0.00366	0.00702	0.0125	0.0076	0.00153
0.245	0.00519	0.00763	0.00336	0.0058	0.00488	0.00549	0.0122	0.0064	0.00092

0.246	0.0058	0.00977	0.00427	0.00946	0.00488	0.00397	0.0116	0.0046	0.00183
0.247	0.00732	0.00824	0.00519	0.00885	0.0058	0.00305	0.0113	0.004	0.00336
0.248	0.00824	0.00977	0.00549	0.01038	0.00763	0.00397	0.0113	0.0021	0.00427
0.249	0.00946	0.00854	0.00671	0.01099	0.00824	0.00214	0.0092	0.0015	0.00732
0.25	0.00885	0.00885	0.00702	0.01068	0.00671	0.00122	0.007	0.0012	0.00763
0.251	0.00977	0.0061	0.00671	0.00977	0.01007	0.00305	0.0061	0.0012	0.00946
0.252	0.00977	0.00702	0.00854	0.00885	0.00732	0.00458	0.0043	0.0024	0.01068
0.253	0.00885	0.0058	0.00885	0.00946	0.00977	0.00519	0.0027	0.0027	0.01129
0.254	0.00793	0.00397	0.00946	0.00641	0.00916	0.0058	0.0006	0.0046	0.01038
0.255	0.00793	-0.0006	0.00854	0.00549	0.00885	0.00763	0.0003	0.0061	0.0119
0.256	0.00671	0.00275	0.00671	0.00427	0.00793	0.00885	0.0009	0.0085	0.01007
0.257	0.00275	0.00244	0.00641	0.00305	0.0061	0.00885	0.0012	0.0089	0.00946
0.258	0.00458	0.00244	0.00641	0.00153	0.00488	0.01007	0.0031	0.011	0.00885
0.259	0.00397	0.00336	0.00488	0.00275	0.00092	0.01129	0.0043	0.0104	0.0061
0.26	0.00305	0.00427	0.00397	0.00153	0.00305	0.01007	0.0058	0.0113	0.00458
0.261	0.00336	0.00427	0.00122	0.00275	0.00275	0.00885	0.0076	0.0119	0.00336
0.262	0.00305	0.00641	0.00305	0.00366	0.00275	0.00854	0.0085	0.0067	0.00305
0.263	0.00366	0.00732	0.00336	0.00427	0.00244	0.00793	0.0113	0.0085	0.00153
0.264	0.00519	0.00854	0.00092	0.00549	0.00397	0.00763	0.0089	0.0073	0.00183
0.265	0.00488	0.00732	0.00366	0.00732	0.00397	0.0061	0.0119	0.0067	0.00275
0.266	0.00671	0.00916	0.00427	0.00793	0.00519	0.00488	0.0113	0.0046	0.00275
0.267	0.00641	0.00946	0.00458	0.01007	0.00641	0.00366	0.0116	0.004	0.00458
0.268	0.00885	0.00916	0.0061	0.00916	0.00427	0.00275	0.0104	0.0018	0.00458
0.269	0.00854	0.00977	0.00671	0.01129	0.00885	0.00275	0.0082	0.0012	0.00671
0.27	0.01038	0.00824	0.00854	0.01099	0.01038	0.00244	0.0079	0.0024	0.00885
0.271	0.00977	0.00763	0.00793	0.00977	0.01068	0.00244	0.0046	0.0015	0.01007
0.272	0.00977	0.00702	0.00824	0.00916	0.01038	0.00488	0.0037	-0.001	0.00885
0.273	0.01007	0.0058	0.00885	0.00824	0.01007	0.00549	0.0018	0.0031	0.01099
0.274	0.00763	0.00397	0.00946	0.00702	0.00854	0.00427	0.0006	0.0046	0.01129
0.275	0.00793	0.00427	0.00824	0.00549	0.00854	0.00519	0	0.0061	0.00702
0.276	0.0061	0.00366	0.00763	0.00275	0.00824	0.00824	-3E-04	0.0082	0.00977
0.277	0.0061	0.00092	0.00549	0.00275	0.00549	0.00946	0.0024	0.0089	0.00854
0.278	0.00397	0.00366	0.00641	0.00153	0.0058	0.01007	0.0027	0.0107	0.00793
0.279	0.00427	0.00397	0.00519	0.00153	0.00458	0.01099	0.0037	0.0116	0.0058
0.28	0.00092	0.00397	0.00275	0.00183	0.00244	0.01068	0.0055	0.0125	0.00549
0.281	0.00427	0.00641	0.00366	0.00366	0.00244	0.01007	0.0085	0.0107	0.00397
0.282	0.00244	0.0061	0.00336	0.00366	0.00244	0.00916	0.0061	0.0098	0.00275
0.283	0.00427	0.00732	0.00366	0.00458	0.00305	0.00793	0.0107	0.0098	0.00153
0.284	0.00488	0.00824	0.00336	0.0058	0.00336	0.00732	0.0119	0.0082	-0.0024
0.285	0.00549	0.00946	0.00366	0.00671	0.00336	0.00549	0.0122	0.0064	0.00061
0.286	0.0061	0.00916	0.00519	0.00885	0.0061	0.00458	0.0116	0.0046	0.00183
0.287	0.00458	0.01068	0.00519	0.00946	0.0061	0.00397	0.011	0.0034	0.00244
0.288	0.00916	0.01007	0.0061	0.01038	0.00885	0.00122	0.0079	-0.001	0.00458

Universitas Indonesia

0.289	0.00885	0.00946	0.0058	0.01038	0.00854	0.00244	0.0089	0.0003	0.00763
0.29	0.00916	0.00793	0.00732	0.00916	0.00977	0.00244	0.0061	0.0012	0.00732
0.291	0.01007	0.00732	0.00824	0.01007	0.01038	0.00366	0.0052	-0.003	0.00977
0.292	0.00916	0.00824	0.00793	0.00916	0.01038	0.00336	0.0027	0.0021	0.01099
0.293	0.00946	0.00549	0.00885	0.00824	0.01129	0.0061	0.0031	-3E-04	0.01282
0.294	0.00702	0.00458	0.00854	0.00671	0.00946	0.00732	-0.004	0.0049	0.01129
0.295	0.0061	0.00427	0.00793	0.00549	0.00824	0.00854	0.0009	0.0046	0.01129
0.296	0.00732	-0.0003	0.00458	0.00427	0.00793	0.00885	0.0009	0.0079	0.01129
0.297	0.00549	0.00366	0.0061	0.00366	0.0058	0.00793	0.0024	0.0089	0.00885
0.298	0.00519	0.00366	0.00641	0.00305	0.00549	0.01007	0.0024	0.0104	0.00793
0.299	0.00397	0.00427	0.00366	0.00214	0.00458	0.01099	0.0049	0.0116	0.00275
0.3	0.00336	0.00458	0.00427	0.00214	0.00397	0.01068	0.0064	0.0098	0.00458
0.301	0.00092	0.0058	0.00336	0.00305	0.00122	0.00946	0.0073	0.0113	0.00397
0.302	0.00336	0.0058	0.00031	0.00366	0.00214	0.00824	0.0095	0.0104	0.00244
0.303	0.00336	0.00458	0.00305	0.00458	0.00305	0.00854	0.0107	0.0092	0.00183
0.304	0.00519	0.00854	0.00275	0.00458	0.00061	0.0058	0.0128	0.0079	0.00183
0.305	0.00519	0.00977	0.00336	0.00763	0.00366	0.0061	0.0125	0.0061	0.00214
0.306	0.0061	0.00885	0.00488	0.00458	0.0058	0.00488	0.0122	0.0046	0.00214
0.307	0.00732	0.01007	0.00549	0.00977	0.00671	0.00427	0.0107	0.0031	0.00458
0.308	0.00458	0.00977	0.00671	0.01068	0.00824	0.00275	0.0095	-0.002	0.00519
0.309	0.00885	0.00946	0.00763	0.00946	0.00854	0.00244	0.0082	0.0012	0.00702
0.31	0.00793	0.00916	0.00793	0.01129	0.00885	0.00336	0.0058	0.0018	0.00824
0.311	0.01007	0.00732	0.00763	0.01038	0.01007	0.00305	0.0015	0.0018	0.00885
0.312	0.00916	0.00702	0.00885	0.00916	0.01068	0.00366	0.0031	0.0024	0.00946
0.313	0.00885	0.00641	0.00854	0.00916	0.01068	0.00641	0	0.0031	0.01099
0.314	0.00854	0.00458	0.00854	0.00458	0.01007	0.00671	0.0012	0.0049	0.01099
0.315	0.00824	0.00458	0.00427	0.00549	0.00824	0.00763	0	0.0034	0.0119
0.316	0.00732	0.00305	0.00732	0.00336	0.00793	0.00885	0.0006	0.0085	0.00977
0.317	0.00641	0.00458	0.00641	0.00336	0.00671	0.00946	0.0015	0.0101	0.00763
0.318	0.00427	0.00397	0.00305	0.00214	0.00488	0.01068	0.0031	0.0073	0.00824
0.319	0.00397	0.00427	0.00488	0.00214	0.00488	0.01007	0.004	0.0122	0.0061
0.32	0.00366	0.00519	0.00427	0.00336	0.00366	0.01068	0.0055	0.0116	0.00488
0.321	0.00397	0.0061	0.00336	-0.0006	0.00153	0.01038	0.0089	0.0082	0.00305
0.322	0.00244	0.00671	0.00366	0.00397	0.00305	0.00854	0.0061	0.0101	-0.0027
0.323	0.00458	0.00732	0.00275	0.00458	0.00305	0.00793	0.0107	0.0095	0.00214
0.324	0.00397	0.00854	0.00061	0.00549	0.00366	0.0061	0.0122	0.0079	0.00122
0.325	0.00458	0.00885	0.00427	0.00732	0.00122	0.0058	0.0128	0.0058	0.00153
0.326	0.0061	0.01007	0.00427	0.00854	0.00519	0.00427	0.0116	0.0037	0.00305
0.327	0.00763	0.00916	0.00427	0.00946	0.00458	0.00366	0.0101	0.0027	0.00061
0.328	0.00916	0.00671	0.0061	0.01038	0.00702	0.00305	0.0101	0.0015	0.00519
0.329	0.01007	0.00885	0.00702	0.01099	0.00824	0.00305	0.004	0.0012	0.00671
0.33	0.01007	0.00793	0.00885	0.01007	0.01007	0.00244	0.0064	0.0009	0.00824
0.331	0.00885	0.00732	0.00793	0.01068	0.01007	0.00366	0.0043	0.0018	0.01068

0.332	0.00916	0.00671	0.00885	0.01007	0.00702	0.00549	0.0027	0.0027	0.01038
0.333	0.00824	0.00549	0.00824	0.00824	0.01038	0.00183	0.0012	0.0052	0.0116
0.334	0.00427	0.00488	0.00854	0.00702	0.00854	0.00244	0.0003	0.0058	0.01129
0.335	0.00854	0.00488	0.00854	0.0061	0.00854	0.00702	0.0009	0.0067	0.01221
0.336	0.00641	0.00336	0.00702	0.00458	0.00854	0.00885	0.0009	0.0052	0.00977
0.337	0.00549	0.00336	0.00671	0.00305	0.00641	0.00977	0.0018	0.0101	0.00793
0.338	0.00458	0.00336	0.0058	0.00214	0.00641	0.00977	0.0027	0.011	0.00427
0.339	0.00275	0.00458	0.00488	0.00244	0.00427	0.01038	0.004	0.0125	0.00641
0.34	0.00427	0.00397	0.00488	0.00305	0.00244	0.01007	0.0067	0.0116	0.00397
0.341	0.00122	0.00488	0.00183	0.00244	0.00275	0.01007	0.0085	0.0107	0.00366
0.342	0.00427	0.0058	0.00305	0.00397	0.00244	0.00854	0.0089	0.011	-0.0012
0.343	0.00427	0.00702	0.00122	0.00458	0.00305	0.00824	0.0104	0.0089	0.00244
0.344	0.00458	0.00763	0.00305	0.0058	0.00336	0.00671	0.0116	0.007	0.00092
0.345	0.0058	0.00885	0.00397	0.00732	0.00519	0.00519	0.0113	0.0064	0.00153
0.346	0.0061	0.01007	0.00183	0.00885	0.00549	0.00458	0.0122	0.0034	0.00275
0.347	0.00732	0.00946	0.00549	0.00671	0.00671	0.00366	0.0101	0.0024	0.00366
0.348	0.00549	0.00854	0.00549	0.01068	0.00763	0.00336	0.0092	0.0024	0.00488
0.349	0.00916	0.00916	0.00702	0.01099	0.00824	0.00061	0.0079	0.0012	0.00641
0.35	0.00946	0.00824	0.00793	0.01038	0.00946	0.00275	0.0067	0.0006	0.00763
0.351	0.00916	0.00732	0.00916	0.01038	0.01099	0.00275	0.004	0	0.01007
0.352	0.00916	0.00671	0.0061	0.00885	0.01068	0.00519	0.0009	0.0034	0.00946
0.353	0.00824	0.00488	0.00854	0.00793	0.01007	0.00458	0.0012	0.004	0.01129
0.354	0.00549	0.00519	0.00763	0.0061	0.00824	0.00275	0.0015	0.0055	0.00824
0.355	0.00641	0.00427	0.00549	0.00549	0.00824	0.00702	0	0.0076	0.0119
0.356	0.00671	0.00397	0.00702	0.00153	0.00732	0.00977	0.0018	0.0089	0.01007
0.357	0.00519	0.00366	0.00702	0.00336	0.00641	0.01038	0.0021	0.0104	0.00885
0.358	0.00427	0.00336	0.00671	0.00244	0.0058	0.00977	0.0034	0.0104	0.00549
0.359	0.00397	0.00427	0.00488	0.00183	0.00397	0.01007	0.0046	0.0128	0.0058
0.36	0.00275	0.00366	0.00397	0.00214	0.00244	0.01068	0.0067	0.0116	0.00488
0.361	0.00366	0.00549	0.00427	0.00305	0.00275	0.00977	0.0092	0.0104	0.00305
0.362	0.00305	0.0061	0.00366	0.00488	0.00183	0.00793	0.0107	0.0104	0.00275
0.363	0.00397	0.00732	0.00305	0.00092	0.00275	0.00763	0.0119	0.0089	0.00214
0.364	0.00458	0.00885	0.00366	0.0058	0.00305	0.00732	0.0116	0.0079	0.00153
0.365	0.00458	0.00916	0.00397	0.00763	0.00519	0.0058	0.0116	0.0046	0.00183
0.366	0.0058	0.00916	0.00427	0.00916	0.00458	0.00397	0.0119	0.0037	0.00305
0.367	0.00427	0.00916	0.00519	0.00916	0.0058	0.00336	0.0089	0.0024	0.00092
0.368	0.00946	0.01007	0.00549	0.00885	0.00732	0.00305	0.0085	0.0024	0.00427
0.369	0.00916	0.00854	0.00702	0.01068	0.00549	0.00244	0.0085	0.0006	0.00641
0.37	0.00946	0.00793	0.00671	0.01038	0.00977	0.00244	0.0046	-3E-04	0.00763
0.371	0.00916	0.00671	0.00854	0.00702	0.01099	0.00366	0.0043	0.0015	0.00977
0.372	0.00977	0.00732	0.00916	0.00885	0.01038	0.00305	0.0024	0.0027	0.00946
0.373	0.00977	0.00488	0.00671	0.00854	0.00946	0.00519	0.0018	0.0046	0.01129
0.374	0.00854	0.00458	0.00793	0.00671	0.00885	0.0058	0.0012	0.0058	0.01068

0.375	0.00732	0.00244	0.00885	0.00488	0.00885	0.00702	0.0003	0.0067	0.01221
0.376	0.00641	0.00397	0.00427	0.00397	0.00824	0.00824	0.0021	0.0101	0.01038
0.377	0.0061	0.00244	0.00671	0.00275	0.00641	0.00916	0.0021	0.0098	0.00885
0.378	0.00458	0.00366	0.00641	0.00336	0.00214	0.00977	0.0037	0.0116	0.00763
0.379	0.00366	0.00183	0.00214	0.00092	0.00397	0.00946	0.004	0.0119	0.00214
0.38	0	0.00488	0.00397	0.00244	0.00275	0.00977	0.0046	0.0107	0.00427
0.381	0.00305	0.00427	0.00366	0.00244	0.00275	0.01068	0.0082	0.0092	0.00275
0.382	0.00275	0.00702	0.00366	0.00336	0.00092	0.00977	0.0104	0.0098	0.00244
0.383	0.00366	0.00732	0.00366	0.00427	0.00305	0.00885	0.0113	0.0085	-0.0006
0.384	0.00458	0.00854	0.00214	0.0058	0.00336	0.00671	0.0107	0.0067	0.00061
0.385	0.00549	0.00854	0.00488	0.00732	0.00366	0.00641	0.0122	0.0049	0.00183
0.386	0.0058	0.00793	0.00458	0.0058	0.0061	0.00458	0.0119	0.004	0.00275
0.387	0.00854	0.00916	0.00427	0.00916	0.00671	0.00397	0.0113	0.0037	0.00336
0.388	0.00916	0.00946	0.00671	0.01068	0.00732	0.00183	0.0101	0.0015	0.00549
0.389	0.00885	0.00854	0.00732	0.01068	0.00824	0.00305	0.0076	0.0015	0.00641
0.39	0.00916	0.00916	0.00763	0.01099	0.01068	0.00244	0.0055	-3E-04	0.00763
0.391	0.01007	0.00702	0.00977	0.00977	0.01007	0.00366	0.0043	0.0015	0.00977
0.392	0.00977	0.00671	0.00885	0.00793	0.01007	0.00397	0.0024	0.0034	0.0116
0.393	0.00916	0.0061	0.00824	0.00793	0.00977	0.00488	0.0021	0.0046	0.01129
0.394	0.00885	0.00488	0.00977	0.00641	0.00946	0.00702	-0.003	0.0055	0.0116
0.395	0.00641	0.00366	0.00854	0.0061	0.00671	0.00702	0.0009	0.0076	0.01068
0.396	0.00641	0.00275	0.00732	0.00397	0.00824	0.00946	0.0006	0.0092	0.00916
0.397	0.0058	0.00336	0.00763	0.00275	0.00763	0.00977	0.0024	0.0101	0.00977
0.398	0.00336	0.00427	0.00641	0.00183	0.00519	0.00946	0.0043	0.011	0.00854
0.399	0.00336	0.00366	0.00458	0.00183	0.00366	0.00732	0.0046	0.0119	0.00671
0.4	0.00214	0.00214	0.00519	0.00244	0.00275	0.01099	0.0073	0.011	0.00458
0.401	0.00366	0.0061	0.00244	0.00305	0.00244	0.00916	0.0085	0.0107	0.00275
0.402	0.00397	0.0058	0.00275	0	0.00275	0.00977	0.0104	0.0092	0.00183
0.403	0.00397	0.00763	0.00366	0.00336	0.00214	0.00763	0.0113	0.0082	0.00092
0.404	0.00427	0.00824	0.00275	0.00671	0.00336	0.00702	0.0125	0.0058	0.00122
0.405	0.0058	0.00885	0.00397	0.00763	0.00397	0.00702	0.0125	0.0052	0.00183
0.406	0.0061	0.00885	0.00427	0.00885	0.00458	0.00458	0.0104	0.004	0.00244
0.407	0.00763	0.00885	0.00519	0.01038	0.00488	0.00366	0.0098	0.0024	0.00397
0.408	0.00793	0.01007	0.0058	0.01007	0.00793	0.00305	0.0089	0.0015	0.00366
0.409	0.00824	0.00946	0.00671	0.0116	0.00946	0.00305	0.007	0.0012	0.0061
0.41	0.00946	0.00763	0.00763	0.01129	0.00977	0.00244	0.004	0.0006	0.00854
0.411	0.00977	0.00702	0.00824	0.01007	0.00977	0.00366	0.0037	0.0018	0.00824
0.412	0.00977	0.00702	0.01221	0.00916	0.01007	0.00427	0.0037	0.0037	0.01068
0.413	0.00946	0.00519	0.00824	0.00885	0.01007	0.00519	0.0009	0.0003	0.0116
0.414	0.00732	0.00549	0.00854	0.00519	0.00824	0.00549	0.0009	0.0067	0.01129
0.415	0.00824	0.00336	0.00946	0.00427	0.00916	0.00763	0.0006	0.0085	0.01038
0.416	0.00641	0.00336	0.00763	0.00458	0.00732	0.00885	0.0009	0.0055	0.00977
0.417	0.00488	0.00305	0.00671	0.00305	0.00671	0.00885	0.0024	0.0107	0.00916

0.418	0.00458	0.00397	0.00854	0.00214	0.00549	0.00824	0.0043	0.0113	0.00793
0.419	0.00397	0.00397	0.00488	0.00153	0.00336	0.00977	0.0055	0.0122	0.00671
0.42	0.00092	0.00519	0.00366	0.00244	0.00336	0.01007	0.0064	0.011	0.00427
0.421	0.00397	0.00244	0.00427	0.00305	0.00305	0.01099	0.0098	0.0107	0.00336
0.422	0.00336	0.00671	0.00458	0.00427	0.00183	0.00946	0.0104	0.0098	0.00122
0.423	0.00366	0.00732	0.00305	0.00458	0.00153	0.00885	0.0116	0.0079	0.00122
0.424	0.00427	0.00946	0.00366	0.0061	0.00305	0.00793	0.0122	0.0064	0.00183
0.425	0.0061	0.00824	0.00397	0.00824	0.00458	0.0058	0.0119	0.0052	0.00153
0.426	0.0061	0.00946	0.00488	0.00793	0.00488	0.00336	0.0098	0.0027	0.00275
0.427	0.00763	0.01007	0.00336	0.00946	0.00641	0.00397	0.0107	-0.001	0.00336
0.428	0.00793	0.01099	0.00519	0.01038	0.00763	0.00275	0.0092	0.0012	0.00458
0.429	0.00885	0.00977	0.00793	0.01068	0.0061	0.00275	0.0067	0.0012	0.0061
0.43	0.01007	0.00824	0.00824	0.00977	0.00946	0.00275	0.0055	0.0009	0.00793
0.431	0.01007	0.00671	0.00854	0.01068	0.01129	0.00305	0.0034	0.0021	0.00946
0.432	0.00702	0.00641	0.00885	0.00885	0.01099	0.00397	0.0024	0.0027	0.01129
0.433	0.01007	0.00549	0.00793	0.00793	0.00977	0.00488	0.0009	0.0043	0.01038
0.434	0.00763	0.00458	0.00854	0.00671	0.01007	0.00519	0.0009	0.0058	0.0116
0.435	0.00763	0.00458	0.00854	0.00549	0.00824	0.00732	0.0006	0.0061	0.00916
0.436	0.00702	0.00336	0.00397	0.00336	0.00824	0.00824	0.0018	0.0092	0.00977
0.437	0.0058	0.00336	0.00671	0.00244	0.0061	0.00916	0.0024	0.0101	0.00916
0.438	0.00458	0.00458	0.0058	0.00214	0.00549	0.01068	0.0027	0.0079	0.00732
0.439	0.00122	0	0.00305	0.00214	0.00427	0.00977	0.0052	0.0113	0.00366
0.44	0.00458	0.00275	0.00427	0.00214	0.00366	0.01099	0.0076	0.0113	0.00427
0.441	0.00336	0.00549	0.00305	0.00275	0.00336	0.00885	0.0092	0.0095	0.00336
0.442	0.00305	0.0058	0.00031	0.00336	0.00275	0.00793	0.0101	0.0092	0.00244
0.443	0.00397	0.00732	0.00275	0.00458	0.00427	0.00763	0.0116	0.0095	-0.0003
0.444	0.00427	0.00763	0.00305	0.0061	0.00366	0.00732	0.0107	0.0064	0.00122
0.445	0.00549	0.00977	0.00366	0.00885	0.00366	0.00671	0.0113	0.0046	0.00122
0.446	0.00366	0.00946	0.00427	0.00885	0.00336	0.00549	0.0116	-3E-04	0.00336
0.447	0.00793	0.00977	0.00458	0.00977	0.0058	0.00397	0.0101	0.0012	0.00427
0.448	0.00854	0.00854	0.0058	0.01038	0.00824	0.00092	0.0082	0.0018	0.00488
0.449	0.00885	0.00946	0.00702	0.01129	0.00885	-0.0006	0.0076	0.0012	0.00732
0.45	0.00946	0.00641	0.00732	0.01099	0.00885	0.00275	0.0052	0.0018	0.00397
0.451	0.00946	0.00854	0.00824	0.01007	0.01007	0.00366	0.0027	0.0037	0.00916
0.452	0.00793	0.00702	0.00854	0.00854	0.01038	0.00427	0.0018	0.0031	0.01068
0.453	0.00916	0.0058	0.00854	0.0061	0.01068	0.00458	0.0012	0.0046	0.01221
0.454	0.00763	0.0058	0.00885	0.00671	0.00916	0.00549	0.0006	0.0064	0.01282
0.455	0.00732	0.00427	0.00793	0.00519	0.00885	0.00732	0.0012	0.0079	0.0116
0.456	0.00671	0.00397	0.00732	0.00366	0.00793	0.00732	0.0018	0.0101	0.00977
0.457	0.00549	0.00366	0.00641	0.00214	0.00671	0.00916	0.0034	0.0098	0.00946
0.458	0.00427	0.00336	0.0058	0.00214	0.00488	0.00885	0.0034	0.0122	0.00793
0.459	0.00397	0.00366	0.00427	0.00183	0.00427	0.01099	0.0031	0.0116	0.00519
0.46	0.00336	0.00488	0.00427	-0.0003	0.00336	0.00977	0.0076	0.0113	0.00427

0.461	0.00427	0.0058	0.00275	0.00336	0.00305	0.00885	0.0095	0.0092	0.00366
0.462	0.00366	0.00671	0.00397	0.00366	0.00122	0.01007	0.0098	0.0095	0.00305
0.463	0.00427	0.00793	0.00275	0.00519	0.00275	0.00641	0.0107	0.0073	0.00092
0.464	0.00458	0.00946	0.00275	0.00641	0.00336	0.0058	0.0128	0.0067	0.00183
0.465	0.00519	0.00916	0.00519	0.00732	0.00366	0.0058	0.0119	0.0037	0.00183
0.466	0.00641	0.00977	0.00458	0.00946	0.00031	0.00519	0.011	0.0031	0.00061
0.467	0.0061	0.01007	0.00488	0.01007	0.0061	0.00397	0.0092	0.0018	0.00305
0.468	0.00885	0.01007	0.00671	0.00824	0.00702	0.00275	0.0098	0.0003	0.00488
0.469	0.00977	0.00885	0.00732	0.01099	0.00854	0.00305	0.0073	0.0009	0.00732
0.47	0.01007	0.00854	0.00793	0.01068	0.00854	0.00305	0.0052	0.0018	0.00916
0.471	0.00977	0.00732	0.00763	0.00977	0.00977	0.00336	0.0031	0.0031	0.00916
0.472	0.00916	0.00702	0.00885	0.00916	0.01068	0.00366	0.0018	0.0037	0.01007
0.473	0.00916	0.00549	0.00946	0.00793	0.01007	0.00488	0.0018	0.0021	0.0116
0.474	0.00854	0.00519	0.00671	0.00671	0.00885	0.00549	-0.003	0.007	0.01099
0.475	0.00824	0.00397	0.00793	0.00458	0.00519	0.00732	0.0009	0.0085	0.01129
0.476	0.00641	0.00366	0.00732	0.00214	0.00793	0.00763	0.0018	0.0101	0.01038
0.477	0.0058	0.00336	0.00641	0.00366	0.00732	0.00946	0.0031	0.0098	0.00946
0.478	0.00366	0.00427	0.00549	0.00183	0.00549	0.00946	0.0043	0.0104	0.00732
0.479	0.00397	0.00366	0.00488	0.00214	0.00336	0.01068	0.0064	0.0113	0.0061
0.48	0.00366	0.00397	0.00397	0.00244	0.00366	0.00946	0.0085	0.0116	0.00519
0.481	0.00336	0.00488	0.00336	0.00275	0.00244	0.01068	0.0089	0.0107	0.00427
0.482	0.00366	0.00549	0.00214	0.00458	0.00214	0.00885	0.0104	0.0089	0.00061
0.483	0.00366	0.00793	0.00336	0.00397	0.00183	0.00732	0.0113	0.0064	0.00153
0.484	0.00458	0.00763	0.00336	0.00671	0.00336	0.00763	0.0116	0.0058	0.00214
0.485	0.00549	0.01007	0.00458	0.00824	0.00336	0.0058	0.0107	0.0037	0.00153
0.486	0.0061	0.00916	0.00519	0.00763	0.00458	0.00488	0.0119	-6E-04	0.00275
0.487	0.00793	0.00916	0.00488	0.01038	0.00549	0.00366	0.011	0.0003	0.00397
0.488	0.0061	0.00916	0.00671	0.01068	0.00702	0.00366	0.0085	0.0015	0.00214
0.489	0.00977	0.00885	0.00702	0.01068	0.00885	0.00244	0.0064	0.0009	0.00641
0.49	0.00977	0.00793	0.00702	0.01068	0.00977	0.00275	0.0043	0.0015	0.00885
0.491	0.01007	0.00732	0.00793	0.01007	0.00977	0.00275	0.0031	0.0003	0.00946
0.492	0.00885	0.0061	0.00885	0.00824	0.01007	0.00488	0.0027	0.0037	0.01007
0.493	0.00824	0.00305	0.00946	0.00458	0.01007	0.00519	0.0009	0.0049	0.0116
0.494	0.00885	0.00366	0.00824	0.00702	0.01007	0.00671	0.0006	0.007	0.01068
0.495	0.00641	0.00427	0.00885	0.00549	0.0061	0.0058	0.0006	0.0092	0.0116
0.496	0.00671	0.00427	0.00732	0.00397	0.00824	0.00702	0.0021	0.0107	0.00977
0.497	0.00549	0.00214	0.00641	0.00153	0.00793	0.00641	0.0037	0.0113	0.00946
0.498	0.00488	0.00305	0.0058	0.00244	0.00519	0.00641	0.0043	0.0107	0.00946
0.499	0.00397	0.00275	0.00519	0.00275	0.00488	0.01068	0.0064	0.0113	0.00641
0.5	0.00336	0.00427	0.00366	-0.0006	0.00336	0.01099	0.0082	0.0107	0.00458
0.501	-0.0006	0.00549	0.00397	0.00244	0.00305	0.01007	0.0089	0.0107	0.00336
0.502	0.00397	0.0061	0.00336	0.00397	0.00214	0.00916	0.0067	0.0085	0.00183
0.503	0.00427	0.00763	0.00214	0.00488	0.00214	0.00763	0.0122	0.0076	0.00153

0.504	0.00488	0.00793	0.00336	0.0058	0.00153	0.00732	0.0122	0.0052	0.00122
0.505	0.00549	0.00854	0.00458	0.00854	0.00397	0.0058	0.0119	0.004	0.00183
0.506	0.00641	0.00916	0.00427	0.00946	0.00183	0.00549	0.0101	0.0034	0.00214
0.507	0.00732	0.00732	0.00488	0.00977	0.0058	0.00366	0.0104	0.0009	0.00397
0.508	0.00916	0.00946	0.00519	0.01068	0.00671	0.00305	0.0082	-6E-04	0.00458
0.509	0.00885	0.00824	0.00641	0.0116	0.00824	0.00275	0.0067	0.0009	0.00305
0.51	0.00885	0.00763	0.00854	0.00885	0.00977	0.00244	0.0049	0.0012	0.00824
0.511	0.00946	0.00366	0.00885	0.00916	0.01038	0.00244	0.0024	0.0034	0.01007
0.512	0.00916	0.00671	0.00854	0.00946	0.01038	0.00336	0.0018	0.0024	0.01068