



SKRIPSI – ME-141501

**STUDI EKSPERIMENTAL PELAPISAN KAPAL
MENGUNAKAN SUPERHYDROPHOBIC
COATING PADA HULL KAPAL UNTUK
MENGURANGI TAHANAN KAPAL**

Trisno Kusuma S
NRP 4212 100 019

Dosen Pembimbing
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc
Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT – ME-141501

**EXPERIMENTAL STUDY SUPERHYDROPHOBIC
COATING FOR SHIP'S HULL TO REDUCE SHIP'S
RESISTANCE**

Trisno Kusuma Sumantri
NRP 4212 100 019

Supervisor
Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc
Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI EKSPERIMENTAL PELAPISAN KAPAL
MENGUNAKAN *SUPERHYDROPHOBIC*
COATING PADA LAMBUNG (HULL) KAPAL
UNTUK MENGURANGI TAHANAN KAPAL**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Trisno Kusuma Sumantri

Nrp. 4212 100 019

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc
2. Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil



SURABAYA
JULI, 2016

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI EKSPERIMENTAL PELAPISAN KAPAL
MENGUNAKAN *SUPERHYDROPHOBIC*
COATING PADA LAMBUNG (*HULL*) KAPAL
UNTUK MENGURANGI TAHANAN KAPAL**

SKRIPSI

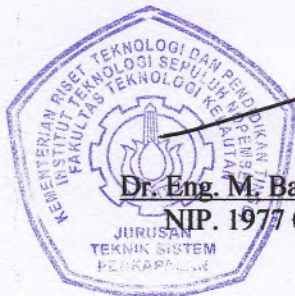
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Trisno Kusuma Sumantri

Nrp. 4212 100 019

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT.

NIP. 1977 0802 2008 011007

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI EKSPERIMENTAL PELAPISAN KAPAL
MENGUNAKAN *SUPERHYDROPHOBIC COATING*
PADA LAMBUNG (*HULL*) KAPAL UNTUK
MENGURANGI TAHANAN KAPAL**

Nama : Trisno Kusuma S
NRP : 4212100019
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Pembimbing : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.
Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil

ABSTRAK

Sebuah kapal berjalan dengan menggunakan suatu daya dorong yang dalam istilahnya disebut sebagai *thrust*. Daya dorong tersebut dalam menggerakkan kapal akan sangat dipengaruhi oleh tahanan kapal. Tahanan (*resistance*) atau disingkat R kapal adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan di sini sebgaaian besar di pengaruhi oleh tahanan gesek kapal. *Superhydrophobic* adalah sifat fisis molekul suatu material untuk menolak atau menghindari air. Seperti air diatas daun talas yang terlihat tidak sedikit pun membasahi daun tersebut. Itulah yang disebut *Hydrophobic Efect*. Tujuan penulisan skripsi ini menganalisa dan membuktikan apakah jika lambung (*hull*) kapal dilapisi dengan *superhydrophobic* akan terjadi pengurangan tahanan. Metode yang digunakan ialah dengan melakukan eksperimental langsung pada lab hidrodinamika ITS. Dari hasil analisa didapatkan tahanan yang di hasilkan dari model setelah dilakukan pelapisan menggunakan *hydrophobic* dan *superhydrophobic* berkurang. Pengurangan tahanan setelah di lapisi superhydrophobic rata-rata sebesar 10% dan 22%. Pengurangan tahanan gesek terjadi seiring dengan turunnya tahanan total.

Keywords: Superhydrophobic, Rersistance, reduction of ship resistance

(halaman ini sengaja dikosongkan)

EXPERIMENTAL STUDY SUPERHYDROPHOBIC COATING FOR SHIP'S HULL TO REDUCE SHIP'S RESISTANCE

Name : Trisno Kusuma S
NRP : 4212100019
Department : Marine Engineering FTK-ITS
Supervisor : Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.
Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil

ABSTRACT

A ship runs by using an impetus which the term referred to as thrust. The thrust in moving the ship will be strongly influenced by the detention of the ship. Resistance (R) boat is fluid force acting on the vessel in such a way against the movement of the ship. Resistance is a large part influenced by the frictional resistance of the ship. Superhydrophobic is the physical properties of the molecules of a material to reject or avoid water. As above water taro leaves that look the slightest wet the leaves. That is called Hydrophobic-effect. The purpose of this thesis to analyze and prove whether if the hull (hull) vessel is coated with a superhydrophobic will be a reduction of resistance. The method used is to conduct experimental lab hydro-dynamics on ITS. From the analysis results obtained custody which is derived from the model after using hydrophobic and superhydrophobic coating is reduced. Reduction in the coated superhydrophobic custody after an average of 10% and 22%. Reduction of frictional resistance occur along with lower total resistance.

Keywords: Purse Seine, Metal Halide, LED, Generator Set, Regression

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Judul	ii
Lembar Pengesahan	v
Lembar Pengesahan	vii
Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penulisan.....	5
1.5 Manfaat Penulisan.....	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tahanan.....	7
2.1.1 Umum.....	7
2.1.2 Jenis-jenis Tahanan.....	8
2.1.3 Tahanan Gesek.....	10
2.2 Model Kapal.....	11
2.2.1 Kesamaan Geometris.....	11
2.2.2 Persamaan Dinamis.....	12
2.3 Towing Tank.....	12
2.4 Superhydrophobic.....	15
2.4.1 Teori Wenzel.....	16
2.4.2 Studi Cassie-Baxter.....	16
2.4.3 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya.....	18

BAB III METODELOGI PENELITIAN	
3.1 Flowchart Tahapan Penelitian.....	21
3.2 Diskripsi Tahapan Penelitian.....	23
3.3 Alat dan Bahan	25
3.4 Langkah-langkah Pengujian.....	28
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Kapal.....	35
4.2 Percobaan.....	36
4.3 Analisa Data dan Grafik.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
BIODATA PENULIS	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran diantara plat yang sejajar	10
Gambar 2.2 Skema uji Tarik di towing tank (Molland dkk, 2011).....	13
Gambar 2.3 Pengukuran uji hambatan (Molland dkk, 2011)14	
Gambar 2.4 Uji hambatan model (Molland dkk, 2011).....	14
Gambar 2.5 Sebuah mikroliter bentuk bola air (C. Jeffrey Brinker , 2008)	15
Gambar 2.6 Perbandingan sudut kontak dua permukaan (Gusnedi dkk, 2014)	16
Gambar 2.7 Bentuk dari Cassie-Baxter Interface	17
Gambar 2.8 Fabrikasi permukaan superhydrophobic dan biner mikro / struktur nano	20
Gambar 3.1 Flowchart Tahapan Penelitian	22
Gambar 3.2 Skema uji Tarik di towing tank (Molland dkk, 2011).....	26
Gambar 3.3 Model kapal	26
Gambar 3.4 Towing Tank	27
Gambar 3.5 Hydrophobic.....	27
Gambar 3.6 Superhydrophobic (lapisan bawah dan atas)....	28
Gambar 3.7 efek air pada permukaan tanpa pelapisan	29
Gambar 3.8 Pengujian pada kondisi 1 (tanpa pelapisan)	29
Gambar 3.9 pecepatan model kapal menggunakan hydrophobic	30
Gambar 3.10 efek air pada permukaan model dengan pelapisan hydrophobic	31
Gambar 3.11 Pengujian pada kondisi 2 (pelapisan hydrophobic)	31
Gambar 3.12 pecepatan model kapal menggunakan superhydrophobic	32
Gambar 3.13 efek air pada permukaan model dengan pelapisan superhydrophobic	33
Gambar 4.1 Hubungan kecepatan model kapal dengan Rt pada kondisi 1,2,3	39

Gambar 4.2 Hubungan kecepatan model kapal dengan R_t pada kondisi 1,2,3	39
Gambar 4.3 Hubungan kecepatan kapal dengan EHP pada kondisi 1,2,3	41
Gambar 4.4 Hubungan kecepatan model kapal dengan C_f model pada kondisi 1,2,3.....	44
Gambar 4.5 Hubungan kecepatan kapal dengan Renould number pada kondisi 1,2,3	47

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Ukuran utama kapal	35
Tabel 4.2 Ukuran utama model kapal	35
Table 4.3 Hubungan kecepatan model kapal dengan R_t pada kondisi 1,2,3	37
Tabel 4.4 Hubungan kecepatan kapal dengan R_t pada kondisi 1,2,3	38
Tabel 4.5 Hubungan kecepatan kapal dengan EHP pada kondisi 1,2,3	41
Tabel 4.6 Hubungan kecepatan model kapal dengan C_f pada kondisi 1,2,3	43
Tabel 4.7 Hubungan kecepatan model kapal dengan Renould number pada kondisi 1,2,3	46

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman yang serba modern sekarang, di mana energy banyak sekali di butuhkan semua orang sedangkan energy itu sendiri jumlahnya terbatas dan semakin menipis. Banyak kalangan melakukan inovasi dalam teknologi yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi atau menciptakan sesuatu yang ramah energi sehingga bisa mengurangi beban penggunaan energy yang akan berdampak juga pengurangan konsumsi bahan bakar sebagai salah satu sumber energy yang sangat di gemari.

Kapal adalah salah satu teknologi yang keberadaannya semakin di butuhkan di zaman yang semakin maju ini. Kapal banyak di gunakan untu sarana transportasi ataupun pengangkutan barang dari satu tempat ke tempat lain, kapal juga merupakan sarana pertahanan negara dari ancaman luar. Mengingat Indonesia yang sebageaian besar wilayahnya merupakan laut dan Indonesia merupakan negara dengan beratus-ratus pulau di dalamnya tentulah keberadaan kapal menjadi sangat penting.

Sebuah kapal berjalan dengan menggunakan suatu daya dorong yang dalam istilahnya disebut sebagai thrust. Daya dorong tersebut dihasilkan oleh suatu motor atau engine yang ditransmisikan melalui suatu poros (sistem transmisi yang banyak digunakan) kemudian daya tersebut disalurkan ke propeller. Daya dorong yang ditransmisikan tersebut dalam menggerakkan kapal akan sangat dipengaruhi oleh tahanan kapal.

Untuk pemilihan motor penggerak utama kapal adalah untuk menentukan jenis serta type dari motor penggerak utama kapal yang sesuai dengan kebutuhan kapal. Kebutuhan ini didasarkan dari besarnya tahanan kapal yang diakibatkan

oleh beberapa faktor diantaranya dimensi utama kapal serta kecepatan dan rute kapal yang diinginkan. Langkah – langkah dalam pemilihan motor penggerak utama kapal antara lain :

1. Menghitung besarnya tahanan kapal.
2. Menghitung besarnya kebutuhan daya motor penggerak utama kapal.
3. Menentukan jenis dan type dari motor penggerak utama kapal.

Tahanan (resistance) atau disingkat R kapal adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan di sini sebagian besar di pengaruhi oleh tahanan gesek kapal. Tahanan gesek kapal ini terjadi karena terjadi gesekan antara hull kapal dengan air. Kekasaran hull kapal sangat berpengaruh pada tahanan gesek suatu kapal. Jika tahanan gesek kapal di buat seminimal mungkin maka akan sangat berpengaruh pada tahanan total kapal, yang otomatis juga akan berpengaruh pada pemilihan engine kapal.

Superhydrophobic adalah sifat fisis molekul suatu material untuk “menolak” atau “menghindari” air. Seperti air diatas daun talas yang terlihat tidak sedikit pun membasahi daun tersebut. Bahkan, air tersebut akan berkumpul menjadi satu dan membentuk suatu bulatan. Nah, itulah yang disebut Hydrophobic Effect

Superhydrophobic akan menolak hampir semua cairan dengan menggunakan nanoteknologi eksklusif untuk melapisi obyek dan menciptakan hambatan udara pada permukaannya. Teknologi ini mempunyai spesifikasi kelebihan sebagai berikut :

1. Anti-basah – superhydrophobic membuat benda kering, air dan cairan lainnya tertolak.
2. Anti Karat – perlindungan korosi maksimum sejak lapisan superhydrophobic memastikan air dan

kelembaban pernah benar-benar menghubungi bahan dasar.

3. Anti-Beku – menghilangkan pembentukan es.
4. Anti-Kontaminasi – Debu, kotoran, air dan cairan lain yang mengandung bakteri atau radiasi akan hilang.
5. Mudah dibersihkan- Ketika debu, kotoran atau lainnya molekul menumpuk pada permukaan dilapisi superhydrophobic, hanya dengan semprotan air, maka akan hilang.

Untuk mengukur tingkat kebasahan suatu permukaan biasanya digunakan sudut kontak sebagai acuan. Kondisi hidrofobik dapat tercapai jika sudut kontak air dengan permukaan melebihi 90° , sedangkan superhidrofobik yaitu keadaan ketika sudut kontak air dengan sebuah permukaan lebih dari 150°

1.2 Perumusan Masalah dan Pembatasan Masalah

Tahanan (*resistance*) atau disingkat R kapal adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan di sini salah satunya di pengaruhi oleh tahanan gesek kapal. Tahanan gesek kapal ini terjadi karena terjadi gesekan antara lambung kapal dengan air. Kekasaran lambung kapal sangat berpengaruh pada tahanan gesek suatu kapal. Jika tahanan gesek kapal di buat seminimal mungkin maka akan sangat berpengaruh pada tahanan total kapal, yang otomatis juga akan berpengaruh pada pemilihan engine kapal.

Sedangkan kita tahu di sini Superhydrophobic akan menolak hampir semua cairan dengan menggunakan nanoteknologi eksklusif untuk melapisi obyek dan menciptakan hambatan udara pada permukaannya sehingga benda akan memiliki sifat seperti daun talas yang menolak air.

Berdasar uraian diatas disampaikan beberapa rumusan yang antara lain:

1. Bagaimana tahanan kapal setelah dilakukan pelapisan menggunakan *Superhydrophobic Coating* pada hull kapal.
2. Apa yang terjadi pada coefisien gesek pada hull kapal setelah dilakukan pelapisan menggunakan *Superhydrophobic Coating*.
3. Perbandingan efisiensi antara kapal yang menggunakan pelapisan biasa dengan kapal yang menggunakan *Superhydrophobic Coating* sebagai pelapisnya.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Tugas akhir ini hanya meneliti tentang pengurangan tahanan diakibatkan tahanan gesek model kapal.
2. Tugas akhir ini tidak membahas tentang durabilitas superhydrophobic dan teknik pengecatan.
3. Tugas akhir ini hanya meneliti tentang efek yang terjadi pada tahanan model kapal diakibatkan pelapisan superhydrophobic pada model dan pengaruh apa saja yang terjadi setelah dilakukan pelapisan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisa dan membuktikan apakah jika hull kapal dilapisi dengan superhydrophobic akan terjadi pengurangan tahanan.
2. Membandingkan tahanan kapal sebelum dan setelah dilakukan pelapisan menggunakan Superhydrophobic.
3. Mempelajari tentang pengurangan koefisien gesek pada benda yang telah dilapisi Superhydrophobic.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam meningkatkan Efisiensi tahanan talam menentukan engine yang akan di pakai.
2. Dapat diketahui apakah superhydrophobic bisa seefektif dugaan awal dalam pengurangan tahanan dan gesekan pada hull kapal.
3. Dapat dijadikan alternatif untuk menujung integritas sistem coating pada kapal karena akan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tahanan

2.1.1 Umum

Secara umum kapal yang bergerak di media air dengan kecepatan tertentu, akan mengalami gaya hambat (resistance) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya gaya hambat yang terjadi harus mampu diatasi oleh gaya dorong kapal (thrust) yang dihasilkan dari kerja alat gerak kapal (propulsor). Gaya hambat inilah yang biasa kita sebut dengan istilah tahanan kapal. (Surjo W Adji, 2008)

Gambar 2.1.1 menunjukkan beberapa kurva tahanan untuk benda yang bergerak di permukaan atau jauh terbenam didalam fluida yang sempurna dan fluida yang mempunyai viskositas. Koordinat horizontal adalah angka Froude

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

Sedangkan ordinatnya adalah koefisien tahanan yang di definisikan sebagai

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

V adalah kecepatan, L panjang benda, g percepatan gravitasi, ρ massa jenis, dan S luas permukaan basah benda. (Harvald, 1983)

Tahanan total diberi notasi RT, dapat di uraikan menjadi sejumlah komponen yang berbeda yang diakibatkan oleh berbagaimacam penyebab dan saling berinteraksi dalam cara yang benar-benar rumit. (Harvald, 1983)

2.1.2 Jenis-jenis Tahanan

Beberapa komponen tahanan yang di jelaskan secara singkat Menurut Harvald tahun 1983 adalah sebagai berikut :

1. Tahanan gesek, R_f : Tahanan gesek adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan cara mengintegalkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal.
2. Tahanan sisa, R_R : Tahanan sisa adalah kuantitas yang merupakan pengurangan dari tahanan total badan kapal, suatu tahanan gesek yang merupakan hasil perhitungan yang diperoleh dengan memakai rumus khusus. Secara umum bagian yang terbesar dari tahanan sisa pada kapal niaga adalah tahanan gelombang (wavemaking resistance)
3. Tahanan viskos, R_V : tahanan viskos adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan akibat pengaruh viskos.
4. Tahanan Tekanan, R_P : Tahanan tekanan adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalanmengintegalkan tegangan normal ke seluruh permukaan benda menurut arah gerak benda.
5. Tahanan Tekanan Viskos, R_{PV} : Tahanan Tekanan Viskos adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegalkan komponen tegangan normal akibat viscositas dan turbulensi.kuantitas ini tidak dapat langsung diukur, kecuali untuk benda yang terbenam seluruhnya, dalam hal ini sama dengan tahanan tekanan.
6. Tahanan gelombang (wavemaking resistance), R_W : Tahanan gelombang adalah komponen tahanan yang terkait dengan energy yang dikeluarkan untuk menimbulkan gelombang gravitasi.
7. Tahanan pola Gelombang (Wave pattern Resistance), R_{WP} : komponen tahanan yang disimpulkan dari hasil pengukuran elevasi gelombang yang jauh dari kapal atau model. Dalam halini medan kecepatan bawah permukaan (subsurface

velocity field), yang berarti momentum fluida, dianggap dapat di kaitkan dengan pola gelombang dengan memakai yang disebut teori linier. Tahanan yang disimpulkan demikian itu tidak termasuk tahanan pemecah gelombang (wavebreaking resistance).

8. Tahanan pemecah gelombang, R_{WB} : Tahanan pemecah gelombang adalah komponen tahanan yang terkait dengan pemecah gelombang yang ada di buritan kapal.

9. Tahanan Semprotan (Spray Resistance), R_S : Tahanan semprotan adalah komponen tahanan yang terkait dengan energi yang dikeluarkan untuk menimbulkan semprotan.

Terdapat juga beberapa tahanan yang termasuk sebagai tahanan tambahan, R_A . beberapa tahanan tambahan sebagai berikut:

11. Tahanan Anggota Badan (Appendage Resistance) : ini adalah tahanan dari bos poros, penyangga poros (shaft brackets), dan poros, lunas bilga, daun kemudi, dan sebagainya. Dalam memakai model fisik, model tersebut umumnya dilengkapi dengan anggota badan seperti itu, dan tahanan anggota badan tersebut disertakan dalam pengukuran tahanan. Umumnya lunas bilga tidak dipasang. Jika tanpa anggota badan maka tahanan disebut tahanan polos (barck resistance).

12. Tahanan kekasaran : ini adalah tahanan akibat kekasaran, misalnya kekasaran akibat korosi dan fouling pada badan kapal.

13. Tahanan udara : tahanan ini dialami oleh bagian dari badan utama kapal yang berada diatas permukaan air dan bangunan atas (superstructure) karena gerakan kapal juga menyusuri udara.

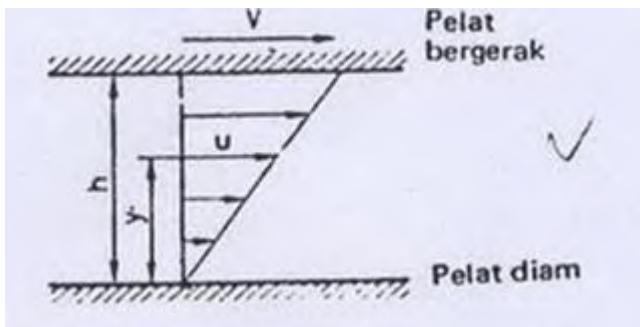
14. Tahanan kemudi (Steering Resistance) : untuk mempertahankan kelurusan lintasan, koreksi kedudukan umumnya dilakukan dengan memakai daun kemudi. Pemakaian daun kemudi menyebabkan timbulnya komponen tahanan tambahan yang disebut dengan tahanan kemudi.

2.1.3 Tahanan Gesek

Tahanan gesek adalah tahanan yang diterima kapal saat melaju yang dihasilkan akibat gesekan antara kulit lambung kapal (ship shell) dengan air. Partikel air yang terdapat pada lapisan batas (boundary layer) mengalami percepatan karena adanya kecepatan lambung kapal, sehingga menyebabkan drag karena friksi partikel air tersebut. Boundary layer ini semakin menebal apalagi jika lambung kapal tidaklah streamline, seperti tumbuhnya trip dan fouling. (Harvald, 1983)

Tahanan friksi kapal yang terkecil adalah pada saat kapal dalam kondisi baru dan kemudian akan bertambah seiring dengan semakin kasarnya permukaan lambung karena dilapisi cat yang berlapis-lapis, kerusakan lambung (deformasi, dll), korosi (pitting, dll). Hal-hal ini menyebabkan turunnya kecepatan kapal dan efisiensi secara gradual. (Harvald, 1983)

Semua fluida mempunyai viskositas, dan viskositas ini menimbulkan gesekan. Penting tidaknya gesekan ini dalam suatu situasi fisik tergantung pada jenis fluida dan konfigurasi fisik atau pola alirannya. Jika gesekan tersebut dapat diabaikan maka alirannya ideal. Viskositas adalah ukuran tahanan fluida terhadap geseran bila fluida tersebut bergerak. (Harvald, 1983)



Gambar 2.1 Aliran diantara plat yang sejajar (Sv.Aa. Harvald)

2.2 Model Kapal

Model fisik sering merupakan sarana yang enak dipelajari untuk masalah hidromekanis kapal. Dari segi biaya metode kapal bersekala tersebut merupakan metode yang efektif untuk mempraktikkan unjuk kerja calon sistem yang akan dibangun dengan kondisi yang terlalu pelik untuk dapat dianalisa secara lengkap memakai model matematis. (Harvald, 1983)

2.2.1 Kesamaan geometris

Mula- mula orang akan mengira bahwa membuat model yang mirip dengan suatu pola (Gb...) bukanlah hal yang sangat sulit. Model untuk badan kapal yang mulus dapat dibuat, tetapi jika badan kapal tersebut tidak lagi mulus maka sangatlah sulit untuk dapat menghasilkan tiruan permukaan tersebut dalam suatu skala. Bahkan sekalipun permukaan model tersebut merupakan tiruan persis dari permukaan kapal itu sendiri, aliran sepanjang permukaan tersebut tidak akan mirip dengan aliran yang sebenarnya karena sifat air. (Harvald, 1983)

Permukaan laut dan permukaan air di kolam model juga harus mirip. Membuat keduanya sama-sama mulus (rata) adalah hal yang paling mudah. Kondisi yang kapalnya mulus dan kapal tersebut bergerak di air yang permukaannya rata disebut “kondisi tangki”. Hampir disemua tangki percobaan, tekanan pada permukaan air sama dengan tekanan atmosfer, kondisi demikian juga tidak benar. Tekanan udara di dalam tangki percobaan harus diturunkan. (Harvald, 1983)

Faktor skala :

$$\lambda_L = \frac{L_S}{L_M} : \text{Skala panjang}$$

$$\lambda_P = \frac{P_S}{P_M} : \text{Skala massa jenis spesifik}$$

$$\lambda_V = \frac{V_S}{V_M} : \text{Skala kecepatan}$$

Darisini diperoleh :

$$\lambda_S = \lambda_L^2 \quad : \text{Skala permukaan}$$

$$\lambda_V = \lambda_L^3 \quad : \text{Skala volume}$$

$$\lambda_M = \lambda_P \lambda_L^3 \quad : \text{Skala massa}$$

$$\lambda_t = \frac{V_L}{V_V} \quad : \text{Skala waktu}$$

$$\lambda_t = \frac{\lambda_V^2}{V_L} \quad : \text{Skala percepatan}$$

2.2.2 Persamaan Dinamis

Kesamaan Dinamis ada antara model dan prototipe jika rasio dari semua kekuatan dalam model dan prototipe adalah sama. (Harvald, 1983)

Total tahanan = Tahanan gesek + tahanan sisa+ tahanan tambahan.

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

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

$$\frac{L_S V_S}{v_S} = \frac{L_M V_M}{v_M}, \quad \frac{V_S}{\sqrt{gL_S}} = \frac{V_M}{\sqrt{gL_M}}$$

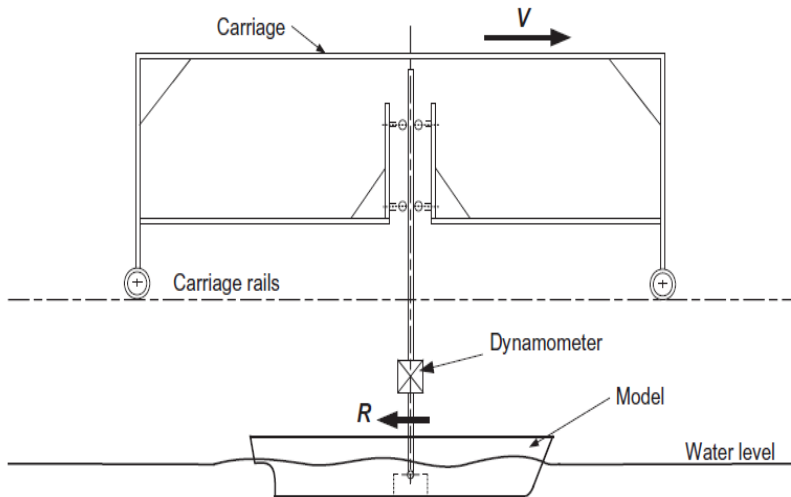
$$V_M = V_S \frac{v_M}{v_S} \frac{L_S}{L_M}, \quad V_M = V_S \sqrt{\frac{L_M}{L_S}}$$

Kedua kesamaan geometris dan Dinamis tidak dapat dicapai pada saat yang sama di uji model karena membuat R_n dan F_n sama untuk model kapal tidak mungkin secara fisik. (Harvald, 1983)

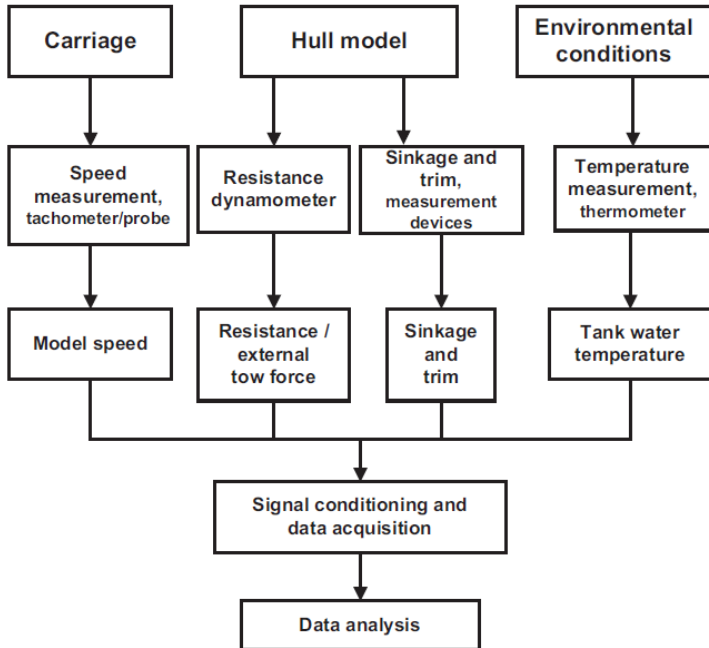
2.3 Towing Tank

Model kapal yang telah diskalakan bisa digunakan untuk mengetahui karakteristik-karakteristik hidrodinamika pada kolam uji di *Towing Tank*. *Towing tank* bisa menghasilkan keluaran berupa hambatan total (RT) kapal,

koefisien koefisien hambatan yang terjadi pada kapal, Froude Number, serta Reynold Number dari model yang diuji. *Towing tank* pada umumnya digunakan untuk mengetes hambatan dengan menggunakan model yang bergerak dalam tangki pada kecepatan tertentu sepanjang tangki.



Gambar 2.2 Skema uji Tarik di towing tank (Molland dkk, 2011)



Gambar 2.3 Pengukuran uji hambatan (Molland dkk, 2011)

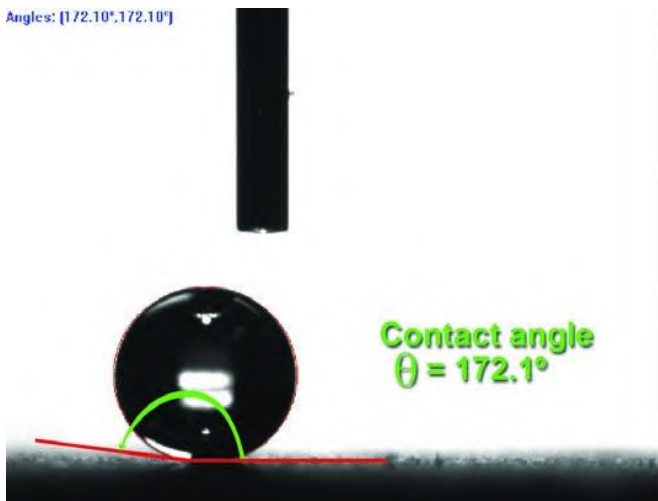


Gambar 2.4 Uji hambatan model (Molland dkk, 2011)

2.4 Superhydrophobic

Superhydrophobic akan menolak hampir semua cairan dengan menggunakan nanoteknologi eksklusif untuk melapisi obyek dan menciptakan hambatan udara pada permukaannya.

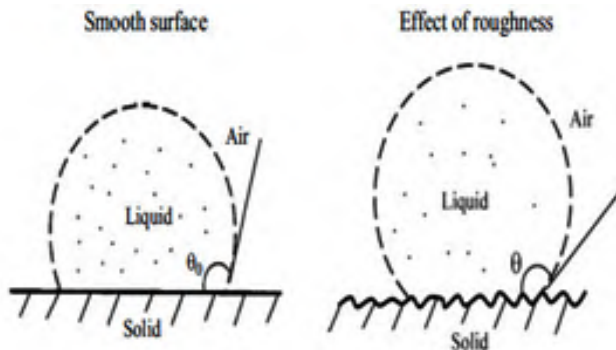
Lapisan superhydrophobic ini prosesnya dapat diterapkan ke permukaan apapun tanpa komposisi dan bisa diterapkan untuk geometri yang kompleks. Selain itu, dengan kontrol nano dari kekasaran permukaan, lapisan pameran kami hampir sempurna optic kejelasan (lihat Gambar 2.3.1). Seperti yang telah di jelaskan sebelumnya untuk mengukur tingkat kebasahan suatu permukaan biasanya digunakan sudut kontak sebagai acuan. Kondisi hidrofobik dapat tercapai jika sudut kontak air dengan permukaan melebihi 90° , sedangkan superhidrofobik yaitu keadaan ketika sudut kontak air dengan sebuah permukaan lebih dari 150° . (Gusnedi dkk, 2014)



Gambar 2.5 Sebuah mikroliter bentuk air hampir bola yang sempurna di permukaan lapisan ini. (C. Jeffrey Brinker , 2008)

2.4.1 Teori Wenzel

Wenzel memperkenalkan persamaan untuk menjelaskan hubungan sudut kontak pada permukaan kasar homogen. Besarnya area kontak akan semakin berkurang seiring dengan bertambah kasarnya permukaan, Gambar 2.4.2 memperlihatkan keadaan ini.



Gambar 2.6 Perbandingan sudut kontak dua permukaan (Gusnedi dkk, 2014)

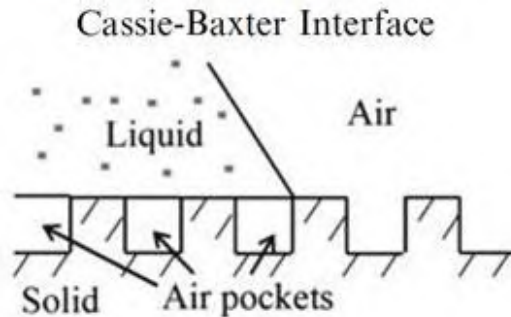
Gambar 2.6 Perbandingan sudut kontak yang dihasilkan dari interaksi cairan permukaan untuk permukaan datar (kiri) dan permukaan kasar (kanan).

Wenzel menemukan fakta bahwa permukaan kasar tidak semata membuat area kontak mengecil dan sudut kontak membesar, namun hal ini bergantung kepada sifat asli permukaan. (Gusnedi dkk, 2014)

2.4.2 Teori Cassie-Baxter

Cassie-Baxter menjelaskan hubungan sudut kontak dengan permukaan kasar heterogen, seperti hal permukaan daun teratai. Pada permukaan kasar heterogen, terdapat dua fraksi permukaan. Pertama dengan fraksi area f_1 dan sudut

kontak θ_1 dan yang lainnya f_2 dan θ_1 , dimana fraksi total, $f_1+f_2=1$



Gambar 2.7 Bentuk dari Cassie-Baxter Interface

Untuk permukaan kasar heterogen atau permukaan komposit seperti Gambar 2.3.2, yang terdiri dari fraksi *solid-liquid* ($f_1=f$, $\theta_1=\theta_0$) dan fraksi *liquid-air* ($f_2=f_{LA/SL}$, $\theta_1=-1$). (Gusnedi dkk, 2014)

Permukaan yang bersifat *hydrophobic* memiliki sudut kontak antara 90° - 150° . Untuk permukaan yang memiliki sudut kontak $>150^\circ$ disebut dengan istilah *superhydrophobic*, permukaan yang memiliki sudut kontak antara 10° - 90° disebut dengan istilah *hydrophilic* sedangkan untuk yang memiliki sudut kontak $<10^\circ$ disebut dengan istilah *superhydrophilic*. (Gusnedi dkk, 2014)

Superhydrophobic adalah nama yang diberikan untuk tingkat kebasahan suatu permukaan ketika sudut kontak air dengan sebuah permukaan lebih dari 150° . Sudut kontak disini adalah sudut dimana antarmuka cair / uap memenuhi permukaan padat. Sudut kontak di ilustrasikan dengan tetesan air kecil pada permukaan padat horizontal.

Sifat *hydrophobic* dipengaruhi oleh viskositas zat cair. Viskositas atau kekentalan zat cair merupakan gaya gesek antara molekul-molekul penyusun suatu cairan. Pada zat cair, viskositas disebabkan karena adanya gaya kohesi

(gaya tarik menarik antara molekul sejenis). Berdasarkan literatur sebelumnya telah banyak penelitian tentang sifat *hydrophobic* dari daun. Salah satunya (Bhusan, 2009) melakukan penelitian tentang sifat *hydrophobic* pada bahan yang bersifat mikro, nano dan menyimpulkan bahwa hidrofobitasnya suatu permukaan dapat dipelajari dengan menganalisis faktor kekasaran dan sudut kontak. Pada permukaan nano *hydrophobic*, peningkatan kekasaran akan menyebabkan besarnya sudut kontak, sedangkan pada permukaan nano *hydrophilic*, peningkatan kekasaran akan menyebabkan semakin menurunnya sudut kontak. (Gusnedi dkk, 2014)

2.4.3 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

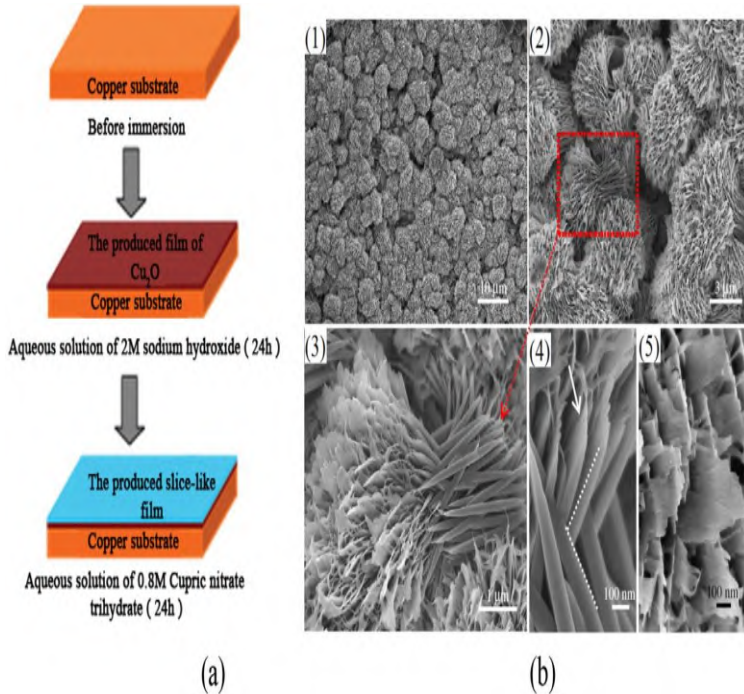
Permukaan Superhydrophobic diketahui menunjukkan penurunan turbulensi aliran dikarenakan terjadi slip terkait dengan lapisan udara yang terjebak pada antarmuka cair-padat (C. Henoeh dkk, 2006). Hal ini telah di buktikan melalui percobaan yang menunjukkan bahwa permukaan nanograss efektif dalam mengurangi gesekan kulit di keadaan terendam dalam berbagai kecepatan. Selain hasil yang disajikan di confrensi ini, percobaan saat ini sedang berlangsung untuk lebih mengukur pengurangan drag, dan untuk mengkarakterisasi secara lebih rinci struktur aliran turbulen karena permukaan superhydrophobic.

Pada pengujian lain permukaan hidrofobik diwakili oleh slip-batas kondisi di permukaan. Ketika kondisi slip-batas digunakan dalam arah streamwise, yang mengakibatkan gesekan kulit berkurang dan intensitas turbulensi dan struktur turbulensi, dekat-dinding vortisitas streamwise khususnya, secara signifikan melemah. Ketika kondisi slip-batas adalah digunakan dalam arah spanwise, di sisi lain, drag meningkat. Hal ini ditemukan bahwa dekat-dinding struktur turbulensi yang dimodifikasi secara berbeda, mengakibatkan peningkatan drag. Hal ini juga menemukan bahwa slip

panjang harus lebih besar dari nilai tertentu untuk memiliki efek yang nyata pada turbulensi (Taegge Min and John Kim, 2004)

Metode pelapisan superhydrophobic berdasarkan penyemprotan nanopartikel hidrofobik dan penggunaan kecepatan tinggi sistem towing tank untuk pengukuran hambatan telah menawarkan kemampuan seperti percobaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa permukaan superhydrophobic dengan sudut kontak yang lebih tinggi (Yaitu, fraksi udara yang lebih besar di permukaan) lebih bermanfaat untuk pengurangan hambatan tidak hanya di aliran laminar tetapi juga di lapisan batas turbulen. Selain itu, sangat penting untuk memiliki kontak yang lebih rendah angle hysteresis (yaitu, stabilitas yang lebih besar dari gelembung udara di permukaan) untuk pengurangan drag yang lebih efektif. Jika tidak, permukaan lapisan udara atau gelembung rentan terhadap laju geser tembok tinggi di turbulen lapisan batas aliran dan rawan habis oleh pengikisan. Kemudian, permukaan akan basah oleh air dan kekasaran pola permukaan superhydrophobic akan meningkatkan drag bahkan lebih buruk. Wawasan yang baru diungkapkan oleh studi eksperimental ini adalah besar signifikansi dalam desain dan rekayasa bahan superhydrophobic dan permukaan untuk pengurangan drag hidrodinamik efektif yang dapat berlaku sejauh bilangan Reynolds tinggi aliran turbulen bahwa banyak sistem rekayasa temui seperti permukaan kapal dan kendaraan bawah air. Hal ini menunjukkan bahwa untuk aplikasi yang lebih luas seperti yang morfologi permukaan lapisan superhydrophobic harus dioptimalkan sedemikian rupa sehingga meminimalkan penginduksian kekasaran permukaan sementara tetap mempertahankan sebagian kecil tinggi udara permukaan dengan stabilitas yang kuat dan daya tahan terhadap tekanan permukaan termasuk baik tekanan normal dan tegangan geser tangensial. (Elias Aljallis, dkk, 2013)

Untuk mengetahui struktur material benda yang sudah di lapisi dengan superhydrophobic telah banyak dilakukan penelitian tentang foto micron strktur superhydrophobic.



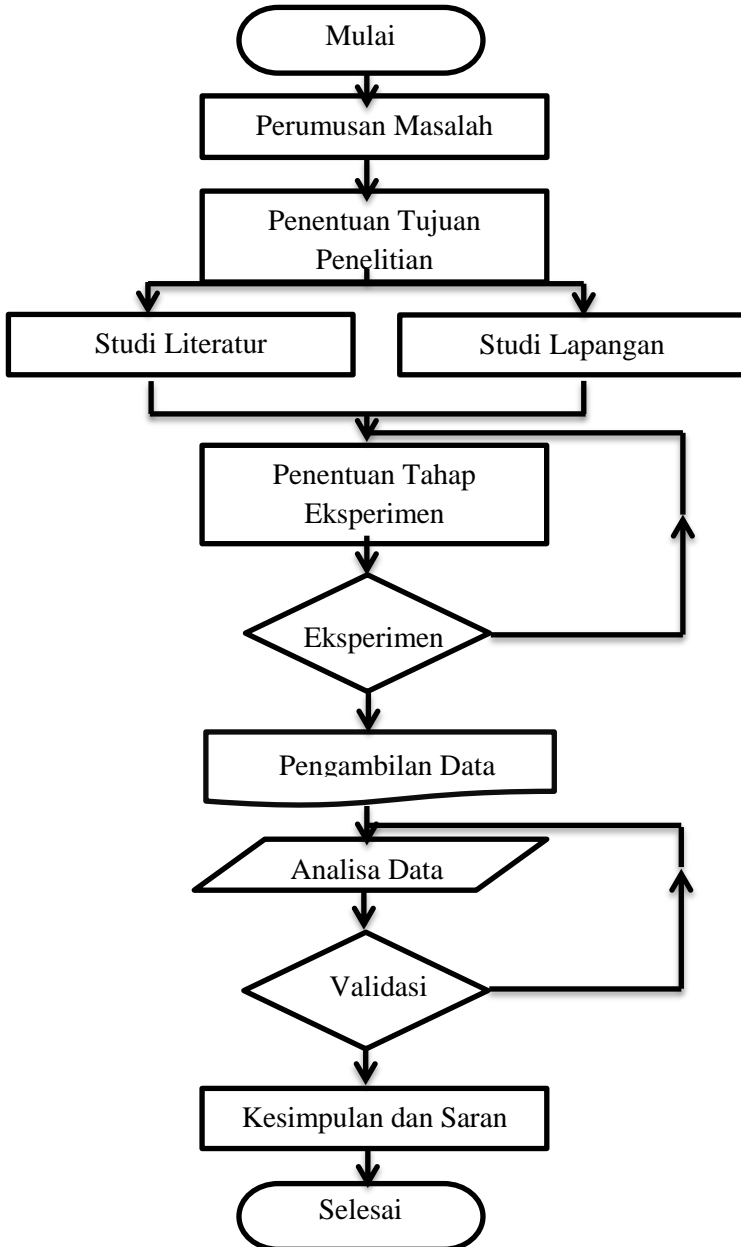
Gambar 2.8 Fabrikasi permukaan superhydrophobic dan biner mikro / struktur nano . (A) proses fabrikasi struktur biner pada foil tembaga [26] ; (B) SEM gambar dari CuO microcabbages terbentuk pada foil tembaga ; (1) rendah Magni fi kasi dengan skala bar 10 mm ; (2) tinggi Magni fi kasi dengan skala bar dari 3 mm ; (3) detail sebagian diperbesar (2) ; (4) dan (5) tepi tajam nanoplates CuO. (P.Zhang,F.Y.Lv, 2015)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart Tahapan Penelitian

Penelitian adalah proses mempelajari, memahami, menganalisis, dan memecahkan masalah berdasarkan fenomena yang ada dan juga merupakan rangkaian proses penyelesaian masalah secara sistematis. Untuk menyelesaikan permasalahan diatas akan digunakan metode perhitungan dan pengujian langsung. Desain pengujian dapat dilihat dalam flow chart dibawah. Dalam desain pengujian terdapat beberapa tahap penyelesaian yaitu pembuatan model, perhitungan tahanan yang terjadi sebelum dan sesudah pengecatan, dan simulasi serta anallisa model yang didesain.

Agar penelitian dapat terlaksana dengan baik dan terarah diperlukan metode penelitian yang berisi langkah-langkah yang harus dilakukan dalam melakukan penelitian mulai tahap identifikasi dan perumusan masalah sampai tahap akhir kesimpulan. Langkah-langkah dalam melakukan penelitian ini dapat dilihat pada flowchart berikut :



Gambar 3.1 Flowchart Tahapan Penelitian

3.2 Deskripsi Tahapan Penelitian

3.2.1 Perumusan Masalah

Langkah ini merupakan awal dari penelitian, yaitu mencari masukan terhadap masalah yang diteliti melalui observasi. Rumusan masalah dari penelitian ini adalah berapa tahanan yang terjadi pada model sebelum dan sesudah menggunakan pelapisan *Superhydrophobic coating*.

3.2.2 Penentuan Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini ditetapkan beberapa tujuan untuk memfokuskan permasalahan dengan hasil akhir berupa laporan akhir. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui tahanan yang di hasilkan model sebelum dan sesudah dilakukan pelapisan *Superhydrophobic coating* dan keefektifannya.

3.2.3 Studi Literatur dan Studi Lapangan

Studi Literatur dilakukan untuk memperoleh hasil penelitian yang sesuai dengan permasalahan yang dibahas dengan cara mempelajari teori-teori yang relevan dengan topik kajian. Adapun teori yang mendukung dalam penelitian ini adalah teori tentang tahanan kapal yang perpedoman pada HARVALD , hubungan tahanan efisiensi, dan *superhydrophobic*.

Studi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi nyata di lapangan mengenai cara pengujian tahanan pada model. Mengetahui bagaimana bentuk model, langkah-langkah yang di perlukan untuk melakukan pengujian pada model, dan kendala-kendala apa saja yang terjadi saat pengujian.

3.2.4 Penentuan Tahap Eksperimen

Teknis eksperimen pada penelitian ini adalah menggunakan satu model kapal yang sudah tersedia di Lab Hidrodinamika ITS. Pada eksperimen tahap pertama dilakukan pengamatan tentang data awal kapal model seperti berapa dimensi model, material yang di gunakan model, dan tahanan yang dimiliki model sebelum pelapisan. Pada tahap

kedua dilakukan pelapisan hull pada model lalu dilakukan pengujian tahanan menggunakan uji towing sehingga didapatkan tahanan yang baru setelah pelapisan.

3.2.5 Eksperimen

Percobaan model kapal dilaksanakan pada Laboratorium Hidrodinamika Fakultas Teknologi Kelautan ITS dengan ukuran tangki percobaan sebagai berikut:

Panjang	: 50 meter	Lebar	: 3 meter
Dalam	: 2 meter	Sarat	: 1.8 meter

Kereta penarik model kapal menggunakan 4 buah motor listrik linier yang memungkinkan dicapainya kecepatan konstan yang diinginkan dengan waktu yang relatif singkat sehingga tersedia waktu pengukuran yang cukup sebelum kereta berhenti pada ujung tangki atau kolam. Selama percobaan model kapal ditarik oleh kereta dengan mempergunakan poros vertikal yang dilengkapi *load cell*, dimana load cell inilah yang mengukur besarnya *force* atau hambatan model kapal. *Load cell* lalu dihubungkan ke penguat tegangan sebelum masuk ke jaringan komputer didalam ruang kontrol.

Percobaan ini dilakukan dalam kondisi air tenang (*calm water condition*) dan selama percobaan model kapal dapat melakukan gerakan mengangguk (*heaving* dan *pitching*) secara bebas. Percobaan tarik ini dilakukan pada beberapa kecepatan (16 sampai 24 knots) sehingga dapat diperoleh grafik hubungan antara tenaga kuda efektif (EHP) dan kecepatan kapal (knots).

3.2.6 Pengambilan Data

Data yang diambil dari penelitian ini adalah dimensi model, tahanan kapal model sebelum dan sesudah di lakukan pelapisan, tahanan kapal saat di lakukan variasi kecepatan, berapa lama lapisan akan bertahan, koefisien gesek yang di dapatkan setelah dilakukan pelapisan.

3.2.7 Analisa Data

Dalam penelitian ini menggunakan analisa data kuantitatif. Menganalisa dan membandingkan antara data kapal sebelum dilakukan pelapisan dan setelah di lakukan pelapisan. Lalu menghitung apakah terjadi sesuai dugaan awal yaitu meningkatkan efisiensi setelah dilakukan pelapisan.

3.2.8 Perbandingan

Membandingkan antara hasil analisa data dengan rumus empiris.

3.2.9 Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan pengumpulan dan analisa data serta hasilnya dihubungkan dengan teori-teori yang telah ada, maka dapat ditarik kesimpulan dari kegiatan penelitian ini. Kesimpulan yang didapat sesuai atau berbeda dengan hipotesa awal, maka akan dapat dibuat saran dan masukan bagi industry perkapalan.

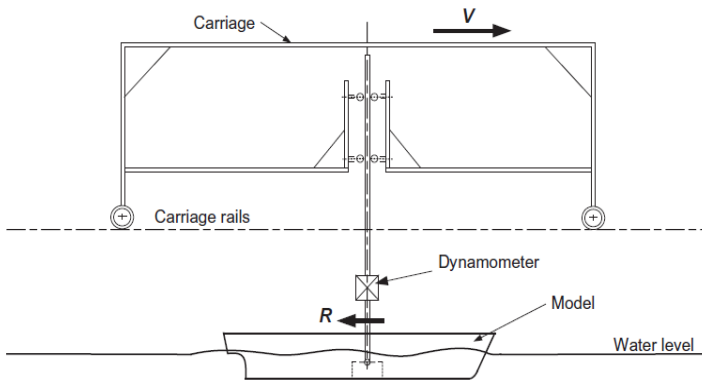
3.3 Alat dan Bahan

Dalam eksperimen kali ini terdapat beberapa komponen utama yang di butuhkan untuk bisa menyelesaikan eksperimen ini. Dalam pngoperasiannya juga dibutuhkan langkah-langkah yang benar untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

3.3.1 Komponen Utama

Penelitian ini di tujukan untuk mencari perbedaan antara kondisi dimana sebelum dilakukan pelapisan dan setelah dilakukan pelapisan, sehingga nanti didapatkan data yang menunjukkan efisiensi dan efetifitas pelapisan untuk diterapkan secara nyata.

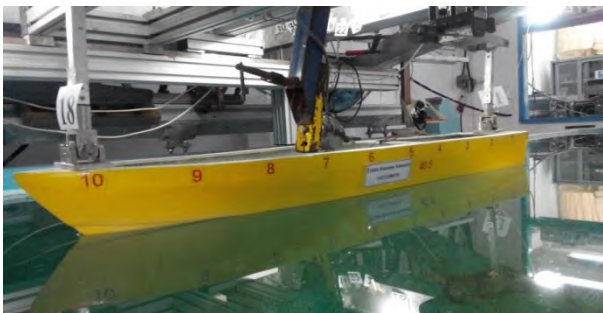
Pada eksperimental pengujian tahanan kali ini terdiri dari beberapa komponen utama sistem untuk mendapatkan hasil tahanan kapal model dari pengujian. Secara detail rangkaian komponen ini dapat di tunjukkan dengan gambar berikut :



Gambar 3.2 Skema uji Tarik di towing tank (Molland dkk, 2011)

- Model Kapal.

LOA	: 1.000 m
LPP	: 0.9358 m
B	: 0.1852 m
H	: 0.0901 m
T	: 0.0444 m
WSA	: 0.1685 m ²
Displasment	: 3.3795 kg



Gambar 3.3 Model kapal

- Towing Tank.
Panjang kolam : 50 meter
Lebar Kolam : 3 meter
Kedalaman kolam : 2 meter



Gambar 3.4 Towing Tank

- Hydrophobic Coating 5 x 60 ml



Gambar 3.5 Hydrophobic

- Superhydrophobic Coating dan Sprayer. 4 x 170 ml



Gambar 3.6 Superhydrophobic (lapisan bawah dan atas)

3.4 Langkah-langkah Pengujian

Setelah menyiapkan komponen-komponen utama yang diperlukan dalam pengujian kali ini, maka terdapat beberapa langkah-langkah dalam pengujian untuk mendapatkan data yang diinginkan sebagai berikut :

3.4.1 Pengujian Tahap 1 (tanpa pelapisan)

Setelah mendapat model kapal, model kapal di gosok dengan amplas halus untuk meratakan cat cat yang telah terkelupas lalu model di cat ulang. Setelah di cat ulang lalu model kapal di basahi dengan air untuk melihat efek awal antara hull model kapal dengan air seperti gambar 3.7 berikut :



Gambar 3.7 efek air pada permukaan tanpa pelapisan

Dapat dilihat pada gambar 3.7 bahwa air akan mengalir secara normal saat di tumpahkan di atas permukaan model kapal. Setelah dilakukan pengujian efek air dan permukaan maka selanjutnya kapal dengan kondisi tanpa pelapisan (cat biasa) di lakukan pengujian tahanan.



Gambar 3.8 Pengujian pada kondisi 1 (tanpa pelapisan)

3.4.2 Pengujian Tahap 2 (pelapisan hydrophobic)

Setelah dilakukan pengujian tahanan dengan kondisi model tanpa pelapisan (cat biasa) lalu model di jemur sampai kering setelah itu dilakukan pelapisan model menggunakan hydrophobic coating.



Gambar 3.9 pengecatan model kapal menggunakan hydrophobic

Proses pengecatannya menggunakan spray. Disemprotkan pada jarak 8-10 cm dengan kemiringan 45°. Dapat di lihat di gambar diatas bahwa model terlihat mengkilat. Setelah selesai dilakukan pengecatan maka model dibiarkan untuk di tunggu kering sampai 24 jam. Setelah kering maka dilakukan pengujian reaksi permukaan model terhadap air seperti gambar 3.10 berikut :



Gambar 3.10 efek air pada permukaan model dengan pelapisan hydrophobic

Dapat dilihat gambar 4.9, permukaan yang telah dituangkan air masih tetap kering dengan terdapat bulir-bulir air menempel di atasnya. Reaksi seperti gambar di atas disebut hydrophobic effect. Setelah dirasa efek sudah memenuhi kriteria maka dilakukan pengujian tahap ke 2 dengan pelapisan hydrophobic.



Gambar 3.11 Pengujian pada kondisi 2 (pelapisan hydrophobic)

Setelah dilakukan lima kali pengujian tahanan pada kondisi pelapisan menggunakan hydrophobic, lalu saya mengamati apakah efek dari pelapisan masih utuh atau telah terkikis.

3.4.1 Pengujian Tahap 3 (pelapisan superhydrophobic)

Setelah pengujian dengan kondisi 2 model di keringkan dahulu lalu dilanjutkan dengan melapisi model kapal dengan superhydrophobic. Superhydrophobic yang digunakan dalam pengujian ini memiliki dua macam lapisan yaitu lapisan bawah dan lapisan atas. Lapisan bawah berfungsi sebagai perekat disegala jenis permukaan sehingga lapisan atas bisa menempel dengan kuat. Proses pengecatannya pertama menggunakan lapisan bawah dahulu, lalu di tunggu 24 jam sampai kering barulah dilakukan pengecatan dengan lapisan atas seperti gambar 4.12 berikut :



Gambar 3.12 pengecatan model kapal menggunakan superhydrophobic

Setelah dilakukan pengecatan dengan lapisan atas lalu model di tunggu sampai 24 jam dan model siap untuk di uji. Pertama tama dilakukan pengujian terhadap efek

superhydrophobic pada pelapisannya seperti gambar 4.13 berikut :



Gambar 3.13 efek air pada permukaan model dengan pelapisan superhydrophobic

Dari gambar 3.13 di atas dapat dilihat bahwa air hampir sama sekali tidak membasahi permukaan model, efek yang terjadi sama saat air di tumpahkan keatas daunt alas, air tersebut akan berbentuk bulir-bulir yang tidak menempel ke permukaan. Dapat diamati juga bahwa model tidak lagi mengkilat seperti sebelumnya. Setelah itu dilakukan pengujian tahap ke 3 dengan pelapisan superhydrophobic.



Gambar 3.14 Pengujian pada kondisi 3 (pelapisan superhydrophobic)

Setelah dilakukan lima kali pengujian tahanan pada kondisi menggunakan pelapisan superhydrophobic, lalu diamati apakah efek dari pelapisan masih utuh atau telah terkikis.

Dari lima kali pengujian tahan, pelapisan superhydrophobic mengalami pengikisan yang sangat kecil yaitu di bagian haluan model kapal. Hal ini bisa disebabkan gesekan yang paling besar antara permukaan kapal dan air terjadi pada bagian haluan.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Kapal

Adapun data-data kapal yang digunakan dalam proses pengujian tahanan kali ini adalah sebagai berikut :

- Kapal

Tabel 4.1 Ukuran utama kapal

KAPAL			
LOA	Length Overall	=	40.5 m
LPP	Length Part Perpendicular	=	37.9 m
B	Breadth	=	7.5 m
H	Height	=	3.65 m
T	Draught	=	1.8 m
WSA	Water Surface Area	=	276.38 m ²
DISPLACEMENT			224.5 ton

- Model Kapal

Tabel 4.2 Ukuran utama model kapal

MODEL KAPAL			
LOA	Length Overall	=	1.000 m
LPP	Length Part Perpendicular	=	0.9358 m
B	Breadth	=	0.1852 m
H	Height	=	0.0901 m
T	Draught	=	0.0444 m
WSA	Water Surface Area	=	0.1685 m ²
DISPLACEMENT			3.3795 kg

Dari data di atas dapat diketahui bahwa skala antara model kapal dan kapal asli adalah 1 : 40.5.

4.2 Percobaan

Pada tahap ini akan dilakukan percobaan terhadap model kapal dengan menggunakan beberapa kondisi sebagai variasinya.

- Kondisi 1 model kapal tanpa menggunakan pelapisan (cat biasa). Pada kondisi satu dilakukan lima kali pengujian tahanan dengan kecepatan 16 knot, 18 knot, 20 knot, 22 knot, 24 knot.
- Kondisi 2 model kapal menggunakan pelapisan Hydrophobic. Pada kondisi satu dilakukan lima kali pengujian tahanan dengan kecepatan 16 knot, 18 knot, 20 knot, 22 knot, 24 knot.
- Kondisi 3 model kapal menggunakan pelapisan Superhydrophobic. Pada kondisi satu dilakukan lima kali pengujian tahanan dengan kecepatan 16 knot, 18 knot, 20 knot, 22 knot, 24 knot.

Sedangkan analisis hasil percobaan didasarkan pada sifat-sifat fisik berikut:

Percepatan gravitasi, $g = 9.81 \text{ m/det}^2$.
 Density air laut ($28 \text{ }^\circ\text{C}$) $\rho = 1022.25 \text{ kg/m}^3$
 Viskositas Kinematis air laut ($28 \text{ }^\circ\text{C}$) $\nu = 0.8847 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$
 Density dan Viskositas kinematis air tawar ditangki percobaan dihitung berdasarkan temperatur air pada waktu dilakukan percobaan yaitu ($27 \text{ }^\circ\text{C}$)
 $\rho_{\text{air tawar}} (27 \text{ }^\circ\text{C}) = 996.45 \text{ Kg/m}^3$ $\nu_{\text{air tawar}} (27 \text{ }^\circ\text{C}) = 0.85409 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$

4.3 Analisa data dan grafik

Uji tarik model dilakukan pada 1 macam sarat yaitu 0.0444 m atau pada kapal sesungguhnya adalah 1.80m. Kapal

ditarik pada beberapa kecepatan dari 16 knots sampai 24 knots atau pada skala model adalah 1.2933 m/detik sampai 1.9399 m/detik (atau angka Froude 0.413 sampai 0.6194) pada skala model. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik hambatan dan besarnya tenaga penggerak kapal pada berbagai kecepatan. Secara keseluruhan pengujian model berada pada moda kapal lambatdimana menurut referensi fase sedang (F_n antara 0.40 sampai 0.60) dan fase cepat terjadi pada $F_n > 0.60$.

Model diuji pada kondisi perairan tenang dimana hasil akhir estimasi tenaga penggerak adalah berupa besaran EHP (*effective horse power*). Untuk mengetahui besarnya ukuran mesin maka hasil pengukuran harus dikoreksi dengan menyertakan koreksi efisiensi badan kapal, poros propeller, propeller, kemudi, perairan dimana kapal akan dioperasikan, dan lain-lain.

Berikut adalah data selengkapnya dari hasil percobaan dan perhitungan pada model kapal.

Tabel 4.3 Hubungan kecepatan model kapal dengan R_t pada kondisi 1,2,3

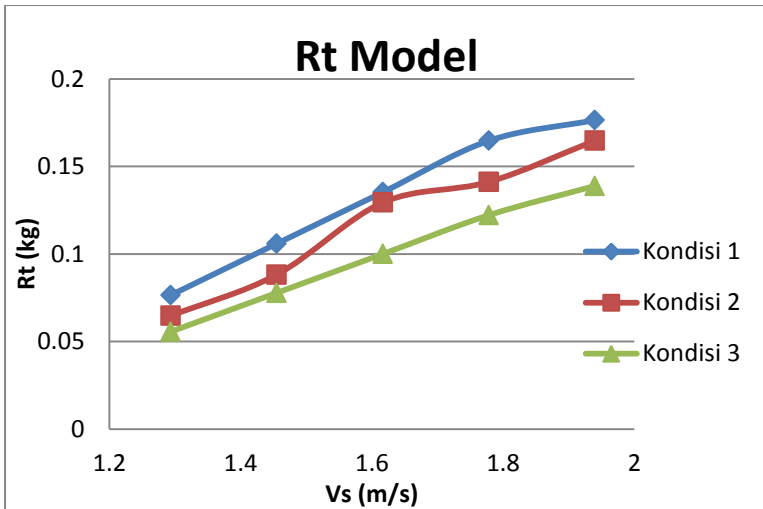
MODEL KAPAL				
Run Ke:	V(m/s)	R_t (kg) 1	R_t (kg) 2	R_t (kg) 3
1	1.2933	0.0765	0.0647	0.0556
2	1.4549	0.1118	0.0882	0.0778
3	1.6166	0.1412	0.1294	0.1000
4	1.7783	0.1647	0.1412	0.1222
5	1.9399	0.1765	0.1647	0.1389

Tabel 4.4 Hubungan kecepatan kapal dengan R_t pada kondisi 1.2.3

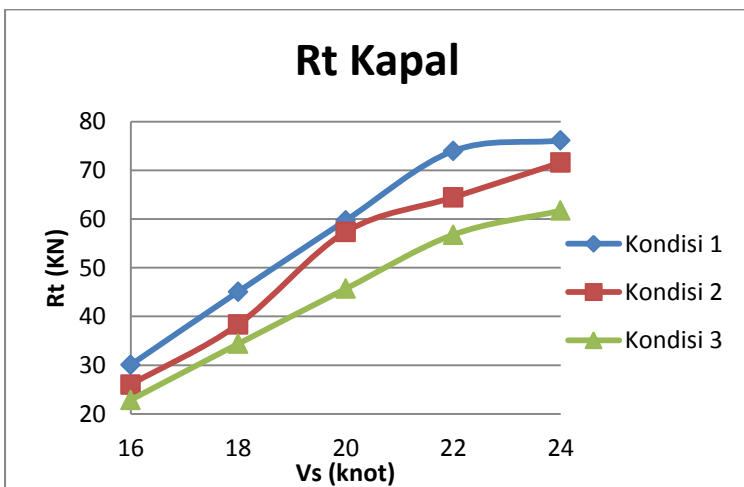
KAPAL				
Run Ke:	V (knot)	Rt (KN) 1	Rt (KN) 2	Rt (KN) 3
1	16	30.06902	26.02133	22.86734545
2	18	45.07979	38.3549	34.37967501
3	20	59.70461	57.36188	45.68225137
4	22	73.96232	64.44166	56.77083235
5	24	76.1087	71.59619	61.7275038

Data-data pada tabel di atas akan di plotkan dalam bentuk grafik, dimana grafik-grafiknya akan menunjukkan hubungan antara tahanan pada ke lima variabel kecepatan dalam kondisi 1, 2, dan 3. Dimana kondisi 1 adalah kondisi tanpa pelapisan, kondisi 2 adalah kondisi menggunakan pelapisan hydrophobic, dan kondisi 3 adalah kondisi menggunakan pelapisan superhydrophobic.

Pada grafik-grafik ini nantinya akan dilakukan pembahasan untuk menjawab rumusan masalah yang nantinya akan digunakan untuk menarik kesimpulan.



Gambar 4.1 Hubungan kecepatan model kapal dengan Rt pada kondisi 1,2,3



Gambar 4.2 Hubungan kecepatan model kapal dengan Rt pada kondisi 1,2,3

Hubungan antara kecepatan kapal dengan R_t secara teori didapatkan dari persamaan berikut :

$$R_t = \frac{1}{2} C_t \rho V^2 S \quad (4.1)$$

Dimana : R_t = Tahanan total kapal
 C_t = Coefisien tahanan tota
 ρ = massajenis air
 V = kecepatan kapal
 S = luas permukaan basah kapal

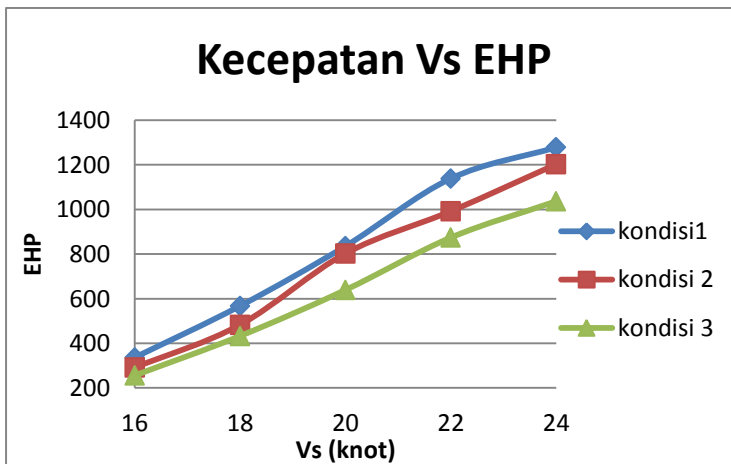
Sehingga di ketahui hubungan antara R_t dan kecepatan kapal secara teori adalah berbanding lurus. Artinya semakin besar peningkatan kecepatan kapal maka R_t akan semakin besar.

Fluktuasi hubungan antara kecepatan kapal (knots) dengan hambatan total kapal (KN) diperlihatkan pada Gambar di atas. Terlihat dengan jelas adanya peningkatan hambatan seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal dimana peningkatan ini relatif teratur. Peningkatan ini diikuti dengan timbul dan meningkatnya intensitas *wave breaking* yang umumnya terjadi seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal.

Hubungan antara kondisi 1, 2, dan 3 dalam grafik di atas di tunjukkan dengan penurunan tahanan pada model kapal dan kapal. Hal ini membuktikan dari hipotesa awal bahwa setelah di lakukan pelapisan menggunakan hydrophobic dan superhydrophobic dapat mengurangi tahanan pada kapal. Penurunan tahanan ini bisa terjadi dikarenakan saat model dilapisi dengan hydrophobic dan superhydrophobic maka permukaan kapal akan memiliki efek yang menolak air, sehingga terjadi slip antara hull kapal dan air yang mengakibatkan berkurangnya gesekan antara hull dan air sehingga tahanan kapal akan berkurang.

Tabel 4.5 Hubungan kecepatan kapal dengan EHP pada kondisi 1.2.3

KAPAL				
No :	V (knot)	Pwr(EHP) 1	Pwr(EHP) 2	Pwr(EHP) 3
1	16	336.5774	291.2696	255.965
2	18	567.6511	482.9702	432.913
3	20	835.3661	802.5875	639.170
4	22	1138.366	991.8322	873.769
5	24	1277.851	1202.086	1036.393



Gambar 4.3 Hubungan kecepatan kapal dengan EHP pada kondisi 1.2.3

EHP adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (*hull*), agar kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain dengan kecepatan servis sebesar V . Daya Efektif ini merupakan fungsi dari besarnya gaya hambat total dan kecepatan kapal. Untuk mendapatkan besarnya Daya Efektif kapal,

Secara umum hubungan antara kecepatan kapal dengan power (EHP) secara teori didapatkan dari persamaan berikut :

$$EHP = R_t \times V \quad (4.2)$$

Dimana : EHP = Effective horse power
 R_t = Tahanan total kapal
 V = kecepatan kapal

Sehingga di ketahui hubungan antara EHP dan kecepatan kapal secara teori adalah berbanding lurus. Artinya semakin besar peningkatan kecepatan kapal maka EHP akan semakin besar.

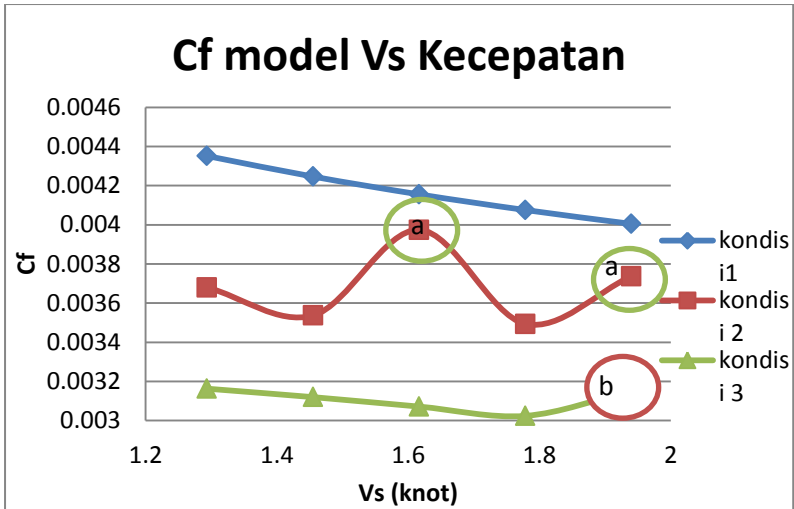
Gambar grafik 4.3 memperlihatkan hubungan antara kecepatan (knots) dengan besarnya tenaga penggerak kapal (EHP). Seperti halnya hubungan kecepatan dengan hambatan total (Gambar 4.2) maka pada Gambar 4.3 terlihat jelas adanya peningkatan EHP sebagai akibat dari bertambahnya kecepatan kapal. Pada kondisi 1 Pada kecepatan 16 knots besarnya EHP kapal adalah 336.57 HP, pada kecepatan 18 knots adalah 567.65 HP, pada kecepatan 20 knots adalah 835.36 HP dan pada kecepatan 22 knots adalah 1138.36 HP. Besarnya EHP pada kecepatan 24 adalah 1277.85 HP

Hasil-hasil tersebut menegaskan bahwa makin tinggi kecepatan kapal maka peningkatan EHP semakin besar sebagai akibat dari penguatan terbentuknya wave *breaking*. Jika dicermati lebih lanjut maka terlihat dengan jelas bahwa wave *breaking* terbentuk sejak kecepatan 16 knots dan makin meningkat pada kecepatan di atasnya serta menjadi *excessive* pada kecepatan 20 knots keatas. *Wave breaking* cenderung dibuang keluar karena bentuk/desain kapal yang baik. Akan tetapi, di bagian belakang kapal terbentuk wave yang cukup besar, terutama pada kecepatan 22 knots ke atas. Visualisasi hasil pengujian model ini dapat dilihat pada video terlampir.

Pada kondisi 1 pada kecepatan 16 knot EHPnya adalah 336.5 HP , pada kondisi 2 pada kecepatan yang sama EHPnya adalah 291.26 HP , pada kondisi 3 dengan kecepatan yang sama EHPnya adalah 255.96 HP. Dari data tersebut dapat di simulkan bahwa setelah dilakukan pelapisan menggunakan hydrophobic dan superhydrophonic daya yang di butuhkan kapal pada kecepatan yang sama semakin menurun. Penurunannya berbanding lurus dengan tingkat ke hydrophobic-an suatu pelapis.

Tabel 4.6 Hubungan kecepatan model kapal dengan C_f model pada kondisi 1,2,3

MODEL KAPAL				
No :	V (m/s)	Cf 1	Cf 2	Cf 3
1	1.2933	0.004352	0.003681	0.003162931
2	1.4549	0.004247	0.003537	0.003119799
3	1.6166	0.004156	0.003974	0.003071401
4	1.7783	0.004076	0.003494	0.003024043
5	1.9399	0.004005	0.003737	0.003151757



Gambar 4.4 Hubungan kecepatan model kapal dengan C_f model pada kondisi 1,2,3

Hubungan antara kecepatan kapal dengan C_f secara teori didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_f = \frac{0.075}{(\text{Log } R_n - 2)^2} \quad (4.1)$$

Sedangkan R_n :

$$R_n = \frac{VL}{\nu} \quad (4.2)$$

Sehingga didapatkan :

$$C_f = \frac{0.075}{(\text{Log } (\frac{VL}{\nu}) - 2)^2} \quad (4.3)$$

Dimana : C_f = koefisien gesek
 R_n = Reynold number
 V = Velocity model kapal

- L = Panjang model
 v = Viskositas kinematik air

Sehingga di ketahui hubungan antara C_f dan kecepatan kapal secara teori adalah berbanding terbalik. Semakin besar peningkatan kecepatan kapal maka C_f akan semakin kecil.

Dari data table 4.6 dan grafik 4.4 di atas dapat di deketahui semakin tinggi kecepatan kapal, koefisien gesek cenderung semakin menurun. Hal ini bisa dikarenakan semakin tinggi kecepatan maka semakin banyak slip yang terjadi antara plat dan air sehingga gesekan cenderung menurun.

- a) Lalu dapat di lihat di kondisi 2 pada kecepatan 1.6 m/s dan 1.9 m/s terjadi lonjakan koefisien gesek secara signifikan hal ini bisa disebabkan kurang meratanya prosedur pengecatan atau terjadi pengikisan pada pelapisan diakibatkan oleh lemahnya durabilitas pelapis yang menggunakan hydrophobic sehingga permukaan plat semakin kasar.
- b) pada kondisi 3 pada kecepatan 1.9 m/s terjadi lonjakan koefisien gesek secara signifikan pada pengujian terakhir hal ini bisa terjadi pengikisan pada pelapisan yang bisa diakibatkan lemahnya durabilitas yang dimiliki cat atau kesalahan pada prosedur pengecatan yang menggunakan superhydrophobic sehingga permukaan plat semakin kasar.

Untuk perhitungan C_f pada kondisi 2 dan 3 dilakukan dengan dengan cara mengkalikan presentase penurunan R_t model pada pada kondisi 2 dan 3 dengan C_f kondisi awal. Lalu lakukan validasi dengan rumus empiris :

$$\Delta C_f = [105 \left(\frac{ks}{L}\right)^{1/3} - 0.64] / 1000 \quad (4.4)$$

Dimana : ΔC_f = perbedaan koefisien gesek

ks = tingkat kekasaran material (untuk
cat pelapis $100-150 \cdot 10^{-6}$)

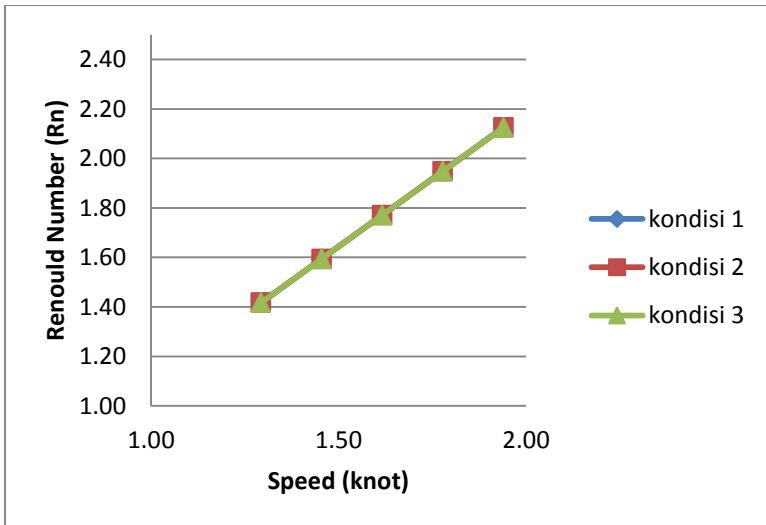
L = Panjang model

Analisa Aliran

Analisa aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dan garis-garis arusnya halus. Dalam aliran laminar, partikel-partikel arusnya halus dan pada aliran laminar juga terdapat partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan yang halus dan lancer, dengan satu lapisan meluncur secara halus.

Tabel 4.7 Hubungan kecepatan kapal dengan Renould number pada kondisi 1,2,3

MODEL KAPAL				
No :	V (m/s)	Rn 1 e ⁺⁶	Rn 2 e ⁺⁶	Rn 3 e ⁺⁶
1	1.2933	1.4170	1.4170	1.4170
2	1.4549	1.5941	1.5941	1.5941
3	1.6166	1.7713	1.7713	1.7713
4	1.7783	1.9484	1.9484	1.9484
5	1.9399	2.1255	2.1255	2.1255



Gambar 4.5 Hubungan kecepatan kapal dengan Reynold number pada kondisi 1,2,3

Reynold number (Rn) berbanding lurus dengan kecepatan dimana semakin tinggi kecepatan maka semakin tinggi Rn yang di dapat. Sedangkan Rn berbanding lurus dengan aliran, semakin tinggi Rn maka semakin turbulen suatu aliran. Turbulensi aliran inilah yang bisa mempengaruhi tahanan kapal.

Hubungan antara kecepatan kapal dengan nilai Reynold number dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Rn = \frac{VL}{\nu} \quad (4.4)$$

Dimana : Rn = Reynold number
 V = Velocity model kapal
 L = Panjang model
 ν = Viskositas kinematik air

dikarenakan perbandingan antara nilai reynold number dengan kecepatan yang diberikan pada model inilah yang menyebabkan nilai hambatan bertambah seiring dengan bertambahnya kecepatan pada model kapal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan serangkaian kegiatan penelitian selama satu semester, didapat beberapa kesimpulan dan saran yang digunakan sebagai sarana evaluasi untuk pengembangan dan keberlanjutan kegiatan penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen, analisa data, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada eksperimen kondisi 1 tahanan kapal tanpa pelapisan pada kecepatan 16 knot ; 30.069 Kn, 18 knot ; 45.079 Kn, 20 knot ; 59.70 Kn, 22 knot ; 73.96 Kn, 24 knot ; 76.10 Kn.
2. Pada eksperimen kondisi 2 tahanan kapal dengan pelapisan hydrophobic pada kecepatan 16 knot ; 22.19 Kn, 18 knot ; 26.02 Kn, 20 knot ; 57.36 Kn, 22 knot ; 64.44 Kn, 24 knot ; 71.59 Kn.
3. Pada eksperimen kondisi 3 tahanan kapal dengan pelapisan superhydrophobic pada kecepatan 16 knot ; 22.86 Kn, 18 knot ; 34.38 Kn, 20 knot ; 45.68 Kn, 22 knot ; 56.77 Kn, 24 knot ; 61.73 Kn.
4. Tahanan berbanding lurus dengan kecepatan, saat kecepatan bertambah maka tahanan juga bertambah.
5. Tahanan terbukti berkurang saat menggunakan hydrophobic dan superhydrophobic sebagai pelapis hull model kapal.

6. Untuk kondisi 2 (pelapis hydrophobic) rata-rata pengurangan tahanan pada kecepatan kapal 16-24 knot sebesar 10.22%.
7. Untuk kondisi 3 (pelapis superhydrophobic) rata-rata pengurangan tahanan pada kecepatan kapal 16-24 knot sebesar 22.66%.
8. Tahanan berkurang dikarenakan koefisien gesek berkurang.
9. Terjadi pengikisan yang cukup terlihat dari lima kali penarikan pada pelapisan hydrophobic. Hal ini bisa dikarenakan prosedur pengecatan yang kurang benar atau durabilitas catnya yang kurang.
10. Terjadi sedikit pengikisan pada sisi haluan model dari lima kali penarikan pada pelapisan superhydrophobic. Hal ini bisa dikarenakan prosedur pengecatan yang kurang benar atau durabilitas catnya yang kurang.

5.2 Saran

1. Data yang di hasilkan akan lebih akurat jika pengujian juga dilakukan dengan variasi model yang berbeda.
2. Perlu dilakukan studi lebih dalam tentang durabilitas hydrophobic dan superhydrophobic dalam kondisi benda terenda terendam secara terus menerus.

DAFTAR PUSTAKA

- Anthoni F. Molland, Stephen R. Turnock, Dominic A. Hudson. 2011. "Ship Resistance and Propulsion".
- C.Henco, C.Peguero, K.Breuer. 2006. "Turbulent Drag Reduction Using Superhydrophobic Surfaces", 3rd AIAA Flow Control Conference, San Francisco, California,
- Dahlia G, Ratna Wulan, Gusnedi. 2014. "Pengaruh Viskositas Fluida Terhadap Sifat Hydrophobic dari Berbagai Macam Daun", Fakultas Ilmu Matematika dan IPA UNP.
- Elias A, Mohammad Amin S, Raju D, Vinod S, Andrew J, Chang-Hwan C. 2012. "Experimental study of skin friction drag reduction on superhydrophobic flat plates in high Reynolds number boundary layer flow".
- Surjo W Adji. 2008. "Engine-Propeller Matching" Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- SV. Aa. Harvald. 1983. "Resistance and Propulsion of ship".
- J. -H. Chen, C.-C. Tsai, Y.-Z. Kehr, L. Horng, K. Chang, and L. Kuo. 2010. "An Experimental Study of Drag Reduction in a Pipe with Superhydrophobic Coating at Moderate Reynolds Numbers", EPJ Web of Conferences 6, 19005.
- Taegee Min, John Kim. 2004. "Effects of hydrophobic surface on skin-friction drag" Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of California, Los Angeles, California.
- Jeffery B. 2007. "Superhydrophobic Coating".

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Trisno Kusuma Sumantri lahir di Kabupaten Pasuruan pada tanggal 22 November 1993 dari orang tua bernama Sutriyono dan Nurul Khasanah. Merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Menempuh pendidikan di SDN Dermo 1 Bangil pada tahun 2000 dan melanjutkan ke jenjang selanjutnya di SMPN 1 Bangil pada tahun 2006 serta SMAN 1 Bangil pada tahun 2009 dengan mengambil program kelas IPA selama 3 tahun. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN undangan. Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, penulis mengambil bidang keahlian Marine Machinery and System (MMS). Penulis pernah melakukan kerja praktik di PT. Janata Marina Indah dan PT. Van Oord Indonesia. Selama masa studinya, penulis pernah mengikuti organisasi seperti UKM Catur, UKM Maritim Chalange, Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, dan kepanitiaan tingkat Jurusan seperti kegiatan Marine Icon. Penulis juga sering mengikuti kegiatan diluar jurusan seperti seminar dan pelatihan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”