

STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH BULBOUS BOW DAN

TANPA BULBOUS BOW MENGGUNAKAN DUALSPHYSICS

SKRIPSI

Diajukan guna memenuhi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik

pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



UTTI MULIYANA ABDULLAH

D031181315

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Tugas akhir ini untuk memenuhi salah satu syarat dalam mengikuti Seminar dan Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Perkapalan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Makassar

Judul Skripsi

STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH BULBOUS BOW DAN TANPA BULBOUS BOW MENGGUNAKAN DUALSPHYSICS

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Disusun oleh:

UTTI MULIYANA ABDULLAH

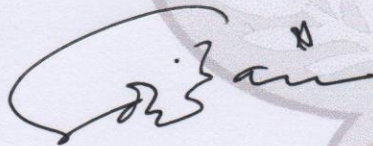
D031181315

Gowa, ... Agustus 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

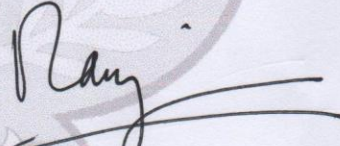
Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.

NIP : 19730206 200012 1 002



Ir. Hj. Rosmani, MT.

NIP : 19600620 198802 2 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.

NIP : 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : **Utti Mulyana Abdullah**
NIM : **D031181315**
Program Studi : **Teknik Perkapalan**
Jenjang : **S1**

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH BULBOUS BOW DAN
TANPA BULBOUS BOW MENGGUNAKAN DUALSPHYSICS”**

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 20 Agustus 2022

Yang Menyatakan,



Utti Mulyana Abdullah

STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH BULBOUS BOW DAN TANPA BULBOUS BOW MENGGUNAKAN DUALSPHYSICS

Utti Mulyana Abdullah, Suandar Baso & Rosmani

Departemen Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddiin, Gowa

Jl. Poros Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92119

ABSTRAK

Salah satu yang mempengaruhi besarnya nilai tahanan kapal adalah bentuk haluan kapal. Untuk kapal dengan bentuk haluan tanpa *bulbous bow* cenderung memiliki tahanan yang relatif besar dibandingkan kapal menggunakan *bulbos bow*. Salah satu cara untuk mendapatkan nilai tahanan dengan metode komputasi adalah menggunakan bantuan *software open-source*. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menentukan perbandingan nilai tahanan kapal menggunakan *bulbous bow* dan tanpa *bulbous bow* serta menentukan karakteristik aliran fluida yang terjadi di sepanjang lambung kapal berdasarkan analisis *DualSPHysics*. Pengambilan data dilakukan dengan mengolah ukuran utama dan gambar lines plan kapal, kemudian dengan menggunakan software *DualSPHysics (Smoothed Prticle Hydrodynamic)* untuk mendapatkan nilai tahanan dan karakteristik aliran fluida disepanjang lambung kapal. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui nilai tahanan model kapal menggunakan *bulbous bow* sebesar 2,475 N lebih kecil dibandingkan model kapal tanpa *bulbous bow* dengan nilai tahanan sebesar 2,715 N pada kondisi f_n 0,213 dengan persentase perbandingan sebesar 10,109%.

Kata kunci: tahanan kapal, *bulbous bow*, dan *DualSPHysics*

STUDY OF SHIP RESISTANCE DUE TO BOW EFFECT AND WITHOUT BULBOUS BOW USING DUALSPHYSICS

Utti Mulyana Abdullah, Suandar Baso & Rosmani

Naval Departement

Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa

Jl. Poros Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92119

ABSTRACT

One that affects the value of the ship's resistance is the shape of the ship's bow. For ships with a bow shape without a bulbous bow, it tends to have a relatively large resistance compared to ships using a bulbous bow. One way to get the value of prisoners with computational methods is to use the help of open-source software. Therefore, this study aims to determine the comparison of the value of the ship's resistance using a bulbous bow and without a bulbous bow and to determine the characteristics of the fluid flow that occurs along the hull based on DualSPHysics analysis. Data retrieval is done by processing the main size and lines plan images of the ship, then using the DualSPHysics (Smoothed Particle Hydrodynamic) software to obtain the resistance values and fluid flow characteristics along the ship's hull. Based on the calculation results, it is known that the resistance value of the ship model using a bulbous bow is 2.475 N, which is smaller than the ship model without a bulbous bow with a resistance value of 2.715 N at 0.213 fn condition with a comparison percentage of 10.109%.

Kata kunci: ship resistance, bulbous bow, dan DualSPHysics

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wa rahmattullahi wa barakatuh

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta shalawat dan salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir penelitian ini. Berdasarkan hasil seminar proposal, judul penelitian yang dikaji adalah

“STUDI TAHANAN KAPAL AKIBAT PENGARUH BULBOUS BOW DAN
TANPA BULBOUS BOW MENGGUNAKAN DUALSPHYSICS”

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri, karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh. Dalam penyusunan laporan penulis tidak mungkin melakukan sendiri tanpa adanya bantuan dari orang-orang disekitar. Melalui lembar ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Ayahanda Abdullah dan Ibunda Hatijah, atas segala dukungan, kesabaran pengorbanan, semangat, materi dan doanya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

2. Bapak Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT. selaku pembimbing I dan Ibu Ir. Rosmani, MT. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Ir. Rosmani, MT. selaku Kepala Labo Hidrodinamika Kapal.
5. Bapak Hamzah, ST., MT. selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam perencanaan mata kuliah.
6. Ibu Dr. Eng. A. Ardianti, ST., MT. dan Bapak Muhammad Akbar Asis, S.T., M.T., selaku penguji dalam tugas akhir ini.
7. Ibu Andi Dian Eka Anggraini, S.T., M.T., yang telah mengajarkan penggunaan *software DualSPHysics*.
8. Ibu Uti, Pak Afif, Kak Ani dan Kak Jeje selaku staf jurusan perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
9. Seluruh Dosen Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
10. Kepada teman saya Muhammad Fajrul Haq yang telah membantu saya mengawasi runningan ketika saya tidak berada di kampus dan Dian Jenni Maudy serta Humaerah yang senantiasa menemani saya menginap di kampus.
11. Kepada teman-teman Kapal 2018, terima kasih telah memberi pengalaman tentang persahabatan selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan.

12. Kepada teman-teman seperjuangan skripsi Andromax 2018. Untuk memperoleh gelar sarjana memang tidak mudah kawan, tapi yakin kita dapat melewatinya.
13. Penulis menyadari bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf dan meminta kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhirnya penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

Wa'alaikumus salam wa rahmatullahi wabarakatuh

Gowa, 1 Agustus 2022

PENULIS

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR NOTASI	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
1.6. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Kapal <i>General Cargo</i>	8
2.2. Tahanan Kapal.....	9
2.2.1. Komponen tahanan.....	9
2.2.2. Aliran fluida	14
2.2.3. Aliran <i>vortex</i>	18
2.3. <i>Bulbous Bow</i>	21
2.3.1. Bentuk <i>bulbous bow</i>	22
2.3.2. Parameter desain <i>bulbous bow</i>	24
2.4. Hukum Perbandingan	25

1.	Kesamaan Geometris.....	26
2.	Kesamaan Kinematis.....	27
3.	Kesamaan Dinamis.....	28
2.5.	<i>DualSPHysics</i>	29
2.5.1.	Metode <i>Smoothed Particle Hydrodynamic</i> (SPH).....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		34
3.1.	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	34
3.2.	Jenis dan Pengumpulan Data.....	34
3.3.	Metode Pengolahan Data.....	34
3.3.1.	Data kapal.....	35
3.3.2.	Kajian pustaka.....	37
3.3.3.	Pemodelan kapal.....	37
3.3.4.	Simulasi <i>DualSPHysics</i>	41
3.3.5.	Verifikasi.....	47
3.3.6.	Analisa data.....	48
3.3.7.	Kesimpulan.....	48
3.3.8.	Kerangka pikir.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		50
4.1.	Initial Particle Simulation.....	50
4.2.	Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i>	53
4.3.	Prediksi Tahanan Kapal.....	55
4.3.1.	Tahanan Model Kapal yang Menggunakan <i>Bulbous Bow</i>	56
4.3.2.	Tahanan Model Kapal Tanpa <i>Bulbous Bow</i>	58
4.4.	Perbandingan Tahanan Kapal.....	60
4.5.	Perbandingan Nilai Koefisien Tahanan Kapal.....	62
4.6.	Visualisasi Aliran Fluida.....	63
4.7.	Validasi Hasil.....	68
BAB V PENUTUP.....		72
4.1.	Kesimpulan.....	72
4.2.	Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA.....		75

DAFTAR NOTASI

Notasi	Nama	Satuan
R_{TM}	Tahanan total model	N
R_{FM}	Tahanan gesek model	N
f, n	Konstanta fungsi dari panjang dan sifat permukaan	
R_{RM}	Tahanan sisa model	N
C_T	Koefisien tahanan total	
C_F	Koefisien tahanan gesek	
C_R	Koefisien tahanan sisa	
C_{AA}	Tahanan akibat angin (air resistance)	
$(1 + k)$	<i>Form factor</i>	
P	Tekanan	Pa
ρ	Massa jenis	Kg/m^3
G	Percepatan gravitasi bumi	m/s^2
H	Tinggi tertentu dari garis datar	m
V	Kecepatan sebuah benda	m/s
R	Tahanan kapal	N
P	Tekanan statis fluida	Pa
μ	Viskositas	Pa.s
Λ	Skala perbandingan	
L_s	Panjang kapal	m
L_m	Panjang model	m

Notasi	Nama	Satuan
B_s	Lebar kapal	m
B_m	Lebar model	m
T_s	Sarat kapal	m
T_m	Sarat model	m
Fr	Angka froude	
V_s	Kecepatan kapa	m/s
V_m	Kecepatan model	m/s
Rn	Angka Reynold	
LOA	<i>Lenght over all</i>	m
LBP	<i>Lenght between perpendicular</i>	m
LWL	<i>Lenght water line</i>	m
B	<i>Breadht</i>	m
D	<i>Draught</i>	m
D	<i>Draft</i>	m
V	<i>Velocity</i>	knot
Δ	<i>Displacement</i>	t
S	<i>Wetted surface area</i>	m ²
CP	<i>Perismatic coeff</i>	
CB	<i>Block coeff</i>	

DAFTAR TABEL

Table 3.1 Ukuran utama kapal	33
Tabel 3.2 Data hidrostatis kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i>	38
Tabel 3.3 Data hidrostatis kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i>	40
Tabel 3.4 Data Kecepatan	43
Tabel 4.1 Hasil perbandingan nilai tahanan untuk tiga percobaan	52
Tabel 4.2 Nilai gradasi warna <i>velocity magnitude</i> di sekitaran <i>body</i> model.....	55
Tabel 4.3 Nilai tahanan model kapal yang menggunakan <i>bulbous bow</i>	56
Tabel 4.4 Nilai tahanan model kapal tanpa <i>bulbous bow</i>	58
Tabel 4.5 Perbandingan nilai tahanan model kapal yang menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i>	60
Tabel 4.6 Perbandingan nilai tahanan model kapal yang menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i>	62
Tabel 4.7 perbandingan nilai tahanan model kapal pada simulasi <i>DualSPHysics</i> dan <i>CFD</i>	68
Tabel 4.8 perbandingan nilai tahanan model kapal pada simulasi <i>DualSPHysics</i> dan eksperimen.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram komponen tahanan kapal.....	13
Gambar 2.2. Aliran <i>streamline</i> yang melintasi suatu body	14
Gambar 2.3. Contoh aliran fluida dari satu <i>sub-merged body</i>	18
Gambar 2.4. Skema terentuknya Lapisan Geser (<i>shear layer</i>) yang selanjutnya akan membentuk vortex A dan B.....	19
Gambar 2.5. Skema mekanisme terjadinya pelepasan vortex (<i>vortex shedding</i>) pada sebuah silinder dalam aliran <i>steady</i>	21
Gambar 2.6. Sistem gelombang <i>bulbous bow</i>	22
Gambar 2.7. Bentuk – bentuk <i>bulbous bow</i>	23
Gambar 2.8. Parameter linear dan non-linear desain <i>bulbous bow</i>	25
Gambar 3.1. Lines plan kapal	36
Gambar 3.2 Model kapal dengan <i>bulbous bow</i> dalam bentuk 3D	37
Gambar 3.3 Model kapal tanpa <i>bulbous bow</i> dalam bentuk 3D	38
Gambar 3.4 Model kapal dengan <i>bulbous bow</i> dalam bentuk stl.	39
Gambar 3.5 Model kapal tanpa <i>bulbous bow</i> dalam bentuk stl.	40
Gambar 3.6 <i>Geometry definition</i>	42
Gambar 3.7 <i>Geometry mainlist</i>	43
Gambar 3.8 Initials.....	44
Gambar 3.9 Skrip untuk tahapan <i>execution</i>	45
Gambar 3.10 <i>Solver</i> pada <i>windows batch file</i>	45
Gambar 3.11 Proses <i>run – up</i>	46
Gambar 3.12 Visualisasi menggunakan <i>software ParaView 5.10.0-RC1</i>	46

Gambar 3.13 Kerangka piker penelitian	49
Gambar 4.1. Kondisi awal simulasi	51
Gambar 4.2. Visualisai <i>Velocity Magnitude</i> hasil simulasi <i>DualSPHysics</i> kecepatan 0,894 m/s	53
Gambar 4.3. Visualisai <i>Velocity Magnitude</i> hasil simulasi <i>Autodesk CFD</i> pada kecepatan 0,894 m/s	54
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara <i>Froude number</i> kapal dan tahanan model kapal yang menggunakan <i>bulbous bow</i>	57
Gambar 4.5. Grafik hubungan anatar <i>Froude number</i> kapal dan koefisien tahanan kapal yang menggunakan <i>bulbous bow</i>	58
Gambar 4.6. Grafik hubungan antara <i>Froude number</i> kapal dan tahanan model kapal tanpa <i>bulbous bow</i>	59
Gambar 4.7. Grafik hubungan antara <i>Froude number</i> kapal dan koefisien tahanan kapal tanpa <i>bulbous bow</i>	60
Gambar 4.8. Grafik hubungan antara <i>Froude number</i> kapal dan tahanan model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i>	61
Gambar 4.9. Grafik hubungan antara <i>Froude number</i> dan koefisien tahanan model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i>	63
Gambar 4.10. Visualisasi aliran fluida (a) dan (b) secara memanjang pada sumbu Z untuk kapal dengan <i>bulbous bow</i>	64
Gambar 4.11. Visualisasi aliran fluida (a) dan (b) secara memanjang pada sumbu Y untuk kecepatan 0,894 m/s	66

Gambar 4.12. Kurva hubungan tahanan kapal dan *Froude number* berdasarkan hasil simulasi pada *software DualSPHysics, Autodesk CFD* serta eksperimen untuk model kapal menggunakan *bulbous bow* 70

Gambar 4.13. Kurva hubungan tahanan kapal dan *Froude number* berdasarkan hasil simulasi pada *software DualSPHysics, Autodesk CFD* serta eksperimen untuk model kapal tanpa *bulbous bow* 71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Main parameters of ship-bulb combinations of data collected with $C_b = 0,7$

Lampiran 2. Penentuan nilai kecepatan model kapal

Lampiran 3. Perhitungan nilai tahanan pada $F_n 0,213$

Lampiran 4. Visualisasi *velocity magnitude*

Lampiran 5. Penentuan nilai tahanan model kapal yang menggunakan *bulbous bow* pada tiap variasi kecepatan

Lampiran 6. Penentuan nilai tahanan model kapal tanpa menggunakan *bulbous bow* pada tiap variasi kecepatan

Lampiran 7. Visualisasi aliran fluida di setiap variasi kecepatan

Lampiran 8. Pengenalan *software DulaSPHysics*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kapal merupakan suatu bangunan yang terapung di atas permukaan air yang bertujuan mendukung aktivitas manusia. Kapal sebagai sarana transportasi yang memiliki banyak fungsi, bukan hanya sebagai media untuk memindahkan suatu barang atau penumpang dari satu tempat ke tempat yang lain, tetapi kapal di masa sekarang memiliki banyak kegunaan sebagai contoh dalam bidang aktivitas eksplorasi, pelayaran, penelitian, penyebrangan, penangkapan ikan dan pengangkutan barang. Perbedaan fungsi dari setiap kapal membuat para ahli merancang kapal dengan ukuran dan bentuk yang sesuai dengan fungsi dari pengoperasian kapal tersebut. Aktivitas pengangkutan barang menggunakan kapal merupakan salah satu kegiatan distribusi barang dimana kapal menjadi unit transportasi dan wadah penampungan sementara sebelum barang sampai ke tujuan. Salah satu jenis kapal yang berfungsi untuk mengangkut berbagai jenis barang dalam distribusi tersebut adalah Kapal General Cargo.

Dalam pengoperasiannya, seperti kapal lainnya, kapal General Cargo bergerak karena adanya interaksi antara sistem penggerak kapal, badan kapal dan air sehingga, menghasilkan gaya dorong bagi kapal. Namun kapal juga akan mendapat gaya hambat akibat pergerakan kapal di suatu fluida. Ketika badan kapal bergerak melintasi suatu fluida, maka badan kapal tersebut akan mengalami gaya hambat yang berlawanan arah terhadap arah gerak kapal. Sebagaimana badan kapal

yang melewati air dan udara, maka badan kapal tersebut mengalami gaya hambat dari air dan udara. Massa air dan udara mungkin juga bergerak karena kondisi mereka sendiri, misalnya massa air digerakkan oleh arus air dan massa udara digerakkan oleh angin, yang mana kemungkinannya mempunyai besaran dan arah yang berbeda (*Suryo W. Adji, 2009*).

Besarnya tahanan kapal dipengaruhi oleh banyak hal, salah satunya bentuk haluan kapal. Untuk kapal dengan bentuk haluan tanpa *bulbous bow* cenderung memiliki tahanan yang relatif besar hal ini dikarenakan sistem gelombang lambung tidak terintervensi baik dibagian haluan kapal, sehingga efek aliran disekitar kapal cukup besar. Penggunaan *bulbous bow* pada kapal akan menginterferensi aliran gelombang yang ada di sekitar lambung kapal sehingga gelombang akan kehilangan tenaga (*Suryo W. Adji, 2009*).

Pada dasarnya tahanan kapal dapat direduksi dengan penggunaan *bulbous bow* yang terpasang pada konstruksi haluan kapal. *Bulbous bow* ditemukan pada akhir abad 18 namun, aplikasinya baru digunakan pada tahun 1912. Dengan bertambahnya penelitian dan pemahaman yang lebih baik tentang *bulbous bow* akan berpengaruh pada pengurangan hambatan, sehingga diperoleh efisiensi bahan bakar yang lebih baik untuk mencapai suatu kecepatan (*Sharma, R. et al, OP, 2005*).

Berbagai desain *bulbous bow* telah dikembangkan sesuai dengan bentuk penampang bagian depan kapal yaitu bentuk U dan V. Efek hidrodinamis dari pemasangan *bulbous bow* berdasarkan pada perubahan distribusi aliran disekitar haluan, menginterferensi gelombang yang terjadi akibat lambung kapal sehingga

mengurangi keseluruhan sistem gelombang. Sebuah desain *bulbous bow* yang baik akan menciptakan *destructive wave* yang dapat mengurangi keseluruhan sistem gelombang, dan mengurangi *wave – making resistance* dari kapal, sehingga dapat mengurangi tahanan yang ditimbulkan oleh lambung kapal (Sharma, R. et al, OP, 2005).

Salah satu cara untuk mendapatkan besarnya reduksi nilai tahanan akibat penggunaan *bulbous bow* dan karakteristik aliran fluida di sepanjang lambung kapal adalah dengan menggunakan metode numerik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan (S. Baso, dkk. 2021) mengenai “*An Extended Validation of Free CFD Application to Ship Resistance Prediction for Using in Preliminary Design Stage*” menunjukkan bahwa kapal yang menggunakan *bulbous bow* mempunyai nilai koefisien tahanan yang lebih kecil dibandingkan dengan kapal yang tidak menggunakan *bulbous bow* pada setiap variasi kenaikan kecepatan, dengan rata – rata presentasi sebesar 13,58%, hal ini membuktikan bahwa penggunaan *bulbous bow* pada kapal tersebut tepat karena dapat mengurangi tahanan pada kapal.

Berdasarkan penelitian tersebut maka, peneliti tertarik melakukan penelitian serupa dengan menggunakan software open source berbeda yakni dualSPHysics (*Smoothed Particle Hydrodynamic*). Aplikasi ini dapat menjadi alternatif dalam menganalisis dan mensimulasikan efek penggunaan *bulbous bow* dan tanpa *bulbous bow* pada kapal General Cargo terhadap tahanan kapal (*Ship Resistance*) dan mengetahui fenomena – fenomena aliran yang terjadi sepanjang badan kapal General Cargo terkait tahanan kapal.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar nilai tahanan kapal yang menggunakan *bulbous bow* dan tanpa *bulbous bow* berdasarkan analisis *dualSPHysics*?
2. Bagaimana perbandingan tahanan kapal yang menggunakan *bulbous bow* dan yang tanpa *bulbous bow* berdasarkan analisis *dualSPHysics*?
3. Bagaimana karakteristik aliran fluida disepanjang badan kapal berdasarkan analisis *dualSPHysics*?
4. Bagaimana perbandingan nilai tahanan kapal menggunakan *dualSPHysics*, *Autodesk CFD* dan eksperimen?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas, maka perlu adanya batasan masalah untuk membatasi ruang lingkup dan mempermudah analisa. Adapun batasan masalah penelitian, sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan bantuan software *dualSPHysics (Smoothed Particle Hydrodynamic)*.
2. Model dan data kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah model dan data kapal General Cargo KM. ARTHA BAHRI-8.
3. Perhitungan tahanan kapal dilakukan pada kondisi air tenang (*still-water*).

4. Perhitungan tahanan kapal tidak mempertimbangkan komponen tambahan (*appendages*).
5. Perhitungan tahanan kapal dengan beberapa variasi kecepatan yakni mulai dari 5 knot sampai 11 knot.
6. Skala model kapal yang digunakan yaitu 1:40.
7. Ukuran kolam yang digunakan yaitu 2LWL x 4B x 6T.
8. Jarak antar partikel digunakan dp 0,005.
9. Spesifikasi computer yang digunakan pada penelitian ini yaitu computer dengan spesifikasi NVIDIA © RTX 2080 dengan 12GB RAM.
10. Tipe *bulbous bow* yang digunakan yaitu tipe V.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Menentukan besar nilai tahanan kapal yang menggunakan *bulbous bow* dan tanpa *bulbous bow* berdasarkan analisis *dualSPHysics*.
2. Menentukan perbandingan tahanan kapal yang menggunakan *bulbous bow* dan yang tanpa *bulbous bow* berdasarkan analisis *dualSPHysics*.
3. Menentukan karakteristik aliran fluida disepanjang lambung kapal berdasarkan analisis *dualSPHysics*.
4. Menentukan perbandingan nilai tahanan kapal menggunakan *dualSPHysics*, *Autodesk CFD* dan eksperimen.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai tambahan referensi bagi pembaca mengenai perbandingan tahanan kapal yang menggunakan *bulbous bow* dan tanpa *bulbous bow* berdasarkan analisis *dualSPHysics*.
2. Sebagai tambahan referensi bagi pembaca mengenai pola aliran fluida yang terjadi akibat pergerakan kapal berdasarkan analisis *dualSPHysics*.
3. Sebagai bahan pertimbangan bagi perancang kapal dalam pertimbangan penggunaan *bulbous bow* dan tanpa *bulbous bow* pada kaitannya terhadap tahanan kapal.

1.6. Sistematika Penulisan

Gambaran secara terperinci keseluruhan isi dari tulisan ini dapat dilihat dari sistematika penulisan berikut ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang teori – teori gambaran wilayah penelitian, berbagai literatur yang menunjang pembahasan dan digunakan sebagai dasar pemikiran dari penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan lokasi penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, Teknik dalam pengambilan data, metode analisis data dan kerangka piker.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan penyajian data yang telah diperoleh, proses pengolahan, hasil pengolahan data serta pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran – saran untuk peneliti selanjutnya maupun pihak – pihak yang terkait tentang penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal *General Cargo*

Istilah “*general cargo*” mencakup banyak desain kapal yang berbeda dengan jenis kapal cargo lainnya. Dengan demikian, kapal ini tidak dikhususkan untuk mengangkut hanya muatan curah kering, container, atau *heavy-lift cargo* tetapi memiliki fleksibilitas untuk membawa jenis muatan tersebut. Kapal ini merupakan jenis yang paling banyak di dunia pada tahun 2002, sekitar 259 armada dengan total kapasitas 2 juta ton dan rata – rata usia kapal 25 tahun (Linde H, 2004).

General Cargo berarti kapal ini dapat mengangkut banyak jenis muatan. Kapal ini menggunakan penutup palka sebagai sekat seperti dek ganda (*tweendeck*) di dalam palka. Penutup palka ini mempunyai ambang dengan ketinggian dan posisi tertentu. Biasanya ambang palka memiliki dimensi lebar dan panjang yang sama dengan lubang palka sehingga proses bongkar muat menjadi leboh mudah. Muatan seperti kayu atau container dimuat di atas palka (K. Van Dokkum, 2003).

Rata – rata kapal general cargo berukuran 7800 *deadweight tonnes*. Kapal yang lebih besar mencapai 30000 *deadweight tonnes* dimaksudkan untuk membawa muatan dengan beberapa kemasan atau kontainer sedangkan untuk kapal yang berukuran relative kecil, kurang dari 5000 *deadweight tonnes* kebanyakan digunakan sebagai solusi fleksibel banyak orang untuk mengangkut *dry-cargo* melalui kapal laut (Linde H, 2004).

2.2. Tahanan Kapal

Tahanan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan Gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu Gerakan kapal (*Harvald, 1992*). Tahanan kapal ini perlu diketahui karena merupakan faktor penting yang berpengaruh dalam merencanakan bentuk lambung kapal, selain itu juga tujuannya adalah dalam menghitung daya mesin induk kapal, yang berhubungan dengan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan sehingga dapat dihitung/diestimasi biaya operasional kapal.

2.2.1. Komponen tahanan

William Froude (1867) pertama kali memperkenalkan total hambatan kapal yang terdiri atas dua komponen yaitu tahanan sisa (*residual*) dan tahanan gesek (*friction*). Tahanan sisa dalam hal ini meliputi komponen *wave-making system energies*, *eddy* dan *viscous energy losses* akibat bentuk lambung kapal. Sedangkan tahanan gesek kapal diasumsikan sama dengan tahanan gesek suatu pelat dasar 2 – dimensi yang mempunyai luas permukaan bidang basah yang sama serta bergerak di air pada kecepatan sama dengan kecepatan kapal (*Sutiyo, 2014*).

Komponen tahanan total pertama kali diperkenalkan oleh W. Froude. Dimana tahanan total merupakan penjumlahan tahanan gesek (R_f) dengan hambatan sisa (R_R) sehingga, didapat persamaan (*Sutiyo, 2014*):

$$R_{TM} = R_{FM} + R_{RM} \quad (2.1)$$

Dimana:

R_{TM} : Tahanan total model dari percobaan

R_{FM} : Tahanan gesek dari permukaan datar yang memiliki permukaan basah sama dengan model, yang mana dapat ditentukan dari:

$$R_{FM} = f S V^n \quad (2.2)$$

F, n : Konstanta, fungsi dari panjang dan sifat permukaan

R_{RM} : Tahanan sisa dari model

Dengan menggunakan metode Froude, dapat diperhitungkan untuk koefisien tahanan kapal full scale dari hasil percobaan model kapal, dengan persamaan koefisien tahanan (Sutiyo, 2014):

$$C_T = C_F + C_R \quad (2.3)$$

Metode Analisa 2 – dimensi diatas tidak cukup meng-refleksikan kontribusi bentuk/kontur lambung (yang 3-dimensi) terhadap hambatan *viscous*, sehingga kemudian *Hughes* (1954) memperkenalkan metode untuk digunakan dalam koreksi model kapal dimana tahanan total adalah penjumlahan dari 3 (tiga) komponen (*Sutiyo, 2014*):

1. Tahanan gesek (*friction*) adalah gaya tangential stress yang timbul antara molekul air dan kulit badan kapal, yang kemudian sebagai tahanan bidang permukaan dengan area dan panjang yang sama dengan model.

2. Tahanan bentuk (form) adalah komponen tahanan yang dinyatakan dalam bilangan “k” dimana merupakan tahanan diluar batas item diatas dalam kasus lambung yang tercelup cukup dalam. *Hughes* mengasumsikan bahwa untuk lamung yang *streamline* pada aliran *turbulent*, dapat diekspresikan sebanding dengan tahanan *friction*.
3. Tahanan *free surface* sebagai tahanan gelombang (C_w) adalah tahanan yang timbul akibat pergerakan kapal relatif terhadap air sehingga timbul perbedaan tekanan pada permukaan (bidang) basah kapal yang selanjutnya menimbulkan *wave pattern*. Tahanan gelombang merupakan pengurangan total tahanan gesek (C_F) dan tahanan bentuk (C_{FO}) dari model.

$$C_T = C_F + C_{FO} + C_w \text{ dimana } C_{FO} = K_{CF}$$

$$C_T = (1 + k) C_F + C_w \tag{2.4}$$

(1 + k) disebut form factor dan dapat diperoleh dari eksperimen pada kecepatan rendah ($Fr < 0.1$) dimana C_w dapat diabaikan, sehingga *form factor* dapat dihitung dengan (*Sutiyo, 2014*):

$$(1 + k) = \frac{C_T}{C_{FO}} \tag{2.5}$$

Selanjutnya standar internasional dari ITTC (1978) dengan judul “*1978 Performance Prediction Method for Simple Single Screw Ships*” mengklasifikasikan tahanan kapal di air tenang (*calm water*), secara praktis, dalam 2 (dua) komponen tahanan utama yaitu tahanan *viscous* (*viscous resistance*) yang terkait dengan bilangan *Reynolds* dan tahanan gelombang (*wave-making*)

resistance) yang tergantung pada bilangan *Froude*, dimana korelasi kedua komponen tahanan tersebut diperlihatkan pada persamaan dibawah ini (Sutiyo, 2014). Tahanan total kapal dibagi dalam empat komponen:

$$C_T = (1 + k) C_F + C_R + C_F + C_{AA} \quad (2.6)$$

Dimana,

$(1 + k)$: merupakan *form factor*.

C_T : Tahanan gesek dengan menggunakan ITTC' 57.

C_R : Tahanan sisa dari percobaan model.

C_F : *Roughness Allowance (0 for smooth model)*

C_{AA} : *Air Resistance (assumed 0 for model without superstructure)*

Metode untuk mendapatkan k dengan pengukuran pada kecepatan rendah dimana C_R diasumsikan mendekati 0 dan $(1+k) = C_T/C_F$. Dengan penurunan sebagai berikut:

$$C_R \approx 0$$

$$C_F \approx 0 \text{ (0 for smooth model).}$$

$$C_{AA} \approx 0 \text{ (assumed 0 for model without superstructure)}$$

Sehingga,

$$C_T = (1 + k) C_F + C_R + C_F + C_{AA}$$

$$C_T = (1 + k) C_F + 0$$

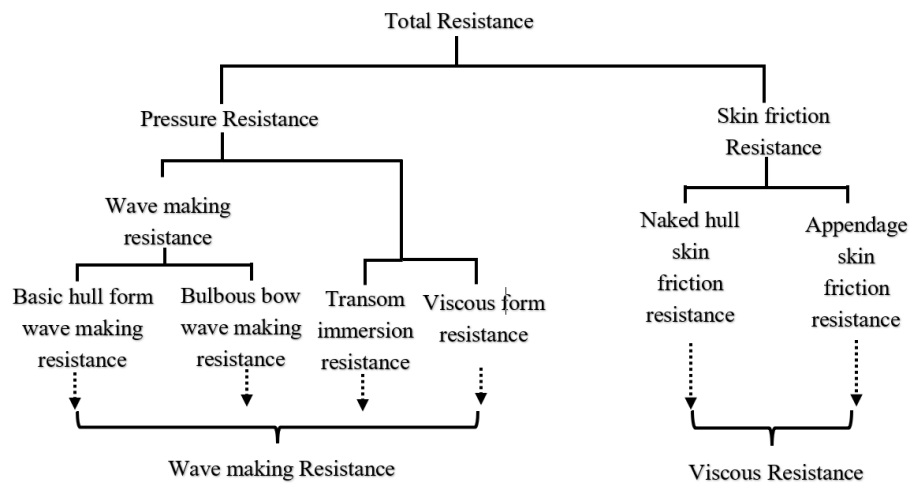
$$C_T = (1 + k) C_F$$

$$(1 + k) = C_T / C_F \quad (2.7)$$

Pada prakteknya, percobaan pada kecepatan rendah memiliki kelemahan dalam menjamin keakuratan hasil yang didapat sehingga terdapat metode lain dalam memperhitungkan tahanan, yaitu metode yang diusulkan prohaska (Sutiyo, 2014). Mengasumsikan $C_{RM} = a F_n^n$ pada kecepatan rendah (pada umumnya $F_n < 0.2$) sehingga persamaan tahanan total kapal sebagai beriku:

$$C_T = (1 + k) + a F_n^n \quad (2.8)$$

Dimana $(1 + k)$, a dan n dapat diselesaikan melalui *least square analysis* dari pengukuran pada kecepatan rendah. Secara skematik pembagian komponen tahanan diperlihatkan seperti dibawah ini (Sutiyo, 2014).

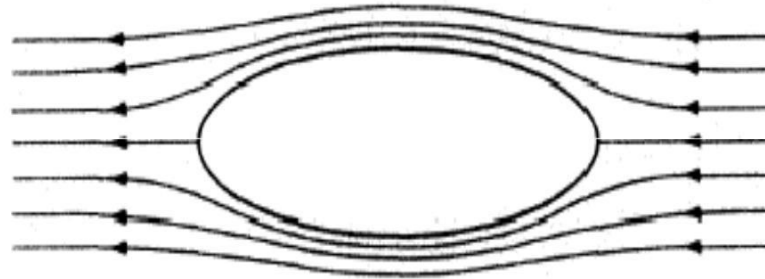


Gambar 2.1. Diagram komponen tahanan kapal

Sumber: Sutiyo, 2014

2.2.2. Aliran fluida

Hidrodinamika klasik mengarahkan pada bagaimana bentuk pola aliran fluida yang melintasi suatu body seperti yang ditunjukkan pada *Gambar 2.2*



Gambar 2.2. Aliran *streamline* yang melintasi suatu body

Sumber: Suryo W.Adji, 2009

Ketika fluida bergerak melintasi body, jarak antara *streamline* tersebut mengalami perubahan, dan kecepatan aliran fluida pun juga mengalami perubahan, hal ini disebabkan aliran massa-nya didalam *streamlines* tersebut adalah konstan. Berdasarkan teorema Bernaulli maka hal ini juga berkaitan dengan adanya perubahan tekanan. Untuk suatu *streamline* yang diberikan tersebut; jika p , ρ , v , dan h adalah Tekanan, Massa Jenis, Kecepatan, dan Tinggi tertentu dari garis datar; maka dapat diformulasikan, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009):

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = constant \quad (2.9)$$

Teori hidrodinamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositasnya. Didalam suatu sistem fluida *non-viscous*. Suatu body yang ditenggelamkan dan digerakkan pada sistem fluida *non-viscous* tersebut, maka body tersebut tidak mengalami adanya tahanan (*resistance*) meskipun fluida

tersebut dilalui oleh gerakan body, maka kondisi fluida tersebut kembali ke bentuk awalnya setelah dilintasi body tersebut, ada sejumlah gaya – gaya local yang bekerja pada body tersebut, akan tetapi gaya – gaya tersebut saling meniadakan ketika diintegrasikan pada seluruh body. Gaya – gaya local tersebut terjadi sebagai akibat terjadinya perubahan tekanan, yang diakibatkan oleh adanya perubahan kecepatan di dalam aliran fluida (*Suryo W. Adji, 2009*).

Dalam mempelajari dinamika aliran fluida, maka akan sangat berguna bila kita kembangkan suatu angka dari parameter – parameter non-dimensional. Dimana angka tersebut dapat meng-karakteristikan aliran dan gaya – gaya yang bekerja, hal ini didasari pada sifat – sifat fluidanya. Sifat – sifat fisik fluida yang erat hubungannya dalam mempelajari tahanan kapal adalah Massa Jenis [ρ], Viskositas [μ], Tekanan Statis Fluida [p]. Jika Tahanan Kapal (*resistance*) adalah [R], Kecepatan adalah [V], dan Panjang adalah [L], maka Tahanan kapal dalam Analisa dimensional dapat diformulasikan sebagai berikut (*Sutiyo W. Adji, 2009*):

$$R = f [L^a V^b \rho^c \mu^d g^e p^f] \quad (2.10)$$

Sejumlah quantity yang masuk pada ekpresi formulasi tersebut diatas, masih dapat diekspresikan ke bentuk *fundamental dimensions*; Dimensi Waktu [T], Dimensi Massa [M], dan Dimensi Panjang [L]. Sebagai contoh Tahanan Kapal [R] adalah gaya, sehingga memiliki dimensi fundamental [MLT^{-2}] dan Massa Jenis [ρ] memiliki dimensi [ML^{-3}], dan sebagainya, maka dengan men-subtitusi keseluruhan parameter ke bentuk dimensi fundamental-nya, diperoleh hubungan (*Suryo W. Adji, 2009*):

$$\frac{ML}{T^2} = f \left[L^a \left(\frac{L}{T} \right)^b \left(\frac{M}{L^3} \right)^c \left(\frac{M}{LT} \right)^d \left(\frac{L}{T^2} \right)^e \left(\frac{M}{LT^2} \right)^f \right] \quad (2.11)$$

Dari persamaan tersebut diperoleh dua kelompok persamaan dimensi fundamental, yakni persamaan dimensi fundamental dengan angka pangkat yang diketahui dan yang lainnya dengan angka pangkat yang tidak diketahui. Untuk persamaan dimensi fundamental dengan angka pangkatnya tidak diketahui, maka dapat digolongkan menjadi tiga ekspresi, sebagai berikut (*Suryo W. Adji, 2009*):

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[\left(\frac{\mu}{\rho V L} \right)^d, \left(\frac{gL}{V^2} \right)^e, \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \quad (2.12)$$

Maka, persamaan keseluruhan dari Tahanan (resistance) dapat ditulis sebagai berikut (*Suryo W. Adji, 2009*):

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[f_1 \left(\frac{\mu}{\rho V L} \right)^d, f_2 \left(\frac{gL}{V^2} \right)^e, f_3 \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \quad (2.13)$$

Sehingga melalui Analisa terhadap ekspresi tersebut diatas, dapat diindikasikan bahwa kombinasi non-dimensional yang signifikan adalah (*Suryo W. Adji, 2009*):

$$\frac{R}{\rho V^2 L^2}, VL \frac{\rho}{\mu}, \frac{V}{(gL)^{0.5}}, \frac{p}{\rho V^2} \quad (2.14)$$

Dari ketiga rasio tersebut diatas, diperoleh *Resistance Coefficient* (C_T), *Reynold Number* (Re), *Froude number* (Fn). Sedangkan rasio yang keempat adalah mempunyai relasi terhadap Kavitasi (*catatan: Hal ini akan dibahas kemudian*). Pada topik Tahanan kapal, yang paling sering digunakan adalah angka Re dan Fn (*Suryo W. Adji, 2009*).

Rasio μ/ρ adalah dikenal dengan pengertian angka viskositas kinematis, yang dinyatakan dengan notasi ν . Jika L^2 pada ekspresi rasio non-dimensional yang pertama tersebut adalah merupakan luasan basah dari body, yang dinotasikan dengan S , maka ketiga rasio non-dimensional diatas dapat diekpresikan menjadi, sebagai berikut (*Suryo W. Adji, 2009*):

$$\frac{R}{\frac{1}{2}\rho SV^2} = f\left(\frac{VL}{\nu}, \frac{gL}{V^2}\right) \quad (2.15)$$

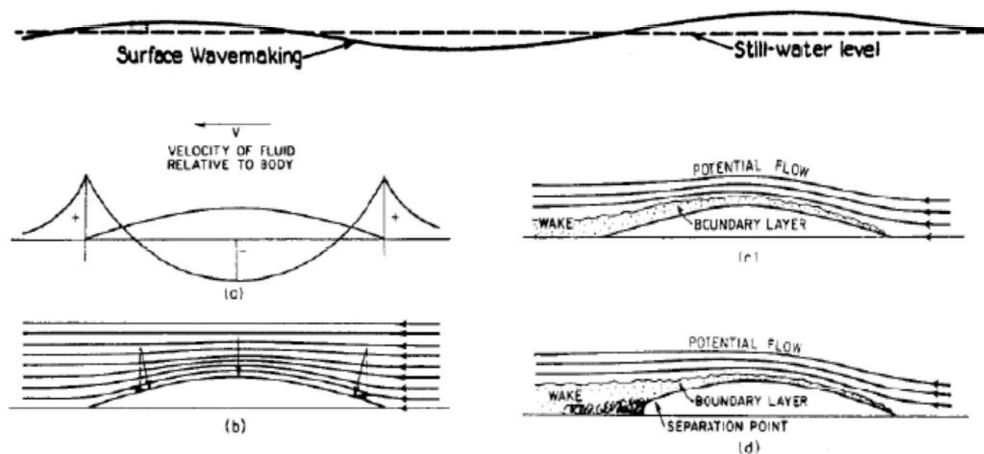
Dan Tahanan Kapal (Resistance) dapat diformulasikan dengan ekspresi dibawah ini (*Suryo W. Adji, 2009*):

$$R = \frac{1}{2} \rho C_R V^2 S \quad (2.16)$$

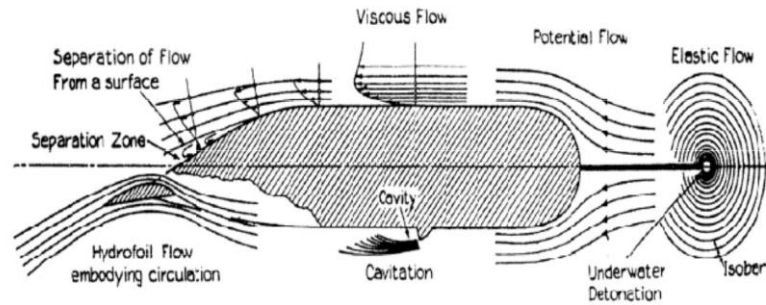
Dimana, C_R adalah Koefisien Tahanan Kapal yang merupakan fungsi dari Re dan Fn . Atau dapat dituliskan dengan (*Suryo W. Adji, 2009*):

$$C_R = C_R (Re, Fn) \quad (2.17)$$

Beberapa contoh pola aliran fluida dari suatu *Sub-marged body (no wave)* (*Suryo W. Adji, 2009*):



D'Alambert's paradox



Gambar 2.3 Contoh aliran fluida dari suatu *sub-merged body*
 Sumber: Suryo W. Adji, 2009

2.2.3. Aliran *vortex*

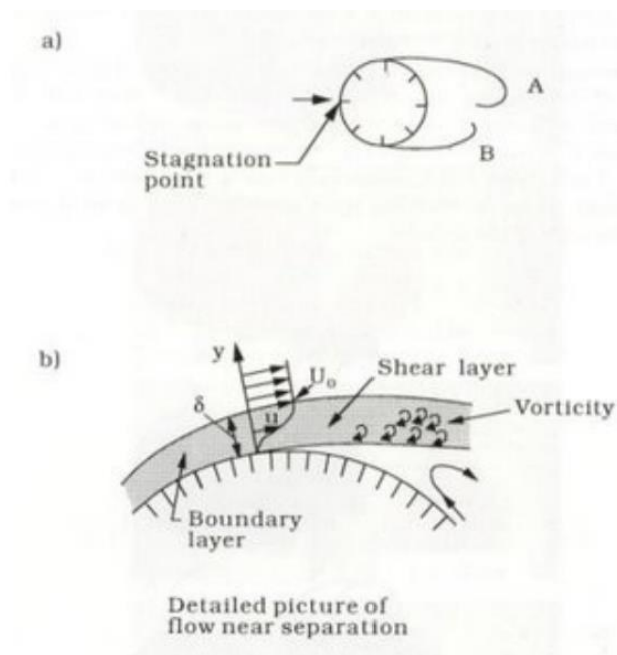
Bila suatu medan aliran fluida (air atau udara, misalnya) terhalang oleh sebuah benda maka pola aliran fluida tersebut akan terganggu dari kondisi stationernya lalu akan mencari kondisi kesetimbangan barunya. Misalkan pada kasus sebuah silinder yang berada dalam aliran steady, maka akan terjadilah suatu pola aliran tertentu di sekeliling permukaan silinder tersebut. Ternyata, pola aliran ini salah satunya terganutng pada suatu parameter yang disebut Angka Reynolds (*Reynolds number*), Re . Parameter aliran fluida ini didefinisikan dengan (Rudi W. Prastianto, 2006):

$$Re = \frac{D \cdot U}{\nu} \quad (2.18)$$

Dimana, D adalah diameter silinder, U adalah kecepatan aliran fluida datangnya dan ν menyatakan viskositas kinematis fluida (Rudi W. Prastianto, 2006).

Berdasarkan banyak percobaan visualisasi aliran yang telah dilakukan, nilai Re inilah yang akan menentukan bagaimana bentuk pola aliran yang akan terjadi.

Beberapa diantaranya misalnya, bila nilai $Re < 5$, maka yang terjadi adalah pola aliran yang mulus, tanpa terjadi pusaran – pusaran lokal fluida (*vortex*) dan tidak terjadi pula pemisahan aliran pada saat aliran sudah melewati silinder (*creeping flow*). Selanjutnya bila kecepatan aliran dinaikan, yang berarti nilai Re makin bertambah besar, misalnya untuk rentang $5 < Re < 40$, maka akan mulai terbentuk *vortex*. Dalam rentang nilai Re ini akan terbentuk sepasang *vortex* simetris di belakang silinder yang berputar stationer tanpa terpecah selama rentang nilai Re tidak berubah. Seperti yang terlihat pada *Gambar 2.4* (Rudi W. Prastianto, 2006).



Gambar 2.4 Skema terbentuknya Lapisan Geser (*shear layer*) yang selanjutnya akan membentuk vortex A dan B
 Sumber: Rudi W. Prastianto, 2006

Namun ketika nilai Re ini terus dinaikan, maka medan aliran makin menjadi tidak stabil, yang mana lambat-laun formasi *vortex* yang terbentuk mulai berantakan dengan pola – pola yang tertentu. Maka pada saat itulah akan timbul suatu fenomena yang dinamakan Pelepasan *Vortex* (*Vortex Shedding*), yang mulai

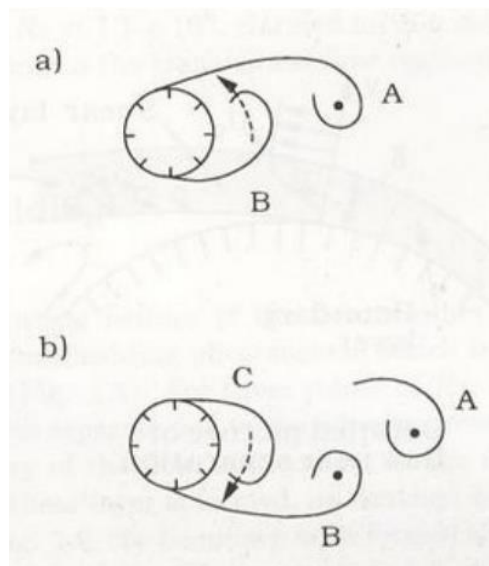
terjadi pada saat nilai $Re > 40$. Fenomena ini adalah terlepasnya *vortex* secara bolak-balik di sisi – sisi silinder dengan pola dan frekuensi tertentu. Pola pelepasan *vortex* ini pun secara lebih detil akan memiliki bentuk tertentu sesuai dengan angka Reynoldnya (*Rudi W. Prastianto, 2006*).

Fenomena pelepasan *vortex* ini memang biasa terjadi pada hampir semua jenis aliran fluida yang memiliki nilai angka Reynold $Re > 40$. Pada nilai Reynold ini, lapisan batas (*boundary layer*) di sekeliling permukaan silinder akan memisah akibat adanya gradien tekanan balik dari geometri yang divergen dari aliran di sekitar sisi belakang silinder. Akibatnya terbentuklah suatu lapisan geser (*shear layer*). Hal ini secara skematis diilustrasikan dalam *Gambar 2.4* (*Rudi W. Prastianto, 2006*).

Secara sederhana, mekanisme terjadinya pelepasan *vortex* pada kasus aliran air melalui sebuah silinder apabila $Re > 40$, maka pasangan *vortices* yang terbentuk menjadi tidak stabil oleh gangguan/usikan kecil, sehingga salah satu *vortex* akan tumbuh lebih besar dari yang lainnya (lihat gambar sket terjadinya *vortex shedding*). *Vorticity* dalam *Vortex A* berputar searah jarum jam (CW), sedangkan *vorticity* dalam *Vortex B* berputar berlawanan arah jarum jam (CCW). Selanjutnya Gerakan aliran *vorticity* yang CCW akan memotong aliran *vorticity* yang mensuplay *Vortex A*, sehingga *Vortex A* terlepas lalu menjadi *vortex* bebas dan akhirnya tersert aliran ke arah belakang/menjauhi silinder (*Rudi W. Prastianto, 2006*).

Setelah *vortex A* terlepas, terbentuklah *vortex* baru menggantikan *vortex A* yaitu *Vortex C*. Maka selanjutnya, *Vortex B* akan mengalami hal yang sama dengan

Vortex A sebelumnya, yaitu pertama, ukuran dan kekuatannya makin membesar lalu terpotong oleh *Vortex C* dan akhirnya terlepas menjadi *vortex* bebas. Proses seperti ini akan erlangsung terus-menerus setiap terjadi pelepasan *vortex* baru pada setiap sisi silinder seperti yang diilustrasikan pada gambar dibawah (Rudi W. Prastianto, 2006).



Gambar 2.5 Skema mekanisme terjadinya pelepasan *vortex* (*vortex shedding*) pada sebuah silinder dalam aliran *steady*

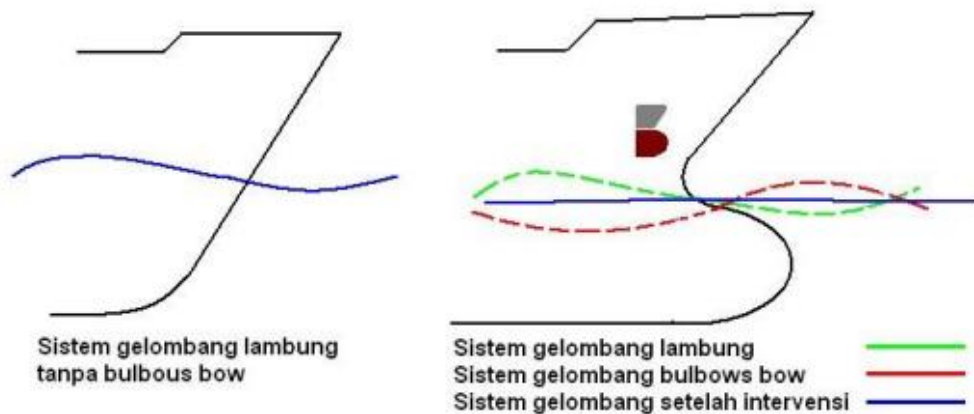
Sumber: Rudi W. Prastianto, 2006

2.3. *Bulbous Bow*

Bulbous bow adalah suatu bentuk konstruksi haluan yang berbentuk bulat telur yang ditempatkan pada linggi haluan bagian depan. Perbandingan model percobaan menunjukkan bahwa sebuah kapal yang dilengkapi *bulbous bow* dapat membutuhkan sedikit daya pendorong dan memiliki ketahanan yang jauh lebih baik karakteristik dari kapal yang sama tanpa menggunakan *bulbous bow*. *Bulbous bow* biasanya dipasang pada fungsi utama dari bagian ini adalah mengurangi tahanan

kapal pada saat pengoperasian kapal. Prinsip kerja dari *bulbous bow* adalah dengan membangkitkan gelombang atau menginterferensi gelombang kapal yang datang dari Haluan, sehingga gelombang yang datang akan kehilangan tenaga karena interferensi gelombang dari *bulbous bow*, dan pada akhirnya energi gelombang di sekitar lambung kapal akan berkurang, dengan demikian hambatan kapal dapat diminimalisir (Ramadhoni, 2017).

Penggunaan *bulbous bow* ini akan memengaruhi aliran air di sekitar lambung kapal. Penjelasan tentang efek aliran air yang terjadi di sekitar kapal adalah air dipaksakan mengalir di atas *bulbous bow* sehingga dapat memecah gelombang air yang menahan didepannya (Prasetyo Adi dan Amiadji, 2013).



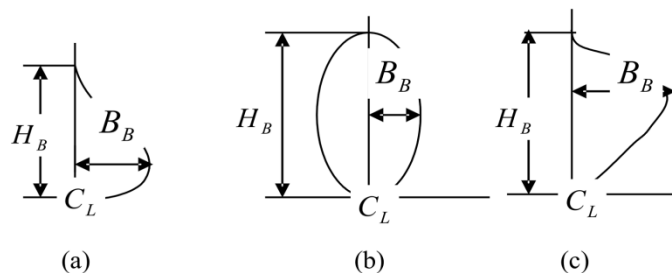
Gambar 2.6 Sistem gelombang *bulbous bow*

Sumber: Prasetyo Adi dan Amiadji, 2013

2.3.1. Bentuk *bulbous bow*

Ada 3 (tiga) jenis bentuk *bulbous bow* yang umum digunakan, dimana masing – masing bentuk memiliki karakteristik geometri yang berbeda – beda. Ketiga bentuk tersebut dapat dilihat dari garis tegak lurus kedepan, diantaranya:

1. Δ type: pada tipe *bulb* ini pusat massa volume terletak di bawah tengah penampang (*section*) dan penampang berbentuk seperti tetesan atau bawang, seperti pada *Gambar 2.7 (a)*. Pada *bulb* tipe ini garis batang tidak berubah. Pada umumnya *bulb* tipe seperti ini tidak memiliki banyak sifat yang menguntungkan, selain mengurangi tahanan gelombang, karenanya tidak disukai di kapal modern (*Sharma, R. et al, OP, 2005*).
2. O type: pada tipe *bulb* ini pusat massa berada pada bagian tengah penampang dan penampang simetris terhadap FP dengan bentuk lingkaran, oval, *elliptical* dan silindris, seperti pada *Gambar 2.7 (b)* (*Sharma, R. et al, OP, 2005*).
3. ∇ type: pada tipe ini pusat volume terletak pada bagian atas tengah penampang dan berbentuk bawang terbalik, seperti pada *Gambar 2.7 (c)*. Karena pusat volume terletak di bagian tengah dekat dengan permukaan bebas, maka *bulb* tipe ini memiliki kemampuan *seakeeping* yang lebih baik dibandingkan yang lainnya. Karena alasan tersebut, *bulb* tipe ini lebih disukai pada kapal modern (*Sharma, R. et al, OP, 2005*).



Gambar 2.7 Bentuk – bentuk *bulbous bow*

Sumber: Sharma, R. et al, OP, 2005

2.3.2. Parameter desain *bulbous bow*

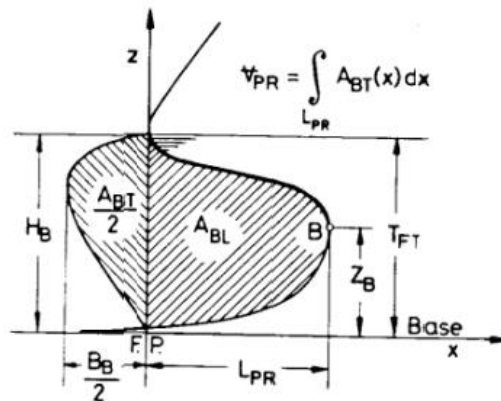
Dalam perencanaan gambar *bulbous bow*, terdapat dimensi dan beberapa parameter desain yaitu 3 parameter linear dan non-linear (Prasetyo Adi dan Amiadji, 2013):

1. Parameter linear

- a. Pada parameter lebar, lebar maksimal (B_B) dari *bulb* area A_{BT} pada garis FP (*Fore Perpendicular*) dibagi dengan lebar kapal (B_{MS}).
- b. Pada parameter panjang, panjang *bulb* yang menonjol (L_{PR}) normalnya dibagi dengan panjang kapal (L_{PP}).
- c. Pada parameter kedalaman, tinggi (Z_B) dari titik bagian depan terbesar dari *bulb* diatas *baseline* dibagi dengan sarat air (T_{FP}) pada garis FP (*Fore Perpendicular*).

2. Parameter non-linear

- a. Pada parameter *cross section*, *cross sectional area* (A_{BT}) dari *bulbous bow* pada garis FP (*Fore Perpendicular*) dibagi dengan *midship section area* (A_{MS}) dari kapal.
- b. Pada parameter secara memanjang, area pada bagian depan Haluan (A_{BL}) pada bidang memanjang normalnya dibagi dengan *midship section area* (A_{MS}).
- c. Pada parameter volume, volume (\square_{PR}) dari bagian yang menonjol pada *bulb* dibagi dengan volume displacement (\square_{WL}) dari kapal.



Gambar 2.8 Parameter linear dan non-linear desain *bulbous bow*

Sumber: Prasetyo Adi dan Amiadji, 2013

2.4. Hukum Perbandingan

Sebelum membuat model, ukuran model merupakan prioritas utama yang perlu diperhatikan karena dalam hal ini besarnya ukuran model haruslah sesuai dengan tempat melakukan pengujian model sehingga diperlukan pengskalaan terhadap ukuran kapal sampel untuk mendapatkan ukuran model (Rosmani, 2011).

Dalam penentuan skala model tergantung dari ukuran utama kapal yang sebenarnya, ukuran tangki percobaan, dan kecepatan tarik. Mengingat bahwa permukaan bebas zat cair pada tangka percobaan sangat terbatas, sehingga ombak yang ditimbulkan oleh dinding tangki akibat adanya getaran akan mempengaruhi gerakan model tersebut (Rosmani, 2011).

Untuk menghindari terjadinya ombak pada dinding tangki atau biasa disebut dengan “*blockage effect*” maka ukuran model harus disesuaikan dengan ukuran tangki serta tinggi air dalam tangki dengan sarat model (Rosmani, 2011).

Dalam percobaan dengan menggunakan model fisik, ukuran kapal ditransfer ke skala model, dengan demikian maka harus ada atau harus dinyatakan

beberapa hukum perbandingan untuk keperluan transfer tersebut. Hukum perbandingan yang dipakai harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut: (Rosmani, 2011).

1. Kesamaan Geometris

Kesamaan geometris merupakan hal yang sangat sulit untuk dipenuhi mengingat bahwa dalam pelayaran kapal di laut, permukaan air laut dianggap luas tak berhingga dan kedalaman yang tak berhingga pula sementara ukuran kolam terbatas dengan ukuran model kapal harus kecil, sebanding dengan ukuran kolam satu lainnya. Demikian pula tekanan permukaan pada tangki percobaan yang dianggap sama dengan tekanan atmosfer, yang seharusnya tekanan tersebut harus diturunkan. Kondisi geometris yang dapat terpenuhi dalam suatu percobaan model hanya kesamaan geometris dimensi – dimensi linear model, misalnya:

Hubungan antara kapal dan model dinyatakan dengan λ dimana:

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} \quad (2.19)$$

Dimana:

λ = skala perbandingan

L_s = panjang kapal (m)

L_m = panjang model (m)

B_s = lebar kapal (m)

B_m = lebar model (m)

T_s = sarat kapal (m)

T_m = sarat model (m)

2. Kesamaan Kinematis

Kesamaan kinematis antara model dan kapal lebih menitik beratkan pada hubungan antara kecepatan model dengan kecepatan kapal sebenarnya. Dengan adanya skala yang menunjukkan hubungan antara kecepatan model dan kecepatan kapal yang sebenarnya maka dapat dikatakan bahwa kesamaan kinematis bisa terpenuhi.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g.L}} \quad (2.20)$$

Atau:

$$\frac{V_m}{\sqrt{g.L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g.L_s}} \quad (2.21)$$

Dimana:

Fr = angka froude

L_s = panjang kapal (m)

L_m = panjang model (m)

V_s = kecepatan kapal (m/dt)

V_m = kecepatan model (m/dt)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt²)

3. Kesamaan Dinamis

Gaya – gaya yang bekerja berkenaan dengan gerakan fluida sekeliling model dan kapal pada setiap titik atau tempat yang bersesuaian harus mempunyai besar dan arah yang sama, dalam hal ini kesatuan harga Reynold yang menggambarkan perbandingan gaya – gaya inersia dengan viskositas:

$$Rn = \frac{V.L}{\nu} \quad (2.22)$$

Atau

$$Rn = \frac{V_m.L_m}{\nu} = \frac{V_s.L_s}{\nu} \quad (2.23)$$

Dimana:

Rn = angka Reynold

L_s = panjang kapal (m)

L_m = panjang model (m)

V_s = kecepatan kapal (m/dt)

V_m = kecepatan model (m/dt)

ν = viskositas kinematis fluida (m^2/dt) = $1,1883 \times 10^{-6}$ (m^2/dt)

g = percepatan gravitasi ($9,81 m/dt^2$)

Dengan demikian jika diinginkan tercapainya kesamaan dinamis disamping kesamaan geometris dan kesamaan kinematis, maka angka Reynold untuk model harus sama dengan angka skala penuh (Rosmani, 2011).

2.5. *DualSPHysics*

DualSPHysics adalah perangkat dengan model SPH yang efisien dan *user-friendly* dengan kode numerikal untuk pengaplikasian yang luas pada bidang *hydraulic*, perkapalan, dan rekayasa kelautan. *DualSPHysics* dikembangkan dengan menggunakan teknik/metode SPH untuk masalah rekayasa yang dijalankan pada CPU atau GPU. Karena kekuatan GPU (Graphics Processing Unit) dengan kemampuan komputasi paralel yang kuat, permasalahan teknis yang nyata dapat disimulasikan menggunakan *DualSPHysics* dengan resolusi tinggi. *DualSPHysics* termasuk suatu implementasi untuk menghasilkan gelombang regular dan irregular dengan ketinggian dan periode gelombang yang diinginkan (*Andrea M, et al, 2018*).

DualSPHysics adalah perangkat lunak sumber terbuka. Baru – baru ini, kode *DualSPHysics* diaplikasikan untuk masalah rekayasa kelautan, seperti untuk mempelajari run-up dari pemecah gelombang dan mengestimasi dampak gelombang air laut pada struktur lepas pantai dimana hasil numerik divalidasi dengan data eksperimental untuk kasus – kasus tersebut (*Andrea M, et al, 2018*).

Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) diperkenalkan pada tahun 1977 dan awalnya digunakan dalam model astrofisika. Sifat Lagrangian dari SPH memberinya kemampuan untuk menangani berbagai kepadatan dan aliran tak terbatas. SPH pertama kali digunakan untuk memodelkan masalah cairan (fluida) sehari – hari. Pada masa sekarang, SPH diaplikasikan untuk memecahkan masalah yang lebih luas, misalnya dampak gelombang pada lepas pantai dan tes pada kasus pemecah gelombang (*break water*) (*Jonas E, 2018*).

SPH atau *Smoothed Particle Hydrodynamics* mendiskritkan fluida atau struktur kontinu menjadi titik – titik, titik – titik ini dimulai sebagai partikel material yang masing – masing memiliki satu set kuantitas fisik pada waktu tertentu. Untuk dinamika fluida, sifat – sifat ini seperti posisi, kecepatan, percepatan, kepadatan (*density*) dan juga tekanan. Sifat – sifat partikel tunggal dihitung dengan mengintegrasikan persamaan *Navier-Stokes* yang didiskritkan pada posisi partikel pada partikel tetangga (*Jonas E, 2018*).

Fitur utama SPH adalah mensimulasikan gerakan dan properti partikel individu dari waktu ke waktu dan karenanya menghilangkan kebutuhan untuk struktur *mesh* yang kompleks yang umumnya digunakan untuk simulasi fluida. Ini membuat SPH sangat berguna untuk permukaan bebas yang kompleks dan bergerak, geometri fluida yang kompleks, interaksi fluida-struktur dan juga untuk interaksi antara beberapa fluida dengan properti yang berbeda (*Jonas E, 2018*).

2.5.1. Metode *Smoothed Particle Hydrodynamic* (SPH)

Ketika diterapkan untuk menggambarkan mekanika fluida, metode SPH *mesh-less* digunakan untuk mendiskritkan volume cairan sebagai satu set partikel, yang gerakannya ditentukan oleh Persamaan *Navier-Stokes*. Partikel – partikel ini mewakili titik – titik nodal dimana kuantitas fisik (misalnya posisi, kecepatan, kepadatan, tekanan) didekati dengan interpolasi nilai partikel tetangga pada dukungan jarak pendek. Dasar – dasar matematika dari metode SPH didasarkan pada pendekatan besaran apapun dengan integral *konvolusi*. Setiap fungsi F dapat didefinisikan dengan (*Bonaventura T, et al, 2021*):

$$F(r) = \int F(r')W(r - r')dr' \quad (2.24)$$

Dimana W adalah fungsi Kernel, r adalah posisi titik dimana fungsi tersebut sedang dihitung, r' adalah posisi titik komputasi umum. Fungsi F ini dapat didekati dengan kontribusi partikel interpolasi; penjumlahan dilakukan atas semua partikel (*Bonaventura T, et al,2021*):

$$F(r_a) \approx \sum_b F(r_b)W(r_a - r_b, h) \frac{m_b}{\rho_b} \quad (2.25)$$

Dimana a adalah partikel terinterpolasi, b adalah partikel tetangga, m dan ρ adalah massa dan densitas, m_b/ρ_b adalah volume yang terkait dengan partikel tetangga b , dan h adalah panjang *smoothing*. Fungsi Kernel W memenuhi beberapa properti, satu opsi adalah *piecewise polynomial* (*Bonaventura T, et al, 2021*):

$$W(q) = \alpha_D \left(1 - \frac{q}{2}\right)^4 (2q + 1) \quad 0 \leq q \leq 2 \quad (2.26)$$

Dimana α_D adalah bilangan real sehingga $\int W_{ab} = 1$, $q = r/h$ adalah jarak non-dimensi antar partikel, dan r adalah jarak antar partikel tertentu a dan partikel lain b . Dengan cara ini *Wedland Kernel* digunakan untuk menghitung interaksi partikel pada jarak hingga $2h$. Dalam kerangka *Lagrangian*, bentuk dari persamaan *Navier-Stokes* dapat ditulis dengan menggunakan fungsi Kernel (*Bonaventura T, et al, 2021*):

$$\frac{dv_a}{dt} = - \sum_b m_b \left(\frac{P_a + P_b}{\rho_a \rho_b} + \pi_{ab} \right) \nabla_a W_{ab} + g \quad (2.27)$$

$$\frac{d\rho_a}{dt} = \rho_a \sum_b \frac{m_b}{\rho_b} v_{ab} \nabla_a W_{ab} + 2\delta ac \sum_b (\rho_b - \rho_a) \frac{v_{ab} \nabla_a W_{ab}}{r_{ab}^2} \frac{m_b}{\rho_b} \quad (2.28)$$

Dimana t adalah waktu, v adalah kecepatan, P adalah tekanan, g adalah percepatan gravitasi, ∇_a adalah operator gradien, W_{ab} adalah fungsi Kernel, yang nilainya tergantung antara jarak a dan b , $r_{ab} = r_a - r_b$ dengan r_k adalah posisi ke- k partikel, dan π_{ab} adalah viskositas buatan (*Bonaventura T, et al, 2021*).

Hubungan antara kepadatan dan tekanan mengikat system persamaan. DualSPHysics menggunakan formulasi *Weakly Compressible SPH* (WCSPH) untuk permodelan fluida, dan untuk formulasi tersebut, persamaan *Tait* digunakan untuk menentukan tekanan fluida, P , dari densitas partikel (*Bonaventura T, et al, 2021*).

$$P = \frac{c^2 \rho_0}{\gamma} \left(\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \right) \quad (2.29)$$

Dimana ρ_0 adalah kepadatan fluida referensi, γ adalah konstanta *polytropic*. Kompresibilitas fluida disesuaikan sehingga c dapat diturunkan secara artifisial untuk memastikan nilai wajar. Untuk penyelesaian posisi partikel a pada langkah $n + 1$ adalah sebagai berikut (*Bonaventura T, et al, 2021*):

$$r_a^{n+1/2} = r_a^n + \frac{\Delta t}{2} v_a^n \quad (2.30)$$

$$v_a^{n+1/2} = v_a^n + \frac{\Delta t}{2} F_a^n \quad (2.31)$$

$$v_a^{n+1} = v_a^n + \frac{\Delta t}{2} F_a^{n+1/2} \quad (2.32)$$

$$r_a^{n+1} = r_a^n + \Delta t \frac{v_a^{n+1/2} + v_a^n}{2} \quad (2.33)$$

Dimana $F_a = dv_a / dt$, dan $v_a = dr_a / dt$. Kepadatan diperbarui pada langkah temporal berikutnya melalui dua langkah serupa, yang tertulis (*Bonaventura T, et al, 2021*):

$$\rho_a^{n+1/2} = \rho_a^n + \frac{\Delta t}{2} R_a^n$$

$$\rho_a^{n+1} = \rho_a^n + \frac{2 + \frac{R_a^{n+1/2}}{\rho_a^{n+1/2}} \Delta t}{2 - \frac{R_a^{n+1/2}}{\rho_a^{n+1/2}} \Delta t} \rho_a^n \quad (2.34)$$

Dimana $R_a = d\rho_a / dt$. Variabel time stepping dapat digunakan, dan mempertimbangkan kondisi *Courant-Friedrich-Lewy* (CFL), difusi gaya dan viskositas dapat dihitung sebagai berikut (*Bonaventura T, et al, 2021*):

$$\Delta t = C_{CFL} \min \left(\frac{h}{|f_a|}, \frac{h}{c + a \max \frac{|h v_a \cdot r_a|}{r_{ab}^2 + \eta^2}} \right) \quad (2.35)$$

Dimana f_a adalah gaya per satuan massa. Terakhir, penting untuk disebutkan bahwa kondisi awal di *DualSPHysics* dihasilkan menggunakan alat *pre-processing* yang membuat partikel dengan antar-partikel awal. Nilai ini juga mendefinisikan resolusi yang digunakan dalam simulasi. Partikel fluida dan partikel solid, baik dari objek yang terapung atau padatan lainnya, dibuat mengikuti spasi awal ini pada langkah awal (*Bonaventura T, et al, 2021*).