

**KOMPARASI TAHANAN KAPAL MENGGUNAKAN  
BULBOUS BOW DAN TANPA BULBOUS BOW  
BERDASARKAN ANALISIS CFD  
(Computational Fluid Dynamic)**

*Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Meraih Gelar Strata I (S1)*

*Sarjana Teknik Perkapalan Fakultas Teknik*

*Universitas Hasanuddin*



**AHMAD AMSAL RASIDI**

**D311 14 315**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**2019**





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN

Kampus Teknik Unhas Gowa, Jalan Poros Malino Km.60. Gedung Perkapalan A  
Telp/Fax : (0411)585637, [kapal@ft.unhas.ac.id](mailto:k kapal@ft.unhas.ac.id) Romang Lompoa 92171

**LEMBAR PENGESAHAN**

*Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh pembimbing yang bersangkutan guna memenuhi salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana teknik pada Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*

Judul Skripsi :

**KOMPARASI TAHANAN KAPAL MENGGUNAKAN BULBOUS BOW  
DAN TANPA BULBOUS BOW BERDASARKAN ANALISIS CFD  
(Computational Fluid Dynamic)**

Disusun Oleh :

**AHMAD AMSAL RASIDI**

**D311 14 315**

Gowa, 31 Januari 2019

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Pembimbing I**

**Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.**  
197302062000121002

**Pembimbing II**

**Dr.Eng. A. Ardianti,ST.,MT. NIP.**  
NIP. 19850526 201212 2 002

Mengetahui,  
Ketua Departemen Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



**Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.**  
NIP. 197302062000121002





# KOMPARASI TAHANAN KAPAL MENGGUNAKAN BULBOUS BOW DAN TANPA BULBOUS BOW BERDASARKAN ANALISIS CFD (Computational Fluid Dynamic)

**Ahmad Amsal Rasidi, Suandar Baso & A.Ardianti**  
Departemen Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddiin, Gowa  
Jl. Poros Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92119

## ABSTRAK

Besarnya nilai 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 dibandingkan kapal menggunakan *bulbos bow*. Salah satu cara untuk mendapatkan nilai tahanan adalah dengan menggunakan metode numerik (*softwere*). 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 CFD. Pengambilan data dilakukan dengan mengolah ukuran utama dan gambar lines plan kapal, kemudian dengan menggunakan software Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) untuk mendapatkan nilai tahanan dan karakteristik aliran fluida disepanjang lambung kapal. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui nilai tahanan model kapal menggunakan *bulbous bow* sebesar 2,618 N lebih kecil dibandingkan model kapal tanpa *bulbous bow* dengan nilai tahanan sebesar 3,142 pada kondisi kecepatan dinas 0,894 m/s, dengan persentase perbandingan sebesar 20,003% dan pada kondisi setiap variasi kenaikan kecepatan persentase perbandingan nilai tahanan model kapal sebesar 18,65%.

Kata kunci : tahanan kapal, *bulbous bow*, karakteristik aliran fluida dan CFD



# **SHIP RESISTANCE COMPARISON USING BULBOUS BOW AND WITHOUT BULBOUS BOW BASED ON ANALYSIS OF CFD (Computational Fluid Dynamic)**

**Ahmad Amsal Rasidi, Suandar Baso & A. Ardianti**

Naval Departement

Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa  
Jl. Poros Malino, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92119

## **ABSTRACT**

The magnitude of the resistance value of the ship is affected by many things, one of them the shape of the bow. For ships with a bulbous bow form without bow tends to have relatively large barriers compared to ships using a bulbous bow. One way to get the value of the resistance is to use numerical methods (software). Therefore, this study aims to determine the comparative value of the ship's bulbous bow uses prisoners and without a bulbous bow and determine the characteristics of fluid flow that occurs along the hull based on CFD analysis. Data retrieval is done by processing the main size and image lines plan to ship, then using the software Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamic) to get the value of the resistance and the characteristics of the fluid flow over the hull. Based on the results of the calculation of the value of the ship model resistance is known to use the bulbous bow of 2.618 N smaller than model ships without convict bulbous bow with a value amounting to 3.142 on condition the speed Office 0.894 m/s, with the percentage comparison of 20.003% and on the conditions of each variation increases the speed of the percentage comparison between the value of the ship model prisoners of 18.65%.

Keywords: resistance of ship, bulbous bow, fluid flow characteristics, and CFD



## 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

“KOMPARASI TAHANAN KAPAL MENGGUNAKAN BULBOUS BOW  
DAN TANPA BULBOUS BOW BERDASARKAN ANALISIS CFD  
(Computation Fluid Dynamic)”

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 terimah kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Ayahanda Rasidi dan Ibunda Darmina, 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 Dr. Eng.A.Ardianti,ST.,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 Hj. Rosmani, MT selaku Kepala Labo Hidrodinamika Kapal.
5. Bapak Wahyudin,ST.,MT selaku Penasehat Akademik yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam perencanaan mata kuliah.
6. Bapak Prof.Ir. Mansyur Hasbullah,M Eng, Bapak Ir. Lukman Bochary,MT dan Ibu Ir Hj. Rosmani, MT, selaku penguji dalam tugas akhir ini.
7. Ibu Uti, Pak Rio, dan Kak yudi selaku staf jurusan perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
8. Seluruh Dosen Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
9. Kepada teman-teman ZTRINGER 2014, terima kasih telah memberi pengalaman tentang persahabatan selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan.
10. Kepada teman-teman seperjuangan skripsi (Aji dan Hamdi). Untuk memperoleh gelar sarjana memang tidak mudah kawan, tapi yakin kita dapat melewatinya.



akak-kakak Teknik Perkapalan Unhas 2010, 2011 dan 2012 atas segala semangat dan dukungannya selama ini.

12. Kepada teman-teman TEKNIK 2014 serta seluruh senior dan junior. penulis mengucapkan banyak terimakasih banyak.
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, 29 Januari 2019

**PENULIS**



## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| Halaman Judul.....   | i    |
| Lembar pengesahan.....   | ii   |
| Abstrak .....  | iv   |
| Abstract .....   | v    |
| Kata Pengantar .....   | vi   |
| Daftar Isi.....  | ix   |
| Daftar Notasi .....  | xii  |
| Daftar Tabel .....   | xvi  |
| Daftar Gambar.....   | xvii |
| Daftar Lampiran .....  | xxi  |
| Bab I Pendahuluan .....  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang.....  | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah.....   | 4    |
| 1.3 Batasan Masalah .....  | 5    |
| 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 Tahanan kapal kondisi air tenang ( <i>still-water</i> )..... | 14   |



|   |    |
|---|----|
| 2.2.3 Aliran fluida.....  | 14 |
| 2.2.4 Aliran <i>vortex</i> .....                                | 21 |
| 2.3 Bulbous Bow .....   | 24 |
| 2.3.1 Bentuk – bentuk bulbous bow .....                         | 26 |
| 2.4 Autodesk CFD ( <i>Computation Fluid Dynamic</i> ).....      | 29 |
| 2.4.1 Proses simulasi autodesk CFD .....                        | 33 |
| 2.5 Maxsurf .....   | 35 |
| 2.5.1 Maxsurf modeler.....                                      | 36 |
| 2.5.2 Maxsurf resistance .....                                  | 38 |
| Bab III Metodologi Penelitian.....                              | 42 |
| 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....                           | 42 |
| 3.1.1 Lokasi Penelitian .....                                   | 42 |
| 3.1.2 Waktu Penelitian .....                                    | 42 |
| 3.2 Jenis dan Pengumpulan Data.....                             | 42 |
| 3.3 Metode Pengolahan Data.....                                 | 43 |
| 3.3.1 Data kapal.....   | 43 |
| 3.3.2 Kajian pustaka .....                                      | 45 |
| 3.3.3 Pemodelan kapal .....                                     | 45 |
| 3.3.4 Simulasi CFD ( <i>Computational Fluid Dynamic</i> ) ..... | 48 |
| 3.3.5 Verifikasi.....   | 55 |
| 3.3.6 Analisis data .....                                       | 56 |
| 3.3.7 Kesimpulan.....   | 57 |
| Kerangka Pikir .....  | 58 |



|   |     |
|---|-----|
| Bab IV Hasil dan Pembahasan.....  | 59  |
| 4.1 Visualisasi <i>Velocity Magnitude</i> dan <i>Static Pressure</i> .....                  | 59  |
| 4.2 Prediksi Tahanan Model Kapal .....  | 61  |
| 4.2.1 Perbandingan nilai tahanan model kapal.....   | 68  |
| 4.2.2 Perbandingan nilai koefisien tahanan model kapal.....                                 | 71  |
| 4.3 Prediksi Tahanan Kapal.....   | 74  |
| 4.3 Karakteristik Aliran Fluida .....   | 76  |
| 4.3.1 Pola aliran fluida .....  | 76  |
| 4.3.2 Wave Profile.....   | 83  |
| 4.3.3 Vorticity .....   | 91  |
| 4.4 Perbandingan Hasil Tahanan Model Kapal berdasarkan Analisis CFD<br>dengan Maxsurf ..... | 93  |
| Bab V Penutup .....   | 95  |
| 5.1 Kesimpulan.....   | 95  |
| 5.2 Saran .....   | 96  |
| Daftar Pustaka.....   | 98  |
| Lampiran .....  | 100 |



## DAFTAR NOTASI

| Notasi | Nama  | Satuan            |
|--------|---|-------------------|
| DWT    | Deadweight tonnage                                | Ton               |
| RTM    | Tahanan total model                               | N                 |
| RFM    | Tahanan gesek model                               | N                 |
| f,n    | Konstanta fungsi dari panjang dan sifat permukaan |                   |
| RRM    | Tahanan sisa model                                | N                 |
| CT     | Koefisien tahanan total                           |                   |
| CR     | Koefisien tahanan sisa                            |                   |
| CF     | Koefisien tahanan gesek                           |                   |
| CW     | Koefisien tahanan gelombang                       |                   |
| CFO    | Koefisien tahanan bentuk                          |                   |
| (1+k)  | <i>From factor</i>                                |                   |
| CAA    | Tahanan akibat angin ( <i>air resistance</i> )    | N                 |
| P      | Tekanan   | Pa                |
| $\rho$ | Massa jenis                                       | Kg/m <sup>3</sup> |
| g      | Percepatan gravitasi bumi (0,98)                  | m/s <sup>2</sup>  |
| h      | Tinggi tertentu dari garis datar                  | m                 |
| v      | Kecepatan sebuah benda                            | m/s               |
| R      | Tahanan kapal                                     | N                 |
| p      | Tekanan statis fluida                             | Pa                |
|        | Viskositas  | Pa.s              |



| Notasi              | Nama   | Satuan         |
|---------------------|--|----------------|
| M                   | Dimensi massa (SI)                                     |                |
| L                   | Dimensi panjang (SI)                                   |                |
| T                   | Dimensi waktu (SI)                                     |                |
| S,A                 | Luas permukaan bidang basah                            | m <sup>2</sup> |
| C <sub>d</sub>      | Koefisien <i>drag force</i>                            |                |
| F <sub>d</sub>      | <i>Drag force</i>                                      | N              |
| F <sub>n</sub>      | <i>Froude number</i>                                   |                |
| R <sub>e</sub>      | Bilangan reynold                                       |                |
| v                   | <i>Velocity relative to fluid</i>                      | m/s            |
| U                   | Kecepatan aliran datang                                | m/s            |
| CW                  | <i>vortex</i> searah jarum jam                         |                |
| CCW                 | <i>Vortex</i> berlawanan arah jarum jam                |                |
| B <sub>b</sub>      | Lebar maksimum dari <i>bulb area</i>                   | m              |
| A <sub>BT</sub>     | <i>Bulb area</i>                                       | m <sup>2</sup> |
| FP                  | <i>Forward perpendicular</i>                           |                |
| B <sub>MS,B</sub>   | Lebar maksimum kapal                                   | m              |
| L <sub>PP,LBP</sub> | <i>Lenght perpendicular</i>                            | m              |
| Z <sub>B</sub>      | Tinggi bagian depan <i>bulb</i> diatas <i>baseline</i> | m              |
| T <sub>FP,d</sub>   | Sarat kapal  | m              |
| A <sub>BL</sub>     | Area bagian depan haluan                               | m <sup>2</sup> |
|                     | <i>Midship sectional area</i>                          | m <sup>2</sup> |



| Notasi          | Nama  | Satuan |
|-----------------|---|--------|
| $\forall_{PR}$  | Volume bagian depan yang menonjol pada <i>bulb</i>              | $m^3$  |
| $\forall_{WL}$  | Volume displacement kapal                                       | $m^3$  |
| k- $\epsilon$   | <i>Turbulent k-epsilon</i>                                      |        |
| k- $\omega$     | <i>turbulent sheer stress transport</i>                         |        |
| FEM             | <i>Finite element method</i>                                    |        |
| FVM             | <i>Finite volume method</i>                                     |        |
| FDM             | <i>Finite difference method</i>                                 |        |
| CFD             | <i>Computational fluid dynamic</i>                              |        |
| $\oint$         | Integral lintasan ( <i>countur integral</i> )                   |        |
| $L_{OA}$        | <i>Lenght over all</i>  | m      |
| $L_{WL}$        | <i>Lenght water line</i>  | m      |
| D               | Tinggi kapal  | m      |
| V               | Kecepatan kapal   | m/s    |
| $\Delta$        | Displacement  | Ton    |
| $C_b$           | Koefisien bentuk kapal  |        |
| $C_p$           | Koefisien perisimatik kapal                                     |        |
| $L_{WL\ model}$ | <i>Lenght water line model kapal</i>                            | m      |
| $V_{model}$     | Kecepatan model kapal   | m/s    |
| $x/L_{BP}$      | Jarak tiap bagian sepanjang <i>lenght between perpendicular</i> | m      |
|                 | Jarak vertikal <i>wave profile</i> dari <i>base line</i> kapal  | m      |



| <b>Notasi</b>                      | <b>Nama</b>  | <b>Satuan</b>      |
|------------------------------------|--|--------------------|
| Y                                  | Jarak horisontal <i>wave profile</i> dari <i>base line</i> kapal | m                  |
| N                                  | <i>ekstensive property equal total mass in system</i>            | kg                 |
| U                                  | Kecepatan aliran fluida searah sumbu - x                         | m/s                |
| V                                  | Kecepatan aliran fluida searah sumbu - y                         | m/s                |
| W                                  | Kecepatan aliran fluida searah sumbu - z                         | m/s                |
| $\Omega$                           | <i>Fluid volume in system (dx dy dz)</i>                         | m <sup>3</sup>     |
| K <sub>u</sub>                     | <i>Specific volume of fluid in x-direction</i>                   | m <sup>3</sup> /kg |
| K <sub>v</sub>                     | <i>Specific volume of fluid in y-direction</i>                   | m <sup>3</sup> /kg |
| K <sub>w</sub>                     | <i>Specific volume of fluid in z-direction</i>                   | m <sup>3</sup> /kg |
| h                                  | Karakteristik diagonal panjang elemen dan ruang dimensi hingga   |                    |
| o                                  | <i>The density-pressure coupling</i>                             |                    |
| (a <sub>i</sub> , a <sub>j</sub> ) | Elemen entri atau anggota matrix                                 |                    |



## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 1. Ukuran utama kapal .....  | 44 |
| Tabel 2. Data hidrostatik kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa<br><i>bulbous bow</i> .....   | 46 |
| Tabel 3. Ukuran model kapal skala 1:40.....  | 49 |
| Tabel 4. Ukuran <i>boundary layer</i> skala 1:40.....  | 49 |
| Tabel 5. Statistik mesh model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> .....   | 51 |
| Tabel 6. Statistik mesh model kapal tanpa <i>bulbous bow</i> .....   | 52 |
| Tabel 7. Data kecepatan ( <i>velocity</i> ).....   | 53 |
| Tabel 8. Nilai tahanan, koefisien tahanan dan rata – rata <i>static pressure</i> model<br>kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> setiap variasi kecepatan .....                                  | 62 |
| Tabel 9. Nilai tahanan, koefisien tahanan dan rata – rata <i>static pressure</i><br>model kapal tanpa <i>bulbous bow</i> setiap variasi kecepatan .....  | 65 |
| Tabel 10. Perbandingan nilai tahanan model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i><br>dan tanpa <i>bulbous bow</i> .....  | 68 |
| Tabel 11. Perbandingan nilai tahanan model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i><br>dan tanpa <i>bulbous bow</i> .....  | 71 |
| Tabel 12. Nilai tahanan kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i><br>pada setiap variasi kecepatan .....   | 74 |
| Tabel 13. Perbandingan nilai tahanan model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i><br>dan tanpa <i>bulbous bow</i> berdasarkan analisis CFD (Computational Fluid<br>Dynamics) dengan Maxsurf..... | 93 |



## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1. Kapal <i>general cargo</i> .....  | 1  |
| Gambar 2. Diagram komponen tahanan kapal.....   | 13 |
| Gambar 3. Aliran <i>streamline</i> yang melintasi suatu <i>body</i> .....                               | 14 |
| Gambar 4. Contoh aliran <i>fluida sub-marged</i> .....  | 19 |
| Gambar 5. Aliran laminar .....  | 20 |
| Gambar 6. Aliran transisi .....   | 20 |
| Gambar 7. Aliran turbulen .....   | 21 |
| Gambar 8. Skema terbentuknya lapisan geser ( <i>sheer layer</i> ).....                                  | 22 |
| Gambar 9. Skema mekanisme pelepasan <i>vortex</i> pada sebuah silinder dalam aliran <i>steady</i> ..... | 24 |
| Gambar 10. Sistem gelombang <i>bulbous bow</i> .....  | 25 |
| Gambar 11. Perubahan kecepatan aliran akibat pengaruh <i>bulbous bow</i> .....                          | 26 |
| Gambar 12. Tipe – tipe <i>bulbous bow</i> .....   | 27 |
| Gambar 13. Parameter linear dan nonlinear <i>bulbous bow</i> .....                                      | 28 |
| Gambar 14. Sistem koordinat 3D model <i>maxsurf</i> .....   | 36 |
| Gambar 15. Lines Plan KM Artha Bahari-8 .....   | 44 |
| Gambar 16. Visualisasi hasil pemodelan model kapal dan <i>boundary layer</i> .....                      | 47 |
| Gambar 17. Visualisasi tahap <i>geometry</i> model kapal dan <i>boundary layer</i> .....                | 49 |
| Gambar 18. Visualisasi input material model kapal dan <i>boundary layer</i> .....                       | 50 |
| Gambar 19. Visualisasi input <i>boundary conditions</i> model kapal dan <i>boundary layer</i> .....     | 51 |
| Gambar 20. Visualisasi <i>mesh sizing</i> model kapal dan <i>boundary layer</i> .....                   | 52 |



|  |    |
|--|----|
| Gambar 21. Visualisasi tahap <i>clone</i> model kapal dan <i>boundary layer</i> .....  | 54 |
| Gambar 22. Visualisasi tahap <i>solve</i> model kapal dan <i>boundary layer</i> .....  | 55 |
| Gambar 23. Kerangka pikir penelitian .....   | 58 |
| Gambar 24. Visualisasi <i>velocity magnitude</i> model kapal pada kecepatan aliran<br>0,894 m/s .....  | 59 |
| Gambar 25. Visualisasi static pressure model kapal pada kecepatan aliran<br>0,894 m/s .....  | 60 |
| Gambar 26. Grafik hubungan antara kecepatan dengan tahanan model kapal<br>menggunakan <i>bulbous bow</i> .....                                   | 63 |
| Gambar 27. Grafik hubungan antara kecepatan dengan koefisien tahanan<br>model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> .....                         | 64 |
| Gambar 28. Grafik hubungan antara kecepatan dengan rata – rata <i>static</i><br><i>pressure</i> model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> ..... | 65 |
| Gambar 29. Grafik hubungan antara kecepatan dengan tahanan model kapal<br>tanpa <i>bulbous bow</i> .....   | 66 |
| Gambar 30. Grafik hubungan antara kecepatan dengan koefisien tahanan<br>model kapal tanpa <i>bulbous bow</i> .....                               | 67 |
| Gambar 31. Grafik hubungan antara kecepatan dengan rata – rata <i>static</i><br><i>pressure</i> model kapal tanpa <i>bulbous bow</i> .....       | 68 |
| Gambar 32. Grafik hubungan antara kecepatan dengan tahanan model kapal<br>menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i> .....      | 69 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 33. Grafik hubungan antara kecepatan dengan persentase perbandingan<br>model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i> ..... | 70 |
|---|----|



|  |    |
|--|----|
| Gambar 34. Grafik hubungan antara kecepatan dengan koefisien tahanan model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i> .....                         | 72 |
| Gambar 35. Grafik hubungan antara kecepatan dengan persentase perbandingan Koefisien tahanan model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i> ..... | 72 |
| Gambar 36. Grafik hubungan antara kecepatan dengan tahanan kapal Menggunakan <i>bulbous bow</i> dan tanpa <i>bulbous bow</i> .....   | 75 |
| Gambar 37. Grafik hubungan antara $F_n$ dengan persentase perbandingan tahanan model kapal dan kapal sesungguhnya.....   | 76 |
| Gambar 38. Visualisasi pola aliran fluida model kapal pada kecepatan aliran 0,894 m/s .....  | 78 |
| Gambar 39. Jumlah dan letak <i>grid</i> pola aliran fluida model kapal .....   | 78 |
| Gambar 40. Perbandingan pola aliran fluida pada kecepatan 0,081 m/s .....  | 79 |
| Gambar 41. Perbandingan pola aliran fluida pada kecepatan 0,163 m/s .....  | 79 |
| Gambar 42. Perbandingan pola aliran fluida pada kecepatan 0,244 m/s .....  | 80 |
| Gambar 43. Perbandingan pola aliran fluida pada kecepatan 0,325 m/s .....  | 80 |
| Gambar 44. Perbandingan pola aliran fluida pada kecepatan 0,406 m/s .....  | 80 |
| Gambar 45. Perbandingan pola aliran fluida pada kecepatan 0,488 m/s .....  | 81 |
| Gambar 46. Perbandingan pola aliran fluida pada kecepatan 0,569 m/s .....  | 81 |
| Gambar 47. Perbandingan pola aliran fluida pada kecepatan 0,650 m/s .....  | 81 |
| Gambar 48. Perbandingan pola aliran fluida pada kecepatan 0,732 m/s .....  | 82 |
| Gambar 49. Perbandingan pola aliran fluida pada kecepatan 0,813 m/s .....  | 82 |
| Gambar 50. Perbandingan pola aliran fluida pada kecepatan 0,894 m/s .....  | 82 |



|  |    |
|--|----|
| Gambar 51. Visualisasi <i>wave profile</i> model kapal pada kecepatan aliran<br>0,894 m/s .....                          | 84 |
| Gambar 52. Jumlah dan letak <i>grid</i> secara memanjang searah sumbu-Y .....  | 85 |
| Gambar 53. Perbandingan <i>wave profile</i> pada kecepatan 0,081 m/s.....  | 86 |
| Gambar 54. Perbandingan <i>wave profile</i> pada kecepatan 0,163 m/s.....  | 86 |
| Gambar 55. Perbandingan <i>wave profile</i> pada kecepatan 0,244 m/s.....  | 87 |
| Gambar 56. Perbandingan <i>wave profile</i> pada kecepatan 0,325 m/s.....  | 87 |
| Gambar 57. Perbandingan <i>wave profile</i> pada kecepatan 0,406 m/s.....  | 87 |
| Gambar 58. Perbandingan <i>wave profile</i> pada kecepatan 0,488 m/s.....  | 88 |
| Gambar 59. Perbandingan <i>wave profile</i> pada kecepatan 0,569 m/s.....  | 88 |
| Gambar 60. Perbandingan <i>wave profile</i> pada kecepatan 0,650 m/s.....  | 88 |
| Gambar 61. Perbandingan <i>wave profile</i> pada kecepatan 0,732 m/s.....  | 89 |
| Gambar 62. Perbandingan <i>wave profile</i> pada kecepatan 0,813 m/s.....  | 89 |
| Gambar 63. Perbandingan <i>wave profile</i> pada kecepatan 0,894 m/s.....  | 89 |
| Gambar 64. Visualisasi aliran <i>vortex</i> model kapal menggunakan<br><i>bulbous bow</i> pada kecepatan 0,894 m/s ..... | 91 |
| Gambar 65. Visualisasi aliran <i>vortex</i> kapal tanpa <i>bulbous bow</i> pada<br>kecepatan 0,894 m/s .....             | 92 |
| Gambar 66. Perbandingan tahanan model kapal menggunakan <i>bulbous bow</i><br>berdasarkan analisis CFD dan Maxsurf ..... | 94 |
| Gambar 67. Perbandingan tahanan model kapal tanpa <i>bulbous bow</i><br>berdasarkan analisis CFD dan Maxsurf .....       | 94 |



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Pemodelan kapal menggunakan software Maxsurf Pro Modeler V,2 Bentley.
- Lampiran 2. Main Parameters of ship-bulb combinations of data collected with  $C_b = 0,7$ .
- Lampiran 3. Data nilai rata – rata static pressure dan jumlah gaya (force) pada setiap *surface*.
- Lampiran 4. Visualisasi perbandingan pola aliran fluida setiap kenaikan kecepatan aliran.
- Lampiran 5. Visualisasi perbandingan *wave profile* setiap kenaikan kecepatan aliran fluida.



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Kapal merupakan sebuah bangunan sistemik yang digunakan manusia sebagai sarana untuk melakukan segala aktivitas di wilayah perairan. Aktivitas tersebut diantaranya eksplorasi, pelayaran, penelitian ekosistem laut, penyebrangan, penangkapan ikan dan tentunya pengangkutan barang yang dijadikan sebagai muatan kapal. Adanya beragam fungsi dari aktivitas kapal tersebut membuat para ahli perancang kapal membuat kapal dengan ukuran dan bentuk yang sesuai dengan operasinya. Dalam operasi pengangkutan barang kapal merupakan salah satu unit alat transportasi dan wadah penampungan sementara sebelum didistribusikan ke tempat yang membutuhkan. Salah satu jenis kapal yang berfungsi mengangkut berbagai jenis barang (*cargo*) disebut *General Cargo*.



Sumber : <http://www.admarindcc.com/projects/dry-cargo-ships>

Gambar 1. Kapal *general cargo*



Dalam pengoperasianya, seperti kapal lainya, kapal *General Cargo* bergerak karena adanya interaksi antara sistem penggerak kapal, badan kapal dan air sehingga, menghasilkan gaya dorong bagi kapal. Sebagai komponen yang begitu esensial bagi pergerakan kapal, air memiliki pengaruh terhadap kapal dengan memberikan gaya lawan (*resisting force*) yang disebut sebagai tahanan kapal (*ship resistance*). Bagian kapal yang tidak tercelup air juga akan mengalami tahanan yang berasal dari angin namun, dalam hal ini pengaruh yang diberikan terhadap pergerakan kapal memiliki nilai yang kecil dibandingkan air (*Djarmiko et al, 1983*).

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 air disekitar kapal cukup besar (*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 oleh kapal – kapal militer Amerika Serikat dan baru umum digunakan kapal dagang sekitar akhir tahun 50-an. (*Sharma, R. et. al, 2005*).

Berbagai desain *bulbous bow* telah dikembangkan sesuai dengan bentuk penampang bagian depan kapal yaitu bentuk U dan V. Para ahli perkapalan

(Weinblum dan wegley) menunjukkan dari teori maupun percobaan berbagai bahwa *bulbous bow* dapat mengurangi besarnya gelombang yang



ditimbulkan oleh haluan kapal. Efek hidrodinamis dari pemasangan *bulbous bow* berdasarkan pada perubahan distribusi aliran disekitar haluan, menginterfensi gelombang yang terjadi akibat lambung kapal sehingga mengurangi keeluruhan *system* 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, 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 (*software*). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Deddy, C. et al (2014) menunjukkan bahwa kapal yang menggunakan *bulbous bow* mempunyai nilai tahanan yang lebih kecil dibandingkan dengan kapal yang tidak menggunakan *bulbous bow* dengan persentase nilai koefisien tahanan sebesar 21.89 % dan didapatkan pula nilai tahanan total yang menggunakan analisis CFD mendekati hasil eksperimen pengujian *towing tank* dengan selisih sebesar 1.51%.

Berdasarkan penelitian tersebut maka, peneliti tertarik melakukan penelitian serupa dengan menggunakan *software* berbeda yakni Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Aplikasi ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan *software* berbasis CFD lainnya, yakni *user* lebih mudah menentukan

sian masalah yang diinginkan, metode solusi yang digunakan tidak hanya akan *finite volume method* (FVM) untuk menciptakan volume kecil dari geometri dan kemudian mendiskritkan persamaan pada setiap volume



tersebut, namun dikombinasikan juga dengan metode *finite element method* (FEM), sehingga sangat fleksibel dalam memodelkan berbagai jenis geometri sebuah benda. Sedangkan untuk tingkat akurasi simulasi yang dilakukan secara garis besar masing – masing *software* berbasis CFD memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri. Oleh karena itu, aplikasi ini dapat menjadi alternatif yang mudah dalam menganalisis dan mensimulasikan efek penggunaan *bulbous bow* dan tanpa *bulbous bow* pada kapal *General cargo* terhadap tahanan kapal (*ship resistance*) dan mengetahui karakteristik aliran fluida yang terjadi sepanjang lambung kapal *General Cargo* terkait tahanan kapal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka, rumusan masalah yang dikemukakan adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar nilai tahanan model kapal menggunakan *bulbous bow* berdasarkan analisis CFD ?
2. Berapa besar nilai tahanan model kapal tanpa menggunakan *bulbous bow* berdasarkan analisis CFD ?
3. Bagaimana perbandingan tahanan model kapal menggunakan *bulbous bow* dan tanpa *bulbous bow* berdasarkan analisis CFD ?
4. Bagaimana karakteristik aliran fluida disepanjang lambung model kapal berdasarkan analisis CFD ?



### 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* Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*).
2. Model dan data kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah model dan data kapal *General Cargo*.
3. Perhitungan model tahanan kapal dilakukan pada kondisi air tenang (*still-water*).
4. Perhitungan model tahanan kapal tidak mempertimbangkan komponen tahanan tambahan (*appendages*).
5. Perhitungan model tahanan kapal dengan beberapa variasi kecepatan yakni mulai dari 1 knot sampai 11 knot yang dikonversi ke satuan m/s.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan besar nilai tahanan model kapal menggunakan *bulbous bow* berdasarkan analisis CFD.
2. Menentukan besar nilai tahanan model kapal tanpa menggunakan *bulbous bow* berdasarkan analisis CFD.



3. Menentukan perbandingan tahanan model kapal menggunakan *bulbous bow* dan tanpa *bulbous bow* berdasarkan analisis CFD.
4. Menentukan karakteristik aliran fluida disepanjang lambung model kapal berdasarkan analisis CFD.

### 1.5 Manfaat Penelitian

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

### 1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN, pada bab ini menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika



BAB II TINJAUAN PUSTAKA, 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 pikir.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, bab ini berisikan penyajian data yang telah diperoleh, proses pengolahan, hasil pengolahan data serta pembahasan.

BAB V PENUTUP, 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, kontainer, atau *heavy-lift cargo* tetapi memiliki fleksibilitas untuk membawa jenis muatan tersebut. Kapal ini merupakan jenis yang paling banyak di dunia pada tahun 2002 kapal ini digunakan sebagai armada pedagang dunia secara keseluruhan berjumlah sekitar 37% dan sekitar 11% *deadweight* (Linde H, 2004).

*General cargo* berarti kapal ini dapat mengangkut banyak jenis muatan. kapal ini menggunakan penutup palka (*hatchcovers*), sekat- sekat (*bulkheads*) serta dek ganda (*tweendeck*) di dalam lubang 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 lebih mudah (K. Van Dokkum, 2003).

Rata – rata *deadweight* kapal *general cargo* sekitar 5600 DWT. Kapal yang lebih besar mencapai 30000 DWT dimaksudkan untuk membawa muatan dengan beberapa kemasan diantaranya (*bagged, boxed dan palletied*) atau kontainer

untuk kapal yang berukuran relatif kecil berukuran kurang dari 5000 ton. Banyaknya kontainer yang digunakan sebagai solusi fleksibel banyak orang mengangkut *general cargo* melalui pengiriman 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 ini merupakan faktor penting yang berpengaruh saat perancangan kapal terutama penentuan bentuk lambung (*hull form*) dan untuk perhitungan daya mesin induk kapal, yang kemudian berpengaruh terhadap biaya operasional kapal yang berhubungan dengan konsumsi bahan bakar.

### 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 loses* akibat bentuk lambung kapal. Sedangkan tahanan gesek kapal diasumsikan sama dengan tahanan gesek suatu pelat datar 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.

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 lambung yang *streamline* pada aliran *turbient*, 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.

$$C_T = C_F + C_{FO} + C_W \text{ dimana } C_{FO} = KC_F \quad (2.4)$$

$$C_T = (1+k) C_F + C_W \quad (2.5)$$

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

$$(1 + k) = \frac{C_T}{C_{FO}} \quad (2.6)$$

Selanjutnya standar internasional dari *ITTC* (1978) dengan judul “1978 *Performance Predictio 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 berkaitan dengan bilangan *Reynolds* dan tahanan gelombang (*wave-making resistance*) yang tergantung pada bilangan *Froude*, dimana kolerasi kedua



komponen tahanan tersebut diperlihatkan pada persamaan dibawah ini (Sutiyo, 2014). Tahanan total kapal dibagi dalam empat komponen :

$$C_T = (1+k) C_F + C_R + C_F + C_{AA} \quad (2.7)$$

Dimana,

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

$C_F$  : 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,

$$C_T = (1+k) C_F + C_R + C_F + C_{AA} \quad (2.8)$$

$$C_T = (1+k) C_F + 0 \quad (2.9)$$



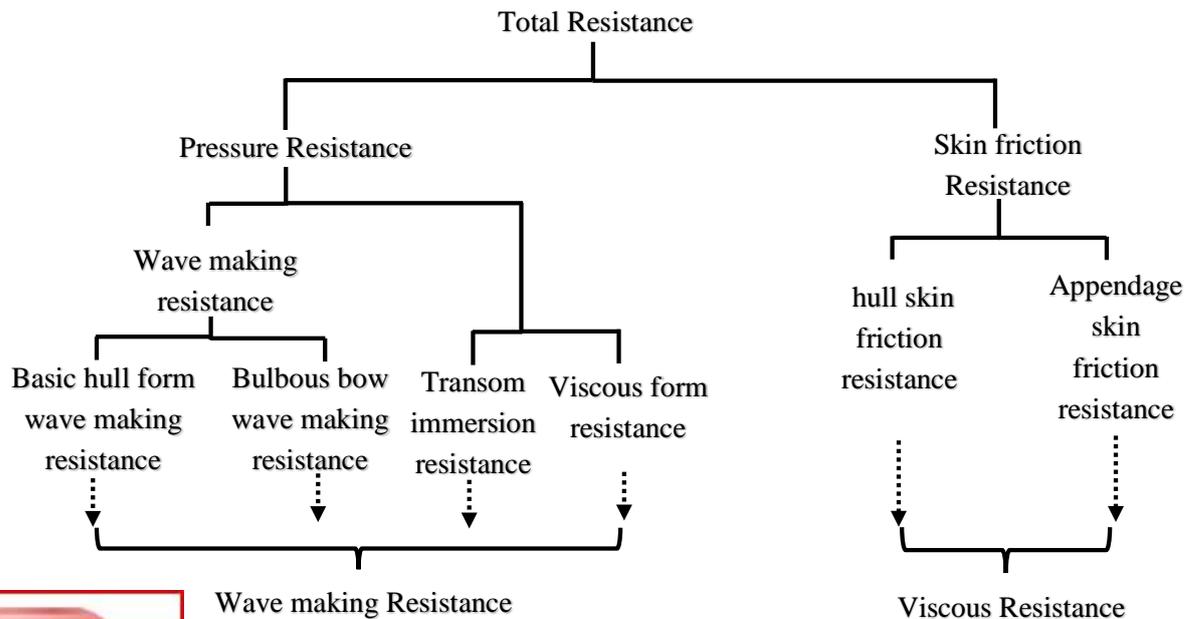
$$C_T = (1+k) C_F \quad (2.10)$$

$$(1+k) = C_T/C_F \quad (2.11)$$

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 didapat persamaan tahanan total kapal sebagai berikut :

$$C_T = (1+k) C_F + a F_n^n \quad (2.12)$$

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).



(Sutiyo, 2014)

Gambar 2. Diagram komponen tahanan kapal

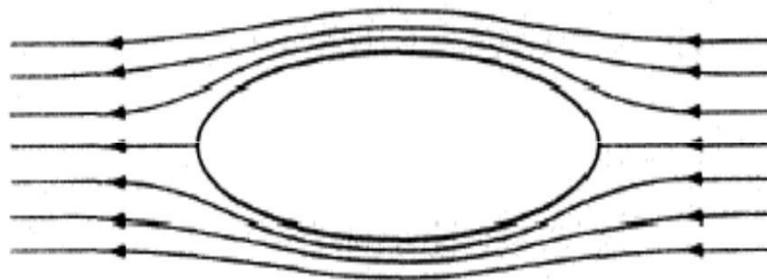


### 2.2.2 Tahanan kapal kondisi air tenang (*still-water*)

Ketika badan kapal bergerak melintasi suatu fluida, maka badan kapal tersebut mengalami gaya hambat yang berlawanan arah terhadap 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 digerakan oleh arus air dan massa udara digerakan oleh angin, yang mana kemungkinannya mempunyai besaran dan arah yang berbeda. Sehingga, tahanan kapal (*ship resistance*) awalnya dipelajari dalam kondisi air tenang dan tidak ada angin. Baru kemudian, perhitungan tahanan kapal tersebut diberikan tambahan dan koreksi terhadap kedua faktor tersebut (Suryo W. Adji, 2009).

### 2.2.3 Aliran fluida

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



Sumber : Suryo W. Adji, 2009

Gambar 3. Aliran *streamline* yang melintasi suatu *body*



etika fluida bergerak melintasi body, jarak antara *streamline* tersebut ini 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  $p$ ,  $\rho$ ,  $v$ , dan  $h$  adalah Tekanan, Massa Jenis, Kecepatan, dan Tinggi tertentu dari garis datar; maka dapat diformulasikan, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009). :

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = constant \quad (2.12)$$

Teori hidrodinamika sederhana senantiasa bekerja dengan fluida tanpa viskositanya. Didalam suatu sistem fluida *non-viscous*. Suatu body yang ditenggelamkan dan digerakan 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 lokal yang bekerja pada body tersebut, akan tetapi gaya-gaya tersebut saling meniadakan ketika diintegrasikan pada seluruh bodi. Gaya-gaya lokal 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

mempelajari tahanan kapal adalah Massa Jenis [ $\rho$ ], Viskositas [ $\mu$ ], Tekanan fluida [ $p$ ]. Jika Tahanan Kapal (*resistance*) adalah [ $R$ ], Kecepatan adalah



[V], dan Panjang adalah [L], maka Tahanan kapal dalam analisa dimensional dapat diformulsikan sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009). :

$$R = f [L^a V^b \rho^c \mu^d g^e p^f] \quad (2.13)$$

Sejumlah quantity yang masuk pada ekspresi 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<sup>-2</sup>] dan Massa Jenis [ $\rho$ ] memiliki dimensi [ML<sup>-3</sup>], dan sebagainya, maka dengan men-substitusi keseluruhan parameter ke bentuk dimensi fundamental-nya, diperoleh hubungan (Suryo W. Adji, 2009). :

$$\frac{ML}{T^2} = f \left[ L^a \left( \frac{L}{T} \right)^b \left( \frac{M}{L^3} \right)^c \left( \frac{M}{LT} \right)^d \left( \frac{L}{T^2} \right)^e \left( \frac{M}{LT^2} \right)^f \right] \quad (2.14)$$

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). :

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[ \left( \frac{\mu}{\rho V L} \right)^b, \left( \frac{gL}{V^2} \right)^b, \left( \frac{p}{\rho V^2} \right)^b \right] \quad (2.15)$$

Maka, persamaan keseluruhan dari Tahanan (*resistance*) dapat ditulis

sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009). :

$$R = \rho V^2 L^2 f \left[ f_1 \left( \frac{\mu}{\rho V L} \right)^b, f_2 \left( \frac{gL}{V^2} \right)^b, f_3 \left( \frac{p}{\rho V^2} \right)^b \right] \quad (2.16)$$



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

$$\frac{R}{\rho V^2 L^2} VL \frac{\rho}{\mu}, \frac{V}{(gL)^{0.5}}, \frac{p}{\rho V^2} \quad (2.17)$$

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. Pada topik Tahanan Kapal, yang paling sering digunakan adalah angka  $Re$  dan  $Fn$  (Suryo W. Adji, 2009).

Rasio  $\mu/\rho$  adalah dikenal dengan pengertian angka viskositas kinematis, yang dinyatakan dengan notasi  $\nu$ . Jika  $L^2$  pada ekspresi rasio non-dimensional yang pertama tersebut adalah merupakan luasan basah dari bodi, yang dinotasikan dengan  $S$ , maka ketiga rasio non-dimensional diatas dapat diekspresikan menjadi, sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009). :

$$\frac{R}{\frac{1}{2} \rho S V^2} = f \left( \frac{VL}{\nu}, \frac{gL}{V^2} \right) \quad (2.18)$$

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

$$R = \frac{1}{2} \rho C_T V^2 S \quad (2.19)$$



Dimana,  $C_T$  adalah Koefisien Tahanan Kapal total yang merupakan fungsi dari  $Re$  dan  $Fn$ , secara matematis diformulakan sebagai berikut (Suryo W. Adji, 2009). :

$$C_d = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (2.20)$$

Dimana,

$C_d$  = coefficient of drag

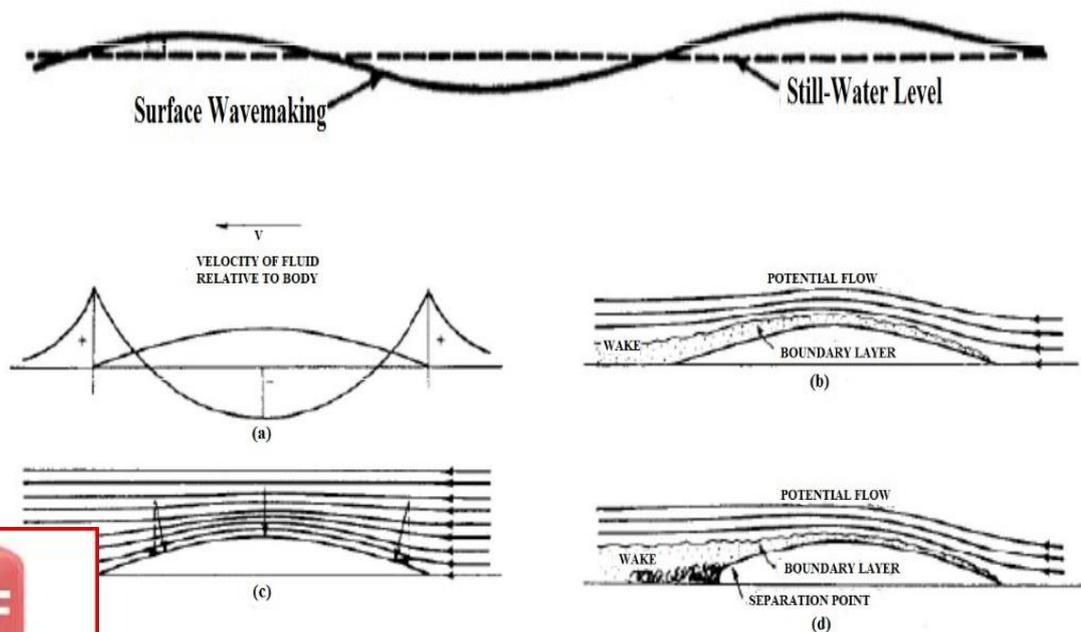
$F_d$  = drag force (N)

$\rho$  = density of fluid ( $1025 \frac{Kg}{m^3}$ )

$v$  = velocity relative to fluid ( $\frac{m}{s}$ )

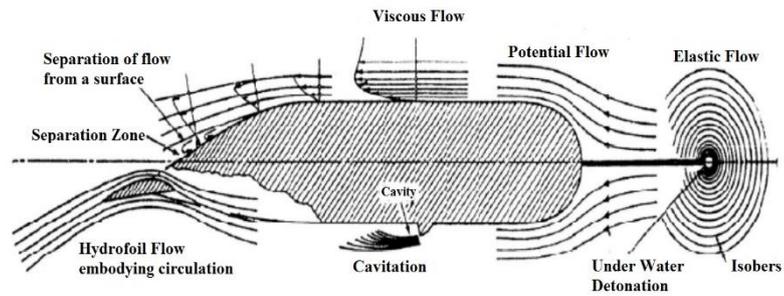
$A$  = cross sectional area ( $m^2$ )

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



D'Alambert's paradox





Sumber : Suryo W. Adji, 2009

Gambar 4. Contoh aliran *fluida sub-marged*

Fenomena aliran yang terkait dengan bentuk lambung kapal adalah aliran laminar, transisi dan turbulen. Hal yang paling berpengaruh terhadap bagaimana aliran yang terjadi pada lambung kapal adalah bentuk dari lambung kapal itu sendiri. Dalam hal ini, fenomena yang terjadi adalah *skin friction* yang nantinya akan menghasilkan bentuk aliran yang bersifat laminar dan turbulen. *Skin friction* memiliki nilai proporsional dengan besar luasan basah. *Skin friction drag* pada sebuah pelat tipis sejajar dengan aliran fluida dapat berupa aliran laminar, turbulen atau campuran antara keduanya (Sardjadi,2003).

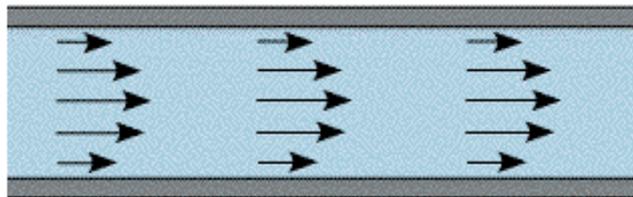
Untuk menguji apakah suatu aliran laminar atau turbulen, biasanya digunakan formulasinya yang dikenal dengan reynold number. Reynold number dirumuskan sebagai sebuah rasio dari hasil perkalian antara kecepatan dan panjang benda (kapal) dibagi dengan viskositas fluida yang dilaluinya. Pada nilai reynold number yang tinggi, lapisan fluida yang bergeser pada lapisan batas laminar bergulung-bergulung dan berputar dalam gumpalan-gumpalan. Pada kondisi ini noise dan skin friction menjadi semakin besar. Daerah pada lapisan ini di kenal

lapisan batas turbulen. Sedangkan area perubahan dari laminar ke turbulen daerah transisi (Sardjadi,2003).



1. Aliran laminar ( $Re < 2300$ )

Adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis arusnya. Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar, dengan satu lapisan meluncur satu arah pada lapisan yang bersebelahan. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat *steady* maksudnya alirannya tetap. Hal ini menunjukkan bahwa di seluruh aliran air, debit alirannya tetap atau kecepatan alirannya tidak berubah menurut waktu (Senoaji,2015).

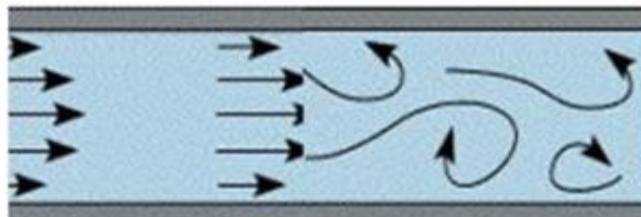


Sumber : Senoaji,2015

Gambar 5. Aliran laminar

2. Aliran transisi ( $2300 > Re > 4000$ )

Aliran Transisi adalah dimana kondisi partikel fluida berada pada peralihan dari kondisi seragam menuju kondisi acak, pada kondisi nyatanya kondisi seperti ini sangat sulit terjadi (Senoaji,2015).



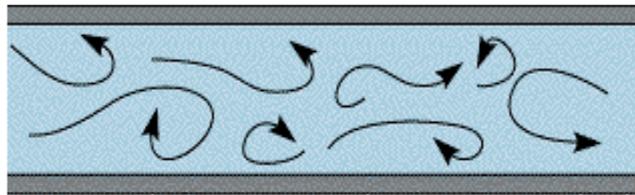
Sumber : Senoaji,2015

Gambar 6. Aliran transisi



### 3. Aliran turbulen ( $Re > 4000$ )

Kecepatan aliran yang relatif besar akan menghasilkan aliran yang tidak laminar melainkan kompleks, lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan yang lain. Sehingga didapatkan ciri dari aliran turbulen yaitu tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, aliran banyak bercampur, kecepatan fluida tinggi, panjang skala aliran besar dan viskositasnya rendah (Senoaji, 2015).



Sumber : Senoaji, 2015

Gambar 7. Aliran turbulen

#### 2.2.4 Aliran vortex

Bila suatu medan aliran fluida (air atau udara, misalnya) terhalang oleh sebuah benda maka pola aliran fluida tersebut akan terganggu dari kondisi stasionernya 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 tergantung pada suatu parameter yang disebut Angka Reynolds (Reynolds number),  $Re$ . Parameter aliran fluida ini didefinisikan dengan (Rudi W.

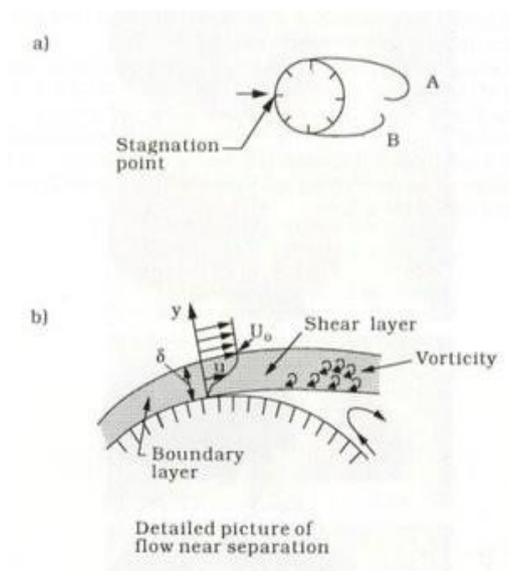
Prastinto, 2006):



$$Re = \frac{D \cdot U}{\mu} \quad (2.21)$$

Dimana,  $D$  adalah diameter silinder,  $U$  adalah kecepatan aliran fluida datangnya dan  $\mu$  menyatakan viskositas kinematis fluida.

Berdasarkan banyak percobaan visualisasi aliran yang telah dilakukan, nilai  $Re$  inilah yang akan menentukan bagaimana bentuk pola aliran yang akan terjadi. Beberapa di antaranya 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 dinaikkan, yang berarti nilai  $Re$  makin bertambah besar, misalnya untuk rentang  $5 < Re < 40$ , maka akan mulai terbentuk vortek. Dalam rentang nilai  $Re$  ini akan terbentuk sepasang vortek simetris di belakang silinder yang berputar stasioner tanpa terpecah selama rentang nilai  $Re$  tidak berubah (Rudi W. Prastinto, 2006).



Sumber : Rudi W. Prastinto, 2006

Gambar 8. Skema terbentuknya lapisan geser (*sheer layer*)



Namun ketika nilai  $Re$  ini terus dinaikkan, maka medan aliran makin menjadi tidak stabil, yang mana lambat-laun formasi vortek yang terbentuk mulai berantakan dengan pola-pola yang tertentu. Maka pada saat itulah akan timbul suatu fenomena yang dinamakan Pelepasan Vortek (*Vortex Shedding*), yang mulai terjadi pada saat nilai  $Re > 40$ . Fenomena ini adalah terlepasnya vortek secara bolak-balik di sisi-sisi silinder dengan pola dan frekuensi tertentu. Pola pelepasan vortek ini pun secara lebih detil akan memiliki bentuk tertentu sesuai dengan rentang angka  $Re$ -nya (*Rudi W. Prastinto, 2006*).

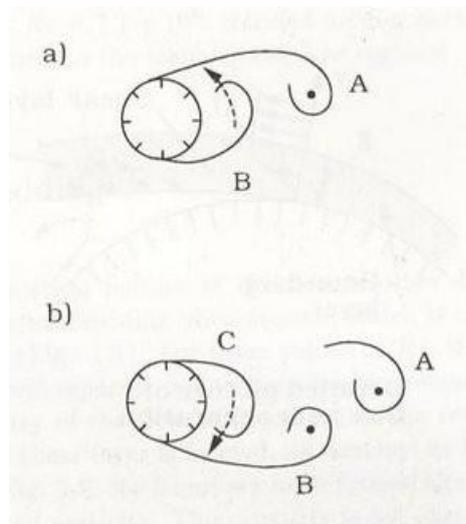
Fenomena pelepasan vortek ini memang biasa terjadi pada hampir semua jenis aliran fluida yang memiliki nilai angka  $Re > 40$ . Pada nilai  $Re$  ini, lapisan batas (*boundary layer*) di sekeliling permukaan silinder akan memisah akibat adanya gradien tekanan balik dari geometri yang divergen dari aliran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

Secara sederhana pelepasan *vortex*, yakni jika  $Re > 40$ , maka pasangan vortices yang terbentuk menjadi tidak stabil oleh gangguan/usikan kecil, sehingga salah satu vortek akan tumbuh lebih besar dari yang lainnya (lihat gambar sket terjadinya *vortex shedding*). *Vorticity* dalam Vortek A berputar searah jarum jam (CW), sedangkan *vorticity* dalam Vortek B berputar berlawanan arah jarum jam (CCW). Selanjutnya gerakan aliran *vorticity* yang CCW akan memotong aliran

yang mensuplay Vortek A, sehingga Vortek A terlepas lalu menjadi bas dan akhirnya terseret aliran ke arah belakang/menjauhi silinder (*Rudi Prastinto, 2006*).



Setelah vortek A terlepas, terbentuklah vortek baru menggantikan vortek A yaitu Vortek C. Maka selanjutnya, Vortek B akan mengalami hal yang sama dengan Vortek A sebelumnya, yaitu pertama, ukuran dan kekuatannya makin membesar lalu terpotong oleh Vortek C dan akhirnya terlepas menjadi vortek bebas. Proses seperti ini akan berlangsung terus-menerus setiap terjadi pelepasan vortek baru pada setiap sisi silinder seperti gambar dibawah ini (Rudi W. Prastinto, 2006).



Sumber : Rudi W. Prastinto, 2006

Gambar 9. Skema mekanisme pelepasan *vortex* pada sebuah silinder dalam aliran *steady*

### 2.3 *Bulbous Bow*

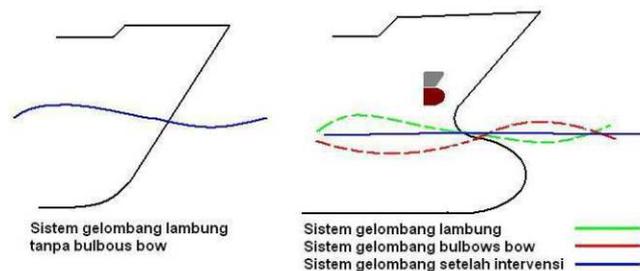
*Bulbous bow* adalah suatu bentuk konstruksi haluan yang berbentuk bulat telur yang ditempatkan pada linggi haluan bagian depan. Perbandingan model percobaan menunjukkan bahwa sebuah kapal yang dilengkapi dengan *bulbous bow*

memerlukan sedikit daya pendorong dan memiliki ketahanan yang jauh lebih baik dibandingkan dengan kapal yang sama tanpa menggunakan *bulbous bow*. Fungsi utamanya dipasang pada fungsi utama dari bagian ini adalah mengurangi



tahanan kapal pada saat kapal beroperasi. Keuntungan lain dari pemasangan *bulbous bow* yaitu memperbaiki trim kapal, akibat aliran fluida yang menekan bagian *bulb* dihaluan kapal. Tekanan fluida yang mengalir dibagian atas *bulb* memberikan tekanan kearah bawah dan menahan bagian haluan kapal mengangkat keatas (Romadhoni, 2017).

Penggunaan *bulbous bow* ini akan mempengaruhi aliran air disekitar lambung kapal. Penjelasan tentang efek aliran air yang terjadi disekitar kapal adalah air dipaksakan mengalir diatas *bulbous bow* sehingga dapat memecah gelombang air yang menahan didepanya (Prasetyo Adi dan Amiadji, 2013)



Sumber : Prasetyo Adi dan Amiadji, 2013

Gambar 10. Sistem gelombang *bulbous bow*

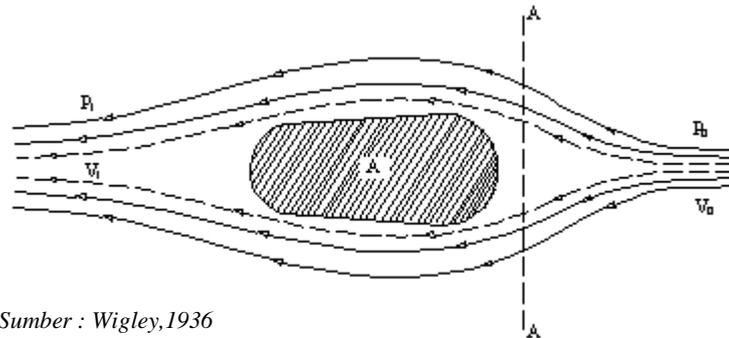
Teori hidrodinamika *bulbous bow* merupakan salah satu aplikasi dari asas Bernoulli sebagaimana yang dikembangkan oleh banyak peneliti. Berdasarkan asas tersebut memberikan gambaran bahwa terdapat suatu perubahan kecepatan dan tekanan cairan setelah melewati suatu benda bulat (*bulbous bow*).

Kecepatan  $V_0$  dan tekanan  $P_0$ , maka pada batas A-A terjadi pembelokan tersebut diikuti penambahan tekanan ( $P_1$ ) dan penurunan kecepatan ( $V_1$ ) akibatnya adanya penyempitan permukaan cairan disisi benda A. Secara s dapat dituliskan sebagai berikut (Wigley, 1936) :



$$P_0 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_0^2 = P_1 + \rho \cdot V_1^2 \quad (2.22)$$

Fenomena perubahan kecepatan aliran akibat pengaruh *bulbous bow* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 11. Perubahan kecepatan aliran akibat pengaruh *bulbous bow*

### 2.3.1 Bentuk – bentuk *bulbous bow*

Ada 3 jenis bentuk *bulbous bow* berdasarkan referensi SNAME Transactions, Vol.86, 1978 yaitu  $\Delta$ -type, O-type dan  $\nabla$ -type. Ketiga bentuk tersebut dilihat dari garis tegak lurus kedepan (*forward perpendicular*).

#### 1. $\Delta$ -type

Memperlihatkan luas penampang  $A_{BT}$  memiliki bentuk seperti titik air tergantung (*drop-shaped*), dengan titik pusat luasan dibawah titik tengah tinggi *bulbous bow* ( $H_B$ ) yang menunjukkan konsentrasi volume *bulbous bow* berada pada titik tersebut. Bentuk ini sesuai untuk jenis kapal yang kurang menghadapi hempasan gelombang besar.

#### 2. O-type

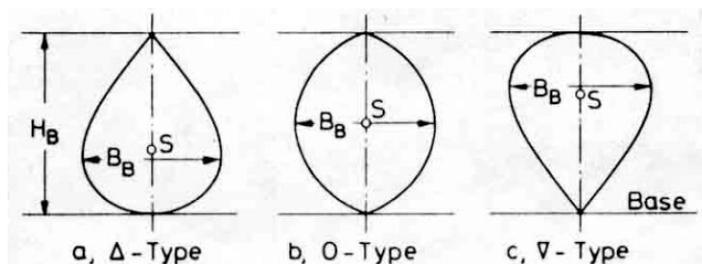
Memperlihatkan bentuk luas penampang  $A_{BT}$  berbentuk *oval* seperti titik air tergantung, dengan titik pusat luasan tepat pada titik



tengah tinggi *bulbous bow* ( $H_B$ ) yang menunjukkan bahwa konsentrasi volume *bulbous bow* berada pada titik tersebut. Bentuk ini banyak digunakan untuk jenis kapal yang memiliki nilai  $C_b$  besar atau kapal berukuran gemuk.

### 3. $\nabla$ -type

Memperlihatkan bentuk luasan penampang  $A_{BT}$  memiliki bentuk seperti titik air terbalik, dengan titik pusat luasan di atas titik tengah tinggi *bulbous bow* ( $H_B$ ) yang menunjukkan konsentrasi volume *bulbous bow* berada pada titik tersebut. Bentuk ini sangat cocok untuk jenis kapal yang menghadapi gelombang besar dan biasa dikombinasikan pada kapal yang memiliki konstruksi gading "V" yang digunakan kapal berkecepatan tinggi.



Sumber : Kract,1978

Gambar 12. Tipe – tipe *bulbous bow*

Dalam perencanaan gambar *bulbous bow*, terdapat dimensi dan beberapa parameter desain yaitu tiga parameter linear dan non linear :

#### 1. Parameter linear

- 1.1 Pada parameter lebar, lebar maksimal ( $B_B$ ) dari *bulb* area  $A_{BT}$  pada garis FP (*Fore Perpendicular*) dibagi dengan lebar kapal



( $B_{MS}$ ). Pada parameter panjang, panjang *bulb* yang menonjol ( $L_{PR}$ ) normalnya dibagi dengan panjang kapal ( $L_{PP}$ ).

1.2 Pada parameter kedalaman, tinggi ( $Z_B$ ) dari titik bagian depan terbesar dari *bulb* diatas *baseline* dibagi dengan sarat air ( $T_{FP}$ ) pada gari FP (*Fore Perpendicular*).

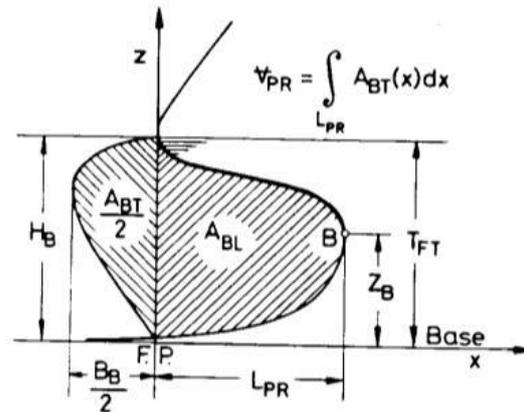
## 2. Parameter non liner

2.1 Pada parameter *cross section*, *cross sectional area* ( $A_{BT}$ ) dari *bulbous bow* pada garis FP (*Fore Perpendicular*) dibagi dengan *midship sectional area* ( $A_{MS}$ ) dari kapal.

2.2 Pada parameter secara memanjang, area pada bagian depan haluan ( $A_{BL}$ ) pada bidang memanjang normalnya dibagi dengan *midship sectional area* ( $A_{MS}$ ).

2.3 Pada parameter volume, volume volume ( $\nabla_{PR}$ ) dari bagian yang menonjol pada *bulb* dibagi dengan volume displacement ( $\nabla_{WL}$ ) dari kapal.





Sumber : Prasetyo Adi dan Amiadji, 2013

Gambar 13. Parameter linear dan nonlinear *bulbous bow*

## 2.4 Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah salah satu aplikasi komputer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika *fluida* diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Konsep dasar penggunaan *Computational Fluid Dynamic* adalah persamaan Navier – Stokes dengan prinsip yakni, kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energi. Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan secara luas untuk memberikan penyelesaian dari masalah secara eksperimen yakni dapat memberikan penjelasan tentang pola aliran yang sulit dan tidak mungkin untuk diketahui dengan menggunakan teknik percobaan dan yang terkait dengan perpindahan panas pada sebuah objek.

Pada Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan pemodelan turbulensi *K-Epsilon* ( $K-\epsilon$ ) untuk pemodelan kekentalan murni dan *Shear Stress Transport* ( $K-\omega$ ) untuk pemodelan *full viscous*. Metode penyelesaian *governing equation* adalah metode diskrit dengan 3 (tiga) metode yang digunakan yakni *Finite*

*Method* (*FEM*), *Finite Volume Method* (*FVM*), dan *Finite Difference* (*FDM*). Berdasarkan 3 (tiga) metode tersebut untuk geometri sederhana



dapat menghasilkan matriks solusi dan representasi digital yang sama persis namun, Autodesk CFD menggunakan *Finite Element Method (FEM)* dikarenakan fleksibilitasnya dalam memodelkan berbagai jenis geometri sebuah benda dan beberapa teknik *Finite Volume Method (FVM)* yang berhasil dimasukan sehingga, tidak hanya dapat memprediksikan aliran turbulen kecepatan tinggi (*high speed turbulent flow*) namun, termasuk aliran kompresibel (*compressible flow*).

Berdasarkan metode yang digunakan Autodesk CFD, maka metode solusi yang digunakan sebagai berikut :

#### 1. Segregated Solver

Permasalahan yang harus diselesaikan terhadap persamaan yang didiskritkan adalah tekanan yang hilang, maka digunakan persamaan kountinitas dengan penyelesaian integral :

$$\int N \left( \frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} + \frac{\partial \rho W}{\partial z} \right) d\Omega \quad (2.23)$$

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho U + \frac{\partial N}{\partial y} \rho V + \frac{\partial N}{\partial z} \rho W \right) d\Omega$$

Dimana,

$N$  = *Ekstensive Property equal total mass in system (Kg)*

$\rho$  = *Massa jenis fluida (Kg/m<sup>3</sup>)*

$U$  = *Kecepatan fluida x-direction (m/s)*

$V$  = *Kecepatan fluida y-direction (m/s)*

$W$  = *Kecepatan fluida z-direction (m/s)*

$d\Omega$  = *Fluid volume in system (dxdydz) (m<sup>3</sup>)*



Persamaan tersebut menyatakan bahwa laju peningkatan (pengurangan) massa di dalam suatu elemen sama dengan laju netto aliran massa kedalam (keluar) elemen *fluida* tersebut. Pada aliran *incompressible*, rapat massa konstan, laju perubahan massa didalam elemen adalah nol. Ketiga suku bagian kiri persamaan tersebut adalah aliran massa netto yang keluar elemen melalui dinding elemen dan disebut dengan suku konvektif. Persamaan diatas menunjukkan kondisi batas alami untuk persamaan tekanan.

Untuk mengadakan tekanan yang hilang pada persamaan diatas maka, digunakan persamaan momentum yang kemudian disubstitusikan ke persamaan (2.23) sebagai berikut :

$$U = U_h - K_U \frac{\partial P}{\partial x} \quad (2.24)$$

$$V = V_h - K_V \frac{\partial P}{\partial y} \quad (2.25)$$

$$W = W_h - K_W \frac{\partial P}{\partial z} \quad (2.26)$$

Dimana,

$h$  = Karakteristik diagonal panjang elemen dan ruang dimensi hingga

$K_U$  = *Specific volume of fluid in x-direction* ( $m^3$ )

$K_V$  = *Specific volume of fluid in y-direction* ( $m^3$ )

$K_W$  = *Specific volume of fluid in z-direction* ( $m^3$ )



$\frac{\partial P}{\partial x}$  = Tekanan (*pressure*) tiap jarak *x-direction* (Pa)

Sehingga,

$$\int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho K_W \frac{\partial P}{\partial z} \right) d\Omega \quad (2.27)$$

$$= \oint N \rho U dT + \oint N \rho V dT + \oint N \rho W dT - \int \rho \left( U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) d\Omega$$

Persamaan (2.27) merupakan bentuk diskrit dari persamaan Poisson.

Oleh karena itu, akan menghasilkan matriks koefisien simetris.

Untuk aliran kompresibel, hubungan densitas-tekanan juga harus dipertimbangkan sehingga,

$$\rho U = \frac{(\rho U^o + \rho^o U)}{2} \quad (2.28)$$

Dimana,

$o$  = *The density – pressure coupling*

Dimana, nilai  $o$  mengacu pada persamaan (2.28) sehingga,

$$\int \left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho^o K_U \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o K_V \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o K_W \frac{\partial P}{\partial z} + N \left( \frac{\partial \rho U^o}{\partial x} + \frac{\partial \rho V^o}{\partial y} + \frac{\partial \rho W^o}{\partial z} \right) \right) d\Omega$$

$$= \oint N \rho^o U^o dT + \oint N \rho^o V^o dT + \oint N \rho^o W^o dT + \int \rho^o \left( U_h \frac{\partial N}{\partial x} + V_h \frac{\partial N}{\partial y} + W_h \frac{\partial N}{\partial z} \right) +$$

$$\left( \frac{\partial N}{\partial x} \rho^o U^o + \frac{\partial N}{\partial y} \rho^o V^o + \frac{\partial N}{\partial z} \rho^o W^o \right) d\Omega \quad (2.29)$$

Persamaan disisi kiri ditulis ulang dalam bentuk tekanan menggunakan hukum gas ideal. Dengan persamaan tersebut maka,



persamaan tekanan kompresibel akan menghasilkan matriks koefisien non-simetrik.

Dengan persamaan tekanan diatas, masing-masing persamaan dapat diselesaikan secara terpisah yaitu, persamaan x-momentum dapat diselesaikan untuk nilai U, persamaan y-momentum dapat diselesaikan untuk nilai V, persamaan z-momentum dapat diselesaikan untuk nilai W, persamaan tekanan dapat diselesaikan untuk nilai P dan sebagainya. Hal ini menyederhanakan permasalahan karena penyelesaian dilakukan dalam satu derajat kebebasan di setiap persamaan. Pendekatan ini yang disebut *Solver Segregated* karena masing – masing variabel diselesaikan secara terpisah.

## 2. Matrix Solver

Proses diskritasi menghasilkan persamaan aljabar di setiap penyelesaian, sehingga membentuk matriks  $(a_i, a_j)$ . Metode klasik dalam penyelesaian matriks menggunakan eliminasi Gauss namun, dalam prosesnya membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan solusi karena eliminasi membutuhkan *matriks banded* selama penguraian. Autodesk CFD mempunyai matriks yang jauh lebih kecil dengan menggunakan pemecahan matriks berulang dari metode gradien konjugasi, dimana dibuat untuk mengurangi jumlah perhitungan dan menghilangkan proses pengisian.

Alternatif pemecahan matriks yang lebih sederhana yang sering digunakan yakni prosedur *Gauss-Seidel* dan prosedur *Tri-Diagonal Matrix Algorithm* (TDMA). Pada Autodesk CFD digunakan pemecahan matrix



metode gradien konjugasi akan mengulangi proses eliminasi sampai kriteria terpenuhi atau jumlah iterasi yang ditetapkan terlampaui.

#### 2.4.1 Proses simulasi autodesk CFD

Kemampuan Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat pengguna aplikasi ini sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia penelitian dan rekayasa. Penggunaannya telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi – aplikasi keilmuan. Terdapat tiga langkah umum dalam proses simulasi pada Autodesk CFD (*Computational Fluid Dynamic*) sebagai berikut.

##### 1. Pre Processor

Proses ini meliputi tahapan pembuatan geometri model tertentu, kemudian meshing, penentuan *fluid properties* dan penentuan kondisi batas.

##### 2. Solver

Pada tahap ini adalah proses iterasi dari komputer atau lebih umum dikenal dengan proses *running*.

##### 3. Post Processor

Tahap ini merupakan proses penampilan hasil *running* seperti grafik, vector, kontur dan animasi dengan pola warna tertentu



## 2.5 Masurf

Bentley maxsurf adalah program komputer yang dikembangkan oleh FormSys (Formating Design System), dibawah naungan Bentley sejak tahun 2011, yang merupakan pengembangan dari beberapa program komputer yaitu SCAS, Maxsurf dan Moses.

Maxsurf adalah program aplikasi spesialis dalam bidang arsitektur laut dan galangan kapal, teknik lepas pantai dan rekayasa struktur. Program ini dapat memvisualisasikan, dan mengoptimalkan desain kapal dengan pengaturan lengkap yang telah di integrasikan.

Maxsurf terdiri dari beberapa sub-program aplikasi, yaitu:

1. Maxsurf modeler
2. Maxsurf motion
3. Maxsurf resistance
4. Maxsurf stability
5. Maxsurf structure
6. Maxsurf fitting
7. Maxsurf link
8. Masurf vpp

Beberapa fungsi pada program aplikasi ini seperti membuat bentuk lambung yang seimbang, sesuai dengan persyaratan stabilitas, tahanan kapal, *seakeeping* dan kapal.

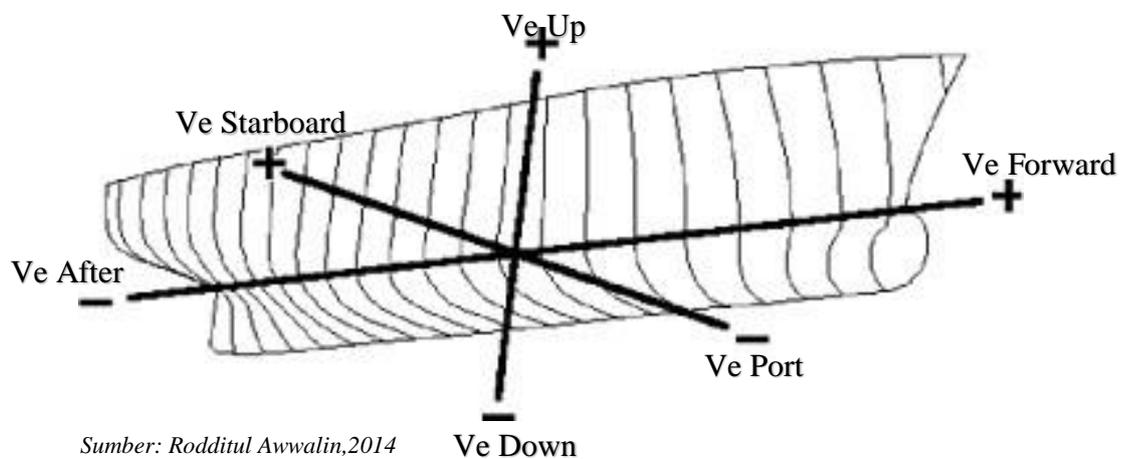


### 2.5.1 Maxsurf modeler

Terdapat beberapa dasar pengaturan dan menu/*setup* dalam penggunaan maxsurf modeler sebagai berikut.

#### 1. Sistem koordinat

Tampilan umum dan prinsip dasar pada pengoperasian maxsurf modeler, seperti yang diilustrasikan gambar 14.



Gambar 14. Sistem koordinat 3D model maxsurf

|              |   |
|--------------|---|
| Window       | Tampak pandangan                                  |
| Body plan    | Tampak depan haluan sampai buritan                |
| Profile view | Tampak samping kanan, starboard side              |
| Plan view    | Tampak dari bawah, starboard above the centerline |

#### 2. *Setting frame of refferance* dan *zero point*

Digunakan untuk mengatur posisi *baseline*, sarat kapal dan posisi *zero point*.



### 3. Pengaturan satuan

Digunakan untuk mengatur unit/satuan sebagai standar satuan ukuran desain model.

### 4. Pengaturan *desain grid*

Digunakan untuk menentukan jarak-jarak *section*, *buttocks lines*, *waterline* dan diagonal.

### 5. *View assembly* dan *properties*

Digunakan untuk menampilkan *assembly* dan *properties*, berfungsi untuk mempermudah saat pengoperasian *modeling*, mengatur properties tampilan warna *surface* dan jenis kehalusan (*surface stiffness*) dll .

Sedangkan dalam desain dan pemodelan yang digunakan aplikasi masurf modeler terdiri atas beberapa langkah sebagai berikut.

#### 1. Pemilihan jenis *surface*

Pilihan menu ini digunakan untuk memilih jenis *surface*/bentuk lambung, ada bebepa tipe surface antara lain :

- *section plane* : surface dengan bentuk melintang
- *water plane* : *surface* dengan bentuk penampang air
- *buttock plan* : *surface* dengan bentuk membujur

Jenis-jenis *surface* tersebut memiliki fungsi yang sama, dan dapat dijadikan sesuai metode pemodelan yang akan kita gunakan.



## 2. *Size surface*

Pilihan menu ini digunakan untuk memasukan ukuran *surface*/ukuran rencana kapal.

## 3. *Curve dan extrude surface (curve)*

Pilihan menu ini digunakan untuk melakukan pemodelan dengan bentuk yang lebih spesifik seperti memodelkan sebuah tangki atau ruangan tertentu/*compartment*.

## 4. *Trimming*

Pilihan menu ini digunakan pada saat kita melakukan pemodelan tangki atau ruangan tertentu/*compartment* terjadi bagian yang melebihi model lain (*overlap*). Untuk itu guna menghilangkan bagian tersebut digunakan fungsi *trimming*.

## 5. *Background*

Pilihan menu ini digunakan untuk menyesuaikan pemodelan dengan gambar *lines plan* yang telah disetujui dan dapat dijadikan acuan pemodelan. Sehingga proses pemodelan dapat sesuai dengan karakteristik bentuk dan model kapal yang direncanakan.

### 2.5.2 Maxsurf resistance

Merupakan sub-program yang tersedia dalam aplikasi maxsurf. Fungsi dari program ini adalah untuk menghitung dan menganalisis tahanan kapal, dengan teori

de yang telah digunakan pada bidang ilmu perkapalan. Adapun Langkah-langkah pengoperasian maxsurf resistance sebagai berikut.



## 1. *Open model*

*Menu : File > Open design > Pilih desain*

Pilihan menu ini digunakan untuk membuka file dari maxsurf modeler, gunakan opsi pemilihan *measure all* untuk dasar perhitungan seluruh model *body* kapal yang tercelup air.

## 2. Analisis

*Menu : Analysis > Methods*

Pilihan menu ini digunakan untuk menentukan metode/teori yang akan digunakan dalam analisis. Beberapa metode sebagai berikut.

### a. Planning

- Savitsky pre-planning
- Savistky planning
- Blount and fox
- Lahtiharju
- Wyman

### b. Displacement

- Holtrop
- Compton
- Fung
- Van ootmerssen
- Series 60



- KR barge resistance

c. Yachts

- Delft I,II
- Delft III

d. Analytical

- Slender body

3. *Speed*

*Menu : Analysis > Speeds > Input kecepatan maximum*

Pilihan menu ini digunakan untuk menentukan kecepatan uji coba dalam analisis tahanan.

4. *Efficient*

*Menu : Analysis > Efficient > Input efficient*

Pilihan menu ini digunakan untuk menentukan besar efisiensi dalam analisis tahanan.

5. *Solve*

*Menu : Analysis > Solve resistance analysis >Klik*

Pilihan menu ini digunakan untuk memulai analisis perhitungan tahanan pada masxsurf resistance dengan mengacu beberapa input diatas. Beberapa output dari solve antara lain :

- a. *Graph*
- b. *Result table*

6. *Calculate free surface*

*Menu : Analysis > calculate free surface >Klik*



Pilihan menu ini digunakan untuk mengetahui karakteristik permukaan air yang berhubungan dengan pengujian kecepatan dan tahanan kapal.

