

# REDESAIN LAMBUNG KAPAL TNI AL JENIS PATROLI CEPAT 40 METER BAHAN ALUMINIUM MENGGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)

## REDESIGN BARE HULL THE INDONESIAN NAVY'S SHIP TYPE FAST PATROL CRAFT 40 METERS MATERIAL ALUMINIUM ALLOY USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)

Syarifuddin<sup>1</sup>, Suyono Thamrin<sup>2</sup>, Maykel TE Manawan<sup>3</sup>

TEKNOLOGI DAYA GERAK, FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN  
UNIVERSITAS PERTAHANAN.

(syarifuddin@tp.idu.ac.id, suyono.thamrin@idu.ac.id, maykel.manawan@idu.ac.id)

**Abstrak** – Kapal TNI AL Jenis Patroli Cepat 40 Meter bahan Aluminium yang ada saat ini kecepatan belum optimal sehingga pemenuhan operational requirements tidak tercapai, untuk itu dilakukan redesign lambung kapal dengan menggunakan metode simulasi model dengan bantuan software maxsurf dan CFD ANSYS. Dimana software maxsurf digunakan dalam menganalisa performa hidrodinamis yang salah satunya adalah tahanan kapal redesign menunjukkan hasil bahwa terjadi pengurangan sehingga kecepatan kapal 100%MCR = 23,5 knot menjadi 27,5 knot terjadi kenaikan sekitar 13,5% dengan menggunakan besaran daya kapal yang sama dengan kapal desain yang lama sesuai spesifikasi teknik sebanyak 2 Unit Marine Diesel @ 2480 Hp @ 2000 Rpm sedangkan CFD ANSYS digunakan untuk mengetahui pola distribusi tekanan pada model kapal dimana tekanan maksimum terjadi pada linggi haluan dan daerah sistem pendorongan serta pola aliran gelombang fluida pada lambung model kapal dengan intensitas batas normal dan uniform melalui visualisasi fitur stream line.

**Kata Kunci:** Simulasi, software maxsurf, CFD ANSYS, redesign lambung kapal, Patroli Cepat 40 Meter bahan Aluminium

**Abstract** – Indonesian navy's ship type fast patrol craft 40 meters material aluminum alloy that is currently not optimal speed so that the fulfillment of operational requirements is not successful, for that the redesign bare hull ship by using model simulation methods the help of the Maxsurf and CFD ANSYS software. Where the Maxsurf software is used in analyzing hydrodynamic performance one of which is resistance of the ship redesign shows that there is a reduction ship with speed 100%MCR = 23.8 knots to the 27.5 knots there was an increase of about 13.5% using the same magnitude of ship power with the old design ship according to the technical specifications of 2 units Marine Diesel @ 2480 Hp @ 2000 Rpm while ANSYS CFD is used to determine the pressure distribution pattern in the ship model where the maximum pressure occurs at the bow level and the area of the impulse system and the fluid flow pattern on the hull of the ship model with normal and uniform boundary intensities through visualization of stream line features.

**Keywords:** Simulation methods, software maxsurf, CFD ANSYS, redesign for hull ship, Fast Patrol Craft 40 Meters Aluminum alloy.

---

<sup>1</sup> Program Studi Teknologi Daya Gerak, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

<sup>2</sup> Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan

<sup>3</sup> Program Studi Teknologi Daya Gerak, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

## Pendahuluan

Konstelasi geografi Indonesia yang terletak pada posisi diantara Benua Asia dan Australia serta diantara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia, menempatkan Indonesia bernilai strategis bagi negara-negara di berbagai kawasan sebagai negara kepulauan dan negara maritim, Indonesia sangat berkepentingan dalam menciptakan keamanan di kawasan, termasuk keamanan maritim dalam rangka mendukung kepentingan Indonesia sebagai poros maritim dunia<sup>4</sup>.

Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki perairan dan lautan yang luas dan rawan terhadap gangguan keamanan maka sesuai dengan Konvensi PBB tentang hukum laut (*United Nations Convention on the law of the sea/UNCLOS*) 1982, Indonesia memiliki tiga alur laut Kepulauan Indonesia (ALKI) dan empat *choke points* yang strategis bagi kepentingan global serta kepentingan negara-negara di dunia terutama sebagai jalur perdagangan dan transportasi serta

komunikasi, sehingga akan mendorong negarar-negara tersebut meningkatkan pengamanannya<sup>5</sup>.

Pertahanan negara yang dilakukan oleh pemerintah dan dikelola oleh Kementerian Pertahanan melalui Peraturan Presiden tentang Kebijakan Umum Pertahanan Negara sebagai acuan awal dan menjadi pedoman bagi Kementerian Pertahanan dan TNI dalam penyelenggaraan pertahanan sesuai dengan fungsi masing-masing melalui kebijakan *minimum Essential Force* (2010-2024)<sup>6</sup>.

Penyusunan kekuatan tempur TNI Angkatan Laut diarahkan untuk mencapai kekuatan pokok minimum (*Minimum Essential Force*) adalah kekuatan yang disusun berdasarkan kemampuan yang diperlukan (*Capability Design*) untuk menghadapi segala bentuk ancaman dalam rangka menegakkan kedaulatan dan menjaga keutuhan NKRI dengan segala resiko yang dihadapi guna mewujudkan pencapaian pembangunan kekuatan TNI Angkatan Laut sesuai MEF

---

<sup>4</sup> Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, Buku Strategi Pertahanan Negara (cetakan ketiga), (Jakarta, 2015), hlm. 3-4.

<sup>5</sup> Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, Buku Strategi Pertahanan Negara (cetakan ketiga), (Jakarta, 2015), hlm. 31.

<sup>6</sup> Kementerian Pertahanan, Kebijakan Penyelarasan *Minimum Essential Force* Komponen Utama: Peraturan Menteri Pertahanan Republik Indonesia No.19 Tahun 2012, dalam <https://www.kemhan.go.id/ppid/wpcontent/uploads/sites/2/2016/10/Permenhan-Nomor-19-Tahun-2012>, diakses pada 5 Agustus 2019.

ditengah keterbatasan dukungan alokasi anggaran pemerintah maka perlu dilaksanakan strategi pencapaian, salah satu upaya dilaksanakan adalah pengadaan TNI AL Jenis Patroli Cepat (PC) 40 Meter bahan Aluminium produksi dalam negeri (PDN).<sup>7</sup>

Berdasarkan hal tersebut untuk pengadaan Kapal TNI AL Jenis Patroli Cepat 40 Meter bahan Aluminium yang akan datang sesuai dengan tuntutan *operational requirements* pada kondisi *full load* mampu mencapai kecepatan  $\geq 24$  knots dengan power yang ada 2 unit Marine Diesel @ 2480 HP, sehingga perlu dilakukan redesain bentuk Lambung Kapal TNI AL Patroli Cepat 40 Meter bahan Aluminium menggunakan metode pemodelan bentuk desain lambung kapal dengan *software* simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

### **Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif simulasi. Metode kuantitatif simulasi redesain lambung Kapal TNI AL Patroli Cepat 40 M bahan Aluminium menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Adapun hasil yang diinginkan dari metode

simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) pada pemodelan bentuk lambung kapal terkait performa hidrodinamis yang berpengaruh pada kecepatan kapal berupa nilai tahanan dan daya kapal serta model, visualisasi tekanan dan gelombang aliran fluida.

### **Hasil dan Pembahasan**

Kajian hasil dan pembahasan menjelaskan mengenai perhitungan menentukan perubahan bentuk desain kapal yang ada kemudian di optimasi sehingga menghasilkan gambar perancangan rencana garis dan hasil dari perancangan tersebut berupa data hidrostatis, stabilitas awal dan stabilitas lanjut. Seluruh perancangan, pemodelan dan analisis akan menggunakan perangkat lunak komputer serta hasil dari analisis akan di jadikan model fisik 3 (tiga) dimensi. Untuk menghasilkan desain yang memiliki performa kapal sesuai yang diinginkan untuk melakukan redesain pada bagian Lambung Kapal Patroli Cepat 40 Meter bahan Aluminium terhadap bentuk lambung pada haluan kapal, bentuk chain pada lebar lambung kapal, bentuk linggi haluan kapal, bentuk transom dan

---

<sup>7</sup> Ibid.

kenaikan kemiringan bentuk lambung buritan kapal.

### Parameter Redesain Lambung Kapal

Untuk mendapatkan bentuk desain lambung kapal yang memiliki performance yang sesuai dengan *operasional requirements* Kapal Patroli Cepat 40 Meter bahan Aluminium. Parameter yang pakai adalah sebagai berikut:<sup>8</sup>

#### 1. Parameter tetap

Dimensi propertis ukuran utama kapal yang menjadi parameter tetap sesuai spektek Kapal Patroli Cepat 40 Meter buatan tahun 2018 sebagai berikut:

Data Ukuran utama kapal:

- a. Panjang seluruh (LOA) : 45,50 m
- b. Panjang garis air (LWL) : 40,80 m
- c. Lebar max (B. Max) : 7,90 m
- d. Tinggi tengah kapal : 4,25 m
- e. Sarat desain : 1,8 m
- f. Displacement : 220 Ton
- g. Daya kapal tersedia : 2 Unit Marine Diesel @2480 hp @ 2000 Rpm

#### 2. Parameter peubah

Bentuk lambung kapal bawah garis air yang menjadi parameter peubah yaitu coefisien block ( $C_b$ ) dan sarat kapal ( $T$ ) dimana desain yang ada ( $C_b$  0,401 dan  $T = 1,80$  m) diubah menjadi ( $C_b$  0,389 dan  $T = 1,87$  m).

### Analisa pendekatan numerik

#### 1. Tahanan dan Propulsi Kapal

Tahanan kapal adalah sebuah gaya fluida yang bekerja pada badan kapal yang sedemikian rupa sehingga bekerja melawan gerakan kapal. Tahanan kapal (*resistance*) didefinisikan sebagai:<sup>9</sup>

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

$R_T$  adalah tahanan total kapal (kn),  $C_T$  adalah koefisien total tahanan kapal,  $\rho$  adalah massa jenis air laut ( $\text{kg/m}^3$ ),  $S$  adalah luas bidang basah ( $\text{m}^2$ ),  $V$  adalah kecepatan kapal (m/s).

Daya Efektif atau EHP adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan kapal di air atau untuk menarik kapal dengan kecepatan, adapun perhitungan daya efektif kapal (EHP) sebagai berikut:<sup>10</sup>

$$\text{EHP} = R_T \times V \quad (2)$$

<sup>8</sup> Ajib Wahab Purwanto, Deddy Chrismianto dan Eko Sasmito Hadi, "Analisa pengaruh variasi *hullform* terhadap hambatan total Kapal Selam dengan metode *computational fluid dynamic* (CFD)", Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 02, No. 04, 2014, hlm. 28-37.

<sup>9</sup> Edward V. Lewis, *Principle Naval Architect Vol. II* (edisi revisi), (Jersey City: *The Society of Naval and Marine Engineers*, 1988), hlm. 90-92.

<sup>10</sup> Harvald, Sv. Aa., Tahanan dan Propulsi Kapal (Terjemahan oleh Jusuf Sutoma), (Surabaya: Airlangga University Press, 1983), hlm. 135.

EHP adalah daya efektif kapal (MW),  $R_T$  adalah tahanan total kapal (kn),  $V$  adalah kecepatan kapal (m/s).

## 2. Persamaan dinamika fluida

Persamaan dasar yang digunakan dalam *Computational Fluid Dynamic (CFD)* adalah persamaan Navier-Stokes. Dalam persamaan ini, asumsi pertama adalah bahwa fluida *incompressible* (tidak dapat dimampatkan), yang mengarah ke persamaan lain kekekalan massa (*conservation of mass*). Bentuk umum persamaan Navier-Stokes:<sup>11</sup>

$$\rho \times \left( \frac{\partial v}{\partial t} + v \times \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f \quad (3)$$

$V$  adalah kecepatan aliran fluida,  $\nabla$  adalah perpindahan panas,  $\rho$  adalah massa jenis fluida,  $\mu$  adalah *frictional resistance*,  $f$  adalah gaya dari luar dan  $t$  adalah waktu.

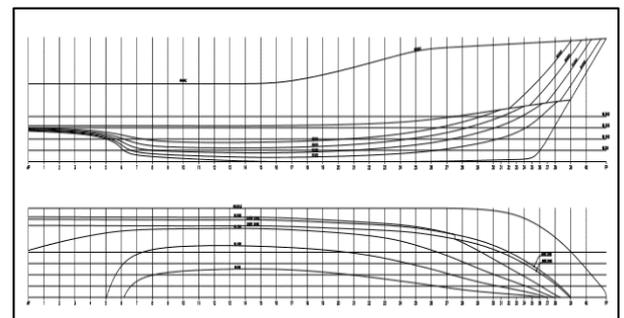
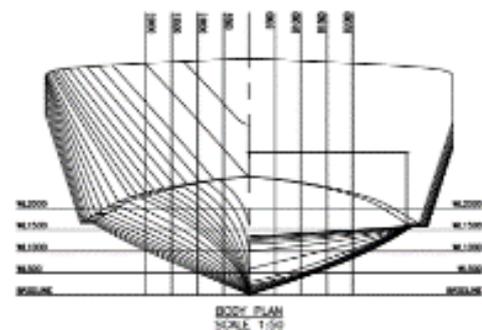
## Analisa performa kapal redesain

Analisis desain kapal selanjutnya adalah perancangan model, perancangan model dimulai dari perencanaan garis atau Lines plan, general arrangement, hidrostatik curve and Stability. Pemodelan hull form 3-D dilakukan

dengan menggunakan perangkat lunak CFD ANSYS dan Maxsurf Modeler Advanced 20 V8i Bentley dan perangkat lunak dari Formation Design System Suite yaitu maxsurf resistance, maxsurf stability, maxsurf motion.

### 1. Pembuatan rencana garis (*lines plan*)

Dari hasil modifikasi desain pada penelitian ini perancangan *lines plan* menggunakan pengukuran *formdata* pada ukuran utama untuk membuat gambar rencana garis pada kapal.<sup>12</sup>



**Gambar 1.** Rencana garis kapal redesain

Sumber: Hasil olahan peneliti menggunakan AutoCad, 2017

<sup>11</sup> Muhammad Auliya Alamsyah. "Analisis computational fluid dynamic terhadap hambatan crew boat dengan penambahan integrated wedges-flap", repository.its.ac.id, dalam <http://repository.its.ac.id>, diakses pada 27 Juni 2019.

<sup>12</sup> Abdi Kukner, A. Mertean Yasa, "High speed planning hulls resistance prediction methods and comparasion", *Journal Tehcnical University*, 2014, hlm. 201-208

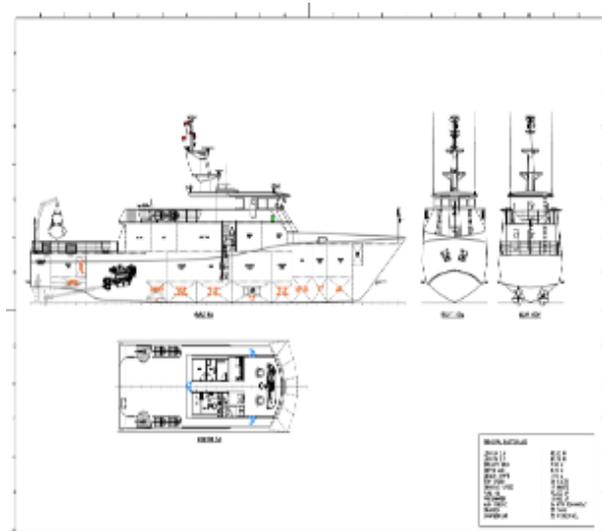
## 2. Pembuatan *general arrangement* (GA)

Rencana umum adalah suatu proses penyusunan atau penentuan dari semua ruangan yang dibutuhkan seperti ruang muat, ruang akomodasi dan ruang kamar mesin serta perencanaan penempatan peralatan-peralatan dan beberapa sistem dan kelengkapan kapal lainnya. Informasi yang dibutuhkan untuk mendukung pembuatan gambar rencana umum sebagai berikut:

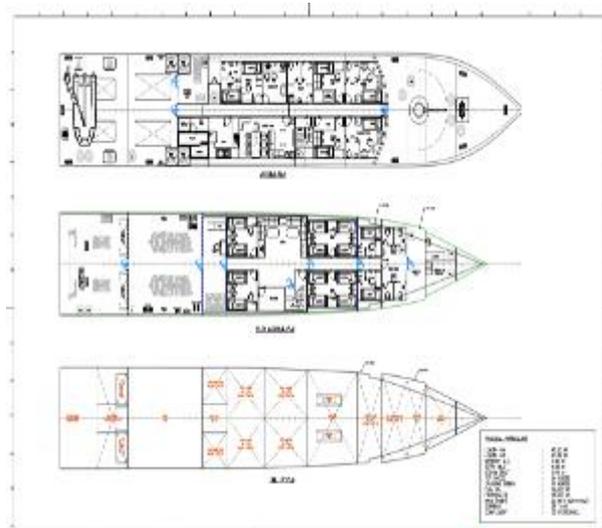
- Gambar lines plan yang telah dibuat sebelumnya
- Dimensi utama kapal (L, B, H, T dan Cb)
- Penentuan volume ruangan akomodasi jumlah crew dan penumpang sesuai standarisasi biro klasifikasi.
- Penentuan volume tangki untuk bahan bakar, air tawar, ballast dan pelumas mesin.
- Penentuan volume ruangan kamar mesin sesuai dengan tipe dan dimensi mesin

Dalam merancang sebuah kapal tidak dapat dihindari adanya berbagai macam usulan perubahan sesuai yang diinginkan pengguna akan didapatkan pada penyusunan rencana umum ini. Namun pada dasarnya pembuatan rencana umum untuk semua tipe kapal memiliki

kesamaan dalam hal-hal tertentu seperti dalam penyusunan ruangan akomodasi dan daya mesin meskipun untuk kapal yang berbeda akan menyebabkan terjadinya perbedaan kapasitas.



**Gambar 2.** *General Arrangement* kapal redesain  
Sumber: Hasil olahan peneliti menggunakan AutoCad, 2017

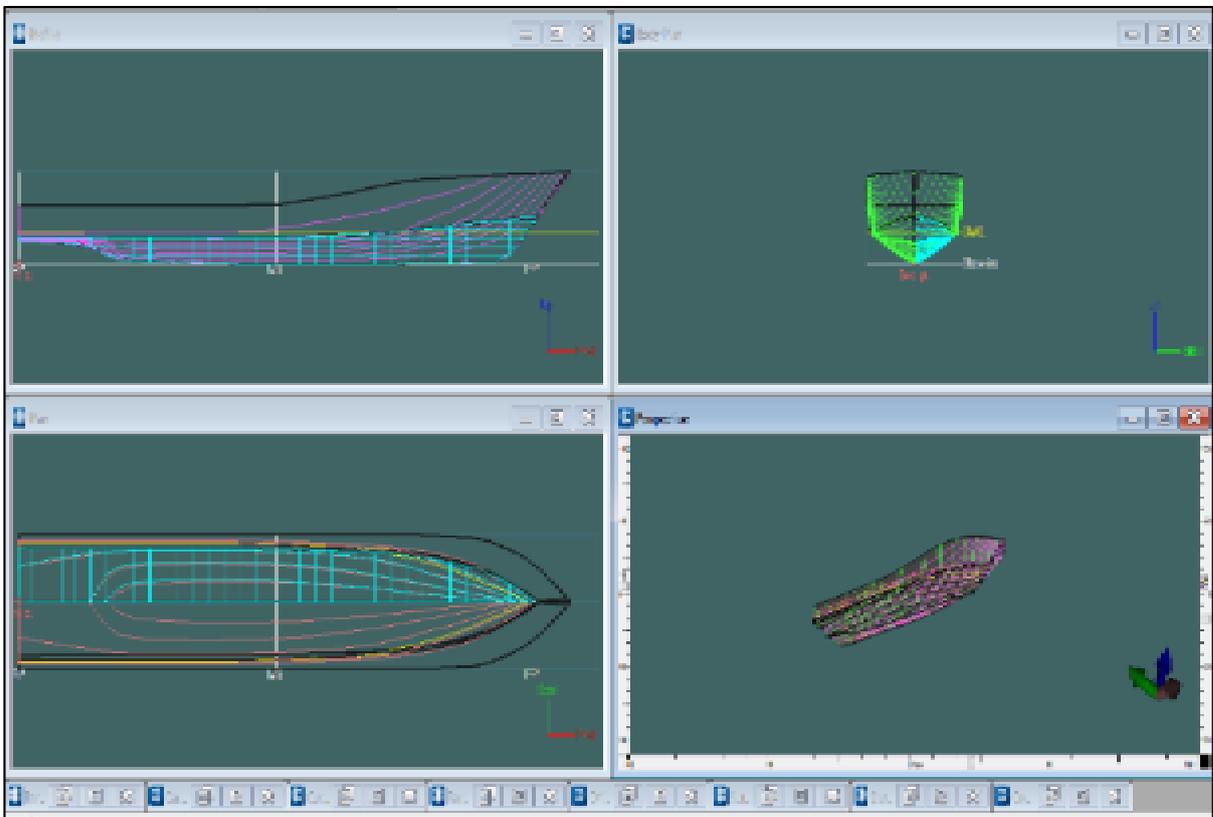


**Gambar 3.** *General Arrangement* kapal redesain  
Sumber: Hasil olahan peneliti menggunakan AutoCad, 2017

### Pemodelan dengan maxsurf modeler

Model kapal tersebut diperoleh dari gambar *Lines plan* CAD yang diexport dengan menggunakan software maxsurf modeler import ke maxsurf resistance dan hasilnya dapat diketahui nilai coefisien tahanan kapal ( $C_T$ ) dari model tersebut. Nilai coefisien tahanan kapal ( $C_T$ ) dari hasil tersebut kemudian digunakan untuk

mencari nilai tahanan total dari model.<sup>13</sup> Selain itu model yang ada di maxsurf modeler juga digunakan untuk tahap pembuatan geometry pada software CFD ANSYS. Tahap Geometry merupakan langkah awal dimana pengecekan solid tidaknya model yang telah dibuat dilanjutkan kolom tempat pembuatan tempat pengujian (*domain*).



**Gambar 4.** Pemodelan maxsurf modeler  
Sumber: Maxsurf modeler edition V21.11, 2017

### Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamic (CFD) dimulai dari pemodelan dengan menggunakan program maxsurf modeler

kemudian file tersebut diexport dalam bentuk file.igs. Model yang digunakan haruslah solid agar model selesai dibuat, ANSYS yang berbasis Computational Fluid

<sup>13</sup> Andrew Gibson dan I Ketut Aria Pria Utama, "Analisis CFD hambatan Lambung Kapal Trimaran asimetris flat side inside dengan

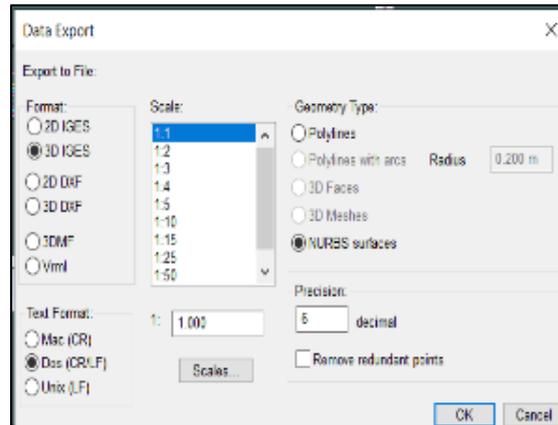
variasi jarak antar lambung secara membujur", Jurnal Teknik, Vol. 5, no. 1, 2016, hlm. 31-36.

ynamic. Code Computational Fluid Dynamic (CFD) terstruktur atas logaritma numeric sehingga digunakan untuk menyelesaikan problem pada suatu aliran fluida. Code Computational Fluid Dynamics (CFD) disini terdiri atas tiga elemen utama yakni:<sup>14</sup>

#### 1. PreProcessor

Selesai dilakukan pembuatan model dengan menggunakan Maxsurf Modeler selanjutnya yang dilakukan membawa model tersebut ke ANSYS, dikarenakan ANSYS ICEM sebagai software maxsurf modeler ANSYS hanya dapat membaca file berformat STEP/IGES sedangkan format Maxsurf Modeler merupakan .msd maka diperlukan export model dari Maxurf ke ICEM. Untuk melakukan export model pada maxsurf maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:<sup>15</sup>

- a. Kelik File >Export
- b. Pilih type file DXF and IGES
- c. Kemudian pilih atur data export seperti berikut:



**Gambar 5.** Data export maxsurf kapal redesign

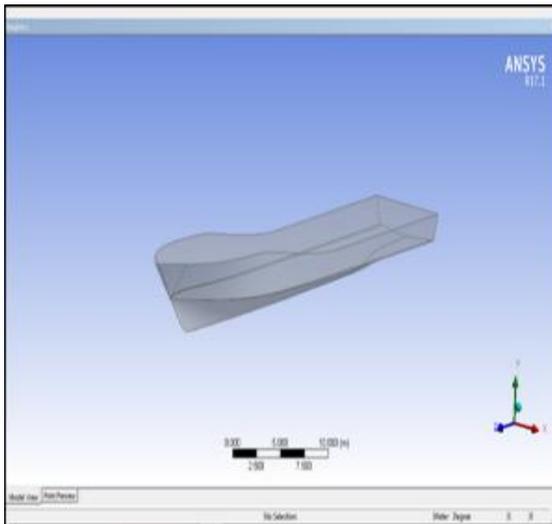
Sumber: CFD ANSYS R17.1, 2016

- 1) Format yang dipilih adalah 3D IGES dengan skala 1:1 hal lain dilakukan agar mendapat tipikal model tiga dimensi dengan ukuran skala penuh.
- 2) Tipe geometri yang dipilih adalah NURBS surface. NURBS (non-Uniform, Rational B-spline Surface) merupakan format universal yang dapat dibaca ICEM dengan baik sehingga tidak terjadi perubahan geometri.

<sup>14</sup> Andreas Parulian Sidabalok, Deddy Chrismianto dan Muhammad Iqbal, "Analisa perbandingan ulstein x-bow dengan bulbous bow konvensional terhadap nilai hambatan total dan seakeeping kapal menggunakan

metode CFD", Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 4, No.1, 2016, hlm. 141–151.

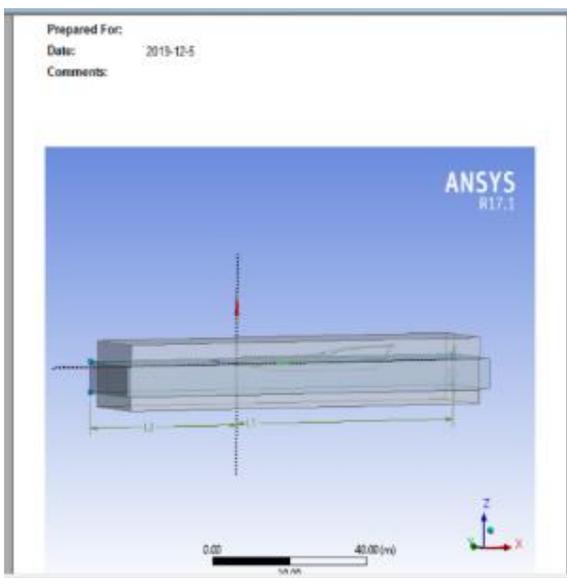
<sup>15</sup> ANSYS R17.1, ANSYS Fluent CFD Introduction & Tutorials ANSYS, (Inc: SAS IP, 2016), hlm. 24-27.



**Gambar 6.** Hasil import model kapal redesign  
 Sumber: CFD ANSYS R17.1, 2016

Setelah model *Maxsurf* sudah diexport kemudian dengan menggunakan ANSYS ICEM model diimport dengan cara sebagai berikut:

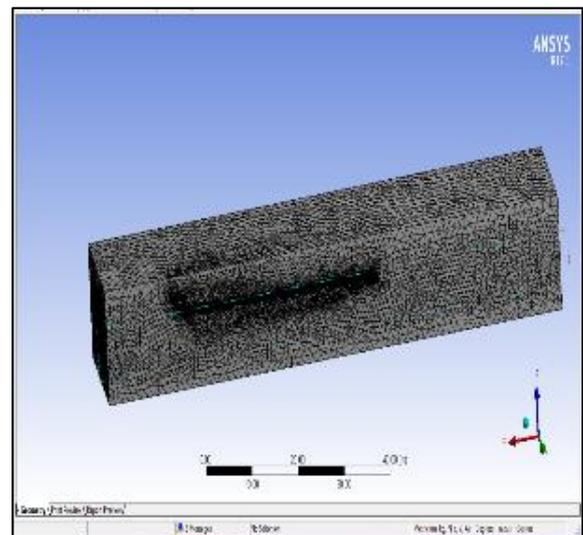
- a. Klik File>pilih Import Geometry
- b. Pilih tipe File STEP/IGES
- c. Pilih File.igs pada direktori File Export Maxsurf disimpan
- d. Pilih Open



**Gambar 7.** Bentuk geometri kapal redesign  
 Sumber: CFD ANSYS R17.1, 2016

## 2. Solver Manager.

Pembuatan domain telah selesai dibuat maka langkah selanjutnya adalah melakukan meshing pada kapal dimana geometri atau benda uji dibagi menjadi beberapa bagian kecil yang disebut CEL. Setelah mengatur ekspresi CEL maka selanjutnya adalah mengatur kondisi batas pada domain untuk penentuan *boundry condition* dan *initial condition*, untuk itu dalam simulasi ini dilakukan pengaturan pada CEL (*CFX Expression Language*).



**Gambar 8.** Meshing pada domain  
 Sumber: CFD ANSYS R17.1, 2016

Untuk melakukan simulasi *free surface* dilakukan penentuan *boundry condition* dan *initial condition*, untuk itu dalam simulasi ini dilakukan pengaturan pada CEL (*CFX Expression Language*). Berikut adalah kondisi yang harus diatur dan memerlukan penulisan ekspresi yaitu:

- a. Batas INLET nilai fraksi volume diatas permukaan bebas adalah 1 untuk udara dan 0 untuk air dan dibawah permukaan bebas adalah 0 untuk udara dan 1 untuk air.
- b. Batas OUTLET diatur dengan tekanandiatas permukaan bebas adalah konstan dan tekanan dibawah permukaan bebas adalah distribusi hidrostatis.

Ekspresi untuk *boundry condition* dan *initial conditions* dapat didefenisikan pada CEL. Setelah mengatur ekspresi CEL maka selanjutnya adalah mengatur kondisi batas pada domain sebagai berikut:

1) Kondisi batas Domain

Ada fluida dalam domain yaitu air dan udara dimana fluida diasumsikan berada pada suhu ruangan yaitu 25° C dan tekanan 1 atm pada batas permukaan free surface.

2) Kondisi batas *Inflow*

Air diasumsikan bergerak sedangkan kapal diam, hal ini mewakili keadaan yang sesungguhnya dimana kecepatan fluida bergerak dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan kapal. Dalam tahap ini dikenal volume *fraction* yaitu rasio antara volume domain udara atau fluida dan volume total

domain untuk menentukan kondisinya dapat dilakukan dengan menulis ekspresi CEL. Jenis aliran pada *inflow* merupakan tipe aliran *subsonic* karena nilai bilangan *Mach Number*  $\leq 1$ .

3) Kondisi batas *Outflow*

*Outflow* merupakan sisi keluarnya aliran fluida sehingga dapat disebut sebagai hulu dimana tekanan yang terjadi pada daerah *outflow* dianggap statis dan merupakan fungsi *Downpres* pada CEL.

4) Kondisi batas *Wall*

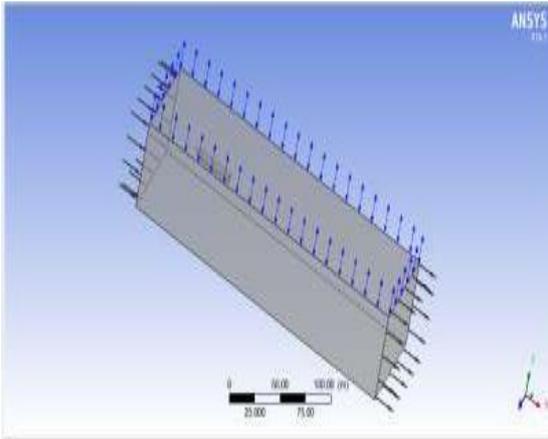
Bagian *wall* merupakan dinding bagian kanan dan kiri domain serta bagian bottom domain dan *wall* diasumsikan *free slip* yaitu kondisi tanpa gesekan sehingga pada bagian ini gesekan fluida dan dinding dianggap tidak ada.

5) Kondisi batas *Opening*

Top didefenisikan sebagai opening yang artinya volume udara dibagian atas domain terbuka dimana pada sisi ini tidak mengalami gaya dan tekanan serta pada bagian ini tidak mengalami turbulensi.

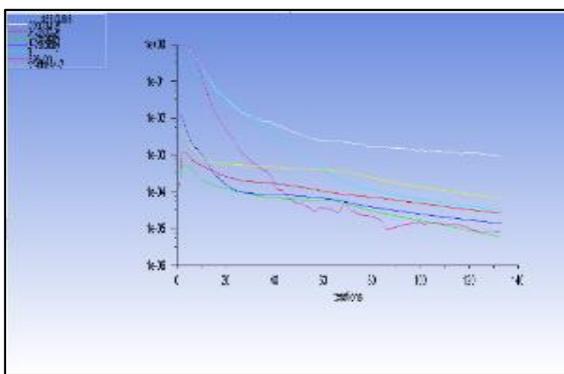
6) Kondisi batas model

Kondisi model diasumsikan sebagai *wall* yang tidak mengalami slip.



**Gambar 9.** Setting Boundary Condition  
 Sumber: CFD ANSYS R17.1, 2016

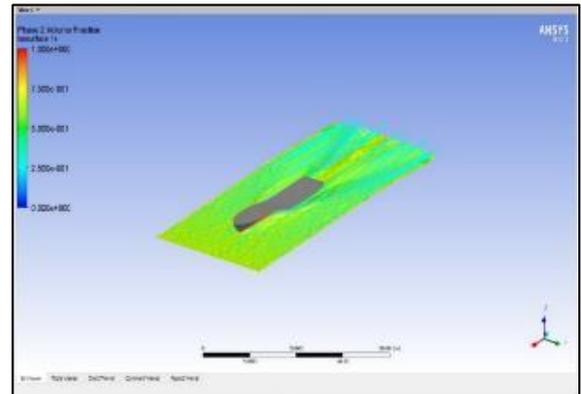
Setelah selesai mengatur *boundary and initial condition* maka dapat dilanjutkan pada proses *running* atau dimana pada tahap ini proses perhitungan dilakukan berupa literasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada *Computational Fluid Dynamic (CFD)* sampai diperoleh kondisi konvergen sehingga pada langkah ini akan muncul grafik dengan sumbu x merupakan *accumulator time step* dan sumbu y merupakan *variable nilai*.<sup>16</sup>



**Gambar 10.** Proses Running  
 Sumber: CFD ANSYS R17.1, 2016

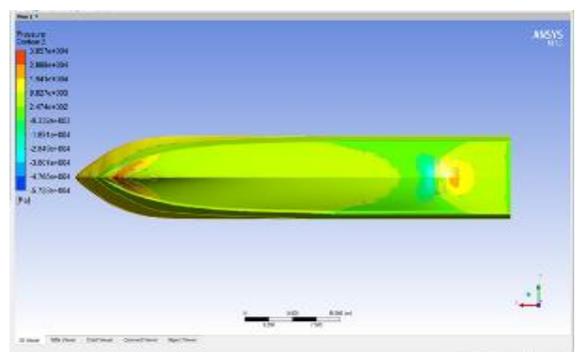
### 3. Post Processor (*Visualize*).

Pada tahap ini dapat dilihat model dan pola aliran gelombang fluida serta kondisi tekanan pada yang direpresentasikan dengan bentuk pola aliran fluida dapat dilihat dengan fitur *stream line*.



**Gambar 11.** Fitur *streamline* pola aliran fluida  
 Sumber: CFD ANSYS R17.1, 2016

Setelah melakukan proses *running* atau simulasi dengan fitur *stream line* dimana model dan pola aliran gelombang masih pada batas normal sedangkan visualisasi distribusi tekanan pada lambung kapal redesign seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 12.** Visualisasi model dan tekanan fluida  
 Sumber: CFD ANSYS R17.1, 2016

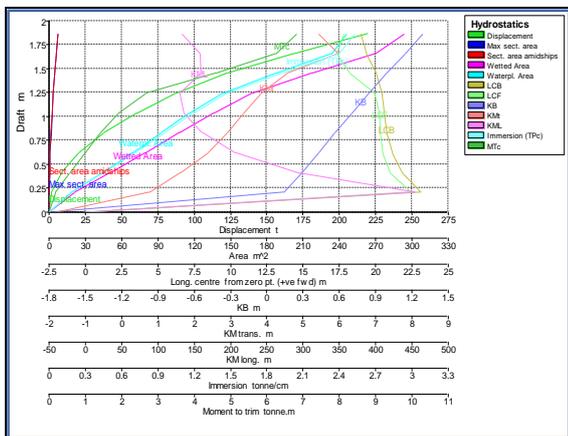
<sup>16</sup> Deddy Chrismianto, Andi Trimulyono, M. Nurul Hidayat, "Analisa pengaruh modifikasi bentuk haluan kapal terhadap hambatan total

dengan menggunakan CFD". Jurnal Jurusan Teknik Perkapalan, Vol. 11, No. 1, 2014, hlm. 40-48

Berdasarkan gambar tersebut diatas kondisi tekanan maksimum  $2.899 \times 10^4$  Pa hanya terjadi pada linggi haluan dan sistem pendorong kapal.

### Analisa perhitungan hidrostatik kapal

Adapun fungsi utama hidrostatik adalah untuk mengetahui karakteristik lambung kapal yang ada dibawah garis air untuk mengetahui sifat-sifat karene. Untuk menggambarkan kurva-kurva hidrostatik adalah dengan membuat dua sumbu saling tegak lurus dimana sumbu mendatar adalah garis dasar kapal sedangkan garis vertikal menunjukkan draft tiap garis air yang dipakai sebagai titik awal pengukuran kurva hidrostatik.<sup>17</sup>



**Gambar 13.** Kurva Hidrostatik kapal redesain  
Sumber: Maxsurf stability edition V21.11, 2017

### Analisa stabilitas kapal redesain

Stabilitas kapal merupakan kemampuan yang dimiliki oleh kapal untuk melawan

gaya-gaya dari luar yang menyebabkan kemiringan sehingga kapal dapat kembali keposisi semula. Namun pada dasarnya stabilitas kapal merupakan momen pembalik yang cukup untuk membuat kapal kembali ke posisi tegak ketika mendapat gaya dari luar yang menyebabkan terjadinya olengan kapal. Persyaratan stabilitas kapal harus mengacu pada peraturan *International Maritime Organisation (IMO)*, perhitungan stabilitas diasumsikan dengan 3 (tiga) kondisi yang menggambarkan kondisi operasional kapal yang mungkin terjadi pada saat operasi di laut. Penentuan dan perhitungan stabilitas kapal menggunakan kriteria-kriteria yang tersedia dalam *software Maxsurf Stability*. Untuk menunjukkan variasi kondisi kapal yang mendekati pada saat melaksanakan operasi mulai berangkat dari dermaga sampai kembali ke pangkalan akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Kondisi pertama merupakan kondisi ketika kapal sedang beroperasi dengan kondisi muatan FOT & FWT 100%.

<sup>17</sup> Soumya Chakraborty, "Ship Stability – Introduction to Hydrostatics and Stability of Surface Ships"  
<https://www.marineinsight.com/hydrostatics->

[stability-surface-ships](#), diakses pada 24 Agustus 2019

2. Kondisi kedua merupakan pada saat Kapal beroperasi dengan kondisi muatan tangki 50%.
3. Kondisi ketiga merupakan pada saat kapal beroperasi dengan kondisi muatan FOT & FWT 0% dan semua tangki *ballast*, *sewage* dan *drain* terisi 100%.

Standar stabilitas yang ditetapkan *International Maritime Organisation (IMO)* adalah mengenai lengan stabilitas (GZ). Berikut merupakan kriteria IMO yang digunakan:

1. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.1:
  - a. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng  $0^{\circ}$ – $30^{\circ}$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 3,15 m.deg.
  - b. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng  $0^{\circ}$ – $40^{\circ}$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 5,16 m.deg.
  - c. Luasan pada daerah dibawah kurva GZ pada sudut oleng  $30^{\circ}$ – $40^{\circ}$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 1,719 m.deg.
2. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.2: nilai GZ maksimum yang akan terjadi pada sudut  $30^{\circ}$  –  $180^{\circ}$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,2 m.

section A.749(18), Chapter 3.1.2.3: susut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan  $25^{\circ}$  (deg). Intact 1.2: susut pada nilai GZ maksimum tidak boleh kurang atau sama dengan  $10^{\circ}$  (deg).

3. Section A.749 (18), Chapter 3.1.2.4: nilai MG awal pada sudut  $0^{\circ}$  (deg) tidak boleh kurang atau sama dengan 0,15 m.

Berikut ini adalah tabulasi dari hasil perhitungan stabilitas kapal pada kondisi kapal *full load* dengan standart kriteria IMO yang terangkum dalam bentuk tabel dibawah ini:

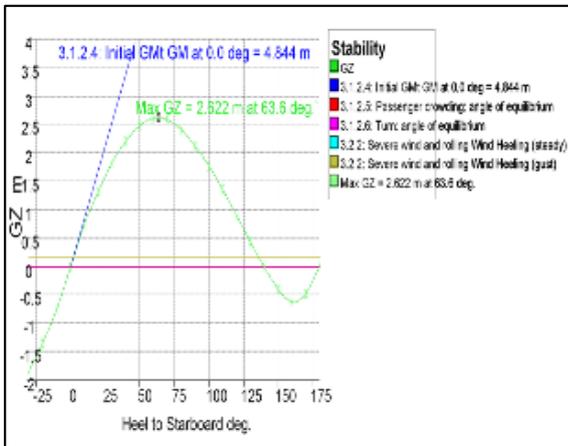
**Tabel 1.** Hasil analisa stabilitas kapal

kriteria IMO	Nilai	Redesain	satuan
Area 0 to 30	3.15	29.73	m.deg
Area 0 to 40	5.15	49.99	m.deg
Area 30 to 40	1.71	20.26	m.deg
Max GZ at 30	0.20	2.62	m
Angle Max GZ	25	63.6	deg
Initial GM	0.15	4.84	meter

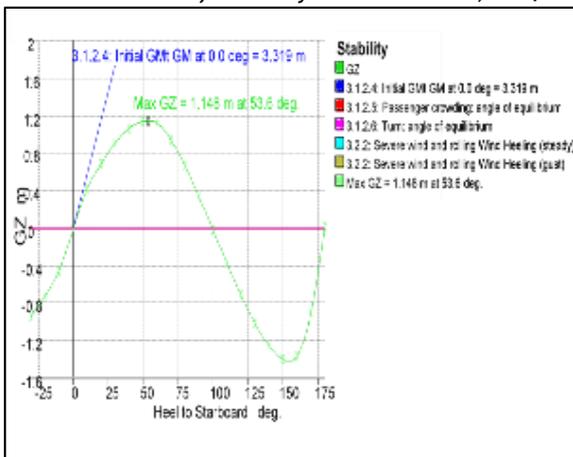
Sumber: *Maxsurf stability edition V21.11*, 2017

Secara keseluruhan dari hasil stabilitas berdasarkan kriteria dari IMO, Kapal Patroli Cepat 40 Meter bahan Aluminium memiliki stabilitas baik ditinjau dari kemampuan stabilitas kapal. Pada table diatas menunjukkan nilai GZ dan GM pada desain kapal yang berpengaruh pada lengan stabilitas dan periode oleng untuk kapal pada kondisi *full load*

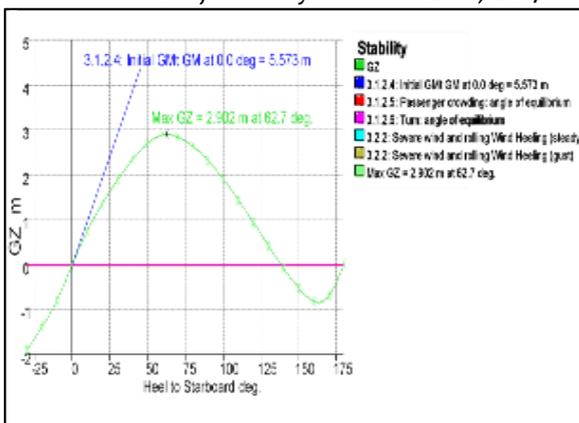
didalamnya terdapat kurva lengkan stabilitas (GZ).



**Gambar 14.** Nilai GZ Kapal kondisi Loadcase 1  
 Sumber: Maxsurf stability edition V21.11, 2017



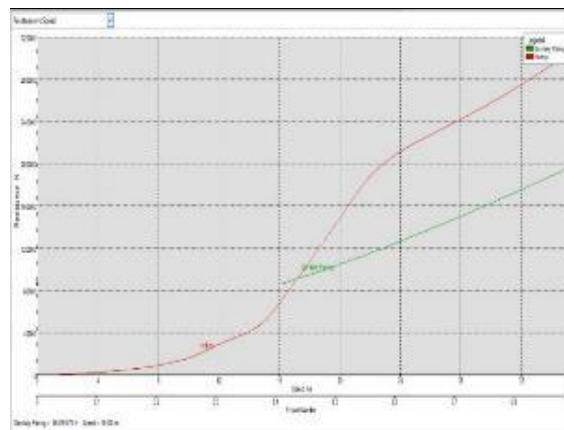
**Gambar 15.** Nilai GZ kapal kondisi Loadcase 2  
 Sumber: Maxsurf stability edition V21.11, 2017



**Gambar 16.** Nilai GZ kapal kondisi Loadcase 3  
 Sumber: Maxsurf stability edition V21.11, 2017

**Analisa tahanan dan daya kapal redesain**

Model redesain kapal kemudian dapat dihitung besarnya tahanan kapal dengan *maxsurf resistance* menggunakan metode *savitsky planning* untuk lambung kapal, untuk perhitungan tahanan kapal dengan menggunakan perangkat lunak *maxsurf resistance*.<sup>18</sup> Pada tahap analisis dilakukan dengan melihat besarnya nilai tahanan kapal pada variasi kecepatan kapal dengan bentuk *froude number (FN)* dibawah ini:



**Gambar 17.** Tahanan total kapal speed and FN  
 Sumber: Maxsurf resistance edition V21.11, 2017

Analisis selanjutnya dilakukan dengan melihat besar nilai tahanan kapal redesain pada lima variasi kecepatan, dengan memilih kecepatan 30 knots

terhadap hambatan total”, Jurnal Seminar Nasional Kelautan X, Vol. 12. No. 2, 2105, hlm. 78-87.

<sup>18</sup> Romadhoni Oni dan IK. A. P Utama, “Analisa numerik dan CFD pengaruh bentuk *hull planning chine* pada kapal *high speed craft*

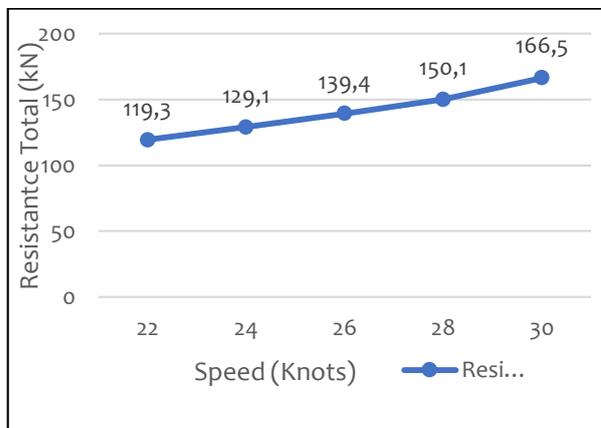
sebagai kemampuan atau kecepatan maksimal kapal yang mungkin dicapai.

**Tabel 2.** Hasil perhitungan tahanan dan daya kapal redesain

Loading	V (Knots)	Rts (kN)	Pe (HP)	Pe (MW)
220 T	22	119.3	1,872.5	2.5
	24	129.1	2,183.6	2.9
	26	139.4	2,525.8	3.3
	28	150.1	2,899.6	3.8
	30	166.5	3,305.2	4.4

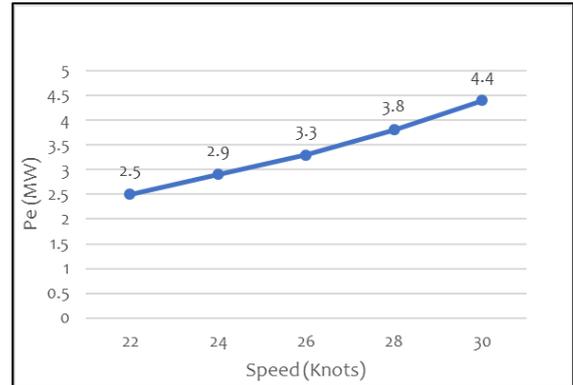
Sumber : Hasil analisa data *Maxsurf resistance edition V21.11, 2017*

Dibuatkan grafik hubungan antara *resistance* (tahanan) dengan kecepatan kapal redesain sesuai dengan variasi kecepatan yang telah ditentukan.



**Gambar 18.** Grafik tahanan total pada kecepatan  
Sumber: Hasil analisa data *Maxsurf resistance edition V21.11, 2017*

Daya yang tersedia pada kapal redesain sesuai spekter sebanyak 2 Unit Marine Diesel @2480 Hp @2000 Rpm (100%MCR = 2 x 1.85 MW).



**Gambar 19.** Grafik daya kapal tiap kecepatan  
Sumber: Hasil analisa data *Maxsurf resistance edition V21.11, 2017*

### Analisa tahanan dan daya pada kapal *initial*

Pada waktu pelaksanaan kegiatan akhir kontrak pengadaan Kapal Patroli Cepat 40 Meter bahan Aluminium sebagai bentuk desain lama (*initial*) yaitu pada waktu kapal melaksanakan *Final Docking* dan *Warranty M/E* tahun 2019 diadakan *sea trial* MPK I dan MPK II dengan kondisi *Full Load* 220 Ton digunakan balingan bervariasi sampai dengan balingan maksimal yang tercapai 1970 (@2000) Rpm. Analisis selanjutnya dilakukan dengan melihat besar nilai tahanan total kapal *initial* pada lima variasi kecepatan dengan menggunakan perhitungan metode *savitsky planning* dengan hasil sebagai berikut:

**Tabel 3.** Hasil perhitungan tahanan total kapal *initial*

Kecepatan		Resistance	Sea Margin
Knot	m/s	kN	16 %
20	10.29	99.85	115.83
22	11.32	114.11	132.36
24	12.35	124.75	144.71
26	13.38	134.48	156.00

28      14.40      144.63      167.77

Sumber: Hasil analisa data sea trial kapal, 2019

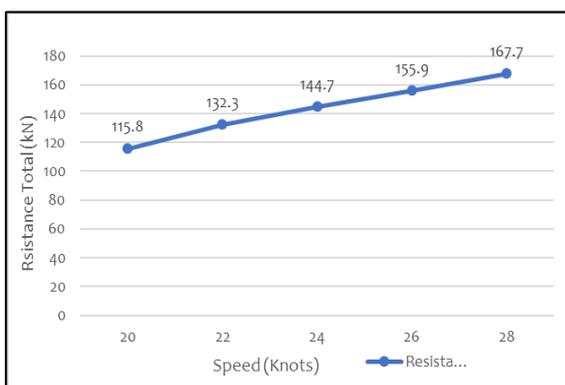
Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai *resistance and effective power* yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik pada kapal *initial* seperti dibawah ini:

**Tabel 4.** Hasil perhitungan tahanan dan daya kapal *initial*

Kecepatan V (Knots)	Resistance Rts (kN)	Effective Power Pe (HP)	Effective Power Pe (MW)
20	115.8	1,787.2	2.5
22	132.3	2,246.0	3.0
26	144.7	2,679.8	3.7
28	155.9	3,127.9	4.2
30	167.7	3,623.4	4.9

Sumber: *Maxsurf resistance edition V21.11, 2017*

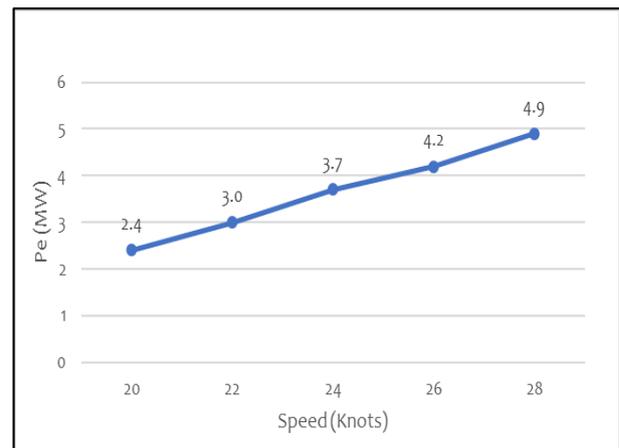
Analisis selanjutnya dilakukan dengan melihat besar nilai tahanan total kapal *initial* pada lima variasi kecepatan untuk memprediksi kecepatan maksimal kapal yang mungkin dicapai. Selanjutnya dilakukan dengan melihat besar nilai tahanan total kapal *initial* pada lima variasi kecepatan untuk memprediksi kecepatan maksimal kapal yang mungkin dicapai.



**Gambar 20.** Grafik tahanan total tiap kecepatan

Sumber: Hasil analisa data *Maxsurf resistance edition V21.11, 2017*

Daya yang tersedia pada kapal *initial* sesuai spektek sebanyak 2 Unit Marine Diesel @ 2480 Hp @ 2000 Rpm (100%MCR = 2 x 1.85 MW).



**Gambar 21.** Grafik daya kapal *initial* tiap kecepatan

Sumber: Hasil analisa data *Maxsurf resistance edition V21.11, 2017*

### Hasil evaluasi tahanan dan daya pada Kapal PC 40 Meter

Dari hasil perhitungan tersebut diatas didapatkan hasil evaluasi dengan menggunakan *software maxsurf* terhadap besaran nilai *resistance and effective power* pada desain bentuk lambung kapal *Initial* dan hasil redesain pada Kapal PC 40 Meter bahan Aluminium dengan menggunakan satuan yang dikonversi supaya lebih memudahkan dalam analisa besaran daya kapal sesuai yang sering digunakan pengguna dilapangan dapat dilihat hasil data

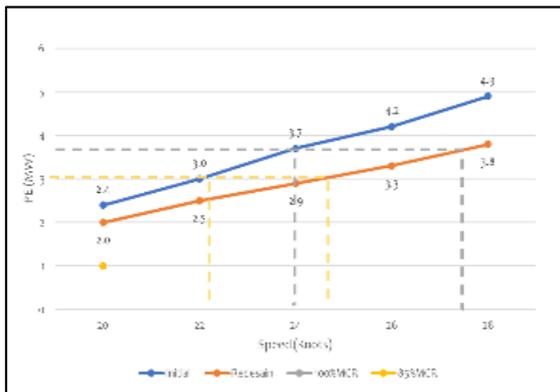
ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik seperti dibawah ini:

**Tabel 5.** Hasil tahanan total dan daya Kapal PC 40 Meter

V Knots	Resistance		Effective Power	
	Initial Rts kN	Redesain Rts kN	Initial Pe MW	Redesain Pe MW
20	115.8	105.3	2.4	2.0
22	132.3	119.3	3.0	2.5
24	144.7	129.1	3.7	2.9
26	155.9	139.4	4.2	3.3
28	167.7	150.1	4.9	3.8

Sumber: Hasil analisa data Maxsurf resistance edition V21.11, 2017

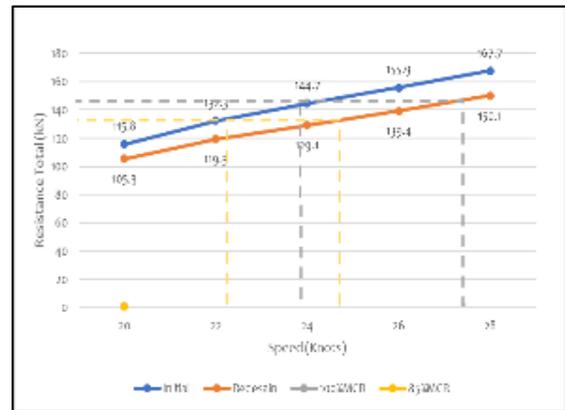
Hasil evaluasi terhadap daya yang tersedia pada Kapal PC 40 Meter sesuai spektek sebanyak 2 Unit Marine Diesel @ 2480 Hp @ 2000 Rpm (100%MCR = 2 x 1.85 (MW)) dengan margin 15% dengan 5 (lima) variasi kecepatan pada bentuk lambung awal kapal *Initial* dan redesain.



**Gambar 22.** Grafik daya Kapal pada kecepatan  
Sumber: Hasil analisa data Maxsurf resistance edition V21.11, 2017

Hasil evaluasi terhadap besaran nilai tahanan kapal dengan kecepatan yang diperoleh pada bentuk lambung awal kapal *Initial* dan redesain pada daya

yang tersedia (100%MCR = 2 x 1.85 MW) dengan margin 15%, dapat dilihat pada grafik hubungan besaran daya kapal baik kapal *initial* maupun kapal redesain seperti yang ditunjukkan dibawah ini:



**Gambar 23.** Grafik tahanan total Kapal terhadap kecepatan

Sumber: Hasil analisa data Maxsurf resistance edition V21.11, 2017

Hasil evaluasi terhadap daya pada Kapal PC 40 Meter bahan Aluminium sebanyak 2 Unit Marine Diesel @ 2480 Hp @ 2000 Rpm (100%MCR = 2 x 1.85 MW) dengan margin 15% dengan kecepatan dan besaran nilai tahanan (*resistance*) yang dihasilkan pada bentuk lambung awal kapal *Initial* dan redesain sesuai dengan tabel berikut:

**Tabel 6.** Hasil evaluasi kecepatan, tahanan dan daya Kapal PC 40 Meter

Thruster Power MW	Speed		Resistance	
	Initial Knots	Initial Knots	Initial kN	Redesain kN
3.70	23.8	23.8	143.3	148.5
3.14	22.2	22.2	134.5	131.7

Sumber: Hasil analisa data Maxsurf resistance edition V21.11, 2017

## Kesimpulan Rekomendasi dan Pembatasan

Hasil penelitian yang dilakukan pada redesain lambung Kapal Jenis Patroli Cepat 40 Meter bahan Aluminium dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil redesain lambung Kapal TNI AL Jenis Patroli Cepat 40 Meter bahan Aluminium dengan menggunakan metode simulasi model dengan bantuan *software maxsurf* dan CFD ANSYS dalam menganalisa performa hidrodinamis menunjukkan pengaruh peningkatan kecepatan kapal maksimum dari 23,8 knot menjadi 27,5 knot sehingga memenuhi ketentuan *operational requirement*.
2. *Computational Fluid Dynamics (CFD)* pada *software ANSYS* yang digunakan untuk menyelesaikan simulasi *free surface* pada *fitur stream line* dengan menunjukkan hasil redesain lambung kapal Patroli Cepat 40 Meter dimana model dan pola aliran gelombang fluida dengan intensitas yang baik dengan kondisi tekanan maksimum  $2.899 \times 10^4$  Pa dan hanya terjadi pada linggi haluan dan sistem pendorong kapal.
3. Untuk penelitian lebih lanjut direkomendasikan menggunakan pemodelan lambung Kapal Patroli

Cepat 40 Meter bahan Aluminium dapat diuji di laboratorium hidrodinamika sehingga hasilnya dapat divalidasi dengan perhitungan yang menggunakan model simulasi dengan bantuan *software maxsurf* dan CFD ANSYS.

## Daftar Pustaka

### Buku

ANSYS R17.1, (2016), *CFD ANSYS Fluent Introduction & Tutorials* SAS IP, Inc.

Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, (2015). *Strategi Pertahanan Negara*, Jakarta.

Lewis, Edward V., *Principle Naval Architect Vol. II* (edisi revisi), (Jersey City: *The Society of Naval and Marine Engineers*, (1988), hlm. 90–92.

Sv.Aa, Harvald., (1983). *Tahanan dan Propulsi Kapal*. Terjemahan oleh Jusuf Sutomo, 1992, Airlangga University Press, Surabaya.

### Jurnal

Alamsyah, Muhammad Auliya., (2017). "Analisis *computational fluid dynamic* terhadap hambatan *crew boat* dengan penambahan *integrated wedges-flap*", *repository.its.ac.ad*, dalam <http://repository.its.ac.id>, diakses pada tanggal tgl 27 Juni 2019.

Chakraborty, Soumya., (2018), "Ship Stability – Introduction to Hydrostatics and Stability of Surface Ships" dalam <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/ship-stability-introduction-hydrostatics-stability->

[surface-ships](#), diakses tanggal 24 Agustus 2019

Chrismianto, Deddy., Trimulyono, Andi., Hidayat, M. Nurul., (2014). "Analisa pengaruh modifikasi bentuk haluan kapal terhadap hambatan total dengan menggunakan CFD". Jurnal Jurusan Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, KAPAL-Vol. 11. diakses pada tanggal 3 Agustus 2019.

Gibson, Andrew., dan Utama, I Ketut Aria Pria., (2016),"Analisis CFD Hambatan Lambung Kapal Trimaran *Asimetris Flat Side Inside* dengan Variasi Jarak Antar Lambung Secara Membujur", Jurnal Teknik ITS vol. 5, no. 1, pp.31-36, dalam <http://ejournal.its.ac.id/index.php>, diakses pada tanggal 3 Agustus 2019.

Kementerian Pertahanan, Kebijakan Penyelarasan Minimum Essential Force Komponen Utama, (2016), dalam <https://www.kemhan.go.id/ppid>, diakses pada tanggal 5 Agustus 2019

Kukner, Abdi., Yasa, A. Mertean., (2014), "*High speed planning hulls resistance prediction methods and comparasion*", *Journal Tehcnical University, Istambul Turkey*, <https://www.researchgate.net>, diakses pada tanggal 14 Juni 2019.

Oni, Romadhoni., dan Utama, IK.A.P., (2015) "Analisa numerik dan CFD pengaruh bentuk *hull paning chine* dan *axe bow* pada kapal *high speed craft* terhadap hambatan total". Jurnal seminar nasional kelautan X, dalam E-mail: [onie.bks@gmail.com](mailto:onie.bks@gmail.com), [<na.its.ac.id>, diakses pada tanggal 28 Juni 2019.](mailto:kutama_</a></p></div><div data-bbox=)

Purwanto, Ajib Wahab., Chrismianto, Deddy., dan Hadi, Eko Sasmito., (2014), "Analisa pengaruh variasi *hullform* terhadap hambatan total Kapal Selam dengan metode *computational fluid dynamic* (CFD)", Jurnal Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro Vol. 02, No. 04, hlm.28-37. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/711>, diakses pada tanggal 27 Juli 2019.

Sidabalok Andreas Parulian., Chrismianto Deddy., dan Iqbal Muhammad., (2016), "Analisa perbandingan *ulstein x-bow* dengan *bulbous bow* konvensional terhadap nilai hambatan total dan seakeeping kapal menggunakan metode CFD", Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 4, No,1, pp.141-151. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>, diakses pada tanggal 27 Juli 2019.