

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri perhubungan laut di Indonesia memiliki peran penting dalam mendukung mobilitas antar pulau dan distribusi barang. Salah satu kapal yang berperan dalam sistem tersebut adalah KMP Ferry Ro-Ro 750 GT. Kinerja kapal ini sangat dipengaruhi oleh sistem propulsi, khususnya propeller yang berfungsi mengubah daya mesin menjadi gaya dorong. Propeller berperan sebagai alat penggerak utama yang mentransmisikan daya dari mesin menjadi gaya dorong (thrust) yang mendorong kapal untuk bergerak maju (Rakhmadi et al., 2016)

Pada kapal yang menjadi objek penelitian, propeller belum pernah diganti sejak awal pengoperasian. Sebelum docking terakhir, kapal mengalami penurunan kecepatan yang tidak sesuai dengan kecepatan rancang, yang mengindikasikan kemungkinan penurunan performa sistem propulsi.

Dalam penggantian propeller, terdapat dua pendekatan, yaitu menggunakan propeller standar yang tersedia di pasaran atau memesan propeller custom. Propeller custom dapat memberikan optimasi lebih spesifik, namun membutuhkan waktu produksi lebih lama sehingga berpotensi meningkatkan durasi dan biaya docking. Sebaliknya, propeller standar lebih cepat diperoleh dan secara teknis telah terbukti digunakan pada berbagai kapal komersial.

Beberapa kapal internasional telah melakukan penggantian propeller menggunakan produk standar tanpa desain custom, seperti kapal tanker *M/T Jag Lavanya* dengan propeller dari Kappel Propeller, kapal kontainer *Ningbo Express* milik Hapag-Lloyd dengan propeller dari Mitsubishi Heavy Industries, serta ferry *Sassnitz* milik Scandlines yang menggunakan propeller dari MAN Energy Solutions dan KMP ferry Belanak. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan propeller standar merupakan praktik yang telah diterapkan secara nyata di industri pelayaran.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi diameter propeller terhadap performa KMP Ferry Ro-Ro 750 GT, sebagai dasar pertimbangan teknis dalam menentukan metode penggantian propeller yang efisien dan ekonomis.

1.2 Teori

1.2.1 Kapal Ferry RoRo

Kapal Ferry RORO (Roll-on/Roll-off) adalah jenis kapal yang dirancang untuk mengangkut kendaraan, seperti mobil, truk, bus, dan penumpang dalam jumlah besar dengan menggunakan sistem pengoperasian yang memungkinkan kendaraan naik dan turun kapal melalui ramp atau jalan masuk/keluar, yang mempermudah dan mempercepat proses pemuatan dan pembongkaran. Kapal ini memiliki desain khusus dengan dek kendaraan yang luas dan datar, serta struktur yang kokoh untuk mendukung pengangkutan kendaraan berat dan penumpang. Salah satu keunggulan utama kapal RORO adalah efisiensinya dalam operasional, karena proses pemuatan dan pembongkaran yang cepat mengurangi waktu yang dibutuhkan di pelabuhan, yang pada gilirannya mengurangi biaya operasional dan meningkatkan frekuensi perjalanan. Kapal Ferry RORO juga memberikan fleksibilitas dalam pengangkutan berbagai jenis kendaraan, termasuk kendaraan komersial, truk, dan kontainer besar, serta memastikan keamanan dan kenyamanan penumpang dengan dilengkapi sistem keselamatan yang ketat. Di Indonesia, kapal RORO memainkan peran penting dalam menghubungkan pulau-pulau, memfasilitasi distribusi barang dan transportasi penumpang, terutama di daerah-daerah yang tidak dapat dijangkau oleh transportasi darat. Infrastruktur pelabuhan yang mendukung operasional kapal ini, seperti dermaga dengan ramp dan fasilitas logistik, sangat vital untuk kelancaran transportasi antar pulau, menjadikan kapal RORO sebagai solusi transportasi utama di negara kepulauan ini.



Gambar 1 KMP Ferry Ro-Ro 750 GT
<https://www.vesselfinder.com/>

1.2.2 Perancangan Propeller

Propeller merupakan komponen vital dalam sistem propulsi kapal, berfungsi mengubah tenaga mekanis dari mesin menjadi gaya dorong untuk menggerakkan kapal. Perancangan propeller yang efisien memerlukan pemahaman mendalam tentang prinsip dasar, parameter desain, metode perancangan, dan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja propeller.

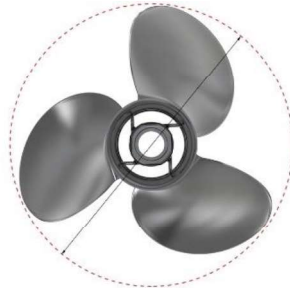
1. Perinsip Dasar Propeller

Propeller adalah komponen utama dalam sistem propulsi kapal yang berfungsi mengubah tenaga mekanis dari mesin menjadi gaya dorong untuk menggerakkan kapal maju. Prinsip kerjanya didasarkan pada Hukum Aksi dan Reaksi Newton: ketika propeller berputar, bilah-bilahnya mendorong air ke belakang (aksi), menghasilkan gaya dorong ke depan (reaksi) yang menggerakkan kapal maju

2. Parameter Perancangan Propeller

Parameter utama dalam perancangan propeller kapal meliputi:

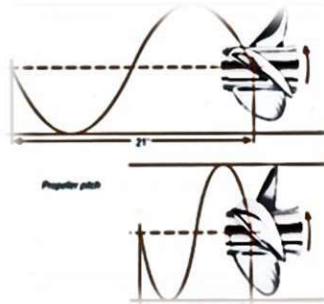
- **Diameter Propeller (D):** Ukuran keseluruhan propeller yang mempengaruhi volume air yang dipindahkan dan daya dorong yang dihasilkan.



Gambar 2 diameter propeller
Sumber : <https://qiclearmarine/>

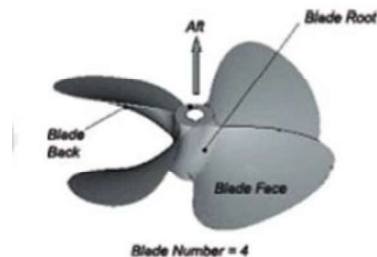
- **Pitch (P):** Jarak teoretis yang ditempuh propeller dalam satu putaran penuh tanpa slip, menentukan seberapa jauh kapal bergerak maju per putaran. Pitch propeller dapat dihitung

$$P = D \times P/D \quad (1)$$



Gambar 3 Pitch propeller
Sumber : <https://uk.boats.com/>

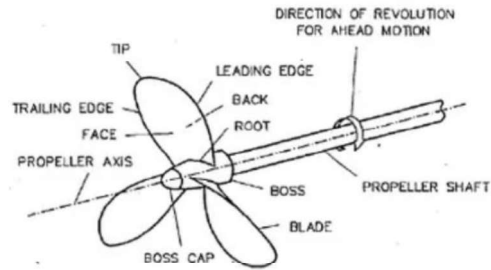
Jumlah **dan Bentuk Bilah**: Menentukan distribusi beban, efisiensi propulsi, dan karakteristik aliran air di sekitar propeller.



Gambar 4 daun propeller
Sumber : <https://linesplan.blogspot.com>

- **Kecepatan Putar (RPM)**: Jumlah putaran propeller per menit yang mempengaruhi kecepatan aliran air yang dihasilkan dan efisiensi propulsi.
- **Rasio Pitch-Diameter (P/D)**: Perbandingan antara pitch dan diameter propeller, mempengaruhi performa propeller dalam berbagai kondisi operasional.

Pemilihan dan perancangan yang tepat dari parameter-parameter ini sangat penting untuk mencapai efisiensi propulsi yang optimal, mengurangi konsumsi bahan bakar, dan memastikan kinerja kapal yang baik. Desainer propeller harus mempertimbangkan berbagai parameter ini untuk menghasilkan bentuk, tipe, dan ukuran propeller yang memiliki efektivitas dan efisiensi propulsi tinggi.



Gambar 5 komponen propeller
Sumber : Propeller Geometry (2021)

- **Expanded Area Ratio (A_e/A_o)**

A_e/A_o (Expanded Area Ratio) adalah perbandingan antara luas daun propeller yang diperluas (expanded blade area) dengan luas bidang putar propeller (propeller disk area). Parameter ini digunakan untuk menggambarkan besarnya luas permukaan daun propeller terhadap diameter propeller secara keseluruhan. A_e/A_o merupakan salah satu parameter penting dalam perancangan propeller karena berpengaruh langsung terhadap kemampuan propeller dalam menghasilkan gaya dorong, efisiensi hidrodinamis, serta kecenderungan terjadinya kavitasi pada daun propeller (Carlton, 2012)

$$\frac{A_e}{A_o} = \frac{(1,3+0,3Z)T}{(P_o-P_v)D^2} + k \quad (2)$$

3. Thrust propeller

Thrust propeller adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh baling-baling kapal akibat percepatan massa air yang melewatinya. Thrust ini adalah komponen utama dalam pergerakan kapal karena menentukan seberapa besar daya dorong yang diberikan propeller untuk mengatasi hambatan total kapal. Hambatan tersebut dipengaruhi oleh kekentalan fluida dan kekasaran permukaan pipa. Thrust sangat bergantung pada bentuk, ukuran, dan kecepatan putaran propeller serta resistansi kapal di dalam air. Semakin besar thrust yang dihasilkan, semakin besar pula gaya dorong kapal untuk mengatasi hambatan air dan mencapai kecepatan tertentu.

$$T = KT \times \rho \times n^4 \times D^4 \quad (3)$$

Pendekatan ini menggunakan koefisien thrust (KT) untuk menghitung gaya dorong (T) yang dihasilkan oleh propeller. Konsep ini banyak digunakan dalam pengujian model propeller, analisis desain, dan performa propeller dalam skala penuh. Pendekatan ini berasal dari metode nondimensionalisasi, di mana berbagai parameter propeller dinormalisasi untuk memungkinkan perbandingan kinerja antara propeller dengan ukuran atau kondisi operasi yang berbeda. Koefisien thrust (KT) adalah besaran tanpa satuan yang menunjukkan efisiensi propeller dalam menghasilkan thrust terhadap kondisi fluida dan karakteristik propeller.

$$KT = \frac{T}{\rho \times n^2 \times D^4} \quad (4)$$

4. Torsi propeller

Propeller merupakan komponen utama dalam sistem propulsi kapal yang berfungsi mengonversi energi mekanik dari mesin menjadi gaya dorong agar kapal dapat bergerak. Salah satu faktor krusial dalam analisis kinerja propeller adalah torsi, yaitu momen gaya yang dibutuhkan untuk memutar propeller di dalam air. Torsi ini berpengaruh langsung terhadap konsumsi daya dan efisiensi propulsi secara keseluruhan.

Untuk menganalisis torsi propeller, digunakan pendekatan berbasis koefisien torsi (KQ) yang merupakan parameter nondimensional yang diperoleh dari hasil pengujian atau data empiris.

Dalam pembahasan berikut, akan dijelaskan lebih lanjut konsep dasar torsi propeller serta rumus yang digunakan dalam perhitungannya. Pemahaman terhadap konsep ini sangat penting dalam perancangan sistem propulsi yang efisien, sehingga kapal dapat beroperasi dengan performa optimal dan konsumsi daya yang lebih hemat.

$$Q = KQ \times \rho \times n^2 \times D^5 \quad (5)$$

Nilai KQ biasanya diperoleh melalui pengujian laboratorium atau data eksperimen menggunakan model propeller berskala kecil, Namun koefisien torsi juga bisa di dapatkan melalui grafik wageningen

$$KQ = \frac{Q}{\rho \times n^2 \times D^5} \quad (6)$$

5. Grafik wageningen

Dalam desain dan analisis propulsi kapal, pemilihan propeller yang optimal sangat penting untuk mencapai efisiensi yang tinggi. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk menganalisis performa propeller adalah grafik Wageningen, yang dikembangkan berdasarkan hasil eksperimen oleh Netherlands Ship Model Basin (NSMB). ((Lewis, 1988))

Grafik ini menyajikan hubungan antara koefisien thrust (KT), koefisien torsi (KQ), dan efisiensi propeller terhadap bilangan kecepatan maju atau advance coefficient . Dengan menggunakan grafik ini, insinyur perkapalan dapat menentukan karakteristik propeller tanpa perlu melakukan perhitungan torsi dan daya secara langsung.

Grafik Wageningen merupakan hasil pengujian berbagai jenis propeller dengan jumlah bilah berbeda (2 hingga 7 bilah) serta rasio luas bilah (AE/AO) yang bervariasi. Dari pengujian ini, dihasilkan data nondimensional yang berguna untuk menganalisis performa propeller dalam berbagai kondisi operasi.

Empat parameter utama yang ditampilkan dalam grafik Wageningen adalah:

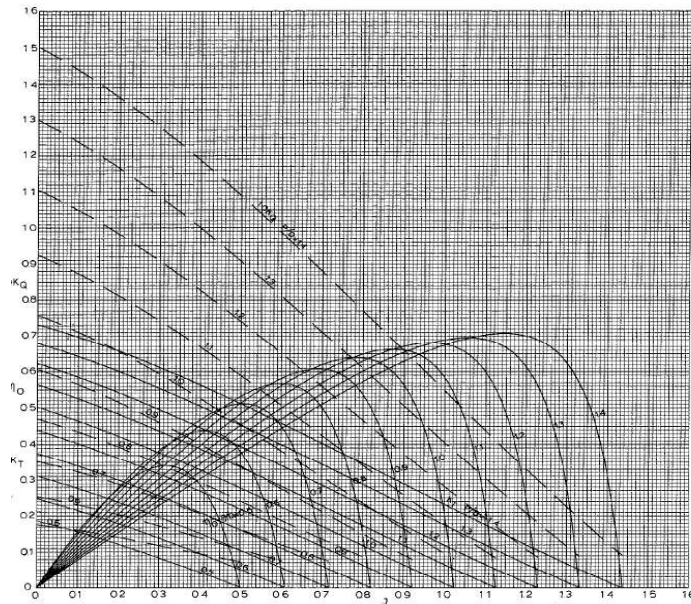
- Advance Coefficient (J)

$$J = \frac{va}{n \times D} \quad (7)$$

- Koefisien Thrust (KT)
- Koefisien Torsi (KQ)
- Efisiensi Propeller (n_0)

$$n_0 = \frac{J \times KT}{KQ \times 2\pi} \quad (8)$$

Grafik Wageningen sering digunakan dalam perancangan sistem propulsi kapal, terutama untuk menentukan ukuran dan jenis propeller yang sesuai dengan kebutuhan kapal



Gambar 6 Grafik Wageningen
Sumber : The Wageningen Propeller (1992)

1.2.3 Karakteristik *Open Water*

Secara umum karakteristik dari propeler kapal pada kondisi *open water test* adalah seperti yang direpresentasikan pada diagram Wageningen $K_T - K_Q - J$. Setiap tipe dari masing-masing baling-baling kapal, memiliki karakteristik kurva kinerja yang berbeda-beda. Daya dorong suatu propeler yang bekerja tergantung pada parameter parameter seperti diameter propeler (D), besarnya pitch (P/D), jumlah dan bentuk daun propeler (Z), kecepatan (V_a), kecepatan putaran (n), densitas fluida (ρ), viskositas fluida (μ). Dalam penggunaan *Computational Fluid Dynamic* diperlukan untuk mendapatkan nilai *thrust* dan torsi. *Thrust* dan *Torque* pada propeler berguna sebagai beban yang bekerja pada propeler. Diagram memberikan *Torque* dan *Thrust* sebagai fungsi kecepatan. Karakteristik propeler terdiri dari koefisien *thrust* (K_T), koefisien *torque* (K_Q), dan koefisien *advanced* (J). (Adji, 2005).

Dalam perancangan propeler, kebutuhan *thrust* tidak dapat dipisahkan dari karakteristik tahanan kapal (karakteristik pembebanan propeller) dibentuk (Muhammad,2013)

$$K_T = \frac{\alpha_1 v_a^2 + \alpha_2 (1-w) v_a^2 + c(1-w)^2}{(1-w)^2 (1-t) \rho n^2 D^2} \quad (9)$$

$$K_T = \frac{\{\alpha_1 + \alpha_2 (1-w) / V_a + c(1-w)^2 / V_a^2\}}{(1-w)^2 (1-t) \rho D^2} J^2 \quad (10)$$

$$K_T = K^* J^2 \quad (11)$$

Dimana :

$$K^* = \frac{\{\alpha_1 + \alpha_2(1-w)/V_a + c(1-w)^2/V_a^2\}}{(1-w)^2(1-t)\rho D^2} \quad (12)$$

Selanjutnya harga J , K_T , K_Q dan η_0 dapat dihitung dengan persamaan

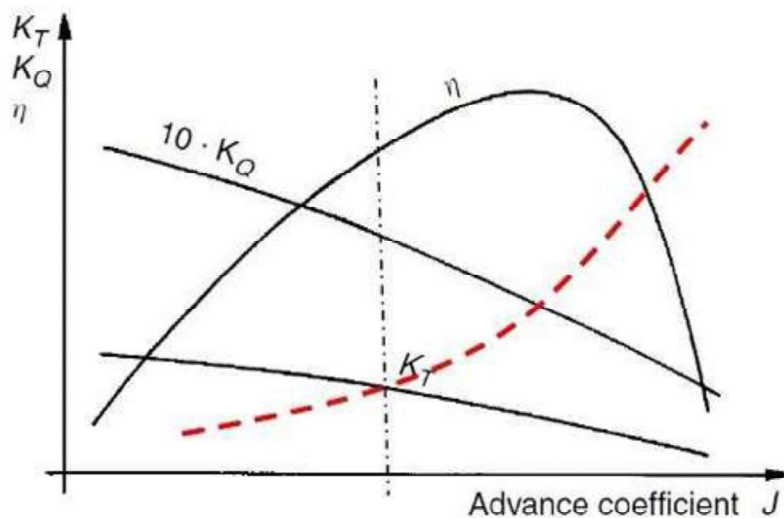
$$K_T = \frac{T}{\rho \times n^2 \times D^4} \quad (13)$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \times n^2 \times D^5} \quad (14)$$

$$J = \frac{V_a}{n \times D} \quad (15)$$

$$\eta_0 = \frac{T \times V_a}{2 \times \pi \times Q \times n} \quad (16)$$

Dimana, T ialah Thrust (N), Q ialah Torque (Nm), ρ ialah massa jenis fluida (kg/m^3), n ialah putaran propeller (rps), D ialah Diameter Propeller (m), V_a ialah kecepatan advance (m/s), J ialah koefisien advance. Diagram ini ditunjukkan pada gambar (7).



Gambar 7 kurva open water propeller

Pada gambar (7) tersebut menunjukkan kurva open water propeller yang menggambarkan hubungan antara advance coefficient (J), thrust coefficient (K_T), torque coefficient (K_Q), dan open water efficiency (η_0). Dari kurva tersebut dapat terlihat bahwa nilai thrust dan torque menurun seiring peningkatan J , sedangkan efisiensi propeller mencapai nilai maksimum pada kondisi advance ratio tertentu sebelum kemudian menurun. Analisis kurva ini penting untuk menentukan performa optimal propeller pada berbagai kondisi operasi

1.2.4 *Engine Propeller Matching*

Engine matching adalah proses penyesuaian antara karakteristik mesin penggerak (*engine*) dengan sistem propulsi kapal, terutama propeller, untuk mencapai performa operasi yang optimal. Penyesuaian ini bertujuan untuk memastikan bahwa mesin bekerja pada putaran, daya, dan torsi yang sesuai dengan kebutuhan propulsi agar efisiensi bahan bakar maksimal, umur komponen lebih panjang, dan kinerja kapal secara keseluruhan optimal. Menurut (Muhammad et al. 2022), pencocokan antara mesin utama dan propeller menjadi faktor krusial dalam mencapai performa optimal kapal. Ketidakseimbangan antara kemampuan mesin dan kebutuhan beban propeller dapat menyebabkan beberapa permasalahan, seperti:

- Mesin bekerja pada kondisi overload, yang terjadi ketika gaya hambat kapal dan kebutuhan beban propeller lebih tinggi daripada daya yang mampu disuplai oleh mesin.
- Kapal tidak mampu mencapai kecepatan desain, karena propeller tidak menghasilkan thrust yang cukup pada RPM operasi.
- Efisiensi propulsi menurun, akibat hubungan pitch, diameter, dan karakteristik mesin yang tidak sesuai.
- Konsumsi bahan bakar meningkat, karena mesin harus bekerja pada titik operasi yang tidak efisien

1.2.5 *Computational Fluid Dynamic*

Computational Fluid Dynamic adalah cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma komputer untuk menganalisis dan mensimulasikan perilaku fluida (cairan dan gas) serta interaksinya dengan permukaan padat. CFD memungkinkan pemodelan aliran fluida secara rinci, termasuk fenomena seperti turbulensi, perpindahan panas, serta interaksi fluida-struktur (fluid-structure interaction).

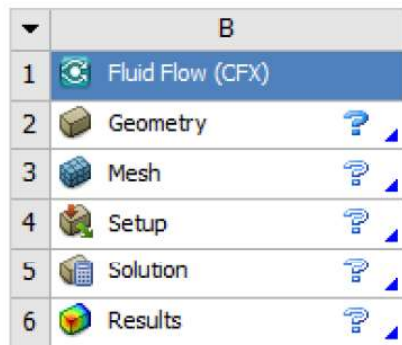
Pada metode CFD software yang digunakan yaitu ansys CFX

23 R2



Gambar 8 Ansys 2023 R2
Sumber : www.ansys.com

Pada penggunaan software ansys ada beberapa tahap yang dilakukan untuk melakukan simulasi desain



Gambar 9 tahapan dalam software ansys CFX 2023
Sumber : ansys CFX 2023 R2

a.) Geomtry

Dalam ANSYS CFX, tahap Geometry adalah langkah awal dalam simulasi CFD yang bertujuan untuk membuat atau mengimpor model geometris yang akan digunakan dalam analisis aliran fluida. Geometri dapat dibuat langsung di ANSYS DesignModeler atau diimpor dari perangkat lunak CAD seperti SolidWorks atau AutoCAD dalam format STEP, IGES, atau Parasolid. Setelah itu, geometri sering kali perlu disederhanakan dengan menghapus fitur kecil yang tidak signifikan untuk mengurangi beban komputasi. Selanjutnya, domain fluida harus didefinisikan dengan jelas, terutama jika model awalnya berupa benda padat, sehingga perlu dibuat enclosure sebagai ruang aliran fluida. Sebelum melanjutkan ke tahap meshing, geometri diperiksa untuk memastikan tidak ada kesalahan seperti self-intersecting surfaces atau gaps yang dapat menyebabkan kegagalan dalam simulasi.

b.) Mesh

Tahap meshing adalah proses pembuatan elemen diskret yang membagi domain fluida menjadi bagian-bagian kecil untuk analisis numerik. Meshing sangat penting karena memengaruhi akurasi dan efisiensi simulasi. ANSYS menyediakan berbagai jenis mesh, seperti tetrahedral, hexahedral, dan hybrid, yang dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan simulasi. Ukuran dan kualitas mesh perlu diatur dengan baik, di mana mesh yang lebih halus di daerah dengan perubahan aliran yang kompleks dapat meningkatkan akurasi, tetapi juga meningkatkan waktu komputasi.

Selain itu, parameter seperti inflation layers digunakan untuk menangkap efek lapisan batas di dekat dinding. Setelah mesh dibuat, pengecekan kualitas dilakukan untuk memastikan tidak ada elemen yang terlalu distorsi, sehingga hasil simulasi tetap valid dan stabil.

c.) Setup

Tahap Setup adalah proses mendefinisikan kondisi fisik dan batas yang akan digunakan dalam simulasi. Pada tahap ini, pengguna menentukan model fisik seperti jenis fluida, kepadatan, viskositas, serta apakah simulasi akan menggunakan aliran laminar atau turbulen. Selanjutnya, kondisi batas (boundary conditions) seperti kecepatan masuk (inlet velocity), tekanan keluar (outlet pressure), serta kondisi dinding (wall conditions) ditentukan untuk mencerminkan situasi nyata. Pengaturan solver juga dilakukan, termasuk metode numerik, skema diskritisasi, serta kriteria konvergensi. Selain itu, pengguna dapat mengaktifkan model tambahan seperti perpindahan panas, reaksi kimia, atau multiphase flow jika diperlukan. Setelah semua parameter dikonfigurasi, simulasi siap dijalankan untuk memperoleh solusi aliran fluida yang diinginkan.

d.) Solution

Tahap Solution adalah proses menjalankan simulasi berdasarkan setup yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Solver akan menyelesaikan persamaan konservasi massa, momentum, dan energi secara iteratif hingga mencapai konvergensi, di mana perubahan nilai antara iterasi sudah cukup kecil. Selama proses ini, pengguna dapat memantau parameter seperti residu, tekanan, kecepatan, dan variabel lainnya untuk memastikan solusi berjalan dengan stabil. Jika konvergensi tidak tercapai atau hasil tidak realistis, pengguna mungkin perlu menyesuaikan setting solver, mesh, atau kondisi batas. Setelah simulasi selesai, data hasil dapat diekstrak dan dianalisis lebih lanjut di tahap Post-Processing.

e.) Result

Tahap Result atau Post-Processing adalah proses menganalisis dan memvisualisasikan hasil simulasi setelah solusi selesai dihitung. Pada tahap ini, data seperti distribusi kecepatan, tekanan, temperatur, serta vektor aliran dapat ditampilkan dalam bentuk grafik, kontur, streamline, atau animasi untuk memahami pola aliran fluida. Selain itu, pengguna dapat melakukan perhitungan tambahan, seperti analisis

gaya hambat (drag), gaya angkat (lift), atau perhitungan efisiensi. Jika hasil tidak sesuai dengan ekspektasi, bisa dilakukan evaluasi ulang terhadap setup dan mesh untuk meningkatkan akurasi simulasi.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka muncul rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh diameter propeller terhadap Thrust dan torsi KMP ferry roro 750 GT ?
2. Bagaimana pengaruh diameter propeller terhadap efisiensi propeller KMP ferry roro 750 GT ?

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Dalam penelitian yang diusulkan memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh diameter propeller terhadap Thrust dan torsi KMP ferry roro 750 GT
2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh diameter propeller terhadap efisiensi KMP ferry roro 750 GT

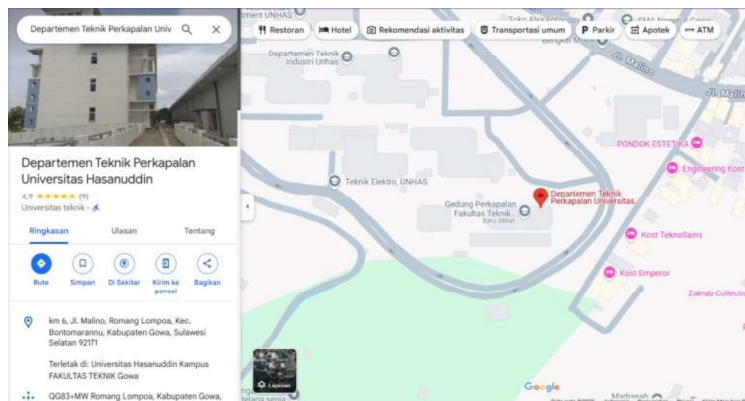
Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan acuan dalam perencanaan geometri daun propeller pada KMP ferry roro 750 GT
2. Memberi informasi terkait pengaruh diameter daun propeller terhadap performa dan efisiensi KMP ferry roro 750 GT
3. Dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian ini

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di ruang Labo Propulsi Kapal, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin pada bulan Februari 2025 – selesai.



Gambar 10 tempat penelitian
Sumber : google maps (2024)

2.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis simulasi, di mana pengujian dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak yang sesuai dengan spesifikasi sistem yang telah ditetapkan. Hasil simulasi kemudian dianalisis untuk dijadikan referensi dalam menyelesaikan permasalahan yang ada. Dalam hal ini, perangkat lunak ANSYS CFX 2023 R2 digunakan untuk memperoleh data mengenai thrust dan torsi pada propeller, sehingga dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam terkait performa propeller dalam berbagai kondisi operasional.

2.3 Metode Pengumpulan Data

Adapun pengumpulan data pada penelitian ini membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir. Pengumpulan data pendukung tersebut terkait data kapal dan data geometry propeller yang digunakan.

Pada bagian ini terdapat data yang mendukung proses pemodelan dan simulasi. Informasi data kapal terdapat pada tabel 1, data propeller kapal yang digunakan pada tabel 2 .

<i>LOA (m)</i>	54
<i>LBP (m)</i>	47,45
<i>B (m)</i>	14
<i>H (m)</i>	3,4
<i>T (m)</i>	2,25
<i>Displacement (ton)</i>	1148
<i>V (m/s)</i>	6,618

Tabel 1 ukuran utama kapal

<i>Jenis Propeler</i>	<i>FPP – B-Series</i>
<i>D (m)</i>	1,422
<i>Z</i>	4
<i>P/D</i>	1,705
<i>Ae/Ao</i>	0,55
<i>N (Rps)</i>	8,764

Tabel 2 Data Propeller Kapal

Mesin Utama	
<i>Merk Mesin</i>	Yanmar
<i>Seri Mesin</i>	12 LAA-UTE 1
<i>Jumlah Silinder</i>	6 in line
<i>Type Mesin</i>	4 langkah
<i>Tenaga efektif</i>	2 x 1.000 HP
<i>Putaran maksimum</i>	1.850 RPM

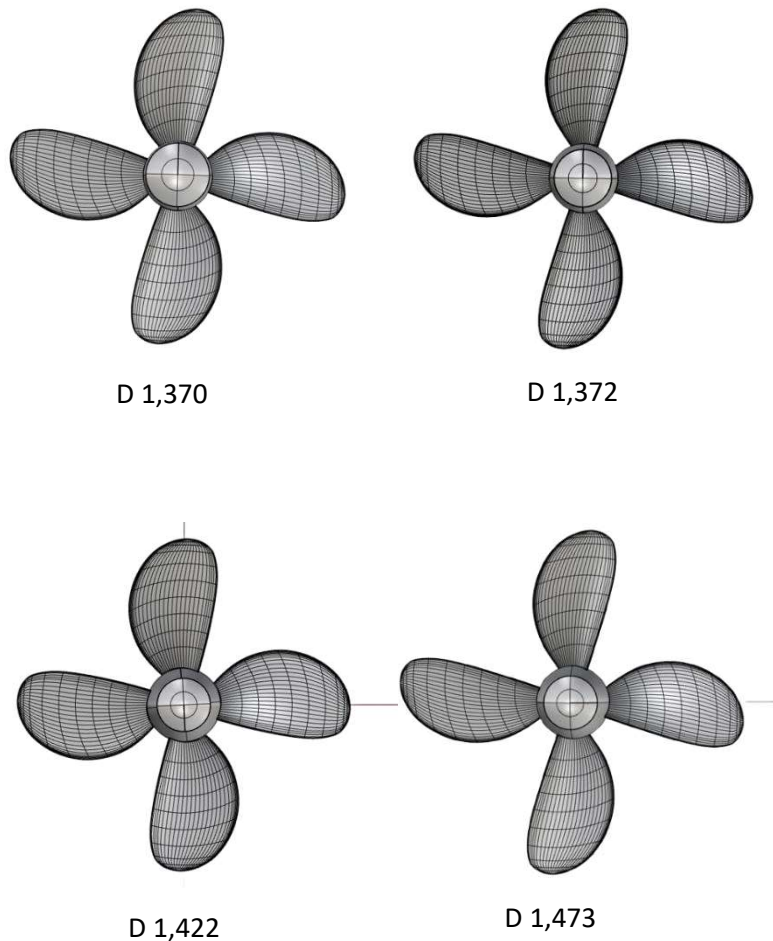
Tabel 3 Data Mesin Utama

DIAMETER	D 1,370	D 1,372	D 1,422
Z	4	4	4
P/D	1,79	1,8	1,705
AE/AO	0,55	0,55	0,55

Tabel 4 Data Catalog Propeller

2.4 Tahap Pemodelan

Setelah dilakukan pengumpulan data data yang mendukung untuk membantu dalam proses penelitian, selanjutnya dilakukan pembuatan model propeller yang akan kita gunakan.



Gambar 11 Model Varsiasi Diameter Propeller
Sumber : Rhino 7

Pada gambar 11 adalah model variasi Diameter propeller, dimana diameter propeller yang digunakan yaitu 1,372 m, 1,422 m, 1,473 m, 1,524 m dibuat secara tiga dimensi menggunakan software Rhino 7. .

2.5 Tahap simulasi Computational Fluid Dynamic

Penelitian ini akan menganalisis data menggunakan metode simulasi numerik dengan solver fluid flow analysis (CFX) yang berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD) melalui perangkat lunak ANSYS CFX R23.0. Proses analisis mencakup pemodelan, visualisasi pola aliran fluida, serta perhitungan nilai thrust

dan torsi pada propeller untuk mengevaluasi kinerjanya dalam berbagai kondisi operasional.

Langkah – langkah simulasi ini dibagi menjadi beberapa tahapan, antara lain:

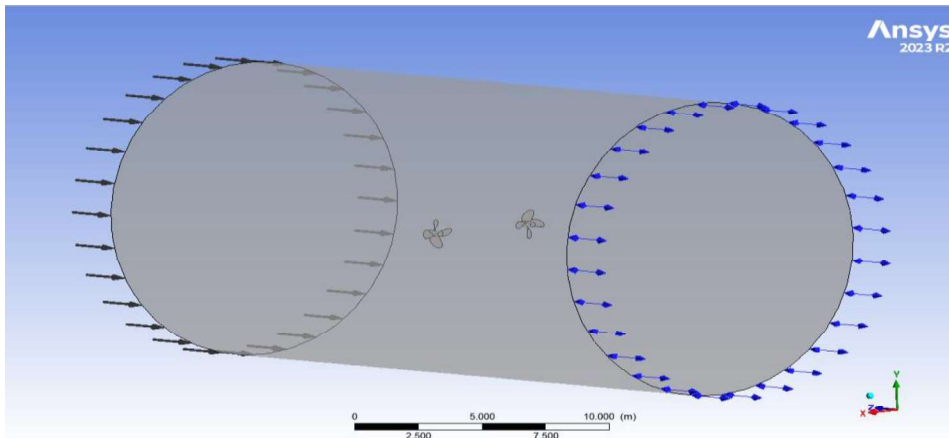
- a.) Geometry
- b.) Mesh
- c.) Setup
- d.) Result

a.) Geometry

Tahap Geometry merupakan langkah awal dalam proses analisis yang mencakup pembuatan dan verifikasi model yang akan diuji. Pada tahap ini, dilakukan pengecekan apakah model telah solid dan siap digunakan dalam simulasi. Pembuatan model dapat dilakukan langsung melalui menu Geometry di ANSYS CFX R23 namun dalam penelitian ini, karena kompleksitas model yang tinggi, pembuatan dilakukan terlebih dahulu menggunakan Rhinoceros 7.0. Setelah model selesai, proses impor ke ANSYS dilakukan melalui perintah File > Import External Geometry, kemudian memilih file model dan mengonfirmasi dengan OK > Generate. Jika muncul tanda Ready atau centang hijau pada Geometry, maka model telah berhasil diimpor dan siap digunakan dalam simulasi.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan boundary building seperti pada gambar III.5. Langkah pertama yaitu pemilihan XY plan sebagai koordinat. Dalam study komputasi baling-baling terdapat dua domain yaitu domain untuk Propeler yang merupakan domain rotasi dan domain untuk fluida yang berada disekitar propeler yang merupakan domain statis (Elghorab, dkk : 2018), fluida kerja yang digunakan adalah air laut pada keadaan temperatur dan tekanan normal.

Tahap selanjutnya ialah membuat enclosure untuk domainnya, perintah yang digunakan ialah tools > enclosure > pilih cylinder kemudian masukkan dimensi enclosure > generate. Untuk domain rotasi dimensi enclosure mengikuti diameter propeler. ditunjukkan dalam Gambar (12).



Gambar 12 Dimensi Boundary
Sumber : ansys 2023

Setelah model dan enclosure selesai disusun, langkah selanjutnya adalah mengubah enclosure menjadi boolean operation. Untuk domain rotasi, digunakan operasi subtract boolean, di mana perintah yang digunakan adalah Create > Boolean > Subtract. Dalam proses ini, Propeller dipilih sebagai Tool Bodies, sementara Enclosure ditetapkan sebagai Target Bodies. Selain itu, opsi Preserve Tool Bodies dipilih Yes untuk memastikan propeller tetap tersedia dalam geometri setelah operasi boolean dilakukan.

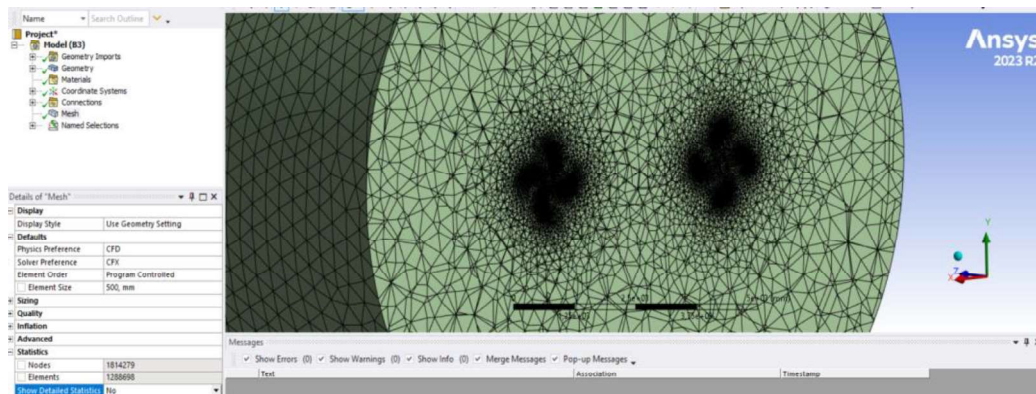
b.) Tahap meshing dan penentuan zona batas

Tahap berikutnya adalah meshing, yaitu proses membagi model geometry menjadi elemen-elemen kecil untuk dianalisis. Semakin kecil ukuran mesh, semakin banyak elemen yang terbentuk, yang dapat meningkatkan akurasi hasil simulasi. Namun, ukuran mesh yang terlalu kecil tidak selalu lebih baik, karena dapat meningkatkan waktu komputasi dan biaya analisis. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi dalam pemilihan ukuran mesh agar simulasi tetap optimal.

Meshing dibagi menjadi beberapa sub, antara lain adalah spacing, controls, inflation, dan lainnya. Spacing adalah bagian dimana kita menentukan besar, sudut, radius, expansion dan lokasi meshing. Mesh yang digunakan dalam penelitian ini adalah unstructure mesh, berdasarkan hasil penelitian sebelumnya bahwa penggunaan jenis meshing unstructured dalam menganalisa performance B-series mempunyai hasil yang lebih baik bila dibandingkan penggunaan jenis meshing structure (Surjo W. Adji, dkk : 2005).

Setelah tahap geometry selesai, proses selanjutnya adalah meshing. Pada tahap ini, model dibagi menjadi elemen-elemen sederhana untuk memudahkan perhitungan numerik. Prosesnya dilakukan dengan cara klik kanan pada Mesh > Insert > Sizing > pilih Propeller > atur Element Size >

Generate Mesh. Karena kualitas mesh sangat memengaruhi akurasi hasil, stabilitas konvergensi, dan waktu komputasi, maka semakin kecil ukuran elemen yang digunakan, semakin akurat pula luas permukaan dan hasil simulasi yang diperoleh. Proses meshing yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar (13).



Gambar 13 Meshing model propeller
Sumber : Ansys 2023 R2

Setelah proses meshing selesai, langkah selanjutnya adalah menentukan zona batas analisis. Terdapat tujuh zona batas utama, yaitu Wall untuk propeller, Inlet, Outlet, Opening, Face Interface, Back Interface, dan Side Interface. Semua zona ini terintegrasi dalam mesh unstructured, seperti yang ditunjukkan dalam visualisasi model. Zona Inlet didefinisikan berdasarkan kecepatan aliran aksial yang tegak lurus terhadap batas masuk, sedangkan zona Outlet merepresentasikan aliran keluar dari domain stasioner dengan kondisi tekanan statis normal. Sisi domain stasioner diperlakukan sebagai dinding halus, sehingga tidak terjadi aliran masuk atau keluar dari sisi tersebut. Jenis interface yang digunakan adalah fluid-to-fluid interface, yang menghubungkan domain rotasi dengan domain stasioner untuk memastikan transfer aliran yang realistis antara kedua wilayah tersebut.

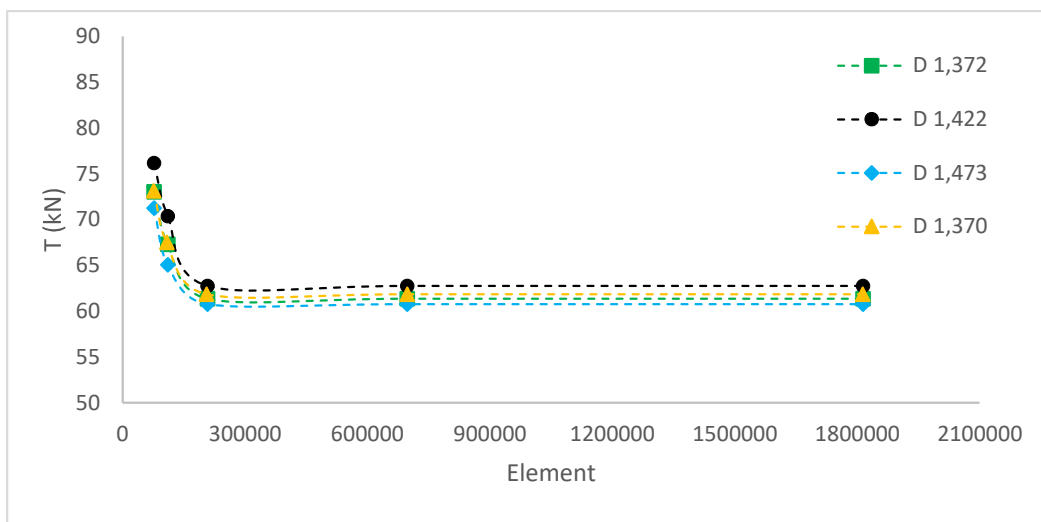
c.) *Mesh sensivity*

analisis sensitivitas mesh di perlukan agar dapat menentukan ukuran mesh yang optimal—yaitu mesh yang cukup halus untuk memberikan hasil akurat, namun tetap efisien secara komputasi. Pada proses ini, simulasi dijalankan dengan beberapa variasi mesh (misalnya coarse, medium, dan fine). Kemudian, parameter hasil seperti thrust, torque, atau variabel performa lainnya dibandingkan. Apabila perbedaan hasil antara mesh yang lebih halus semakin kecil dan menunjukkan kecenderungan stabil (konvergen), maka mesh tersebut dikategorikan independen. Mesh yang hanya menunjukkan perubahan hasil sangat kecil, biasanya kurang dari 1–2%, ketika diperhalus lagi, dianggap telah memenuhi kriteria grid independence, sebagaimana ditunjukkan pada tabel

Total Element	KT
709754	0,236
792915	0,230
917056	0,225
1065855	0,220
1290654	0,220
1663217	0,220

Tabel 5 mesh sensivity

Berdasarkan hasil perbandingan yang ditunjukkan pada Tabel 5 , nilai yang diperoleh dari analisis *mesh sensitivity* menunjukkan variasi pada setiap konfigurasi *mesh*. Perbedaan nilai tersebut menjadi dasar dalam menentukan jumlah elemen *mesh* yang digunakan pada simulasi. Selain itu, hubungan antarvariasi *mesh* juga dapat diamati secara visual melalui grafik yang disajikan pada Gambar (14).



Gambar 14 Grid Independence

d.) Tahap setup

Setup merupakan tahap yang dilakukan setelah proses meshing selesai dan berfungsi untuk mengatur parameter yang berkaitan dengan simulasi. Pada tahap ini, terdapat beberapa langkah utama, yaitu pengaturan default domain, pemilihan solver, dan pembuatan ekspresi. Default domain dikonfigurasi untuk menentukan karakteristik analisis, termasuk arah aliran fluida, sifat fisik, serta properti fluida yang digunakan dalam simulasi.

Dalam simulasi ini, terdapat dua jenis domain fluida yang dikonfigurasi, yaitu domain fluida berputar dan domain fluida diam. Domain fluida berputar diasumsikan sebagai fluida yang mengalami pergerakan akibat putaran propeller, sedangkan domain fluida diam merepresentasikan aliran fluida yang

pengaruhnya terhadap propeller dianggap kecil. Sifat fisik dari masing-masing domain, termasuk parameter seperti densitas, viskositas, dan kecepatan aliran, dapat dilihat pada tabel di bawah ini sebagai acuan dalam simulasi.

Tabel 6 Kondisi fisik pada domain rotasi dan aliran fluida

<i>No</i>	<i>Parameter</i>	<i>Keterangan</i>
1	Domain type	Fluid domain
2	material	Water
3	Reference pressure	1 atm
4	Bouyancy model	Non bouyant
5	Domain motion	Rotation
6	Angular velocity	8.764 rev s-1
7	<i>Axis Definition</i>	<i>Two Points</i>
8	<i>Rotation Axis From</i>	(Berdasarkan <i>Extents Mesh Statistics</i>)
9	<i>Rotation Axis To</i>	(Berdasarkan <i>Extents Mesh Statistics</i>)

<i>No</i>	<i>Parameter</i>	<i>keterangan</i>
1	<i>Location</i>	<i>Fluid</i>
2	<i>Domain Type</i>	<i>Fluid Domain</i>
3	<i>Coordinat Frame</i>	<i>Coord 0</i>
4	Fluid 1	<i>Material Library</i>
5	<i>Material</i>	<i>Water</i>
6	<i>Morphology</i>	<i>Continuous Fluid</i>
7	<i>Reference Pressure</i>	1 atm
8	<i>Buoyancy Model</i>	<i>Non Buoyant</i>

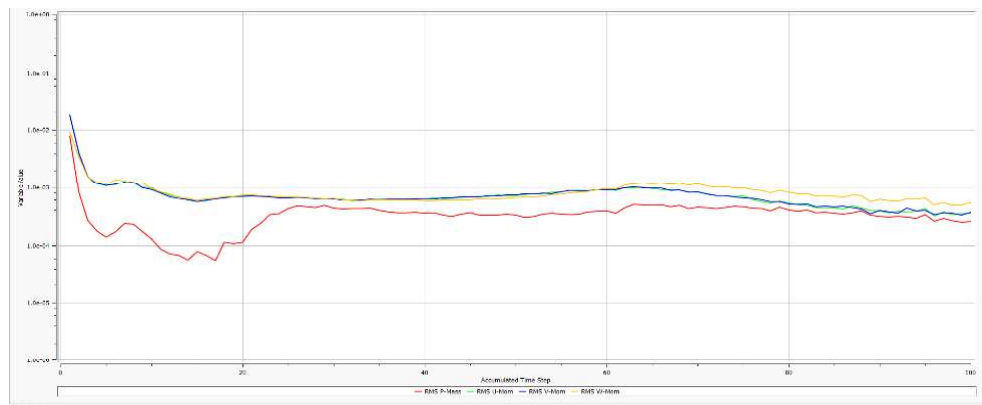
9	<i>Domain Motion</i>	<i>Stationary</i>
10	<i>Mesh Deformation</i>	<i>None</i>
11	<i>Heat Transfer</i>	<i>None</i>
12	<i>Turbulence</i>	<i>Shear Stress Transport</i>
13	<i>Wall Function</i>	<i>Automatic</i>
14	<i>Combustion</i>	<i>None</i>
15	<i>Thermal Radiation</i>	<i>None</i>
16	<i>Domain Initialization</i>	√
17	<i>Velocity Type</i>	<i>Cartesian</i>
No	<i>Parameter</i>	<i>keterangan</i>

1	<i>Boundary Type</i>	<i>Inlet</i>
2	<i>Location</i>	<i>Inlet</i>
3	<i>Flow Regime</i>	<i>Inlet</i>
4	<i>Mass and momentum</i>	<i>Normal speed</i>
5	<i>Normal speed</i>	6.618 m s-1
6	<i>Turbulence</i>	<i>Medium (Intensity = 5%)</i>

No	<i>Parameter</i>	<i>keterangan</i>
1	<i>Boundary Type</i>	<i>Opening</i>
2	<i>Location</i>	<i>Oulet</i>
3	<i>Flow Regime</i>	<i>Subsonic</i>
4	<i>Mass and momentum</i>	<i>Opening Pres. And Dirn</i>
5	<i>Relative Pressure</i>	<i>1 atm</i>
6	<i>Flow Direction</i>	<i>Normal to boundary condition</i>
7	<i>Turbulence</i>	<i>Medium (Intensity = 5%)</i>

Parameter	Keterangan
<i>ANSYS MultiField Coupling</i>	<i>None</i>
<i>Analysis Type</i>	<i>Transient</i>
<i>Time Duration</i>	<i>Maximum Number of Timesteps</i>
<i>Max. Timesteps</i>	100
<i>Time Steps</i>	<i>Timesteps</i>
<i>Timesteps</i>	0.0021394 s
<i>Initial Time</i>	<i>Automatic with Value</i>
<i>Time</i>	0 s

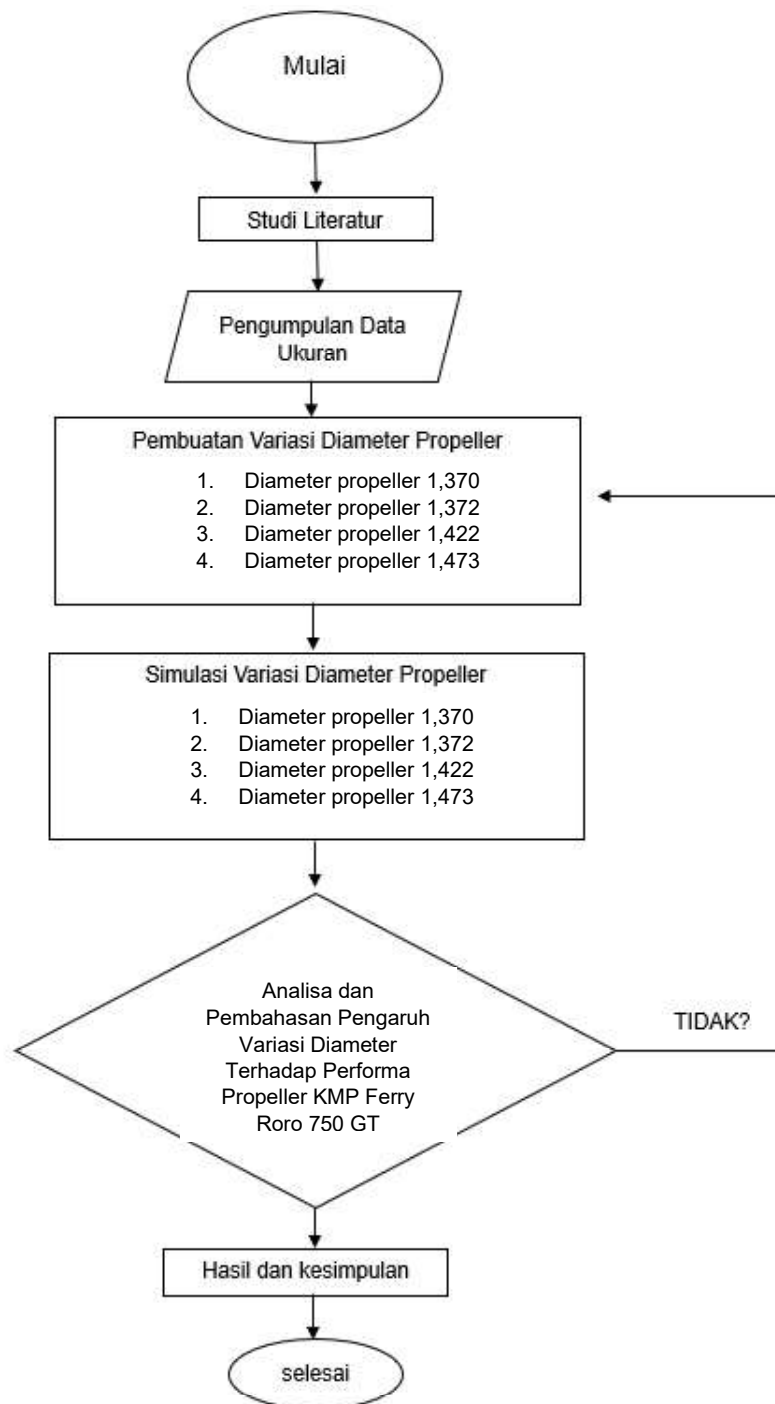
- e.) Tahap Solution
Berikut tahap solution pada proses running



Gambar 15 Tahap Solution
Ansys 2023

- f.) Tahap result
Dalam penelitian ini, parameter utama yang diamati adalah nilai thrust (force) dan torsi (torque) dari model propeller. Selain itu, melalui ANSYS R23 CFX, hasil simulasi juga dapat divisualisasikan dalam bentuk pola aliran fluida, kontur tekanan, distribusi temperatur, serta berbagai parameter lain yang mendukung pemahaman terhadap performa propeller dalam berbagai kondisi operasi.

2.6 Kerangka Berfikir



Gambar 16 Aliran Air Penelitian