

PENGARUH JARAK *PROPELLER-STRUT* TERHADAP FREKUENSI NATURAL *STRUT* DAN PERFORMA *PROPELLER*

Muh. Alvrido Yuleo B¹, Bambang Antoko², Lely Pramesti³

¹Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

²Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

³Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

E-mail: muhammadbachtiar@student.ppns.ac.id¹; bambangantoko@ppns.ac.id²; lelypramesti@ppns.ac.id³

Abstract - The strut is a support consisting of an arm and a bearing that is attached between the propeller shaft and the hull at the stern of the ship. One of the functions of the strut is as a tool to transfer vibrations from the propulsion system to the hull. This research was conducted to determine the effect of shifting the strut position on the natural strut frequency and propeller performance before and after variations. The variation is the position of the strut according to the initial design, the position of the strut is shifted by $0.35D_{prop}$, and the position of the strut is shifted as far as $0.5D_{prop}$. The standard used as a reference for shifting strut positions is the BV Rules. Based on the calculation formula contained in the BV rules, the largest natural strut frequency value is obtained at the $0.5 Drop$ position of 1682.4 Hz, while the lowest value in the initial strut design is 1477.5 Hz. Based on the speed of advanced value from the CFD simulation, the largest thrust and torque are obtained with the strut position as far as $0.5D_{prop}$ of 86.9 kN and 20.7 kN, while for the greatest efficiency, the strut position is in accordance with the initial design, namely 51.7%.

Keywords: CFD, efficiency of propeller, natural frequency, propeller, strut.

1. PENDAHULUAN

Kapal Motor Penyeberangan (KMP) atau biasa disebut dengan Ro-Ro (*Roll on – Roll off*) merupakan pengangkut penumpang sebagai mode transportasi andalan bagi Indonesia untuk menghubungkan selat dan danau. Penggunaan kapal motor sebagai mode transportasi angkutan antar pulau saat ini adalah solusi terbaik karena transit langsung antar kedua tujuan dapat dicapai dengan biaya relatif jauh lebih sedikit dibandingkan jembatan atau trowongan dalam jangka waktu panjang. [1]

Kapal jenis ini merupakan kapal yang sering dijumpai di lalu lintas perairan nasional Indonesia. Oleh karena itu, peraturan mengenai kapal tersebut juga diatur oleh KEMENHUB, salah satunya tercantum pada PERMENHUB RI No. PM 104 Tahun 2017 Bab 1 Pasal 1 ayat 4 yang berbunyi “Kapal Angkutan Penyeberangan adalah Kapal Motor Penyeberangan (KMP) yang merupakan kendaraan air yang digerakkan tenaga mekanik, berfungsi sebagai jembatan bergerak untuk mengangkut penumpang dan kendaraan beserta muatannya yang masuk dan ke luar melalui pintu rampa yang berbeda, memiliki konstruksi lambung dasar ganda (double bottom) serta memiliki paling sedikit 2 (dua) mesin induk.” [2]

Peraturan tersebut secara tidak langsung akan sangat mempengaruhi desain sistem propulsi kapal. Biasanya kapal penumpang memiliki desain sistem propulsi dengan poros *propeller* yang keluar dari lambung kapal dan ditumpu oleh komponen yang

bernama *strut*. Salah satu contoh dari kapal penumpang tersebut dengan memiliki dua mesin induk adalah KMP. Dharma Bahari Sumekar III. *Strut* memiliki fungsi sebagai penyangga poros *propeller* yang terletak pada buritan kapal dengan konstruksi memanjang vertikal dan melekat pada linggi buritan kapal dan poros *propeller*. *Strut* ini berfungsi untuk menopang poros *propeller* agar tidak terjadi *misalignment* saat *propeller* berputar. Selain agar sumbu putar poros tetap lurus, manfaat dari *strut* ini juga sebagai media untuk mentransfer getaran yang ada pada poros menuju ke lambung kapal.

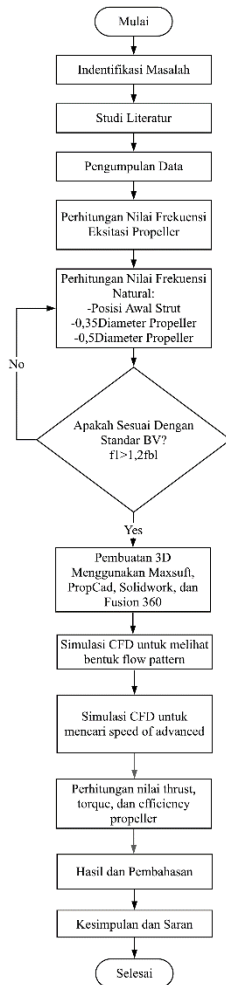
Penelitian ini bermaksud untuk melakukan variasi pada peletakkan posisi *strut* dengan cara menggeser posisi *strut* tersebut sesuai dengan jarak batas $0,2D_{prop}$ - $0,5D_{prop}$ [3] pada kapal yang memiliki komponen *strut* sebagai salah satu komponen pada sistem propulsinya yaitu KMP. Dharma Bahari Sumekar III. Variasi penggeseran *strut* tersebut akan dibandingkan dengan posisi awal *strut* pada kapal KMP. Dharma Bahari Sumekar III ini. Untuk tahap awal adalah dilakukannya penghitungan ulang posisi *strut propeller* sesuai dengan desain awalnya apakah sudah memiliki frekuensi natural sesuai dengan standar yang ditentukan oleh peraturan BV jika dibandingkan dengan frekuensi eksitasi yang dihasilkan oleh daun *propeller* serta bagaimana pengaruhnya terhadap *thrust*, *torque*, dan *efficiency* yang dimiliki oleh *propeller* kapal tersebut, begitu juga pada masing-masing variasi penggeserannya.

Tujuan penelitian ini diharapkan dapat mengetahui bagaimana pengaruh penggeseran posisi *strut* terhadap nilai *thrust*, *torque* dan *efficiency* yang dimiliki oleh *propeller* sebelum dan sesudah dilakukannya variasi. Untuk mengetahui nilai *thrust*, *torque* dan *efficiency* pada *propeller* dibutuhkan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan menggunakan *software ANSYS 18.2 Module CFX*.

2. METODOLOGI

2.1 Diagram Alir

Langkah-langkah pengerjaan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar diagram alir pada Gambar 1.

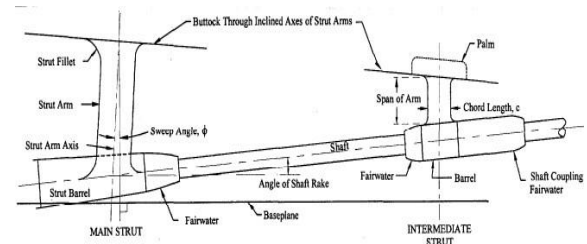


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Strut

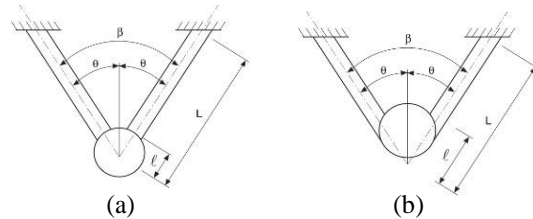
Strut merupakan salah satu konstruksi kapal yang terletak pada bagian buritan kapal yang menghubungkan antara *shaft propeller* dengan lambung kapal daerah buritan. *Strut* terdiri dari konstruksi *bearing* untuk bantalan poros, lengan *strut* yang menghubungkan tabung bantalan dengan lambung kapal, dan *fairwater* yang memperlancar transisi aliran fluida dari poros ke tabung bantalan.

Dari segi peletakan *strut* dibagi menjadi dua yaitu *main strut* dan *intermediate strut*. [3]



Gambar 2 Main Strut dan Intermediate Strut

Fungsi utama dari *strut* adalah sebagai penyangga *propeller*, *shaft*, dan bantalan *shaft*. *Strut* ini harus cukup kuat untuk menahan beban statik dan dinamik dari sistem putaran *shaft*, termasuk beban-beban yang dikenakan saat terjadi *crash stop* ataupun *crash reversal*. Umumnya terdapat tiga konfigurasi dasar *strut*, yang pertama adalah *strut* dengan satu lengan atau sering disebut dengan “I” *strut*, dan dua konfigurasi lainnya adalah dua macam *strut* dengan dua lengan atau biasa disebut dengan “V” *strut*. Pada konfigurasi “V” *strut* yang pertama lengan *strut* berpotongan membentuk sudut siku pada tabung bantalan atau sering juga disebut dengan *radial strut*, sedangkan yang kedua perpotongan sudut lengannya memiliki sudut yang lebih besar dan sering disebut dengan *tangensial strut*.



Gambar 3 (a) Radial Sturt; (b) Tangensial Strut (Bureau Veritas Rules, 2017)

2.3 Frekuensi Eksitasi Propeller

Frekuensi eksitasi *propeller* adalah suatu frekuensi eksitasi yang disebabkan karena berputarnya *propeller*. Dapat dirumuskan pada Persamaan 1 di bawah ini. [4]

$$fbl = \frac{n \times RPM}{60} \quad (1)$$

Dengan

fbl = frekuensi eksitasi *propeller* (Hz)

n = jumlah daun *propeller*

RPM =maksim al putaran *propeller* (rpm)

2.4 Frekuensi Natural Strut

Masing-masing benda pasti selalu memiliki frekuensi alami atau natural yang dimilikinya. Hal ini tentu juga pasti dialami oleh *strut*. *Strut* pasti juga memiliki frekuensi alami yang dimilikinya. Berikut di bawah ini Persamaan 2 merupakan formula yang digunakan untuk menghitung nilai frekuensi alami. [4]

$$f1 = \frac{\lambda_1^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EImin}{w+we}} \quad (2)$$

Dengan

λ_1 = faktor equal to:

- 1,875 in case of a single arm bracket
- 3,927 in case of double arm brackets

π = 3,141592654

E = young's modulus (N/m²)

I_{min} = minimum momen inersia dari bracket cross-section (m⁴)

w = mass of the bracket per unit length (kg/m)

w_e = added mass of water per unit length (kg/m)

L = panjang dari bracket (m)

Rumus momen inersia untuk bentuk benda yang tidak beraturan diekspresikan secara matematis. [5]

$$I_{ii} = \Sigma(I_o + (A \times d^2)) \quad (3)$$

Dengan

I_{ii} = momen inersia terhadap sumbu ii (m⁴)

I_o = momen inersia terhadap suatu sumbu (m⁴)

A = daerah luasan benda (m²)

d = jarak titik berat (m)

Titik berat biasa dinotasikan sebagai jarak pada koordinat x dan y untuk kasus p ada bidang dua dimensi atau luasan benda. Secara matematis nilai titik berat suatu luasan benda dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan di bawah ini. [5]

- Pada Sumbu y-y

$$\bar{x} = \frac{\Sigma Ax}{\Sigma A} \quad (4)$$

Dengan

\bar{x} = titik berat keseluruhan luasan benda pada koordinat sumbu x (mm)

ΣA = total penjumlahan masing-masing luasan

pem bagi (mm²)

x = titik berat suatu luasan benda tertentu pada koordinat sumbu x (mm)

- Pada Sumbu x-x

$$\bar{y} = \frac{\Sigma Ay}{\Sigma A} \quad (5)$$

Dengan

\bar{y} = titik berat keseluruhan luasan benda pada koordinat sumbu y (mm)

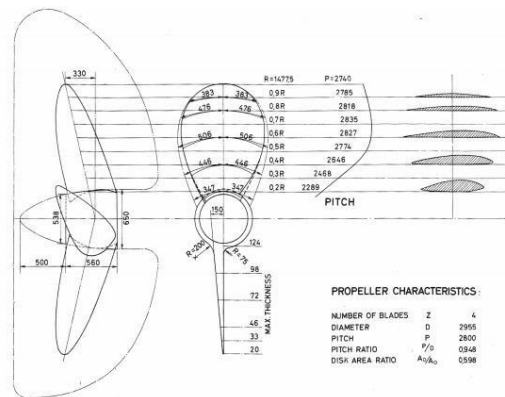
ΣA = total penjumlahan masing-masing luasan pem bagi (mm²)

y = titik berat suatu luasan benda tertentu pada koordinat sumbu y (mm)

2.5 Propeller

Propeller jenis screw adalah bentuk propeller yang paling umum digunakan pada sistem propulsi kapal. Secara umum propeller ini juga termasuk jenis propeller yang paling efisien. Propeller jenis screw memiliki dua atau lebih daun propeller yang dipasang pada hub atau boss. Daun propeller ini terpasang secara tetap (fixed pitch propeller) atau dapat digerakkan seperti pada controlable pitch propeller. Gambar 4 menunjukkan contoh tipe dari propeller screw dengan jumlah daun adalah 4. Propeller sebaiknya memiliki diameter (D) yang proporsional agar ketika kapal pada kondisi beban penuh dapat

tenggelam dengan baik sehingga dapat menghindari terjadinya fenomena *airdrawing* dan *racing* pada saat propeller berputar. [6]



Gambar 4 Propeller Jenis Screw dengan Jumlah Daun Propeller 4

2.6 Karakteristik Propeller

Setiap tipe dari masing-masing tipe propeller kapal memiliki karakteristik diagram kinerja yang berbeda-beda. Karakteristik propeller dapat ditunjukkan dengan diagram yang memiliki beberapa variabel koefisien yang memiliki range nilai tertentu. Karakteristik propeller terdiri dari *thrust coefficient* (K_T), *torque coefficient* (K_Q), *advance coefficient* (J), dan *efficiency* (η_o). Masing-masing dari variabel tersebut diekspresikan dengan Persamaan di bawah ini secara urut. [7]

$$K_T = \frac{T_{prop}}{\rho \times n^2 \times D^4} \quad (6)$$

$$K_Q = \frac{Q_{prop}}{\rho \times n^2 \times D^5} \quad (7)$$

$$J = \frac{V_a}{n \times D} \quad (8)$$

$$\eta_o = \frac{J \times K_T}{2 \times \pi \times K_Q} \quad (9)$$

Dengan

K_T = koefisien gaya dorong (*thrust*) propeller

K_Q = koefisien torsi (*torque*) propeller

n = putaran propeller (rps)

D = diameter propeller (m)

T_{prop} = gaya dorong propeller (kN)

Q_{prop} = torsi dorong propeller (kN)

ρ = massa jenis fluida (1025 kg/m³)

η_o = efisiensi propeller open water (%)

2.7 Penempatan Posisi Strut

Kekuatan penyangga dioptimalkan dengan memposisikan lengan penyangga pada laras langsung di atas bantalan dengan bantalan yang terletak sedekat mungkin dengan baling-baling. Ini mengurangi panjang laras dan menggunakan lengan penyangga terkecil, karenanya penyangga paling ringan. Untuk kapal berkecepatan tinggi implikasi hidrodinamik menempatkan lengan penyangga yang sedekat ini dengan baling-baling penuh dengan masalah. [3]

Semakin kecil jarak antara baling-baling dan lengan penyangga, semakin tinggi *wake peak* yang akan terjadi. Secara kebijaksanaan konvensional, seperti yang diucapkan oleh Harrington, adalah untuk memberikan pada radius baling-baling 0,7, sebuah baling-baling sampai *strut arm* memiliki *clearance* berkisar 0,2D hingga 0,5D, di mana D adalah diameter baling-baling. Nilai "normal" yang digunakan oleh Angkatan Laut AS adalah 0,35D. Untuk kapal kecepatan tinggi, jarak bebas harus 0,35D atau lebih besar. [3]

2.8 Computational Fluid Dynamic

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah seni untuk menggantikan persamaan-persamaan integral dan diferensial parsial menjadi persamaan aljabar diskrit, yang mana untuk kemudian dapat diselesaikan untuk memperoleh solusi berupa angka-angka nilai aliran pada titik-titik diskrit ruang dan waktu [8]. Hal ini karena simulasi CFD relatif lebih murah dan kondisi batasan obyek penelitian yang mudah dikontrol. [9]

Program CFD yang digunakan disini adalah sebagai alat bantu untuk mengetahui bentuk aliran air behind *propeller*, dan untuk mendapatkan nilai *pressure*, serta nilai *speed of advanced* akibat adanya penggeseran posisi *strut* pada KMP. Dharma Bahari Sumekar III.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Ukuran Utama Kapal

Pada penelitian ini kapal yang dijadikan bahan penelitian adalah kapal Ro-Ro dengan data ukuran utama kapal, *propeller*, *poros*, dan *strut* adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Data Ukuran Utama Kapal

Panjang Seluruh (LOA)	48,48	m
Panjang Garis Air (LWL)	44,35	m
Panjang Garis Tegak (LPP)	42,50	m
Lebar (B)	12,00	m
Tinggi Geladak (H)	3,60	m
Tinggi Sarat (T)	2,42	m
Kecepatan (Vs)	12	knots

Tabel 2 Data Mesin

Main Engine	
Merk	MITSUBISHI
Type	S6R2-T2MPTK3L
Putaran	1406 rpm
Gear Box Ratio	
	3,06

Tabel 3 Data Poros

Panjang Poros	5520,00 mm
Diameter Poros	152,40 mm
Material	SUS 304

Tabel 4 Data *Strut*

Type	Radial Type Double Arm Bracket
Material	KI Grade A36
Young's Modulus	200 GPa

Tabel 5 Data *Propeller*

Jenis	FPP B-Series Propeller
Tipe	B4-851
Diameter	1550 mm
Pitch	1441,5 mm
Jumlah Daun	4 buah
Ae/Ao	0,851
Weight	324 kg
Jumlah <i>Propeller</i>	2 buah
Material	CU3

3.2 Perhitungan Frekuensi

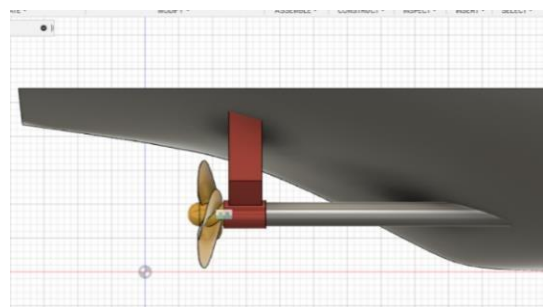
Berdasarkan Persamaan 1 dan Persamaan 2 di atas, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 6 Hasil Perhitungan Frekuensi

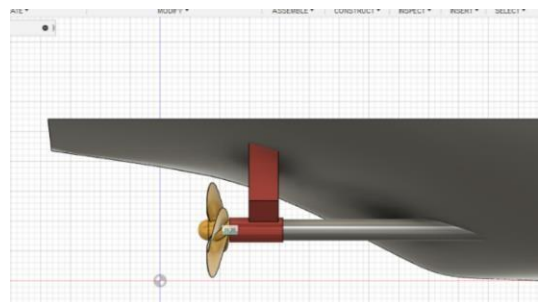
Variasi	Frekuensi Eksitasi <i>Propeller</i> × 1,2	Frekuensi Natural <i>Strut</i>
Existing	36,7582 Hz	1477,5 Hz
0,35Dprop		1508,6 Hz
0,5Dprop		1682,4 Hz

3.3 Pemodelan Data

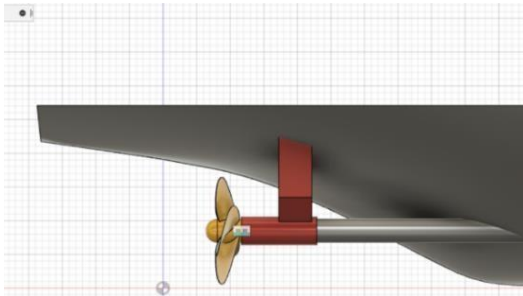
Pembuatan model 3D kapal berdasarkan dengan data kapal yang telah terpapar pada sub bab 3.1. Dalam penelitian ini dibuat 3 buah model yaitu model awal kapal dan 2 model lain dengan variasi peletakan *strut* yaitu pada 0,35Dprop dan 0,5Dprop.



(a)



(a)



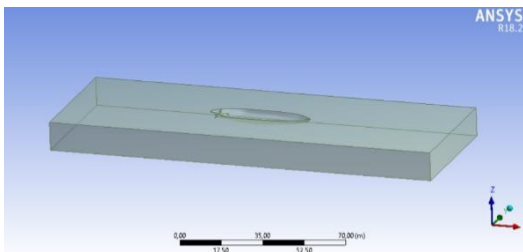
(b)
Gambar 5 Model 3D Kapal (a) model asli (b) 0,35Dprop (c)0,5Dprop.

3.4 Simulasi dengan Bantuan Perangkat Lunak

Selanjutnya dilakukan pemodelan untuk menganalisa *flow pattern* aliran disekitar *strut*, tekanan yang terjadi pada *propeller*, dan mengetahui kecepatan rata-rata aliran yang masuk pada *propeller*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Ansys Workbench 18.2* dengan sistem analisa *Fluid Flow (CFX)*.

a. Tahap Geometry

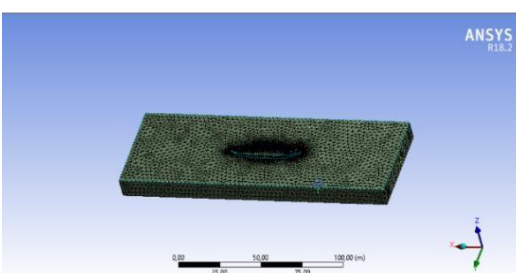
Tahap ini merupakan Langkah pertama untuk melakukan proses pengecekan pada model yang digunakan pada penelitian ini apakah sudah *solid* ataupun belum. Jika model sudah *solid* maka dapat dilihat keterangan *ready* dan terdapat centang warna hijau pada tulisan “*Fluida Flow*”. Berikut ini hasil akhir dari tahap geometry dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Hasil Tahap *Geometry*

b. Tahap Meshing

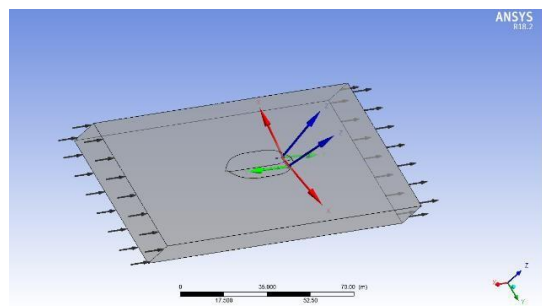
Langkah selanjutnya adalah tahap *meshing*. Jika terjadi kesalahan maka *meshing* akan berhenti dan gagal. Pada tahap ini dilakukan *meshing size proximity and curvature* dan *fine* pada *relevance center* agar hasil yang ditunjukkan lebih akurat, akan tetapi hal ini berakibat semakin lama waktu yang diperlukan untuk memprosesnya. Hasil dari tahap *meshing* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Hasil Tahap *Meshing*

c. Tahap Setup

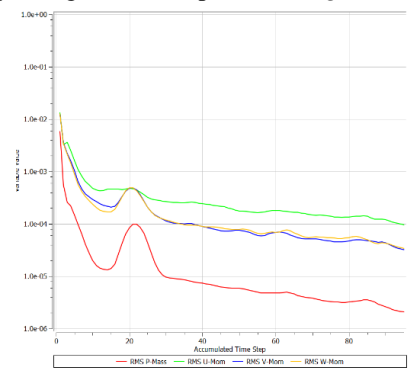
Tahap selanjutnya adalah tahap *setup*. Pada tahap ini dilakukan proses penginputan parameter yang digunakan pada simulasi ini. Parameter yang diinputkan pada tahap ini adalah putaran *propeller* sebesar 459,477 rpm dan kecepatan dinas sebesar 12 m/s. Berikut pada Gambar 8 merupakan hasil akhir dari tahap *setup*. Selain itu, pada tahap ini juga mengatur banyaknya iterasi maksimal yang digunakan dan nilai *Residual target RMS* sebesar 1×10^{-4} . Panah hitam pada depan kapal tersebut menunjukkan arah aliran air yang masuk, panah pada bagian buritan menunjukkan aliran air keluar, sedangkan sumbu x, y, dan z pada *propeller* tersebut merupakan koordinat dari arah putaran *propeller*.



Gambar 8 Hasil Tahap *Setup*

d. Tahap Solution

Setelah melewati tahap *Setup*, langkah selanjutnya yang harus dilewati sebelum tahap *Result* adalah pada tahap *Solution*. Pada tahap ini, perangkat keras yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan metode CFD mulai bekerja dengan keras dan terus-menerus hingga pada batas maksimal iterasi yang sudah diatur ataupun juga sampai masalah tersebut selesai sebelum melewati batas maksimal iterasi yang telah diatur. Dalam tahap ini perhitungan *running* dilakukan berupa iterasi dari persamaan dasar CFD. *Residual target RMS* yang dicapai yaitu 1×10^{-4} dan kondisi saat mencapai *residual target RMS* disebut *convergen*. Sehingga, secara otomatis hasil *running* akan berhenti dan selesai. Berikut pada Gambar 9 merupakan grafik *RMS* pada *existing model*.



Gambar 9 Grafik *RMS* Hasil *Running* pada *Existing Model*

e. Tahap Result

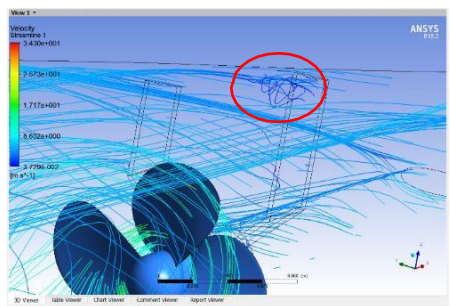
Result adalah tahapan terakhir dari simulasi CFD ini yang berguna untuk menampilkan hasil berupa gambar atau animasi model aliran yang telah dilakukan. Tahap results ini didapatkan bentuk aliran air (*flow pattern of water*) dan mengetahui nilai *speed of advanced* untuk perhitungan nilai *thrust*, *torque*, dan *efficiency* yang dialami oleh *propeller* sebagai akibat variasi penggeseran *strut*.

3.5 Hasil Simulasi

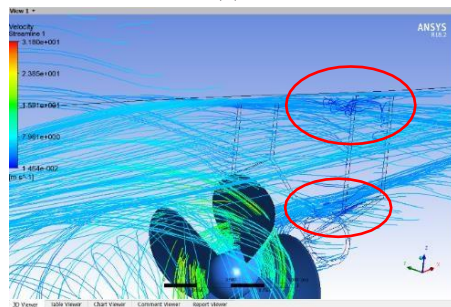
Sub bab ini menjelaskan Tahap Result yang lebih rinci. Simulasi ini menghasilkan bentuk aliran air dan nilai *speed of advanced*.

3.5.1 Flow Pattern of Water

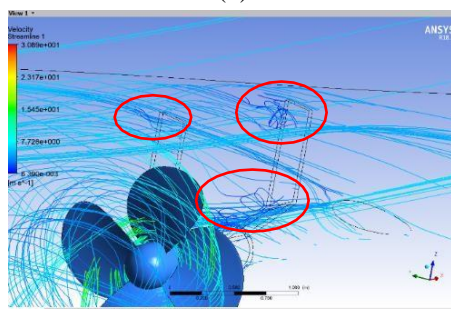
Pada sub bab ini dilakukan perbandingan pada desain awal posisi *strut*, posisi *strut* pada 0,35Dprop, dan posisi *strut* pada 0,5Dprop. Berdasarkan hasil simulasi dari *Workbench ANSYS 18.2 module CFX* didapatkan hasil aliran yang bervariasi. Berikut di bawah ini merupakan hasil *flow pattern of water* pada masing-masing variasi posisi *strut*.



(a)



(b)



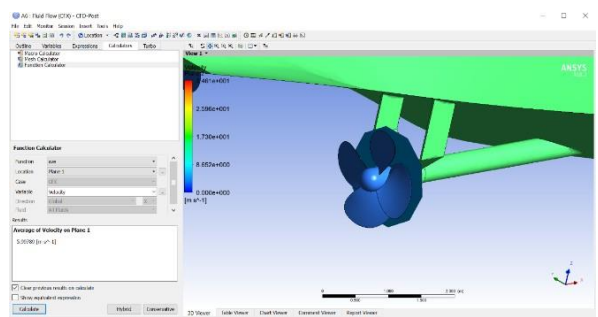
(c)

Gambar 10 Flow Pattern of Water saat Posisi Strut
(a) Sesuai dengan Desain Awal; (b) Sejauh 0,35Dprop; (c) Sejauh 0,5Dprop

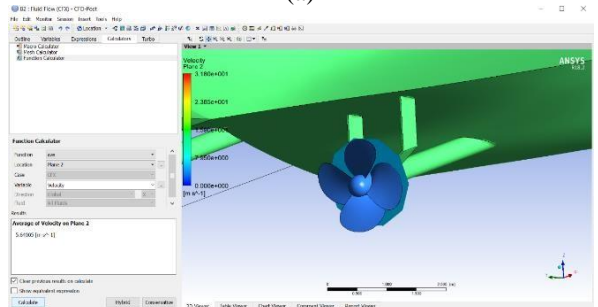
Gambar 10 merupakan hasil simulasi bentuk aliran air atau *flow pattern of water* yang terjadi di area *behind propeller* pada masing-masing variasi posisi *strut*. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa posisi *strut* yang menghasilkan bentuk aliran air turbulen paling sedikit adalah *strut* sesuai dengan desain awal, sedangkan untuk yang paling besar menghasilkan bentuk aliran air turbulen adalah *strut* dengan posisi sejauh 0,5Dprop.

3.5.2 Nilai Speed of Advanced

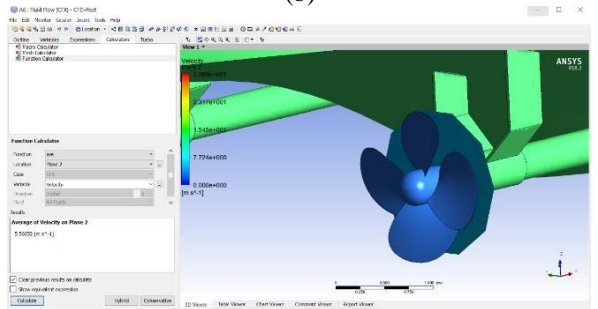
Varibel ini digunakan untuk menghitung nilai *thrust*, *torque*, dan *efficiency* yang dialami oleh *propeller* sebagai akibat variasi penggeseran *strut*. Lokasi yang dipilih untuk menentukan nilai V_a yaitu pada *plane 1* dengan sumbu y dan sumbu z yang telah dibuat di area *behind propeller* sehingga nilai hasil *function calculator* variabel kecepatan rata-rata pada lokasi ini sudah mengekspresikan nilai V_a yang dimiliki oleh kapal pada masing-masing variasi pemodelan posisi *strut* yang digunakan pada penelitian ini. Nilai V_a pada masing-masing variasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



(a)



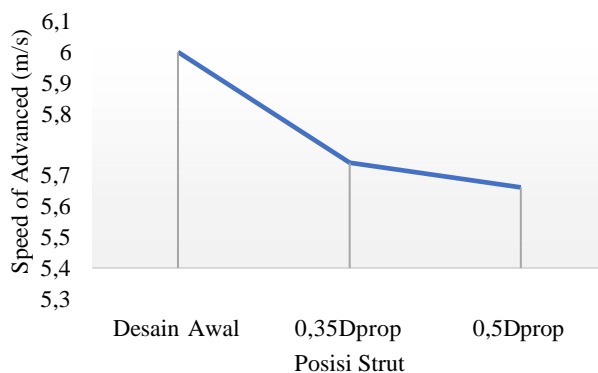
(b)



(c)

Gambar 11 Nilai Speed of Advanced saat Posisi Strut
(a) Sesuai dengan Desain Awal; (b) Sejauh 0,35Dprop; (c) Sejauh 0,5Dprop

Berdasarkan Gambar 11 poin (a) dapat diketahui bahwa nilai V_a dengan posisi *strut* sesuai dengan desain awal adalah sebesar 5,99789 m/s. Untuk Gambar 11 poin (b) juga dapat diketahui bahwa nilai V_a dengan posisi *strut* sejauh $0,35D_{prop}$ adalah sebesar 5,64005 m/s. Begitu juga, pada Gambar 11 poin (c) dapat diketahui pula bahwa nilai V_a dengan posisi *strut* sejauh $0,5D_{prop}$ adalah sebesar 5,56052 m/s. Hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai V_a yang dimiliki oleh kapal ini pada masing-masing variasi memiliki nilai yang berbeda satu dengan yang lainnya, semakin dekat jarak *strut* terhadap *propeller* maka nilai V_a akan semakin tinggi pula dan semakin jauh jarak *strut* terhadap *propeller* maka nilai V_a akan semakin rendah.



Gambar 12 Grafik Perbandingan *Speed of Advanced* terhadap Posisi *Strut*

3.5.3 Perhitungan nilai *Thrust*, *Torque*, dan *Efficiency*

Berdasarkan nilai V_a hasil simulasi di atas maka dapat dilakukan perhitungan terhadap nilai *thrust*, *torque*, dan *efficiency* dari *propeller* pada masing-masing posisi *strut*. Akan tetapi sebelum dilakukan perhitungan pada masing-masing posisi, dilakukan validasi nilai *thrust* terlebih dahulu yaitu antara hasil perhitungan *thrust* berdasarkan nilai V_a pada posisi *strut* sesuai desain awal dengan nilai *thrust* pada data yang diperoleh dari Perusahaan.

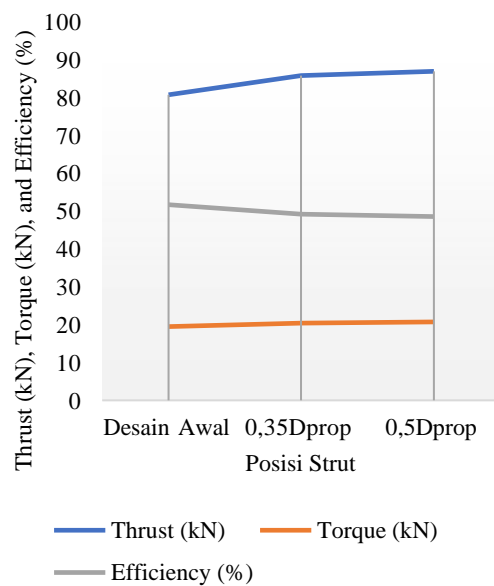
Tabel 7 Validasi *Thrust Propeller*

Nilai <i>Thrust</i> dari Data Perusahaan	Hasil Simulasi Berdasarkan nilai V_a	Error
82,9 kN	80,736948 kN	2,60923 %

Nilai *error* yang dimiliki sebesar 2,6%. Sehingga, hal ini dapat disimpulkan bahwa pengaturan simulasi yang digunakan sudah valid. Selanjutnya, didapatkan hasil perhitungan seperti di bawah ini.

Tabel 8 Perhitungan *Thrust*, *Torque*, dan *Efficiency* Hasil Simulasi

Posisi <i>Strut</i>	<i>Thrust</i> (kN)	<i>Torque</i> (kN.m)	<i>Efficiency</i> (%)
Desain Awal	80,736948	19,48390	51,653807
0,35D _{prop}	85,750480	20,44654	49,159476
0,5D _{prop}	86,912787	20,70198	48,517074



Gambar 13 Grafik Nilai *Thrust*, *Torque*, dan *Efficiency* terhadap Posisi *Strut*

Berdasarkan pada Tabel 8 dan Gambar 13 dapat diketahui bahwa nilai *thrust* yang paling tinggi terjadi pada peletakkan *strut* dengan posisi $0,35D_{prop}$ yaitu sebesar 86,9 kN. Hal ini juga terjadi pada nilai *torque*, meskipun perbedaan nilainya tidak terlalu signifikan namun nilai *torque* pada posisi $0,35D_{prop}$ memiliki nilai yang paling besar yaitu 20,7 kN. Sedangkan, untuk nilai efisiensi berbanding terbalik dengan kedua parameter sebelumnya yang mana nilai efisiensi terbaik terjadi pada *strut* dengan desain awal yaitu sebesar 51,7%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Semakin jauh jarak *strut* terhadap *propeller* menunjukkan bahwa nilai frekuensi natural *strut* semakin tinggi. Nilai frekuensi natural *strut* terbesar pada posisi $0,5D_{prop}$ sebesar 1682,4 Hz, sedangkan nilai terendah pada desain awal *strut* sebesar 1477,5 Hz.
- 2) *Flow pattern* yang menghasilkan turbulensi terbesar pada *behind propeller* adalah pada posisi terjauh *strut* dari *propeller* ($0,5D_{prop}$), dan yang menghasilkan *flow pattern* turbulensi terendah adalah pada posisi terdekat dengan *propeller* (desain awal *strut*).
- 3) Semakin jauh jarak *strut* terhadap *propeller* menunjukkan bahwa nilai *thrust* dan *torque* semakin tinggi. Akan tetapi, berbanding terbalik dengan nilai effisiensinya. Nilai *thrust* dan *torque* terbesar pada posisi *strut* sejauh $0,5D_{prop}$ sebesar 86,9 kN dan 20,7 kN, sedangkan untuk nilai *efficiency* terbesar pada posisi *strut* sesuai dengan desain awal yaitu sebesar 51,7%.

5. SARAN

Berdasarkan pada hasil yang telah didapatkan pada penelitian ini, maka dapat diambil saran sebagai berikut:

- 1) Penelitian ini dapat ditingkatkan kualitasnya dengan melakukan perhitungan beberapa parameter lainnya juga, tidak hanya parameter getaran saja. Parameter tersebut sudah terpapar pada *Rules Bureau Veritas* pada *Part B, Chapter 9, Section 3 - Propeller Shaft Brackets*.
- 2) Penelitian ini dapat ditingkatkan kualitasnya dengan dilakukan penambahan analisis kavitas akibat penggeseran posisi *strut*.
- 3) Penelitian ini dapat ditingkatkan kualitasnya dengan melakukan penambahan variasi pada tipe *propeller* yang berbeda, tidak hanya pada satu tipe saja seperti halnya Tugas Akhir ini yang hanya menggunakan tipe B-Series.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Untuk itu penulis tidak lupa mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) Allah SWT yang telah senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga terselesaikannya jurnal ini.
- 2) Kedua Orang Tua, serta seluruh keluarga penulis yang tiada henti memberikan doa dan dukungan penuh baik secara moril maupun materil selama masa-masa perjuangan sehingga terselesaikannya jurnal ini.
- 3) Bapak Bambang Antoko, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing 1.
- 4) Ibu Lely Pramesti, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing 2.
- 5) Bapak Raden Dimas Endro Witjonarko, ST., MT. selaku Dosen yang mengarahkan penulis untuk melakukan penelitian berkaitan dengan jurnal ini.
- 6) Teman-teman kuliah yang telah banyak memberikan masukan dan bantuan kepada penulis.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Hafsar, "Analisa Potensi Penyebab Kecelakaan Kapal Motor Penyeberangan di Indonesia," Universitas Indonesia, 2008.
- [2] KEMENHUB, Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomer PM 104 Tahun 2017.
- [3] J. P. Hackett and A. Jonk, "Propeller Shaft Strut Design," *Soc. Nav. Archit. Mar. Eng.*, vol. 107, pp. 101–126, 1999.
- [4] B. Veritas, *Rules for the Classification of Naval Ships, Part B: Hull and Stability*. France, 2017.
- [5] P. Kumar, *Basic Mechanical Engineering*. Delhi, 2013.
- [6] S. A. Harvrad, *Resistance and Propulsion of Ship*. 1972.
- [7] L. Birk, *Fundamentals of Ship Hydrodynamics*, First. New Orleans, 2019.
- [8] J. D. Anderson, *Computational Fluid Dynamics*. New York, 1995.

- [9] S. Maulana, "Pemanfaatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dalam Strategi Penelitian Simulasi Model," *J. Educ. Build.*, vol. 2, pp. 10–13, 2016.