

KAJIAN TEKNIS PENGGUNAAN *HUB* dan *HUBLESS RIM DRIVEN PROPELLER (RDP)* SEBAGAI *PROPELLER* KAPAL DI PERAIRAN DANGKAL

Panji Imam Adyanata¹, Arif Winarno¹

¹)Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah

JL. Arief Rahman Hakim, Sukolilo, Surabaya 60111

Email: panji.imam2018@gmail.com , arif.winarno@hangtuah.ac.id

Abstrak

Rim driven propeller (RDP) merupakan jenis propulsi kapal. Hingga saat ini, ada dua jenis *rim driven* yang dikenal, yaitu *hub* dan *hubless* RDP. Performa yang dihasilkan oleh RDP juga akan dibahas dengan menggunakan bantuan *computational fluid dynamic* (CFD). Penelitian ini juga akan membahas pengaplikasian RDP sebagai propulsi di perairan dangkal. Model *propeller* yang digunakan adalah Ka4-70 dengan *ducted* JB7704. Selain itu, dalam penelitian ini juga akan membahas terkait *energy losses*, *vortex*, penggunaan daya RDP yang berasal dari energi listrik sehingga berpengaruh terhadap emisi, dan getaran. Setelah penelitian dilakukan, *hubless* RDP lebih unggul, terbukti pada rasio *hub* 0,25 dan koefisien *advance* 0,7 efisiensi *hubless* RDP lebih tinggi 2,2%. Hilangnya *hub* juga berpengaruh terhadap penambahan torsi dan *thrust*. Dari segi *vortex*, *hubless rim driven propeller* menghasilkan *vortex* yang lebih sedikit, sehingga *energy loss* lebih berkurang. *Hub* dan *hubless rim driven propeller* juga merupakan alternatif dalam mengurangi emisi gas buang sehingga lebih ramah lingkungan. Kebisingan dan getaran yang dihasilkan *hub rim driven propeller* dan *hubless rim driven propeller* lebih kecil karena tidak menggunakan poros, *gearbox*, bantalan. Untuk pengoperasian di perairan dangkal lebih baik menggunakan *hubless rim driven propeller*, agar tidak mudah tersangkut sampah atau harus dipastikan kondisi perairan tersebut bersih dari sampah.

Kata kunci: *Rim driven propeller*, Performa, Emisi, Getaran, Perairan dangkal,

Abstract

Rim driven propeller (RDP) is a type of ship propulsion. Until now, there are two known types of rim driven, there are hub and hubless RDP. The performance generated by RDP will also be discussed using CFD. In addition, this study will also discuss the application of RDP as propulsion in shallow water. The propeller model used is Ka4-70 with ducted JB7704. In addition, this study will also discuss energy losses, eddies, the use of RDP power originating from electrical energy so that it affects emissions, and vibration. After the research is done, hubless RDP is superior, as evidenced by the hub ratio of 0.25 and an advance coefficient of 0.7, the efficiency of hubless RDP is 2.2% higher than hub RDP. The loss of the hub also affects the addition of torque and thrust. In terms of vortex, the hubless rim driven propeller produced less vortex, so the energy loss is reduced. Hub and hubless rim driven propeller is also an alternative in reducing exhaust emissions so that it is more environmentally friendly. The noise and vibration produced by the hub rim driven propeller and hubless rim driven propeller is smaller because it does not use a shaft, gearbox, or bearing. For operation in shallow water, it is better to use a hubless driven propeller, so that it is not easily caught by garbage or it must be ensured that the condition of the waters is clean of garbage.

Keyword: Rim driven propeller, Performance, Emission, Vibration, Shallow water.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di segala bidang yang pesat memacu sektor industri maritim harus mengikuti perkembangan zaman. Dahulu untuk menggerakkan sebuah kapal hanya membutuhkan sebuah dayung. Seiring perkembangan manusia, mobilitas untuk melintasi perairan menjadi lebih tinggi, maka teknologi penggerak atau *propeller* terus dikembangkan. Leonardo da Vinci pada tahun 1452-1519 membuat sebuah sketsa *propeller* yang menyerupai helikopter *rotor*. Kemudian di tahun 1661, Toogood dan Hayes dari Inggris

telah mematenkan (*claimed patent*) temuannya, yaitu paten dalam penggunaan *screw* yang terdiri dari *helical surfaces* (*Archimedean screws*) sebagai *propeller*. Pada tahun 1861 seorang ilmuwan Inggris bernama Hooke menyarankan untuk menggunakan *Archimedean screw* pada sistem penggerak kapal (*ship propulsion*). Periode berikutnya di tahun 1880 hingga 1970, bentuk dan konstruksi *propeller* tidak mengalami perubahan yang signifikan. Kemudian di kurun waktu 1970-1990, dimana terjadi kondisi krisis bahan bakar dan pertimbangan-pertimbangan terhadap efek lingkungan contohnya; *low*

noise, vibrations dan *emissions* telah memberikan efek pada konstruksi *propeller* dan sistem kemudi, yang mana juga membawa pada perkembangan mengenai *unconventional propellers* [1]. Seiring berkembangnya zaman, segala upaya untuk meningkatkan performa *propeller* dilakukan. Salah satunya adalah pengembangan *ducted propeller*. Penambahan *kort nozzle* pada *propeller* dapat meningkatkan gaya dorong pada *propeller*. penggunaan *ducted propeller* umumnya digunakan pada kapal yang berukuran kecil, contohnya kapal *tug boat* [2]. Kemudian ada perkembangan menjadi *Rim Driven Propeller (RDP)* yang diaplikasikan pada kapal USSR Vallery Charov [3]. *Rim Driven Propeller* merupakan salah satu jenis *propeller* yang memanfaatkan pusat gerakan *propeller* tidak pada *boss* atau poros, melainkan gerakannya berasal dari *ducted*, sehingga *blade tip propeller* menempel dengan *ducted* [4]. Namun, ada juga *rim driven propeller* yang tidak memiliki *boss propeller* atau *hubless*.

Rim Driven Propeller (RDP) maupun *Rim Driven Thruster (RDT)* sudah dikembangkan oleh beberapa perusahaan di dunia seperti Voith (Jerman), Brunvoll (Norwegia) dan Van der Velden (Belanda) [5]. Sedangkan, Indonesia sebagai sebuah negara maritim dan agraris juga tersusun dari beberapa daerah perairan dangkal seperti, sungai, danau, muara, teluk, dan waduk. Banyak sekali masyarakat yang tinggal di daerah tersebut membutuhkan transportasi air agar mudah dalam melakukan perpindahan dari satu tempat ke lain tempat.

Kapal merupakan penyumbang terbesar terhadap polusi udara, yang berasal dari partikel gas hasil pembakaran mesin dalam bentuk: NO_x, SO_x, CO dan CO₂ [6]. *International Maritime Organization (IMO)* telah memberlakukan regulasi terkait emisi gas buang sejak tahun 2015, yaitu kandungan SO_x dan NO_x tidak boleh melebihi 0,1% dan sudah diterapkan regulasi ini di kawasan ECA, namun dengan batasan emisi (SO_x dan NO_x) yang lebih longgar, yaitu maksimal 0.5% [7]. Terkait permasalahan kelebihan dari segi emisi

juga akan menjadi pembahasan dalam kajian ini.

Setiap kapal yang beroperasi tentunya memiliki mesin penggerak. Mesin yang beroperasi tersebut pasti menimbulkan getaran. ABS (American Bureau of Shipping) menyatakan bahwa, untuk setiap komponen respons puncak (baik dalam arah vertikal, transversal, atau longitudinal), dari 1 - 5 Hz, akselerasi getaran dapat diterima di bawah 126 mm/s², dan akselerasi getaran yang merugikan mungkin terjadi di atas 285 mm/s². Untuk setiap komponen respons puncak (baik dalam arah vertikal, transversal, atau longitudinal), dari 5 Hz ke atas, kecepatan getaran dapat diterima di bawah 4 mm/s, dan kecepatan getaran yang merugikan mungkin terjadi di atas 9 mm/s [8]. Dengan adanya permasalahan terkait getaran akibat mesin kapal, diharapkan pengoperasian *rim driven propeller* bisa mengatasi masalah tersebut.

Penelitian yang ada sebelumnya banyak membahas terkait performa, baik dari segi efisiensi, gaya dorong, torsi [5]. Namun, belum ada kajian yang membahas pengaplikasian RDP di perairan dangkal dengan kelebihan *rim driven propeller* yang dimiliki. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, kajian ini akan membahas pemakaian *hub* dan *hubless Rim Driven Propeller (RDP)* apabila diaplikasikan pada kapal di perairan dangkal dengan segala spesifikasi yang dimiliki. Kajian akan ditinjau dari segi performa dan beberapa kelebihan yang dimiliki oleh *hub* dan *hubless RDP*.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penulisan kajian ini ada. Dalam pengujian performa *rim driven propeller* digunakan metode (*computational fluid dynamic*) CFD untuk mengetahui *thrust* dan torsi yang selanjutnya di dapat efisiensi *rim driven propeller*. sedangkan untuk pembahasan terkait penggunaan listrik, kebisingan, emisi, serta penggunaan di perairan dangkal menggunakan metode studi literatur.

2.1. Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk mencari referensi terkait kajian tentang *rim driven propeller*. referensi yang digunakan berasal dari jurnal-jurnal, buku, dan artikel. Referensi yang didapat dari beberapa jurnal tersebut digunakan sebagai pertimbangan dalam pengerjaan kajian ini. Sehingga teori dan rumus yang digunakan sesuai

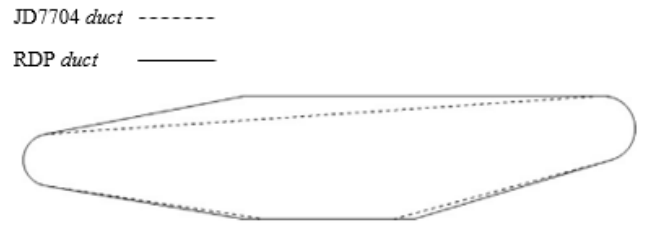
2.2. Pemodelan Rim Driven Propeller

Computational fluid dynamic (CFD) adalah suatu metode penyelesaian masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika fluida diantaranya kontinuitas, momentum dan persamaan energi. Metode ini digunakan secara luas untuk memberikan penyelesaian dari masalah secara eksperimen. Dalam pemodelan numerik, jika input data tidak dimasukkan dengan kondisi sebenarnya, maka digunakan parameter yang dapat merefleksikan kondisi sebenarnya yang dapat merefleksikan kondisi sebenarnya [9].

Dalam penelitian ini menggunakan *propeller* dengan tipe Kaplan. Dikarenakan bagian *tip blade* dari Kaplan membentuk bujur lingkaran sehingga cocok apabila diaplikasikan pada RDP. Tabel 1 merupakan spesifikasi dari *propeller* Kaplan:

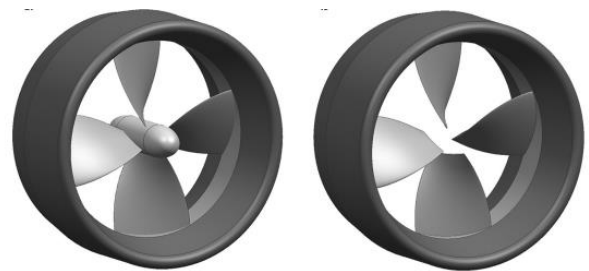
Tabel 1. Data utama *propeller* [sumber : Song et. al (2015)]

| Type | Kaplan Ka-70 |
|-----------------|--------------|
| Diameter | 0,25 m |
| Number of Blade | 4 |
| Pitch ratio | 1,4 |
| Hub ratio | 0.167; 0,25 |
| RPM | 450 |
| Duct Length | 0,1638 m |



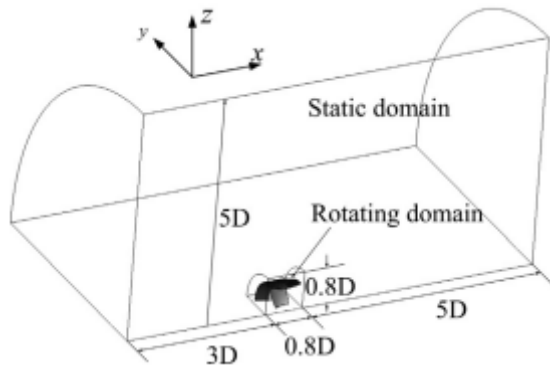
Gambar 1. Bentuk profil *duct* yang digunakan [sumber: Song et. al (2015)]

Kemudian untuk spesifikasi dari *duct*, digunakan *duct* dengan model JD7704. Oleh karena itu, spesifikasi dari *duct* seperti pada Gambar 1. Berdasarkan data pada Tabel 1 dan Gambar 1 akan dilakukan kajian secara teknis mengenai RDP. Sehingga dapat dijadikan acuan dan pertimbangan ketika akan dioperasikan secara berkelanjutan.



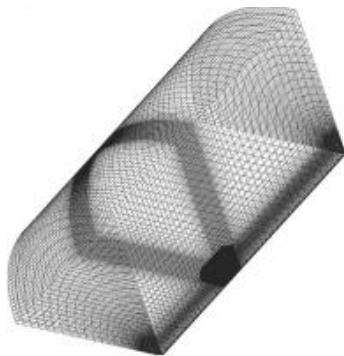
Gambar 2. *Hub* dan *hubless* RDP

Pada Gambar 2 merupakan RDP yang akan dilakukan proses simulasi. Untuk proses simulasi RDP memanfaatkan *software* ANSYS CFX untuk mengetahui hidrodinamika yang dihasilkan oleh RDP. Menurut [5], dua jenis RDP dengan dua rasio *hub* berbeda dilakukan analisa terkait hidrodinamika yang akan memunculkan perbandingan kinerja, performa, efisiensi dari *hub* dan *hubless* RDP. Dua jenis RDP adalah *hub* dan *hubless* RDP, sedangkan untuk rasio *hub* 0,167 dan 0,25.



Gambar 3. Pembuatan domain

Pembuatan domain yang ditunjukkan Gambar 3 dengan domain statis memiliki panjang 8,8D dan radius 5D. kemudian untuk domain yang dinamis, dimana rim driven propeller berputar memiliki panjang 0,8 D dan radius 0,8D dan terletak dari batas inlet domain statis sepanjang 3D, dimana D merupakan diameter propeller.



Gambar 4. Desain grid akhir

Pada Gambar 4 ditunjukkan desain akhir grid yang digunakan untuk proses simulasi. Kondisi boundary ditentukan sebagai berikut. Kondisi dinding tanpa selip diterapkan pada permukaan blade, hub, dan duct. Kondisi inlet kecepatan diterapkan pada batas inlet. Kondisi outlet tekanan statis diterapkan pada batas outlet. Kondisi dinding selip bebas diterapkan pada permukaan luar domain statis. Kondisi periode rotasi diterapkan pada batas periodik [5].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Performa Rim Driven Propeller

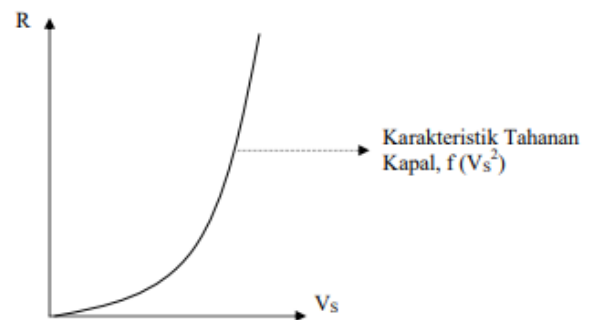
Pertama, pembahasan akan berkaitan tentang performa yang dihasilkan oleh hub dan hubless RDP. Dalam mengolah data atau nilai performa ada beberapa rumus yang digunakan. Tahanan kapal merupakan gaya yang menghambat gerakan kapal ketika sedang beroperasi. Besarnya hambatan yang melawan kapal terdiri dari beberapa komponen tahanan diantaranya, tahanan gesek, tahanan gelombang, tahanan appendages, tahanan udara, dsb [10]. Pada Gambar 5 ditunjukkan grafik hubungan pertambahan kecepatan servis dengan tahanan kapal, dijelaskan bahwa semakin bertambah kecepatan maka juga semakin besar tahanannya.

Berikut merupakan persamaan sederhana dari tahanan kapal:

$$R_T = 0,5 \times \rho \times C_T \times S \times V_S^2 \tag{1}$$

Dimana, C_T adalah koefisien tahanan total, S adalah luas permukaan basah, ρ adalah massa jenis fluida (fluid density). Apabila semua variabel tersebut adalah konstan maka bisa dijelaskan seperti berikut:

$$R_T = \alpha \times V_S^2 \tag{2}$$



Gambar 5. Grafik karakteristik tahanan

Gaya dorong (thrust) kapal merupakan komponen yang sangat penting, dimana digunakan untuk mengatasi tahanan (resistance) atau gaya hambat kapal. Pada kondisi yang sangat ideal, besarnya gaya

dorong yang dibutuhkan mungkin sama besar dengan gaya hambat yang terjadi di kapal. Namun kondisi tersebut sangat tidak realistis, karena pada faktanya di badan kapal tersebut terjadi fenomena hidrodinamika yang menimbulkan degradasi terhadap nilai besaran gaya dorong kapal [10].

Sehingga ada beberapa formula gaya dorong kapal yang akan ditunjukkan berikut ini:

$$T = \frac{R}{(1 - t)} \tag{3}$$

Dimana t adalah *thrust deduction factor*. Kemudian dengan mensubstitusi R di Pers. (3) dengan yang tertulis di Pers. (2), maka diperoleh hubungan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{\alpha \times V_S^2}{(1 - t)} \tag{4}$$

Karakteristik kinerja *propeller* disajikan dalam bentuk berikut ini:

$$K_T = \frac{T_{prop}}{\rho \times n^2 \times D^4} \tag{5}$$

$$K_Q = \frac{Q_{prop}}{\rho \times n^2 \times D^5} \tag{6}$$

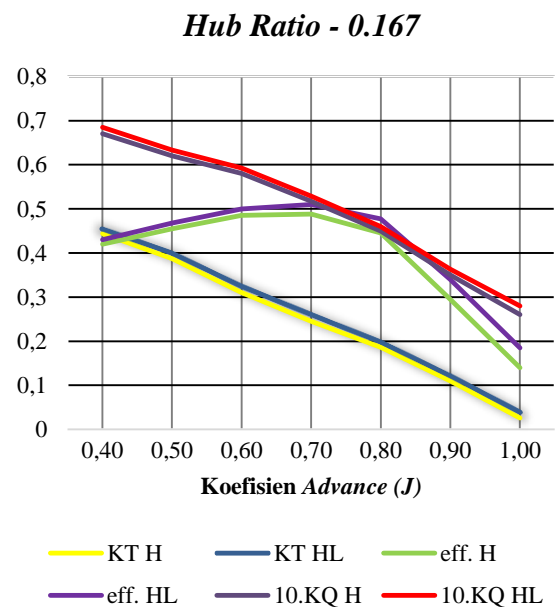
$$J = \frac{V_A}{n \times D} \tag{7}$$

$$\eta_0 = \frac{J \times K_T}{2\pi \times K_Q} \tag{8}$$

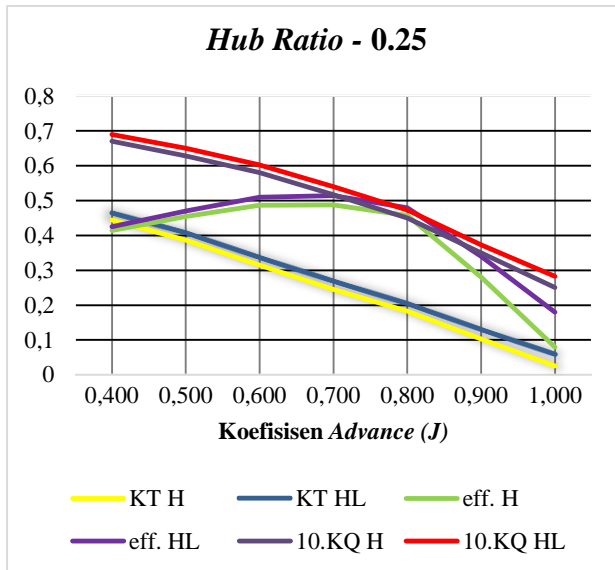
Dimana, K_T adalah koefisien gaya dorong *propeller*, K_Q adalah koefisien torsi *propeller*, J adalah koefisien *advance propeller*, V_A adalah kecepatan *advance* dari fluida yg melintasi *propeller disk*, η_0 adalah efisiensi *propeller* pada kondisi *open water*, n adalah putaran *propeller*, D adalah diameter *propeller*, T_{prop} adalah gaya dorong *propeller* (*propeller thrust*), Q_{prop} adalah torsi *propeller*

(*propeller torque*), ρ adalah massa jenis fluida (*fluid density*).

Pada Gambar 6 ditunjukkan perbandingan antara koefisien *advance* (J) dengan koefisien dorong, koefisien torsi, efisiensi yang dihasilkan oleh *hub* RDP dan *hubless* RDP dengan rasio *hub* sebesar 0,167. Menurut [5], pada grafik koefisien *advance* yang dibandingkan dengan koefisien dorong ditunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antara *hub* dan *hubless* RDP. Koefisien dorong terus menurun seiring bertambahnya koefisien *advance*. Baik dari *hub* dan *hubless* RDP mengalami penurunan dengan perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Dari segi efisiensi *hub* dan *hubless* terjadi peningkatan hingga koefisien *advance* = 0,7, ketika koefisien *advance* > 0,7 efisiensi menurun. Untuk koefisien torsi, terjadi penurunan terus menerus, baik dari *hub* dan *hubless* RDP, perbedaannya tidak terlalu signifikan [5].



Gambar 6. Grafik perbandingan koefisien *advance* terhadap KT, KQ, efisiensi dengan rasio *hub* 0,167



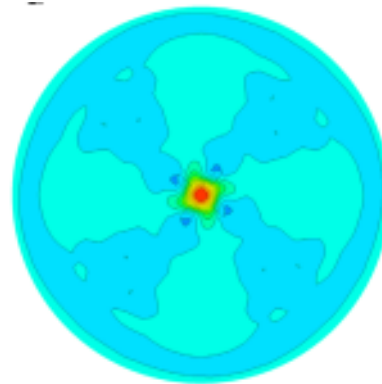
Gambar 7. Grafik perbandingan koefisien advance terhadap KT, KQ, efisiensi dengan rasio hub 0,25

Pada Gambar 7 dijelaskan mengenai performa koefisien dorong, koefisien torsi, dan efisiensi yang dihasilkan oleh RDP dengan rasio hub sebesar 0,25. Menurut penelitian [5], koefisien dorong yang dihasilkan terlihat menurun, baik dari hub dan hubless RDP. Namun perbedaan yang dihasilkan terlihat cukup signifikan seiring semakin besarnya rasio hub. Grafik efisiensi terlihat meningkat ketika koefisien advance < 0,7. Namun menurun ketika koefisien advance > 0,7. Dan terlihat perbedaan efisiensi yang sangat besar antara hub dan hubless RDP ketika koefisien advance = 1,0. Koefisien torsi yang dihasilkan juga terjadi penurunan ketika koefisien advance bertambah. Perbedaan koefisien torsi yang terjadi sangat signifikan terlihat adanya jarak yang lebar antara grafik hub dan hubless ketika koefisien advance = 1,0 [5].

3.2. Vortex Rim Driven Propeller

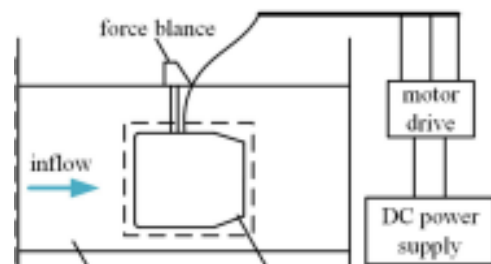
Ketika propeller konvensional dan hub RDP beroperasi akan timbul vortex atau pusaran pada pusat propeller. Berdasarkan penelitian [5], Gambar 8 menunjukkan pusaran yang dihasilkan oleh hub atau boss yang menempel pada ujung belakang propeller dan dapat membuang lebih banyak energi. Untuk mengatasi masalah tersebut, digunakan hubless RDP sehingga kerugian akibat pusaran

dapat teratasi. Selain itu, ada juga solusi lain yang bisa diaplikasikan dengan memanfaatkan Propeller Boss Cap Fin (PBCF) [11].

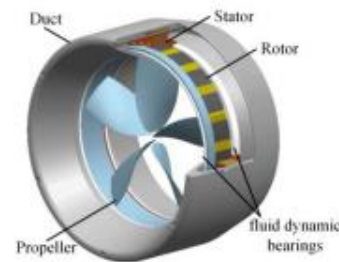


Gambar 8. Distribusi vortex yang dihasilkan propeller dengan hub

3.3. Penggunaan Energi Listrik



Gambar 9. Sistem listrik pada rim driven propeller



Gambar 10. Komponen rim driven propeller

Kapal merupakan penyumbang terbesar terhadap polusi udara, yang berasal dari partikel gas hasil pembakaran mesin dalam bentuk: NO_x, SO_x, CO dan CO₂ [6]. International Maritime Organization (IMO) telah memberlakukan regulasi terkait emisi gas buang sejak tahun 2015, yaitu kandungan SO_x dan NO_x tidak boleh melebihi 0,1% dan sudah diterapkan regulasi di kawasan ECA, namun dengan batasan emisi (SO_x dan NO_x) yang lebih longgar, yaitu maksimal 0.5% [7]. Penggunaan listrik oleh rim driven propeller

sangat membantu dalam hal pengurangan emisi yang dihasilkan oleh pembakaran mesin kapal. Karena daya yang bersumber dari sebuah baterai disalurkan menuju sebuah *duct* yang di dalamnya terdapat komponen listrik seperti pada Gambar 10 yang terdiri dari stator (komponen yang diam) dan rotor (komponen yang berputar) [12]. Pada Gambar 9 ditunjukkan bahwa daya berasal dari sebuah sumber *direct current* (DC), yang kemudian disalurkan ke sebuah *driver* yang berfungsi untuk mengatur putaran motor, lalu tegangan yang diatur dari driver disalurkan menuju motor yang menempel di dalam *duct*, sehingga bisa menghasilkan putaran motor dan memutar daun *propeller*.

3.4. Kebisingan dan Getaran

Ketika sebuah sistem penggerak atau propulsi kapal beroperasi, akan ada daya yang disalurkan dari *main engine* kemudian menuju ke *gearbox*. Setelah itu, daya disalurkan menuju ke *propeller* melalui sebuah poros. Pada konstruksi sebuah poros juga dilengkapi dengan bantalan agar poros yang berputar tidak mengalami deformasi. Berputarnya atau beroperasinya komponen tersebut akan menimbulkan sebuah efek kebisingan sehingga akan mengurangi kenyamanan para ABK dan penumpang.

Namun, masalah yang lebih kompleks juga bisa terjadi yaitu, kemungkinan terjadinya *misalignment* pada sistem penggerak. Seluruh komponen mulai dari *main engine* hingga *propeller* harus beroperasi dengan titik *alignment* yang amat baik. Apabila terjadi *misalignment* akan menimbulkan getaran yang amat sangat mengganggu terhadap komponen yang saling bergesekan. Sehingga *lifetime* komponen akan berpengaruh. Dengan digunakannya sistem propulsi *rim driven propeller* permasalahan tersebut bisa sedikit teratasi. Mengingat kinerja *rim driven propeller* menggunakan sistem motor listrik yang tidak terlalu banyak memanfaatkan komponen yang berputar.

3.5. Energy Loss dan Aliran Uniform

Mengurangi *energy loss* dan membuat aliran air yang melewati *propeller* lebih *uniform* dikarenakan *pod* dan *struts* tidak digunakan lagi. Dalam pengoperasiannya penggunaan *hub* dan *hubless* RDP tidak memanfaatkan poros. Tidak adanya *energy loss* yang disebabkan oleh adanya gap antara bilah *propeller* dan rim. Pada kenyataan di lapangan banyak sekali kapal-kapal yang menggunakan *propeller* berjenis *ducted propeller*. Penggunaan tersebut menyebabkan kerugian berupa *losses* yang terjadi pada gap antara *blade tip* dengan *duct*. Sehingga energi yang dihasilkan oleh *propeller* tersebut tidak maksimal. Dengan diaplikasikannya *rim driven propeller* diharapkan dapat mengatasi permasalahan tersebut mengingat sumber gerakan dari *rim driven propeller* dari motor yang sistemnya berada di dalam *duct* sehingga bagian *blade tip* terhubung dengan *duct*.

3.6. Pengoperasian Rim Driven Propeller Di Perairan Dangkal

Rim driven propeller juga dapat dioperasikan di perairan dangkal namun dengan kondisi perairan tersebut bersih dari berbagai benda yang dapat mengganggu kinerja *rim driven propeller*. Penggunaan *hub rim driven propeller* memiliki konstruksi yang dilengkapi dengan *hub* sehingga kemungkinan sampah, akar tumbuhan menyangkut lebih besar. Namun hal itu bisa diatasi dengan menggunakan *hubless rim driven propeller* sehingga mengurangi resiko tersangkut sampah, dan juga bisa memperbesar rasio *hubless*, tetapi akan mengurangi performa *rim driven propeller* secara signifikan yaitu, gaya dorong yang akan berkurang karena luasan *blade* yang akan semakin kecil. Selain itu, juga bisa diupayakan agar perairan harus bersih dari sampah.

4. KESIMPULAN

Performa yang dihasilkan oleh *hub* dan *hubless* RDP telah dihitung dengan

menggunakan model *propeller* Ka4-70 dan menggunakan model *duct* JD7704. Dari penelitian yang dilakukan pada RDP didapatkan hasil performa yang baik oleh *hubless* RDP. Dari segi efisiensi, *hubless* RDP lebih unggul, terbukti pada rasio *hub* 0,25 dan koefisien *advance* 0,7 efisiensi *hubless* RDP lebih tinggi 2,2%. Hilangnya *hub* juga berpengaruh terhadap penambahan torsi dan *thrust*. Ditinjau dari segi *vortex hub rim driven propeller* menghasilkan *vortex* yang lebih besar dihasilkan oleh *hub*. Namun, dengan *hubless rim driven propeller* menghasilkan *vortex* lebih sedikit. Sehingga *energy loss* lebih berkurang. Selain itu, aliran fluida di depan *propeller* lebih *uniform* karena tidak lagi menggunakan poros dan *strut*.

Hub dan *hubless rim driven propeller* juga merupakan alternatif dalam mengurangi emisi gas buang sehingga lebih ramah lingkungan. Kebisingan dan getaran yang dihasilkan *hub rim driven propeller* dan *hubless rim driven propeller* lebih kecil karena tidak menggunakan poros, *gearbox*, bantalan. Untuk pengoperasian di perairan dangkal lebih baik menggunakan *hubless driven propeller*, karena kemungkinan *propeller* tersangkut sampah atau akar-akar tumbuhan menjadi lebih kecil. Namun juga harus dipastikan bahwa kondisi perairan tersebut bersih dari sampah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah yang memberikan dukungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. W. Aji, *Pengenalan sistem propulsi kapal 1*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2006.
- [2] I. K. Aria, "Analisa Aliran Pada Ducted Propeller Dengan Pendekatan Cfd (Computational Fluid Dynamics)," *Kapal*, pp. 1–8, 2012.
- [3] E. L. Lebedev, R. Y. Pershitz, A. A. Rusetskiy, N. S. Avrashkov, and A. B. Tarasyuk, "Ship Steering Unit," *Sudostroenie*, 1969.
- [4] A. Santoso, I. S. Arief, and A. T. Kurniawan, "Performance Analysis Rim Driven Propeller as a Propulsor using Open Water Test," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 2, no. 1, 2017, doi: 10.12962/j25481479.v2i1.2470.
- [5] B. W. Song, Y. J. Wang, and W. L. Tian, "Open water performance comparison between hub-type and hubless rim driven thrusters based on CFD method," *Ocean Eng.*, vol. 103, pp. 55–63, 2015, doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.04.074.
- [6] J. E. McCarthy, "Air pollution and greenhouse gas emissions from ships," *Air Pollut. Sh. Emiss.*, pp. 1–13, 2010.
- [7] H. Palebangan, "Analisis Kapal Berbahan Bakar LNG sebagai Marine Fuel dalam Mengurangi Emisi Gas Buang Terhadap Lalu Lintas Kapal di Pelabuhan Bitung," *War. Penelit. Perhub.*, vol. 31, no. 1, pp. 25–34, 2019, doi: 10.25104/warlit.v31i1.912.
- [8] ABS, "Guidance Notes on Ship Vibration," no. May, 2021, [Online]. Available: www.eagle.org.
- [9] F. Tuakia, *Dasar - Dasar Menggunakan CFD : Computational Fluid Dynamics*. Bandung Inform, 2008.
- [10] S. W. Aji, *Engine Propeller Matching*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2005.
- [11] A. Amiadji, A. Baidowi, and A. F. N. Oloan, "The Effect of Boss Cap Fins to B – Series Propeller Performance With CFD Method," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 2, no. 4, 2018, doi: 10.12962/j25481479.v2i4.3809.
- [12] B. Cheng, G. Pan, and Y. Cao, "Analytical design of the integrated motor used in a hubless rim-driven propulsor," *IET Electr. Power Appl.*, vol. 13, no. 9, pp. 1255–1262, 2019, doi: 10.1049/iet-epa.2018.5303.