

**ANALISIS VARIASI JUMLAH BLADE PROPELLER KAPAL MV KASWARI
ELOK 87 TERHADAP THRUST DAN TORQUE MENGGUNAKAN
METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

Muchammad Febri Ardiansyah

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: muchammadfebri.22006@mhs.unesa.ac.id

Muhamad Syarifuddien Zuhrie

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: zuhrie@unesa.ac.id

Abstrak

Propeller adalah suatu sistem yang penting dalam suatu sistem propulsi karena berpengaruh terhadap efisiensi hidrodinamika, stabilitas manuver dan konsumsi energi pada kapal. salah satu upaya adalah dengan melakukan riset dan memberikan inovasi dalam desain propeller yang sesuai dengan karakteristik operasi kapal sangat penting. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jumlah blade terhadap nilai thrust dan torque pada propeller kapal. Simulasi dilakukan menggunakan metode computational fluid dynamics (CFD) dengan perangkat lunak ansys fluent. jumlah blade divariasikan pada jumlah 3,4,5 blade pada 3 kondisi kecepatan yaitu 250,500,1000 rpm. model turbulensi yang digunakan adalah k- ϵ standar.tahapan simulasi meliputi pembuatan geometri, meshing, penetapan boundary conditions, dan analisis hasil berupa grafik, pressure contour, velocity contour dan velocity streamlines. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jumlah blade propeller berpengaruh signifikan terhadap distribusi tekanan, pola aliran, thrust, dan torque. Propeller 4 blade menghasilkan distribusi tekanan yang lebih merata dengan gradien stabil. Sehingga aliran lebih terkendali, terutama pada kecepatan tinggi. Propeller 5 blade menunjukkan performa optimal pada 500 rpm dengan thrust dan torque tertinggi, namun pada 1000 rpm mengalami penurunan akibat aliran turbulen dan potensi kavitas. Sementara itu, propeller 3 blade menunjukkan peningkatan torsi secara linier terhadap rpm, dengan aliran lebih stabil pada putaran tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa jumlah blade berperan penting dalam menentukan ketstabilitan aliran, efisiensi propulsi, dan rentang kecepatan optimal operasi propeller.

Kata Kunci: Computational Fluid Dynamics, Jumlah Blade, Thrust, Torque, Propeller

Abstract

Propellers are an important part of a propulsion system because they affect hydrodynamic efficiency, maneuverability, and energy consumption on ships. One way to improve this is through research and innovation in propeller design that suits the ship's operating characteristics. This study aims to analyze the effect of blade number on thrust and torque values in ship propellers. The simulation was conducted using the computational fluid dynamics (CFD) method with ANSYS Fluent software. The number of blades was varied to 3, 4, and 5 blades at three speed conditions, namely 250, 500, and 1000 rpm. The turbulence model used was standard k- ϵ . The simulation stages included geometry creation, meshing, boundary condition setting, and analysis of results in the form of graphs, pressure contours, velocity contours, and velocity streamlines. The results showed that variations in the number of propeller blades had a significant effect on pressure distribution, flow patterns, thrust, and torque. The 4-blade propeller produces a more even pressure distribution with a stable gradient. This results in more controlled flow, especially at high speeds. The 5-blade propeller shows optimal performance at 500 rpm with the highest thrust and torque, but at 1000 rpm there is a decrease due to turbulent flow and potential cavitation. Meanwhile, the 3-blade propeller shows a linear increase in torque with rpm, with more stable flow at high speeds. These findings indicate that the number of blades plays an important role in determining flow stability, propulsion efficiency, and the optimal operating speed range of the propeller.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Jumlah Blade, Thrust, Torque, Propeller

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau dan sekitar dua pertiga wilayahnya berupa lautan dan memiliki potensi maritim yang sangat besar. Pemanfaatan potensi tersebut membutuhkan teknologi maritim yang efisien, aman, dan berkelanjutan. (Aris Sarjito., 2019). Salah satu aspek penting adalah sistem propulsi pada kapal dimana propeller berperan penting sebagai komponen utama

dalam mengubah energi rotasi menjadi gaya dorong. Desain propeller yang kurang optimal dapat menyebabkan peningkatan hambatan fluida, konsumsi energi boros, hingga potensi kerusakan mesin akibat beban berlebihan.

Pengembangan sistem propulsi mengenai desain propeller yang sesuai dengan kebutuhan operasional kapal, khususnya pada kapal Mv Kaswari Elok 87 menjadi sangat penting untuk mendukung efisiensi

hidrodinamika, stabilitas manuver dan pentingnya untuk keberlanjutan transportasi laut indonesia.

Menurut Hafizh & Endrasmono, 2023), pengembangan dan optimalisasi bentuk propeller dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan operasi yang dinamis dan kemampuan manuver yang tinggi beserta potensi untuk mengurangi dampak lingkungan dari operasi kapal dengan modifikasi desain blade propeller melalui perubahan jumlah blade dan bentuk blade dapat menjadi solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan efisiensi propulsi.

Variasi jumlah blade akan memengaruhi distribusi aliran fluida di sekitar propeller yang berdampak langsung pada thrust, torque, dan efisiensi propulsi. Beberapa penelitian seperti yang dilakukan Trimulyono et al. (2016), penambahan jumlah bilah dapat meningkatkan stabilitas aliran dan mengurangi getaran, tetapi di sisi lain dapat menurunkan efisiensi akibat peningkatan drag. Sebaliknya, bilah yang lebih sedikit menghasilkan efisiensi lebih tinggi, meskipun berpotensi menimbulkan kavitas dan kebisingan.

Simulasi yang digunakan adalah simulasi numerik dengan menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). Keunggulan metode ini adalah fleksibilitasnya dalam memodifikasi desain objek tanpa memerlukan biaya besar seperti pengujian fisik langsung. Selain itu, CFD memungkinkan pemantauan aliran udara secara lebih rinci dan akurat dalam dimensi ruang dan waktu, sehingga memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai perilaku aliran udara di sekitar objek (Fox dan McDonalds, 2011).

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini melakukan simulasi aerodinamika kendaraan menggunakan metode numerik Computational Fluid Dynamics (CFD) melalui perangkat lunak Ansys Fluent. Simulasi ini bertujuan untuk menentukan koefisien drag dan pola aliran fluida di bagian belakang kendaraan. Hasil dari parameter tersebut akan disajikan dalam bentuk kontur, vektor, tabel, dan grafik.

Tempat dan Waktu Penelitian

- Lokasi Penelitian**
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Robotika yang berlokasi di Gedung A9, Universitas Negeri Surabaya.
- Waktu Penelitian**
Penelitian pengaruh jumlah blade pada kapal dengan variasi jumlah *blade* ini dilaksanakan pada periode 1 Agustus hingga 30 September 2025.

Variabel Penelitian

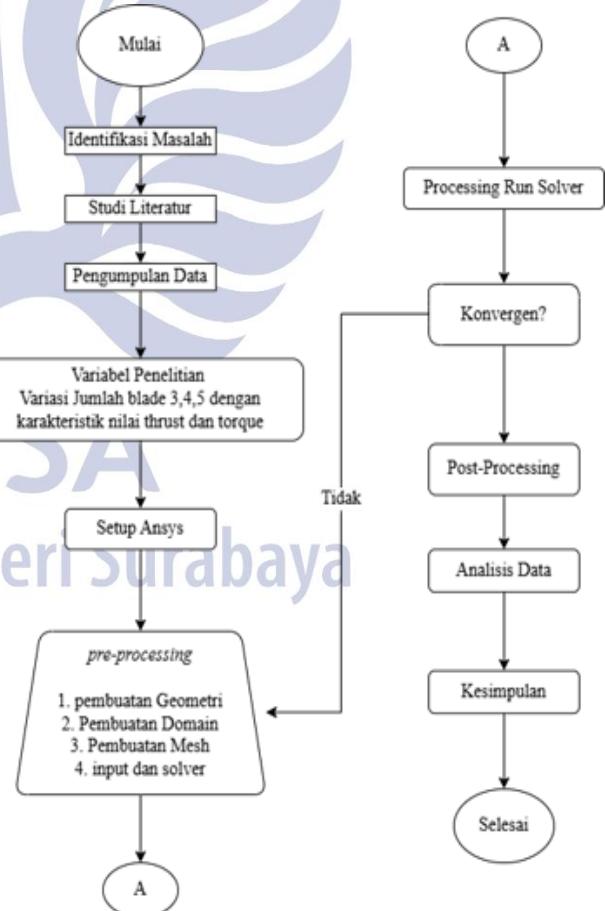
- Variabel Bebas**
Pada penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah variasi jumlah *blade*, yaitu sebesar 3, 4, dan 5.

- Variabel Terikat**
 - Nilai Thrust.
 - Nilai *Torque*.
- Variabel Kontrol**
 - Fluida yang mengalir adalah Air.
 - Aliran *Steady*.
 - Propeller yang digunakan adalah tipe FPP.

Teknik Pengumpulan Data

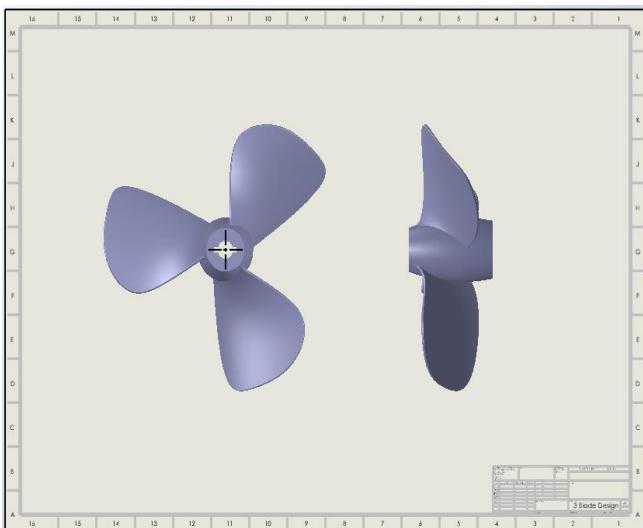
- Pre-Processing**
 - Pembuatan Geometri
 - Pembuatan Domain
 - *Meshing*
 - *Setting solver*
- Processing**
 - *Run solver*
 - Iterasi
- Post Processing**
 - Pressure Contour
 - Velocity Streamline

Flow Chart Penelitian

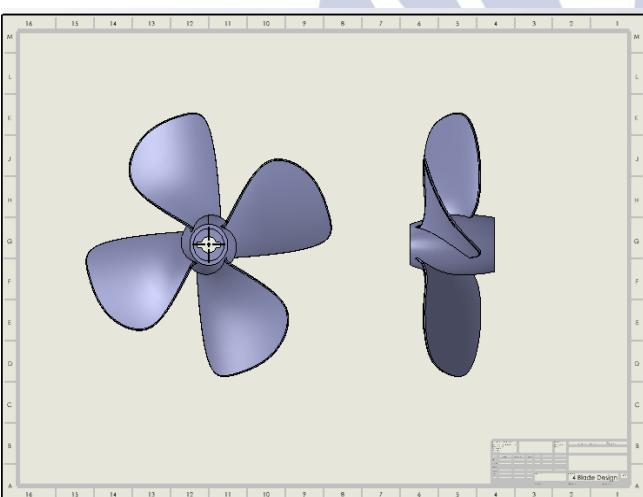


Gambar 1 Flowchart Penelitian

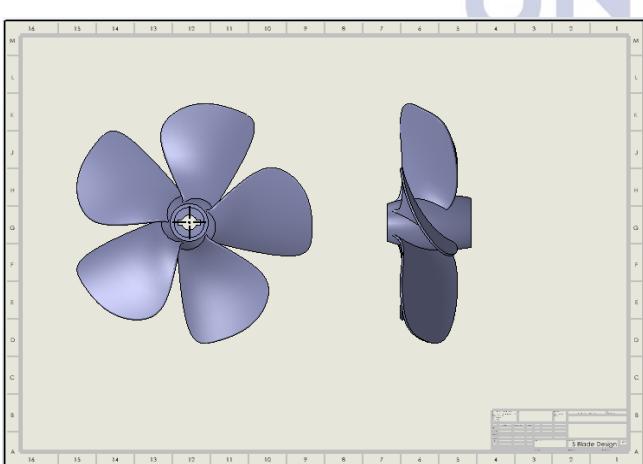
Objek Penelitian



Gambar 2 Propeller 3 blade



Gambar 3 Propeller 4 blade



Gambar 4 Propeller 5 blade

Validasi Model

Validasi model dalam *ANSYS Fluent* bertujuan memastikan hasil simulasi sesuai dengan kondisi nyata atau teori, sehingga dapat dipercaya untuk analisis lebih lanjut. Proses ini dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data eksperimen atau hasil analitik dari literatur. Apabila tingkat error yang diperoleh relatif kecil, maka model dianggap valid dan dapat dimanfaatkan untuk menganalisis berbagai skenario tanpa perlu melakukan eksperimen fisik yang mahal dan memakan banyak waktu.

Tabel 1 Validasi Model

No	Penelitian	Koefisien Thrust	Error
1	(Fitriady Ahmad et al, 2019)	0,3678	-
2	Standard k- ϵ	0,3879	5,18%
3	Realizable k- ϵ	0,3923	6,25%
4	k- ω SST	0,3830	3,97%
5	Transition SST	0,3744	1,76%

Model *Transition SST* dipilih karena paling seimbang antara akurasi dan efisiensi, dengan error kurang dari 4%, sedangkan model *k- ϵ* dan *k- ω standard* kurang akurat untuk memprediksi separasi, vorteks, dan aliran pada area free-stream.

Grid Independence Test

Grid Independence Test (GIT) digunakan untuk memastikan bahwa hasil simulasi tidak lagi dipengaruhi oleh perubahan pada pengaturan mesh, sehingga hasil yang diperoleh lebih konsisten dan dapat dipercaya. Melalui GIT, ditentukan kondisi ideal dengan jumlah elemen grid paling efisien, yaitu yang tidak menimbulkan perbedaan signifikan pada hasil numerik berdasarkan evaluasi grid yang dilakukan.

Tabel 1 Grid Independence Test

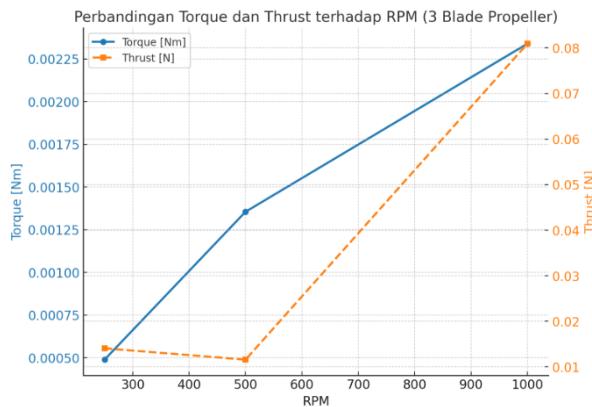
No	Total Number Of Cell Meshing	Koefisien Thrust
1	1,890,045	0,3712
2	2,559,601	0,3719
3	2,819,010	0,3721
4	2,900,080	0,3726
5	4,000,555	0,3744

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data pada penelitian ini dirancang untuk mengukur dan membandingkan pengaruh variasi jumlah blade propeller terhadap nilai thrust dan torque yang dihasilkan pada kapal *MV Kaswari Elok* melalui simulasi numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent. Variasi jumlah blade yang digunakan terdiri dari tiga tingkat, yaitu 3 blade, 4 blade, dan 5 blade, dengan putaran propeller yang divariasikan pada beberapa nilai RPM. Data yang diperoleh dari simulasi berupa gaya dorong (thrust) dan momen puntir (torque), yang diambil setelah proses simulasi mencapai kondisi konvergen. Kondisi konvergen ditandai dengan penurunan residual hingga nilai tertentu dan grafik monitor thrust serta torque yang stabil dalam kondisi steady.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Nilai Thrust Dan Torque Pada Variasi Jumlah 3 Blade Dan Kecepatan



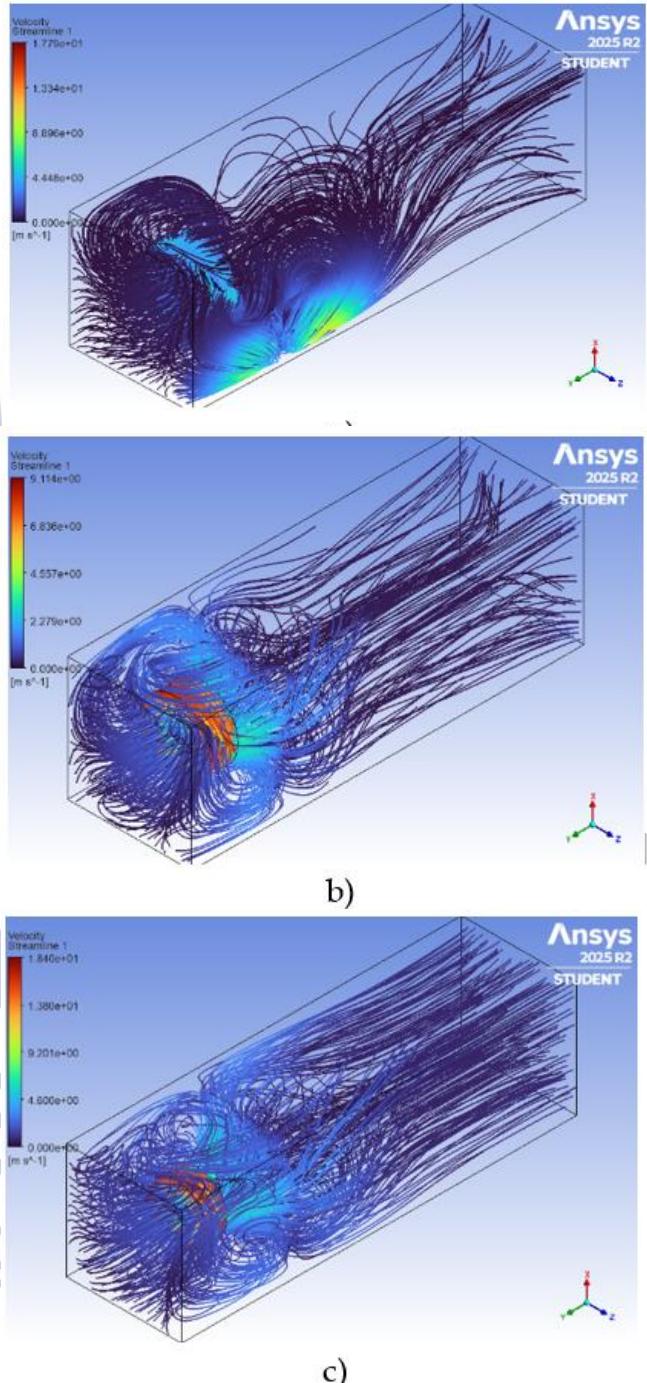
Gambar 7 Grafik perbandingan nilai torque dan thrust terhadap rpm pada 3 blade propeller

Berdasarkan hasil simulasi pada propeller 3 bilah, hubungan antara kecepatan putar (RPM), torsi, dan gaya dorong (thrust) memperlihatkan pola yang berbeda. Torsi mengalami kenaikan linier seiring meningkatnya putaran propeller, yaitu dari 0,00049 Nm pada tipe-1 dengan 250 rpm hingga mencapai 0,00234 Nm pada tipe-3 dengan 1000 rpm. Kenaikan ini mengindikasikan bertambahnya beban putar akibat interaksi fluida dengan bilah propeller. Di sisi lain, gaya thrust relatif konstan pada rentang 250 rpm hingga 500 rpm, bahkan cenderung menurun dari 0,0141 N menjadi 0,0116 N. Namun, pada kecepatan 1000 rpm terjadi lonjakan thrust yang cukup besar hingga mencapai 0,0809 N.

Hal ini memperlihatkan bahwa pada putaran rendah, sebagian besar energi rotasi masih digunakan untuk melawan hambatan aliran sehingga kontribusinya terhadap gaya dorong belum maksimal. Sebaliknya, pada kecepatan tinggi, pola aliran fluida di sekitar propeller menjadi lebih stabil sehingga energi rotasi dapat dikonversi secara lebih efisien menjadi gaya dorong. Dengan demikian, peningkatan thrust yang signifikan pada 1000 rpm

menandakan adanya titik kritis efisiensi propeller pada kecepatan tinggi.

Velocity Streamline Propeller 3 blade dengan variasi kecepatan



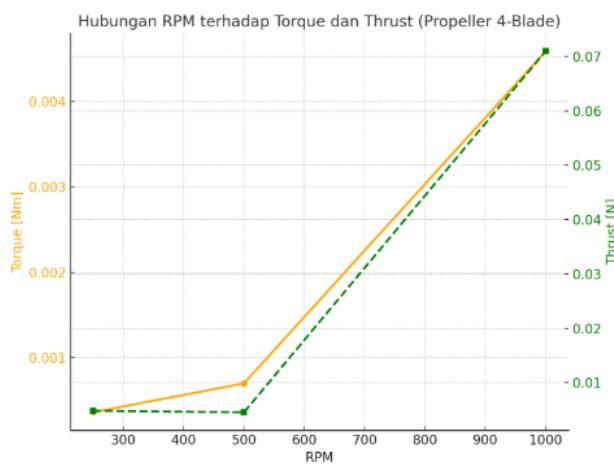
Gambar 8 Perbandingan Velocity Streamlines Dengan Variasi Kecepatan a) Tipe - 1, b) Tipe - 2, c) Tipe - 3

Simulasi numerik menggunakan ANSYS Fluent pada propeller 3 blade menunjukkan bahwa peningkatan putaran propeller berpengaruh langsung terhadap pola aliran fluida di belakang propeller (wake region). Pada kecepatan rendah 250 rpm (tipe-1), aliran masih tidak stabil dengan recirculation dan vortex yang dominan,

sehingga thrust yang dihasilkan kecil dan efisiensi propulsi rendah. Saat putaran dinaikkan menjadi 500 rpm (tipe-2), pola aliran mulai lebih teratur, wake lebih panjang dan fokus ke arah aksial, serta kecepatan fluida meningkat. Hal ini menandakan transfer energi yang lebih besar dari propeller ke fluida, meskipun masih erdapat tip vortex yang menyebabkan kerugian energi.

Pada kondisi putaran tinggi 1000 rpm (tipe-3), aliran semakin terarah dengan distribusi streamline rapat ke arah belakang dan kecepatan maksimum fluida mencapai 18,4 m/s. Thrust yang dihasilkan menjadi yang tertinggi, sesuai dengan teori momentum propulsi yang menyatakan bahwa peningkatan putaran meningkatkan gaya dorong akibat perbedaan momentum massa fluida. Namun, tingginya kecepatan aliran juga meningkatkan risiko munculnya fenomena kavitasasi dan beban struktural pada bilah. Secara keseluruhan, simulasi ini membuktikan bahwa semakin tinggi putaran propeller, thrust dan keteraturan aliran meningkat, tetapi pada kecepatan tinggi berpotensi menimbulkan masalah hidrodinamik.

Perbandingan Nilai Thrust Dan Torque Pada Variasi Jumlah 4 Blade Dan Kecepatan

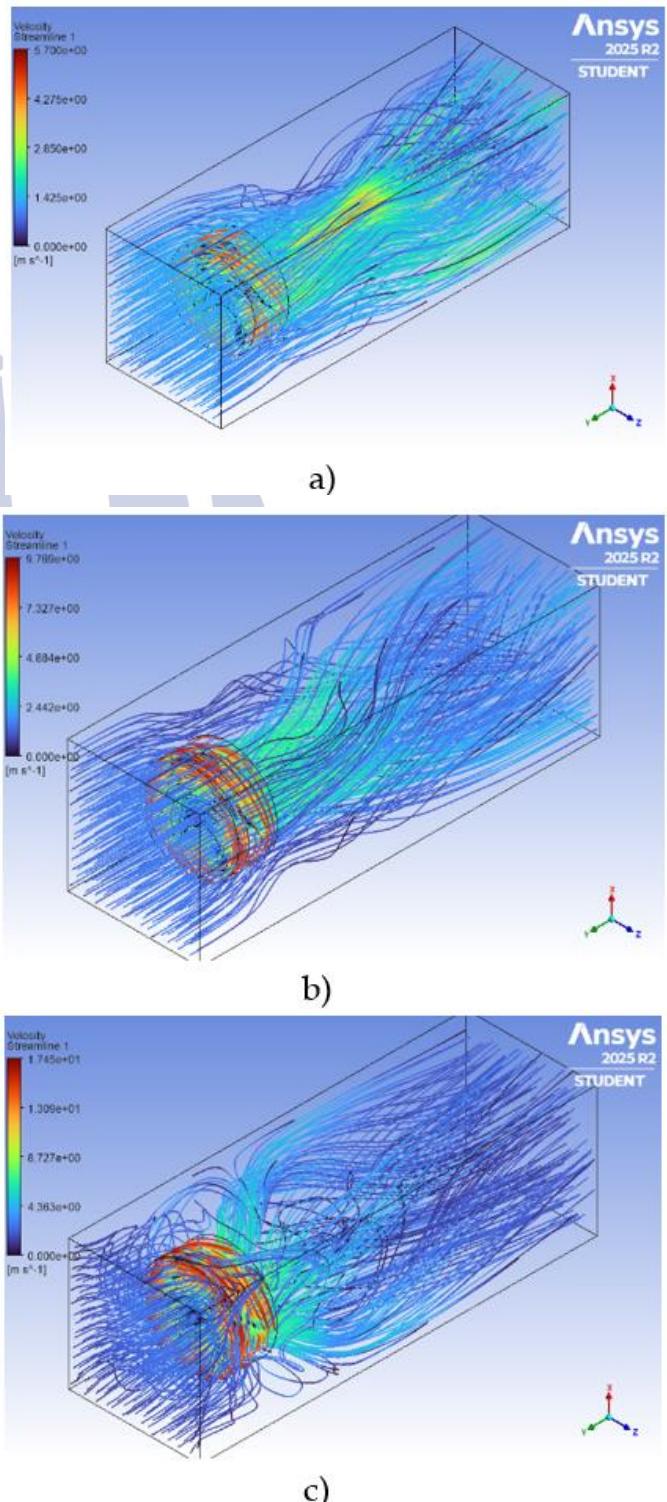


Gambar 9 Grafik perbandingan nilai *torque* dan *thrust* terhadap rpm pada 4 blade propeller

Pada propeller 4-blade, grafik menunjukkan bahwa nilai torsi meningkat pada tipe -1 dengan signifikan seiring kenaikan rpm dari 0,000363 Nm pada 250 rpm menjadi 0,004588 Nm pada tipe -3 di kecepatan 1000 rpm. Peningkatan torsi ini menghasilkan beban poros yang membesar karena propeller harus memberikan momentum lebih besar pada massa fluida seiring meningkatnya kecepatan rotasi. Sementara itu, thrust relatif konstan pada 250–500 rpm sekitar 0,0048–0,0046 N tetapi meningkat drastis pada 1000 rpm menjadi 0,07098 N.

Pola ini mengindikasikan bahwa pada rentan rpm rendah hingga menengah, penambahan putaran tidak efektif meningkatkan gaya dorong akibat adanya efek kehilangan aliran (recirculation/induksi) dan geometri blade namun pada rpm tinggi, wake menjadi sangat terarah sehingga konversi energi rotasi menjadi energi kinetik fluida meningkat tajam, menghasilkan lonjakan thrust meskipun torsi yang diperlukan juga jauh lebih besar.

Velocity Streamlines Propeller 4 blade dengan variasi kecepatan



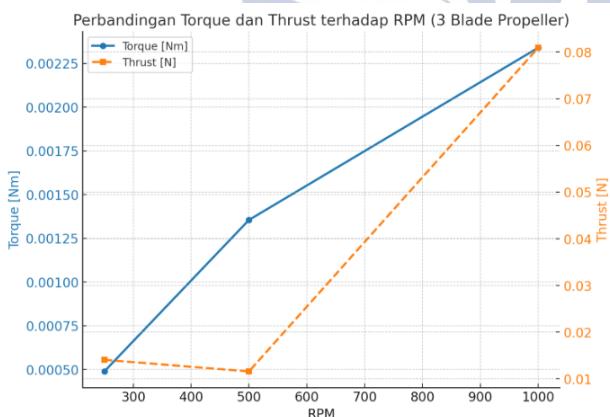
Gambar 10 Perbandingan Velocity Streamlines Dengan Variasi Kecepatan a) Tipe - 1, b) Tipe - 2, c) Tipe - 3

Berdasarkan hasil simulasi, pada putaran 250 rpm pola streamline di sekitar propeller 4 blade masih terlihat stabil dengan dominasi warna biru-hijau yang

menunjukkan kecepatan fluida relatif rendah, di bawah 5 m/s. Aliran di sekitar bilah tampak lebih rapat dibandingkan propeller 3 blade, menandakan penambahan jumlah bilah mampu meningkatkan interaksi fluida meskipun thrust yang dihasilkan masih terbatas pada putaran rendah. Ketika kecepatan meningkat menjadi 500 rpm, distribusi aliran semakin jelas dengan dominasi warna hijau hingga kuning serta kecepatan maksimum mencapai 7,3 m/s. Pola wake di belakang propeller terlihat lebih rapat dan teratur, menandakan aliran fluida semakin ter dorong ke belakang dengan konversi energi yang lebih efisien. Kondisi ini sesuai dengan karakteristik propeller 4 blade yang mampu menjaga ketabilan aliran pada kecepatan menengah.

Pada putaran 1000 rpm, pola streamline mengalami peningkatan signifikan dengan dominasi warna merah yang menandakan percepatan fluida hingga 17,45 m/s. Wake yang terbentuk jauh lebih panjang dan menyebar, menunjukkan percepatan aliran tinggi akibat putaran bilah. Hal ini memperlihatkan bahwa propeller 4 blade mampu menghasilkan distribusi energi yang lebih merata dengan intensitas dorong yang besar, sehingga thrust yang dihasilkan pada kondisi ini meningkat secara signifikan dibandingkan pada putaran rendah maupun menengah.

Perbandingan Nilai Thrust Dan Torque Pada Variasi Jumlah 5 blade Dan Kecepatan

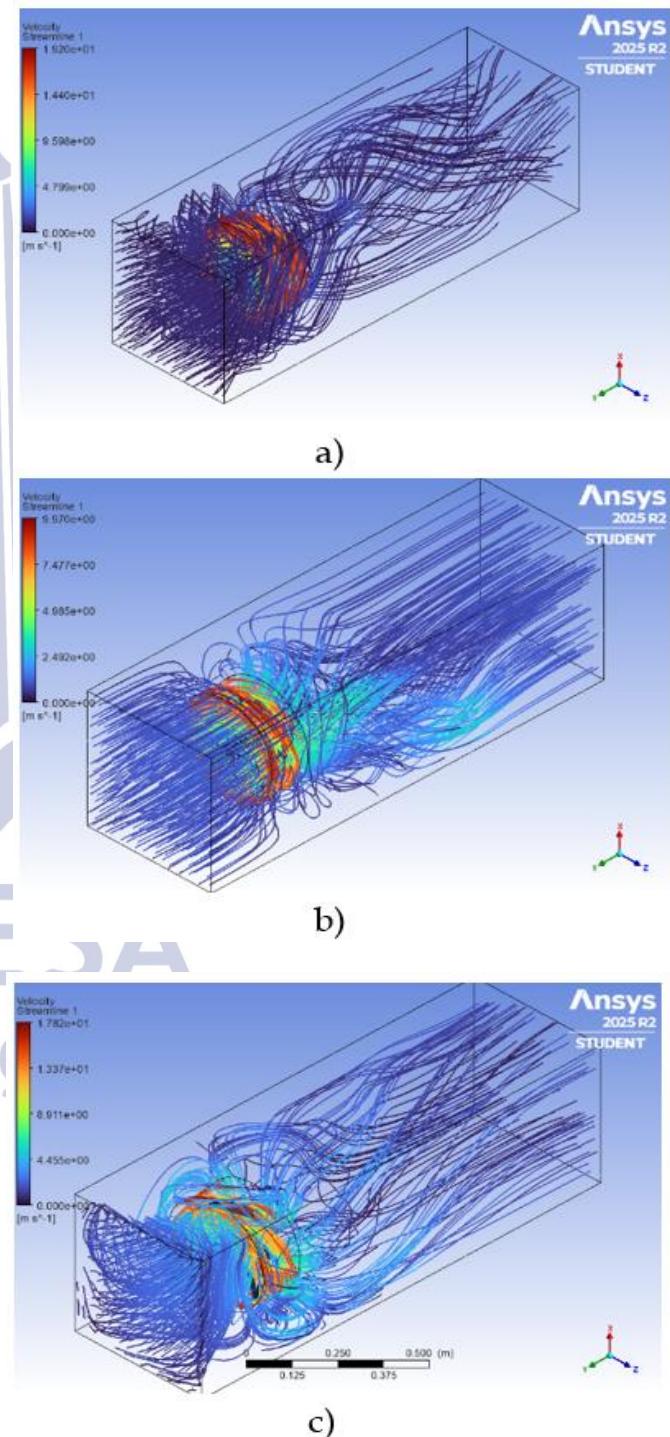


Gambar 11 Grafik perbandingan nilai torque dan thrust terhadap rpm pada 5 blade propeller

Pada grafik torsi terlihat adanya kenaikan cukup signifikan dari 0,0054 Nm pada putaran 250 rpm menjadi 0,0517 Nm pada 500 rpm. Namun, saat kecepatan ditingkatkan hingga 1000 rpm, nilai torsi menurun ke 0,0217 Nm. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kecepatan putar biasanya meningkatkan beban torsi, pada kasus ini justru terjadi indikasi kehilangan efisiensi aliran seperti flow separation atau kavitas yang menyebabkan penurunan torsi. Pola serupa juga terlihat pada grafik thrust, di mana gaya dorong meningkat dari 0,1906 N pada 250 rpm hingga mencapai titik tertinggi 0,4908 N pada 500 rpm, lalu turun drastis menjadi 0,1608 N pada 1000 rpm akibat gangguan aliran dan kavitas pada bilah propeller.

Secara keseluruhan, hasil simulasi memperlihatkan bahwa propeller dengan 5 bilah memiliki kinerja optimum pada 500 rpm, karena baik nilai torsi maupun thrust sama-sama mencapai titik maksimum pada kecepatan tersebut. Sebaliknya, peningkatan putaran hingga 1000 rpm tidak memberikan tambahan performa, melainkan justru menurunkan efisiensi sistem propulsi.

Velocity Streamlines Propeller 5 blade dengan variasi kecepatan



Gambar 12 Perbandingan Velocity Streamlines Dengan Variasi Kecepatan a) Tipe - 1, b) Tipe - 2, c) Tipe - 3

Simulasi aliran pada propeller 5-blade dengan variasi putaran 250 rpm, 500 rpm, dan 1000 rpm memperlihatkan perbedaan pola streamlines yang cukup jelas. Pada kecepatan rendah (250 rpm), aliran relatif stabil dengan vorteks kecil di bagian belakang propeller sehingga menghasilkan thrust sekitar 0,006 N dengan torsi 0,00055 N·m. Saat kecepatan meningkat menjadi 500 rpm, aliran fluida di sekitar ujung bilah semakin cepat dan terbentuk vorteks yang lebih nyata. Kondisi ini mendorong peningkatan thrust hingga $\pm 0,013$ N, serta torsi sekitar 0,0016 N·m. Namun pada putaran tinggi (1000 rpm), distribusi aliran semakin kompleks dengan banyaknya vorteks pada daerah wake, yang menandakan bertambahnya energi turbulensi dan kerugian energi akibat interaksi antar bilah. Thrust memang naik hingga 0,022 N, tetapi torsi juga melonjak signifikan menjadi 0,0040 N·m.

Efisiensi propeller yang dilihat dari rasio thrust terhadap torsi menunjukkan nilai tertinggi pada 500 rpm, menjadikannya titik operasi paling optimal dibandingkan 250 rpm maupun 1000 rpm. Secara umum, hasil simulasi ini mengindikasikan bahwa penambahan jumlah bilah pada propeller dapat meningkatkan kestabilan aliran pada kecepatan rendah hingga menengah, tetapi pada putaran tinggi justru menimbulkan kerugian energi akibat terbentuknya vorteks yang lebih intens. Temuan ini penting untuk dijadikan pertimbangan dalam menentukan kecepatan operasi ideal propeller 5-blade agar sistem propulsi bekerja dengan efisiensi maksimal.

PENUTUP

Simpulan

- Hasil terbaik variasi jumlah blade propeller terhadap pressure contour berpengaruh signifikan terhadap distribusi tekanan. Pada putaran rendah, perbedaan tekanan relatif kecil, tetapi meningkat tajam di 1000 rpm sehingga berpotensi menimbulkan kavitas. Propeller 4 bilah menunjukkan distribusi tekanan paling merata dan aliran stabil, sedangkan propeller 5 bilah optimal pada 500 rpm namun kurang efisien di 1000 rpm akibat distribusi tekanan tidak merata.
- Hasil terbaik jumlah blade terhadap velocity contour juga memengaruhi pola aliran. Propeller 3 bilah masih menunjukkan vorteks pada rpm rendah, tetapi lebih terarah di 1000 rpm. Propeller 4 bilah menghasilkan wake yang stabil dengan distribusi kecepatan meningkat seiring rpm, sedangkan 5 bilah cenderung stabil di 250–500 rpm namun turbulen di 1000 rpm. Artinya, penambahan bilah meningkatkan kestabilan aliran pada putaran rendah–menengah, tetapi tidak selalu efektif pada rpm tinggi.
- Thrust dan torque dipengaruhi jumlah bilah serta kecepatan. Propeller 3 bilah menunjukkan torsi linier dengan thrust fluktuatif dan meningkat tajam di 1000 rpm. Propeller 4 bilah memperlihatkan torsi meningkat signifikan dan thrust stabil di 250–500 rpm, lalu melonjak di 1000 rpm. Propeller 5 bilah mencapai performa terbaik pada 500 rpm, tetapi menurun di 1000 rpm akibat aliran tidak stabil dan kavitas. Setiap jumlah bilah memiliki rentang rpm

optimal masing-masing.

SARAN

- Penelitian berikutnya disarankan untuk memasukkan analisis fenomena kavitas secara lebih rinci, mengingat hasil simulasi menunjukkan adanya potensi kavitas pada propeller 3 blade dan 5 blade pada kecepatan tinggi.
- Perlu dilakukan variasi parameter desain lainnya, seperti pitch, diameter, rake angle, maupun bentuk tip blade untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi propulsi.
- Simulasi numerik dapat dikombinasikan dengan model propeller ducted (kort nozzle) untuk melihat peningkatan efisiensi pada kapal dengan kebutuhan dorong tinggi

DAFTAR PUSTAKA

- Fox dan McDonalds. (2011). *Introduction to Fluid Mechanics 8th Edition*.
- Manley, J. E. (2008). *Unmanned surface vehicles, 15 years of development*. In Proceedings of IEEE OCEANS 2008 (pp. 1-4). Quebec City, Canada.
- Bouregba, F., Belkadi, M., Aounallah, M., & Adjlout, L. (2019). Effect of the Blade Number on the Marine Propeller Performance. *EPJ Web of Conferences*, 213, 02007.
- Aris Sarjito. (2019). *Peran teknologi dalam pembangunan kemaritiman Indonesia*. Jurnal Lemhannas RI.
- Trimulyono, A., Santosa, P. I., & Anugraha, R. (2016). *Analisa Efisiensi Propeller B-Series dan Kaplan pada Kapal Tugboat ARI 400 HP dengan Variasi Jumlah Daun dan Sudut Rake Menggunakan CFD*. Jurnal Kapal, 13(2), 63–70.
- Fitriady, A., Adam, N. A., & Quah, C. (2020). Computational Prediction of a Propeller Performance in Open Water Condition. *Sinergi*, 24(2), 163.
- Situmorang, R. N., Manik, P., & Santosa, A. W. B. (2020). *Analisa Nilai Thrust Optimum Propeller Pada Kapal Tugboat Pelabuhan Paket-II 2x1850HP Dengan Variasi Diameter Propeller, Jumlah Daun Propeller & Kecepatan Putaran Propeller (RPM)*. Jurnal Teknik Perkapalan, 8(3), 111–116.
- Putra, R. D., Sirwansyah, Z., & Hasdiansah. (2024). Optimasi Variasi Jumlah Blade Inlet Turbo Pada Waterjet Thruster Mini Produk 3D Printing Dengan Filamen ST PLA Terhadap Gaya Dorong Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 2(1), 15–23.
- Xinyi Li, Wentao Wang, Decheng Wan. (2024). *Propeller hydrodynamic performance in water-air-bubble-mixed flows*. In Proceedings of the

*34th International Ocean and Polar Engineering
Conference (ISOPE 2024), Rhodes, Greece,
June 16–21, 2024.*

