

Studi Numerik Kavitasi dan *Performance* dari *Propeller* DTMB 4119 dengan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

Haifa Gasani Pasa ^{1*}, Dr. Agung Purwana, S.T., M.T. ², Heroe Poernomo, S.T., M.T. ³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia¹

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: haifagasani@student.ppns.ac.id^{1*}; agung_purwana@ppns.ac.id^{2*}; poernomo_heroe@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - The propeller with its working principle is to convert rotational power into thrust in a fluid such as water or air. The propeller blade functions like a wing, generating a force based on Bernoulli's principle and Newton's laws of motion, which creates a pressure difference between the face and back surfaces. This pressure difference causes cavitation, which is the formation of gas bubbles on the propeller leaf. Cavitation can damage the propeller leaf material and reduce efficiency, resulting in reduced thrust. This study analyzes cavitation and performance of DTMB 4119 propeller using Computational Fluid Dynamics (CFD) based software. The results show that the thrust coefficient and torque coefficient increase, but the efficiency of both propellers and their variations decrease as cavitation increases.

Keyword: DTMB 4119 Propeller, Cavitation, Performance, Computational Fluid Dynamic (CFD)

NOMENCLATUR

K_T	: Koefisien <i>thrust</i>
K_Q	: Koefisien <i>torque</i>
J	: Koefisien <i>advanced</i>
V_a	: <i>Velocity advance</i> (m/s)
D	: Diameter <i>propeller</i> (m)
n	: Putaran (rpm)
T	: <i>Thrust</i> (N)
Q	: <i>Torque</i> (Nm)
η_o	: Efisiensi <i>open water</i>
ρ	: Massa jenis air laut (kg/m ³)
π	: Pi
g	: gravitasi bumi (m/s ²)

1. PENDAHULUAN

Propeller berfungsi sebagai komponen yang mengubah tenaga rotasi menjadi daya dorong dalam fluida, seperti air atau udara. Prinsip kerjanya didasarkan pada prinsip Bernoulli dan hukum Newton, yang menciptakan perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang *propeller*. Perbedaan kecepatan pada foil *propeller* menyebabkan perbedaan tekanan pada bilahnya, yang akhirnya dapat memicu terjadinya kavitasi. Kavitasi adalah fenomena terbentuknya gelembung-gelembung di sekitar bilah *propeller* akibat penurunan tekanan dengan suhu tetap, yang menyebabkan penguapan meskipun air biasanya mendidih pada suhu 100 derajat Celsius. Kavitasi pada bilah *propeller* dapat merugikan, seperti menyebabkan kerusakan material berupa lubang atau bahkan patah, sehingga menurunkan efisiensi *propeller*. Penurunan efisiensi ini berdampak pada berkurangnya daya dorong atau performa *propeller*. Oleh karena itu, desainer harus menyeimbangkan antara kinerja kavitasi dan efisiensi, sementara pemilik *propeller* mungkin

harus mengeluarkan biaya lebih untuk perbaikan. Untuk itu, analisis kavitasi perlu dilakukan agar dapat menemukan desain *propeller* yang optimal. [1].

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini penulis akan membahas tentang Analisis Pengaruh Kavitasi Terhadap *Performance* Dari *Propeller* DTMB Dengan Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Hal ini diperlukan untuk menguji performa yang dihasilkan oleh *propeller* pada saat kondisi kavitasi. Sehingga hasil yang diperoleh dari pengujian ini nantinya bisa menjadi bahan rekomendasi kepada desainer maupun pemilik (*owner*) tentang desain *propeller* DTMB. Selain itu, penulis memilih metode CFD karena lebih murah dan cepat, jika dibandingkan dengan pengujian eksperimen pada lab. hidrodinamika yang membutuhkan biaya lebih mahal dan waktu lebih lama.

2. METODOLOGI

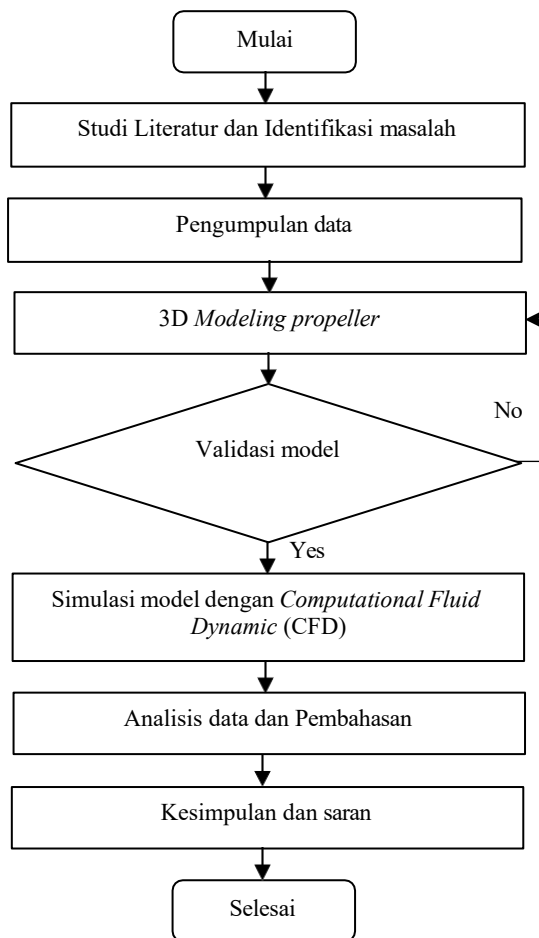
Data yang dipergunakan oleh bersumber dari [2]. data yang diperoleh adalah *propeller profile* dengan diameter *blade full scale*. Berikut ini adalah data utama *propeller* yang digunakan

Tabel 1. Data Utama *Propeller*

Tipe <i>propeller</i>	DTMB 4119
Rotasi	Kanan
Diameter	6150 mm
Rpm	180
Skew	0°
<i>Blade area ratio</i>	0,7

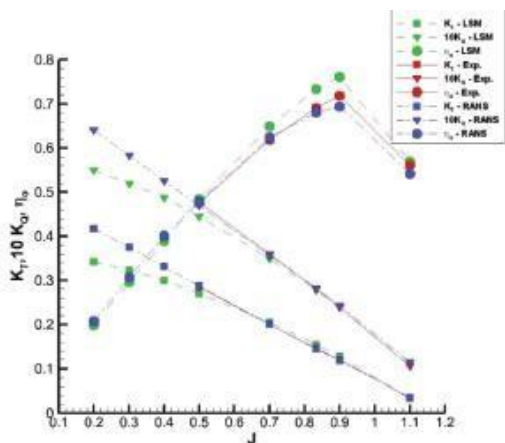
Berikut merupakan alur dari pengerjaan pada

penelitian ini yang digagas oleh penulis.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Model *propeller* dibuat menggunakan perangkat lunak MATLAB OpenProp dan SolidWorks. Secara umum, karakteristik propeller kapal dalam kondisi uji open water (yang menjadi fokus penelitian ini) direpresentasikan dalam diagram KT-KQ-efisiensi. Grafik KT-KQ-efisiensi ini ditampilkan pada Gambar 2 berikut [2].



Gambar 2. Grafik K_T- 10K_Q-η

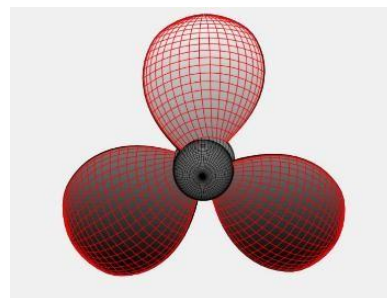
Perhitungan koefisien *thrust*, koefisien *torque*, dan efisiensi dilakukan untuk memvalidasi persentase kesalahan pada koefisien *thrust*, koefisien *torque*, dan efisiensi. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi CFD dengan nilai koefisien *thrust*, koefisien *torque*, dan efisiensi. Kesalahan nilai koefisien *thrust*, koefisien *torque*, dan efisiensi tidak melebihi 10%. Model persamaan untuk performa *propeller* adalah sebagai berikut [3].

1. Koefisien *advanced*
$$j = \frac{V_s}{nD}$$
2. Koefisien *Thrust*
$$KT = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$
3. Koefisien *Torque*
$$KQ = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$
4. Efisiensi
$$\eta_o = \frac{KT \cdot j}{KQ \cdot 2\pi}$$

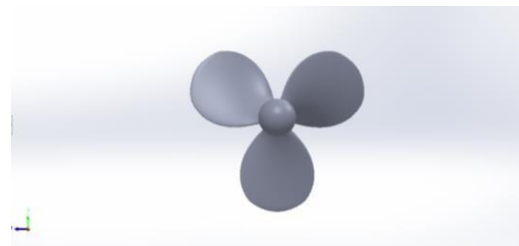
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 3D Modelling Propeller

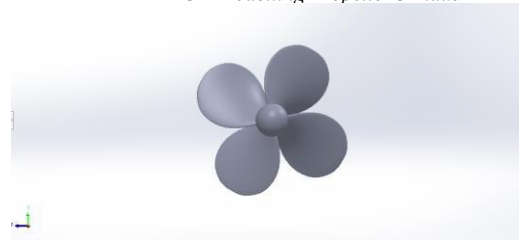
Untuk 3D *modelling propeller* yang akan digunakan pada simulasi menggunakan *software* matlab openprop dan solidworks, berikut hasilnya.



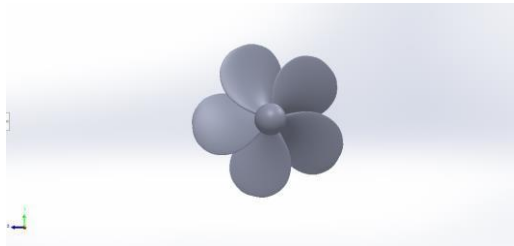
Gambar 3. 3D Modelling Propeller pada Matlab Openprop



Gambar 4. 3D Modelling Propeller 3 Blade



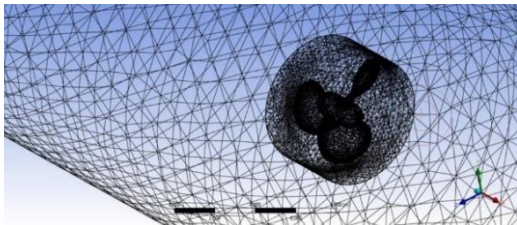
Gambar 5. 3D Modelling Propeller 4 Blade



Gambar 6. 3D Modelling Propeller 5 Blade

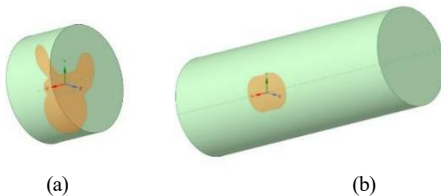
3.2 Geometry dan Setup

Setelah proses desain selesai, uji simulasi akan dilakukan dengan menetapkan kondisi batas pada *domain stationary* (tetap) dengan kecepatan aliran (*velocity magnitude*) dan *domain rotating* (berputar). *Domain Rotating* ini dipengaruhi oleh putaran *propeller*. Tahapan dalam proses simulasi meliputi pembuatan *geometry*, *meshing*, *set-up*, solusi, dan analisis hasil.



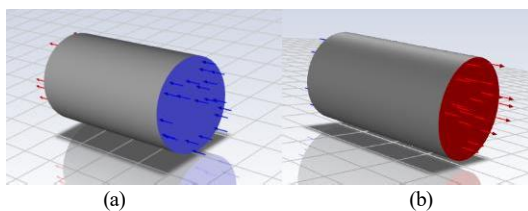
Gambar 7. Meshing pada Model

Setelah menyelesaikan serangkaian tahap persiapan simulasi, termasuk input *geometry* dan *meshing*, proses *set up* data dilakukan dengan menggunakan *boundary condition* yang telah ditentukan..



Gambar 8. (a) Pengaturan *Domain Rotating* (b) Pengaturan *Domain Stationary*

Setelah pengaturan dasar *domain stationary* selesai, langkah berikutnya adalah mengatur *setting* untuk *subdomain inlet*, *outlet*, *wall*, dan *interface*. Untuk *subdomain inlet*, detail *boundary normal speed* diatur dengan input *Velocity advance* (V_a). Kemudian, pengaturan *subdomain outlet* dilakukan. Arah keduanya ditampilkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. (a) *Sub Domain Inlet* (b) *Sub Domain Outlet*

3.3 Hasil Simulasi

Pada hasil dari simulasi CFD, pertama dilakukan ujicoba simulasi pada *propeller* dengan simulasi satu fase yang menghasilkan nilai *pressure*, *turbulent kinetic energy* dan simulasi menggunakan dua fase yang menghasilkan kavitasi. Dengan *advance coefficient* (J) yang digunakan adalah 0,20.

Penentuan *advance coefficient* (J) pada pengujian ini diasumsikan pada kasus kecepatan kapal masih rendah namun putaran *propeller* tetap sehingga timbul fenomena terjadinya kavitasi pada permukaan *propeller*. Dengan putaran 180 RPM untuk *propeller* DTMB 4119. Sehingga diperoleh V_a pada *propeller* DTMB 4119 dengan rumus persamaan sebagai berikut.

$$J = \frac{V_a}{n D}$$

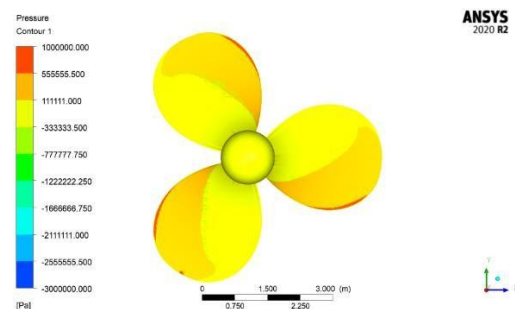
$$0,20 = \frac{V_a}{3 \times 6,15}$$

Maka, $V_a = 3,69 \text{ m/s}$

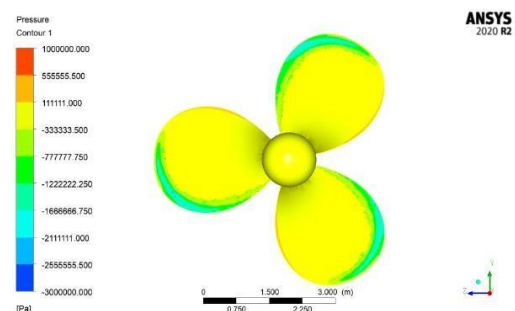
3.4 Hasil Pressure

Berikut hasil simulasi dengan *contour set range* yang sama yaitu -3000000 Pa sampai 1000000 Pa.

1. Propeller DTMB 4119 3 blade



Gambar 10 Hasil pressure 3 blade face

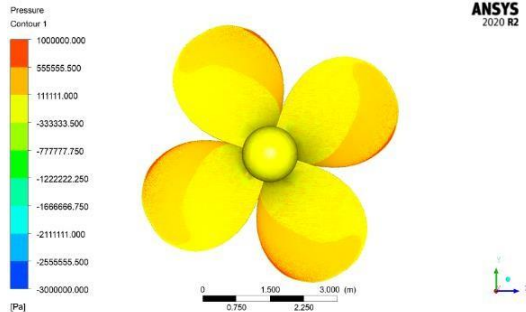


Gambar 11 Hasil pressure 3 blade back

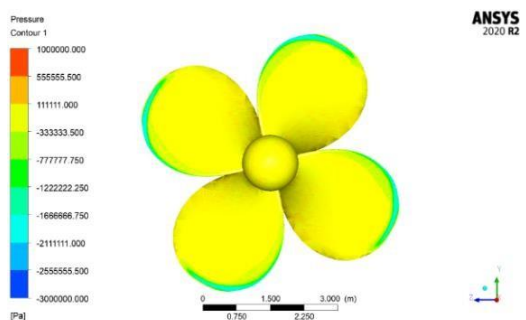
Dari perbandingan gambar, pada bagian *face* dengan koordinat $x=0,486855$ $y=-1,14815$ $z=2,22253$ mengalami tekanan yang relatif tinggi yaitu 747619 Pa, atau dapat dilihat dengan *contour* warna merah tekanan semakin tinggi. Sedangkan pada bagian *back* dengan koordinat

$x=0,302569$ $y=-0,738025$ $z=2,65774$ mengalami tekanan yang relatif rendah yaitu -1702590 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna biru tekanan semakin rendah, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada tabel 2.

2. Propeller DTMB 4119 4 blade



Gambar 12 Hasil pressure 4 blade face



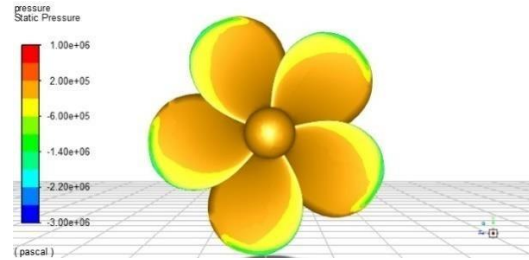
Gambar 13 Hasil pressure 4 blade back

Dari perbandingan gambar, pada bagian *face* dengan koordinat $x=0,399183$ $y=0,388892$ $z=2,70473$ mengalami tekanan yang relatif tinggi yaitu 660067 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna merah tekanan semakin tinggi. Sedangkan pada bagian *back* dengan koordinat $x=0,425613$ $y=0,343147$ $z=2,69242$ mengalami tekanan yang relatif rendah yaitu -2684150 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna biru tekanan semakin rendah, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada tabel 2.

3. Propeller DTMB 4119 5 blade



Gambar 14 Hasil pressure 5 blade face



Gambar 15 Hasil pressure 5 blade back

Dari perbandingan gambar, pada bagian *face* dengan koordinat $x=0,51271564$ $y=-1,3779815$ $z=2,0318074$ mengalami tekanan yang relatif tinggi yaitu 688489 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna merah tekanan semakin tinggi. Sedangkan pada bagian *back* dengan koordinat $x=0,30604944$ $y=-1,0969766$ $z=2,685827$ mengalami tekanan yang relatif rendah yaitu -22003714 Pa, atau dapat dilihat dengan contour warna biru tekanan semakin rendah, untuk lebih spesifik dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Hasil pressure

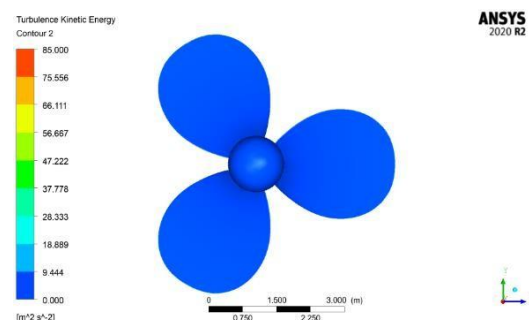
Hasil Pressure Variasi Blade Pada Propeller DTMB 4119		
Number of Blade	Face	Back
3	747619 Pa	-1702590 Pa
4	660067 Pa	-2684150 Pa
5	688489 Pa	-2200371 Pa

Mengacu pada konsepnya kavitasi akan terjadi apabila tekanan kurang dari tekanan *vapor* (3540 Pa), dapat dilihat pada tabel hasil *pressure* diatas bahwa *propeller* dengan 3 *blade* menghasilkan *pressure* tertinggi pada bagian *face*, diikuti dengan variasi 5 *blade*, dan 4 *blade* yang menghasilkan *pressure* terendah pada bagian *face*. Sementara itu, pada bagian *back* dengan *pressure* terendah dihasilkan oleh *propeller* dengan variasi 4 *blade* diikuti dengan variasi 5 *blade*, dan 3 *blade* yang menghasilkan *pressure* tertinggi pada bagian *back*.

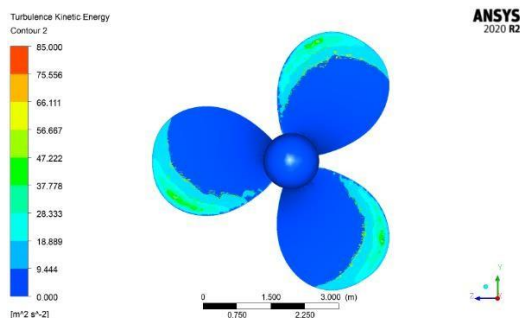
3.5 Hasil Turbulent Kinetic Energy

Berikut hasil simulasi dengan *contour set range* yang sama yaitu 0 J/kg sampai 85 J/kg.

1. Propeller DTMB 4119 3 blade



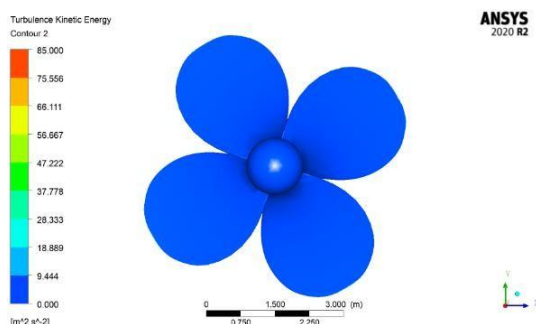
Gambar 16 Hasil TKE 3 blade face



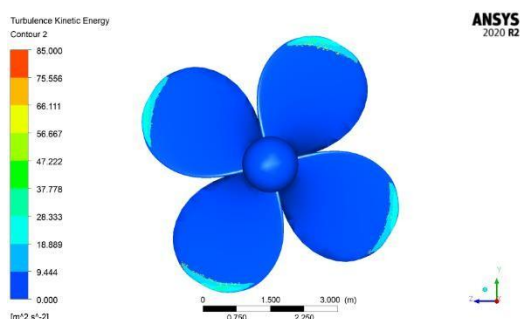
Gambar 17 Hasil TKE 3 blade back

Dari perbandingan gambar, pada bagian face dengan koordinat $x=0,486855$ $y=-1,14815$ $z=2,22253$, terdapat turbulent kinetic energy yang relatif rendah, yaitu 1,51123 J/kg, yang ditunjukkan dengan warna biru pada contour, mengindikasikan semakin rendahnya turbulent kinetic energy. Sementara itu, pada bagian back dengan koordinat $x=0,302569$ $y=-0,738025$ $z=2,65774$, turbulent kinetic energy yang relatif tinggi sebesar 45,9681 J/kg terdeteksi, yang ditunjukkan dengan warna merah pada contour, menandakan semakin tingginya turbulent kinetic energy. Untuk lebih detail, dapat dilihat pada tabel 3.

2. Propeller DTMB 4119 4 blade



Gambar 18 Hasil TKE 4 blade face

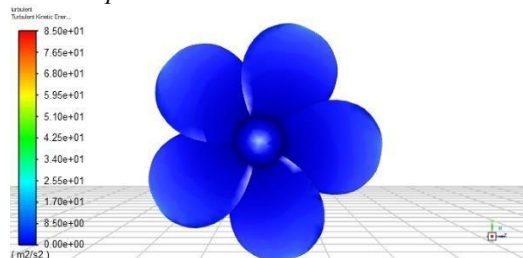


Gambar 19 Hasil TKE 4 blade back

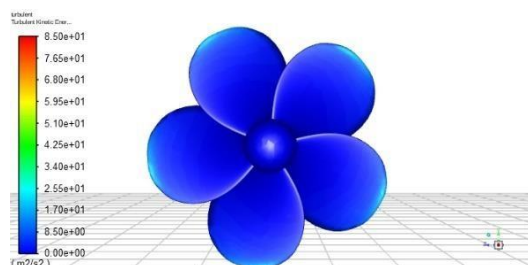
Dari perbandingan gambar, pada bagian face dengan koordinat $x=0,399183$ $y=0,388892$ $z=2,70473$, turbulent kinetic energy yang relatif rendah terdeteksi pada nilai 2,1763 J/kg, yang ditunjukkan dengan warna biru pada contour,

menandakan bahwa turbulent kinetic energy semakin rendah. Sebaliknya, pada bagian back dengan koordinat $x=0,425613$ $y=0,343147$ $z=2,69242$, terdapat turbulent kinetic energy yang relatif tinggi sebesar 3,09143 J/kg, yang ditunjukkan dengan warna merah pada contour, menandakan semakin tingginya turbulent kinetic energy. Untuk detail lebih spesifik, bisa dilihat pada tabel 3.

3. Propeller DTMB 4119 5 blade



Gambar 20 Hasil TKE 5 blade face



Gambar 21 Hasil TKE 5 blade back

Dari perbandingan gambar, pada bagian face dengan koordinat $x=0,51271564$ $y=-1,3779815$ $z=2,0318074$, turbulent kinetic energy yang relatif rendah sebesar 1,41942 J/kg terdeteksi, yang ditunjukkan dengan warna biru pada contour, menandakan semakin rendahnya turbulent kinetic energy. Sebaliknya, pada bagian back dengan koordinat $x=0,30604944$ $y=-1,0969766$ $z=2,685827$, turbulent kinetic energy yang relatif tinggi sebesar 7,09704 J/kg terdeteksi, yang ditunjukkan dengan warna merah pada contour, menandakan semakin tingginya turbulent kinetic energy. Untuk detail lebih spesifik, bisa dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil TKE

Hasil Turbulent Kinetic Energy Variasi Blade Pada Propeller DTMB 4119		
Number of Blade	Face	Back
3	1,51123 J/kg	45,9681 J/kg
4	2,1763 J/kg	3,09143 J/kg
5	1,41942 J/kg	7,09704 J/kg

Dapat dilihat dengan mengacu pada tabel hasil turbulent kinetic energy diatas bahwa propeller dengan 4 blade menghasilkan turbulent kinetic energy tertinggi pada bagian face, diikuti dengan 3 blade, dan 4 blade yang menghasilkan turbulent

kinetic energy terendah pada bagian *face*. Sementara itu, pada bagian *back* dengan *turbulent kinetic energy* tertinggi dihasilkan oleh *propeller* dengan 3 *blade* diikuti dengan variasi 5 *blade*, dan 4 *blade* yang menghasilkan *turbulent kinetic energy* terendah pada bagian *back*.

3.6 Hasil Performance

Pada pengujian *performance* didapatkan hasil simulasi didapatkan nilai *thrust* dan juga nilai *torque*. Kemudian dari hasil tersebut dapat dilakukan perhitungan koefisien *thrust*, koefisien *torque*, dan efisiensi *propeller*.

Tabel 4 Hasil Performance

Hasil Performance			
Blade	3	4	5
T	5030153,6 N	6210909,3 N	6473874,4 N
Q	4742864,6 Nm	5749183,5 Nm	6000373,8 Nm
KT	0,381166	0,470639	0,490566
KQ	0,0584385	0,0708389	0,0739327
η_o	0,207618	0,211479	0,211208

Dapat dilihat berdasarkan hasil *performance* dari *propeller* DTMB, menunjukkan bahwa dengan variasi penambahan 4 *blade* sampai 5 *blade* menghasilkan nilai *thrust* yang semakin meningkat. Begitu juga dengan nilai *torque* yang dihasilkan ikut meningkat. Namun setelah melalui perhitungan nilai efisiensi, *propeller* dengan variasi 4 *blade* menghasilkan efisiensi lebih baik. Dengan selisih yang tidak terlalu signifikan terhadap variasi 5 *blade*.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi 4 *blade* pada *propeller* DTMB 4119 memberikan potensi lebih besar untuk terjadinya kavitasi. Hal ini disebabkan karena pada bagian *back* menghasilkan *pressure* yang sangat rendah yaitu -2684150 Pa, daripada *propeller* 3 *blade* maupun dengan variasi 5 *blade*.
2. Semakin bertambahnya variasi pada *blade* maka akan semakin besar juga *thrust* dan *torque* yang dihasilkan, namun setelah melalui perhitungan efisiensi *propeller* dengan variasi 4 *blade* yang menghasilkan efisiensi tertinggi dengan nilai 0,211479. Berbanding sedikit dengan variasi 5 *blade* dengan nilai 0,211208. Sedangkan pada *propeller* 3 *blade* menghasilkan nilai terendah dengan nilai 0,207618.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suranto, M. (2018) *Skripsi-Me 141501 Analisa Kavitas Surface Pada Daun Propeller Wageningen Series C4-40 Dengan Cfd*.
- [2] Sezen, S., & Bal, S. (2018). *Cavitation analyses of DTMB 4119 propeller with LSM and URANS approach*.
- [3] Bernitsas, M. M., Ray, D., & Kinley, P. (1981). *KT, KQ and Efficiency Curves for the Wageningen B-series Propellers*.
- [4] Purwana, A., Ariana, I. M., Handani, D. W., & Wardhana, W. (2018). *Performance and Noise Prediction of Marine Propeller Using Numerical Simulation. IPTEK Journal of Proceedings Series, 4(1), 20*.
- [5] Purwana, A., Wardhana, W., Ariana, I. M., & H, D. W. (2018). *Numerical Study on Cavitation Noise of Symmetrical Blade Submarine Propeller. Msmi, 1–12*
- [6] Purwana, A., Ariana, I. M., & Wardhana, W. (2021). *Numerical study on the cavitation noise of marine skew propellers. Journal of Naval Architecture and Marine Engineering, 18(2), 97-107*.