

ANALISIS TEGANGAN *PROPELLER* KAPAL PENANGKAP IKAN DI KOTA DUMAI MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS*

Rizqi Ilmal Yaqin¹, Juniawan Preston Siahaan¹, Sigiet Haryo Pranoto²

¹Program Studi Permesinan Kapal, Politeknik Kelautan dan Perikanan Dumai

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur

Email: ¹r.ilmalyaqin@politeknikkpdumai.ac.id

Abstrak

Propeller merupakan salah satu komponen pada kapal penangkap ikan yang memiliki fungsi untuk menggerakkan kapal. Efisiensi dari *propeller* kapal sangat berpengaruh langsung terhadap mesin utama penggerak pada kapal penangkap ikan. Beberapa kondisi, *propeller* kapal dirancang untuk menyerap daya seminimal mungkin dan memberikan efisiensi gerak kapal semaksimal mungkin. Gaya rotasi *propeller* kapal akan menciptakan gaya dorong kapal. Gaya yang bekerja pada *propeller* kapal terjadi karena adanya gaya dari dorongan dan gaya centrifugal serta torsi dari *propeller* kapal pada setiap *blade* yang disebabkan revolusi di sekitar sumbu putar *propeller* kapal. Oleh karena itu, perhitungan tegangan yang dihasilkan dari gaya-gaya pada *propeller* kapal sangat sulit di perhitungkan secara akurat. *Finite Element Analysis (FEA)* telah menjadi solusi untuk memprediksi dari suatu kekuatan material yang tidak dapat ditunjukkan dalam teoritis dan memungkinkan desainer untuk melihat semua gaya secara teoritis yang terjadi pada model. Penelitian ini menggunakan material paduan tembaga yang memiliki *number of element* sebesar 406674 dan jumlah *nodes* 640321. Hasil yang didapatkan yaitu tegangan maksimu *Von Mises* yaitu sebesar $2,068 \times 10^5$ Mpa. Sedangkan nilai regangan maksimum yaitu sebesar 0,2448 dan nilai displacement maksimum sebesar 133 mm. Nilai *safety factor* pada penelitian ini sangat rendah yaitu 0. Sehingga geometri desain model *propeller* sangat rawan terjadi kegagalan atau deformasi saat diaplikasikan.

Kata Kunci: Tegangan *Von Mises*, Displacement, Faktor Keamanan, *Finite Element Analysis*, *Propeller*

Abstract

Propeller is a component of a fishing vessel that has a function to move the ship. The efficiency of a ship propeller has a direct effect on the main engine driving on a fishing vessel. Some conditions, ship propellers are designed to absorb as little power as possible and provide the maximum efficiency of ship movements. The rotation type of the ship's propeller will create the thrust of the ship. The force acting on the ship propeller occurs because of the force of the impulse and the centrifugal force and torque of the ship propeller on each blade caused by the revolution around the rotating axis of the ship propeller. Therefore, the calculation of the stress generated from the forces on the ship propeller is very difficult to calculate accurately. *Finite Element Analysis (FEA)* has become a solution for predicting from a material strength that cannot be shown in theory and allows designers to see all the theoretical styles that occur in the model. This study uses copper alloy material that has the number of element of 406674 and the number of nodes 640321. The results obtained are the maximum von mises stress which is equal to $2,068 \times 10^5$ Mpa. While the maximum strain value is equal to 0.2448 and the maximum displacement value is 133 mm. The safety factor value in this study is very low at 0. So, the design geometry of the propeller model is very prone to failure or deformation when applied.

Keywords: Von Mises Stress, Displacement, Safety Factor, *Finite Element Analysis*, *Propeller*.

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara maritim yang besar dengan luas lautannya 5,9 juta km² dan panjang garis pantainya yaitu 81.000 km (Lasabuda, 2013). sehingga Indonesia memiliki kekayaan laut yang sangat melimpah. Salah satu cara pemanfaatan dari sumber daya laut yaitu dengan penangkapan ikan yang ada di laut. Kapal penangkap ikan menggerakkan kapal dengan menggunakan *propeller*. *Propeller* pada kapal umumnya berguna untuk mentransformasikan gerak rotasi dari mesin penggerak menjadi gaya dorong untuk membantu kapal bergerak maju atau mundur. Kerja dari *propeller* itulah yang membuat gaya penggerak kapal menjadi besar saat laju kapal rendah (Babu & Padmanabhan, 2017). *Propeller* sangat berperan dalam efisiensi terhadap bahan bakar pada mesin utama penggerak kapal penangkap ikan saat bergerak (Zainol & Yaakob, 2016). Jadi, hasil kerja dari *propeller* sangat mempengaruhi kemampuan mesin penggerak utama pada kapal (Tan, Li, Li, & Liu, 2019). *Propeller* kapal penangkap ikan biasanya menggunakan material paduan aluminium atau paduan tembaga. Material tersebut digunakan karena memiliki kekuatan yang tinggi, keuletan yang baik, ringan, mudah di bentuk serta ketahanan korosi dan erosi yang baik di lingkungan air laut (Khashan, Khaleel, & Meteab, 2017).

Propeller kapal merupakan komponen kunci dari mekanisme gerak kapal dan memainkan peran utama dalam sistem propulsi pada kapal (Ishak, Sulaiman, Baharudin, & Syajaratunnur, 2017). Efisiensi *propeller* pada kapal ditentukan pada perancangan dari *propeller* kapal, karena terkait langsung dengan efisiensi dan stabilitas pada kapal (Carlton, 2007). Beberapa kondisi, *propeller* kapal dirancang untuk menyerap daya seminimal mungkin dan memberikan efisiensi gerak kapal semaksimal mungkin. Gerak rotasi *propeller* kapal akan menciptakan gaya dorong kapal. Hal ini menyebabkan alasan utama kelemahan struktur *propeller* terhadap erosi permukaan *blade* dan pengurangan ketebalan *blade* pada *propeller* kapal. Hal tersebut menyebabkan aliran kavitasi yang tinggi pada permukaan *blade* dan potensi tegangan pada *blade* tidak seimbang pada propulsi kapal.

Perbedaan tekanan yang dihasilkan antara permukaan *blade* pada sisi depan dan belakang yang berbentuk airfoil dan fluida ketika *propeller* bergerak dipercepat. Dinamika gerak *propeller* dapat dimodelkan dengan hukum kedua Bernoulli dan hukum ketiga Newton (Reddy & Rao, 2015). Gaya yang terjadi pada *propeller* terjadi ketika adanya pergerakan rotasi dari *propeller* tersebut. Hubungan dari pergerakan *propeller* yang bergerak melawan tahanan air yang terhadap torsi mesin penggerak menjadikan gaya dorong dan mengatasi resistansi kapal untuk menghasilkan gerak laju pada kapal (Oladokun, 2016). Namun, hasil dari gerakan tersebut menyebabkan *blade* pada *propeller* akan mengalami deformasi yang disebabkan gaya dari resistansi pada *propeller* tersebut.

Gaya yang bekerja pada *propeller* kapal terjadi karena adanya gaya dari dorongan dan gaya sentrifugal serta torsi dari *propeller* kapal tersebut pada setiap *blade* yang disebabkan revolusi di sekitar sumbu putar *propeller* kapal. Oleh karena itu, perhitungan tegangan yang

dihasilkan dari gaya-gaya pada *propeller* kapal sangat sulit di perhitungkan secara akurat (Rao, Rao, & Reddy, 2012). *Finite Element Analysis* adalah salah satu metode yang sangat populer dan banyak digunakan oleh peneliti dalam menganalisis tegangan dan menganalisis parameter lainnya (Lin, Lai, & Kuo, 2010). *Finite Element Analysis (FEA)* telah menjadi solusi untuk memprediksi dari suatu kekuatan material yang tidak dapat ditunjukkan dalam teoritis dan memungkinkan desainer untuk melihat semua gaya secara teoritis yang terjadi pada model (Rahmi, Canra, & Suliono, 2018) (Fadji, Coetzee, Berry, Ambaw, & Opara, 2018). Permodelan FEA menjadi alat untuk mengoptimalkan dalam perancangan suatu mesin (Pranoto & Mahardika, 2018) dan komponen mesin. Oleh karena itu, Permodelan *Finite Element Analysis (FEA)* dapat digunakan untuk menentukan kemampuan *propeller* terhadap tegangan yang terjadi pada bagian permukaan *blade*. FEA merupakan metode yang penting dalam menganalisis diantara metode CAE. Permodelan FEA memiliki tahapan pertama dengan pembuatan virtual dari bagian yang akan dianalisis dan menentukan komponen penyusun model tersebut seperti jenis material (Rahmi, Canra, & Suliono 2018) bentuk geometri dan sifat karakteristik dari model tersebut. Strategi pembagian elemen yang dirakit dihubungkan dengan *node*.

Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa *Finite Element Analysis* dapat menganalisa konsentrasi tegangan atau distribusi tegangan dan *displacement* pada suatu bentuk dan geometri tertentu (Pratama & Mahardika, 2018). Sedangkan perhitungan tegangan pada elemen-elemen pada *Finite Element Analysis* dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{Bmatrix} (1-\nu)\epsilon_x + \nu\epsilon_y + \nu\epsilon_z \\ \nu\epsilon_x + (1-\nu)\epsilon_y + \nu\epsilon_z \\ \nu\epsilon_x + \nu\epsilon_y + (1-\nu)\epsilon_z \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Dimana E adalah modulus young suatu bahan, l adalah panjang dari geometri bahan yang di modelkan (Dapas, 2011). *Propeller* dapat disimulasikan dengan menggunakan *Finite Element Analysis* menggunakan beberapa *software* yang sudah disediakan. Hasil dari simulasi *propeller* yang telah dilakukan dapat mendapatkan *von misses stress*, tegangan berdasarkan arah kerjanya, *strain* dan *safety factor* serta kecepatan dan tekanan yang ada pada *blade propeller* kapal dapat dihasilkan (Reddy & Rao, 2015). Penelitian yang lain membahas permodelan *propeller* dengan bahan komposit dengan *software CATIA*. Hasil yang didapatkan nilai kekuatan yang dihasilkan dari bentuk geometri *propeller* yang kompleks dengan kemiringan *pitch* pada *propeller* kapal (Suneetha, Rao, Vardhan, & Gowd, 2013). Sedangkan penelitian yang membahas tentang bentuk kompleks 3D pada *blade propeller* kapal dengan bahan perbandingan aluminium, *Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP)* dan *Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP)*. Hasil dari permodelan *Finite Element Analysis* dapat menyarankan bahan yang cocok dengan model *propeller* (Kishore S., Rao, & Babu, 2015).

Berdasarkan permasalahan dan paparan yang sudah dijelaskan diatas, penelitian ini melakukan analisis kekuatan dari *propeller* kapal yang ada di kota Dumai

akibat pengaruh pembebanan hasil dari gaya dorongan *thrust* yang dihasilkan dari pergerakan kapal yang ada menggunakan *Finite Element Analysis (FEA)*. Analisis FEA dapat memprediksi dari kekuatan yang ada pada *propeller* kapal yang telah di fabrikasi sehingga dapat mengetahui umur dari *propeller* kapal yang digunakan.

II. METODE

Simulasi *Finite Element Analysis (FEA)* dan gambar 3D model *propeller* kapal penangkap ikan menggunakan *software* Autodesk Inventor 2017. Model dari *propeller* kapal didapatkan dari bengkel kapal yang ada di kota Dumai. Pencarian data yang didapatkan dari kapal yang sedang di perbaiki. Model bentuk geometri dari *propeller* kapal yang akan diteliti ditunjukkan oleh Tabel 1. Bahan yang digunakan untuk penelitian permodelan *propeller* yaitu menggunakan paduan tembaga coran dengan sifat mekanik ditunjukkan pada Tabel 2. Bentuk *mesh* pada penelitian ini yaitu *tetrahedral* dengan jumlah *number of element* yaitu 406674. Sedangkan jumlah *node* pada *mesh* penelitian yaitu 640321 dengan *boundary condition* pada sisi dalam *propeller* berbentuk *fixed constraints*. Nilai gaya dorong atau *thrust force* pada *blade propeller* yang digunakan yaitu 232700 N.

Tabel 1. Geometri bentuk dari propeller kapal

Geometri	Nilai
Diameter lubang Poros	40 mm
Diameter <i>propeller</i>	120 mm
Jumlah <i>blade</i>	3
Tebal <i>Blade</i>	3 mm
Panjang <i>blade</i>	80 mm
Putaran <i>propeller</i>	Ke kanan
<i>Pitch propeller</i>	120 mm

Tabel 2 Sifat mekanis dari bahan *propeller* kapal

Sifat	Nilai
Densitas	7,64 g/cm ³
Modulus young	110 GPa
Poisson ratio	0,32
Yield strength	240 Mpa
Tensile strength	585 Mpa
Shear modulus	42 Gpa
Sifat	Isotropik

Nilai gaya dorongan *thrust* pada *propeller* kapal penangkap ikan dihitung menggunakan persamaan (1) dengan data kapal saat bergerak di daerah Dumai yang ditunjukkan pada Tabel 3. Beban yang didapatkan di distribusikan pada *blade propeller* kapal penangkap ikan yang sangat rentan terhadap gaya yang dihasilkan oleh kecepatan air saat bergerak. Gambar 1. Menunjukkan hasil *mesh* dan pengaplikasian beban merata pada *blade propeller* kapal. Hasil yang akan ditunjukkan yaitu *Von Mises Stress*, Tegangan pertama, tegangan ketiga, *Displacement*, Regangan, dan Angka keamanan dari *propeller* yang diaplikasikan dengan distribusi beban.

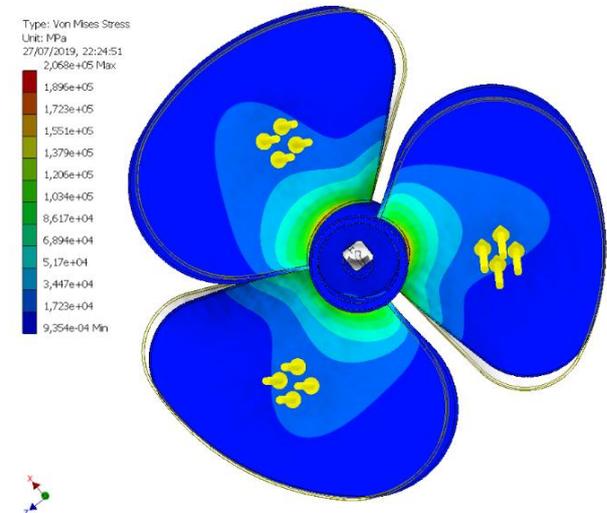
Tabel 3 Laju kapal di perairan Dumai

Kecepatan kapal	4 s/d. 7 knots
RPM kapal	240 rpm



Gambar 1. Penggunaan *tetrahedral* pada *mesh propeller* kapal

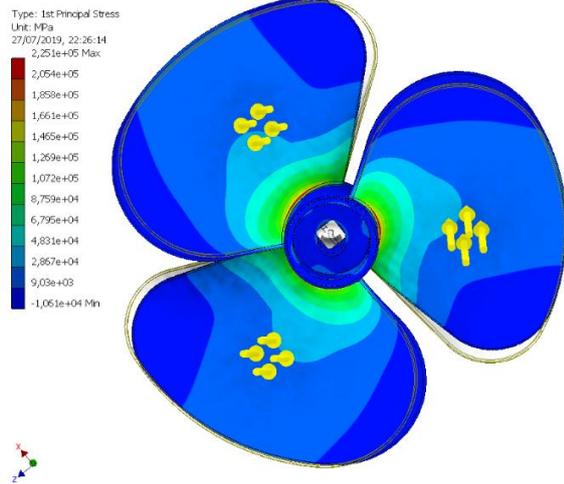
III. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Tegangan *Von Mises* pada *propeller*

Permodelan *Finite Element Analysis (FEM)* dari *propeller* kapal mendapatkan hasil yaitu tegangan *Von Mises*, tegangan utama, *displacement* dan angka keamanan yang dihasilkan dari perhitungan. Hasil dari tegangan *Von Mises* dari *propeller* kapal dapat ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil Permodelan *Finite Element Analysis (FEM)* didapatkan tegangan *Von Mises* maksimum pada daerah sambungan antara *blade propeller* dengan lubang poros *propeller* sebesar $2,068 \times 10^5$ Mpa. Fenomena tersebut dikarenakan adanya tumpuan jepit yang terjadi pada *blade propeller* sehingga konsentrasi tegangan akan menjadi ke titik terdekat dari sambungan tersebut. Sedangkan titik terjauh dari tumpuan tidak akan tertahan oleh tumpuan sehingga akan menjadi tegangan yang sangat kecil (Syafrizal, 2017) (Saputro, Hidayat, &

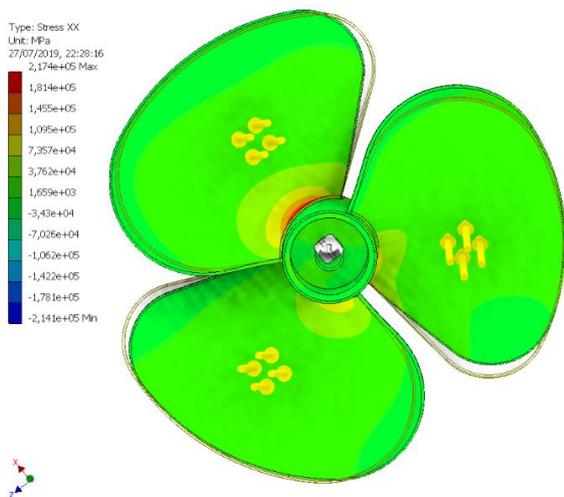
Qomaruddin, 2017). Daerah yang memiliki tegangan yang paling besar menjadi daerah yang paling kritis karena menerima beban yang sangat besar.



Gambar 3. Tegangan utama 1 pada *propeller*



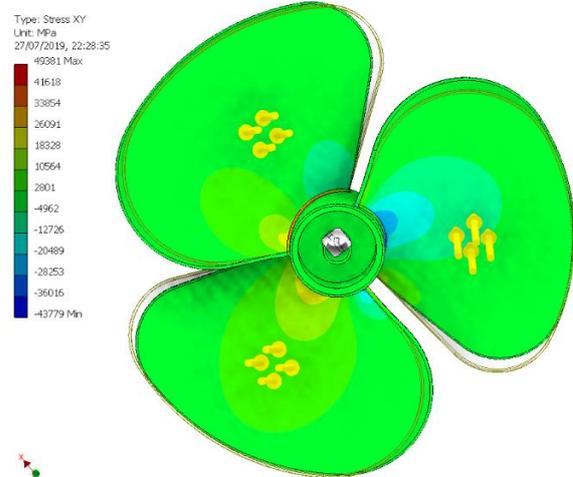
Gambar 4. Tegangan utama 3 pada *propeller*



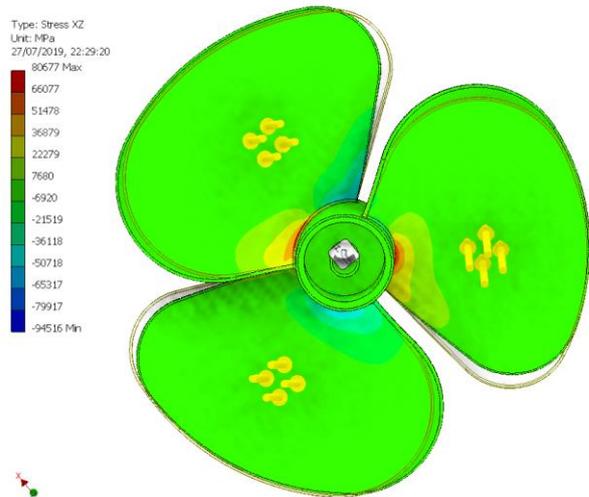
Gambar 5. Tegangan pada arah X-X

Tegangan *Von Mises* di perkuat dengan adanya tegangan utama yang di tunjukkan pada Gambar 3 dan

Gambar 4 yaitu tegangan yang dihasilkan tegak lurus terhadap bidang kerjanya. Tegangan utama memiliki nilai $2,251 \times 10^5 \text{ Mpa}$ dan $1,066 \times 10^4 \text{ Mpa}$. Tegangan-tegangan utama yang dihasilkan, terjadi tegangan yang dominan dari tegangan utama yang lainnya (Wandono, 2017).

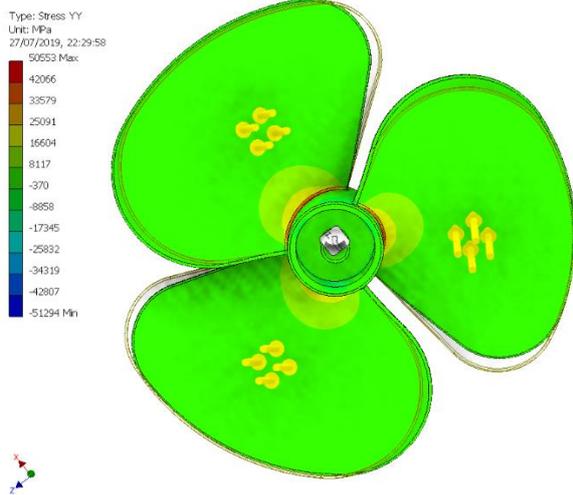


Gambar 2. Tegangan pada arah X-Y

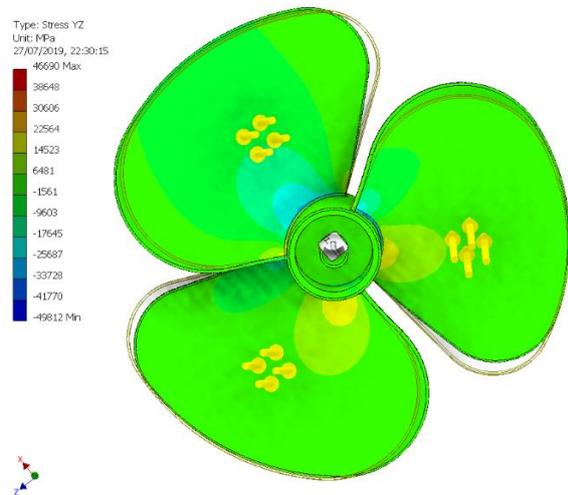


Gambar 7. Tegangan pada arah X-Z

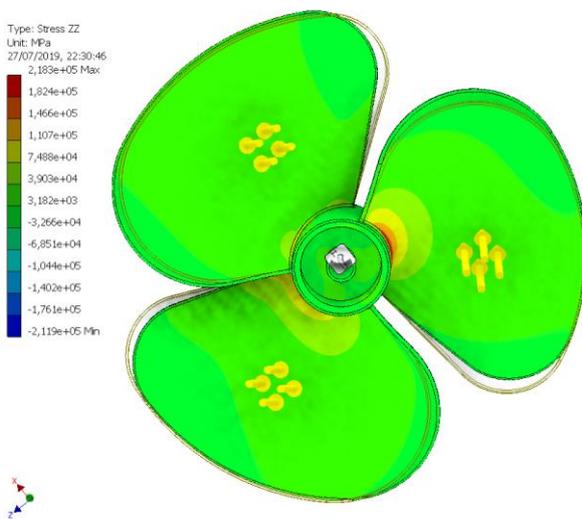
Tegangan *Von Mises* di perkuat dengan adanya tegangan yang terjadi setiap arah pada *propeller* yang ditunjukkan Gambar 5. sampai dengan Gambar 10. Daerah yang memiliki tegangan terbesar berada pada bagian yang mendekati sambungan *blade* dengan lubang poros dari *propeller*. Hal tersebut menunjukkan bahwa tegangan yang diberikan pada *propeller* terhadap arah Y dapat mempengaruhi nilai tegangan pada sumbu lainnya (sumbu X dan sumbu Z). Tegangan yang terjadi pada sumbu lainnya dinamakan tegangan geser. Tegangan geser dapat terjadi pada suatu bentuk geometri yang memiliki sudut dan adanya perubahan bentuk dari suatu geometri tersebut akibat pengaruh tegangan tegak lurus pada bidang kerja (Rodriguez & Lade, 2013) sehingga perlu adanya kesetimbangan. Peristiwa tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 11.



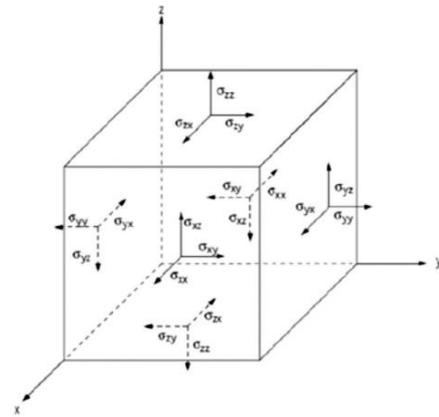
Gambar 8. Tegangan pada arah Y-Y



Gambar 9. Tegangan pada arah Y-Z



Gambar 3 Tegangan pada arah Z-Z



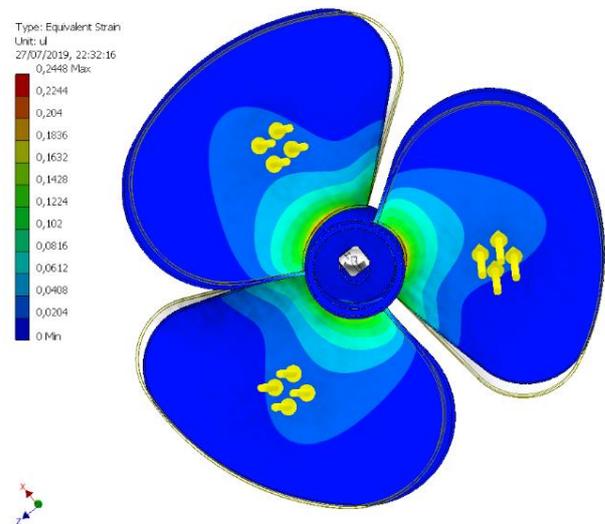
Gambar 4 Tegangan utama pada 3-Dimensi

Penentuan tegangan pada 3 dimensi dengan metode *Finite Element Analysis* mengakibatkan adanya perubahan nilai regangan. Nilai regangan sangat berkaitan dengan jumlah pembebanan yang terjadi pada *propeller* kapal (Ramadhan, Mangalla, & Samhuddin, 2018) sehingga adanya keterkaitan tegangan dan regangan sangat erat. Hal tersebut terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 12 yang memiliki kesamaan kontur distribusi antara tegangan dan regangan yang terjadi pada *propeller* kapal. Kesenambungan bentuk kontur permodelan *Finite Element Analysis propeller* pada parameter tegangan dan regangan dapat dibuktikan dengan adanya persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = E \varepsilon \tag{2}$$

Dimana σ adalah tegangan, ε adalah regangan dan E adalah modulus young dari material *propeller*. Karena nilai *Modulus Young* tetap pada penelitian ini sehingga dapat diartikan bahwa:

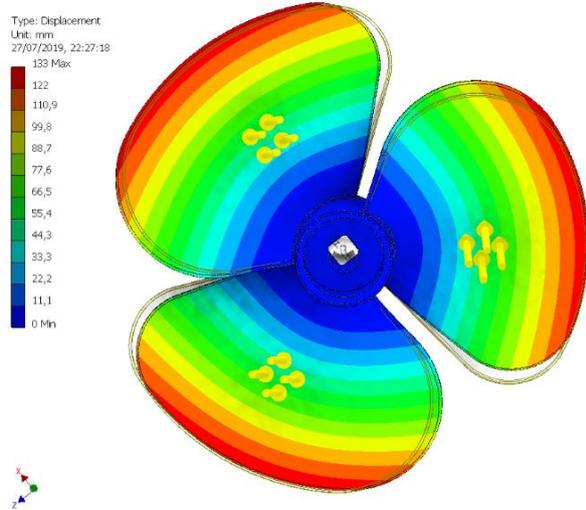
$$\sigma \approx \varepsilon \tag{3}$$



Gambar 5 Regangan pada *propeller*

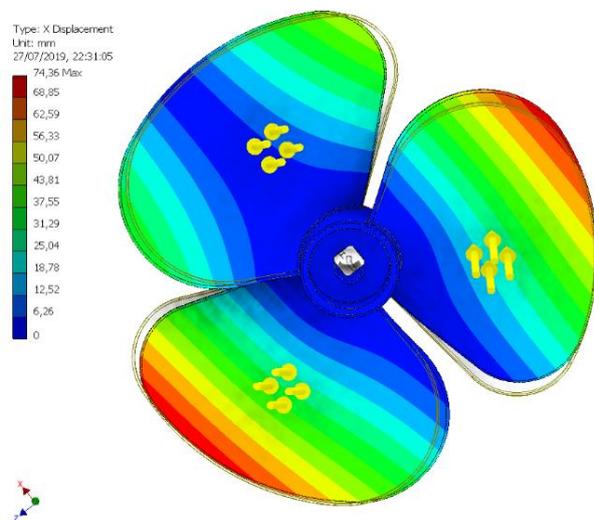
Tegangan yang ada pada *propeller* kapal mengakibatkan adanya perubahan bentuk dari suatu bentuk material yang digunakan. Perubahan bentuk pada *Finite Element Analysis (FEA)* dinyatakan *displacement*. *Displacement* total pada *propeller* kapal hasil analisis

ditunjukkan pada Gambar 12. *Displacement* total merupakan superposisi dari *displacement* dari arah sumbu X, Y dan Z (Setyono, Mrihrenaningtyas, & Hamid, 2016) yang ditunjukkan pada Gambar 13. sampai dengan Gambar 15.

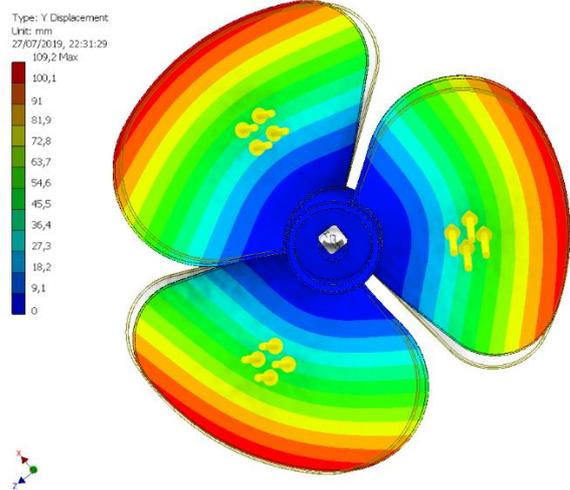


Gambar 6. *Displacement* pada propeller

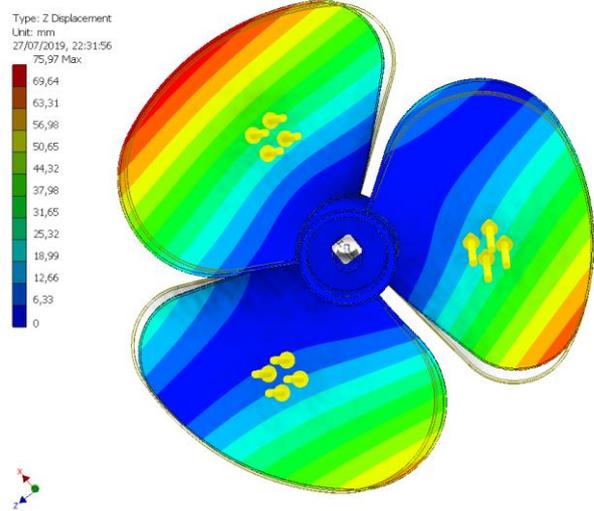
Hasil Permodelan *Finite Element Analysis (FEM)* dapat menganalisis *displacement*. *Displacement* maksimum pada daerah *blade propeller* yang paling jauh dengan lubang poros *propeller* yaitu sebesar 133 mm. Peristiwa tersebut dikarenakan pengaruh gaya dorong yang seragam pada *blade propeller*. *Displacement* sangat berpengaruh pada distribusi gaya yang terjadi pada geometri benda yang dimodelkan (Pranoto & Mahardika, 2018). Daerah yang memiliki tegangan yang paling minimum akan terjadi *displacement* yang paling tinggi. Respon elastisitas material pada *propeller* sangat berpengaruh terhadap kontur persebaran dari *displacement* dari lubang poros menuju ujung dari *blade propeller*.



Gambar 7 *Displacement* pada arah X



Gambar 8 *Displacement* pada arah Y

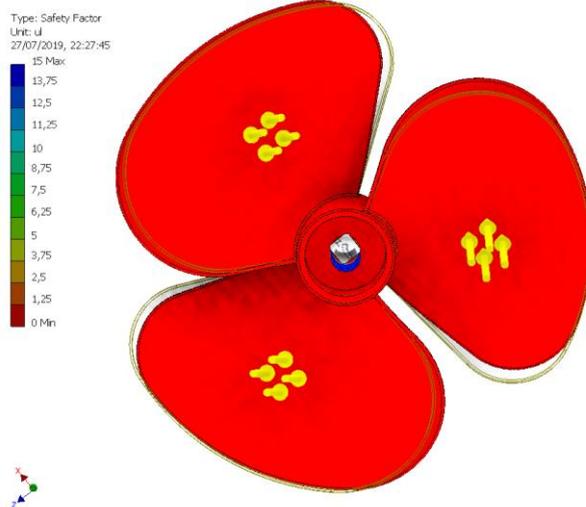


Gambar 9 *Displacement* pada arah Z

Displacement pada 3 sumbu menunjukkan adanya perbedaan arah kontur persebaran dari *displacement propeller*. Peristiwa tersebut dikarenakan arah pembebanan yang terjadi pada *propeller*. Arah sumbu yang tegak lurus dengan pembebanan yang memiliki nilai yang paling maksimum yaitu pada arah Y sebesar 109,2 mm. Sedangkan untuk arah sumbu X dan Z *displacement* berturut-turut memiliki nilai yaitu 74,36 mm dan 75,97 mm.

Safety factor adalah salah satu parameter yang sangat penting dalam melakukan desain dan pengujian tegangan pada suatu bentuk geometri model bentuk benda uji untuk menentukan aman atau tidak dari bentuk tersebut (Setyono, Mrihrenaningtyas, & Hamid, 2016). Gambar 17 menunjukkan nilai *safety factor* yang paling rendah pada *propeller* sebesar 0. Dimana nilai tersebut sangat riskan dalam menentukan keamanan *propeller*. hal tersebut dapat menyebabkan kegagalan material pada *propeller* akan mengalami kegagalan saat diaplikasikan pada beban kerja tersebut. Sedangkan *safety factor* yang baik digunakan pada *propeller* kapal yaitu lebih besar dari 1 (Reddy & Rao, 2015). Nilai *safety factor* didapat dari adanya pembagian beban luluh dari material *propeller* kapal

dengan beban yang diijinkan (Pratama & Mahardika, 2018).



Gambar 10 Safety Factor pada propeller

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Analisis pada *propeller* kapal dengan pembebanan 232700 N dapat disimpulkan bahwa geometri dari *propeller* mengalami ketidakamanan sehingga *propeller* akan mudah mengalami deformasi atau kegagalan. Nilai *safety factor* sangat kecil di seluruh bagian *propeller* kapal, baik dibagian *blade propeller* maupun bagian yang lain. Peristiwa tersebut sangat mirip pada lapangan yang sering menemui terjadinya deformasi maupun kegagalan pada *propeller* kapal di wilayah kota Dumai. Disisi lain nilai tegangan, regangan dan *displacement* dari berbagai arah sumbu pembebanan mendukung nilai *safety factor* yang kecil pada *propeller*. Kontur yang dihasilkan dari tegangan dan regangan terlihat nilai maksimum berawal dari daerah sambungan *blade propeller* dengan lubang as *propeller*. sedangkan untuk kontur *displacement* nilai maksimum terlihat pada daerah pinggir menjauhi lubang as *propeller*.

Saran

Perbaikan desain dari *propeller* sangat diharapkan untuk keberlanjutan penelitian selanjutnya. Hal tersebut untuk menjawab solusi dari penelitian ini. Selain itu perbedaan material yang lainnya untuk diketahui kemampuannya terhadap pembebanan pada *propeller* kapal.

V. DAFTAR PUSTAKA

Babu, K. P. S., & Padmanabhan, S. (2017). Design Of Marine Propeller Blade with Different Blade Sequences Analyse The Hydro Formation Under Pressure Hydrodynamic Fill. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(17), 4996–5002.

Carlton, J. (2007). *Marine Propellers and Prolusion* (Third Edit).

Dapas, S. O. (2011). Analisis Struktur Rangka Batang.

Jurnal Ilmiah Media Engineering, 1(2), 156–160.

Fadji, T., Coetzee, C. J., Berry, T. M., Ambaw, A., & Opara, U. L. (2018). The Efficacy of Finite Element Analysis (FEA) as A Design Tool for Food Packaging: A Review. *Biosystems Engineering*, 174, 20–40.

Ishak, M. A., Sulaiman, S., Baharudin, B. T. H. T., & Syajaratunnur, Y. (2017). Research on The Ship Propeller Blade to Determine Changes in The Mechanical Properties Based on The Forces Projection. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(4), 1241–1247.

Khashan, M. K., Khaleel, H. H., & Metiab, A. H. (2017). Numerical Study and Analysis of Ship Propeller. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 40(4), 572–578.

Kishore S., J., Rao, B. S., & Babu, P. K. (2015). FEM Analysis on Submarine Propeller Blade for Improved Efficiency by using Solid Works and ANSYS-Workbench. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, 3(11), 144–151.

Lasabuda, R. (2013). Pembangunan Wilayah Pesisir Dan Lautan Dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia. *Jurnal Ilmiah Platax*, 1(2), 92–101.

Lin, H. J., Lai, W. M., & Kuo, Y. M. (2010). Effects of Stacking Sequence on Nonlinear Hydroelastic Behavior of Composite Propeller Blade. *Journal of Mechanics*, 26(3), 293–298.

Oladokun, S. O. (2016). Study of Efficiency and Environmental Performance of Propeller. *Journal of Coastal Zone Management*, 18(2).

Pranoto, S. H., & Mahardika, M. (2018). Design and Finite Element Analysis of Micro Punch CNC Machine Modeling for Medical Devices. *AIP Conference Proceedings*, 1941, 1-7.

Pratama, J., & Mahardika, M. (2018). Finite Element Analysis To Determine The Stress Distribution, Displacement And Safety Factor On A Microplate For The Fractured Jaw Case. *AIP Conference Proceedings*, 1941, 1–7.

Rahmi, M., Canra, D., & Suliono, S. (2018). Analisis Kekuatan Ball Valve Akibat Tekanan Fluida Menggunakan Finite Element Analysis. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 4(2), 79–84.

Ramadhan, M. S., Mangalla, L. K., & Samhuddin. (2018). Perancangan Dan Simulasi Frame Mobil Gokart. *ENTHALPY-Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin PERANCANGAN*, 3(2), 1–10.

Rao, Y. S., Rao, K. M., & Reddy, B. S. (2012). Stress Analysis of Composite Propeller By Using Finite Element Analysis. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4(8), 3866–3875.

Reddy, T. C. K., & Rao, K. N. (2015). Design and Simulation of A Marine Propeller. *International Journal of Research in Advanced Engineering Technologies*, 5(1), 111–128.

Rodriguez, N. M., & Lade, P. V. (2013). Effects of Principal Stress Directions and Mean Normal

- Stress on Failure Criterion for Cross-Anisotropic Sand. *Journal of Engineering Mechanics*, 139(11), 1592–1601.
- Saputro, A. H., Hidayat, T., & Qomaruddin. (2017). Analisa Poros Alat Uji Keausan Untuk Sistem Kontak Two-Disc Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 8(1), 283–290.
- Setyono, B., Mrihrenaningtyas, & Hamid, A. (2016). Perancangan Dan Analisis Kekuatan Frame Sepeda Hibrid “Trisona” Menggunakan Software Autodesk Inventor. *Jurnal IPTEK*, 20(2), 37.
- Suneetha, M., Rao, R. S., Vardhan, V. V., & Gowd, G. H. (2013). Design & Analysis of a Surface Propeller using FEM. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(9), 198–204.
- Syafrizal. (2017). Analisis Tegangan Batang Lentur Tumpuan Jepit dan Roll pada Material Stainless Steel. *ELEKTRA*, 2(2), 93–100.
- Tan, Y., Li, J., Li, Y., & Liu, C. (2019). Improved Performance Prediction of Marine Propeller: Numerical Investigation and Experimental Verification. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019.
- Wandono, F. A. (2017). Permodelan Metode Elemen Hingga Untuk Menentukan Tegangan Von Mises Pada As Roda Lsu-05. *Seminar Nasional Iptek Penerbangan Dan Antariksa XXI*, 222–231.
- Zainol, I., & Yaakob, O. (2016). Use of Diesel Engine and Surface-Piercing Propeller to Achieve Fuel Savings for Inshore Fishing Boats. *Journal of Marine Science and Application*, 15(2), 214–221.