

Analisa Teknis dan Ekonomis Perbaikan *Controllable Pitch Propeller* (CPP) Kapal KM. Dharma Kencana 3611 GRT

Suharto*, Sulaiman

Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*E-mail: suharto2008@ymail.com

Diterima: 26-03-2021; Direvisi: 31-03-2021; Dipublikasi: 27-04-2021

Abstrak

Baling-baling adalah bagian penting dari kapal. Stabilitas, usia pemakaian dan biaya pemakaian memiliki peran penting dalam pemilihan *propeller*. Pengaruh modifikasi juga ditinjau dari pengaruh penambahan ketebalan material *propeller*, pada sistem propulsi kapal yang berpengaruh terhadap performa *propeller* kapal serta hubungannya terhadap biaya reparasi perbaikan dari *propeller*. Tujuan penelitian ini, menganalisis desain *propeller* untuk direparasi dan biaya pereparasian *propeller* untuk mendapatkan performa terbaik dari mesin penggerak *propeller* sehingga merepresentasikan perbandingan kinerja dari *propeller* sebelum dan sesudah redesain. Simulasi perhitungan dengan metode finite elemen berbasis persamaan matematik yang menggambarkan karakteristik hidostatik *propeller*. Perencanaan dan penggunaan material sangat menentukan kekuatan dari proses perbaikan *propeller* memerlukan perencanaan yang tepat dari segi desain dan material yang akan digunakan. Metode perhitungan dengan numerik ini membantu dalam merekonstruksi desain awal *propeller* yang telah mengalami kerusakan. Saat putaran *propeller* pada rpm mesin yang optimum tegangan terjadi pada daun *propeller*. Hasil analisa menunjukkan desain baru dapat memberikan nilai tambah rata-rata 0,24 % untuk nilai L/D_T dan terhadap nilai D_a / D_f memiliki nilai tambah rata-rata 0,46 % . Sementara biaya proses manufaktur dapat berkurang sebesar 38 % karena waktu produksi dan penyesuaian yang tidak terulang ulang kembali.

Kata kunci: CPP; ekonomis; *propelle*; reparasi; teknis

Abstract

Propeller is an essential part of the ship. Stability, service life and cost of use have an important role in propeller selection. The effect of modification is also viewed from the effect of increasing the thickness of the propeller material, on the ship's propulsion system which affects the performance of the ship's propeller and its relation to the cost of repairing the repairs of the propeller. The purpose of this research is to analyze the propeller design to be repaired and the cost of propeller repair to get the best performance from the propeller engine so that it represents the comparison of the performance of the propeller before and after redesign. The calculation simulation uses the finite element method based on mathematical equations that describe the hydrostatic characteristics of the propeller. Planning and the use of materials will determine the strength of the propeller repair process, requiring proper planning in terms of design and materials to be used. This numerical calculation method assists in reconstructing the initial design of a damaged propeller. When the propeller rotates at the optimum engine rpm, the stress occurs on the propeller blade. The results of the analysis show that the new design can provide an average added value of 0.24% for the L / DT value and the D_a / D_f value has an average added value of 0.46%. Meanwhile, the cost of the manufacturing process was reduced by 38% due to the production time and adjustments that were not repeated.

Keywords: CPP; economical; *propeller*; repair; technical

1. Pendahuluan

Baling-baling adalah bagian penting dari kapal. Stabilitas, usia pemakaian dan biaya pemakaian memiliki peran penting dalam pemilihan baling-baling [1,2]. Secara konvensional, dari satu abad ke belakang baling-baling dibuat dengan baja, aluminium, besi tuang dan setelah beberapa penelitian berpendapat penggunaan paduan untuk baling-baling seperti paduan Al, paduan Cu, dan di antara mereka, paduan yang banyak digunakan adalah NAB dan MAB [3,4]. Dari beberapa dekade terakhir dunia material lebih tertarik pada bahan komposit karena kelebihanannya berbiaya rendah, tahan lama dan kekuatan yang cukup kaku, penelitian tentang propulsi juga mengalihkan fokusnya dan mulai mengadopsi material komposit untuk berbagai bagian kapal seperti drive shaft, hull, dan *propeller* [5,6]. Selain itu

hidrodinamika baling-baling telah diteliti selama beberapa dekade terakhir, karena aplikasi industri dan kegunaan dalam bidang maritim yang luas, seperti kegiatan untuk sarana transportasi contohnya pada kapal tanker dan kapal penyeberangan, kapal perintis seperti terlihat pada Gambar 1 [7,8]. Gambar 1 menunjukkan kerusakan pada *propeller* kapal, tegangan yang terjadi pada baling-baling tipe *CPP* cukup membuat material mengalami kegagalan. Sebagai perangkat propulsi yang paling banyak digunakan, baling-baling dilengkapi dengan efisiensi tinggi, ketahanan dan stabilitas [9,10]. Banyak jenis baling-baling khusus telah dikembangkan berdasarkan perencanaan desain baling-baling biasa untuk berbagai kondisi kerja, seperti baling-baling *controllable pitch* [11], baling-baling *ducted* [12], baling-baling kontra-berputar *koaksial* [13] dan baling-baling tandem [2].



Gambar 1. Kerusakan pada *propeller* CPP

Hasil penelitian terdahulu pada artikel “*Numerical investigation on the flow characteristics and hydrodynamic performance of tandem propeller*” menunjukkan bahwa gaya hidrodinamik memaksimalkan pada rasio jarak kurang dari 0,30 jika rasio diameter sama dengan 1,0. Juga ditemukan bahwa efisiensi ditingkatkan sekitar 45% untuk baling-baling tipe *fixied* dengan rasio diameter 0,95 pada $L / D f = 0,29$, dibandingkan dengan baling-baling tunggal, pada $J = 0,7$. Selain itu, dengan menentukan rasio jarak atau rasio diameter secara tepat, putaran baling-baling belakang dapat dengan baik menyerap energi dari pusaran sudut *trailing* dari baling-baling depan. Akibatnya, pusaran yang tertinggal dengan cepat menghilang dan menghilang di bidang bangun setelah penggabungan, dan kinerja hidrodinamik yang lebih baik dapat diperoleh [14]. Senada dengan hal tersebut penelitian sebelumnya pada artikel “*Deformation behavior of a surface composition of materials with shape memory effect in the conditions of multi-factor impacts*” menjelaskan suatu rekomendasi tentang pilihan struktur dan geometri komposisi multifungsi. Berdasarkan analisis tegangan-regangan baling-baling dengan lapisan komposit multifungsi “baja J91171-Ni-TiNiZr-TiNiCo”, menunjukkan kemanfaatan komposisi permukaan yang terbuat dari bahan komposit. Fungsi dari paduan ini untuk meningkatkan keandalan fungsionalitas produk. Hasilnya memberikan peningkatan daya tahan, peningkatan keausan dan daya tahan sambil mengurangi biaya perbaikan [15]. Jika ditinjau dari bahan material pada paper dengan judul “*A review on materials used for marine propellers*” menunjukkan hasil baling-baling dengan jumlah bilah yang bervariasi dengan tetap dan pitch terkontrol yang memiliki diameter berbeda dan sudut kemiringan yang akan ditinjau. Metode yang digunakan dengan simulasi struktur, simulasi fluida, Metode Finite Elemen, Studi Kasus CFD, Kavitas, uji keausan erosi, analisis sambungan puntir bengkok dan struktur fluida, simulasi dengan pengujian perairan terbuka dan tertutup [7,9]. Hasilnya

menunjukkan komposit *fiberglass* terbukti ekonomis dan berkinerja lebih baik dan dapat beradaptasi dalam sudut pandang ekonomis. Baling-baling komposit serat karbon memiliki keunggulan lebih dari yang lain pada kasus tertentu. Studi terbaru difokuskan pada pemanfaatan material komposit hibrida untuk baling-baling sebagai keserbagunaannya dalam mencapai hasil yang baik [16]. Kinerja fluida dengan pendekatan persamaan Navier Stokes dan persamaan kontinuitas, dapat ditulis dalam bentuk tensor Cartesian [4] sesuai dengan Pers. (1).

$$\frac{\delta(\rho u)}{\delta x} + \frac{\delta(\rho v)}{\delta y} + \frac{\delta(\rho w)}{\delta z} = 0 \quad (1)$$

dimana dalam persamaan 1 tersebut, x, y dan z adalah koordinat Cartesian dan u, v dan w adalah komponen kecepatan yang sesuai. ρ adalah densitas, p adalah tekanan, gaya benda sehingga terjadinya tegangan viskositas. Kemudian jika menggunakan persamaan RANS model [5], dapat ditulis ulang sesuai dengan Pers. (2).

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\pi \left(\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} \right) - \overline{p u'_i u'_j} \right] \quad (2)$$

Dalam persamaan ini $-\rho u' u' i j$ menggambarkan tegangan Reynolds. Sedangkan pada perhitungan hidrodinamika Kinerja hidrodinamik dari baling-baling tandem bisa jadi dievaluasi dengan beberapa koefisien *non-dimensi*, yaitu koefisien dorong K_T , koefisien torsi K_Q dan efisiensi η_0 . Pada saat ini studi, formula standar ITTC (*International Towing Tank Conference*) [6], ditentukan dengan menggunakan pendekatan Pers. (3-6).

$$J = \frac{V_A}{n_f D_f} \quad (3)$$

$$K_{Tf} = \frac{T_f}{\rho n_f^2 D_f^4} \quad (4)$$

$$K_{Qf} = \frac{Q_f}{\rho n_f^5 D_f^5} \quad (5)$$

$$K_{Ta} = \frac{T_a}{\rho n_a^2 D_a^2} \quad (6)$$

Dalam persamaan tersebut, nilai V_A adalah kecepatan gerak maju dalam [m / s], T dan Q adalah gaya dorong dan torsi *propeller* masing-masing dalam [N] dan [N·m]. n adalah putaran kecepatan dalam [rps] dan D adalah diameter baling-baling dalam [m]. Subskrip 'f' mewakili baling-baling depan dan 'a' menunjukkan baling-baling belakang. Adapun gap dari penelitian sebelumnya perlunya uji numerik untuk suatu desain *propeller* sehingga menentukan karakter hidrodinamiknya. Sedangkan pengaruh penggunaan tipe material berpengaruh terhadap hasil kekuatan *propeller* ketika beroperasi dan menghasilkan bentuk surface dari daun *propeller* yang memiliki karakter tersendiri. Sehingga dalam penelitian ini menghubungkan nilai numerik dengan karakter materialnya yang diaplikasikan pada performa *propeller* kapal ro-ro seberat 3611 GRT. Korelasi dan hubungannya dengan penelitian terdahulu tersebut cukup terlihat dari penelitian ini adalah proses perbaikan *propeller* tipe CPP beserta perubahan desain pada bagian *propeller* setelah perbaikan. Pengaruh modifikasi juga ditinjau dari pengaruh penambahan ketebalan material *propeller*, pada sistem propulsi kapal yang berpengaruh terhadap performa *propeller* kapal serta hubungannya terhadap biaya reparasi perbaikan dari *propeller*. Hal ini merumuskan suatu hipotesis bahwa perencanaan desain *propeller* dapat mempengaruhi waktu kerja manufaktur proses reparasi. Demikian halnya dengan penelitian – penelitian yang dilakukan sebelumnya berkaitan dengan eksperimen simulasi modifikasi desain dan material pada *propeller* kapal.

Secara garis besar batasan masalah dalam penelitian ini adalah bagian yang dilakukan modifikasi perbaikan *propeller* pada kedua sistem propulsi, perhitungan simulasi desain *propeller* dengan Finite Element Methode, kondisi gelombang sesuai dengan kondisi rata-rata perairan dalam di Indonesia, cuaca ketika pelaksanaan sea trial cukup cerah.

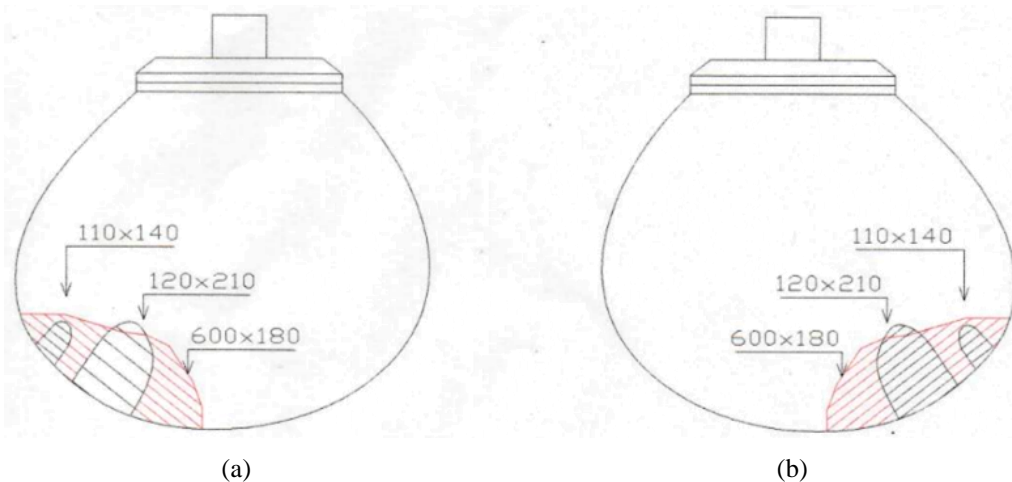
Sehingga berdasarkan pendahuluan dan beberapa kajian dari peneliti terdahulu maka tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis desain *propeller* untuk direparasi dan biaya pereparasian *propeller* untuk mendapatkan performa terbaik dari mesin penggerak *propeller* sehingga merepresentasikan perbandingan kinerja dari *propeller* sebelum dan sesudah redesain.

2. Material dan metodologi

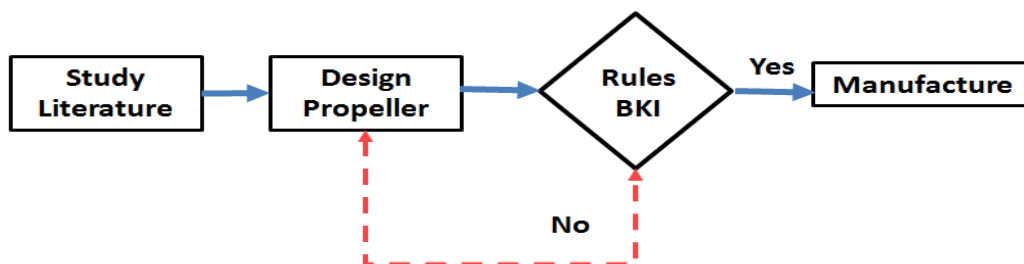
Data kapal yang digunakan dalam penelitian ini, terdapat pada data Tabel 1. Data *propeller* kapal dengan kerusakannya tergambar pada Gambar 2. Alur metode yang digunakan adalah dengan menggambar ulang desain *propeller* model CPP untuk kemudian dilakukan simulasi perhitungan dengan metode finite elemen. Kemudian dibandingkan dibuat model perbaikan berdasarkan desain yang telah di buat. Seperti terlihat pada Gambar 3, dapat terlihat alur penelitian dimana desain yang dibuat kemudian dibuat dan disimulasikan sebelum di produksi untuk dibuat.

Tabel 1. Data ukuran utama kapal

No	Data Ukuran Kapal	
1	Nama Kapal	KM. Dharma Kencana
2	LOA	88,91 m
3	LPP	84 m
4	B	15,08 m
5	T	3,7 m
6	GRT	3611 Ton



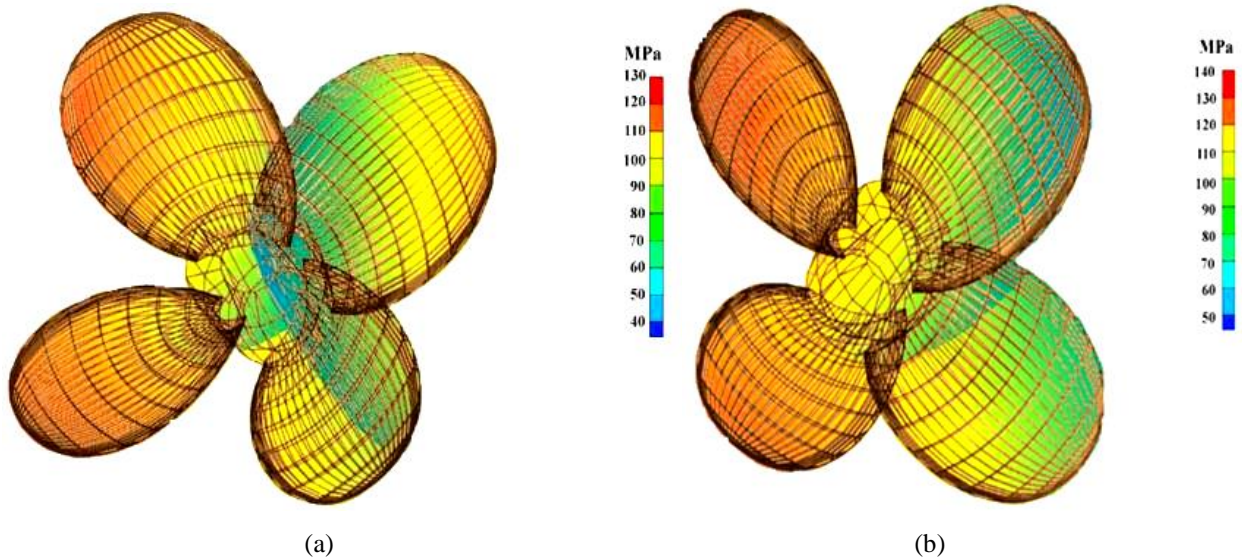
Gambar 2. Data record pada *propeller* CPP yang mengalami kerusakan, (a) sisi muka dan (b) sisi belakang



Gambar 3. Alur penelitian

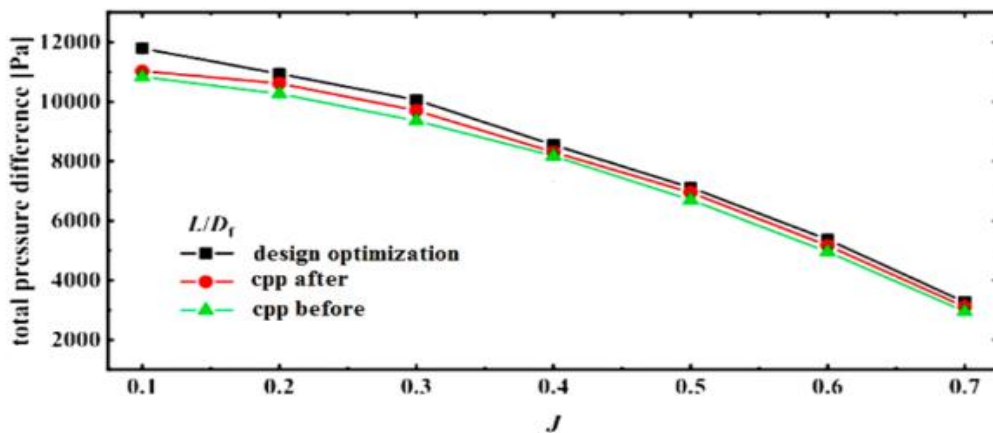
3. Hasil dan pembahasan

Hasil pemodelan kemudian dianalisa dan didapatkan nilai tegangan pada bagian *face propeller* setiap daunnya memiliki nilai maksimum sebesar 130 Mpa untuk CPP kanan dan 140 Mpa untuk CPP kiri pada kondisi operasional yang menyesuaikan dengan daa maksimum rpm mesin. Dikarenakan data pada beban maksimum merupakan baban kinerja tertinggi pada *propeller*, dapat dilihat pada Gambar 4.

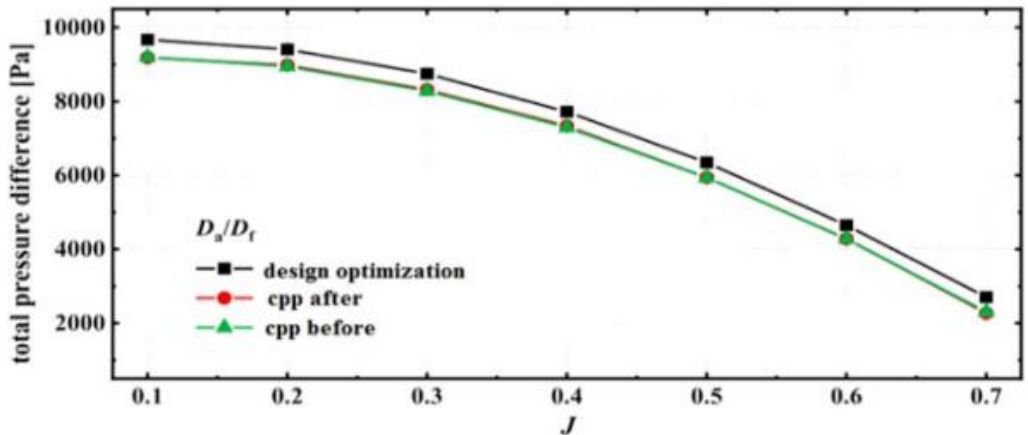


Gambar 4. Tegangan maksimum pada desain *propeller*, (a) CPP kanan dan (b) CPP kiri

Dari Pers. (1) kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan dan menggambarkan kondisi performa *propeller* setelah didesain, kemudian dibandingkan dengan persamaan 3,4,5,6 masing-masing sesuai perbandingannya untuk memperoleh perbandingan, seperti terlihat pada Gambar 5 dan 6. Dari Gambar 5 diketahui nilai perbandingan antara desain baru dan awal memiliki perbedaan rata-rata 0,24 % untuk nilai L/D_f sedangkan untuk nilai D_a / D_f pada Gambar 6, memiliki nilai perbedaan rata-rata 0,46 % Kemudian dilakukan proses reparasi / manufaktur sesuai dengan rekonstruksi desain yang telah ditentukan.



Gambar 5. Perbandingan nilai tegangan terhadap L / D_f



Gambar 6. Perbandingan nilai tegangan D_a / D_f

Terlihat pada Gambar 7, menunjukan pesoses pelurusan pada bagian *propeller* yang bengkok atau mengalami deformasi. pelurusan bagian yang bengkok dan sebagian patah ini menggunakan *heat treatmen* sehingga material dapat menjadi lunak dan mudah diatur. Kemudian setelah diluruskan maka dilakukan proses pengelasan secara bertahap sehingga membentuk daun *propeller* yang diinginkan. Proses pengelasan dengan teknik pengelasan *Oxyaceteline* dimana elektroda atau material tambahan yang digunakan adalah *manganese-bronze* dengan unsur utama 58,5 Cu; 39,2 Zn; 1,0 Fe; 0,3 Mn, lihat Gambar 8 (a). Proses pengecekan setelah perbaikan dilakukan dengan metode *Non Destructive Test* yaitu dengan menggunakan *Dry Penetran Test* , seperti terlihat pada Gambar 8 (b).



Gambar 7. Proses perbaikan daun *propeller* CPP



Gambar 8. (a) Proses pengelasan daun *propeller* CPP dan (b) Proses pengecekan hasil pengelasan daun *propeller* CPP

Hasil dari perbaikan disimpulkan untuk masing-masing daun propeller membutuhkan 169 kg bahan isian guna memperbaiki daun propeller yang telah rusak. Dari model pengelasan dan teknik perbaikannya tidak ditemukan cacat pengelasan sehingga hasil ini di rekomendasikan oleh klasifikasi Indonesia (BKI). Hal tersebut senada dengan kebutuhan biaya perbaikan sehingga dalam anggaran yang terjadi jika tanpa perencanaan diawal maka memiliki perbedaan sebesar 38% karena waktu produksi dan penyesuaian yang tidak terulang ulang kembali, sesuai Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan biaya produksi / reparasi

Dengan Perencanaan			Tanpa Perencanaan		
No	Pekerjaan	Biaya (IDR)	No	Pekerjaan	Biaya (IDR)
1	Pelurusan daun <i>propeller</i>	1.850.000	1	Pelurusan daun <i>propeller</i>	1.850.000
2	Pembersihan dan perapian daun <i>propeller</i>	1.850.000	2	Pembersihan dan perapian daun <i>propeller</i>	1.850.000
3	Pengeboran bagian yang retak	500.000	3	Pengeboran bagian yang retak	500.000
4	Persiapan pengelasan / grinding	500.000	4	Persiapan pengelasan / grinding	500.000
5	Pengelasan dengan material tambahan	1.850.000	5	Pengelasan dengan material tambahan	1.850.000
6	Gerinda setelah pengelasan	500.000	6	Gerinda setelah pengelasan	500.000
7	Pengecekan hasil pengelasan (NDT)	1.500.000	7	Pengecekan hasil pengelasan (NDT)	1.500.000
8	Penyelarasan daun <i>propeller</i>	1.500.000	8	Penyelarasan daun <i>propeller</i>	1.500.000
9	Finishing	500.000	5	Pengelasan dengan material tambahan ke II	500.000
			6	Gerinda setelah pengelasan ke II	500.000
			7	Pengecekan hasil pengelasan (NDT) ke II	1.500.000
			8	Penyelarasan daun <i>propeller</i> ke II	1.500.000
			9	Finishing	500.000
Total		10.550.000	Total		14.550.000

Dari Tabel 2 dapat diketahui jika pekerjaan perbaikan tanpa perencanaan maka akan menimbulkan indikasi biaya perbaikan ke II berupa penyamaan geometri sesuai desain awal dan sambungan ulang yang didapati kurang sesuai. Hal tersebut menambah biaya perbaikan pengelasan dan tentunya akan memunculkan biaya pengecekan hasil pengelasan kembali.

4. Kesimpulan

Perbaikan *propeller* memerlukan perencanaan yang tepat dari segi desain dan material yang akan digunakan. Aplikasi penggunaan *software* desain *propeller* dapat menganalogikan kriteria karakter performa *propeller* baik sebelum ataupun sesudah reparasi. Proses pembuatan desain yang paling optimum dari beberapa referensi dapat menjadi gambaran bentuk desain *propeller* sebelum mengalami kerusakan. Metode perhitungan dengan numerik membantu dalam merekonstruksi desain awal *propeller* yang telah mengalami kerusakan. Dari hasil perhitungan dapat diketahui jika tegangan yang terjadi maksimum pada saat putaran *propeller* pada rpm mesin yang optimum. Desain baru

sesuai perencanaan dapat memberikan nilai tambahan dari segi kekuatan material dan efisiensi pengerjaan reparasi daun *propeller*.

DaftarPustaka

- [1] Song S, Demirel YK, Atlar M. Penalty of hull and propeller fouling on ship self-propulsion performance. *Applied Ocean Research*. 2020;94:102006.
- [2] Huang Y, Hu Y, Wu J, Zeng C. Observer-based motion control system for the approach ship with propeller and rudder in the process of underway replenishment. *Ocean Engineering*. 2021;222:108586.
- [3] Oliveira DR, Granhag L, Larsson L. A novel indicator for ship hull and propeller performance: Examples from two shipping segments. *Ocean Engineering* . 2020;205:107229.
- [4] Llull T, Mujal-Colilles A, Castells M, Gironella X. Composite methodology to prevent ship propeller erosion. *Ocean Engineering* . 2020;195:106751.
- [5] Penna N, D'Alessandro F, Gaudio R, Tomasicchio GR. Three-dimensional analysis of local scouring induced by a rotating ship propeller. *Ocean Engineering* . 2019;188:106294.
- [6] Feng D, Yu J, He R, Zhang Z, Wang X. Improved body force propulsion model for ship propeller simulation. *Applied Ocean Research*. 2020;104:102328.
- [7] Sugeng S, Ridwan M, Suharto S, Khristyson SF. Technical and Economic Analysis of Ship Launching with Slipway and Airbag KM. Sabuk Nusantara 72 in PT. Janata Marina Indah Shipyard Semarang. *TEKNIK*; Vol 41, No 3 (2020): December 2020DO - 1014710/teknik.v41i333710 . 2020 Dec 1.
- [8] Utomo B, Khristyson SF. Studi Perancangan Propulsi Kapal Peti Kemas 100 Teus. *Gema Teknologi* . 2019 Apr 30 ;20(2):46.
- [9] Khristyson SF, Jamari, Bayuseno AP. Stress analysis bottom plate block B-03 on patrol ship construction using finite element methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* . 2021;1034(1):12004.
- [10] Khristyson SF, Laksono SH. Analisa Joint Erection Konstruksi Baja Block B05 & B07 Kapal Patroli Polisi 63 Meter Dengan Mobile Crane 72.000 Ton. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*. 2020;03(1):10–7.
- [11] Njaastad EB, Munthe-Kaas NH, Egeland O. Robotic Autoscaning of Highly Skewed Ship Propeller Blades **This work is supported by Oshaug Metall AS and the Norwegian Research Council under the OLIVER project, project number 261639. *IFAC-PapersOnLine*. 2018;51(22):435–40.
- [12] Njaastad EB, Egeland O. Detection and Inspection Planning for Ship Propeller Blades via Spectral Shape Analysis. *IFAC-PapersOnLine* . 2019;52(10):154–9.
- [13] Yusvika M, Prabowo AR, Baek SJ, Prija Tjahjana DDD. Achievements in Observation and Prediction of Cavitation: Effect and Damage on the Ship Propellers. *Procedia Structural Integrity*. 2020;27:109–16.
- [14] Liu Y, Gong Q. Numerical investigation on the flow characteristics and hydrodynamic performance of tandem propeller. *Applied Ocean Research* . 2020;101:102292.
- [15] Blednova Z, Rusinov P. Deformation behavior of a surface composition of materials with shape memory effect in the conditions of multi-factor impacts. *Materials Today: Proceedings* . 2021;38:1908–14.
- [16] Harsha Vardhan D, Ramesh A, Chandra Mohan Reddy B. A Review On Materials Used For Marine Propellers. *Materials Today: Proceedings* . 2019;18:4482–90.
- [17] Haseltalab A, Negenborn RR. Adaptive control for autonomous ships with uncertain model and unknown propeller dynamics. *Control Engineering Practice* . 2019;91:104116.

- [18] Sukas OF, Kinaci OK, Bal S. System-based prediction of maneuvering performance of twin-propeller and twin-rudder ship using a modular mathematical model. *Applied Ocean Research* . 2019;84:145–62.
- [19] Ahmed S, Croaker P, Doolan CJ. On the instability mechanisms of ship propeller wakes. *Ocean Engineering* . 2020;213:107609.