

ANALISIS KERUSAKAN DAUN BALING- BALING DAN METODE PERAWATAN YANG TEPAT

Dita Nurul Azizah¹, Amir Marasabessy², M. Rusdy Hatuwe³

Program Studi Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Jakarta Selatan^{1 2}
Fakultas Teknik/Teknik Perkapalan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Depok³
email¹ : ditanurul2001@gmail.com

Abstrak

Alat gerak pada kapal memiliki sistem non- mekanis dan mekanis, pada sistem non-mekanis dapat digunakan dayung dengan mengandalkan tenaga manusia dan mengandalkan tenaga angin yaitu dengan layar. Modern ini, kapal- kapal lebih banyak menggunakan sistem mekanis yaitu dengan mengandalkan tenaga yang dihasilkan oleh *main engine* dan ditransmisikan hingga daun baling- baling. Daun baling- baling merupakan bagian pada kapal yang selalu tercelup dengan air sehingga rentan mengalami kerusakan seperti bengkokan, patahan, ataupun kavitasi sehingga dibutuhkan perawatan khusus untuk melakukan perbaikan-perbaikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *pressure contour* dan *cavitation fraction* baling- baling TB. ASP 26 dengan bantuan *software* Numeca Fine Marine, nilai *first-order fatigue cycle* dari kapal TB. ASP 26 selama 25 tahun. Metode yang digunakan adalah metode referensi, survei lapangan dan metode elemen hingga. Hasil dari penelitian ini berupa nilai dan bentuk *pressure contour*, kavitasi pada *propeller blade* serta metode perawatan yang tepat dalam perbaikan *propeller* TB. ASP 26.

Kata Kunci: alat gerak pada kapal, daun baling- baling, metode elemen hingga

Abstract

Ship propulsion has non-mechanical and mechanical systems, in non-mechanical systems you can use oars by relying on human power and relying on wind power, namely by sails. In this modern era, ships use more mechanical systems, namely by relying on the power generated by the main engine and transmitted to the blades of the propeller. The blade of the propeller is the part of the ship that is always submerged in the water so that it is susceptible to damage such as bends, fractures, or cavitation so that special maintenance is needed to carry out repairs. This study was conducted to determine the contour pressure and cavitation fraction of the TB. ASP 26 propeller with the help of Numeca Fine Marine software, the first order fatigue cycle value of the ship TB. ASP 26 for 25 years. The method was used is the reference method, field survey and finite element method. The results of this study are the value and shape of the pressure contour, cavitation on the propeller blade and the appropriate maintenance method in repairing the propeller of TB. ASP 26.

Keywords: ship propulsion, propeller blade, finite element method

PENDAHULUAN

Dalam mengoperasikan sebuah kapal diperlukan daya dorong untuk menghasilkan tenaga agar kapal dapat bergerak dan berpindah di air. Jenis propulsi yang saat ini paling sering digunakan yaitu sistem propulsi dengan penggerak diesel dengan alat geraknya yaitu baling- baling. Prinsip kerja penggerak diesel yaitu mengubah energi mekanik dari gaya termal lalu meneruskannya ke baling- baling sehingga baling- baling dapat berputar. Komponen utama sistem propulsi dengan penggerak

diesel terbagi menjadi 3 (tiga), diantaranya yaitu motor penggerak utama (*main engine*), sistem transmisi dan alat gerak (*propulsor*). Berdasarkan jumlah daunnya, baling- baling dapat memiliki satu atau lebih dari satu daun. Semakin banyak jumlah daun baling- baling dapat mempengaruhi hambatan serta kecepatan yang dihasilkan. Oleh karena itu, penentuan jumlah daun baling- baling harus disesuaikan dengan perencanaan dan kebutuhan.

Kerusakan pada baling- baling dapat terjadi karena berbagai faktor. Kerusakan yang bisa terjadi

yaitu karena benturan dengan benda keras atau batu karang yang menyebabkan bengkokan atau bahkan patahan pada bagian daun baling- baling. Apabila hal tersebut terus menerus terjadi tanpa adanya perawatan, maka kerusakan pada daun baling- baling akan semakin parah sehingga membuat kerja mesin semakin berat karena daya yang dihasilkan sudah maksimal, namun transfer daya tersebut tidak terserap dengan baik oleh daun baling- baling karena mengalami kerusakan. Daun baling- baling yang terkikis ataupun mengalami patahan, akan membuat getaran yang berlebih sehingga berpengaruh pada engine horse power (EHP) dan membuat mesin lebih cepat panas. Selain benturan dengan benda keras, perubahan tekanan yang dialami oleh daun baling- baling secara ekstrem menimbulkan gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir sehingga terbentuklah gelembung- gelembung (*pitting defect*) pada bagian permukaan daun baling- baling. Apabila tidak dilakukan perawatan, maka lama- kelamaan daun baling- baling akan lebih mudah retak. Retak ini kemudian dapat meluas hingga ke pangkal daun baling- baling (*hub propeller*) dan dapat menyebabkan patahan. Usia daun baling- baling yang sudah terbilang cukup lama juga dapat menjadi pemicu rusaknya daun baling- baling. Usia daun baling- baling yang sudah tua lebih rentan mengalami kerusakan seperti lebih rapuh dan mudah patah. Faktor material juga dapat berpengaruh terhadap rusaknya baling- baling. Setiap material memiliki karakteristiknya masing- masing dimana saat diberi beban yang dilakukan berulang- ulang dapat mengakibatkan kerusakan salah satunya yaitu *fatigue*. Perawatan pada daun baling- baling dilakukan di dock. Perawatan atau perbaikan yang dilakukan pada daun baling- baling dilakukan sesuai dengan jenis kerusakan dan tingkat kerusakannya. Apabila terjadi patahan pada daun baling- baling maka dilakukan penambahan bahan yang sesuai pada area yang patah.

Pada penelitian ini yaitu membahas tentang kerusakan daun baling- baling pada kapal jenis tugboat yaitu TB. ASP 26 yang melakukan special survey di PT. Caputra Mitra Sejati dengan ukuran panjang keseluruhan 27,1 meter, lebar 8 meter dan tinggi 3,65 meter untuk diteliti bagian daun baling- baling yang mengalami kerusakan yaitu patahan dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM) serta metode perawatan yang dilakukan terhadap bagian daun baling- baling yang mengalami patahan.

TINJAUAN PUSTAKA

Daun Baling- Baling

Agar dapat bergerak, daun baling- baling membutuhkan energi dari *main engine* yang nantinya energi yang dihasilkan diubah menjadi energi mekanis sehingga menghasilkan daya dorong yang membuat daun baling- baling berputar. Karena

perbedaan pembagian tekanan dari bagian belakang daun baling- baling dan bagian depan daun baling- baling maka terjadilah gaya dorong pada baling- baling. Pembagian tekanan pada daerah bagian depan daun baling- baling relatif lebih besar dibanding dengan pembagian tekanan pada daerah bagian belakang daun baling- baling. Hal ini membuat terjadinya gaya angkat (*lift force*). Pada sumbu lateral kapal, proyeksi vektor gaya angkat yang dihasilkan disebut gaya dorong kapal (*thrust*).

Material mentah yang digunakan untuk pembuatan baling- baling yaitu campuran dari tembaga dengan timah (*bronze alloy*) atau yang sering disebut kuningan. Bahan- bahan tersebut dipilih karena memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi air laut. Kandungan- kandungan material yang digunakan dalam proses pembuatan baling- baling kapal yaitu *Manganese Bronze* (C865 alloy) dan *Ni-Al Bronze* (C955 alloy). (Faizal, 2012)

Jenis Baling- Baling

Berdasarkan klasifikasinya, tipe daun baling- baling dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu berdasarkan jumlah daun dan berdasarkan putaran daun baling- balingnya yaitu diantaranya *fixed pitch propeller* (FPP), *kort nozzle*, *contra- rotating propeller*, *overlapping propeller*, *controllable pitch propeller* (CPP), *waterjet propulsion system*, *cycloidal propeller*, *paddle wheels*, dan *azimuth thruster*.

Material Baling- Baling

Bahan yang digunakan untuk material baling- baling pada kapal dirancang agar tahan korosi karena penggunaannya di air laut. Saat ini, material yang banyak digunakan dalam pembuatan baling- baling adalah paduan *stainless steel* dan paduan *bronze* karena 10 - 15% lebih ringan dari bahan lain dan memiliki kekuatan yang lebih tinggi.

Pemilihan material yang akan digunakan untuk baling- baling ditentukan oleh bobot kerja dan kondisi *service*. Akan tetapi, hal yang dibutuhkan dari sifat material baling- baling antara lain yaitu:

1. Memiliki tingkat ketahanan yang tinggi terhadap kelelahan yang diakibatkan oleh korosi air laut.
2. Tingkat ketahanan yang tinggi terhadap erosi akibat kavitasi.
3. Tingkat kekuatan yang tinggi terhadap rasio beban. (Carlton, 2007).

Kerusakan Pada Daun Baling- Baling

Daun baling- baling dibuat dengan material paduan kuningan karena kuningan merupakan material yang tahan korosi. Kerusakan yang terjadi pada daun- baling biasanya berupa kavitasi, daun baling- baling yang patah ataupun retak karena

benturan dengan benda- benda di laut, faktor usia, material yang tidak memenuhi standart ataupun kesalahan dalam proses pembuatan.

Tahapan Perbaikan Daun Baling- Baling

1. Membersihkan baling- baling saat masih terpasang
2. Proses melepaskan baling- baling dari kapal
3. Melepaskan poros baling- baling
4. Pemeriksaan pada baling- baling
5. Melakukan perbaikan pada daun baling- baling
6. Pengujian dengan cara *colour check*
7. *Balancing* daun baling- baling
8. Pemasangan daun baling- baling

Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga biasanya digunakan untuk mendapatkan penyelesaian pendekatan masalah- masalah fisik. Biasanya, metode ini akan lebih mudah apabila digunakan pada masalah- masalah kontinum dengan bentuk yang tidak teratur dan terdiri dari material yang berbeda. Dari penggabungan beberapa konsep matematika, maka dapat ditemukan persamaan sistem linier atau non- linier sesuai penggunaan penelitian.

Fatigue Life

Fatigue dapat disebabkan oleh beban yang diberikan secara berulang sehingga mengakibatkan kerusakan ataupun kegagalan. Sekitar 90% kerusakan pada material yang umum terjadi disebabkan oleh kegagalan. Menurut John Carlton, data yang harus dipertimbangkan dalam ketahanan terhadap *fatigue* setidaknya sampai 10^8 siklus.

METODOLOGI PENELITIAN

Agar penelitian dapat berjalan sesuai dengan lancar dan tercapainya tujuan yang dimaksud maka dibuat alur penelitian yang sistematis sehingga penelitian yang dilakukan dapat terarah mulai dari awal penelitian hingga akhir.

Identifikasi Masalah

Pada penelitian ini diawali dengan mencari tahu letak dan jenis kerusakan pada daun baling- baling kapal. Selanjutnya yaitu mengidentifikasi penyebab- penyebab kerusakan tersebut. Setelah itu, mengidentifikasi dan merumuskan masalah mengenai persebaran tekanan serta perawatan yang dilakukan untuk perbaikan daun baling- baling TB. ASP 26. Simulasi dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan *software* Numeca Fine Marine. Setelah didapatkan hasil simulasi, maka selanjutnya yaitu dengan menentukan metode perawatan yang tepat terhadap daun baling- baling yang mengalami kerusakan. Langkah terakhir setelah mendapat

metode perawatan yang tepat, maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan.

Pengumpulan Data

Peneliti melakukan pengumpulan data dengan data yang diperoleh dengan melakukan studi literatur dan survey lapangan di galangan PT. Caputra Mitra Sejati, antara lain yaitu data primer yang berupa ukuran utama kapal, ukuran dan data detail mengenai baling- baling.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

Ukuran Utama Kapal	
Nama Kapal	TUGBOAT ASP. 26
Panjang (LOA)	27,1 meter
Tinggi	4,65 meter
Lebar	8 meter

Tabel 2. Data Baling- Baling

Data Baling- Baling	
Type	Kaplan
Diameter	1800 mm
<i>Pitch (constant)</i>	1670 mm
<i>Pitch ratio</i>	0,9278
<i>Blade area ratio</i>	0,65
<i>Blade thickness ratio</i>	0,041
<i>Blade rake angle</i>	0 deg
<i>Propeller boss ratio</i>	0,167
<i>Number of blade</i>	4
<i>Number of propeller</i>	2
<i>Rotation</i>	RH & LH
Material	KHBsC1
<i>Estimated weight</i>	450 kg
<i>Estimated WK2 in air</i>	68,5 kgm ²
<i>Estimated WK2 in water</i>	106,0 kgm ²

Permodelan Baling- Baling

Setelah mendapatkan data dari hasil observasi langsung yang dilakukan di lapangan dan juga dukungan- dukungan teori yang didapat dari studi literatur, maka selanjutnya yaitu melakukan permodelan baling- baling pada kapal TB. ASP 26 dengan menggunakan bantuan *software* PropCad dan SolidWork.

Simulasi Permodelan

Simulasi permodelan dilakukan menggunakan *software* Numeca Fine Marine dengan tahapan awal *meshing* di HEXPRESS dari *pre processor* hingga *post processor*. Setelah melakukan *meshing*, selanjutnya yaitu melakukan *running* di FineMarine

dengan pemberian parameter yang ada. Hasil simulasi berupa *pressure contour* dari baling- baling yang sudah dipengaruhi dengan kavitasi dan bentuk *cavitation fraction* pada baling- baling.

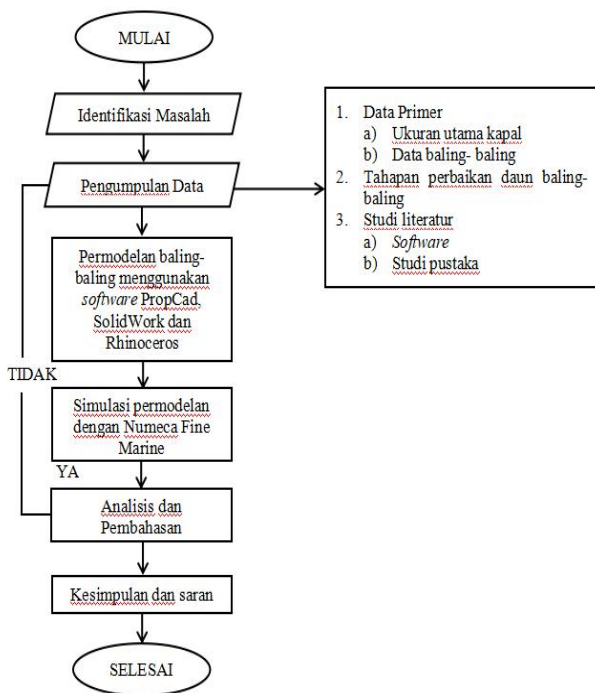
Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini, data yang sudah diperoleh dari hasil simulasi dan perhitungan akan diolah kembali agar mendapatkan nilai *first-order fatigue cycle* dan tahapan perbaikan untuk daun baling- baling.

Kesimpulan

Setelah melakukan semua tahapan- tahapan dari awal hingga mendapatkan hasil dari analisis yang sudah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan dan saran mengenai penelitian ini.

Dapat dilihat pada gambar 1 adalah diagram alir penelitian.

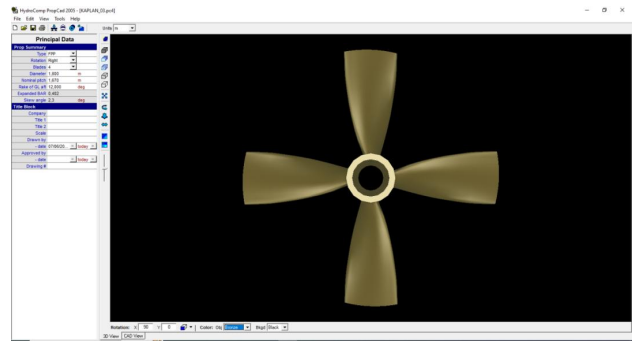


Gambar 1. Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

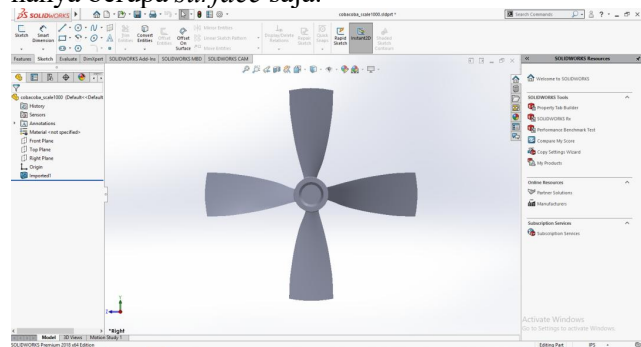
Pembuatan Model

Data *propeller* yang sudah diperoleh maka diinput kedalam *software* PropCad untuk dilakukan permodelan. Data- data yang diinput kedalam PropCad berupa jenis baling- baling, diameter baling- baling dan jumlah daun baling- baling. Nantinya, angka- angka yang sudah diinput akan dikalkulasi untuk mendapatkan visual model *propeller* dalam bentuk 3D seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil Visualisasi dari PropCad

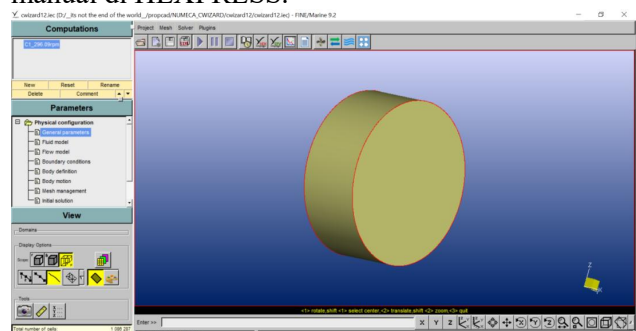
Setelah mendapatkan bentuk 3D dari *software* PropCad, dilakukan pembuatan model dengan menggunakan *software* SolidWork untuk membuat model menjadi solid seperti pada gambar 3 karena model yang dihasilkan dari *software* PropCad hanya berupa *surface* saja.



Gambar 3. Hasil Visualisasi Dari SolidWork

Simulasi Model

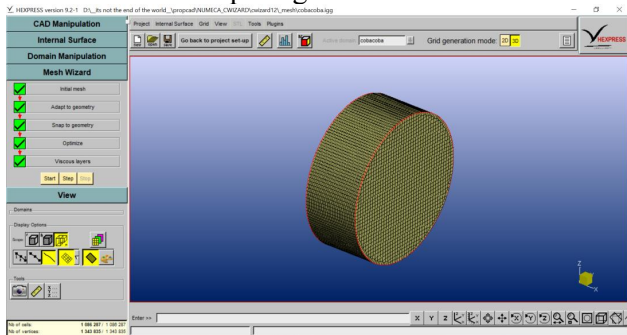
Baling- baling yang telah dibuat kemudian diimport ke *software* Numeca untuk pengujian model atau *running*. Agar dapat melakukan simulasi di *software* CFD, maka harus dibuat geometri model. Penentuan *boundary* terdiri dari beberapa kondisi batas yaitu *inlet* untuk tempat masuknya aliran fluida, lalu *outlet* untuk tempat keluarnya aliran fluida, dan *wall* yaitu batas aliran disekeliling model yang berbentuk silinder. Pada Numeca Fine Marine, terdapat fitur khusus yang dapat digunakan untuk model *propeller* yaitu Cwizard. Dengan begitu, maka *boundary* dari baling- baling sudah otomatis terbuat seperti tampilan yang terdapat pada gambar 4. Namun apabila masih ada data yang ingin disesuaikan lagi, maka dapat diperiksa secara manual di HEXPRESS.



Gambar 4. Boundary

Setelah membuat *boundary* atau batas aliran, maka tahap selanjutnya yaitu dilakukan proses *meshing*. *Meshing* adalah suatu proses yang membagi model yang dianalisa menjadi elemen atau partikel dan node- node yang lebih kecil. Semakin kecil elemen, maka semakin detail tingkat ketelitiannya. Namun proses *running* yang dijalani akan memakan waktu yang lebih banyak.

Setelah menyesuaikan dan mengkoreksi semua parameter yang dibutuhkan hingga sesuai, maka selanjutnya dilakukan *meshing*. Hasil *meshing* maka akan terlihat pada gambar 5.

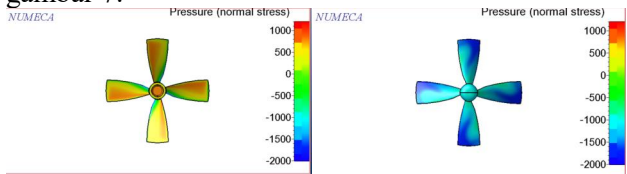


Gambar 5. Hasil *Meshing*

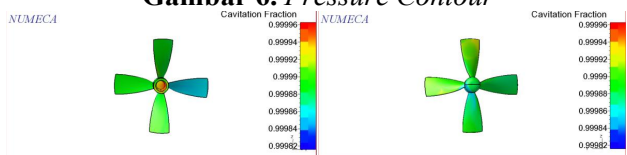
Geometri model yang telah selesai diberikan selanjutnya dapat dilakukan proses simulasi atau *running* dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Proses simulasi ini menggunakan *software* CFX-Solver, untuk melihat hasilnya. *Running* yang dilakukan berupa data iterasi dari persamaan dasar dinamika fluida.

Setelah *running* simulasi selesai dilakukan, maka akan didapat hasil dari *running* tersebut. Hasil simulasi yang didapatkan dapat dilihat dengan membaca grafik pada Monitor. Pada penelitian ini, data yang diambil berupa Force dan dalam CFview yaitu merupakan bagian yang terjadi terhadap sumbu x sehingga dalam grafik terbaca sebagai Fx. Setelah *running* selesai, hasil yang diperoleh berupa Untuk pembacaan data dan visual dari hasil simulasi CFD menggunakan CFView.

Dalam tahapan ini data yang diambil yaitu *pressure contour* sebagaimana terlihat pada gambar 6, dan *cavitation fraction* yang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 6. *Pressure Contour*



Gambar 7. *Cavitation Fraction*

Analisa Kelelahan Material

Tahap ini digunakan untuk menghitung nilai *stress* atau tegangan tertinggi dari material yang sudah dipengaruhi dengan faktor kavitasi dan mendapatkan letak dari titik rawan akibat tekanan yang didapat pada saat *running software* CFD.

Pendefinisian material dilakukan sesuai dengan kebutuhan. Analisa yang dilakukan menggunakan material *copper alloy* dengan *grades high strength brass casting* (KHBsC1) atau *material propertiesnya antara lain:*

- a. *Density* : 8400 - 8700 kg/m³
- b. *Modulus elastisity* : 1,1 x 10⁵ MPa
- c. *Poisson ratio* : 0,34
- d. *Shear modulus* : 4,1045 x 10⁴ MPa
- e. *Proof stres* : 175 N/mm²
- f. *Tensile strength* : 440 N/mm²

Pada tahap selanjutnya yaitu diberikan pembebanan. Beban atau *load* yang berupa tekanan *pressure* yang didapatkan dari analisa CFD kemudian diimport kedalam model CFView

Tahap selanjutnya yaitu didapatkan nilai *maximum stress* serta lokasi *hotspot stress* dari hasil *running calculation* pada CFView. Didapatkan nilai tegangan maksimum sebesar 162,2 MPa dan lokasi *hotspot stress* berada pada bagian *Back* dari daerah daun baling- baling.

Setelah itu dilakukan perhitungan nilai siklus yang dialami baling- baling selama 25 tahun dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{First-order Fatigue Cycle} = \text{Rpm} \times 60 \text{ minutes} \times 24 \text{ hours} \times \text{Operating days in one year}$$

Sehingga, dalam perhitungan dengan kurun waktu 25 tahun maka siklus yang dialami oleh propeller terlihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3. *First-order Fatigue Cycle*

Time	Number of Cycles
1 st Year	1,066 x 10 ⁸
5 th Year	5,332 x 10 ⁸
10 th Year	1,066 x 10 ⁹
20 th Year	2,132 x 10 ⁹
25 th Year	2,665 x 10 ⁹

Berdasarkan simulasi dan perhitungan yang sudah dilakukan, patahan pada daun baling- baling kapal TB. ASP 26 disebabkan oleh kelelahan pada material serta kavitasi yang terjadi pada daun baling-baling karena penggunaannya. Patahan yang dialami oleh kapal TB. ASP 26 terjadi pada saat menginjak tahun ke sepuluh sejak pembuatannya yaitu pada tahun 2012 atau yang berarti saat mencapai 1,066 x 10⁹ siklus.

Perawatan dan Perbaikan Daun Baling- Baling

Untuk meminimalisir terjadinya kerusakan, baling- baling harus selalu diperiksa saat melakukan survei tahunan, survei pertengahan ataupun saat *special survey* guna mengetahui apakah performa baling- baling masih bekerja dengan baik atau tidak. Apabila baling- baling mengalami kerusakan maka t kerja mesin semakin berat karena daya yang dihasilkan sudah maksimal, namun transfer daya tersebut tidak terserap dengan baik oleh daun baling- baling karena mengalami kerusakan. Pada baling- baling TB. ASP 26 yang mengalami patahan dapat disebabkan oleh benturan benda di laut, kavitasi ataupun material yang sudah mencapai batas titik lelehnya, maka dilakukan perbaikan.

1. Membersihkan daun baling- baling

Tahap awal dari perawatan baling- baling yaitu membersihkan daun baling- baling saat baling- baling masih terpasang pada poros. Untuk menghilangkan kotoran- kotoran yang menempel pada baling- baling seperti binatang laut ataupun tumbuhan, maka dilakukan sekrap.

2. Proses melepas baling- baling.

Pada proses ini, baling- baling dilepas dari porosnya untuk dilakukan pengecekan pada *shaft* maupun perbaikan pada baling- baling apabila terjadi patahan atau bengkokan sehingga mengharuskan daun baling- baling dilepas untuk melakukan perbaikan.

3. *Cleaning* daun baling- baling

Proses ini yaitu pembersihan daun baling- baling. Proses *cleaning* daun baling- baling dilakukan untuk melihat lebih detail kondisi permukaan daun baling- baling apakah terjadi kerusakan seperti kavitasi, keretakan atau bengkok. Pada tahap ini, apabila ditemukan patahan, maka dilakukan pemeriksaan kelengkungan pada patahan. Sedangkan pada keretakan, maka diukur seberapa besar keretakannya.

4. Perbaikan daun baling- baling

Pada daun baling- baling kapal TB. ASP 26 yang terkikis, perbaikan dapat dilakukan dengan melakukan penambahan bahan yang sesuai dengan material baling- baling dengan las pada bagian- bagian yang mengalami pengikisan, lalu permukaan yang sudah dilas dihaluskan kembali hingga seperti kondisi awal.

Pada daun baling- baling yang mengalami *crack* (retak), perbaikan yang dilakukan juga dengan penambahan material yang sesuai dengan baling- baling dengan cara di las, seperti yang dapat dilihat pada gambar 8. Setelah itu, permukaan dihaluskan kembali dengan gerinda hingga seperti semula.



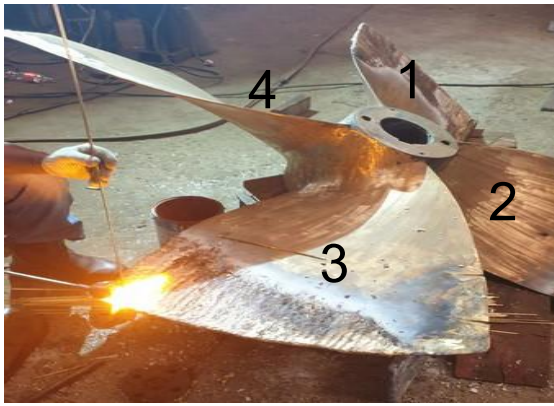
Gambar 8. Hasil Pengelasan Pada Daun Baling- Baling

Pada bengkokan yang tidak terlalu parah, perbaikan daun baling- baling yaitu cukup dengan diluruskan kembali dengan cara memanaskan area yang bengkok lalu dipres hingga permukaan rata. Sedangkan pada bengkokan yang parah, bagian daun baling- baling harus dipotong dan diganti dengan bahan serta ketebalan yang sesuai. Pada patahan yang terdapat di daun baling- baling sebelum dipotong, dibuat mal terlebih dahulu yang telah disesuaikan dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan untuk dijadikan alas saat penambahan bahan. Setelah itu, dapat dilakukan penambahan bahan diatas mal yang sudah dibuat tanpa memperhatikan ketebalannya. Setelah itu permukaan yang tidak rata di gerinda hingga kembali ke bentuk semula serta memperhatikan ketebalannya. Perlakuan tersebut juga berlaku pada bagian daun baling- baling yang mengalami patah seperti yang dapat dilihat pada gambar 9. Pada TB. ASP 26 yang mengalami patah, materialnya berupa *copper alloy* atau paduan tembaga, maka pengelasannya menggunakan metode *MIG welding* ataupun *TIG welding* dengan *filler metals* berupa *aluminium bronze* seperti yang dapat dilihat pada gambar 10.

Hal yang harus diperhatikan untuk melakukan pengelasan adalah tempat kerja untuk pengelasan perbaikan. Tempat kerja harus bersih dan bebas dari debu berbahaya, kotoran, ataupun serbuk logam dan kelembaban yang berlebihan.



Gambar 9. Patahan Daun Baling- Baling



Gambar 10. Pengelasan Pada Daun Baling-Baling

5. Pengujian *colour check*

Setelah perbaikan yang sudah dilakukan, maka tahap selanjutnya yaitu pengujian *colour check* dengan menggunakan *dye penetrant test* seperti yang dapat dilihat pada gambar 11. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa tidak ada cacat atau retakan yang tersisa pada bagian yang sudah diperbaiki. Pada *dye penetrant test*, keretakan visual dapat terlihat namun keretakan yang terjadi dalam ketebalan tertentu tidak dapat terdeteksi sehingga diperlukan *infrared*.



Gambar 11. *Colour Check* Pada Daun Baling-Baling

6. *Balancing* baling- baling

Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah setiap daun baling-baling memiliki berat yang sama atau tidak, seperti yang dilihat pada gambar 12, apabila timbangan pada daun baling- baling mengalami perbedaan di tiap daun, maka dilakukan perbaikan ulang hingga tiap daun baling- baling memiliki berat yang sama. Tahapan dalam *balancing* baling- baling dapat dilakukan secara manual dengan cara seperti berikut:

1. Siapkan sebuah poros dengan diameter yang sesuai dengan diameter *boss propeller*.
2. Masukkan poros tersebut kedalam *hub propeller* dan berikan sedikit pelumas agar putaran lancar.

3. Berikan pengunci pada kedua sisi poros agar *propeller* tidak terlepas ketika diputar
4. Daun baling- baling diputar dengan kecepatan tertentu hingga *propeller* berhenti dengan sendirinya akibat massa *propeller* dan gaya gravitasi.
5. Apabila *propeller* berhenti pada satu sisi daun setelah dilakukan beberapa kali putaran dan letak daun tersebut selalu dibawah, maka dapat dipastikan daun tersebut memiliki massa yang lebih banyak. Apabila hal tersebut terjadi, maka daun baling- baling tersebut digerinda hingga massanya berkurang.

Setelah daun baling- baling sudah sesuai beratnya, maka baling- baling dipasang kembali.



Gambar 12. *Balancing* Pada Daun Baling-Baling

SIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dengan software Numeca Fine Marine dan melakukan perawatan pada baling- baling kapal TB. ASP 26, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai tegangan maksimum sebesar 162,2 MPa.
2. Didapatkan nilai *First-order Fatigue Cycle* pada kapal TB. ASP 26 pada tahun pertama yaitu $1,066 \times 10^8$ siklus dan pada tahun ke 25 yaitu $2,665 \times 10^9$ siklus dengan asumsi kinerja baling- baling selama 250 hari dalam satu tahun.
3. Kerusakan pada baling- baling yang disebabkan *fatigue* akibat kavitasi membuat umur pakai propeller menjadi lebih cepat.
4. Kerusakan pada daun baling- baling sangat berpengaruh terhadap performa kapal karena daya yang ditransfer dari mesin tidak terserap secara maksimal.
5. Kerusakan yang dialami pada bagian daun baling- baling TB. ASP 26 harus diperbaiki dengan tahapan- tahapan yang sesuai dengan prosedural

6. Baling- baling yang mengalami damage harus diperbaiki dengan prosedur yang sesuai dengan standar *class*.

Dengsn CFD (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).litian dan Pengembangan Perhubungan. (2020). *Rencana Strategi Tahun 2020-2024*. Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, S.W., 2005. Engine Propeller Matching. Available: oc. its. ac. id/ambilfile.php.
- Adji, S.W., 2006. Pengenalan Sistem Propulsi Kapal. Available: oc. its. ac.id/ambilfile. php.
- Carlton, J., 2018. Marine propellers and propulsion. Butterworth-Heinemann.
- Christanto, A.Y.B., 2018. Analisa Perbandingan Keunggulan Kapal Tunda Menggunakan Propulsi Elektrik Dengan Propulsi Mekanis (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Firdaus, S., 2017. Analisis Peforma Modifikasi Propeller Ka-70 Menjadi Hubless RIM Driven Propeller Menggunakan CFD (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Firmansyah, A.D., Santoso, A. and Djatmiko, E., 2012. Perancangan Controllable Pitch Propeller Pada Kapal Offshore Patroli Vessel 80 (OPV80). *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), pp.G230-G235.
- Gerr, D., 1989. Propeller handbook. International Marine Publishing.
- Julianto, E., 2009. Pemakaian Baling-Baling Bebas Putar (Free Rotating Popeller) Pada Kapal. *Teknik*, 30(2), pp.140-145.
- Laksono, E.S., 2017. PROSES PERBAIKAN DAN PERAWATAN PROPELLER PADA KAPAL TUNDA SELAT SIBERUT DI DRY DOCK GALANGAN PT RUKINDO JAKARTA (Doctoral dissertation, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta).
- Li, Z., Zhang, L., Liu, H., Zuo, Z., & Liu, C., 2018. Nonlinear robust control of tail-sitter aircrafts in flight mode transitions. *Aerospace Science and Technology*, 81, 348-361.
- Manik, P., Analisa Teknis Dan Ekonomis Sistem Perbaikan Daun Propeller Yang Patah Pada Km. Mandiri Dua Tanpa Docking. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 6(2), pp.100-106.
- Munawir, A., Rubiono, G. and Mujiyanto, H., 2017. Studi Prototipe Pengaruh Sudut Kemiringan Poros Baling-Baling Terhadap Daya Dorong Kapal Laut. *V-MAC (Virtual of Mechanical Engineering Article)*, 2(1).
- Smith, S. L., 1952. Ship Research. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 166(1), 48-63.
- Suranto, M., 2018. Analisa Kavitas Surface Pada Daun Propeller Wageningen Series C4-40