

Survey Pengepokan Pada *Tailshaft* Kapal Dorothy IMO 9821251

Adhi Riansyah Purnama¹, Ibnu Hajar Alghifari^{2*}

¹PT Samudra Marine Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

¹Kp. Lumalang, Desa Bojonegara, Kec. Bojonegara, Kabupaten Serang, Banten 42454

²Jl. PHH Mustafa No.23 Bandung 40124

e-mail korespondensi : [algif6547@gmail.com*](mailto:algif6547@gmail.com)

ABSTRAK

Teknologi baling-baling dikembangkan untuk menggantikan teknologi kapal layar yang memanfaatkan energi angin ataupun dayung. Poros baling-baling memiliki peran yang besar dan secara langsung menentukan kinerja kapal laut. Oleh karena itu, poros baling-baling harus menjadi perhatian dalam sistem penggerak kapal laut. Poros baling-baling kapal harus dirancang dan dirawat agar selalu berada pada kondisi yang baik dan memberikan kinerja optimal. Dalam penelitian ini dilakukan inspeksi kerusakan dan perbaikan terhadap kerusakan sistem poros *tail shaft* dalam survei pengepokan (*special survey*) dari kapal Dorothy IMO 9821251 yang menurut standar Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) harus dilakukan setelah kapal beroperasi selama 5 tahun. Selain itu dilakukan juga evaluasi dampak perawatan yang telah dilakukan terhadap kinerja poros *tail shaft*. Dari inspeksi kerusakan diketahui bahwa penyebab kerusakan yang terjadi pada *tail shaft* terutama disebabkan karena gesekan antara poros dan bantalan yang intens serta diperburuk dengan pelumas air laut yang membawa kotoran serta garam yang bersifat abrasif dan korosif. Uji performa terhadap *tail shaft* yang dilakukan setelah proses perbaikan memberikan hasil yang baik. Kenaikan temperatur yang terjadi pada saat poros berputar di dalam bantalan dengan variasi kecepatan putaran masih berada di bawah temperatur maksimum yang direkomendasikan. Celah di antara poros dan bantalan terbentuk dengan sangat baik sehingga tidak ada kotoran yang terbawa oleh air laut pelumasan masuk ke dalam celah antara poros dan bantalan. Dampak positifnya terlihat dari kenaikan temperatur yang tidak melampaui batas toleransi serta gerakan dari baling-baling lebih stabil dan tidak timbul getaran ataupun gerakan *tail shaft* yang melebar.

Kata kunci : kapal, perawatan, poros baling-baling.

ABSTRACT

Propeller technology was developed to replace sailing ship technology that utilizes wind energy or paddles. The propeller shaft has a big role and directly determines the performance of marine vessels. Therefore, the propeller shaft must be a concern in marine propulsion systems. Ship propeller shafts must be designed and maintained so that they are always in good condition and provide optimal performance. In this study, damage inspection and repair of damage to the tail shaft temperature system was carried out in the special survey of the ship Dorothy IMO 9821251 which according to the standards of Biro Classification Indonesia (BKI) must be carried out after the ship has been in operation for 5 years. Besides that, an evaluation of the impact of the maintenance that has been carried out on the performance of the tail shaft Classification is also carried out. From the inspection of the damage it is known that the cause of the damage to the tail shaft is mainly due to the intense friction between the shaft and the bearings which is exacerbated by seawater lubricants which carry dirt and salt which are abrasive and corrosive. The performance test on the tail shaft which was carried out after the repairing process gave good results. The temperature rise as the shaft rotates in the bearings with variations in rotational speed is still below the maximum temperature recommended. The gap between the shaft and the bearing is well formed so that no dirt carried by the lubricating seawater gets into the gap between the shaft and the bearing. The positive impact can be seen from the increase in temperature which does not exceed tolerance limits and the movement of the propeller is more stable and there is no vibration or widened tail shaft movement.

Keywords : Vessel, Maintenance, Tail shaft.

1. Pendahuluan

Teknologi baling-baling ditemukan dan dikembangkan sebagai pengganti teknologi kapal layar yang memanfaatkan energi angin sebagai pendorong ataupun dayung sebagaimana pada kapal-kapal zaman dahulu [1]. Kelebihan dari teknologi baling-baling yang digerakkan oleh mesin ini adalah kecepatan kapal tidak bergantung kepada faktor alam dan kecepatannya juga bisa lebih tinggi daripada kapal dengan penggerak layar ataupun dayung.

Sistem poros baling-baling adalah suatu perangkat yang memegang peran penting dalam operasional kapal laut. Poros baling-baling (*tail shaft*) berfungsi meneruskan daya dan putaran dari mesin penggerak utama ke baling-baling sehingga kapal dapat terdorong dan bergerak. Selain menghasilkan gaya dorong, kinerja dari sistem poros baling-baling juga ikut menentukan kecepatan kapal. Begitu besarnya peran poros baling-baling terhadap gaya dorong dan kecepatan kapal, maka kondisi dan performa poros baling-baling secara parsial juga harus menjadi perhatian dalam sistem penggerak kapal laut. Poros baling-baling kapal harus dirancang dan dirawat agar selalu berada pada kondisi yang baik dan memberikan kinerja optimal [2].

Kapal dapat bergerak dan terdorong di atas air karena gaya dorong yang (*trust*) dihasilkan sistem poros baling-baling mampu melawan gaya hambat yang arahnya berlawanan dengan arah gerak kapal. Daya dan putaran yang disalurkan ke baling-baling kapal berasal dari daya poros, sedangkan daya poros sendiri bersumber dari Daya Rem yang berasal dari mesin penggerak kapal [3]. Sebagai bagian dari sistem pendorong yang bekerja melawan gaya hambat air laut, poros propeller (*tail shaft*) akan mendapat beban yang dapat tidak kecil, terlebih dengan bobot kapal laut yang sangat besar. Gaya hambat yang terjadi ketika poros baling-baling ini berputar dan mendorong kapal akan menimbulkan beban pada poros baling-baling pada arah puntir dan arah aksial. Gerakan berputar dari poros dapat menyebabkan keausan poros karena bergesekan dengan bantalan. Gesekan yang terjadi di antara poros dan bantalan juga bisa berdampak kepada keausan bantalan. Pada kondisi yang buruk, dimana terjadi korosi atau perkaratan, keausan yang terjadi pada poros dan bantalan bisa terjadi lebih besar.

Beban atau gaya pada arah aksial yang terjadi pada poros dapat menjadi beban *buckling*. Pada jangka waktu yang lama, poros yang mengalami beban aksial dapat menyebabkan poros menjadi bengkok atau tidak lurus lagi. Poros baling-baling yang bengkok atau tidak lurus akan berakibat kepada kesalahan putar (*run-out*) pada poros dan akan berdampak langsung kepada penurunan kinerja, yaitu menurunnya gaya dorong. Kesalahan putar pada poros juga dapat mempercepat terjadinya keausan akibat gesekan yang lebih intens pada poros dan bantalan.

Keandalan sebuah kapal laut harus dipertahankan selama pelayaran karena kapal laut harus menghadapi tantangan alam yang tidak bisa diprediksi. Keandalan sebuah peralatan hanya bisa didapatkan dengan sistem perawatan yang baik [4]. Perawatan dapat diartikan sebagai kegiatan yang harus dilakukan untuk memastikan bahwa setiap aset mampu melakukan apa yang diinginkan oleh penggunaannya sesuai konteks operasionalnya secara terus-menerus [5]. Kemampuan peralatan untuk memberikan kinerja optimum secara terus-menerus adalah ukuran dari keandalannya [6]. Keandalan sebuah kapal salah satunya ditentukan oleh kinerja poros baling-baling. Poros baling-baling yang tidak berfungsi dengan baik akan membuat kapal tidak dapat bergerak dengan efisien yang artinya tidak memiliki keandalan yang baik.

Manajemen pemeliharaan mulai dikembangkan sejalan dengan terjadinya kemajuan dalam sistem dan teknologi mesin dan peralatan. Kompleksitas dalam inovasi sistem dan teknologi dalam bidang permesinan dan peralatan harus diimbangi dengan perkembangan teknik dan metode perawatannya serta sistem manajemen pelaksanaan perawatannya [7]. Operasi atau aktivitas pemeliharaan harus dilakukan secara berkala agar kondisi fisik dan kinerja sebuah peralatan selalu terpantau. Jika sewaktu-waktu terdeteksi adanya penurunan kinerja ataupun kerusakan maka langkah-langkah perbaikan ataupun penggantian komponen dapat segera dilakukan. Pada saat ini, manajemen perawatan tidak lagi dilihat sebagai bagian yang terpisah

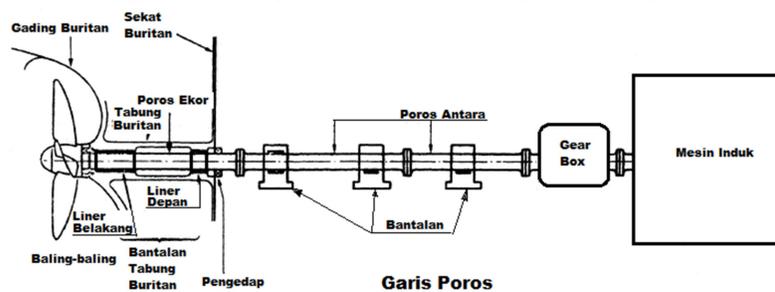
dari sistem produksi, tetapi sudah dianggap sebagai bagian yang memiliki peran strategis untuk mencapai kesuksesan bisnis [8].

Dalam sistem manajemen perawatan kapal, perawatan sistem poros baling-baling harus dilakukan secara berkala oleh pihak pemilik kapal. Biro klasifikasi Indonesia (BKI) telah menentukan periode survey pencabutan poros, yaitu setiap tiga tahun untuk sistem poros tunggal dan setiap empat tahun sekali untuk sistem poros jamak. Pada periode tertentu dan setelah melakukan pemeriksaan dan pengukuran, beberapa komponen dari sistem ini harus diperbaiki atau bahkan diganti dengan komponen baru sesuai dengan tingkat kerusakannya. Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) juga mensyaratkan bahwa untuk sistem poros baling-baling dengan pelumasan air laut harus dicabut dan diperiksa pada selang waktu tiga tahun, sedangkan untuk sistem poros baling-baling dengan pelumasan minyak harus dicabut dan diperiksa pada selang waktu lima tahun [9]. Jadwal *overhaul* untuk *survey class* (*Periodical Survey*) meliputi *Annual Survey* (survey tahunan), *Docking Survey* (saat kapal naik Dock), *Intermediate Survey* (Survey pada masa pertengahan dari Special Survey), *Boiler Survey* (Survey Ketel Uap), *Special Survey* (Survey yang diadakan dalam interval lima tahunan), *Propeller Shaft and Tailshaft Survey* (Survei poros baling-baling dan tabung poros baling-baling)

Mengingat penting peranan poros baling-baling (*tailshaft*), maka dalam penelitian ini dilakukan pengecekan terhadap kondisi fisik dari sistem poros baling-baling (*tail shaft*) kapal Dorothy IMO 9821251, serta melakukan perbaikan yang diperlukan untuk mengembalikan kinerjanya. Pemeriksaan dan perbaikan ini dilakukan dengan mengacu kepada standar Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), yang mempersyaratkan bahwa kapal yang telah beroperasi selama 5 tahun harus dilakukan *special survey*. Selain itu, kapal ini juga mengalami permasalahan panas pada sistem *tail-shaft*nya serta gerakan baling-baling yang tidak stabil atau terjadi getaran. Setelah melalui pemeriksaan dan perbaikan sistem *tail shaft*, dilakukan juga uji kinerja, untuk mengetahui dampak dari perawatan yang telah dilakukan terhadap sistem poros baling-baling kapal Dorothy.

2. Metodologi Penelitian

Sistem poros baling-baling tersusun dari beberapa komponen, mulai dari motor induk sampai ke baling-baling, seperti yang terlihat dalam gambar 1. Komponen penting di dalam sistem poros baling-baling di antaranya terdapat poros dan bantalan. Poros berfungsi untuk meneruskan daya dan putaran dari mesin utama ke baling-baling sedangkan bantalan berfungsi menumpu poros agar tetap berada pada posisinya dan dapat berputar dengan mudah. Sedemikian pentingnya dua komponen utama ini hingga memiliki prioritas utama dalam perawatannya.



Gambar 1. Komponen-komponen dalam sistem poros baling-baling kapal [10]

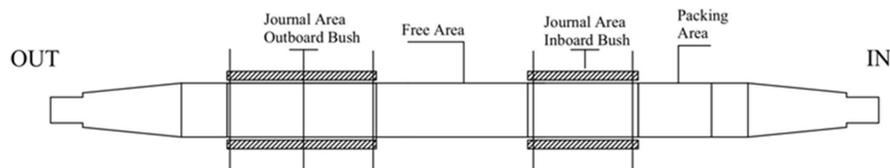
Untuk mendapatkan kinerja yang optimal, sistem poros baling-baling kapal harus mampu bekerja dengan benar. Untuk dapat bekerja dengan benar, sistem poros baling-baling harus memiliki kualitas geometri yang benar juga, baik secara parsial ataupun terintegrasi. Setiap komponen dari sistem poros baling-baling harus mampu memainkan perannya dengan benar. Akurasi yang rendah dari setiap komponen akan berdampak kepada penurunan kinerja sistem poros baling-baling [11].

Menurut standar yang digunakan oleh Biro Klasifikasi Indonesia, kapal yang telah beroperasi selama 5 tahun harus diperiksa dan dilakukan perawatan survey pengedokan. Demikian juga halnya dengan kapal Dorothy IMO 9821251 yang telah beroperasi selama 5 tahun. Selain pemeriksaan rutin 5 tahunan yang wajib dilakukan, kapal ini juga telah mengalami beberapa permasalahan, terutama pada sistem *tailshaft*-nya, yaitu terjadinya panas yang melebihi toleransi dan gerakan baling-baling yang tidak stabil atau terjadi getaran. *Tailshaft* kapal Dorothy IMO 9821251 yang diperiksa dan dilakukan perawatan terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Tailshaft Kapal Dorothy

Tail shaft kapal Dorothy terbagi menjadi 4 bagian utama, yaitu *journal area in board bush* (FWD), *journal area out board bush* (AFT), *free area* dan *packing area*. Pembagian area dari *tail shaft* kapal Dorothy terlihat pada gambar 3



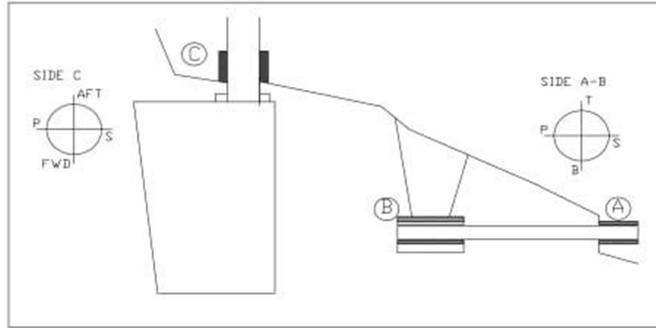
Gambar 3. Bagian-bagian Tailshaft kapal Dorothy

Untuk menjaga kinerja poros baling-baling secara khusus dan mendapatkan keandalan kapal laut secara menyeluruh, maka perawatan kapal harus dilakukan secara periodik. Badan Klasifikasi Indonesia (BKI) pada Buku Petunjuk dan Prosedur survey, mempersyaratkan bahwa pada kapal yang telah beroperasi 5 tahun harus dilakukan *Special Survey* (Survey Pengedokan) yang salah satu tahapannya adalah melakukan pemeriksaan kondisi *tail shaft*, bantalan *tailshaft*, dan *propeller*. Berdasarkan hasil pemeriksaan tersebut akan dilakukan perbaikan yang diperlukan. Adapun tahapan rinci dari kegiatan perawatan sistem *tail shaft* kapal KMP Dorothy IMO 9821251 yang dilakukan oleh PT. Samudra Marine Indonesia meliputi 9 tahap, yaitu (1) Clearance Check Pada *Tail Shaft* Sebelum *Repair*, (2) Inspeksi Kerusakan, (3) Proses *Repair Tail shaft*, (4) *Alignment Check*, (5) Pengukuran Diameter *Tail shaft*, (6) Pembuatan Bantalan (*Bush*), (7) *Quality Control (Non-Destructive Test)*, (8) Pemasangan Bantalan (*Bush*) dan (9) Uji Performa *Tail shaft* (Poros Baling-baling). Sembilan tahap ini dilakukan secara menyeluruh dan berurutan dan saling terkait. Tahapan proses di depan akan menentukan tahapan atau langkah selanjutnya

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Pengecekan kelonggaran (*clearance check*)

Pengecekan kelonggaran dilakukan untuk mengetahui lebar celah (*gap*) antara *tail shaft* dan bantalan (*bush*) apakah masih dalam batas toleransi atau tidak. Pengecekan ini akan menentukan langkah selanjutnya yang harus dilakukan terhadap sistem *tail shaft*. Alat yang digunakan untuk pengecekan kelonggaran adalah *feeler gauge* dan jangka sorong. Dalam gambar 4 dapat dilihat posisi pengukuran serta hasil pengukuran.



Clearance Of	Diameter	Position	SIDE	T	B	P	S
Tailshaft	339	A	PORT	2.60	0.00	0.75	0.40
			STBD	1.20	0.00	0.50	0.50

Gambar 4. Posisi pengukuran dan hasil pengukuran kelonggaran

Menurut peraturan Badan Klasifikasi Indonesia (BKI), penentuan kelonggaran maksimum yang diizinkan dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Clearance Max} = 0,01 \times D_{\text{shaft}} + 2,5$$

Perhitungan dengan rumus di atas didapatkan nilai maksimum *clearance* yang diizinkan yaitu 5,9 mm, sementara hasil pengukuran menunjukkan angka di bawah 5,9 mm. Berdasarkan data hasil pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa kelonggaran antara poros dan bantalan *tail shaft* masih berada dalam batas toleransi. Namun demikian, menurut peraturan Badan Klasifikasi Indonesia (BKI) pada Buku Petunjuk dan Prosedur survey, kapal yang telah beroperasi selama 5 tahun harus dilakukan *Special Survey* (Survey Pengeodakan). Oleh karena itu, *tail shaft* kapal harus dilepas dan dilakukan tahap pemeriksaan berikutnya di dalam workshop.

3.2. Inspeksi kerusakan dan perbaikan poros tailshaft

Inspeksi dilakukan terhadap poros dan bantalan *tail shaft* untuk melihat kerusakan yang terjadi. Dari inspeksi yang dilakukan terhadap poros *tail shaft* ditemui beberapa kerusakan, yaitu terjadi pengecilan diameter pada bagian *sleeve* dan ketidakrataan permukaan *sleeve outboard* pada bagian *tail shaft port side* (terlihat pada gambar 5). Pengecilan diameter juga terjadi pada bagian *sleeve*, berupa permukaan *sleeve inboard* yang tidak rata serta kerusakan berupa goresan yang mengelilingi bagian *sleeve* pada bagian *tail shaft* kiri (terlihat pada gambar 6). Bagian lain yang juga mengalami kerusakan pada bagian *sleeve* adalah pada bagian *tail shaft* kanan (*starboard side*), dimana terjadi pengecilan diameter pada bagian *sleeve*, berupa permukaan *sleeve outboard* tidak rata dan juga kerusakan berupa goresan pada arah *horizontal* (terlihat pada gambar 7). Pada bagian lain dari *sleeve* ini juga terjadi pengecilan diameter, yaitu permukaan *sleeve* pada bagian *tailshaft* kanan (*starboard side*) berupa ketidakrataan permukaan *sleeve inboard* yang berupa goresan-goresan mengelilingi poros terlihat pada Gambar 8.

Kerusakan pada *tail shaft* yang berupa pengecilan diameter, ketidakrataan permukaan pada *sleeve* area serta goresan-goresan pada arah horizontal (aksial) dan arah keliling poros diakibatkan oleh gesekan antara poros dan bantalan serta air laut yang melumasi poros. Air laut yang terkontaminasi kotoran dan masuk dari celah antara poros dengan bantalan akan menggerus poros dan bantalan. Disamping itu, sifat abrasif dan korosif yang dimiliki garam yang terkandung di dalam air laut juga mempercepat terjadinya keausan dan perkaratan pada *tail shaft*. Masuknya air laut ke dalam bantalan adalah wajar karena media pelumasan dalam sistem propulsi ini menggunakan air laut namun air laut yang masuk ke dalam bantalan harus dijaga agar tidak membawa kotoran.



Gambar 5. Kerusakan pada Outboard Bush Port Side



Gambar 6. Kerusakan pada Inboard Bush Port Side



Gambar 7. Kerusakan pada Outboard Bush Starboard Side



Gambar 8. Kerusakan pada Inboard Bush Starboard Side

Selain kerusakan pada bagian *sleeve* (posisi bantalan), poros *tail shaft* juga mengalami kerusakan pada bagian fiber (*free area*), yaitu berupa bolong atau terkelupasnya lapisan fiber dan juga retak. Tetapi kerusakan ini hanya pada bagian permukaannya saja, yaitu pada lapisan fiber sedangkan kondisi *tail shaft* yang terdapat di balik lapisan fiber itu masih berada pada kondisi baik, tidak ada yang retak atau bolong. Kerusakan yang terjadi pada *free area* (fiber) terlihat pada gambar 9.



Gambar 9. Kerusakan pada Free Area Tail Shaft

Kerusakan yang terdapat pada *free area* berupa retak dan berlubang, terjadi pada saat poros *tail shaft* dilepaskan dan diangkat dari kapal. Alat angkat yang digunakan pada saat pelepasan dan pengangkatan poros kurang sesuai sehingga mengakibatkan lapisan fiber pada *free area* menjadi terkelupas dan rusak.

Perbaikan *tail shaft* dilakukan berdasarkan inspeksi yang telah dilakukan sebelumnya. Pada *tail shaft* terdapat beberapa macam kerusakan, yaitu terdapat bagian *sleeve* yang terkikis atau tergerus dan mengakibatkan permukaan yang tidak rata serta terdapat retak pada fiber (*free area*). Pada bagian-bagian yang rusak ini dilakukan proses reparasi. Proses perbaikan dilakukan di atas mesin bubut untuk mempermudah pekerjaan perbaikan serta sekaligus menjaga agar poros berada pada center yang tetap sama serta memudahkan pekerjaan *alignment* nantinya.

Proses perbaikan *tail shaft* diawali dengan proses *polishing* untuk meratakan dan membersihkan kotoran yang menempel pada permukaan *tail shaft* dengan menggunakan ampelas. Permukaan yang dilakukan proses *polishing* adalah *journal area* atau *sleeve area*. Proses *polishing* terlihat pada gambar 11. Tahap selanjutnya adalah proses pembuatan alur sayatan pada permukaan *sleeve* sebesar 3 mm atau 3% dari diameter *tail shaft* pada permukaan yang tidak rata. Sayatan alur ini berguna agar belzona (sebagai material pengisi) dapat melekat dengan baik. Setelah belzona melekat dengan baik dan mengering, kemudian dilakukan proses *skimming* sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan. Proses *skimming* terlihat pada gambar 12. Pada permukaan yang retak dan bolong di bagian fiber (*free area*) dilakukan penambalan dengan menggunakan dempul. proses penambalan dan perataan permukaan pada *free area* ini dilakukan secara manual dengan bantuan *scoop*. Aplikasi dempul untuk memperbaiki bagian fiber yang retak terlihat pada gambar 13.



Gambar 11. Perataan permukaan poros dengan ampelas

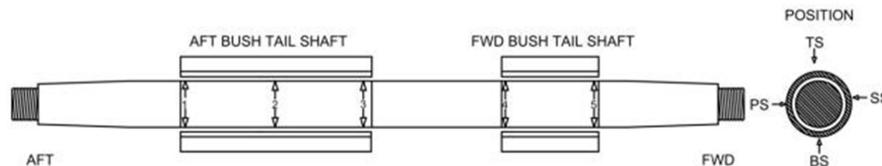


Gambar 12. Proses Skimming



Gambar 13. Aplikasi dempul pada retakan fiber

Setelah melalui proses perbaikan, selanjutnya dilakukan pengecekan kelurusan (*alignment check*) pada *tail shaft* yang bertujuan mengetahui kelurusan *tail shaft*. Proses *alignment check* dilakukan di atas mesin bubut dengan menggunakan alat ukur berupa dial indikator (*dial-gauge*). Pengukuran dilakukan di lima titik pada *sleeve area*, yaitu AFT *Bush Tail shaft* dan FWD *Bush Tail Shaft* seperti yang terlihat pada gambar 14. Pada setiap titik diambil 8 titik pada arah melingkarnya, yaitu setiap 45 derajat.



Gambar 14. Posisi Titik Pengambilan data Alignment Check

Untuk memudahkan proses pengecekan, pada setiap titik pengukuran dibuat garis melingkar kemudian dibagi menjadi 8 titik pengambilan data, seperti yang terlihat pada gambar 15. Pengambilan data dilakukan pada 8 titik untuk setiap posisi. Setiap pengukuran di satu titik pada arah melingkar dilakukan dengan memutar *tail shaft* di atas mesin bubut secara manual seperti

yang terlihat pada gambar 16. Pengukuran *Alignment Check* memberikan data seperti yang terlihat pada tabel 1



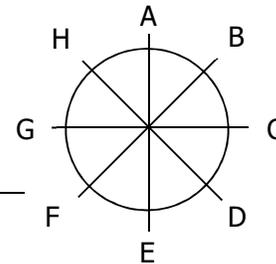
Gambar 15. Penentuan Titik Pengambilan data



Gambar 16. Pengukuran dengan *Dial Gauge*

Tabel 1. Hasil pengukuran *Alignment Check*

POS	1	2	3	4	5	6	PORT
A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	SIDE
B	+ 0,02	+ 0,02	+ 0,10	+ 0,09	+ 0,10		
C	+ 0,05	+ 0,06	+ 0,16	+ 0,18	+ 0,05		
D	+ 0,07	+ 0,12	+ 0,21	+ 0,20	0,0		
E	+ 0,09	+ 0,12	+ 0,22	+ 0,22	+ 0,02		
F	+ 0,09	+ 0,08	+ 0,19	+ 0,18	+ 0,05		
G	+ 0,07	+ 0,05	+ 0,15	+ 0,13	+ 0,06		
H	+ 0,05	+ 0,03	+ 0,10	+ 0,09	+ 0,06		
POS	1	2	3	4	5	6	STBD
A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	SIDE
B	- 0,01	+ 0,02	+ 0,05	- 0,05	0,0		
C	0,0	+ 0,03	+ 0,06	- 0,04	0,0		
D	0,0	+ 0,06	+ 0,05	+ 0,02	0,0		
E	- 0,02	+ 0,04	+ 0,02	+ 0,03	- 0,03		
F	- 0,03	+ 0,01	- 0,07	- 0,02	+ 0,02		
G	+ 0,03	+ 0,03	- 0,05	- 0,01	+ 0,03		
H	+ 0,02	+ 0,01	- 0,02	- 0,04	+ 0,02		



Hasil pengukuran *alignment check* pada tabel 1 menunjukkan bahwa nilai maksimum dari *dial-gauge* adalah +0,22mm, sedangkan simpangan maksimum yang diizinkan adalah $\pm 0,7$ mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kelurusan *tailshaft* masih berada di bawah batas maksimum yang diizinkan, artinya kelurusan *tailshaft* masih bagus.

Pengujian kelayakan yang dimaksudkan di sini adalah pengecekan kualitas atau *quality control* terhadap *tail shaft* untuk mengetahui apakah terjadi cacat atau retak yang mungkin terjadi pada *tailshaft*. Pengujian kelayakan ini hanya dilakukan pada *spie area* (area pasak) saja. Hal ini dilakukan karena area pasak ini adalah area yang memiliki potensi retak atau cacat paling tinggi. Retak atau cacat yang kecil pada area pasak dapat merambat ke bagian lain dari poros dan akan berdampak pada kerusakan poros *tailshaft* yang lebih parah. Retak atau cacat yang berawal dari area pasak dapat mengakibatkan poros menjadi bengkok atau bahkan menjadi patah. Metode yang digunakan pada uji kelayakan ini adalah *Non Destructive Test*, yaitu dengan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Pada pengujian ini inspector BKI hadir sebagai pengawas serta turut melakukan pengamatan dan menentukan apakah *tail shaft* masih layak digunakan.

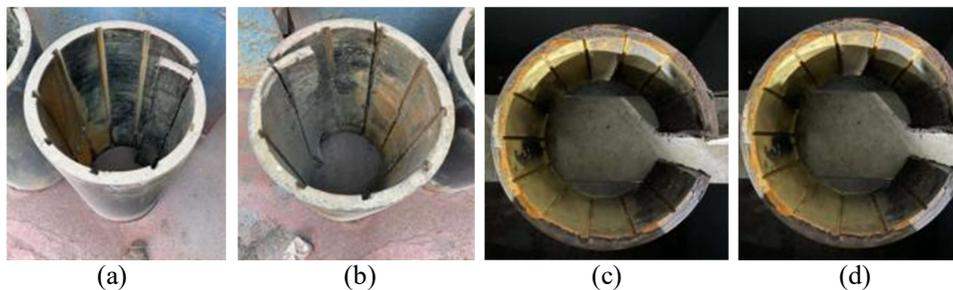
Hasil dari pengujian kelayakan dengan metode NDT menunjukkan tidak ada tanda-tanda kerusakan seperti retak, berlubang, retak, ataupun cacat lainnya pada area pasak. Dari hasil pengujian *Non Destructive Test* ini, Inspektur dari PT. Trihasta Pratama dan Biro Klasifikasi Indonesia mendapatkan kesimpulan bahwa kondisi *tail shaft* pada area pasak masih bagus dan bisa digunakan kembali tanpa harus ada perbaikan.

Deformasi pada *tail shaft* dan kerusakan pada area pasak biasanya disebabkan oleh poros propeler yang bertumbukan dengan benda lain di laut, atau dapat juga disebabkan karena kapal yang kandas dan poros propeler bertabrakan dengan karang atau dasar laut. Hal lain yang juga bisa menjadi penyebab kerusakan poros *propeller* adalah temperatur kerja yang terlalu tinggi karena pelumasan tidak berlangsung secara optimal atau bisa juga disebabkan karena posisi *tail shaft* yang berdekatan dengan ruang mesin. Temperatur yang terlalu tinggi dan melampaui setengah dari temperatur lebur material akan membuat material tersebut menjadi lunak dan sangat mudah terdeformasi plastis dan berubah bentuk.

3.3. Inspeksi Kerusakan dan Perbaikan Bantalan

Pengecekan *clearance* (gap) antara poros *tail shaft* dan bantalan menunjukkan hasil yang masih lebih kecil daripada batas yang diizinkan. Namun ketika poros *tail shaft* dilepaskan dari bantalan ternyata keausan yang terjadi di bagian tengah bantalan lebih besar dari batas toleransi. Pengukuran diameter dalam bantalan menunjukkan angka yang lebih besar daripada 334,9 mm. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa jarak celah (*clearance*) antara bantalan dan poros di bagian tengah bantalan telah melewati batas toleransi. Dengan kondisi seperti ini, maka harus dilakukan penggantian untuk semua bantalan penumpu *tail shaft*.

Kerusakan pada bantalan terjadi pada bagian tengah (dalam) dari bantalan, yaitu yang bersentuhan dengan *tail shaft*. Keausan terjadi pada *groove inboard* dan *outboard* seperti yang terlihat pada gambar 17(a), 17(b), 17(c), dan 17(d).



Gambar 17. Kerusakan pada *groove inboard* dan *outboard*.

**(a) *Groove Inboard Bush Port Side*, (b) *Groove Inboard Bush Starboard Side*,
(c) *Groove Outboard Bush Starboard Side*, (d) *Groove Outboard Bush Port Side***

Kerusakan pada semua bantalan adalah keausan yang menyebabkan terjadinya pembesaran diameter dan ketidakrataan permukaan dalam *bantalan*. Keausan ini terjadi akibat gesekan antara poros dan bantalan. Sistem pelumasan air laut yang digunakan pada sistem poros baling-baling kapal ini juga ikut mempercepat keausan pada bantalan dan poros baling-baling. Kandungan garam yang bersifat abrasif dan korosif mempercepat keausan yang terjadi pada poros dan bantalan.

Data pengukuran kelurusan dalam tabel 1 menunjukkan bahwa pada titik pengukuran 3 terjadi kesalahan kelurusan yang terbesar dibandingkan titik pengukuran yang lain. Kesalahan kelurusan pada titik pengukuran 3 ini, ditambah dengan ketidakrataan permukaan poros serta

faktor air laut yang abrasif dan korosif menjadi faktor penyebab keausan yang besar pada bantalan poros *tail shaft*.

Kerusakan bantalan yang telah melampaui batas toleransi tentunya harus ditindaklanjuti dengan penggantian bantalan. Untuk pembuatan bantalan baru diperlukan data ukuran diameter luar dari poros di bagian posisi (area) bantalan (*sleeve*) *outboard* dan *inboard*, serta diameter dalam dari *stern-tube*. Pengukuran dilakukan menggunakan *micrometer outside* pada *tail shaft* dan *micrometer inside* pada *stern tube*. Pengukuran yang dilakukan pada *sleeve inboard* dan *outboard* serta *stern tube* memberikan hasil ukuran diameter sebagaimana tercantum dalam tabel 2.

Tabel 2 Diameter Tail Shaft pada posisi bantalan dan diameter stern-tube

No.	Position	Diameter tailshaft (Max)	Diamater sterntube (Min)
1.	<i>Inboard</i> <i>Port</i>	334,90 mm	385,67 mm
2.	<i>Starboard</i>	334,90 mm	386.84 mm
3.	<i>Outboard</i> <i>Port</i>	339,45 mm	390,98 mm
4.	<i>Starboard</i>	339,01 mm	390.68 mm

Perbaikan kerusakan yang dilakukan terhadap sistem poros baling-baling meliputi penggantian bantalan dan perataan permukaan pada *sleeve* poros *tail shaft*. *Sleeve* pada poros *tail shaft* tidak harus diganti, karena diameter *sleeve* masih berada dalam batas toleransi. *Tail shaft* memiliki ukuran diameter utama sebesar 300 mm dan ketebalan minimum *sleevenya* adalah 8,25 mm, dari hasil pengukuran ketebalan *sleeve* hasilnya adalah 20 mm sehingga *sleeve* tidak perlu diganti. Ketebalan minimum *sleeve* dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$S = 0,03 \times D_{shaft} + 7,5 \text{ mm}$$

Sebagai bahan dari bantalan dipilih material Thordon-China. Ukuran poros *tail shaft* pada bagian *sleeve* serta ukuran *stern-tube* diolah dengan satu formula tertentu yang sesuai dengan bahan yang akan digunakan, dalam hal ini adalah Thordon-China. Adapun formula yang digunakan untuk mencari diameter bantalan (*bush*) adalah rumus berikut ;

- Diameter luar = diameter housing (*sterntube*) + *interference*
- Diameter dalam = diameter *tail shaft* + *bore closure of bearing* + *thermal expansion allowance* + *water absorption allowance running*

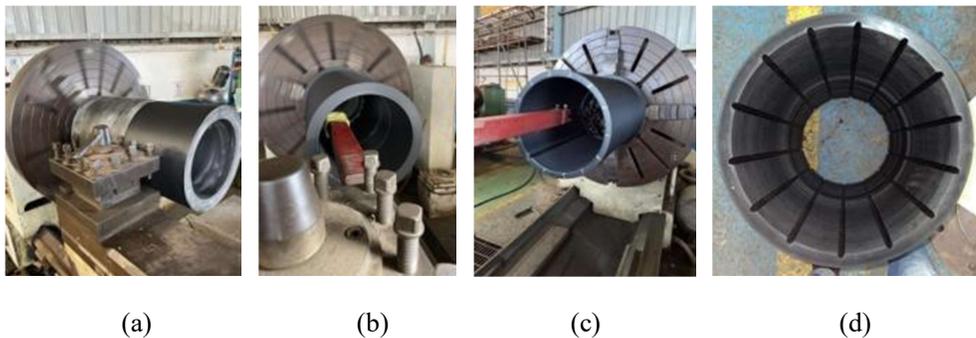
Berdasarkan formula yang digunakan untuk mencari diameter bantalan (*bush*), diperoleh ukuran rinci dari bantalan yang harus dibuat. Tabel perhitungan untuk menentukan ukuran bantalan serta ukuran rinci dari bantalan yang harus dibuat terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Penentuan ukuran bantalan untuk material Thordon China

THORDON BUSH (CHINA)					
SHIP NAME		INSTALLATION BY DRY ICE			
PRODUCT		DATE		01-03-2020	
DESIGN FACTOREN (mm)		INBOARD		ONBOARD	
DATA INPUT	1	INSIDE DIMETER	Ø 386,01		Ø 389,75
	2	SHAFT DIAMETER	Ø 336,15		Ø 339,73
	3	BEARING LENGTH	L = 310		L = 720
	4	TEMPERATUR ROOM	IN PROCESS	28°C	

THORDON BUSH (CHINA)			
SHIP NAME :		INSTALLATION BY DRY ICE	
PRODUCT :		DATE	01-03-2020
COMPUTE DATUM (mm)			
5	INTERFERENCE FIT OF BEARING	1,40	1,40
6	BORE CLOSURE OF BEARING	1,75	1,75
7	THERMAL EXPANSION ALLOWANCE	0,10	0,10
8	WATER ABSORPTION ALLOWANCE	0,50	0,50
9	RUNNING CLEARANCE	1,50	1,50
MACHINING SIZE OF BEARING (mm)			
10	BEARING OUTSIDE DIAMETER	$\varnothing 387,41^{\pm 0,10}$	$\varnothing 392,15^{\pm 0,10}$
11	BEARING INSIDE DIAMETER	$\varnothing 340,00^{\pm 0,10}$	$\varnothing 343,58^{\pm 0,10}$
12	BEARING LENGTH	$L = 307^{\pm 1}$	$L = 713^{\pm 1}$

Proses pembuatan bantalan dilakukan dengan menggunakan mesin bubut untuk mendapatkan diameter yang sudah ditentukan. Selain itu, dilakukan juga pembuatan *groove* di bagian dalam *bush* bantalan. *Groove* pada bantalan ini berfungsi sebagai jalur pelumasan antara permukaan *tail shaft* dengan bantalan, agar pelumasan lebih merata dan dapat mengurangi gesekan antara permukaan *tail shaft* dan bantalan. Tahapan pembuatan bantalan terlihat pada gambar 18(a), 18(a), dan 18(c), sedangkan bantalan yang telah selesai dibuat terlihat pada gambar 18(d).



Gambar 18. Tahapan pembuatan bantalan.
(a) bubut diameter luar, (b) bubut diameter dalam,
(c) Pembuatan Groove di bagian dalam bantalan, (d) Bantalan yang telah selesai dibuat

Proses pemasangan bantalan pada *stern-tube* dilakukan dengan metode pendinginan dengan media *dry ice*, sesuai dengan rekomendasi untuk bahan Thordon china dan ukuran bantalannya adalah *interference fit*, dimana diameter luar bantalan lebih besar dari pada *stern tube*. Suaian ini dipilih agar ketika bekerja (*tail shaft* berputar) pada temperatur normal bantalan tidak ikut berputar di dalam *stern tube*. Sebelum dipasang, bantalan didinginkan dengan *dry ice* di dalam box selama 5 jam dengan suhu -16 C. Setelah 5 jam dan mengalami penyusutan, bantalan dipasang dengan cepat dalam *stern tube*. Ketika memuai kembali, bantalan tersebut akan terkunci di dalam *stern tube*.

3.4. Uji Performa

Uji performa *tail shaft* adalah salah satu pengujian dalam lingkup uji performa kapal. Uji performa kapal adalah pengujian yang dilakukan oleh pemilik kapal, pihak galangan, dan juga awak kapal, secara lengkap. Pengujian performa kapal meliputi pengukuran kecepatan,

kemampuan manuver, penurunan dan penarikan jangkar, pemadam kebakaran, serta pengujian-pengujian lain yang menyangkut keseluruhan fungsi peralatan dan perlengkapan di kapal pada saat nanti kapal berlayar. Khusus untuk mengetahui kinerja sistem baling-baling kapal Dorothy, terutama untuk mengetahui kinerja setelah dilakukan perbaikan terhadap sistem poros baling-baling adalah dengan cara mengukur suhu yang timbul akibat gesekan antara poros dan bantalan. Pengujian dilakukan dengan beberapa variasi putaran (rpm) mesin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan putaran yang bervariasi, suhu maksimum yang terukur pada *tailshaft* adalah 30,98°C untuk bagian port (kiri) dan 32,04°C untuk bagian *starboard* (kanan). Suhu maksimum yang direkomendasikan oleh vendor Thordon bearing adalah 60°C untuk sistem pelumasan air laut. Dengan demikian, hasil dari perbaikan *tailshaft* dan penggantian bantalan dapat dikatakan baik dan kapal Dorothy memiliki kelayakan untuk beroperasi dan berlayar.

Suhu optimal ini dapat dicapai karena pelumasan terjadi secara merata pada bidang gesek di antara *tail shaft* dan bantalan. Kelonggaran antara poros dan bantalan juga cukup baik sehingga tidak ada kotoran atau benda dari luar yang masuk ke dalam celah antara *tail shaft* dengan bantalan. Kotoran atau benda yang masuk ke dalam celah antara poros dan bantalan dapat mengakibatkan gesekan dan meningkatkan temperatur *tail shaft*. Putaran baling-baling juga lebih optimal sehingga efisiensi energi menjadi lebih baik karena. Jika kelonggaran antara poros dan bantalan terlalu besar, maka *tail shaft* akan cenderung bergetar dan gerakan *tailshaft* akan melebar sehingga putaran *propeller* tidak optimal dan efisien.

4. Kesimpulan

Perawatan dan perbaikan yang dilakukan terhadap Kapal KMP Dorothy IMO 9821251 yang dilakukan oleh PT. Samudra Marine Indonesia adalah *Special Survey* (Survey Penedokan) karena kapal yang bersangkutan telah 5 tahun beroperasi. *Special survey* ini meliputi 9 tahap, yaitu (1) *Clearance Check Pada Tail Shaft*, (2) Inspeksi Kerusakan, (3) Proses *Repair Tail shaft*, (4) *Alignment Check*, (5) Pengukuran Diameter *Tail shaft*, (6) Pembuatan Bantalan, (7) *Quality Control* (NDT), (8) Pemasangan Bantalan dan (9) Uji Performa *Tail shaft* (Poros Baling-baling).

Dari proses pengecekan kerusakan ditemui kerusakan yang terjadi pada poros dan bantalan *tail shaft* berupa keausan dan ketidakrataan permukaan. Kerusakan ini terjadi karena gesekan antara poros dan bantalan yang intens serta diperburuk dengan pelumas air laut yang membawa kotoran serta garam yang bersifat abrasif dan korosif.

Berdasarkan data kerusakan yang didapatkan, dilakukan perbaikan poros pada *sleeve area* berupa *polishing*, penerapan Belzona dan *skimming*. Kerusakan yang terjadi pada bantalan sudah melampaui batas toleransi sehingga bantalan ini harus diganti dengan yang baru dengan menggunakan material Thordon-China.

Rangkaian pengujian yang dilakukan setelah poros *tail shaft* melalui proses perbaikan menunjukkan bahwa poros *tail shaft* telah berada pada kondisi yang baik dan siap untuk dirakit kembali. Pembuatan bantalan baru dan pemasangannya pada *stern tube* juga menunjukkan hasil yang baik. Uji performa dari sistem bantalan menunjukkan hasil yang baik, dimana kenaikan temperatur yang terjadi pada saat poros berputar di dalam bantalan dengan variasi kecepatan putaran masih berada di bawah temperatur maksimum yang direkomendasikan pihak vendor.

Celah antara poros dan bantalan terbentuk dengan sangat baik sehingga tidak ada kotoran yang terbawa oleh air laut (pelumasan) masuk ke dalam celah antara poros dan bantalan. Dampak positifnya terlihat dari kenaikan temperatur yang tidak melampaui batas toleransi serta gerakan dari baling-baling lebih stabil dan tidak timbul getaran ataupun gerakan *tail shaft* yang melebar.

5. Daftar Pustaka

- [1] Bayu Adhi Nugroho, Rusnoto, Hadi Wibowo, 2017, *Optimalisasi Sifat Mekanik Penambahan Aluminium Pada Logam Kuningan Pada Prototype Baling-Baling*, Engineering: Jurnal Bidang Teknik, Vol 8 No 1, April 2017, pp. 15 – 20. <https://doi.org/10.24905/eng.v8i1.739>.
- [2] Indra Hartanto, 2022, *Studi Pengaruh Jumlah Sudu, Kelengkungan Sudu, dan Jarak Poros Propeller Terhadap Gaya Dorong Kapal*, Tugas Akhir Sarjana S-1, Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [3] Andi Hendrawan, 2019, *Analisa Penyebab Keausan Poros Baling Baling*, Jurnal Saintara Vol 4 No. 1 September 2019.
- [4] Qiyong Gong, Jun Zhan, Xiaoliang Su, Chenglong Liu, Jian Zheng, Ning Wang, 2021, *Research on the Maintenance and Common Failures of the Marine Machinery and Equipment of the Scientific Investigation Ship*, Journal of Physics: Conference Series, 1802 (2021) 022071, doi:10.1088/1742-6596/1802/2/022071.
- [5] John Moubray, 1997. Reliability-centred maintenance: [RCM II]. 2. ed. Oxford: Butterworth Heinemann.
- [6] Feriyadi Efendi. 2016. *Analisis Pengukuran Kinerja Pemeliharaan Kapal: Studi Kasus Pelayaran Perintis*, S1 Transportasi Laut, ITS: Surabaya.
- [7] Haidar Al Haiany, 2016, *Reliability Centered Maintenance, Different Implementation Approaches, MASTER THESIS, Master of Science in Engineering Technology, Civil Engineering*, Luleå University of Technology, Luleå/Sweden 2016.
- [8] Soesatijono Soesatijono, Mahros Darsinb, 2021, *Literature Studies on Maintenance Management*, JEMMME (Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering), Vol. 6, No. 1, pp. 67-74 2021, ISSN 2541-6332 | e-ISSN 2548-4281,; <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/JEMMME>.
- [9] Aga Alanda, A. 2009. *Analisis Umur Pemakaian Sistem Poros Baling-Baling Kapal Laut*. S1 Teknik Perkapalan, UI: Depok.
- [10] Intans Maritime, 2018, *Bagian 10 - Survei Poros Ekor*, <https://nasuki-maritime.blogspot.com/2018/>.
- [11] Budi Utomo, 2019, *Stern Tube Peranya Sebagai Media Pelumasan dan Kecedapan Poros Baling-Baling*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol 14, No 2 (2019), pp. 51-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.32497/rm.v14i2.1513>.