



ANALISIS TEKNIS EKONOMIS JENIS KERETAKAN DAN PERBAIKANNYA PADA POROS PROPELLER KAPAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE NDT (NON DESTRUCTIVE TESTING) PADA KAPAL TB.GROGOL 02

Adi Putra Prastyawan^{1*}, Minto Basuki²

^{1,2}Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS)

Email: adiputraprastyawa007@gmail.com

Alamat : Jl. Arief Rahman Hakim No.100, Klampis Ngasem, Kec. Sukolilo, Surabaya

Korespondensi penulis: adiputraprastyawa007@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya stigma cacat pada poros propeller kapal yang memiliki beberapa cara untuk diaplikasikan menggunakan uji NDT (Non- Destructive Testing) dengan liquid penetrant test. Adapaun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kualitatif dengan metode pengambilan data dengan survey maupun wawancara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Metode Liquid Penetrant Test (*dye penetrant*) adalah metode paling sederhana yang memiliki keunggulan berupa kecepatan serta keakuratan pada mendeteksi defect yang ada di permukaan poros propeller yang rusak, supaya dapat diganti dengan yang baru, namun harus tetap memperhatikan biaya ekonomi yang dikeluarkan oleh perusahaan atau pemilik kapal. Kondisi tersebut berkaitan dengan waktu dan biaya poros propeller yang rusak supaya dapat diganti atau diperbaiki. Dari segi sisi ekonomi perbaikan tersebut dapat diditindak lanjuti sesuai dengan kebutuhan perusahaan dan kemampuan perusahaan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa analisis teknik ekonomi dan penerapan Metode NDT (Non- Destructive Testing) dapat berkontribusi dalam meningkatkan kehandalan dan efisiensi operasional kapal, sambil tetap mempertimbangkan aspek biaya dan keandalan teknik. Penelitian ini dibutuhkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan pemahaman dan praktik terkait dengan analisis teknik ekonomi serta perbaikan keretakan pada poros propeller kapal menggunakan metode NDT(Non- Destructive Testing).

Kata Kunci: Poros propeller, Liquid Penetrant Test (*dye penetrant*), uji NDT (Non- Destructive Testing), teknik ekonomi

Abstract. This study aims to determine the existence of a defect stigma on the ship's propeller shaft which has several ways to be applied using NDT (Non- Destructive Testing) tests with liquid penetrant tests. The method used in this research is qualitative with data collection methods with surveys and interviews. The results showed that the Liquid Penetrant Test (*dye penetrant*) method is the simplest method that has the advantage of speed and accuracy in detecting defects on the surface of a damaged propeller shaft, so that it can be replaced with a new one, but must still pay attention to the economic costs incurred by the company or ship owner. These conditions relate to the time and cost of a damaged propeller shaft so that it can be replaced or repaired. In terms of the economic side of the repair can be followed up according to the needs of the company and the company's capabilities. Thus, it can be concluded that economic engineering analysis and the application of the NDT (Non- Destructive Testing) Method can contribute to improving the reliability and operational efficiency of ships, while still considering aspects of cost and engineering reliability. This research is needed to contribute to improving understanding and practice related to economic engineering analysis and repair of cracks in ship propeller shafts using the NDT (Non- Destructive Testing) method.

Keywords: propeller shaft, liquid penetrant test (*dye penetrant*), NDT (non- destructive testing), technical economics

Received: Oktober 23, 2024; Revised: Maret 8, 2025; Accepted: Maret 8, 2025; Online Available: Maret 13, 2025; Published: Maret 13, 2025;

*Adi Putra Prastyawan, adiputraprastyawa007@gmail.com

1. LATAR BELAKANG

Kapal laut merupakan merupakan suatu sarana transportasi untuk mengangkut barang dan penumpang yang mengapung dan melintas di laut. Fungsi dan kegunaan kapal laut dapat dikategorikan dalam berbagai sektor. Melihat kondisi wilayah di Indonesia yang hampir 70% wilayahnya adalah perairan, umumnya kapal menggunakan kecepatan tertentu, penelitian (Endramawan dkk, 2017) mengungkapkan bahwa kecepatan kapal sangat dipengaruhi oleh bentuk badan kapal, daya mesin penggerak, serta baling-baling. Baling-baling menjadi bagian yang terpenting sehingga apabila terjadi kerusakan akan berpengaruh pada hal lainnya. Oleh karena itu, analisa atau pengamatan pada poros propeller secara visual menggunakan metode NDT (*Non-Destructive Testing*) Penetrant test sangat penting karena berpengaruh terhadap biaya yang dikeluarkan oleh owner atau pemilik kapal tersebut untuk reappear atau mengganti poros propeller. NDT (*Non-Destructive Test*) adalah tes fisik suatu material atau benda uji untuk mencari cacat pada benda dengan tidak merusak atau menghancurkan benda uji tersebut (Firmansyah, 2021).

Menurut Sulaiman (2017) pada dasarnya, pengujian ini dilakukan agar menjamin bahwa material yang kita gunakan masih aman dan belum melewati damage tolerance. Untuk dapat mengetahui adanya cacat pada poros propeller kapal terdapat beberapa cara yang bisa diaplikasikan yaitu dengan menggunakan uji NDT (*Non-Destructive Testing*). Pada penelitian ini uji NDT (*Non-Destructive Testing*), yang digunakan adalah liquid penetrant yang dimana merupakan uji tanpa merusak bahan material. *Metode Liquid Penetrant Test (dye penetrant)* merupakan metode yang paling sederhana namun mempunyai keunggulan berupa kecepatan dan keakuratan dalam mendeteksi defect yang ada di permukaan. Metode ini digunakan untuk menemukan cacat di permukaan terbuka dari komponen solid, baik logam maupun non logam, seperti keramik dan plastik fiber wa Uji liquid penetrant merupakan salah satu jenis NDT (*Non-Destructive Test*) yang relatif mudah dan cepat pelaksanaannya serta murah biayanya dibandingkan dengan uji NDT (*Non-Destructive Test*) yang lain. Cairan penetrant akan masuk kedalam defect di permukaan berdasarkan aksi kapilaritas Pengujian ini adalah cara yang paling peka untuk menentukan adanya cacat halus pada permukaan seperti retak, lubang halus atau kebocoran (Butler, 2000). Menurut Sulaiman dkk (2021) kehadiran *defect* dapat

mengakibatkan menurunnya kekuatan bahan dan juga dapat menurunkan sifat-sifat bahan lainnya seperti cacat menurunnya kekuatan bahan dan titik leleh bahan.

2. METODE PENELITIAN

Proses penulisan penelitian ini dilakukan metode deskriptif kualitatif. Adapun proses pengumpulan data dilakukan dengan cara survey lapangan maupun wawancara agar data yang didapatkan relevan dan akurat. Selain itu, untuk memastikan bahwa penelitian ini dapat dilakukan secara sistematis dan terstruktur, kami menggunakan diagram alir (flowchart).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Gambaran Umum

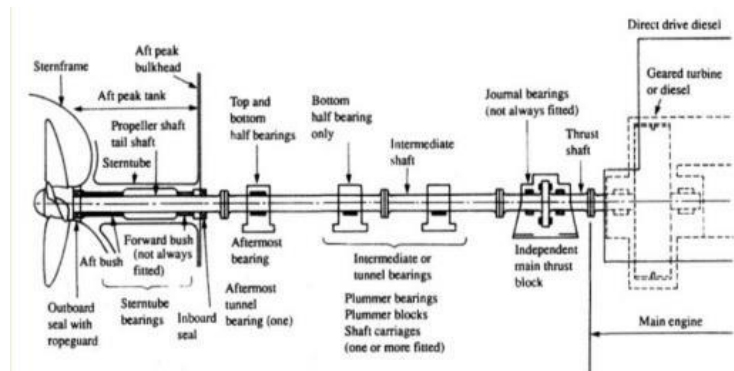
1) Profil PT.Trihasta Pratama

PT. Trihasta Pratama adalah perusahaan yang bergerak dibidang perdagangan dan jasa suku cadang mekanikal,elektrikal, komputer sistem & teknologi informasi sertamesin industri yang berdiri sejak tahun 2003. Pada tahun 2007, PT. Trihasta Pratama mengembangkan usahanya dibidang inspeksi perkapalan, dengan nama Trihasta Pratama Inspeksi.

2) Poros Baling-Baling (Propeller) Rangkaian poros itu disebut “Shafting” dan pada umumnya terdiri dari bagian – bagian berikut.

- Poros pendorong (Trust Shaft) Berfungsi untuk mentransfer torsi dari mesin ke poros bagian tengah atau propeller shaft.
- Poros bagian tengah (Poros antar) Intermediate Shaft
Berfungsi sebagai penghubung yang mentransfer torsi dari mesin utama ke propeller shaft
- Poros baling-baling (Propeller shaft)

Mengubah tenaga mekanik dari mesin menjadi gerakan putar yang memutar baling-baling, menghasilkan dorongan yang diperlukan untuk pergerakan kapal atau kendaraan.



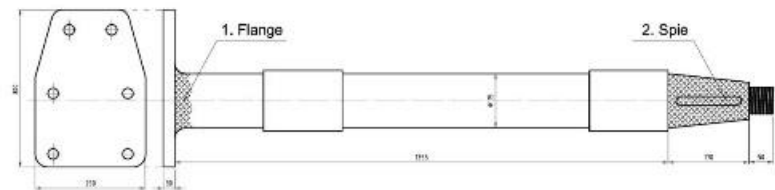
Gambar 1. Bagian Propeller

Poros propeller memiliki peran penting dalam menggerakkan kapal dengan mentransmisikan putaran mesin dari motor induk ke propeller. Kedudukan poros dan mesin induk harus sejajar dan presisi agar transmisi putaran berjalan lancar dan poros berputar dengan baik. Bengkoknya poros dapat berdampak buruk seperti kerusakan pada gear box mesin induk, flange kopling poros, dan keausan pada poros itu sendiri.

3) Spesifikasi Poros Baling-Baling Kapal

Propeller atau baling-baling adalah bagian perangkat penggerak pada kapal. Itu dijalankan oleh mesin utama yang terhubung dengan poros propeller. Propeller menggunakan air untuk memutar dua atau lebih bilahnya dari sebuah poros utama, yang disebut sebagai poros propeller. Berikut adalah gambar kerja beserta ukuran detail dari poros propeller kapal PT. Trihasta Pratama.

Flange dan spie bekerja bersama untuk memastikan bahwa sambungan antara shaft dan propeller aman dan dapat mentransfer torsi dengan efektif. Flange memastikan bahwa sambungan antar bagian bisa terpasang dengan kuat, sementara spie memastikan bahwa ada penguncian mekanis yang mencegah pergeseran relatif antara shaft dan komponen yang terpasang.



Gambar 2. Shaft Propeller

b. Pengujian NDT (*Non-Destructive Test*)

Liquid Penetrant Test (LPT) adalah metode pengujian *Non-Destructive Testing* (NDT) yang umum digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan pada berbagai material termasuk logam (Irwansya, 2019). Metode ini digunakan pada sambungan (joint) yang menggunakan metode welding atau pengelasan, berikut merupakan tahapan dalam pengujian LPT (*Liquid Penetrant Test*).

- a) Melepas poros propeller kapal.
- b) Pembersihan benda uji.
- c) Pengaplikasian cairan penetrant
- d) Dwelling time
- e) Pembersihan cairan penetrant
- f) Pengembangan
- g) Inspeksi dan Evaluasi

d. Hasil Pengujian LPT pada Shaft Propeller

Liquid Penetrant Test (LPT) dilakukan pada dua area utama propeller: spie dan blade. Tujuannya adalah mendeteksi cacat atau keretakan pada sambungan las dan bagian lain yang mungkin muncul karena beban kerja. Pengujian dimulai dengan pembersihan permukaan spie dan blade untuk menghilangkan minyak dan kotoran, memastikan penetran dapat masuk ke retakan. Cairan penetran kemudian diterapkan dan dibiarkan selama waktu yang

ditentukan. Setelah itu, penetrasi berlebih dibersihkan, dan developer diaplikasikan untuk menonjolkan cacat.

Inspeksi visual dilakukan dengan mengamati bercak merah dari developer, yang menunjukkan adanya cacat. Bentuk dan ukuran bercak memberikan informasi tentang jenis dan sifat cacat, seperti retakan atau pori-pori. Bercak yang lebih besar menunjukkan cacat yang lebih parah. Cacat dapat disebabkan oleh benturan atau beban berlebih, dan perbaikan dapat melibatkan penggunaan alat mesin frais untuk membuat alur pasak baru.



Gambar 3. Port Side dan Starboard Side Baling-Baling

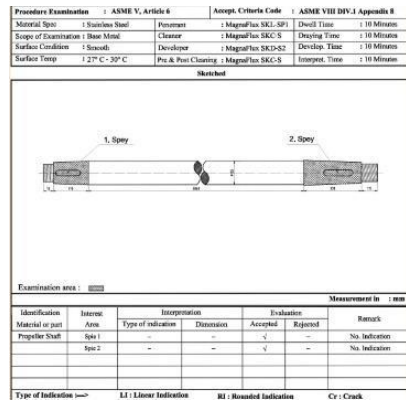
e. Analisa Hasil Inspeksi Visual

Inspeksi visual poros propeller dimulai dengan pembersihan, yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran dan sisa-sisa yang dapat mengganggu pemeriksaan. Setelah permukaan poros bersih, langkah berikutnya adalah pemeriksaan permukaan untuk mendeteksi adanya kerusakan, retakan, atau tanda-tanda keausan. Selanjutnya, dilakukan pengukuran dimensi untuk memastikan bahwa poros masih dalam toleransi yang ditentukan.

Setelah itu, diperiksa juga pengencangan komponen yang terhubung, untuk memastikan bahwa semuanya terpasang dengan baik dan aman. Kemudian, dilakukan pemeriksaan lebih lanjut untuk mengecek adanya kotoran dan keausan pada bagian-bagian kritis. Cek lubrikasi juga menjadi bagian penting, untuk memastikan bahwa semua bagian bergerak dengan lancar dan tidak mengalami gesekan berlebih. Terakhir, semua temuan dicatat dalam laporan

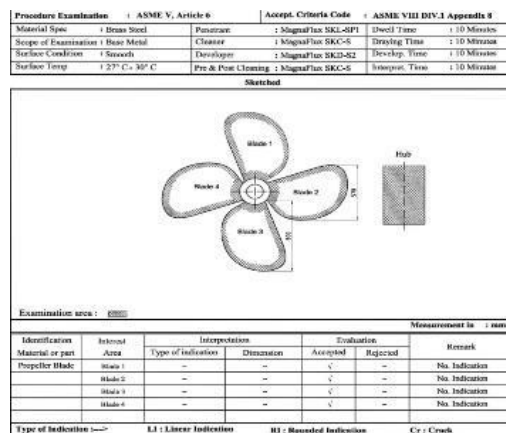
ANALISIS TEKNIS EKONOMIS JENIS KERETAKAN DAN PERBAIKANNYA PADA POROS PROPELLER KAPAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE NDT (NON DESTRUCTIVE TESTING) PADA KAPAL TB.GROGOL 02

yang akan dievaluasi untuk menentukan langkah perbaikan yang diperlukan. Inspeksi visual ini penting untuk memastikan poros propeller berfungsi optimal. Hasil inspeksi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Hasil Inspeksi Visual Spie

Gambar tersebut menunjukkan penerapan metode LPT pada shaft, khususnya pada spie dan sambungan flange. Spie, yang berfungsi sebagai poros baling-baling, diuji menggunakan prosedur ASME V, artikel 6, dengan kriteria penerimaan dari ASME VIII DIV.1, Appendix 8. Uji dilakukan pada suhu 27-30°C selama 10 menit per tahap. Hasilnya, objek dinyatakan diterima (Accepted) karena tidak ada bercak, serta tanpa indikasi linear, melingkar, atau retak pada spie.



Gambar 5. Hasil Inspeksi Visual Blades

Gambar diatas menunjukkan penerapan metode LPT pada blades, termasuk tahap dwelling time setelah cairan red penetrant dan pemberian developer setelah pembersihan. Pada spie, diuji menggunakan ASME V, artikel 6 dengan kriteria ASME VIII DIV.1, Appendix 8, pada suhu 27-30°C selama 10 menit per tahap. Hasilnya, objek diterima (Accepted) karena tidak ada bercak atau indikasi retak pada propeller. Berdasarkan inspeksi visual, propeller dapat digunakan kembali tanpa perlu perbaikan atau penggantian.

Perawatan poros propeller kapal penting untuk menjaga performa dan mencegah kerusakan

- 1) Inspeksi Rutin : Periksa secara berkala untuk mendeteksi kerusakan, korosi, atau kotoran serta cek bilah propeller untuk keretakan atau keausan.
- 2) Pembersihan : Bersihkan propeller dari kotoran, karang, dan organisme laut dengan metode yang aman agar tidak merusak permukaan.
- 3) Pelumasan: Pastikan sistem pelumasan berfungsi baik dan ganti pelumas sesuai jadwal produsen.
- 4) Pengecekan Keseimbangan : Periksa keseimbangan propeller untuk menghindari getaran yang merusak. Lakukan penyeimbangan ulang jika diperlukan.
- 5) Pengecatan Anti-Korosi : Terapkan cat anti-korosi untuk melindungi propeller dari kerusakan air laut dan perbarui lapisan ini secara berkala.
- 6) Penggantian Segel dan Bearing: Ganti segel dan bearing yang aus untuk mencegah kerusakan akibat masuknya air dan kotoran.
- 7) Kalibrasi dan Penyetelan : Kalibrasi sistem kontrol propeller untuk memastikan respons yang tepat dan pastikan pengaturan pitch sesuai spesifikasi.
- 8) Catatan dan Dokumentasi: Simpan catatan semua tindakan perawatan untuk pemantauan jangka panjang dan perencanaan perawatan selanjutnya.

f. Analisa Ekonomis

Analisa biaya penting untuk mengevaluasi pengeluaran dalam proyek, menentukan kelayakan finansial, dan efisiensi operasional (Abdulloh et al., 2023). Berikut rincian biaya untuk dua skenario: benda uji diterima (accept) dan ditolak (reject).

Tabel 2. Rincian Biaya Ketika Accepted

Item	Jumlah	Satuan	Harga
Kain majun	1	kg	Rp 25.000
Cleaner	2	Ea	Rp 120.000
Red liquid Penetrant	1	Ea	Rp 60.000
Developer	1	Ea	Rp 80.000
Total			Rp 285.000

Jika benda uji diterima, biaya hanya Rp 285.000 tanpa perlu repair. Jika perlu perbaikan, biaya tambahan untuk pengujian ulang NDT (LPT) tertera pada tabel berikut.

Tabel 3. Tabel Rincian Biaya Ketika Rejected

Item	Jumlah	Satuan	Harga
Kain majun	2	kg	Rp 50.000
Cleaner	3	Ea	Rp 180.000
Red liquid Penetrant	2	Ea	Rp 120.000
Developer	1	Ea	Rp 80.000
Perbaikan (repair)	4	Jam	Rp 187.057.000
Total			Rp 187.057.000

Jika benda uji ditolak, perbaikan dan pengujian ulang memerlukan biaya Rp 187.057.000. Biaya perbaikan, termasuk pemindahan kapal ke graving dock, tercantum dalam tabel berikut Graving dock adalah kolam dikelilingi dinding baja yang dapat diisi atau dikosongkan dengan pompa air.

Tabel 4. Tabel Rincian Perbaikan Poros Propeller

Item	Harga
Pembersihan lahan	Rp 1.500.000
Drawing & On-site engineer	Rp 5.700.000
Pembendungan air laut	Rp 32.160.000
Pembangunan dinding	Rp 29.050.000
Galian	Rp 16.000.000
Pembuatan pintu graving dock	Rp 22.000.000
Pompa air	Rp 12.300.000
Mobilisasi	Rp 24.700.000
Total	Rp143.410.000

Menurut Tabel di atas, biaya lahan adalah Rp 143.410.000. Selanjutnya, poros akan dicabut dari kapal PT. Trihasta Pratama untuk memeriksa keretakan. Biaya untuk langkah ini dijelaskan dalam Tabel berikut.

Tabel 5. Biaya Cabut Poros Propeller

Item	Harga
Cabut poros dan daun <i>propeller</i>	Rp 3.325.000
Total	Rp 3.325.000

Pencabutan poros dan daun propeller memerlukan biaya Rp 3.325.000. Setelah itu, poros akan melalui proses welding untuk menutup keretakan, dengan rincian biaya tertera di Tabel berikut.

Tabel 6. Welding Poros Propeller

Item	Harga
<i>Welding</i>	Rp 5.402.000
Total	Rp 5.402.000

Tabel tersebut menunjukkan biaya pengelasan sebesar Rp 5.402.000. Selanjutnya, dilakukan pembubutan dengan pengukuran diameter poros untuk mencapai clearance yang sesuai dengan daun baling-baling kapal, biayanya tercantum pada Tabel berikut.

Tabel 7. Mesin Bubut

Item	Harga
Mesin bubut	Rp 12.370.000
Total	Rp 12.370.000

Biaya mesin bubut tercantum di Tabel tersebut sebesar Rp 12.370.000. Setelah itu, dilakukan balancing untuk menyeimbangkan poros propeller dengan baling-balingnya, menggunakan alat khusus seperti yang dijelaskan di Tabel berikut.

Tabel 8. Rincian Pemasangan Poros Propeller

Item	Harga
Mesin gerinda	Rp 500.000
Pemasangan <i>propeller</i>	Rp 300.000
Total	Rp 800.000

Biaya pemasangan propeller sebesar Rp 800.000 tercantum di Tabel tersebut. Selain itu, ada biaya tenaga kerja dan fasilitas pendukung lainnya yang dijelaskan di tabel berikutnya.

Tabel 9. Tabel Rincian Biaya Operasional Proyek

Item	Harga
Supervisor engineer	Rp 500.000
Field engineer	Rp 300.000
Logistik	Rp 1.500.000
Administrasi	Rp 250.000
Listrik	Rp 7.200.000
Air	Rp 10.000.000
Transportasi	Rp 2.000.000
Total	Rp 21.75000

Di luar biaya-biaya tersebut, ada juga biaya tenaga kerja dan fasilitas pendukung lainnya. Total biaya perbaikan poros propeller di graving dock adalah

Rp187.487.000. Hasil analisis teknis dan ekonomis penelitian ini menunjukkan hal tersebut.

1) Analisis Biaya

- Biaya Pengujian Awal: Rp 285.000.
- Biaya Repair tidak disebutkan, jadi diasumsikan termasuk dalam total biaya pengujian ulang.
- Biaya Pengujian Ulang: Rp 187.487.000.

Total biaya jika benda uji memerlukan perbaikan dan pengujian ulang adalah: Biaya Repair + Biaya Pengujian Ulang. Karena biaya Repair tidak spesifik, kita hanya dapat menghitung Biaya Pengujian Ulang sebagai bagian dari total biaya.

2) Analisis Ekonomis

Untuk menentukan strategi yang efisien, bandingkan biaya total kedua skenario:

- Jika Benda Uji Diterima : Total biaya Rp 285.000
- Jika Perlu Perbaikan dan Pengujian Ulang:

Biaya Repair + Rp 187.487.000

Biaya pengujian ulang sangat tinggi, jadi penting untuk mengurangi kemungkinan perbaikan dan pengujian ulang.

3) Rekomendasi Strategi Perbaikan

- Pencegahan Kerusakan

Perbaikan Preventif : Lakukan inspeksi rutin pada poros propeller untuk mendeteksi kerusakan kecil sebelum menjadi masalah besar.

- Kualitas dan Kontrol

Kontrol Kualitas : Terapkan prosedur kontrol kualitas ketat selama produksi atau perawatan untuk mengurangi risiko keretakan.

- Evaluasi Perbaikan

Biaya Perbaikan : Evaluasi biaya perbaikan dan pastikan tidak melebihi biaya pengujian ulang. Pertimbangkan cara untuk menurunkan biaya perbaikan.

- Keputusan Ekonomis

Pengujian Awal: Pertimbangkan untuk memperkuat pengujian awal guna mengidentifikasi cacat lebih awal dan mengurangi biaya pengujian ulang yang tinggi.

- Kalkulasi Keuntungan Jangka Panjang

Investasi Kualitas : Investasi pada kualitas dan pencegahan kerusakan dapat mengurangi total biaya jangka panjang meskipun biaya awal lebih tinggi.

4) Kesimpulan

Berdasarkan analisis teknis dan ekonomis, strategi efisien adalah:

- a) Lakukan Pengujian Awal Berkualitas Tinggi untuk menghindari kerusakan lebih lanjut, karena biaya pengujian awal lebih rendah dibandingkan pengujian ulang.
- b) Terapkan Program Perawatan Preventif dan Kontrol Kualitas untuk mengurangi keretakan serta biaya perbaikan dan pengujian ulang.
- c) Evaluasi biaya perbaikan agar tidak melebihi biaya pengujian ulang, sehingga keputusan perbaikan lebih hemat biaya. Fokus utama adalah pada pengujian awal dan pencegahan untuk menghindari biaya pengujian ulang yang tinggi.

g. Analisa Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa propeller tidak memiliki indikasi linear maupun rounded, sehingga kondisinya baik tanpa kecacatan. Pada pertanyaan kedua, tidak ditemukan keretakan pada propeller, menandakan kondisinya baik dan dapat digunakan kembali tanpa perbaikan. Perhitungan ekonomis membandingkan biaya penggunaan semula propeller dan biaya perbaikan. Dari rincian tersebut, dapat disimpulkan bahwa poros propeller rusak dapat diganti dengan biaya yang harus dipertimbangkan. Namun, perbaikan ini dapat dilanjutkan sesuai kebutuhan dan kemampuan perusahaan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil identifikasi dan analisis menggunakan Metode NDT (Non-Destructive Testing), dapat disimpulkan: Pentingnya Analisis Teknis dan Ekonomis: Menguji keretakan pada poros propeller kapal secara teknis dan ekonomis untuk memastikan keamanan operasional dan mengurangi biaya perbaikan. Kelebihan NDT : Metode ini memungkinkan deteksi keretakan tanpa merusak komponen, mengurangi waktu dan biaya perbaikan. Keunggulan termasuk akurasi deteksi tinggi dan minimnya kerusakan, sementara tantangan berupa biaya implementasi dan keterampilan teknis yang dibutuhkan.

Rekomendasi Perbaikan jika benda uji diterima, tidak perlu dilakukan repair atau pengelasan ulang dengan biaya Rp 285.000. Jika perlu repair, diperlukan pengujian ulang NDT dengan biaya Rp 187.487.000 Implikasi Penelitian : Hasil ini dapat digunakan sebagai dasar untuk meningkatkan kebijakan perawatan dan perbaikan kapal di industri pelayaran, meningkatkan kehandalan dan efisiensi operasional kapal sambil mempertimbangkan aspek biaya dan keandalan teknik.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih diucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu saya baik secara emosional ataupun secara langsung dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR REFERENSI

- Abdulloh, M., Haddli Irawan, B., & Mutiarani. (2023). Pengujian Non Destructive Test dan Destructive Test WPS untuk Product Tubular Lower Leg Jacket S420 G2+M Z35. *Irwans*, 1(2015), 88–95 <https://jurnal.polbanac.id/proceeding/article/view/5367>
- Butler, D. (2000). *Guide To Ship Repair Estimates*.
- Endramawan, T., Haris, E., Dionisius, F., & Prinka, Y. (2017). Aplikasi Non Destructive Test Penetrant Testing (Ndt-Pt) Untuk Analisis Hasil Pengelasan Smaw 3G Butt Joint. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 3(2), 44–48. <https://doi.org/10.31884/jtt.v3 i2.61>

- Firmansyah, E. I. (2021). Pengaruh Pengelasan Kuningan Pada Repair Daun Propeller Tug Boat Type 4 Blade Berbahan Manganese Bronze Terhadap Sifat....2021 (Senastika <http://eprints.uniska-bjm.ac.id/id/eprint/9186%0A> [https://eprints.uniskabjm.ac.id/9186/1/Enggar IbnuF_17620009](https://eprints.uniskabjm.ac.id/9186/1/Enggar%20IbnuF_17620009) Undergraduate Theses. pdf
- Husain, K., Gufran, M., & Sumolang, S. (2022). Pembuatan Dan Analisis Alat Manual Balancing Propeller. *Voering*, 7(2), 69–79.
- Irwansyah. (2019). Deteksi Cacat Pada Material Dengan Teknik Pengujian Tidak Merusak. *Lensa*, 2(48), 7–14.
- Kaka Zada, M. R., Makmur, M., & Rusman. (2023). Analisis Pengujian Metode Liquid Penetran Testing Berdasarkan Acceptance Criteria Penetrant Testing Pada Komponen Cessna 152. *JAMETS :Journal of Aircraft Maintenance Engineering & Aviation Technologies*, 2(1), 24–33. <https://doi.org/10.46509/jame.ts.v2i1.436>
- Khristyson, S. F., Said, S. D., Wahid, M. A., Khoeron, S., Mesin, D. T., Teknik, F., Diponegoro, U., Industri, D. T., Vokasi, S., Diponegoro, U., Undiptembalang, K., & Tengah, S. J. (2021). Keausan Poros Propeller Yang Berlebihan Akibat. 11(1), 67–73.
- Luhur P, H. A., Hadi, E. S., & Amiruddin, W. (2020). Optimalisasi Repair Schedule KN Panah P.207 Dengan Critical Path Method Guna Mempercepat Pengerjaan Repair. *Teknik Perkapalan*, 8(3), 368–374.
- Manik, P. (2012). 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), 100–106. <https://doi.org/10.14710/kpl.v6i2.2724>
- Ramadhan, R., Windarta, Maghfurah, F., & Dewi Nur, R. (2023). Perbaikan Baling-baling pada Kapal Tugbot di PT Dok & Perkapalan Kodja Bahari (Persero) Galangan Jakarta I. Seminar Nasional LPPM UMJ, 1–6. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaskat>

- Rusmana, A. I. (2018). Buku Informasi Melakukan Penetrant Test (Pt) C.24Las01.034.01. Penetrant Test, 1–37.
- Siagian, H., Jhony, P., Arifin, N. L., Ulfah, N., Mesin, J. T., Negeri, P., Jalan, B., & Yani, A. (2022). Inspeksi Liquid Penetrant Sambungan Pengelasan Smaw Pada Fabrikasi Frame Acid Skid. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)*, 4(1), 2685–4910 [http://jurnal.polibatamac .id/inde x.ph p/JATRA](http://jurnal.polibatamac.id/index.php/JATRA) ,[https://jurnal.polibatamac.id/inde x.php/jatra](https://jurnal.polibatamac.id/index.php/jatra)
- Sulaiman, S., Sugeng, S., & Ridwan, M. (2021). Analisis Perbaikan Stern Tube Poros Propeller Single Screw pada Kapal General Cargo 4192 GT. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(3), 369. <https://doi.org/10.32497/jrm.v16i3.2871>
- Sumber Data. PT. Trihasta Pratama, pada kapal TB Grogol 02 W, A. I., & Ivan Fadillah, dan. (2019). Analisa Kekuatan Dan Umur Kelelahan Shaft Propeller Kapal Spob An Analysis of Strength and Fatigue Life of Propeller Shaft SPOB Ship. 13, 91–98.
- Wijana, M., Triadi, A. A. Al., & Febriandi, F. (2014). Aplikasi Break Even Point Pada Sistem Operasional Kapal Motor Penyeberangan Roditha Pt. Asdp Indonesia Ferry (Persero). *Cabang Lembar. Dinamika Teknik Mesin*, 4(2), 1–9. <https://doi.org/10.29303/d.v4i2.57>